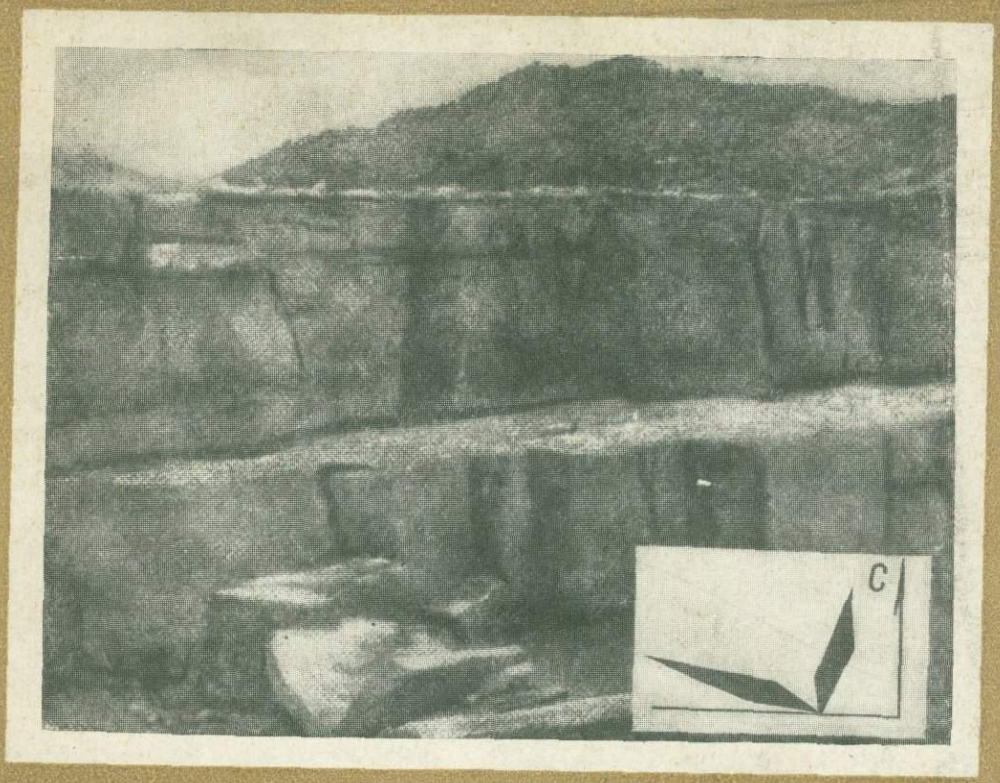

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

ПО ИЗУЧЕНИЮ ПЛАНЕТАРНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ЛИНЕАМЕНТОВ

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени А. А. ЖДАНОВА

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ИЗУЧЕНИЮ ПЛАНЕТАРНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ЛИНЕАМЕНТОВ

5376

Под общей редакцией проф. *С. С. Шульца*

Издательство Ленинградского университета
Ленинград 1977

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Ленинградского университета

УДК 551.1.551.4

Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линеаментов. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1977, 136 с.

В работе излагаются теоретические и методические вопросы изучения планетарной трещиноватости, привлекающей в последние годы внимание геологов, географов и др. В первой части книги помимо методики изучения трещиноватости в различных типах горных пород, а также методики изучения линеаментов освещается ряд теоретических вопросов — о соотношении планетарной трещиноватости с тектоническими структурами, геологическим разрезом, геофизическими полями и др. Вторая часть посвящена возможностям использования данных о планетарной трещиноватости и линеаментах при поисках и разведке полезных ископаемых.

Руководство рассчитано на широкий круг геологов, географов, геофизиков. Оно может быть использовано также в качестве учебного пособия для студентов геолого-географических специальностей. Ил. — 43, табл. — 11, библиогр.—103 назв.

М $\frac{20801-174}{076(02)-77}$ 118—76

© Издательство Ленинградского университета, 1977 г.

ИБ № 63

Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линеаментов

Редактор *Т. И. Петровская*
Техн. редактор *Е. Г. Учаева* Корректоры *Е. К. Терентьева, Н. А. Гагарина*

М-24791. Сдано в набор 30 VI 1976 г. Подписано к печати 3 II 1977 г.
Формат бум. 70×108 1/16. Бумага тип. № 3. Уч.-изд. л. 10,98. Печ. л. 8,5 (усл. 11,9 л.)
Тираж 1000 экз. Заказ 4096. Цена 1 р. 65 к.

Издательство ЛГУ имени А. А. Жданова, 199164, Ленинград, Университетская наб., 7/9.

Областная типография, г. Вологда, ул. Челюскинцев, 3.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие в комплекс различных геолого-географических работ все чаще входит изучение планетарной трещиноватости, под которой понимаются системы закономерно ориентированных трещин, имеющих повсеместное распространение и ряд характерных особенностей. Если вспомнить, что масштаб планетарных трещин может быть весьма различным — от глубинных швов, пересекающих всю земную кору и уходящих в мантию Земли, до внутрипластовых трещин, не выходящих за пределы пересекаемого ими пласта или пропластка горной породы, если напомнить о повсеместном распространении планетарной трещиноватости, о ее способности проявляться в рельефе земной поверхности в виде линеаментов и о многих других ее свойствах, то станет понятным большой интерес исследователей самых разных взглядов, проявленный к этому удивительному явлению.

С другой стороны, при обработке данных по планетарной трещиноватости нередко применяются разные методы, употребляется различная терминология, и это иногда приводит к трудносопоставимым результатам. Можно даже сказать, что разные представления исследователей о морфологии, генезисе, возрасте, ориентировке планетарных трещин в некоторых случаях диктуются различием методов, избранных для изучения трещин. Это положение особенно ярко проявилось на Межведомственном совещании по планетарной трещиноватости, впервые собранном в 1973 г. в Ленинграде.

В зависимости от масштаба меняются некоторые особенности рассматриваемых трещин. Наиболее крупные мегатрещины, подобные рифтам или секущим их трансформным разломам, трудно сравнивать с микротрещинами, наблюдающимися в горных породах лишь с помощью микроскопа. Но главное качество всех планетарных трещин — первично закономерная ориентировка относительно стран света — остается неизменным.

Мы в основном рассматриваем планетарные трещины небольшого масштаба, наблюдаемые на земной поверхности в естественных или искусственных обнажениях. В осадочных породах они пересекают отдельные слои или группы слоев и описываются часто как «общие трещины». Сюда же относятся такого же масштаба трещины, секущие изверженные и метаморфические породы, известные как первичные прототектонические трещины или трещины отдельности. Все эти трещины образуют первично вертикальные системы, пересекающиеся в плане. Вместе с горизонтальными трещинами, поверхностями напластования или плитчатостью они разбивают горные породы на блоки — отдель-

ности разной, но большей частью параллелепипедальной формы. Величина блоков и частота трещин прямо пропорциональна мощности толщ, пересекаемых трещинами того или иного порядка, и отвечает физическим особенностям этих толщ.

Происхождение рассматриваемых трещин мы связываем с напряжениями, образующимися внутри горных пород в период их формирования. В осадочных породах общая трещиноватость возникает в процессе обезвоживания осадка, его стяжения, уплотнения и т. д. Трещины образуются при литификации осадка, а затем и диагенеза. Эндогенное (эндокинетическое) происхождение имеет и первичная трещиноватость изверженных пород, связанная с остыванием магмы, потерей летучих компонентов, кристаллизацией, а затем и метаморфизмом. Эндогенные напряжения могут охватывать не только пласт, пачку пластов, поток, покров или интрузию, но и отдельные структурные ярусы, весь платформенный чехол или кристаллическое основание платформы, вплоть до земной коры в целом. В каждом случае они будут обусловлены процессами, происходящими внутри данной системы.

Главной особенностью рассматриваемых трещин является то, что при их массовых замерах выделяются системы, имеющие закономерно ориентированные простирания. В подавляющем большинстве случаев эти простирания близки следующим азимутам: С 0°, СВ 45°, З 270° и СЗ 315°. Выдержанность определенных простираний, вызванных не местными причинами, а характерных для всей планеты, может быть обусловлена только общепланетарными явлениями. Подчеркивая эту чрезвычайно важную особенность, мы все подобного рода трещины разных масштабов называем планетарными. Перечисленные эмпирически полученные азимуты, оказывается, соответствуют вычисленным четырем направлениям усилий (двум ортогональным и двум диагональным), которые возникают в литосфере планеты при ее ротационно обусловленной полярной деформации.

Следуя в своих преобладающих простираниях планетарно обусловленным направлениям, рассматриваемая эндокинетическая трещиноватость делает земную кору анизотропной и образует правильный каркас ее строения. Этому каркасу подчинены не только сами трещины, но и развивающиеся на их фоне формы тектонической структуры и рельефа земной поверхности.

Выявленные связи рельефа и структуры с рисунком планетарной трещиноватости отражаются на устройстве земной поверхности в виде линеаментов. В советской литературе термин «линеамент» иногда применяют только к очень крупным разрывам. В нашем руководстве этот имеющий международное распространение термин понимается, как выдержанные по направлению прямолинейные элементы рельефа и ландшафта.

В настоящее время имеется огромное количество данных, доказывающих, что прямолинейно вытянутые горные хребты, гряды, уступы в рельефе Земли, прямолинейные элементы речной и овражной сети, берегов озер, морей и океанов, прямые линии в распределении почвенного и растительного покрова в подавляющем большинстве случаев отражают закономерности строения планетарной трещиноватости, а иногда и связанной с ней тектонической структуры.

Анализ линеаментов, особенно в закрытых районах, позволяет использовать методы изучения планетарной трещиноватости там, где прямые данные о трещинах недостаточны или отсутствуют. С помощью линеаментов зачастую выясняются и связи структурных форм с планом планетарной трещиноватости. Отклонения от этого плана должны привлекать внимание всех исследователей, так как они отражают ре-

гиональные или местные воздействия внешних причин на рисунок, частоту и ориентировку планетарной трещиноватости. Именно эти внешние, большей частью тектонические причины, мы пытаемся выяснить.

Существующие связи позволяют решить некоторые общие и частные проблемы геологии, геоморфологии и географии, а также и ряд прикладных задач геологии рудных и нерудных полезных ископаемых. Этим связям и способам использования планетарной трещиноватости для решения некоторых насущных теоретических и практических вопросов посвящено настоящее руководство.

В 1965 г. в ЛГУ под редакцией С. С. Шульца были изданы давно разошедшиеся краткие «Методические указания по изучению планетарной трещиноватости». С тех пор изучение планетарной трещиноватости приобрело широкое распространение. Было получено много новых материалов теоретического, практического и методического характера. В основу предлагаемого читателям нового руководства положены представления и приемы, принятые в Лаборатории планетарной трещиноватости ЛГУ, а также использованы положения, опубликованные отечественными и зарубежными учеными.

Руководство состоит из двух частей. Первая часть содержит методы изучения трещиноватости в разных условиях, методы изучения линеаментов, вопросы связи трещиноватости и линеаментов друг с другом, а также со строением земной коры, с геологическим разрезом и тектоникой. Сюда же отнесены методы математической обработки и ускорения обработки материалов. Вторая часть содержит методы составления карт трещиноватости и линеаментов, применение данных о планетарной трещиноватости и линеаментах при поисках и разведке полезных ископаемых.

При составлении руководства авторы стремились дать однотипные рекомендации, пользуясь однозначными терминами. Вместе с тем в некоторых случаях излагаются методы и положения, по-разному понимаемые авторами руководства. Делается это для ознакомления с иными точками зрения, что кажется нам важным, особенно при рассмотрении вопросов, не решенных или недостаточно выясненных в настоящее время.

Настоящее методическое руководство не догма, а лишь предложения коллектива авторов по недостаточно еще разработанной проблеме. Несомненно, оно содержит ряд недочетов, и авторы будут благодарны читателям за все сделанные замечания. Просьба направлять их по адресу: 193124, Ленинград, ул. Смольного, 3, географический факультет ЛГУ, кафедра геоморфологии.

Часть первая

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ И МЕТОДЫ

ГЛАВА I

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ (полевые и камеральные)

Планетарные трещины имеют повсеместное распространение и ряд характерных черт (Планетарная трещиноватость, 1973). Изучать их можно непосредственно в поле или в камеральных условиях, используя для этого топографические, геологические карты и аэрофотоснимки.

Главной особенностью планетарной трещиноватости, позволившей выделить ее как планетарную, является ее закономерная ориентировка в пространстве, обусловленная общими планетарными причинами.

Общие методы изучения трещиноватости

Полевые наблюдения. Изучение планетарной трещиноватости горных пород производится в полевых условиях путем непосредственных описаний и измерений трещиноватости в обнажениях, карьерах, шахтах. Удобнее всего замерять трещины в карьерах.

Точки наблюдения для замеров трещиноватости выбираются с учетом условий обнаженности, влияния экспозиции обнажения и т. д. Они должны быть расположены так, чтобы в результате проведенных исследований можно было бы получить характеристику трещиноватости пород разного возраста и вещественного состава, выявить ориентировку и интенсивность трещиноватости на различных элементах складок (сводах, крыльях, периклиналях и т. д.), на контактах интрузий с вмещающими и другими разновозрастными породами, в пределах отдельных свит, толщ или структурных этажей в целом.

Горным компасом замеряются азимуты простирания, падения и угол падения трещин. При вертикальном положении трещин (угол падения больше 80°) записывается лишь азимут простирания, который следует отсчитывать в северной полуокружности лимба горного компаса по любой стрелке в интервалах 270—360° и 0—90°. У наклонных трещин берутся азимут падения и угол падения. Замеры трещин следует делать тщательно с точностью до 1—2°, не допуская осреднения азимутов простирания и падения или углов падения сразу для нескольких трещин, имеющих близкую ориентировку. Перед началом работ необходимо выяснить магнитное склонение с тем, чтобы вести замеры с учетом поправки, передвинув лимб горного компаса на соответствующую величину.

Прежде чем приступить к замерам трещин, нужно определить элементы залегания пластов горных пород, ориентировку сланцеватости и структур течения, простирание и экспозицию обнажения (стенок карьера). Замеры и записи в полевых условиях удобнее вести вдвоем.

На выбранном участке измеряются все трещины, за исключением трещин, полученных за счет взрывов, оползней, которые по своим морфологическим признакам резко отличаются от планетарных. В толще одного вещественного состава замеры следует брать примерно на одной высоте от основания обнажения.

Запись измерений трещин ведется в полевом дневнике. Вертикальные и наклонные трещины записываются раздельно. Рекомендуется проставлять порядковый номер замера. Данные о вертикальных трещинах можно сразу вносить в таблицы (табл. 1). Последовательность записей в полевом дневнике и предлагаемых таблицах следующая:

1) номер точки наблюдения, ее местоположение(указать географические координаты, нанести на полевую карту); 2) краткое литолого-стратиграфическое описание разреза; 3) элементы залегания толщи; 4) экспозиция обнажения или стенки карьера; 5) направление, в котором производятся последовательные замеры; 6) элементы залегания трещин.

В каждой точке наблюдения следует дать общую характеристику трещиноватости, отметить морфологические особенности развитых трещин. При описании необходимо учитывать следующее: 1) общий характер трещиноватости, преобладание наклонных или вертикальных трещин, положение их относительно поверхности напластования, наличие трещин взрывов, выветривания и т. п.; 2) раскрытость трещин, ширину раскрытия, характер выполнения, состав породы, заполняющей трещину; 3) характер поверхностей трещин (гладкие, ровные, бугристые), наличие следов скольжения, фиксацию ориентировки штрихов и борозд скольжения; 4) положение трещин относительно линейных и плоскостных структур течения, контактов с вмещающими породами и различными включениями (дайками, ксенолитами) в изверженных породах. В метаморфических — относительно простирания толщи, сланцеватости, гнейсовидности; 5) густоту трещин, изменчивость и прерывистость трещин при пересечении слоев различного вещественного состава и мощности.

Опыт исследований показывает, что число измерений трещин в одной точке наблюдения должно быть не менее 50. Для полноты наблюдений следует в каждом обнажении или карьере, если это возможно, замерить 100—200 трещин. Для простоты последующих вычислений удобнее число замеров доводить до чисел 50, 100, 150, 200 и т. д.

При изучении трещиноватости осадочных, изверженных и метаморфических пород следует вести наблюдения за жильными образованиями, за приуроченностью их к той или иной системе трещин, за характером их пересечения, рудопроявлением, зонами повышенной трещиноватости и различными типами тектонических нарушений. В карбонатных породах необходимо отмечать наличие пустот выщелачивания (каверн, карстовых полостей и т. п.), их взаимосвязь с трещинами. Полезно отобразить характерные формы рельефа, обнажений, выходов, связанных с трещиноватостью. Наблюдения за трещинами необходимо дополнять зарисовками, фотографиями, отбором образцов пород.

Камеральная обработка. При анализе материалов по трещиноватости пород используются различные методы статистической обработки. Полученные результаты изображают в виде диаграмм. Известно много способов графического изображения замеров трещин: розы-диаграммы, диаграммы в прямоугольных координатах, круговые диаграммы в изолиниях, точечные диаграммы и др. Методы построения диаграмм излагаются в различных руководствах и специальных статьях (Пермяков, 1949; Михайлов, 1956; Шульц, 1965; Смехов, 1969 и др.).

Таблица 1

Таблица замеров трещин (линеаментов), № точки набл. 11

Дата 26 VI 1966 г.

Местоположение	Ориентировка участка	Длина участка	Десятиградусные интервалы азимутов простирания																		Сумма замеров	Сумма, %	Примечание (характер трещин)
			270—279	280—289	290—299	300—309	310—319	320—329	330—339	340—349	350—359	0—9	10—19	20—29	30—39	40—49	50—59	60—69	70—79	80—89			
Карьер у с. Роговицы в 30 км на запад от Гатчины			272 270	280 288		308 305	315 310	320 328	337 332	348 340	356			20 26	39	46 45	55 56	60	70 70	85			
Номенклатура карты или аэроснимка	СВ 55°	12 м		285			312 313	325 326	330 338	345 341				20		47 42	55 50		75 72				
Вещественный состав и возраст							318	320	330 335	345 345													
Доломитизированные известняки ордовика										345													
Элементы залегания толщи																							
ЮЗ∠210	Общее кол-во замеров в интервалах		2	3	—	2	5	5	6	8	1	—	—	3	1	4	4	1	4	1	50		
Фамилия исследователя	То же в %		4	6	—	4	10	10	12	16	2	—	—	6	2	8	8	2	8	2		100	
	Средний азимут простирания в интервалах.		271	285	—	306	315	325	335	345	356	—	—	22	39	45	54	60	72	85			

При обработке *вертикальных трещин* чаще всего применяют розы-диаграммы. Для построения роз-диаграмм необходимо весь собранный материал замеров свести в таблицы трещин (см. табл. 1), разбитые на десятиградусные интервалы. Опыт показывает, что при анализе вертикальных трещин удобнее всего пользоваться десятиградусным интервалом, величина которого установлена эмпирически (Пермяков, 1949; Шульц, 1965, и др.).

Таблицы замеров трещин составляются для каждой точки наблюдения. По интервалам разносятся измерения трещин, затем в каждом из них подсчитывается количество замеров, их процентное отношение к общему числу замеров и средний азимут простирания. Средний азимут простирания и процентное значение каждого десятиградусного интервала являются исходными данными для построения диаграмм. Розы-диаграммы вычерчиваются на заранее заготовленных трафаретах.

Построение роз-диаграмм заключается в следующем: на трафарет наносятся точки, положение которых определяется средним азимутом простирания в десятиградусном интервале и расстоянием от центра круга, которое соответствует процентному значению, взятому в условно выбранном масштабе. Затем полученные точки последовательно соединяются. Если в каком-либо интервале замеров нет, то точки соседних интервалов соединяются с центром круга. Рекомендуется вычерчивать полурозу, располагающуюся в северной половине окружности.

Для обработки замеров трещин некоторыми исследователями используются диаграммы в прямоугольных координатах. По оси абсцисс откладываются азимуты простирания трещин, по оси ординат — число трещин, выраженное в процентах (рис. 1). Другие виды диаграмм, применяемые при изучении трещиноватости, подробно описаны у А. Е. Михайлова (1956).

Из таблиц замеров трещин (точек наблюдения) составляются сводные таблицы трещиноватости (табл. 2). В зависимости от задач, стоящих перед исследователем, они составляются для всей исследованной территории, для отдельных ее частей, для изучения различных геологических тел и т. д. Объединение таблиц трещин в сводные производится путем сложения количества трещин и среднего азимута простирания по каждому десятиградусному интервалу. Статистическая обработка сводных таблиц состоит в подсчете количества замеров и их процентного отношения к общему числу замеров и среднего (средневзвешенного) азимута простирания по интервалам, выделению систем трещин, вычислению среднего азимута простирания в системе. В тех случаях, когда средние значения азимутов простирания и их количественные показатели по интервалам в каждой из суммируемых таблиц различны, следует вычислять средневзвешенный азимут простирания в интервалах сводной таблицы. Каждый азимут простирания умножается на его количественный показатель, затем сумму произведений делят на сумму всех показателей. Вычисленные средние азимуты простирания и процентное значение по интервалам сводных таблиц используются для построения сводных роз-диаграмм и векторных диаграмм трещиноватости.

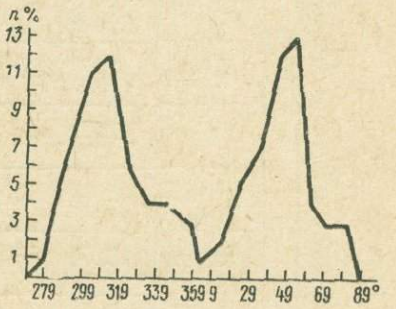

Рис. 1. Диаграмма трещиноватости, построенная в прямоугольных координатах.

Таблица 2

Сводная таблица трещиноватости нижнесилурийских и верхнесилурийских доломитов о-ва Сарема

Порядковый №	Наименование стратиграфического комплекса	№ обнажения	Десятиградусные интервалы азимутов простирания																	Сумма в %	Общее число замеров
			270—279	280—289	290—299	300—309	310—319	320—329	330—339	340—349	350—359	0—9	10—19	20—29	30—39	40—49	50—59	60—69	70—79	80—89		
1	Нижнесилурийские доломиты	25	16 273	14 282	17 292	12 303	14 315	61 323	104 334	29 343	22 353	14 2	13 12	5 23	12 34	19 43	16 52	12 63	9 72	11 82		400
2	Верхнесилурийские доломиты	26	63 273	51 283	15 292	12 303	18 313	20 322	12 334	21 342	21 353	16 3	26 12	15 23	16 32	34 44	31 52	9 62	7 74	25 85		412
	Общее количество замеров в интервалах		79	65	32	24	32	81	116	50	43	30	39	20	28	53	47	21	16	36		812
	То же в %		10	8	4	3	4	10	14	6	5,5	3,5	5	2,5	3,5	6,5	6	2,5	2	4	100	
	Средний азимут простирания в интервале		273	283	292	303	314	323	334	343	353	3	12	23	33	44	52	63	73	84		

Системы трещин можно выделять как для таблиц по отдельным точкам наблюдения, так и для сводных таблиц. Системой называется естественная группировка трещин с близкими азимутами простирания. Системы образуют взаимосвязанные пары с углами, близкими к прямым (Шульц, 1969). В этом смысле рассматривают системы трещин и другие исследователи (Королев, Шехтман, 1965; Смехов, 1961, и др.). Е. М. Смехов рекомендует выделять системы непосредственно в поле, по ним вести измерения трещин. Бывают случаи, когда в обнажении трещины имеют очень близкие азимуты простирания, но чаще они оказываются разнообразными по направлениям. Выделяются системы лишь статистически. В тех случаях, когда замеры трещин группируются около одного максимума, такую совокупность, по-видимому, следует рассматривать как систему (рис. 2). Если же не наблюдается такого распределения замеров трещин, то для выявления систем необходимо применять критерии, позволяющие с определенной степенью достоверности подходить к их выделению.

Таким критерием для выявления систем, по-видимому, может служить величина 5,5%, полученная путем деления 100% (общее число замеров) на 18 (количество интервалов). Если бы ориентировка трещин была равномерной, то в каждый интервал попадало бы одинаковое количество измерений, т. е. 5,5%. Те интервалы, где количество замеров меньше 5,5%, отбрасываются, в систему попадают лишь те, где число замеров равно или превышает 5,5%. Полученные таким путем совокупности включают, обычно, не более пяти интервалов, т. е. отклонения крайних значений азимутов простираний от среднего составляют не более 25°. Однако предлагаемый метод не позволяет полностью решить задачу о выделении систем. Так, в тех случаях, когда выходящий за пределы 5,5% луч раздвоен в верхней части, вопрос об отнесении этого луча к одной или двум системам таким путем не выясняется. В подобных случаях, по-видимому, необходимы другие критерии (см. гл. 4).

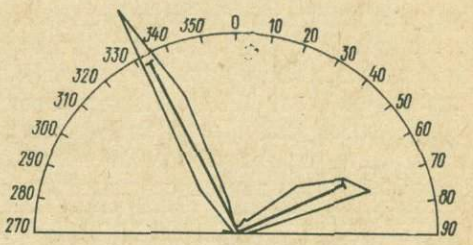

Рис. 2. Системы планетарных трещин, выделяемые по розе-диаграмме.

В каждой выделенной системе подсчитывается количество замеров, их процентное значение, средний (средневзвешенный) азимут простирания. Для определения среднего азимута простирания в системе можно пользоваться формулой

$$M = \frac{f_1V_1+f_2V_2+\ldots+f_nV_n}{f_1+f_2+\ldots+f_n},$$

где M — средний азимут простирания в системе; V — средний азимут простирания в десятиградусном интервале; f — количество замеров в каждом интервале.

Вычисленный средний азимут простирания в системе и процентное значение служат основой для построения векторных диаграмм. Диаграммы наносятся на те же трафареты, которые используются для построения роз-диаграмм. Они могут быть нанесены непосредственно на розы-диаграммы. Векторные диаграммы представляют собой наиболее обобщенный способ обработки фактического материала по планетарной трещиноватости. Число лучей в векторных диаграммах соответствует

числу выделенных систем, направление определяется средним азимутом простирания, а длина векторов соответствует количеству замеров в процентах, приходящемуся на данную систему.

Для обработки *наклонных трещин* применяются круговые диаграммы в изолиниях и точечные диаграммы. Методика построения точечных и круговых диаграмм в изолиниях описана ниже.

Изучение трещиноватости в горизонтально залегающих и слабо дислоцированных осадочных породах

Главной особенностью планетарных трещин в указанных толщах является закономерная их ориентировка относительно меридиана. Выявить эту закономерность можно путем массовых замеров азимутов простирания. Измеряются вертикальные, перпендикулярные напластованию трещины. Пластовые трещины в горизонтально лежащих толщах, как правило, не измеряются. Преобладающее развитие имеют трещины, секущие один пласт, не переходящие в ниже- и вышележащие слои. Это трещины II порядка. Лучше всего подобные трещины развиты в наиболее плотных породах. Трещины I порядка рассекают сразу несколько слоев (Смехов, 1961). Измеряются трещины I и II порядков.

У глин, опок, мергелей плоскости трещин совершенно гладкие, но не всегда строго прямолинейны. Как правило, вниз по разрезу они приобретают наклонное положение. Порода раскалывается на осколчатые отдельности. Подобные трещины, по А. С. Новиковой (1951), имеют «неправильный рисунок». Следует измерять как вертикальные плоскости отдельностей, так и наклонные. Вертикальные и наклонные отдельности имеют единые простирания.

Густота трещиноватости — количество трещин, приходящихся на один погонный метр обнажения. В горизонтально лежащих породах густота в первую очередь зависит от мощности пласта. На эту зависимость указывает целый ряд исследователей (Пермяков, 1949; Новикова, 1951; Шульц, 1965, 1973, и др.). Чем меньше мощность пласта, тем большее количество трещин его рассекает.

В полевых условиях для определения густоты трещиноватости необходимо измерить мощность пласта, подсчитать все трещины (I и II порядка), которые его секут, затем замерить длину участка (пласта), на котором производились подсчеты трещин. Количество трещин, приходящееся на 1 м, и будет являться густотой трещиноватости для пласта определенной мощности. Существенным фактором для определения густоты трещин является ориентировка разреза обнажения. При какой-либо одной ориентировке обнажения достаточно четко будут выражены трещины, плоскости которых перпендикулярны линии обнажения. Для того чтобы исключить влияние ориентировки обнажения на густоту трещин, необходимо (при условии хорошей обнаженности или в карьерах) выбрать несколько участков с различным простиранием. На каждом таком участке замеров подсчитывается густота трещин в одном и том же пласте и из полученных данных по всем участкам выводится средняя величина густоты трещиноватости.

На густоту трещиноватости оказывает влияние и вещественный состав пород. По мнению большинства исследователей наибольшая густота характерна для глинистых разновидностей пород (Булач, 1961; Калачева, 1968, и др.). По данным Е. М. Смехова (1974), вне зависимости от возраста пород, от условий залегания и распространения наибольшей густотой трещиноватости обладают глины, доломиты, известняки, а наименьшей — песчаники, конгломераты. В разных по вещественному составу породах исследователи приводят неодинаковые

соотношения между мощностями пород и расстоянием между трещинами.

У А. А. Богданова (1947) для флиша среднего карбона Южного Урала расстояние между трещинами в 0,6 раза меньше, чем мощность пласта. У А. С. Новиковой (1951) для известняков карбона северной части русской платформы и Подмосковья расстояние между трещинами примерно равно мощности пласта. По данным Лаборатории планетарной трещиноватости расстояние между трещинами в доломитах и известняках ордовика, девона и карбона на Северо-Западе Русской платформы и Среднем Поволжье примерно равно мощности пласта. У И. В. Кирилловой (1949) для песчаников палеогена района г. Сочи расстояние между трещинами дано в интервале, где минимальное значение равно мощности пласта, а максимальное — удвоенной мощности пласта.

В тех случаях, когда трещины группируются в четкие системы (например, в районе г. Изборска), можно измерять густоту трещиноватости одного направления («частота трещин», по А. С. Новиковой, густота систем трещин или линейная плотность Е. М. Смехова, удельная густота одного направления Е. Н. Пермякова). В пласте какой-либо мощности измеряются трещины, плоскости которых перпендикулярны обнажению, затем измеряется длина участка. Если же условия обнаженности не позволяют выбрать участки, расположенные перпендикулярно плоскостям трещин, тогда следует вводить поправку на угол между линией обнажения и плоскостью измеряемых трещин. Н. И. Соколов (1937) предлагает следующую формулу:

$$u = \frac{n}{\sin \alpha},$$

где u — истинное количество трещин данного направления; n — наблюдаемое количество трещин этого же направления; α — угол между линией простирания обнажения и простиранием трещин.

Е. Н. Пермяков считает более точным выражение

$$u = \frac{n+1}{\sin \alpha}.$$

Густота трещин в различных системах неодинакова. Это подтверждается данными Лаборатории планетарной трещиноватости и данными других исследователей. На Северо-Западе Русской плиты в пластах любой мощности трещины северо-западного простирания располагаются чаще, чем трещины северо-восточные. Еще реже развиты трещины широтного и меридионального направлений. Наиболее протяженные в плане трещины располагаются реже, чем менее протяженные, т. е. с увеличением длины густота трещин уменьшается.

При специальном изучении трещиноватости, в частности при изучении и поисках коллекторов нефти и газа и инженерно-геологических исследованиях, определяется густота трещиноватости на площадь и на объем. Густота трещиноватости на площадь (поверхностная плотность) рассматривается как общее количество всех трещин, или суммарная их длина (следов трещин), относящееся к единице площади. Для подсчета густоты трещин на площадь выбирается горизонтальная площадка, на которой измеряется количество всех трещин или их суммарная длина и площадь участка, на котором замерялись трещины. Густота трещиноватости на объем (объемная плотность или удельная трещинная проницаемость Е. Н. Пермякова) рассматривается как отношение суммы площадей всех трещин к объему горной породы. Для определения этой

величины необходимо учитывать мощность пласта или толщи, которую рассекают трещины, длину трещин и объем горной породы.

В полевых условиях вычислять густоту трещиноватости на площадь и на объем сложно, так как необходимо знать ширину, длину трещин. Ширина трещин — величина, характеризующая раскрытие трещин, длина — протяженность трещин (следов трещин) в плане. Измерить длину трещин можно лишь по линеаментам.

На пологих платформенных складках развиты перпендикулярные напластованию вертикальные и наклонные трещины. При изгибах пластов часть трещин (продольные относительно оси складки), оставаясь нормальными к напластованию, перестают быть вертикальными. Они приобретают угол наклона, дополнительный до 90° к углу падения пласта. Поперечные трещины при наклоне пластов сохраняют неизменным не только простирание, но и вертикальное положение. Полностью это относится к нормальным трещинам, заключенным в пределах одного пласта.

Замерять следует и вертикальные, и наклонные трещины. Азимут падения и простирания наклонных трещин требует пересчетов. Методика выпрямления пласта, предложенная И. В. Кирилловой, М. В. Гзовским, описана подробно Е. М. Михайловым (1956). Приведение пласта в горизонтальное положение и пересчет наклонных трещин удобнее всего делать на сетке Вульфа. Основные приемы пересчета трещин заключаются в следующем:

1) на сетку Вульфа накладывают восковку и на ней отмечают крестиком центр сетки, а четырьмя черточками — страны света: С, Ю, В, З (рис. 3, I);

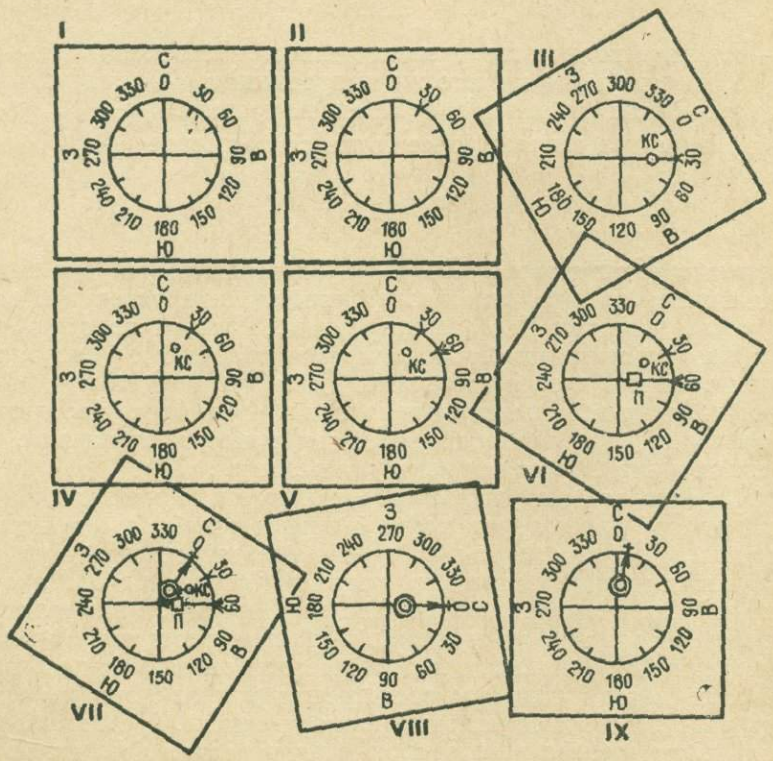

Рис. 3. Определение первичной ориентации слоев и плоскостей планетарной трещиноватости.

Объяснение в тексте.

2) на кальку наносят элементы залегания трещины. Азимут падения откладывается по внешнему кругу, отсчитывая от севера по часовой стрелке число градусов, на этом месте ставится «птичка» (см. рис. 3, II);

3) вращая восковку вокруг центра сетки, «птичку» совмещают с экватором. От центра сетки по экватору откладывается угол падения трещины. Полученную точку (кс) обводят кружком (см. рис. 3, III);

4) возвращают восковку в исходное положение. Наносится азимут падения пласта, так же как и азимут падения трещин. Местоположение его отмечается двумя «птичками» (см. рис. 3, IV, V);

5) вращая восковку, совмещают с экватором точку, отмеченную двумя «птичками». От центра сетки отсчитывается угол падения пласта, полученную точку (п) отмечают квадратом (см. рис. 3, VI);

6) точка в кружке переносится по ее параллели (дуге) на число градусов, равное углу падения пласта. Направление, в котором перемещается точка в кружке, определяется направлением от точки в квадратике к центру сетки. Полученную точку обводят двойным кружком (см. рис. 3, VI, VII);

7) точка в двойном кружке ставится на экватор. Путем отсчета количества градусов от центра сетки до самой точки (в двойном кружке) определяется первичный угол падения трещины (см. рис. 3, VIII);

8) для определения азимута падения трещины восковку приводят в исходное положение. Проведя радиус через искомую точку, находят на внешнем круге азимут падения трещины. При больших углах падения пластов и трещин и при опрокинутом залегании пластов, после нанесения элементов залегания трещины и пласта, точки в «кружке» (трещина) и в «квадратике» (пласт) оказываются по разные стороны от центрального меридиана. При приведении пласта к горизонту, т. е. точки в «квадратике» к центру сетки, точку в «кружке» переносят на 180° в другую сторону окружности. Остальные операции остаются теми же (см. рис. 3, IX).

При образовании и росте складок роль планетарных трещин в отдельных их частях меняется. В зависимости от направления давления они ведут себя по-разному. Так, на сводах антиклиналей трещины, которые расположены перпендикулярно направлению давления (продольные), будут раскрытыми. Трещины тех же систем на крыльях складок, наоборот, будут мало раскрытыми (сомкнутыми). Известно много примеров локальных платформенных складок, когда простирание их совпадает с одним из направлений трещиноватости (Павловская антиклиналь, Плявиньская антиклиналь на Северо-Западе Русской плиты и др.).

В процессе роста складок простирание трещин большей частью не меняется. Примером может служить Навессалинская активно растущая в новейшее время складка в Латвии. Изученная на ее площади трещиноватость имеет направления, характерные для девонских пород, распространенных за пределами складки. На крутых мелких локальных складках (гравитационных, складках выжимания и т. д.) углы наклона пластов могут быть значительными. На сводах развиты вертикальные трещины, а на крыльях преобладают наклонные. При очень крутом залегании слоя трещины могут иметь почти горизонтальное положение. Как вертикальные, так и наклонные трещины в основном заключены в пределах одного пласта. Наклонные к слою трещины в платформенных областях встречаются редко. На Северо-Западе Русской плиты они описаны в карьере у г. Пскова, в районах соляной тектоники и др. Подобные трещины требуют внимательного изучения.

На площадях платформенных складок или в зонах развития разрывных тектонических дислокаций некоторые исследователи указывают на увеличение густоты трещиноватости, описывают «зоны повышенной

трещиноватости». Есть указания на то, что наибольшей густотой характеризуются периклинали складок, и вообще распределение густоты на платформенных структурах определяется морфологическими особенностями самого поднятия (Дорофеева, 1968).

Зоны сильно трещиноватых пород можно наблюдать в местах развития карста и на сводах крутых мелких (гравитационных) складок. Породы обычно изменены, перетерты, разбиты многочисленными мелкими трещинками. Такие участки резко выделяются на фоне нормального развития трещиноватости. На пологих же складках трещины в основном заключены в пределах одного пласта, их густота зависит от мощности слоя.

Анализ полученного графического материала в виде частных роз-диаграмм, сводных роз-диаграмм и векторных диаграмм является дальнейшим этапом камеральной обработки. Истолкование полученных результатов может производиться двумя путями. Прежде всего весь имеющийся материал в виде роз-диаграмм (частных или сводных) и векторных диаграмм необходимо нанести на карту или схему, систематизировать по возрасту, вещественному составу пород и т. д. Такая систематизация материала позволит провести различные сопоставления простираний выявленных направлений, установить, сколько и какие господствующие системы характерны для исследуемой площади. Е. Н. Пермяков (1949) назвал это «качественным анализом трещиноватости».

Далее розы-диаграммы подвергаются углубленному «количественному» анализу. Качественный и количественный анализы положены в основу установленной Е. Н. Пермяковым связи между системами трещин и тектоническим строением района. Эмпирически установленная закономерность сформулирована в «правиле параллелограмма», по которому диагональ параллелограмма, построенного на главных (диагональных) лучах розы трещиноватости, направлена по линии простирания складки.

Е. Н. Пермяков (1949) всю совокупность трещин разделяет на два типа: продольный и диагональный. Продольный тип трещиноватости характеризуется продольным положением основных направлений трещин по отношению к линиям простираний складки, у диагонального главные системы трещин идут диагонально к направлениям простирания. Не зная параметров структуры, нельзя определить тип трещиноватости.

Большинство исследователей рассматривают ориентированность систем трещин не относительно структуры, а относительно меридиана. Планетарная трещиноватость осадочных пород платформенных областей характеризуется преобладанием диагональной (относительно меридиана) трещиноватости. Данные планетарной трещиноватости широко используются для определения параметров локальных структур по методике Е. Н. Пермякова. Суть метода состоит в том, что на диагональных лучах розы-диаграммы трещиноватости строится параллелограмм, одна из диагоналей которого направлена по линии простирания структуры. Сама роза-диаграмма (ее форма, длина лучей, угол между лучами) дает общие представления о структуре. Важнейшими положениями анализа формы роз-диаграмм являются: 1) длина диагональных лучей: если они равны, то структура симметрична; 2) угол между лучами: если он равен 90°, то структура симметрична по периклиналям; 3) если лучи равны и угол между ними равен 90°, то структура симметрична по крыльям и периклиналям.

Особенно четко эти закономерности выступают при построении внутри большого параллелограмма шестиугольника. Расчет параметров

структур производится по стандарту, включающему 36 формул. Зная азимуты простирания и длину в процентах главных диагональных лучей розы-диаграммы трещиноватости, общее число замеров на площади структуры и ориентировочную площадь структуры, можно вычислить простирание оси складки, форму и размер ее, величины каждого крыла и каждой периклинали, амплитуды поднятия и средних углов наклона слоев.

Методика расчета параметров структур детально изложена в книге Е. Н. Пермякова (1949), в сокращенном виде она приводится в гл. 2. Для построения параллелограмма необходима полная, развернутая на 360°, роза-диаграмма трещиноватости. Кроме того, для этой цели можно использовать векторные диаграммы. Для определения лишь простираний структур не обязательно строить параллелограмм, достаточно соединить концы лучей роз-диаграмм или концы векторных диаграмм линией, которая будет параллельна одной из диагоналей параллелограмма. Ось складки, по Е. Н. Пермякову, параллельна диагонали параллелограмма. Но складки могут быть параллельными разным диагоналям параллелограмма. Накопленный материал свидетельствует о том, что складки по-разному приспосабливаются к системам планетарных трещин (Шульц, 1969, 1973). Ось складки может быть параллельна линии, соединяющей концы северо-западного и северо-восточного или северо-западного и юго-западного лучей розы-диаграммы. Простирание складки может совпадать и с направлением самого луча розы-диаграммы трещиноватости (рис. 4).

53176

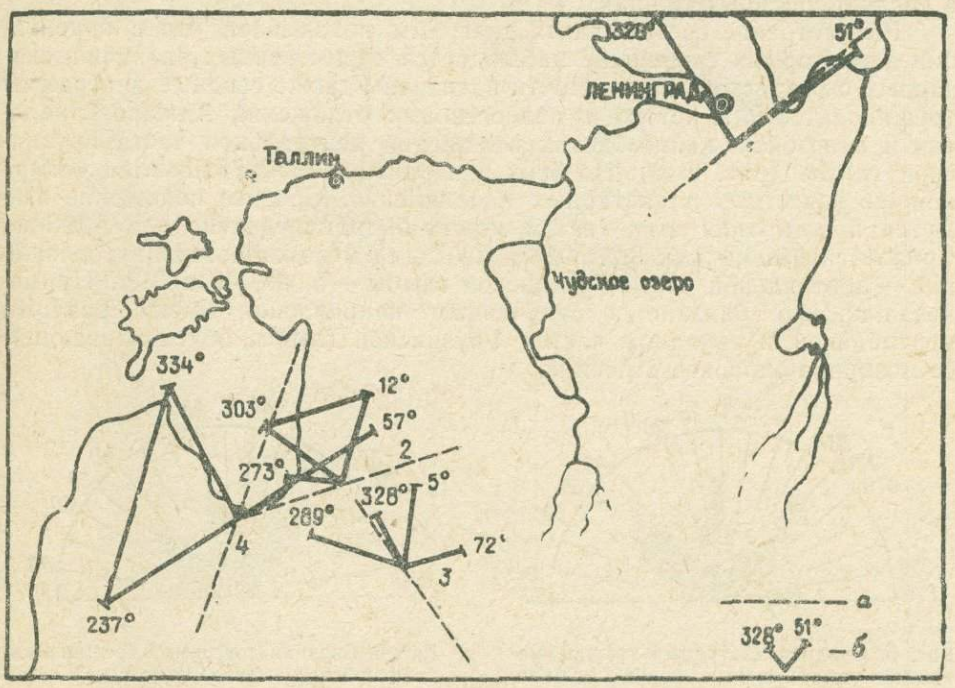

Рис. 4. Схема расположения простираний планетарной трещиноватости и тектонических нарушений.

Названия складок: *1* — Павловская; *2* — Инчукалинская; *3* — Плявиньская; *4* — Сябкская; *5* — простирание осей складок; *6* — векторные диаграммы трещиноватости; *а* — простирание осей складок; *б* — векторные диаграммы трещиноватости.

Институт геологических наук

Изучение трещиноватости в дислоцированных породах

Исследования последних лет с полной очевидностью свидетельствуют о том, что планетарная трещиноватость развита не только на платформах, но и в подвергшихся последующей дислокации толщах складчатых областей. Изучение планетарной сети разрывов и трещин дислоцированных толщ складчатых областей необходимо не только для получения картины их пространственного расположения, но и для выяснения их роли в процессе движения и деформации земной коры.

Наблюдения, проведенные на ряде участков территории Кавказа, показали, что во всех осадочных и осадочно-эффузивных толщах мезозойского, кайнозойского и частью палеозойского возраста повсеместно развита перпендикулярная напластованию трещиноватость, которая не приурочена к локальным тектоническим формам и, безусловно, должна быть отнесена к разряду планетарной.

В осадочных и осадочно-эффузивных породах Аджаро-Триалетской зоны и центральной части Грузинской глыбы было замерено более 35 000 упомянутых трещин. Путем приведения плоскостей слоистости к горизонту и соответствующей трансформации максимумов расположения планетарных трещин на отдельных диаграммах была определена их первичная ориентация. Затем составлялись розы-диаграммы первичных направлений этих трещин для пород различного возраста. Розы-диаграммы построены в двухградусном интервале. Выбор двухградусного интервала обусловлен особенностью методики, разработанной И. П. Гамкрелидзе для определения первичной ориентации планетарных трещин в дислоцированных толщах.

Рассмотрение составленных диаграмм показывает, что в ориентации планетарных трещин не наблюдается существенных различий, связанных с возрастом пород. Почти идентичны также сводные диаграммы трещиноватости меловых и палеогеновых отложений Аджаро-Триалетии и мезозойско-кайнозойских отложений центральной части Грузинской глыбы (рис. 5, 6). На этих диаграммах обнаруживаются четыре хорошо известных планетарных направления. Среднее положение азимутов простирания этих систем может быть определено для Аджаро-Триалетской зоны как 3,275, 48 и 323°, для мезо-кайнозойских отложений — центральной части Грузинской глыбы — 5, 85, 46 и 318°. Примечательно, что близкие к отмеченным направления имеют разломы центральной и западной частей Грузинской глыбы, обусловливающие ее мозаично-блоковое строение.

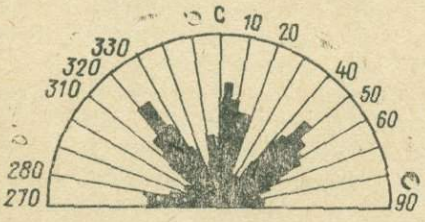

Рис. 5. Сводная диаграмма трещин меловых и палеогеновых пород Аджаро-Триалетской зоны (сумма замеров 23 100).

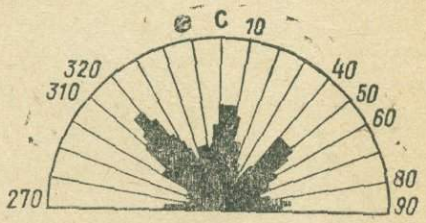

Рис. 6. Сводная диаграмма трещин мезо-кайнозойского чехла Грузинской глыбы (сумма замеров 12 300).

Наиболее интересным оказалось сравнение вышеприведенных диаграмм с диаграммами трещиноватости Дзирульского выступа кристаллического фундамента Грузинской глыбы (рис. 7). Пределы азимутов простирания трещин Дзирульского массива определяются как 350—20,

80—100, 30—50 и 310—340° и соответственно средние положения азимутов — 5, 90, 40, 325°. Эти направления вполне сопоставимы с приведенными выше направлениями систем планетарной трещиноватости осадочного чехла Грузинской глыбы (см. рис. 5, 6) и вряд ли могут считаться случайными. Тот факт, что трещины кристаллического субстрата являются не строго вертикальными (см. рис. 7), а несколько наклоненными к центральной части указанного выступа, должен объясняться более поздней деформацией, выразившейся и в наклоне мезо-кайнозойского осадочного чехла к периферии массива. При этом изменение первичного расположения трещин в самом массиве в отличие от осадочных толщ не поддается контролю, чем и вызвано, пожалуй, отсутствие более четких их максимумов.

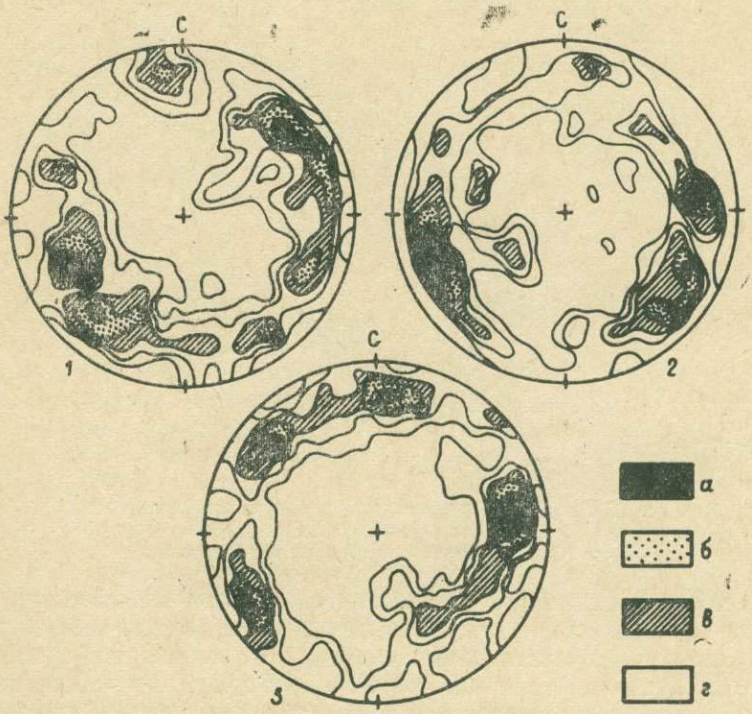

Рис. 7. Сводные диаграммы трещин Дзирульского выступа кристаллического субстрата Грузинской глыбы.

1 — кварцевых диоритов и плагиогранитов (сумма замеров 3750); *2* — микроклиновых гранитов (сумма замеров 3900); *3* — юрских гранитоидных интрузий (сумма замеров 3400); *а, б, в, г* — различная интенсивность проявления трещиноватости.

Явление «копирования» сети трещин фундамента трещиноватостью осадочного чехла было отмечено в некоторых частях Балтийского щита, в районе Большого Каньона Сан-Хуан (Аризона) и хребта Биг-Хорн (Вайоминг) и в северной части Русской платформы. Даются примерно одинаковые объяснения указанного явления. Допускается развитие трещиноватости осадочного чехла «по старым следам» (Бубнов, 1960), пассивное повторение осадочным покровом направлений структур фундамента (Hodgson, 1965) или «просвечивание» разрывной сети фундамента сквозь осадочный чехол (Чудинский, 1969). Однако ознакомление с данными о характере и направлениях трещиноватости указанных регионов не дает нам повода сомневаться в том, что описанное «копирование» трещиноватости вызвано существованием общепланетарных причин образования закономерной ориентировки трещин фундамента и осадочного чехла.

Как известно, основным геометрическим признаком планетарных трещин является их расположение перпендикулярно к плоскости напластования, независимо от степени их дислоцированности (Гамкрелидзе, 1972). Поэтому полюсы планетарных трещин на структурной диаграмме образуют пояса вдоль больших кругов плоскостей слоистости (рис. 8) и их распознавание не представляет особой трудности. Однако

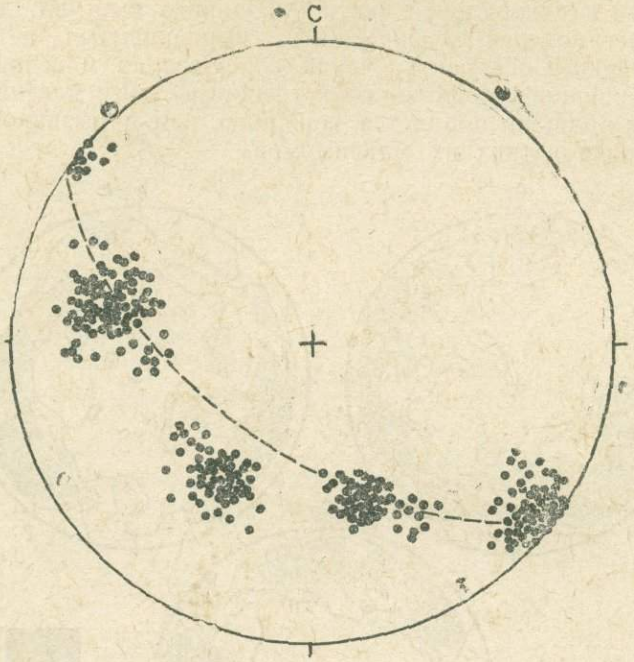

Рис. 8. Расположение полюсов планетарных трещин на структурной диаграмме (среднеэоценовые пелитовые туфы Аджаро-Триалетской складчатой зоны).

для уверенного отличия этих трещин от локально-тектонических следует установить их наиболее важный признак — сохранение ими закономерных направлений и независимость от локальных деформационных структур. Поэтому следует на структурных диаграммах, составленных в различных частях деформационных структур, например в разных крыльях складок, путем приведения к горизонту плоскостей слоистости, восстановить первоначальную ориентацию указанных трещин. Если максимумы трещин на диаграммах разных крыльев складки имеют одни и те же значения, то они с уверенностью могут быть отнесены к разряду планетарных. Для определения первичной ориентации планетарных трещин в дислоцированных толщах используется точечная диаграмма, изображенная на экваториальной сетке равноплощадной азимутальной проекции (сетке Шмидта).

Ввиду того, что операция выпрямления пласта и наклонных трещин очень трудоемкая, при наличии четких максимумов планетарных трещин на отдельных диаграммах трансформируются не единичные трещины, а площади их максимальной группировки (максимумы). В подобных случаях целесообразно применять не сетку Вульфа, а равноплощадную азимутальную проекцию — сетку Шмидта, в которой имеет место равномерное искажение сферы в единой плоскости проекции. На сетке Вульфа значительно искажаются площади и соответственно азимутальные интервалы (группировки) трещин при их трансформации.

Операции приведения полюса плоскости слоистости к горизонту и соответствующего перемещения плоскостей планетарных трещин в первоначальное положение на сетке Вульфа описаны в предыдущем разделе руководства. Приемы работы на сетке Вульфа и Шмидта одни и те же.

Опыт составления сводных роз-диаграмм планетарной трещиноватости дислоцированных толщ показывает, что в случае трансформации на отдельных диаграммах максимумов этих трещин более целесообразным является составление сводных роз-диаграмм с расходящимися лучами с интервалами в 2°, с многократным уменьшением радиального масштаба при суммировании (см. рис. 8).

Изучение микротрещиноватости

Важным достижением последних лет в изучении трещиноватости явилось установление в горных породах микротрещин, обладающих теми же общими закономерностями развития, что и макротрещины, широко доступные наблюдению в обнажениях на дневной поверхности *. Эти данные открыли большие перспективы в познании происхождения трещиноватости, закономерностей ее развития, ее связей с дизъюнктивными формами дислокаций, в выяснении условий фильтрации нефти и газа и в выделении трещинных коллекторов как по разрезу, так и по площади локальных структур.

Исследованиями ВНИГРИ установлено, что макротрещины, наблюдаемые в обнажениях на дневной поверхности и вблизи нее, избирательно развиваются по тончайшим микротрещинам, раскрытость которых на глубине измеряется первыми десятками микрон. Именно такие трещины имеют ведущее значение в фильтрации флюидов.

Изучение встречающихся в керне систем трещин и приведение их в координаты пласта показали, что на глубине, так же как и на поверхности, наблюдаются те же системы трещин. При этом количество систем трещин оказалось аналогичным установленному по естественным обнажениям. Исследованиями в естественных обнажениях установлено, что в платформенных условиях в основном развиты перпендикулярные к слою трещины. В складчатых же областях наклонные системы трещин развиты в такой же степени, как и в перпендикулярных к слою. Горизонтальные трещины обычно распространены на платформах. Аналогичная закономерность отмечается и на глубине.

Изучение изменения густоты трещин показало также, что густота трещин всех систем изменяется в породах различного литологического состава в одном направлении (т. е. увеличивается или уменьшается сразу для всех систем). Этот вывод является весьма важным для исследования интенсивности трещиноватости на глубине; он указывает на правомочность изучения интенсивности трещиноватости по общей густоте всех систем.

На основе исследований очередности образования систем трещин установлено, что развитые в породах системы тектонических трещин возникли не сразу, а последовательно; очередность возникновения их одинакова как на поверхности, так и на глубине. Подтверждением многоэтапности образования трещин являются неоднократно наблюдаемые следы деформации трещин, которую они претерпевают уже после заполнения их минеральным веществом. По анализу данных о распро-

---

* Некоторые положения, излагаемые по данному вопросу (Т. В. Дорофеева, Е. М Смехов), резко отличаются от представлений других авторов и редактора этой книги.

странении отдельных систем трещин установлено, что количество их в осадочной толще изменяется не только во времени, но и в пространстве.

Важнейшим параметром трещиноватости является раскрытие трещин. Для оценки раскрытия трещин существенное значение имеют представления об упругих свойствах трещиноватых и трещиновато-пористых сред. Упругие свойства указанных сред, как показали работы последних лет, определяются контактами (точки соприкосновения стенок) в трещинах. Наличие контактов в трещинах несомненно: в противном случае под действием горного давления в глубокозалегающих пластах горных пород трещины неизбежно бы сомкнулись. Проведенными исследованиями установлено, что показателем среднего расстояния между контактами в трещинах (которое в различных породах хотя и неодинаково, но в среднем измеряется первыми сантиметрами) являются упругие свойства трещиноватой породы.

Наиболее распространенным до последнего времени методом определения ориентировок трещин являлось построение структурных диаграмм для одной (роза-диаграмма) и двух (различные типы диаграмм на азимутальных сетках) переменных (см. выше).

Методика выделения участков относительно повышенной трещиноватости по площади поднятий (для глубоких горизонтов) заключается в следующем: 1) составляют структурную карту поднятия по кровле исследуемого горизонта (по данным всех пробуренных скважин); 2) данные по трещиноватости используются только по тем скважинам, в которых исследуемый горизонт полностью представлен керном; 3) затем производят выбор параметров для сравнительной оценки коллекторских свойств данного горизонта.

В зависимости от поставленных задач используются следующие параметры: 1) для выделения участков повышенной трещиноватости пород — общая густота трещин (залеченных и эффективных); 2) для выделения участков повышенной эффективности трещиноватости — густота эффективных трещин. В тех случаях, когда ширина (раскрытость) эффективных трещин для исследуемого горизонта является величиной постоянной (допустим, она всюду равна 0,02 мм), можно использовать величину трещинной проницаемости; 3) для выделения на поднятии участков повышенной трещинной пористости — величина трещинной проницаемости.

Изучение трещиноватости пород по керну ограничено тем, что керн (а соответственно и трещины) при пологом залегании пород часто трудно ориентировать. Кроме того, объем керна весьма мал и выход его обычно незначителен. Однако даже при таких ограниченных условиях представляется возможность оценить рассматриваемую толщу в отношении развития в ней трещиноватости.

Последовательность возникновения систем трещин может быть определена по очередности пересечения залеченных трещин. Определить последовательность образования систем трещин по керну скважин значительно труднее, чем в обнажениях, поскольку в керне встречаются только единичные трещины и еще реже места пересечения нескольких трещин. Поэтому восстановление общей картины последовательного образования трещин возможно только по мере накопления большого фактического материала. С другой стороны, керновый материал имеет то преимущество, что здесь наблюдается большая сохранность залеченных трещин. Очередность пересечения залеченных (минеральных) трещин при достаточно большой их ширине можно наблюдать непосредственно в керне. Очередность пересечения микротрещин можно установить в шлифах. В этом случае микротрещины и плоскость шлифа должны быть строго ориентированы по отношению к плоскости

наслоения породы. В тех случаях, когда в керне наблюдается значительный наклон пород (более 5°), возможно восстановить наименование систем трещин в координатах пласта, а при наличии пересечений нескольких трещин — определить последовательность их образования.

По своему происхождению трещины подразделяются на литогенетические (диагенетические, эпигенетические) и тектонические. По своему расположению относительно структуры породы они подразделяются на межзерновые, межформенные, рассекающие зерна, или форменные элементы, проходящие внутри минеральных трещин, стилолитов или рассекающие их. Относительно напластования они располагаются перпендикулярно, параллельно или наклонно. По конфигурации трещины могут быть прямолинейными, слабоизвилистыми, извилистыми (прерывистыми или непрерывными), ветвящимися (перистыми, дендритовидными).

Размер микротрещин характеризуется их шириной (раскрытостью) и длиной. Ширина эффективных трещин колеблется от разрешающей возможности микроскопа до 20—25 мкм и может быть равномерной или неравномерной по ходу трещин. Как показали многочисленные наблюдения в шлифах, наиболее часто встречающиеся значения ширины (раскрытия) трещин варьируют от 10 до 20 мкм. Длина трещин в зависимости от их генезиса меняется в широких пределах: так, трещины, возникшие в результате диагенетической перекристаллизации или доломитизации, имеют длину от долей миллиметра — верхний предел их ограничен размером шлифа. Трещины эпигенетического и тектонического происхождения имеют длину от 2 мм до максимальных значений, соответствующих величине шлифа и более.

Изучение трещиноватости в многолетнемерзлых породах

В области распространения многолетнемерзлых горных пород наблюдается большое число различных полигональных образований, к которым относятся и полигональные грунты, связанные с развитием морозобойных трещин. Последние располагаются одна от другой на расстояниях, при которых растягивающие усилия составляют величины, равные сопротивлению материала на разрыв. Ширина образующихся при промерзании породы зияющих трещин обычно не превышает 1—3 см. Летом трещины заполняются водой, а зимой замерзающая и увеличивающаяся в объеме вода раздвигает их стенки, в результате чего образуются ледяные клинья. В зависимости от условий образования размеры ледяных тел изменяются в широких пределах.

В современную эпоху верхняя часть ледяных клиньев разрушается, в результате чего возникает система разной величины канавообразных понижений, образующих в плане четырех-, пяти- и шестиугольные полигоны. Длина сторон четырехугольников колеблется от нескольких метров до нескольких десятков и даже до нескольких сотен метров; пяти- и шестиугольники имеют меньшие размеры. Ширина канав обычно не превышает 0,5—1 м, глубина —0,5—0,8 м.

Замечено, что одни стороны рассматриваемых полигональных образований располагаются параллельно простиранию ближайшей эрозионной или абразионной формы (берегу реки или озера), другие — перпендикулярно к ним. Такие взаимоотношения простираний сторон многоугольников выдерживаются при всех изменениях направлений указанных линеаментов.

Стороны четырехугольников обычно имеют следующие направления: З 270°, С 0°, СЗ 325°, СВ 45°. Такие же направления имеют и развитые на этих участках линеаменты (долины водотоков), простран-

ственное положение которых предопределено системой планетарных трещин. Следует, однако, отметить, что наряду с указанными системами довольно часто встречаются простирания 10, 65, 290°, не имеющие аналогов на других розах-диаграммах. Они являются отражением каких-то местных причин, поэтому статистическую обработку материалов следует проводить путем построения роз-диаграмм только для отдельных участков.

У пяти- и шестиугольников только одна или две стороны имеют простирания, параллельные развитым на этих участках линеаментам. Направления остальных сторон изменяются в широких пределах, причем на разных участках они не повторяются. Одни из них имеют простирания, аналогичные отклонениям от основных направлений планетарных трещин у четырехугольников (10, 65, 290°), другие образуют лучи 5, 25, 55, 70, 345°.

Изучение трещиноватости в плутонических породах

В плутонических породах так же, как и в осадочных, широко распространены планетарные трещины, к которым относятся первичные трещины плутонов, образовавшиеся в последние стадии их формирования, в процессе застывания магмы. Эти трещины пользуются повсеместным распространением и характеризуются пространственной ориентировкой основных систем, часто совпадающей с простиранием структур течения плутона и структурных элементов вмещающих толщ. Существование общих закономерностей ориентировки может быть объяснено только планетарными причинами — теми планетарными напряжениями, которые действовали одинаково направленно как на плутоническое тело в момент его формирования, так и на вмещающие породы. Планетарные закономерности наблюдаются и в пространственном распределении даек, как тел, выполняющих планетарные трещины, таким образом структуры течения, трещины и дайки являются взаимосвязанными элементами (в отношении ориентировки). Наблюдения над ними (замеры в поле и последующая статистическая обработка) по отдельности или вместе могут служить одной цели — выявлению общих планетарных закономерностей их пространственного распространения (относительно географического меридиана). Не меньший интерес представляет и выявление отклонений от общих закономерностей.

В плутонических породах обычно выделяют первичные и вторичные трещины (прототектонические и эпитектонические, по Г. Д. Ажгирею), которые различаются между собой по целому ряду признаков. В расслоенных плутонах (тела преимущественно основного, ультраосновного и щелочного состава) главным критерием отнесения трещин к первичным является наличие или отсутствие закономерной их связи со структурными элементами жидкой фазы формирования плутонов — линейно-параллельными и плоскопараллельными структурами (или структурами «течения»). Для этого в полевых условиях важно установить соотношение трещин с первичными структурами «течения» и выявить их морфологические особенности. Важно уметь различать между собой линейно-параллельные и плоскопараллельные структуры.

Напомним, что линейно-параллельные структуры ориентировки * проявляются в параллельном расположении удлиненных, призматических, игольчатых и таблитчатых минералов, удлиненных шлиров и ксенолитов вмещающих пород. План-параллельная ориентировка ** (мно-

* Синонимы: волокно, сланцеватость, линейный параллелизм и пр.

** Синонимы: плоскопараллельные структуры, следы плоскостей истечения, плоскостная или план-параллельная текстура течения, первичная полосатость, трахитоидность и пр.

гими исследователями называемая слоями течения магмы) выражается в послойном чередовании пород различного состава, разной зернистости, или в плоскопараллельном расположении уплощенных шлиров или ксенолитов. При полевых исследованиях структуры «течения» необходимо изучать в пределах всей площади плутонического тела, отмечая их особенности в различных его частях. Изучение этих структур рекомендуется проводить путем наблюдений за расположением минералов, ксенолитов и шлиров, отмечая их форму и вытянутость.

Особенно важно определить пространственную ориентировку вытянутых элементов. В случае плоскостных структур необходимо замерить их азимуты простирания и падения, а также угол падения, точно таким же способом, как это делается в слоистых осадочных породах. При определении положения в пространстве линейных структур следует выяснить азимут наклона и угол наклона вытянутости отдельных зерен минералов или групп зерен к горизонту. Техника замеров изложена в многочисленных методических руководствах.

Рекомендуется непосредственно в обнажении (если представится такая возможность) установить соотношения плоскопараллельных и линейно-параллельных структур, так как не всегда простирания этих структурных элементов совпадают. Г. Д. Ажгирей имеющиеся несовпадения объясняет различным генезисом линейно-параллельной ориентировки. При изучении линейно-параллельных и плоскопараллельных ориентировок в плутоническом теле необходимо устанавливать связь пространственной ориентировки этих элементов структуры с формой тела и с простираниями складчатых тектонических структур вмещающих пород.

Разобравшись в структурах течения, можно приступить к выявлению первичных трещин. Первичные трещины, как было указано выше, располагаются строго определенным образом по отношению к структурам «течения» (рис. 9). Хорошо известны следующие главные системы первичных трещин: продольные (S), поперечные (Q) и пологозалегающие пластовые трещины (L). Трещины S совпадают с простиранием первичных линий «течения»; трещины Q расположены перпендикулярно первичным линиям течения, а трещины L отвечают первичной пластовой отдельности плутонических тел и расположены в плоскости планпараллельной структуры. Кроме того, выделяются еще диагональные и краевые трещины.

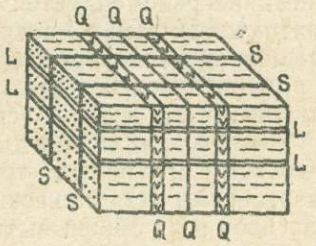

Рис. 9. Взаимоотношения элементов линейной структуры гранита с трещинами (по В. А. Апродову). Структурный блок из верхней части плутона. Штрихами показаны линейные элементы структуры плутона.

Объяснение в тексте.

Правильному выявлению этих систем трещин в каждом изучаемом объекте может оказать помощь спичечный коробок (модель структурного блока), где широкая сторона с этикеткой принимается за поверхность полосатости и пластовых трещин L; спички обозначают линейность; короткие стенки — трещины Q, длинные стенки — трещины S. Совмещая соответствующую грань коробки с положением того или иного структурного элемента, можно установить, как будут располагаться другие структурные элементы.

В нерасслоенных плутонах определить продольно-поперечную и пластовую взаимосвязанные системы трещин, отвечающие трещинам S, Q и L, можно статистическим путем, произведя в полевых условиях мас-

совые замеры всех вертикальных трещин. Детальное описание метода приведено в работе В. К. Монича (1956).

При выявлении систем первичных трещин важно обращать внимание на морфологические признаки трещин, прежде всего такие, как: протяженность, совершенство выраженности и минеральное заполнение. Обычно принято считать, что трещины *S* более грубые (по сравнению с другими системами), без ясного раскола, часто короткие, с неровными стенками. Обычно они выражены хуже трещин других систем, пустые, закрытые, иногда заполнены кальцитом и глинистыми минералами. Трещины *Q* имеют значительную длину, прямолинейны, отчетливы; заполнены аплитами, пегматитами, кварцем, нередко стенки покрыты пиритом. Перечисленные морфологические признаки не всегда отчетливо проявляются и не могут служить надежным критерием при распознавании трещин *S* и *Q*.

Выявив первичные трещины, следует определить их пространственную ориентировку. Но первичные трещины не всегда возможно определить, а тем более выделить все их системы. В таком случае рекомендуется изучать (замерять и описывать) все трещины: вертикальные, наклонные и пластовые.

Для объективного выявления закономерностей пространственного распределения трещин необходимо равномерной сетью точек наблюдения покрыть всю площадь плутона, а также вмещающие породы в экзоконтактовой зоне, шириной 1—5 км. Точки следует помещать в различных частях массива, а в случае его многофазного сложного строения и в каждой разновидности пород. Затем провести массовые замеры трещин в каждом выбранном объекте.

Главное внимание следует уделять вертикальным трещинам, образующим самую представительную и многочисленную группу трещин в плутонических породах. Важно установить основные направления простираний вертикальных трещин в целом для плутона и проследить, как меняются эти направления по площади изучаемого массива. Особое внимание рекомендуется обращать на изучение трещиноватости в приконтактовых зонах массивов. Если и имеются отклонения простираний трещин от планетарных, то они наиболее ярко будут выражены именно в приконтактовых зонах. Следует отдельно замерять трещины приконтактовых зон и затем сравнивать их с трещинами других участков*.

Кроме того, необходимо изучать соотношения вертикальных трещин с другими группами трещин (наклонными, пологозалегающими), с разрывными тектоническими нарушениями, с направлениями контактов массивов и их общей вытянутостью. Важно выявить в полевых условиях соотношения трещин плутона с трещинами вмещающих и перекрывающих пород, а также с простиранием складчатых и разрывных структур крупного региона.

При массовом изучении трещиноватости также важно обращать внимание на соотношение трещин с элементами структур «течения» и в полевых условиях (если будет возможность) классифицировать трещины на *S*, *Q* и *L*. Выявлена интересная закономерность. Не всегда ориентировка отдельно взятых кристаллов или групп кристаллов, отдельных вытянутых шлиров и ксенолитов совпадает с простиранием каждой отдельной трещины. При статистической же обработке массовых замеров элементов структур течения и трещин и последующем сравнении роз-диаграмм вырисовывается большое сходство в ориентировке их простираний.

---

* Как показали наши наблюдения в районах Балтийского и Украинского щитов, простирания вертикальных трещин приконтактовых зон мало отличаются от таковых центральных участков плутонов.

Наблюдения над наклонными трещинами проводятся так же, как и над вертикальными, с той лишь разницей, что в случае наклонных трещин замеряют их азимуты и углы падения. Следует проводить наблюдения и над пластовыми (горизонтальными) трещинами (*L* по классификации Клооса). Они располагаются всегда перпендикулярно продольно-поперечным трещинам и являются как бы структурным аналогом поверхности напластования в осадочных породах.

Необходимо изучить и описать морфологию пластовых трещин, жильные проявления, проследить их распространение в пределах всего массива. Особое внимание уделить выявлению соотношения плоскости пластовой отдельности и поверхности контакта плутонического тела. Для этого требуется тщательно замерить элементы залегания пластовой отдельности и поверхности контакта.

Вертикальные и горизонтальные трещины — взаимосвязанные явления. Выявив пластовую отдельность, можно точно установить продольно-поперечную систему вертикальных трещин. И наоборот, зная направления продольно-поперечной системы трещин, можно определить каждый изгиб пластовой поверхности. Способ нахождения по розам-диаграммам вертикальных трещин точного положения пластовой отдельности детально описан В. К. Моничем (1956).

Вспомогательными методами при выявлении структур течения и трещин могут служить методы микроструктурного анализа и микромагнитной съемки. Микроструктурный анализ (применительно к нашим целям) дает возможность выявить закономерность расположения минералов в породах, а также и ориентировку внутреннего строения минералов более точными петроструктурными способами—под микроскопом на Федоровском столике. Детально методика микроструктурного анализа (проведение полевых исследований и обработка полученных данных) изложена в работах Н. А. Елисеева и др.

Микромагнитная съемка проводится для выяснения причин микроаномалий и для выявления их связи со структурами течения и трещинами. Эти работы целесообразно проводить совместно с другими методами изучения трещин и структур течения. Методика проведения микромагнитной съемки и возможности этого метода с целью выявления трещин рассматриваются в работах В. И. Федюка (1958), В. Д. Огородникова (1966) и др.

Очень важно изучать изменения, появившиеся в планетарных трещинах в результате воздействия на участок земной коры, их заключающий, тектонических деформаций. Первоначально не отличавшиеся друг от друга планетарные трещины приобретут признаки тектонических воздействий. Они станут открытыми или закрытыми в зависимости от направления приложенных тектонических усилий (см. гл. 3).

В полевых условиях очень важно и необходимо изучать следы тектонических подвижек по планетарным трещинам (зеркала, борозды скольжения, ступеньки и пр.), определять и отличать типы тектонических нарушений, приуроченных к сети планетарных трещин. Выявлять зоны дробления, милонитизации и отдельно в этих зонах изучать мелкие трещины, а затем сопоставлять их с трещинами участков, не затронутых тектоническими процессами.

Особое внимание следует уделять жилам и дайкам. Они характеризуются разным вещественным составом (ультраосновные, основные и кислые дайки), изменяющимся во времени, и образуют зоны, пояса и группы, приуроченные к открытым планетарным трещинам разных направлений. Выяснив соотношение даек между собой, а также определив их абсолютный возраст, можно установить последовательность приоткрывания во времени различных систем трещин и наметить изменчи-

вость магматизма, тектонических напряжений и восстановить историю геологического развития изучаемого региона.

При полевых исследованиях для жил и даек рекомендуется устанавливать их генеральное простирание и падение, протяженность и густоту в плане, мощность выхода и характер контакта с вмещающими породами, а также особенности внутреннего строения. Необходимо расчленить жилы и дайки по вещественному составу и выявить взаимоотношения между жилами и дайками разного состава и «пустыми» закрытыми трещинами.

Важно отмечать связь жильных образований с первичными (планетарными) трещинами плутона. Установлено, что пегматитовые, кварцевые и аплитовые жилы генетически связаны с плутоном. Дайки и жилы, представленные субвулканическими породами (габбро-диабазы, диабазовые порфириты, диоритовые порфириты, породы щелочного состава), являются уже более поздними образованиями. При выявлении пространственных закономерностей даек наряду с полевыми наблюдениями целесообразно с геологических и геофизических карт, а также с аэрофотоснимков, перенести все дайки на кальку, замерить их простирания транспортиром и затем статистически обработать. Изучение пространственного распределения даек и выделение поясов даек представляют большой интерес для выявления ослабленных зон (скрытых нарушений) фундамента. Также необходимо изучать размещение отдельных даек внутри этих поясов. Методические вопросы выявления ослабленных зон фундамента по дайковым поясам рассмотрены в работе И. Н. Томсона (1962).

Обязательно составление полевых карт (калек-накладок на геологические карты) с нанесением на них всех точек наблюдений, контуров плутонов, границ фаз и фаций пород, плоскопараллельных и линейно-параллельных структур течения, трещин и даек. На схему определенной системой значков наносятся их элементы залегания. Очень хорошо различные структурные элементы показать разным цветом. Трещины наносятся на карту после предварительной их статистической обработки и выделения систем. Масштаб карты выбирается по усмотрению исследователя. Желательно составление крупных планов на отдельные, особенно интересные участки.

Большой интерес представляет сопоставление простираний основных систем вертикальных трещин и разрывных тектонических нарушений. Для этого с геологических карт (желательно выбрать наиболее крупномасштабные карты из имеющихся) или аэрофотоснимков переносят все разрывные тектонические нарушения и замеряют их простирания. Затем полученные данные статистически обрабатывают и сравнивают результаты с выявленными системами вертикальных трещин. Можно на специальную кальку-накладку нанести сеть разрывных тектонических нарушений (красным цветом) и основные простирания вертикальных трещин, выявленные по векторам на розах-диаграммах (синим цветом), тогда различия или сходство будут очевидными.

Обработка собранных в поле материалов выполняется статистическими методами при помощи построения различных диаграмм. Для обработки вертикальных трещин, развитых в магматических породах, так же как и в осадочных отложениях, наиболее удачными диаграммами являются розы-диаграммы и векторные диаграммы, построенные по замерам простираний вертикальных трещин. Эти диаграммы дают возможность наиболее объективно выявить, а также наглядно и точно выразить направления планетарных трещин определенного региона. Кроме того, будет облегчено сравнение простираний вертикальных трещин магматических и осадочных пород.

Способ построения роз-диаграмм и векторных диаграмм тот же, что и применяемый при обработке трещин в осадочных породах. Розы-диаграммы следует строить для каждой разновидности пород плутона, для различных его частей и плутона в целом. С помощью сводной розы-диаграммы, ориентируясь на ближайшие контакты плутона и его общее удлинение, можно выделить продольно-поперечную (наиболее развитую) и диагональную системы трещин. Статистическую обработку замеров даек как тел, выполняющих вертикальные трещины, и разрывных дислокаций также рекомендуется проводить путем составления таблиц и построения роз-диаграмм. Можно совместить на одном листе розы-диаграммы систем трещин, даек и разрывных тектонических дислокаций, показав их разным цветом.

Трещины, плоскопараллельные ориентировки, а также ориентированные микроструктурные элементы в магматических породах удобно обрабатывать на круговых диаграммах. Они строятся на полярных или экваториальных стереографических сетках, представляющих собой стереографические проекции градусной сети. Полярные сетки (сетка Болдырева) обычно применяют при обработке данных по замерам структурных элементов, привязанных к странам света. Экваториальные сетки (сетки Вульфа или Шмидта) используются в микроструктурном анализе, когда на стереографическую проекцию наносятся результаты измерений на Федоровском столике. Полярные стереографические сетки отличаются от экваториальных положением полюса в центре проекции.

На полярной стереографической сетке можно строить круговые точечные диаграммы и круговые диаграммы в изолиниях. Наиболее проста по построению и вполне удовлетворительна для выявления пространственной ориентировки структурных элементов в магматических породах круговая точечная диаграмма. Круговая точечная диаграмма * изображается в виде круга диаметром 18 см, на который нанесены радиусы и концентрические окружности. Радиусы представляют собой проекции меридианов и служат для нанесения замеров азимутов падения трещин; концентрические окружности соответствуют параллелям и используются для отсчета углов падения. Радиусы проводятся через 5°, а концентрические окружности через 5 мм, что соответствует углам падения от 5 до 90°. С внешней стороны окружности по часовой стрелке надписываются азимуты от 0 до 360°. Можно и изменить размер полярной сетки. Сетку рекомендуется вычерчивать на плотной бумаге.

Для составления круговой диаграммы на полярную сетку накладывается калька, на которой обозначаются окружность и меридиан. Значками (лучше точками) наносятся по элементам залегания полюсы плоскостей трещин. Точечное обозначение наиболее удобно для статистической обработки наблюдений. Точки в пределах восковки образуют определенные группировки. Крутопадающие трещины располагаются вблизи внешней окружности, пологие стремятся к центру круга. Иногда точечные группировки настолько отчетливы, что не требуется дальнейшей обработки для выявления максимумов. В этом случае просто очерчивается карандашом каждая группировка и определяются ее элементы залегания.

Иногда же требуется определить частоту распределения полюсов трещин. Это делается различными методами, из которых наиболее простой способ предлагают А. В. Королев и П. А. Шехтман (1965). Это

---

* Описание приводится по А. В. Королеву и Б. А. Шехтману (1965).

метод скользящего статистического окна. В качестве элемента статистического окна они рекомендуют взять площадки полярной сетки в 5, 10 и 15°. Размер окна зависит от количества замеров точек. При количестве точек более 300 он составляет 5°, при 200—300 замерах — 10°, а при меньшем количестве — 15°. Затем подсчитывается количество точек каждой площадки статистического окна. Число, обозначающее количество точек, ставится под точкой, поставленной в центре каждой площадки. При размерах окна в 10° точки подсчитываются в пределах четырех площадок. Центр будет находиться на пересечении линий трафарета диаграмм. Для усреднения показателей при следующем подсчете граница окна смещается только на один ряд площадки, т. е. на 5° по дуге или по радиусу. Подсчет точек для периферической полосы мы не приводим, поскольку вертикальные трещины обрабатываем отдельно.

Определив количество точек и составив кальку распределения цифр, обозначающих количество точек на площадке, можно изобразить размещение точек в изолиниях. Изолинии строятся на этой же кальке с точками обычными способами, применяемыми в топографии. Значение изолиний удобно выбирать с неравными интервалами. Например, можно применять такие значения изолиний: 1—2—3—5—7—10—15—25—35——50. Интервал увеличивается по мере увеличения значения изолиний. С помощью изолиний отчетливо и точно выявляются точки наибольшего сгущения трещин — полюсы. Затем определяются элементы залегания этих полюсов. Точно таким же способом на круговых диаграммах можно обработать замеры по наклонным дайкам, жилам и плоскопараллельным структурам магматических тел. Все эти диаграммы хорошо выполнять в разном цвете с тем, чтобы их легче было сравнивать между собой и с диаграммами трещин.

Выявленные с помощью круговых диаграмм простирания наклонных трещин, даек, жил и плоскостей «течения» необходимо сравнить с простираниями вертикальных трещин, развитых на том же участке или в том же регионе, что и наклонные трещины. Это можно сделать путем совмещения розы-диаграммы и круговой диаграммы: можно либо построить розу-диаграмму в центре той же круговой диаграммы, либо сделать кальку-накладку с розой-диаграммой. Причем нулевая точка на розе-диаграмме должна совпадать с центром круга круговой диаграммы.

Для обобщения данных по большому региону в области развития магматических пород полезно составлять синоптические диаграммы. Они являются более наглядными, чем сводные круговые диаграммы, где показано большое количество замеров. Синоптические диаграммы составляются путем нанесения на вышеописанный трафарет круговой диаграммы центров максимумов трещин частных диаграмм. Наиболее густые максимумы показываются черными кружками (рис. 10). На синоптической диаграмме можно одновременно изобразить полюсы трещин (разной густоты) жил, даек, шлиров, показав их разными значками.

В некоторых случаях при специальных исследованиях массовой обработке подвергаются и микроструктурные элементы магматических тел, замеренные по ориентированным шлифам на Федоровском столике. В шлифах определяют ориентировку одноосных минералов, статистически измеряя положения оптических осей (кварца, кальцита, нефелина) или спайности и двойникования (слюда). Производят около 300 замеров и результаты наносят на равноплощадную сетку Шмидта (реже Вульфа). Затем определяют максимумы скоплений точек, соответствующих направлению определенных векторов в пространстве.

Детально методика микроструктурного анализа и интерпретация полученных результатов изложены в работах Н. А. Елисеева, Л. И. Лукина и др.

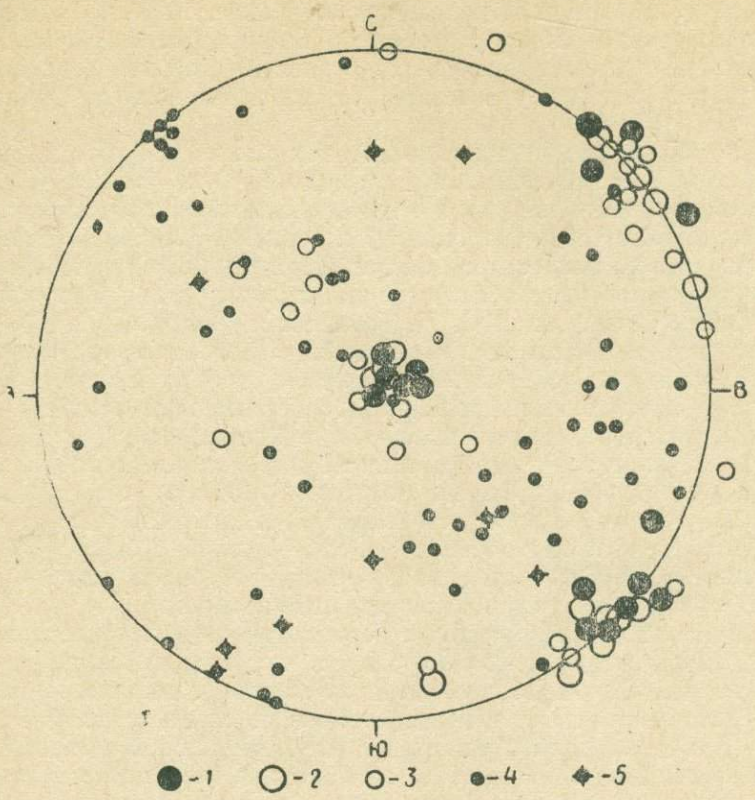

Рис. 10. Синоптическая диаграмма (по Беликову).
Центры максимумов: *1* — густых; *2* — размытых; *3* — втростепенных; *4* — пегматитовые жилы; *5* — шлиры.

Изучение трещиноватости в эффузивных породах

Эффузивные породы независимо от состава и фациальной принадлежности обладают в большинстве случаев хорошо развитой трещиноватостью. Сама техника замеров трещин в них не отличается от таковой в породах осадочного происхождения. Поэтому здесь мы обратим внимание на особенности, которые необходимо иметь в виду при изучении трещиноватости эффузивных пород. Среди эффузивных пород различают собственно эффузивную, субвулканическую и жерловую фации; наиболее распространена и наибольший интерес для изучения планетарной трещиноватости представляет субфация текучих лав, представленная лавовыми потоками. Трещиноватость лавовых потоков может быть подразделена на три типа: вертикальная трещиноватость в виде хорошо развитой столбчатой отдельности и отдельности глыбового типа, горизонтальная трещиноватость в виде плитчатой отдельности.

Столбчатая отдельность присуща не только породам основного состава (базальтам), но достаточно хорошо развита в эффузивах кислого состава (например, липаритах). Наблюдения над столбчатой отдельностью позволяют выявить следующие основные признаки:

1) в большинстве случаев столбы перпендикулярны к подошве и кровле потока; это особенно типично для нижней части потоков, но в случае мощных потоков (порядка 20—30 м) часто наблюдается искривление столбов при приближении к кровле. Нередко в таких случаях образуется сложная отдельность веерообразной формы: столбы ближе к кровле потока расходятся в разные стороны и их залегание (относительно подошвы) меняется от вертикального до горизонтального;

2) столбчатая отдельность в потоках разной мощности выражена неодинаково. В маломощных потоках (до 5—6 м) столбы четко выражены от подошвы до кровли, а в мощных потоках наблюдается разделение на нижнюю часть (колоннаду) и верхнюю (антаблемент). В нижней части столбы имеют правильную форму и хорошо выражены, а в верхней части столбчатая отдельность вырождается. Эта закономерность, впервые отмеченная С. И. Томкиевым (Tomkieff, 1940), связана с тем, что верхняя часть мощных потоков базальтов представлена либо шлаками, либо сильнопористыми лавами, что вследствие дегазации расплава при его остывании нарушает термический режим и не дает возможности образовать столбчатую отдельность;

3) какой-либо зависимости высоты и толщины столбов, а также формы в поперечном срезе от мощности потоков не наблюдается. В среднем в поперечнике столбчатая отдельность имеет размер 0,5—0,7 м, а высота столбов меняется от 2—3 до 10—15 м;

4) нередко наблюдается закручивание столбов вдоль оси при сохранении перпендикулярности к подошве потока.

Трещиноватость эффузивов с неразвитой столбчатой отдельностью или трещиноватостью глыбового типа также пользуется широким распространением. Она наиболее четко выражена в нижних частях потоков, представленных массивными лавами, и слабо развита в верхних частях, сложенных шлаколавами и агглютинатами. Эти трещины перпендикулярны к подошве потока и на границе двух потоков заканчиваются, т. е. по своей морфологии напоминают планетарную трещиноватость осадочных пород. Трещиноватость лучше выражена и густота ее больше в потоках меньшей мощности; как правило, трещины открытые (от 0,5 до 2—3 см).

И, наконец, третий тип трещиноватости относится к горизонтальным трещинам, имеющим вид плитчатой отдельности. По внешнему облику трещиноватость этого типа напоминает кливаж: эффузивы серией горизонтальных трещин разбиты на плитки, мощность которых колеблется от 1—2 до 10 см, причем границы отдельных плиток далеко не прослеживаются. Вертикальные трещины хотя и присутствуют, но их густота значительно меньше, чем густота горизонтальных трещин.

Описанные три типа трещин характерны также и для образований субвулканической и жерловой фаций. Отметим только, что в породах жерловой фации (собственно в жерлах вулканов и дайках) трещины развиваются перпендикулярно контакту эффузивов с вмещающими породами. Таковы особенности морфологии трещин эффузивных пород, а теперь обратимся к рассмотрению закономерностей ориентировки трещин. Следует отметить, что до недавнего времени эта проблема даже не ставилась, и лишь в работах С. С. Шульца (1966, 1969) было обращено внимание на необходимость изучения ориентировки трещин в вулканогенных породах и высказаны соображения о том, что, как и в осадочных породах, трещины должны быть закономерно ориентированы относительно стран света, т. е. иметь планетарное происхождение.

Специально проведенное изучение ориентировки трещин в базальтах разного возраста (от миоценовых до современных) (Грачев, 1973)

выявило наличие закономерных систем трещин. Так, например, базальты среднечетвертичного возраста хребта Удокан имеют две четко выраженные системы трещин: 308 и 38°, миоценовые базальты хребта Хамар-Дабан — три системы: 311, 5 и 68°. При этом важно отметить, что в обоих случаях ориентировка трещин в базальтах или полностью совпадает, или близка к направлениям трещин в фундаменте, подстилающем базальты.

Статистическое изучение формы поперечного сечения столбчатой отдельности в базальтах (более 5000 замеров) Байкальской рифтовой зоны показало, что наиболее распространенной формой отдельности является тетрагональная и гексагональная призмы. По данным К. Бирда (Beard, 1959), проанализировавшего число отдельностей в базальтах различных районов мира (1317 замеров), на гексагональную отдельность падает 550 замеров, пентагональную — 540, тетрагональную — 134.

Если появление самой отдельности (или в общем случае образование трещин) объясняется возникновением напряжений в лаве в процессе ее остывания, то почему возникает там тот или иной тип отдельности и почему грани этих отдельностей закономерно ориентированы в пространстве? Эти вопросы требуют дальнейшего изучения. В этой связи можно обратить внимание на приведенный выше факт совпадения ориентировки трещин в базальтах и подстилающих их породах фундамента. Специальное изучение ориентировки трещин в мощных толщах платобазальтов хребта Хамар-Дабан, насчитывающих в ряде случаев 40—60 потоков (более 2000 замеров), показало, что число отдельностей от потока к потоку не меняется, а их ориентировка испытывает незначительные отклонения, не превышающие 10°.

При изучении трещиноватости эффузивных пород необходимо иметь в виду: 1) количество замеров трещин в отдельном обнажении должно быть не менее 100; 2) необходимо обращать внимание на характер отдельности в лавах (столбчатый, глыбовый, плитчатый) и число сторон в случае столбчатой отдельности; 3) при изучении серии потоков лав замеры трещин следует проводить отдельно для каждого потока; 4) замеры трещин в эффузивах должны сопровождаться изучением трещин в подстилающих породах.

Поскольку первичное залегание вулканогенных пород (особенно основного состава) нередко бывает отлично от горизонтального, то важно отмечать в случае наклонного залегания, является оно первичным или вторичным. Прекрасную сводку признаков, позволяющих сделать это, можно найти в книге Р. Шрока (1950).

ГЛАВА II

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ

Общие методы изучения линеаментов (технические приемы)

Линеаментами называются прямолинейные элементы рельефа и ландшафта (Hobbs, 1904; Хиллс, 1967; Шульц, 1965, 1970). Они представлены огромным разнообразием форм. Наиболее протяженные линеаменты могут быть выражены в виде гребней хребтов или границ поднятых областей, линий побережий морей и океанов, очертаний материков, линий границ геологических формаций, петрографических типов горных пород и т. д. (Деннис, 1971). Линеаменты меньших размеров представлены прямолинейными отрезками речных долин и русел рек, сухих русел, оврагов, зонами поглощения и разгрузки вод (родники, расположенные по одной линии), цепочками аномальных ландшафтов (островки болот среди массивов леса или острова растительности среди болотного массива), прямолинейными цепочками озерных ванн, прямолинейными границами растительных и почвенных покровов и т. д. Перечисленные типы линейных элементов могут быть выражены прямой линией, прерывистыми линиями или точечными природными образованиями, расположенными по данной прямой линии (Можаев, 1973).

Линеаменты обладают следующими количественными характеристиками: ориентировкой, длиной, густотой (количество линеаментов на единицу площади). Линейные элементы исследуются с различными целями: для изучения планетарной трещиноватости, для расшифровки тектонического строения и поисков локальных поднятий, для выявления степени преемственности между структурами осадочного чехла и кристаллического фундамента, для определения глубины залегания и «деформации» маркирующих горизонтов в осадочном чехле и глубины залегания кристаллического фундамента (Можаев, 1973).

По картам выделение прямолинейных элементов возможно начиная с длины 7 мм. Все подлежащие анализу линеаменты либо наносятся на кальку, либо их измерения выполняются прямо по картам. Опыт наших исследований показал, что для выполнения ряда задач, решаемых с помощью линеаментов, целесообразно производить измерения следующим образом. На картах разных масштабов учитываются линеаменты не короче 7 мм. Отрезок длиной от 7 до 10 мм принимается за один замер, при длине отрезка с 11 до 20 мм — за два замера и с 21 до 30 мм — за три и т. д. Другие исследователи (В. Б. Полканова, И. Г. Гольбрайх, 1964, 1968) на крупномасштабных картах рекомендуют измерять прямолинейные отрезки длиной не менее 10 мм.

Замеры ориентировок планового положения линеаментов и их длин производятся по площадям равных участков. Карта разбивается на элементарные квадраты. Размер квадрата определяется масштабом исследований. При работе с картами крупных масштабов площадь такого элементарного участка может быть равной 1/4 площади план-

шета соответствующего масштаба. На картах средних и мелких масштабов, например, на 1 : 1 000 000, за элементарный участок нами принимался «квадрат», соответствующий площади 1 : 100 000 листа. В зависимости от величины изучаемой территории, от задач и объекта исследований величина участка может меняться. Измерение ориентировки линейных элементов производится транспортиром или специальными палетками.

На аэроснимках выделение линеаментов ведется дешифрировочным путем, учитывая конкретные ландшафтные условия каждого района. Проявление линейных элементов весьма разнообразно, поэтому в определенных условиях необходимо иметь набор дешифрировочных признаков, позволяющих объективно подходить к их выделению на аэрофотоснимках. Для изучения линеаментов могут применяться контактные отпечатки масштаба 1 : 20 000, 1 : 25 000 и крупнее. Кроме крупномасштабных снимков в настоящее время при исследовании линейных элементов используют радиолокационные и космические снимки.

На крупномасштабных аэроснимках учитываются линеаменты длиной не менее 7 мм (с учетом конкретных физико-географических условий местности). На аэроснимке (ориентированном) поднимаются карандашом или тушью те линейные элементы рельефа и ландшафта, которые подлежат измерению. Замеры ориентировки линеаментов можно выполнять прямо на аэроснимке. Распределение замеров линеаментов производится по площадям равных квадратов, размер которых зависит от целей и масштаба исследований. Количество измерений в пределах элементарного участка может быть различное.

Для дешифрирования аэроснимков начинают применяться методы оптической фильтрации снимков. Наиболее перспективные результаты в плане изучения трещиноватости дает метод оптического фильтра. Он позволяет выделять и подчеркивать направление трещиноватости и других форм рельефа и давать им количественную оценку (Лихтерман, Потапов, 1971).

Результаты замеров линеаментов по топокартам и аэроснимкам разносятся в такие же таблицы, как табл. 1, 2. Приемы статистической обработки таблиц, построения роз-диаграмм и векторных диаграмм аналогичны методам, применяемым при изучении трещиноватости пород.

Интерпретация данных замеров линеаментов. Результаты статистической обработки замеров линеаментов могут быть использованы для проведения качественного и количественного анализа их ориентировки и густоты. Изучение и выявление закономерностей ориентировки линеаментов на аэрофотоснимках и картах можно производить с помощью различных оптических устройств. Подобные установки разработаны во ВНИГРИ, Лаборатории аэрометодов, Ленинградском горном институте и других организациях.

Одним из наиболее простых и распространенных способов систематизации замеров являются схемы (карты) роз-диаграмм линеаментов. Подобные схемы (карты) позволяют выявить основные закономерности ориентировки линейных элементов в пределах изученного региона.

Метод избранных простираний. На кальку наносятся все выделенные линеаменты, затем с нее делается негатив. На негатив карты наносится трафарет, позволяющий из всей совокупности разноориентированных линеаментов выбрать лишь те, которые относятся к определенному угловому интервалу (например, 0—10, 10—20 или 0—20, 40—60° и т. п.). Остальные линеаменты не учитываются. Полученные данные используются для построения карты избранных простираний. Принципы

построения подобных карт и возможности их использования описаны в гл. 1 второй части руководства.

Применение методики Е. Н. Пермякова. Данные об ориентировке и интенсивности лучей роз-диаграмм линеаментов могут быть использованы для определения простирания и расчета параметров локальных складок по методу Е. Н. Пермякова (1949). На главных лучах розы-диаграммы строится параллелограмм, одна из диагоналей которого показывает простирание структуры. Если роза-диаграмма многолучевая, то путем построения параллелограммов на разных лучах добиваются такого случая, чтобы диагональ параллелограмма совпала с простиранием продольной системы (диагональные и продольные системы трещин Е. Н. Пермяковым рассматриваются относительно оси складки).

Для расчета элементов локальных складок необходимо иметь следующие данные:

Qn_1 — азимут и длина в процентах главного луча розы-диаграммы;

bn_2 — азимут и длина в процентах второго луча;

$S_ф$ — фактическое число замеров по площади структуры;

P — ориентировочная величина площади структуры в км²;

M — знаменатель масштаба структурной карты-схемы;

$Q = a \pm b$
$Q_1 = 180 - Q$ — углы между диагональными лучами;

$R_1 = \sqrt{n_1^2 + n_2^2 - 2n_1 n_2 \cos Q_1}$
$R_2 = \sqrt{n_1^2 + n_2^2 - 2n_1 n_2 \cos Q}$ — диагонали малых параллелограммов;

$\sin \alpha = \frac{n_2 \sin Q_1}{R_1}$
$\beta = Q - \alpha$ — подразделения угла.

Простирание большой (R_1) и малой (R_2) диагоналей и углы (α и α_1) между главными лучами розы-диаграммы и большей и меньшей диагоналями и угол (β) между вторым лучом и большей диагональю параллелограмма могут быть получены непосредственно измерением на чертеже.

Определение формы и размеров структуры, величин крыльев и периклиналей, амплитуды складки производится путем расчетов по следующим формулам:

$x = n_1 \cos \alpha$
$z = n_2 \cos \beta$ — относительные величины «векторов растяжения» на крыльях структуры;

$y_1 = n_1 \sin \alpha_1$
$y_2 = n_1 \sin \alpha$ — относительные величины «векторов растяжения» на периклиналях;

$S_m = \sqrt{\frac{P \cdot 10^6}{n_1 n_2 \sin Q_1}}$ — необходимое число замеров для определения масштаба;

$m_p = \frac{588 \cdot S_n}{M}$ — масштаб структуры;

$R^0 = a \pm \alpha = b \pm \beta$ — простирание оси структуры;

$L_д = 2(x+z)$, $L_д = 2R_1$ — относительная длина структуры;

$L_{ш} = 2y_{1,2}$ — относительная ширина структуры;

$L_{кк} = \frac{2y_{1,2}z}{x+z}$ — относительная длина крутого крыла;

$L_{пк} = L_{ш} - L_{кк}$ — относительная длина пологого крыла;

$L_{кп} = \frac{L_{д} \cdot y_2}{y_1+y_2}$ — относительная длина крутой периклинали;

$L_{пп} = L_{д} - L_{кп}$ — относительная длина пологой периклинали;

$H = \frac{xz}{(x+z)q}$ — амплитуда структуры;

q=100 или 50, реже 10 или 5, в зависимости от соотношения фактического и необходимого числа замеров для конкретной структуры.

Метод средних простираний. Этот метод был разработан во ВНИГРИ (Гольбрайх и др., 1968). В его основе лежит эмпирическое «правило параллелограмма» Е. Н. Пермякова, согласно которому простирание структур совпадает с диагональю параллелограмма, построенного на главных лучах роз-диаграмм. Полученные простирания больших диагоналей параллелограммов служат материалом для построения карт средних простираний. Методика построения указанных карт описана в гл. 1 второй части руководства.

Анализ густоты линеаментов дает возможность определить количественное распределение прямолинейных отрезков в пределах изучаемой территории. Подсчет количества линеаментов или их суммарной длины производится по площадям равных участков, в пределах которых велись измерения. Густота линеаментов выражается количеством спрямленных отрезков (или их длиной), отнесенным к единице площади. Количественное распределение густоты линеаментов дает возможность выявить на общем их фоне аномалии густоты. Последние можно получить путем осреднения с помощью палеток определенного радиуса (см. гл. 5).

Изучение линеаментов по топографическим картам

Закономерности ориентировки линеаментов, плотности их распределения, длину и, возможно, глубину их проникновения можно изучать по топографическим картам и аэрофотоснимкам. Для выявления и анализа линеаментов могут применяться карты разных масштабов. Особенно хорошие результаты об ориентировке спрямленных элементов дают карты, построенные на основе аэрофотосъемки. Топографические карты на территорию Советского Союза составлены в единой проекции Гаусса, при которой искажение длин и площадей практически не наблюдается, но при измерении направлений следует брать поправку на угол между градусной сеткой и истинным меридианом. Для определения направлений линеаментов лучше всего пользоваться картами, составленными в проекции Меркатора, однако для этой проекции характерны искажения длин.

На топографических картах разного масштаба и даже на аэрофотоснимках многообразные формы линейных элементов рельефа и растительности находят разное отражение. Топокарты способны отобразить индивидуальные особенности речных долин и других форм рельефа. При уменьшении масштабов многие из этих особенностей теряют свое значение, уменьшается длина рек, береговых линий озер, морей, практически утрачивается большинство линейных элементов растительного покрова. Это хорошо иллюстрируется рис. 11, на котором представ-

лены три схемы линейных элементов Кольского полуострова, составленные по картам разных масштабов.

Выбор масштаба карт для анализа линеаментов определяется задачами и детальностью исследования. Для выявления и изучения только направлений линейных элементов могут быть использованы карты различных масштабов, начиная от крупномасштабных и кончая мелкомасштабными. В случае необходимости получения направлений линеаментов в пределах большого региона целесообразно пользоваться средне- и мелкомасштабными картами. По данным Лаборатории планетарной трещиноватости направления линейных элементов, полученных с карт масштабов 1 : 300 000, 1 : 1 000 000 и 1 : 2 500 000 (на одну и ту же территорию), имеют близкие простирания.

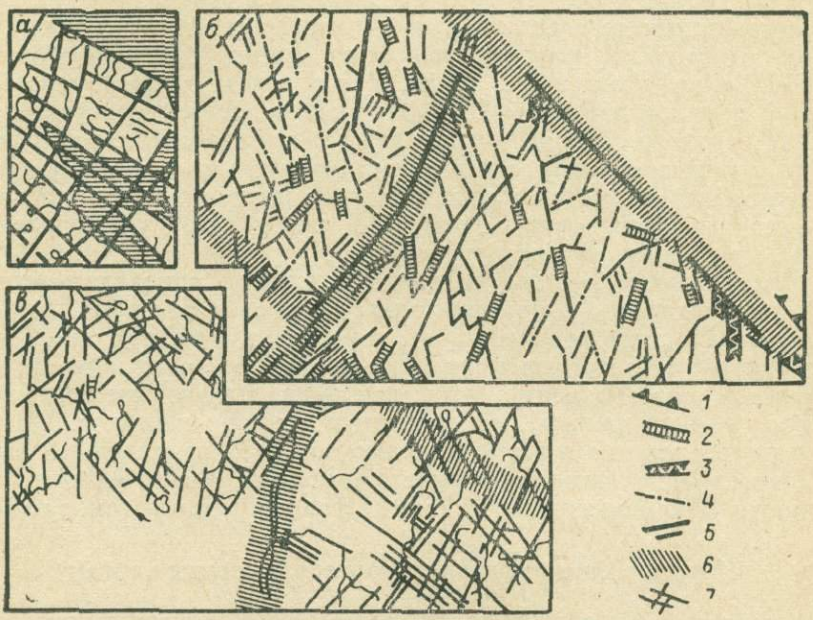

Рис. 11. Схема линейных элементов Кольского полуострова, составленная по картам разных масштабов.

а — основные разломы Кольского полуострова и Карелии (по обзорно-топографическим картам); *б* — спрямленные элементы рельефа и гидросети средней части Мурманского побережья (по топографической карте); *в* — разрывные нарушения в центральной части Кольского полуострова (по дешифрированию аэрофотоснимков). *1*—береговая линия; *2* — озерные котловины; *3* — узкие заливы и фьорды; *4* — четкообразные системы озер; *5* — речные долины; *6* — зоны региональных разломов; *7* — линии разрывных нарушений.

Крупномасштабные топографические карты целесообразно применять при детальных исследованиях, связанных с прогнозом и поисками ряда месторождений полезных ископаемых. Подобные карты применяются при поисках локальных структур в равнинных и закрытых областях. На топооснове крупных масштабов построены карты роз-диаграмм линеаментов (мегатрещин), карты густоты и средних простираний для различных районов Сибирской платформы (Гольбрайх и др., 1968). Анализ линеаментов по топографическим картам масштаба 1 : 25 000, по данным А. А. Рукояткина, дает возможность получить информацию о залегании слоев осадочной толщи и кристаллического фундамента на глубинах от 250 м и более.

На топографических картах детально можно изучить особенности распределения и закономерность ориентировки всех элементов гидро-

графической сети. При этом следует обращать внимание на плановые очертания речных долин, порядок долин, ширину и глубину заложения, протяженность прямолинейных отрезков и др. Наиболее тесную связь с трещиноватостью пород имеют зачаточные формы речных долин (овраги, ручьи) и реки низших порядков. Линеаменты, замеренные с учетом рек первого порядка, имеют наибольшее сходство с трещиноватостью пород как по ориентировке, так и по плотности. Порядок речных долин и водораздельных линий следует учитывать при анализе спрямленных участков гидросети и форм рельефа с целью выявления зон трещиноватости и разрывных нарушений (Гольбрайх и др., 1968).

Изучая линеаменты по топокартам, следует обращать внимание на такие прямолинейные формы рельефа и ландшафта, простирание которых не всегда обусловлено планетарной трещиноватостью. К таким формам относятся грядовые пески, песчаные гряды, цепочки барханов, распространенные в пустынных областях, и т. д. Подобные формы рельефа легко выделяются на топографических картах, однако их связь с направлениями планетарных трещин до конца не выяснена, поэтому такие линеаменты требуют дальнейшего изучения.

Изучение линеаментов по аэрофотоснимкам

При изучении аэрофотосъемочного (или космосъемочного) изображения линеаментов необходимо представлять их совокупность как сложную геоиндикационную систему, вскрывающую не только пространственные, но и исторические аспекты формирования планетарных трещин (см. гл. 3). Следует подчеркнуть, что природа линеаментов, их индикационные отношения к трещиноватости разных масштабов и соответствующая их классификация во многом еще неизвестны и не разработаны. Между тем успех их изучения на основе аэрофотосъемки прямо зависит от того, насколько верны наши оценки этого сложного явления.

В качестве исходной территории, несомненно имеющей эталонное значение, нами выбраны горные и равнинные области Туркмении, в которых наиболее полно видна «анатомия» планетарной трещиноватости и могут быть получены результаты в интересующих нас аспектах.

В общем виде совокупность элементов ее морфологии, их взаимоотношения, а также натуральное выражение показаны на рис. 12, 13. Блок-диаграмма представляет типичное выражение системы трещин 60 и 330° в пределах литолого-петрографической планетарной отдельности, являющейся определенной частью элементарного поля планетарной трещиноватости. Оно возникло в слое известняка сеноманского возраста, круто наклоненного на юго-запад 35—40°, и наблюдается на обратном склоне невысокой гряды. Для обнажения слоя характерна четко выраженная решетчатая структура природного территориального комплекса, которая в свою очередь состоит из комплексов меньшего ранга, развивающихся на планетарных отдельностях и по протяжению трещин. Так же генетически четко выражен гребень гряды, продольный профиль которой состоит из прямоугольных выступов и разделяющих их понижений. Хорошо видно, что стороны этих элементов гребня точно совпадают с направлениями ориентировок серий трещин, составляющих указанную систему.

Для целей исследования могут быть использованы две группы дешифрировочных признаков. Первая из них связана с решетчатой морфоструктурой ландшафта и его аэрофотоизображения, выражающей сопряженную систему линеаментов и разделяемых ими природных территориальных комплексов. Вторая группа выявляется при изучении тек-

стурных особенностей аэрофотоизображения, определяющихся расположением отдельных компонентов ландшафта. Их расположение по протяжению линеаментов и на участках, занимаемых отдельностями, дисгармонично (рис. 14). Контактные полосы дисгармонии располагаются по направлениям трещин.

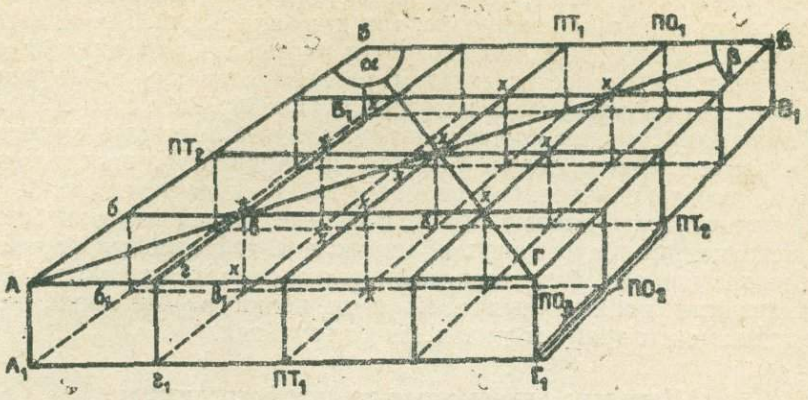

Рис. 12. Основные элементы морфологии литолого-петрографической планетарной отдельности.

$ПТ_1 — ПТ_2$ — направления ориентировок серий внутрислойных планетарных трещин; $ПО_1$, $ПО_2$, $ПО_3$ — планетарные внутрислойные отдельности первого, второго и более мелкого порядка; АБВГ — $А_1$, $Б_1$, $В_1$, $Г_1$ — верхняя и нижняя поверхности смены частоты внутрислойных трещин; $АА_1$, $ББ_1$, $ВВ_1$, $ГГ_1$ — боковые грани планетарных мономорфных отдельностей второго порядка. Размерам граней соответствуют участки трещиноватости в пределах протяженности ПО. Длина линеаментов соответствует участкам экзогенной препарировки ПО; *x—x*—оси схода стратиграфически соседних планетарных отдельностей; АВ, БГ — оси симметрии планетарных отдельностей по поверхностям смены частоты внутрислойных трещин; α, β — углы между направлениями ориентировок серий планетарных трещин соответствуют углам между гранями планетарных отдельностей.

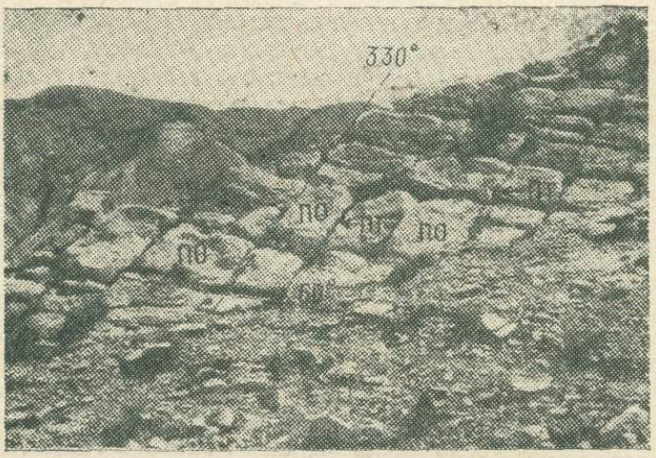

Рис. 13. Обнажение литолого-петрографических планетарных отдельностей; диагональная система планетарных трещин образует элементарное поле планетарной трещиноватости в слое известняка сеноманского возраста. Западный Копетдаг.

На рис. 15 изображена планетарная отдельность в древнечетвертичных отложениях, слагающих предкопетдагскую наклонную равнину, на пересечении планетарных трещин 60—330°, образующих диагональную систему. Система планетарных трещин указанных направлений

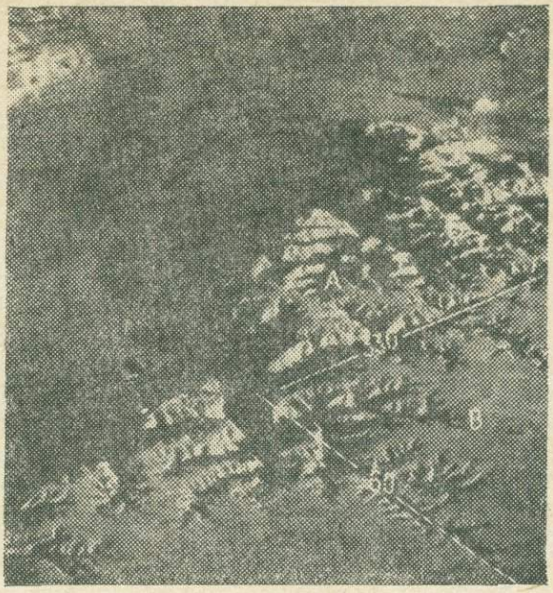

Рис. 4. Диагональная сетка линеаментов, сформированная экзогенными процессами в толще древнечетвертичных отложений. Прикаспийская низменность Туркмении, долина р. Актам.

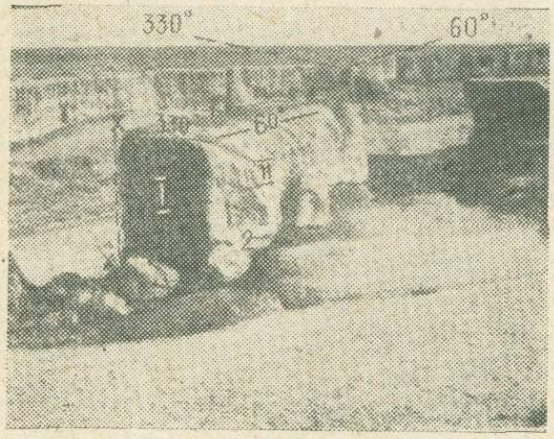

Рис. 15. Тетраидальная планетарная отдельность, отпрепарированная экзогенной деятельностью в толще древнечетвертичных отложений. Предкопетдагская наклонная равнина.

I, II — боковые грани отдельности (n — 4,5, l — 3—7 м), соответствующие направлениям 60—330°; 1, 2 — верхняя и нижняя грани отдельности (l — 3—7 м), являющиеся поверхностями смены частоты трещин (верхняя грань находится в уровне наклонной равнины); x—x — оси схода стратиграфически соседних планетарных отдельностей.

обнажается на склонах крупного оврага, ориентированного по направлению длинной грани отдельности — СВ 60°. Довольно отчетливо на левой стенке оврага (задний план фото) изобразились три горизонта отложений с разной частотой трещин. Плоскодонные* овраги аналогичного направления во множестве прорезают равнину, вскрывая указанные системы трещин и по существу являясь отлично выраженными их линеаментами. Линеаменты 330° выражены менее отчетливо. Их направления обнаруживаются в зигзагообразных очертаниях стенок оврага, совпадающих также и с трещинами 330°. Но достаточно часто на аэроснимках и с воздуха по протяжению наклонной Предкопетдагской равнины видны отчетливые сочетания оврагов — линеаментов 60—330°, аналогично тому, как это показано на рис. 14.

На рис. 14 видны проявления также диагональной системы трещин по эрозионным врезам I—I и II—II, являющимися их линеаментами и определяющими решетчатую морфоструктуру ландшафта, возникшего на древнечетвертичной террасе Прикаспийской низменности Западной Туркмении в нижнем течении бывшей реки Унгуз. Очертания планетарных отдельностей, судя по ориентировке указанных линеаментов, тетраидальные. Отлично выражена роль трещин в формировании рельефа, особенно на пересечениях серий трещин, образующих отдельности А, Б, В, Г, в сочетании которых намечаются оси их схода *x—x*.

На рис. 16 изображен один из чинков юго-западной части плато Устюрт, по крутому склону которого обнажаются пять различных литолого-стратиграфических подразделений неогена (верхний миоцен — средний и нижний сармат). Слои слабо наклонены на северо-восток.

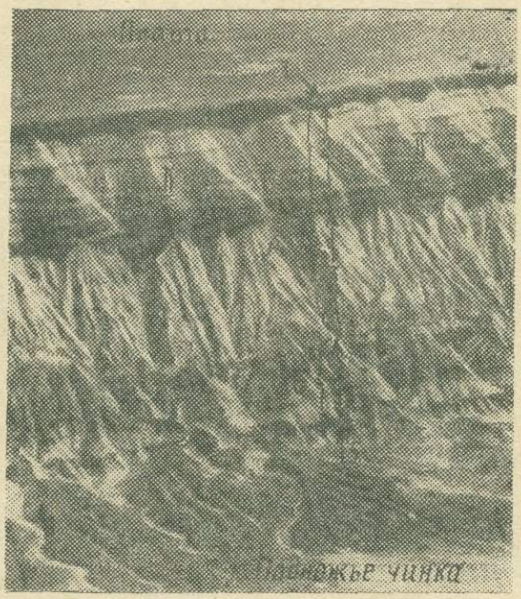

Рис. 16. Обнажение горизонтально расположенных полей (систем) планетарной трещиноватости при вертикальном положении планетарных отдельностей разного возраста и ранга, образованных системами диагональных трещин. Юго-западный чинк Устюрта.

* Плоскодонность оврагов, имеющих вертикальные стенки, связывается нами также и с особенностями эрозии литолого-стратиграфических комплексов, имеющих разную частоту планетарных трещин и разделенных поверхностями ее смены.

Глубокие V-образные врезы и выступающие между ними острогребневые водоразделы являются интересной особенностью морфологии рельефа чинка.

Склоны этих врезов, развиваясь по граням I—II тетраидальных литолого-стратиграфических отдельностей, имеют значение линеаментов, указывающих, что морфология чинка связана с диагональной системой трещин. Как видно из фото, размеры врезов и водоразделов фиксируются в широком диапазоне, намечая длинную цепь их градаций, индицирующую различную частоту трещин.

Тальвеги врезов и гребни водоразделов на склоне чинка проходят по осям схода *x—x* соседних литолого-стратиграфических планетарных отдельностей. Отсюда следует, что отмечаемые тальвеги врезов и гребни водоразделов являются линеаментами пересечения серий трещин разного направления, узловыми пунктами планетарной трещиноватости. Их аэрофотосъемочное изображение является дешифрировочным признаком планетарной трещиноватости большого информационного значения.

В отложениях, обнажающихся на склоне (см. рис. 16), выделяются разночастотные совокупности трещин различной мощности стратиграфического заложения. Разделяющие их поверхности смены частоты согласны напластованиям пород, иными словами — стратифицированы по разрезу. Стратифицированные, одновозрастные совокупности трещин представляют поля (системы) планетарной трещиноватости и на земной поверхности выражаются линеаментами, направления которых совпадают с простиранием стратоподразделений.

В указанном аспекте в обнажении выделяются:

1) Совокупности внутрислойных трещин. В масштабе приводимого фото они не выражаются. Частота их наибольшая, но от слоя к слою различная.

2) Совокупности трещин, развитых в каждой из выделяющихся пачек, секущих литолого-стратиграфические подразделения меньшего ранга разного состава и мощности и являющихся по отношению к ним сквозными. Они различаются частотой и стратиграфической мощностью своего заложения. Индикаторами частоты трещин являются градации кратчайших расстояний между соседними склонами V-образных врезов одинакового положения, или, что одно и то же, — между параллельными гранями стратиграфически соседних планетарных отдельностей. Например, частота трещин в пачках 2 и 3 резко различна, так же как и в пачках 4, 5. При этом пачка 2 сложена переслаиванием известняков, мергелей и глин, а пачка 3 — глинами с пропластками глинистых мергелей. Так же значительны различия частоты трещин в пачках 4 и 5.

3) Совокупности трещин, локализующихся в свите А, состоящей из напластований, слагающих пачки 2—3, и в свите Б, сложенной пачками 4—5. В свитах А и Б сформированы наиболее крупные планетарные отдельности, в свите А — меньших, а в свите Б — больших размеров, что указывает на разную частоту трещин и этих их совокупностей, являющихся сквозными по отношению к слагающим их пачкам.

Таким образом по протяжению склона обнажаются два основных поля планетарной трещиноватости, локализованных в свитах А и Б. Каждое из них состоит из сложных пространственно-временных сочетаний полей планетарной трещиноватости меньшего ранга, развитых в слоях и пачках.

В ландшафтах горной области со сложным складчатым основанием линеаменты планетарной трещиноватости встречаются несравнимо больше и выражены многообразнее.

На аэрофото (рис. 17) крупным планом изображено обнажение ромбоидальной литолого-стратиграфической планетарной отдельности на юго-западном крыле Малобалханской антиклинали. Сложена она глинистыми песчаниками, песчанистыми слоистыми известняками и рыхлыми песчаниками нижнего мела (аптский ярус), несогласно перекрываемыми глинами сеноманского возраста. Слои наклонены на юго-запад под углом 30—40°. Трещины ориентированы диагонально 330—340 и 60—70°.

Рис. 17. Обнажение наклонно залегающей планетарной отдельности. Западный Копетдаг.
Объяснение в тексте.

Обнажение представляет пример цикличного развития рельефа, сводящегося к экзогенной препарировке планетарных отдельностей, которое проходит в ритме, определяемым формой и размерами планетарных отдельностей и их пространственным положением (Мирошниченко, 1973). В данном случае цикличность развития рельефа контролируется ромбоидальной системой трещин, образовавшихся в гетерогенной, наклонно залегающей толще напластований, разделенных на разноразмерные ромбоидальные отдельности. При анализе снимка выделяются две различно направленные фазы, обусловленные ориентировкой трещин, их частотой, глубиной стратиграфического заложения, формой и пространственным положением литолого-стратиграфических планетарных отдельностей, положением граней отдельностей по отношению к экзогенному воздействию и др. Обнаруживаются обращенные формы рельефа, когда на местах водоразделов возникают врезы, а по направлениям тальвегов закладываются гребни будущих водоразделов. Видны разноразмерные градации частоты трещин, что определяет многомасштабность проявления процесса развития рельефа.

Положение литолого-стратиграфических планетарных отдельностей,

равно как и планетарных трещин, в условиях горной складчатой области может быть вертикальным при горизонтальном залегании стратоподразделений разреза (при таком же положении поверхностей смены частоты трещин), наклонным и горизонтальным — при наклонном и вертикальном их залегании. Наряду с этими основными случаями отмечается множество промежуточных вариаций их положения. Поэтому пространственное положение указанных отдельностей, выраженное в морфологии рельефа, имеет индикационное значение. Наклонное положение отдельностей, когда оси их схода также наклонены, указывает на наклонное положение и планетарных трещин разных рангов, и глубины стратиграфического заложения. Обычно это наблюдается на участках развития складчатых структур как результат тектонической деформации первичного положения трещин. Заметим, что расположение трещин в пределах формирующихся складчатых структур имеет важное индикационное значение в изучении их морфологии. Многообразие пространственного положения планетарных отдельностей определяет очень большое количество и разнообразие линеаментов, обнаруживающихся в пределах горных областей со складчатым основанием. Понимание связей их физиономичности с морфологией планетарной трещиноватости имеет важное значение при геоиндикационном дешифрировании аэрофотоизображения систем планетарной трещиноватости.

Изображенная на рис. 17 литолого-стратиграфическая планетарная отдельность находится в наклонном положении. В результате экзогенной препарировки она явилась основанием водораздела с резко выраженным гребнем, ограниченным глубокими боковыми оврагами. Оси ее схода с соседними планетарными отдельностями наклонены в направлении, противоположном падению слоев. Вместе с соседними аналогичными водоразделами она образует типично выраженный W-образный продольный профиль рельефа. Длинные оси симметрии слагающих ее элементарных (литолого-петрографических) планетарных отдельностей (А — В) наклонены по падению напластований, короткие (Б — Г) расположены горизонтально, их протяженность ограничивается боковыми оврагами, также связанными с планетарными трещинами. Расположение осей симметрии является индикатором пространственного положения планетарной отдельности, ее граней и линеаментов, выражающих их в ландшафте как сопряженную генетическую совокупность трещин.

С серией трещин, ориентированных по азимуту 330—340°, почти идеально совпадают многочисленные бровки и карнизики К—К, образовавшиеся на склонах водораздела и являющиеся линеаментами планетарных трещин или, что одно и то же, граней планетарных отдельностей. Это же относится и к серии трещин направления 60—70°. Отклонения между линейными элементами рельефа и ориентировкой серий планетарных трещин большей частью незначительные и обычно не превышают нескольких градусов.

Частота планетарных трещин намечается темными линиями — линеаментами, представляющими узкие расщелины с куртинами полукустарничка и травяным покровом. Анализируя текстуру аэрофотоизображения на участках 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и др., выраженную по кровлям слоев известняка-ракушечника, песчанистого известняка, песчаника (разной плотности — вплоть до рыхлого), можно выделить несколько ее градаций с интервалами между трещинами от 7—10 до 25—30 м. Как показало полевое изучение, выделяющиеся трещины сквозные, обычно проникающие под пачки. Развитые в них внутрислойные трещины отличаются более частым интервалом — 0,5—1,5 и в масштабе фото не выражаются. Некоторое представление об их частоте по направлению серии трещин 50—70 можно составить по текстуре аэрофотосним-

ка на участках 8, 9, 10 и др., представляющей дешифровочный признак участка склона водораздела, имеющего линеаментное значение. Трещиноватость изобразилась здесь в виде густой, но заметно варьирующей от слоя к слою перпендикулярной штриховкой, выражаемой W-образным сочетанием мелких врезов и водоразделов, также формирующихся в рамках ромбических ритмоциклов рельефа.

Трещиноватость на участках 8—10 и др., так же как и на участках 1—7 и др., может быть отнесена к сравнительно мелкочастотным ее градациям. Трещины, ограничивающие ромбоидальные отдельности I, II, III, делятся, как видно на фото на более мелкие отдельности той же формы, и трещины, с которыми совпадают грани большой ромбоидальной отдельности, изображенной в целом на рис. 17, можно отнести к их средне- и крупночастотным градациям. По направлениям их попарных пересечений заложены тальвеги глубоких V-образных врезов и гребни водоразделов. Таким образом, склоны водоразделов и врезов являются линеаментами трещин и их направлений. Гребни водоразделов и тальвеги врезов являются линеаментами мест попарных пересечений трещин или осей схода (см. рис. 17) стратиграфически соседних ромбоидальных отдельностей.

Линеаментами поверхностей смены частоты трещин являются полосы, выделяющие части склона разной эрозионной расчлененности, интенсивность которой соответствует определенным стратоподразделениям (см. рис. 16).

Заметим, что различные элементы морфологии рельефа, обусловленные формой, пространственным положением и размерами планетарных отдельностей (понимаемые, как результат процесса его развития, контролируемого сетью трещин), являются линеаментами характера различных систем планетарных трещин. Иерархия этих элементов по масштабу их проявлений, определяемых размерами выражаемых ими планетарных отдельностей, указывает на частоту трещин, смену ее по разрезу напластований и др.

Использование аэрофотосъемочных изображений элементов морфологии рельефа в качестве дешифрировочных признаков имеет важное познавательное значение для изучения планетарной трещиноватости. Приведем к сказанному несколько иллюстраций различных линеаментов проявления планетарной трещиноватости. На рис. 18 (аэрофото юго-западного крыла антиклинальной структуры, сложенной круто-падающими напластованиями пород мелового возраста) изображены крупные литолого-стратиграфические отдельности, на которых сформировались водоразделы и ограничивающие их V-образные врезы. Здесь отчетливо видно, что гребни таких водоразделов и тальвеги врезов проходят через оси схода $x—x$ соседствующих отдельностей и имеют значение линеаментов. Индикаторами пересечений планетарных трещин I, II, III, 1, 2, 3 и др. являются подобные же врезы и водоразделы, но разной крупности, образующие в этом отношении последовательный ряд градаций.

Линеаментами поверхностей раздела смены частоты трещин, кроме случаев, приведенных выше (см. рис. 16, 17), могут являться также и тальвеги моноклинальных долин. Одна из подобных долин изображена на рис. 18, она проходит по контакту сеноманских песчаников, алевролитов и туронских глин и глинистых мергелей — отложений с разной частотой трещин. Линеаменты осей схода $x—x$ и поверхность раздела частоты трещин, к которой приурочен тальвег данной долины, взаимно перпендикулярны. Как видно на рис. 18, выделяются также линеаменты мелких трещин ТР, ориентированных согласно длинной оси антиклинали. Их система развита внутри складки и опоясывает

контур последней. На рис. 19 изображено обнажение полей планетарной трещиноватости с неодинаковой частотой трещин при одной и той же ориентировке составляющих ее серий. Системы трещин, образующие поля, обнажены на крутонаклоненном крыле одной из антиклиналей Западного Копетдага, сложенном породами верхнего и нижнего мела и породами третичного возраста, перекрытыми пролювиальным шлейфом.

Рис. 18. Обнажение системы наклонно расположенных планетарных отдельностей. Западный Копетдаг.
Объяснение в тексте.

Их линеаментами являются разноразмерные водоразделы и врезы с W-образным продольным профилем, индицирующие аналогичные же системы планетарных отдельностей. С большой отчетливостью выражены эти разночастотные системы в каждом из обнажающихся здесь стратоподразделений (1—8).

На рис. 20 изображена территория обнажения меловых пород (толща 1, 2, 3). В морфологии ее рельефа выражены различные элементы планетарной трещиноватости. Устанавливаются линеаменты, заложенные только в каждой из указанных толщ (I—I, II—II, III—III). Наряду с ними выделяются линеаменты, соответствующие планетарным трещинам более глубокого заложения, пересекающие две или три из указанных толщ (отмечены пунктиром и IV—IV). Аналогичные же соотношения между глубиной заложения планетарных трещин установлены и в стратоподразделениях указанных толщ.

Вдоль тальвегов моноклинальных долин (А, Б, В) проходят поверхности раздела частоты планетарных трещин. Многие из них, как видно на аэроснимке, обрываются у тальвегов, сменяясь трещинами иной частоты. Еще более многочисленны линеаменты, соответствующие направлениям граней ромбоидальных отдельностей, обнажающихся в

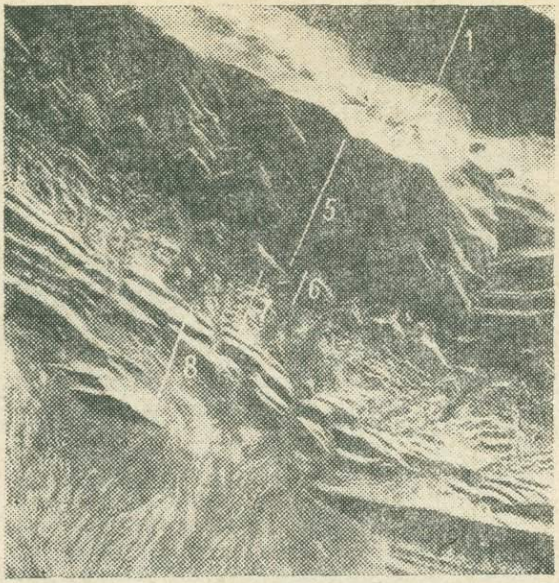

Рис. 19. Обнажение наклонно расположенных полей планетарной трещиноватости. Западный Копетдаг.
Объяснение в тексте.

Рис. 20. Выражение в ландшафте сквозных планетарных трещин и поверхностей раздела. Западный Копетдаг.
Объяснение в тексте.

пределах каждой из указанных толщ. Они следуют по диагональным направлениям (НН) серий пересекающихся планетарных трещин. Судя по значительному контрасту характера структуры и текстуры аэрофотоизображения между нижней и верхней частями снимка, здесь возможны изменения в общей ориентировке планетарных трещин.

Данные изучения планетарной трещиноватости, проводимые на основе дешифрирования аэроснимков, могут значительно совершенствовать геологические и геоморфологические исследования, геологическое и другое картирование. Особенно это относится к дизъюнктивным нарушениям. Выявление соответствующих им линеаментов, изучение и увязка с системами планетарных трещин в пространственном и историческом отношениях должны быть предпосланы картированию и различным оценкам разрывных нарушений.

Измерения планетарных трещин по аэрофотоснимкам в условиях горных областей со складчатым основанием без достаточного фотограмметрического обоснования не могут быть проведены в достаточно доверительных интервалах. Это следует из значительных искажений аэрофотоизображения различных объектов, получаемых в центральной проекции. Поэтому в принципе измерения должны производиться фотограмметрическим методом на стереоприборах.

Объектами измерений являются различные линеаменты, формирующиеся на направлениях планетарных трещин. Как было показано выше, ими могут явиться пространственное положение поверхностей склонов и их различных элементов (если доказано, что те и другие соответствуют граням планетарных отдельностей), положение гребней водоразделов и тальвегов врезов, проходящих по местам пересечения серий планетарных трещин, линейных элементов рельефа, соответствующих поверхностям смены частоты трещин, и некоторые другие.

В фотограмметрическом отношении задача сводится к построению моделей положения точки, линии и плоскости в пространстве. Результаты измерения соответствуют аэрофототопографическому порядку точности того или иного масштаба. Необходимые рекомендации по методике таких измерений даны в работах В. И. Наркевича (1971), А. Н. Лобанова (1971) и др. Указанные методы и приводимые рекомендации позволяют проводить сбор первичных данных в статистическом плане, достигая на основе получения массовых данных достаточно объективных результатов в оптимальных интервалах точности.

Однако необходимо подчеркнуть, что разработка фотограмметрических методов измерения различных элементов морфологии систем планетарной трещиноватости еще только начинается, причем, возникает необходимость теоретической разработки ряда специальных задач фотограмметрии. В настоящее же время, как показывает ряд исследований, проведенных на других объектах, в основу измерений планетарной трещиноватости может быть положен ландшафтно-морфологический метод (Мирошниченко и др., 1971). Его содержание составляют два основных звена: 1) ландшафтное дешифрирование материалов аэрофотосъемки, дающее, как было показано выше, представление о пространственных и исторических аспектах формирования систем планетарной трещиноватости; 2) морфологический анализ топокарт.

Известно, что в настоящее время последние выполняются топографической службой только на основе фотограмметрической обработки аэрофотоматериалов. Поэтому сравнительный анализ аэрофотоснимков и подобных карт приводит к точной идентификации отдешифрированных объектов и их изображения на топокартах. Измерения линеаментов, установленных по аэрофотоснимкам и топокартам, могут быть проведены в доверительных интервалах, определяемых масштабом карт. Что

касается линеаментов, устанавливающихся на равнинных территориях, то измерения (в отношении ориентировки) аналогичны их измерениям по топокартам. Получаемая точность при этом находится в допустимых интервалах. Однако данные дешифрирования могут быть более полными в отношении оценки морфологии систем планетарных трещин.

Как показывает некоторый опыт, перспективным для целей изучения многоразмерного пространства является математический метод исследований. Основанный на статистическом подходе он дает возможность выявить отношения между различными его элементами. Предусматривается также выделение систем трещин на разных уровнях их иерархии, их моделирование и формализация получаемых данных.

Линеаменты, разрывы и планетарная трещиноватость на космических снимках Земли

Космические снимки Земли дают возможность выделить и изучить наиболее общие черты тектонического строения и рельефа нашей планеты. Особенно наглядно прослеживается тесная взаимосвязь между простираниями наиболее крупных планетарных разрывов и линеаментов и простираниями главнейших геологических структур, складчатых поясов, горных хребтов, речных долин, берегов морей и океанов. На космических снимках отчетливо выделяются генеральные черты структуры земной поверхности, часто совершенно теряющиеся на крупно- и среднемасштабных аэрофотоснимках — трансконтинентальные линеаменты, концентрические структуры диаметром в десятки и сотни километров, обобщенный рисунок сети региональных и планетарных разрывов и трещин, рифтовые зоны, зоны молодого и новейшего вулканизма, контролируемые разрывными нарушениями. Сквозь маломощный платформенный чехол на космических снимках обычно «просвечивают» структуры фундамента. Важным индикатором строения приповерхностных участков литосферы, и в частности разрывных нарушений, является характер растительного покрова, часто позволяющий маркировать на космических снимках линеаменты, сдвиги и крупные разрывы.

Для выявления и изучения линеаментов и планетарных разрывов и трещин могут быть использованы космические снимки различных типов — как по масштабу, так и по виду съемок. *По масштабу* целесообразно выделять среди космических снимков три группы, соответствующие различным уровням генерализации:* 1) глобальные (уровни генерализации 10^8—10^9); 2) региональные (уровни генерализации 10^6—10^7); 3) локальные (уровни генерализации 10^5—10^6).

По виду съемок наибольший интерес для изучения разрывной тектоники и линеаментов могут представлять следующие типы космических снимков: фотографические цветные (многоспектральные), черно-белые спектрозональные (особенно в красной части спектра), инфракрасные, микроволновые, радиотепловые, радарные снимки, а также телевизионные снимки, наборы которых позволяют сопоставлять изображения одного и того же региона в разные сезоны, разное время суток и при различных метеорологических условиях.

При изучении и дешифрировании любого космического фотоснимка необходимо учитывать масштабные искажения заснятых участков Земли, связанные с кривизной земной поверхности и различными углами наклона, обусловленными ориентировкой космического аппарата

* Уровень генерализации — знаменатель масштаба оригинальных негативов космических, высотных и аэрофотоснимков; приближенно равен частному от деления высоты фотографирования на фокусное расстояние объектива съемочной камеры (Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций, 1972; Скарятин, 1973).

относительно снимаемого участка в период проведения съемки. Методика учета масштабных искажений и перехода от системы плоских координат снимка к системе географических координат и используемый при этом математический аппарат изложены в ряде работ (Розенберг, 1971; Исследования природной среды..., 1972; Гонин, Погодина, 1973, и др.). Расчет величины искажения масштаба по полю космического фотоснимка достаточно сложен и практически возможен только на ЭВМ с помощью специальных алгоритмов. Поэтому на космических фотоснимках не следует проводить прямых замеров ориентировки тех или иных дешифрируемых объектов; отдешифрированные структуры и линеаменты необходимо сначала перенести на географическую карту соответствующего масштаба и лишь затем замерять их ориентировку и координаты. Для перенесения деталей изображения космофотоснимка на топокарту можно использовать специальные приборы (различные типы стереокомпараторов, преобразующих и совмещающих изображения), с помощью которых возможно совмещать отдельные участки снимков, схем и карт друг с другом.

В случае отсутствия приборов переносить контуры отдешифрированных структур с космоснимка на топокарту приходится по деталям рельефа, на глаз, в случае необходимости разбивая участки снимка и карты между ближайшими точно диагностируемыми объектами на равновеликие отрезки или квадраты. При этом желательно использование топографических карт масштабов, близких к усредненным масштабам дешифрируемых космических снимков, или изготовление отпечатков космических снимков, близких по масштабу к используемым топокартам. Для космоснимков каждого уровня генерализации (от 10^6 до 10^9), высотных аэрофотоснимков (уровень генерализации 10^5) и обычных аэрофотоснимков (уровень генерализации 10^4) необходимо составление самостоятельных схем дешифрирования карт хранения первичной информации и построение роз-диаграмм ориентировки линеаментов, разрывов и трещин; сопоставление таких схем и диаграмм, составленных для одной и той же территории по снимкам различных масштабов, показывает, что получаемые результаты значительно отличаются друг от друга.

Линеаменты и разрывы, дешифрируемые на *глобальных* космических снимках, целесообразно выделять в самостоятельную группу крупнейших разрывов литосферы — мегалинеаментов I порядка. Их протяженность обычно достигает многих тысяч километров; значительная часть таких разрывов пересекает континенты, а некоторые — даже несколько континентов. Как правило, они находят себе четкое продолжение в структурах и рельефе океанического дна. Ориентировка крупнейших разрывов в значительной мере соответствует главнейшим направлениям планетарной трещиноватости: широко распространены широтные линеаменты; реже встречаются меридионально ориентированные разрывы; что же касается разрывов СЗ и СВ ориентировки, то они нередко образуют парные, как бы зеркально отражающие друг друга системы. Во многих случаях для мегалинеаментов характерны звездообразные пересечения; нередко они расходятся в виде лучей из центров, расположенных как во внутренних частях континентов,так и вблизи границ. Примерами таких центров могут служить юго-восточная оконечность плато Тадемайт в Алжире, район горы Джебельэс-Сода в Ливии, район оазиса Сива на северо-западе АРЕ, район сочленения Центрального и Восточного Тавра в Южной Турции, северо-западная оконечность хребта Копетдаг в Туркменской ССР.

Существование большинства мегалинеаментов Земли установлено лишь в последние годы, главным образом в результате дешифрирования и изучения глобальных и региональных космических снимков. Исследо-

вание этих структур только начато, и вопрос о том, являются ли эти разрывы молодыми тектоническими структурами, связанными с современными движениями, или длительно живущим каркасом планетарных структур, устойчиво сохраняющих свою ориентировку и лишь оживляемых молодыми подвижками, является сейчас предметом дискуссии. По-видимому, противопоставление разрывных структур «тектонического» и «планетарного» происхождения в отношении мегалинеаментов вообще неправомерно. Многие мегалинеаменты и даже системы мегалинеаментов явно связаны с новейшими подвижками и нередко представляют собой крупные сдвиги, например системы мегалинеаментов, обрамляющие с северо-запада и северо-востока Аравийскую и Индийскую платформы. Развитие этих крупнейших дислокаций, левосдвиговых по северо-западному обрамлению как той, так и другой платформы и правосдвиговых по их северо-восточному обрамлению, по всей вероятности, связано с продолжающимся движением Аравийского и Индийского

Рис. 21. Глобальный космический снимок Земли, сделанный с автоматической станции «Зонд-7».

литосферных блоков на север (рис. 21, 22). Амплитуды рассматриваемых сдвигов достигают многих десятков и даже сотен километров (Abdel-Hawad, 1969, 1971); поскольку направление движения блоков близко к меридиональному, системы возникающих сдвигов во многом оказываются зеркально-симметричными; осями симметрии являются линии меридианов.

Движение блоков и плит литосферы и ориентировка ячей конвекции вещества мантии, восходящие ветви которых фиксируются в литосфере Земли простиранием рифтовых зон, а нисходящие — положением сейсмофокальных зон Беньоффа (зон всасывания), координированы и тесно взаимосвязаны с ротационным движением Земли. Это может являться одной из главных причин закономерной ориентировки главнейших структур и разрывов, фиксируемых на земной поверхности, в частности мегалинеаментов, в системе географических координат.

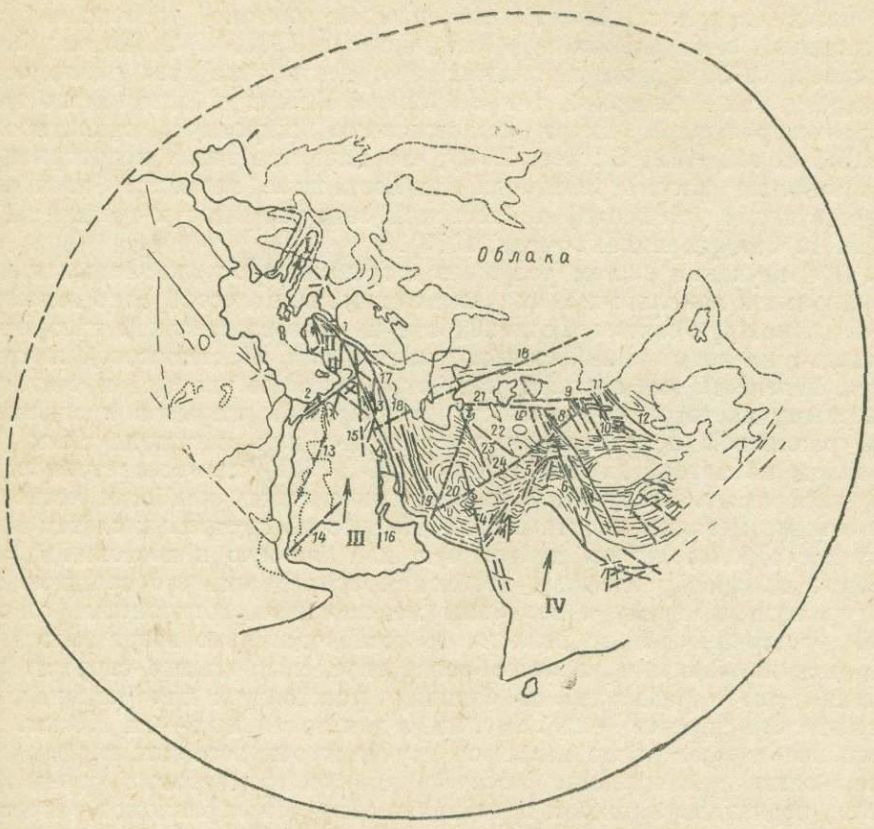

Рис. 22. Схема дешифрирования снимка на рис. 21.

Литосферные блоки, движущиеся в северном и северо-западном направлениях: I—Адриатический, II — Малоазийский, III — Аравийский, IV — Индийский. Главнейшие линеаменты, прослеживающиеся на территории Передней, Средней и Центральной Азии (направления смещений по крупнейшим сдвигам показаны по литературе и по данным дешифрирования орбитальных космических снимков); сдвиги и системы сдвигов: *1* — Северо-Анатолийская, *2* — Акабо-Иорданская (Мертвого моря), *3* — Тавро-Загросская (Армянская), *4* — Макран-Кветтская; *5* — Памиро-Афганская, *6* — Восточно-Памирская, *7* — Памиро-Каракорумский, *8* — Тяньшань-Куньлуньский, *9* — Джалаиро-Найманский, *10* — Актасский, *11*—Атасуйский, *12* — Чингизский; линеаменты, природа которых не выяснена; *13*—Хиджас-Искандеронский, *14* — Йемен-Тувийский, *15* — Тавро-Татарский, *16* — Кувейт-Джафурский, *17* — Резайе-Загросский, *18* — Багдад-Тургайский, *19* — Кухрудский, *20* — Макран-Кызыларватский, *21*—Устюртско-Успенский, *22*—Красноводско-Термезский, *23*—Копетдагский, *24*—Оман-Балхашский.

На *региональных и локальных* космических снимках прослеживаются как мегалинеаменты I порядка (которые в некоторых случаях оказываются не линиями разрывов, а достаточно широкими зонами деформаций), так и мегалинеаменты II и III порядков — региональные разрывы и линеаменты. Обычно в пределах каждого региона отчетливо прослеживается несколько систем таких разрывов, каждая из которых имеет достаточно выдержанные и устойчивые простирания. Иногда параллельные крупные разрывные нарушения располагаются на опре-

деленных, приблизительно одинаковых расстояниях одно от другого; это особенно характерно для систем трансформных разломов, секущих под прямым углом рифтовые зоны и участки литосферы, расположенные над сейсмофокальными зонами Беньоффа. С разрывами такого типа во многих случаях связаны месторождения полезных ископаемых — меди, золота, полиметаллов, серебра, молибдена, олова; трансформные разломы за последние годы привлекли пристальное внимание тектонистов и металлогенистов и стали объектом детального изучения. Многими исследователями отмечаются повторяющиеся устойчивые величины интервалов между параллельными рудоконтролирующими разломами, так называемый «шаг разломов» (Kutina et al., 1967, 1972; Немец, 1972; Васильев, 1972, и др.), и устойчивая ориентировка этих разломов; в частности, как в Северной, так и в Южной Америке большинство трансформных разрывов имеет выдержанную широтную ориентировку (Kutina et al., 1972; Sillitoe, 1972), что дает основание некоторым исследователям рассматривать их как составные элементы длительно существующей устойчивой планетарной сети разрывов и трещин (Радкевич, 1973; Фаворская, Томсон, 1973).

При изучении систем разрывов и трещин, прослеживаемых на региональных и локальных космических снимках, целесообразно отдешифрировать каждую систему в отдельности на самостоятельной прозрачной накладке на космический снимок (кальке или пластмассовой пленке), затем перенести эти системы на географическую карту и составить диаграмму частоты встречаемости простираний разрывов и линеаментов различной ориентировки по десяти- или пятиградусным интервалам по методу Хоббса (Hobbs, 1904, 1911) или соответствующую розу-диаграмму. В случае, если расстояние между наиболее четко выраженными мегалинеаментами в какой-либо из изучаемых систем представляет собой величину постоянную или близкую к постоянной, т. е. существует «шаг разломов», необходимо определить его среднюю статистическую величину и величины максимальных отклонений от нее. Если расстояние между разломами последовательно возрастает в каком-либо направлении, целесообразно определить также скорость увеличения «шага разломов» на единицу расстояния: для региональных космических снимков — на 1 тыс. км, а для локальных — на 100 км. Для этого необходимо число разломов изучаемого класса или порядка, пересекающих два соседних тысяче- или стокилометровых отрезка на линии, перпендикулярной к простиранию изучаемых разломов, разделить одно на другое (большее число на меньшее). Нередко случается, что помимо «шага разломов», определенного для наиболее крупных разрывных структур, можно установить меньшие «шаги разломов» для менее четко выраженных и меньших по размерам разрывов и получить ряд «шагов разломов» для разломов различных порядков; но для получения достаточно объективных результатов при изучении последовательного ряда «шагов разломов» необходима наземная привязка отдешифрированных материалов в процессе полевых исследований, поскольку разделение разломов на группы различного таксономического ранга трудно произвести только на основании дешифрирования космических снимков.

После самостоятельного изучения каждой из систем, отдешифрированных на космических снимках разломов и линеаментов, следует рассмотреть взаимоотношение различно ориентированных систем разрывных нарушений и линеаментов между собой, их соотношение с разновозрастными складчатыми дислокациями и поверхностями выравнивания, установить, какие системы разрывов и линеаментов продолжают активное тектоническое развитие в настоящее время, а какие менее

активны или пассивны. Необходимо внимательно проследить, характерны ли для изучаемых систем разрывов и линеаментов следы сдвиговых и сбросовых дислокаций; если они прослеживаются, надо отразить на составляемых схемах дешифрирования направления и амплитуды движений: правосторонние и левосторонние сдвиги, поднятые и опущенные крылья сбросов, размеры смещений в метрах или километрах, возраст смещенных формаций и структур. Необходимо также установить, какие напряжения преобладают — растяжения или (что бывает гораздо чаще) сжатия. В случае, если в пределах изучаемого региона имеются замеры ориентировки напряжений сжатия в скважинах по методу Хаста (Hast, 1969; Кропоткин, 1973) необходимо сопоставить и сравнить ориентировку систем дешифрированных разрывов и линеаментов и ориентировку стрессовых напряжений в породах.

Особое внимание следует обращать на те случаи, когда какие-либо системы трещин и разрывов, хорошо прослеживаемые в одной части космического снимка, становятся менее отчетливыми, меняют простирание или вообще не прослеживаются в другой его части. В частности, выявление молодых формаций (вулканических или осадочных), перекрывающих и скрывающих те или иные системы трещин и разрывов, дает важную информацию об активности или пассивности различных по ориентировке систем разрывов в новейшее время.

При изучении разрывов и трещиноватости того или другого региона на заключительном этапе работ чрезвычайно важно сопоставить данные по ориентировке трещиноватости, разрывов и линеаментов различных масштабов, соответствующих различным уровням генерализации космических и аэрофотоснимков (от уровня 10^7 для каждого уровня в отдельности) и, если это возможно, сравнить их с данными наземных замеров ориентировки трещин, данными по замерам стрессовых напряжений в скважинах по методу Хаста и с результатами петроструктурного анализа пород и минералов. Только при учете всех перечисленных данных можно сделать обоснованные выводы о планетарной конседиментационной, тектонической, стрессовой или какой-либо иной природе изучаемых систем линеаментов, разрывов и трещин. Следует помнить, что многие линеаменты могут иметь не планетарное и не тектоническое происхождение, а быть связанными с преобладающими направлениями ветров, водных потоков, движением ледников, вулканическими и метеоридными выбросами, деятельностью человека и т. д. Поэтому во всех спорных случаях необходимо привлекать соответствующие метеорологические, гляциологические и другие данные смежных наук.

Изучение линеаментов по радиолокационным снимкам

Одним из новых видов аэрометодов, применяющихся для изучения геологического строения, является радиолокационная (РЛ) аэросъемка. В СССР для получения РЛ изображения используется сканирующая РЛ станция бокового обзора «Торос». Возможные масштабы съемки 1 : 90 000, 1 : 180 000. Достоинством метода является его всепогодность и высокая обзорность РЛ снимков, благодаря их мелкомасштабности; недостатком — малая разрешающая способность (более 30 м на местности). Поэтому очевидно, что изучать пластовые трещины, развитые в отдельных слоях, горизонтах и толщах по материалам РЛ съемки, невозможно, так как они не получают прямого отображения на снимках. Но изучать тектонические нарушения, особенно регионального плана, можно весьма успешно. Поскольку многими исследователями в различных районах доказано, что ориентировка разломов, как пра-

вило, тождественна ориентировке планетарной трещиноватости, постольку данные материалов РЛ съемки могут быть использованы для изучения ее общих закономерностей.

Методика дешифрирования разрывных нарушений по РЛ снимкам та же, что и по аэрофотоснимкам. За разрывные нарушения на РЛ снимках принимаются различной ширины (от 1 до 3 и более мм) или ориентированные точечные * линейно-вытянутые полосы (трассирующие элементы рисунка). Наиболее отчетливо видны новейшие разломы, выраженные в современном рельефе или в ландшафте, менее отчетливо—неживущие древние разломы. Степень дешифрируемости разломов обусловлена их протяженностью, контрастностью форм рельефа, приуроченных к ним (спрямленные уступы, гребни, карнизы, каньоны в горах и прямолинейные участки речных долин, цепочки холмов, гряд депрессий, заболоченных понижений на равнине и т. д.). Кроме того, на степени их выраженности сказываются ориентировка сканирующего радиолуча при съемке относительно разломов, а также наличие и характер покрова рыхлых кайнозойских отложений, степень их увлажненности и шероховатость земной поверхности участка съемки (мезо- и микроформы рельефа). Дешифрирование региональных тектонических нарушений удобнее проводить по РЛ схемам.

Трудность изучения отдешифрированных по РЛ снимкам разрывных нарушений заключается в получении истинных азимутов простирания выделенных объектов. В силу конструкции радиолокационной станции «Торос», производящей съемку, возникает неравенство масштабов вдоль линии полета и линии сканирования, перпендикулярной к линии полета, отсюда происходит и искажение положения в пространственной ориентировке объектов. Поэтому после получения схем дешифрирования линеаментов необходимо произвести перенос результатов дешифрирования со схемы на топооснову либо глазомерно по сетке прямоугольных координат, либо оптико-механическим путем на фототрансформаторе.

Ниже приведены примеры, доказывающие принципиальную возможность использования материалов РЛ съемки для изучения линеаментов, разрывных нарушений, а через них и планетарной трещиноватости. Территория, представленная на рис. 23, это участок равнинного рельефа Карелии — области развития архейских кристаллических пород, имеющих сложную структуру и сильно трещиноватых. Современный рельеф полностью отражает доледниковый: аккумулятивные ледниковые формы, абразионная береговая линия озера, современные эрозионные понижения — все обусловлено разрывной тектоникой. Густота распределения трещин, характер их планового расположения и ориентировка в свою очередь позволяют предполагать, что заложение их произошло по сетке планетарной трещиноватости. На рис. 24 приведено радиолокационное изображение эффузивов верхнего палеозоя и разрывных нарушений, разбивающих их на блоки. Разломы отчетливо дешифрируются по крупным прямолинейным элементам эрозионной сети, зонам повышенного увлажнения и густому покрову растительности (темный тон РЛ изображения). Максимум ориентированных трещин приходится на СЗ 295° и СВ 50°.

---

* Элементы структуры РЛ изображения различной степени потемнения.

Рис. 23. Радиолокационный снимок участка равнинного рельефа Карелии.

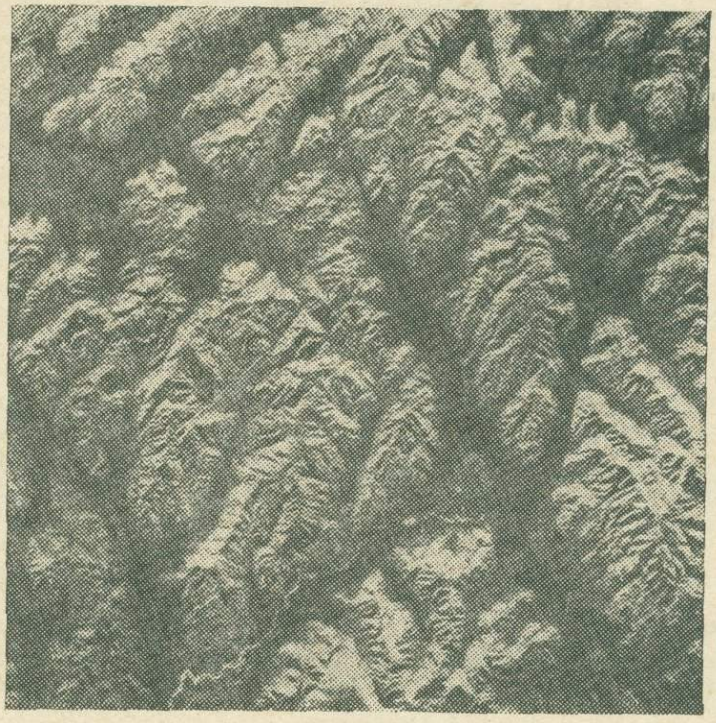

Рис. 24. Радиолокационное изображение эффузивов верхнего палеозоя в Казахстане.

ГЛАВА III

СВЯЗЬ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ЛИНЕАМЕНТОВ СО СТРОЕНИЕМ ЗЕМНОЙ КОРЫ, ГЕОЛОГИЧЕСКИМ РАЗРЕЗОМ, ТЕКТОНИКОЙ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Сопоставление планетарной трещиноватости с линеаментами

В настоящее время имеется большое количество фактического материала, свидетельствующего о том, что основные элементы рельефа Земли — очертания материков и океанов, горных систем, речных долин — подчинены в своей ориентировке планетарным трещинам. Можно привести множество примеров, подтверждающих существующую *зависимость пространственного расположения крупных форм рельефа* и ландшафта от характера трещиноватости горных пород. В подавляющем большинстве линеаменты полностью или частично отражают простирания повсеместно развитой планетарной трещиноватости. Степень сходства линеаментов и трещин по ориентировке и в количественном отношении может быть различная.

Наиболее тесная связь линеаментов с трещиноватостью наблюдается на щитах. Почти сто лет назад Т. Черульф в Южной Норвегии, сопоставляя речную сеть с трещиноватостью пород, установил их тесную взаимосвязь. Позднее данные о сходимости направлений прямолинейных элементов рельефа с трещиноватостью пород в пределах Балтийского щита приводились Д. И. Мушкетовым, Г. Д. Рихтером и др. На Северо-Западе Русской плиты также неоднократно сравнивались простирания трещин осадочного чехла с линеаментами. Здесь, по данным *Лаборатории планетарной трещиноватости* и Б. Н. Можаева (1973), можно проследить несколько случаев соотношений линеаментов с трещинами.

1. Полное совпадение по ориентировке и плотности. Такое сходство наблюдалось на территории Ленинградской, Псковской областей, в Латвии. Прямолинейные участки гидросети, берегов озер почти полностью повторяют рисунок розы-диаграммы трещиноватости пород, *изученной в карьерах и обнажениях* (рис. 25).

2. Линеаменты отражают лишь одно, иногда два направления трещиноватости. Это наиболее распространенный случай проявления трещин на земной поверхности. Примеры подобного соответствия имеют место на территории Ленинградской области, в Эстонии (рис. 26).

3. Линеаменты совпадают с системами трещиноватости по простиранию, а в количественном отношении сходства нет. Такое различие *количественного проявления линеаментов и трещин описано* Б. Н. Можаевым (1973) в западной части Ижорской возвышенности. Количество видимых на аэрофотоснимках линеаментов значительно меньше трещин. Случай частичного сходства линеаментов с трещиноватостью пород по густоте и полного по ориентировке наблюдали и другие исследователи в разных районах (Гольбрайх и др., 1968; и др.).

В каждом конкретном районе розы-диаграммы линеаментов могут отличаться от роз-диаграмм трещиноватости пород как по ориентиров-

ке, так и по степени развития того или иного луча. Причины подобного несовпадения могут быть самые разнообразные. Проводимые сопоставления замеров линеаментов, изученных по аэрофотоснимкам и топогра-

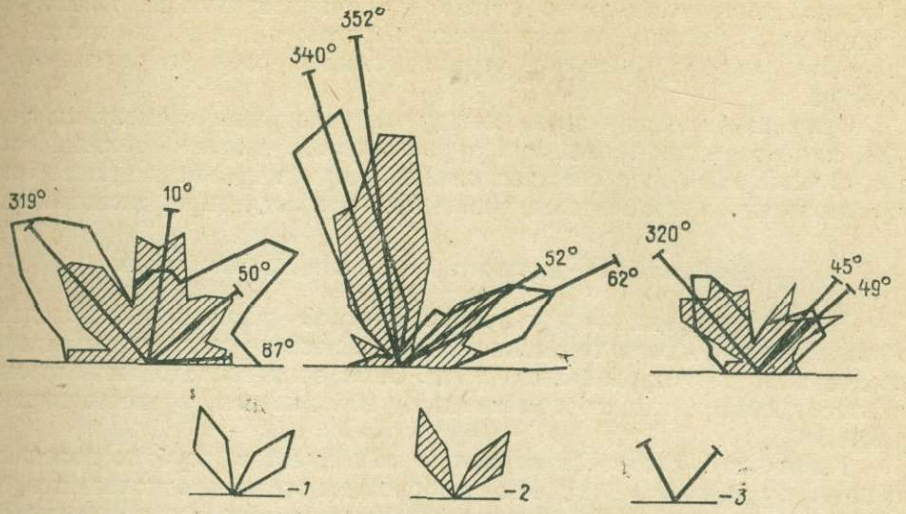

Рис. 25. Схема сопоставления направлений планетарных трещин с линеаментами. Полное совпадение.

1 — роза-диаграмма трещиноватости; *2* — роза-диаграмма линеаментов; *3* — векторные диаграммы.

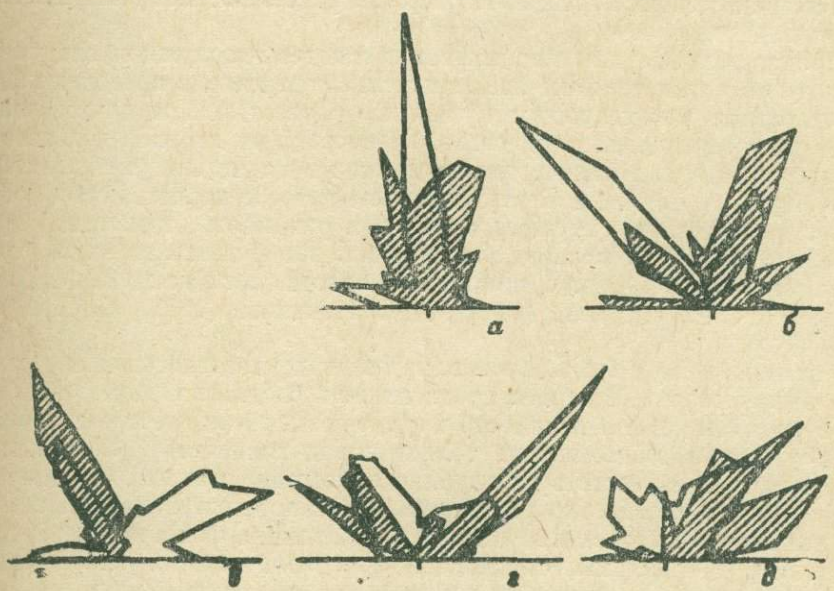

Рис. 26. Схема сопоставления направлений планетарных трещин с линеаментами.

а, в, д — линеаменты, отражающие одно направление трещиноватости; *б, г* — совпадение трещин и линеаментов по направлению. Условные обозначения см. на рис. 25.

фическим картам на одних и тех же площадях, показали, что лучшую сходимость с трещиноватостью пород имеют линеаменты, полученные с аэрофотоснимков. Детальность и качество снимков, заснятых в различное время залетов, не рассматривались. Наиболее тесная связь с трещи-

новатостью пород наблюдается у рек порядка (не имеющих притоков) — на территории Северо-Запада Русской плиты, и с оврагами — на территории Башкирии. В Западной и Восточной Сибири с зонами трещиноватости связано образование и ориентировка не только прямолинейных участков речных долин, береговых линий, но и линейно-грядового рельефа, цепочки термокарстовых озер и других форм рельефа.

Существует тесная связь между спрямленными элементами рельефа, планетарными трещинами и различными типами тектонических дислокаций. Наиболее сложные связи по ориентировке и густоте отмечаются между линеаментами, трещинами и складчатыми дислокациями.

Линеаменты — индикаторы строения земной коры

Выполненные на Северо-Западе Русской равнины исследования показали, что по характеристикам линеаментов принципиально возможно познание структуры земной коры. Опыт этих исследований положен в основу методических рекомендаций, изложенных в настоящем параграфе.

Гипотеза о соответствии длины линеаментов глубине заложения трещин и разрывов. В качестве рабочей гипотезы предполагается, что длина подавляющего большинства линеаментов соответствует глубине заложения трещин и разрывов земной коры, индикаторами которых на дневной поверхности являются линеаменты (статистическое соответствие). Следует полагать, что эта гипотеза особенно справедлива для платформенных условий (для плиты), где слои осадочных пород изогнуты незначительно, а трещины и разрывы рассекают их преимущественно перпендикулярно.

Предпосылками для высказывания гипотезы послужили следующие эмпирически установленные зависимости. Во-первых, в пределах какой-либо площади (элементарного участка) с увеличением длины линеаментов уменьшается их количество. Во-вторых, на дневной поверхности в открытых районах количество трещин на площади уменьшается с увеличением их длины, а в вертикальном разрезе горных пород (обнажениях, выработках) крупных трещин и разрывов, имеющих более глубокое заложение, меньше, чем мелких. На функциональную связь внутрипластовых трещин с мощностью пласта указывают А. А. Богданов (1947), С. А. Смирнов (1949), А. С. Новикова (1951), С. С. Шульц (1969) и др.

Гипотеза может быть обоснована лишь доказательством следствий, вытекающих из нее. Интерес представляют следствия, имеющие практическое значение для целей структурно-геоморфологического анализа. Так, с увеличением мощности толщи пород количество линеаментов, длина которых соответствует глубине заложения трещин, секущих эту толщу, будет закономерно уменьшаться. Отклонения от общей закономерности могут иметь место вследствие различия физико-механических свойств пород в разрезе, обусловленных различием их вещественного состава, плотности, характера цемента и т. д. и изменением давления на глубине, что в целом определяет пластичность пород (Розанов, 1965). Эти различия имеют место прежде всего на границе осадочной толщи и кристаллического фундамента и могут быть присущи слою или толще пород (назовем их маркирующими) в осадочном чехле. Следовательно, по линеаментам соответствующей длины можно выявлять деформации маркирующих горизонтов в осадочном чехле и фиксировать глубину залегания (и локальные поднятия и опускания) поверхности кристаллического фундамента.

Линеаменты — индикаторы глубины залегания и деформаций опорных горизонтов в толще осадочных пород. Для анализа автор воспользовался готовыми данными замеров характеристик линеаментов, выполненных для значительных территорий Ленинградской и Новгородской областей. Схемы густоты и ориентировки линеаментов, построенные по данным этих замеров, прилагаются к работе Б. Н. Можаева и Л. Н. Ивановой (1969), где приводится их описание и дается геологическая интерпретация.

Сеть элементарных участков была перенесена со схемы густоты линеаментов на схему поверхности кристаллического фундамента Восточного Прильменья. Каждому участку дан порядковый номер. С учетом структурных условий и данных замеров линеаментов на каждом элементарном участке составлена таблица (табл. 3). В зависимости от глубины залегания кристаллического фундамента в пределах элементарного участка все они были разбиты на четыре группы (I—IV). В таблице, в вертикальных графах, для каждого элементарного участка под его номером (№) показываются: количество (через интервалы 125 м) линеаментов определенной длины (l) по интервалам 500—625, 625—750, 750—875, 875—1000 м и т. д., суммарное их количество (N), глубина залегания фундамента (Ф). Для всех четырех групп были рассчитаны средние значения числа линеаментов по указанным интервалам длины.

Отмечены следующие закономерности. Во-первых, на элементарных участках в целом количество линеаментов уменьшается с увеличением их длины. Согласно гипотезе это соответствует уменьшению числа трещин и разрывов с увеличением глубины их заложения. Во-вторых, количество линеаментов определенной длины находится в линейной зависимости от суммарного числа замеров на элементарном участке. Это справедливо как для всей рассматриваемой площади в целом, так и для групп линеаментов I—IV в отдельности. При построении графиков на оси y откладывалось число замеров в соответствующем интервале (500—625, 625—750 и т. д.), а на оси x — общее число замеров на конкретном элементарном участке (по табл. 3). Прямые, отражающие зависимость для различных интервалов, затем совмещались по вертикали на нижних графиках и по горизонтали.

От общих закономерностей имеют место отклонения. Так, количество линеаментов длиною 625—750 м на большинстве участков меньше, чем число линеаментов длиною 750—875 м. Отмеченное явление находит выражение, несмотря на разное количество линеаментов на элементарных участках. Относительное уменьшение количества линеаментов длиной 625—750 м отмечается также на графиках, построенных по средним значениям числа замеров в интервалах для групп I—IV в отдельности (рис. 27). В то же время на прямой IV имеют место неоднократные колебания среднего числа линеаментов в интервалах длины 1125—1750 м.

При сопоставлении данных по распределению количества линеаментов по интервалам длины с геологическим разрезом оказалось, что в пределах большинства элементарных участков на глубине 625—750 м залегают в основном слабо сцементированные песчаники и пески тискреского (средний кембрий) и песчаники пакерортского (нижний ордовик) горизонтов, образующих маркирующую пачку пород. В соответствии с глубиной залегания этой пачки на некоторых ключевых участках наблюдается относительное уменьшение числа линеаментов длиною 500—625 и 750—875 м. По деформациям маркирующей пачки пород фиксируются локальные структуры осадочного чехла. При построении профиля была принята усредненная абсолютная отметка высоты рельефа в пределах элементарного участка; участки с общим числом заме-

Таблица 3

Замеры линеаментов на элементарных участках Восточного Приильменья

I	I								II			
	875—1000 м											
	11	1	10	22	34	48	41	37	39		29	20
500—625	65	64	37	41	39	14	14	21	8	14	12	17
625—750	27	20	13	12	11	15	11	8	13	11	—	—
750—875	15	13	19	20	18	15	15	5	4	7	10	7
875—1000	7	5	4	6	9	13	7	4	2	6	3	3
1000—1125	8	3	11	—	2	1	1	3	7	1	2	4
1125—1250	—	6	2	4	1	3	4	2	5	1	3	—
1250—1375	—	3	2	2	2	2	5	—	1	2	4	2
1375—1500	—	1	3	2	1	1	3	1	—	—	1	—
1500—1625	—	1	1	—	1	—	3	1	2	1	1	1
1625—1750	—	—	2	—	—	—	1	—	1	1	—	—
1750—1875	—	—	—	—	1	2	1	—	1	1	—	—
1875—2000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000—2125	—	—	1	1	—	—	—	1	—	—	1	—
2125—2250	—	—	—	—	—	1	1	1	1	—	—	—
2250—2375	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—
2375—2500	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—
2500—2625	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2625—2750	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—
2750—2875	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2875—3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ΣN	122	116	95	88	85	67	67	49	47	45	37	34
Ф	900	880	900	1000	1000	1000	1000	920	1020	930	980	930

II									
21	12	33	40	32	38				
15	10	26	22	27	20				
1	6	17	9	5	4				
3	3	18	12	10	15				
7	4	9	9	7	8				
1	2	7	9	4	6				
—	4	3	8	3	—				
2	1	4	5	5	3				
3	1	—	1	1	—				
—	—	1	1	2	2				
1	—	1	—	—	—				
—	—	2	—	1	3				
—	—	—	—	1	—				
—	—	—	1	1	1				
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	1	1	—				
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	1				
33	31	88	78	68	63				
940	980	1050	1030	1065	1000				

II 1000—1120 м						III 1120—1600 мм			
43	42	13	30	50	49	45	53	44	54
12	11	21	11	3	3	44	34	30	21
11	8	4	—	1	3	19	16	11	13
15	9	2	3	3	1	10	26	16	15
9	3	2	—	—	2	19	4	11	8
8	3	3	1	5	2	8	12	3	5
3	1	—	—	1	—	3	4	5	4
2	2	3	2	—	—	5	2	3	—
1	2	—	2	—	1	1	—	3	4
1	3	—	—	—	2	1	1	—	2
1	—	—	1	—	—	—	—	2	1
—	1	—	1	2	1	—	—	1	1
—	—	—	—	—	—	2	—	—	—
—	1	—	—	—	—	—	1	1	—
—	1	—	—	2	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	1	1	—	—	—
—	—	—	—	—	—	2	—	—	—
—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1	—
—	—	—	1	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
63	46	35	22	17	16	115	100	87	74
1070	1060	>1000	>1000	1080	1060	1180 1500	1200 1550	1100 1300	1500

Продолжение табл. 3

		IV 1600—1800 м					Средние			
52	51	67	62	61	63	57	I	II	III	IV
15	19	21	8	15	12	6	26,5	24,4	27,0	12,4
12	5	10	12	9	11	7	9,8	9,9	12,7	9,8
11	9	15	8	9	5	4	11,0	12,6	14,5	8,0
7	11	3	7	6	7	4	5,7	6,6	10,0	5,4
9	9	5	5	6	5	2	3,3	6,3	7,6	4,6
2	6	2	2	1	3	1	2,4	2,4	4,0	1,8
6	2	2	3	3	5	3	2,0	2,4	3,0	3,1
2	2	1	2	1	1	1	1,2	1,0	1,3	1,2
3	3	2	6	3	1	2	0,9	1,1	1,3	2,8
1	1	1	1	1	2	1	0,4	0,6	0,8	1,2
1	2	2	1	—	1	3	0,5	0,9	0,8	1,4
1	—	1	—	—	—	—	0	0,06	0,5	0,2
—	2	1	2	—	—	1				
—	—	1	1	—	—	1				
1	—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—	—				
—	—	—	1	—	—	—				
—	—	—	—	—	—	—				
—	—	—	—	—	—	1				
1	—	—	1	—	—	—				
72	71	67	60	54	53	37				
1080 1550	1120	1700	1800	1100 1700	1800	1300 1800				

ров меньше 45 считались некондиционными и в расчет не принимались. Следует полагать, что принятый интервал длины линеаментов не всегда совпадает с глубиной залегания маркирующих горизонтов. В таких случаях наблюдается незначительное уменьшение числа линеаментов длиною 625—750 м. Это особенно присуще элементарным участкам, в пределах которых имеются локальные структуры.

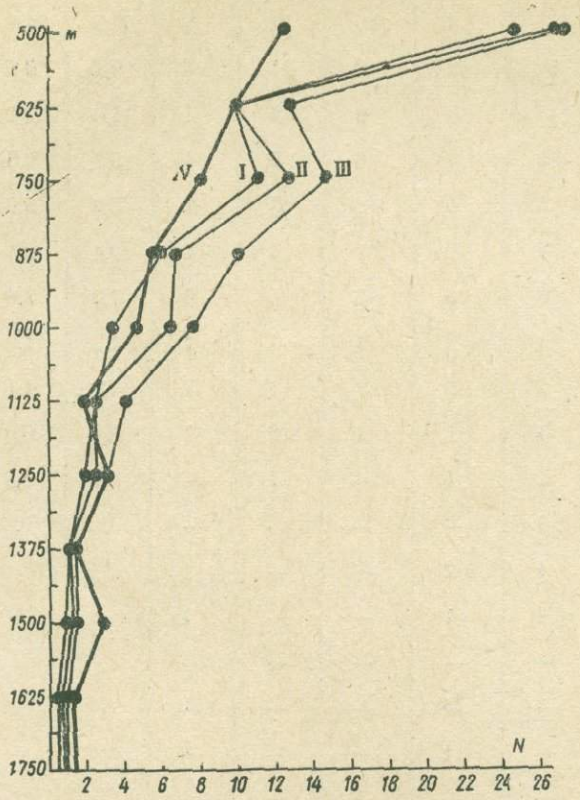

Рис. 27. Графики средних значений количества линеаментов определенной длины (в интервалах длины) для групп элементарных участков I—IV.

В толще осадочных пород маркирующих горизонтов или пачек может быть несколько. В группе IV элементарных участков, где фундамент залегает на глубине 1600—1800 м, отмечено относительное уменьшение числа линеаментов длиною 1125—1250, 1375—1500, 1625—1750 м. Колебания числа линеаментов увязываются с изменением вещественного состава, характера цемента и плотности пород в разрезе на соответствующих глубинах.

Итак, поставив задачу познания структуры земной коры на заданных глубинах, мы должны дешифрировать или выявлять по топографическим картам линеаменты соответствующей длины, расширив верхний и нижний пределы. Затем необходимо выбрать размер элементарного участка такой, чтобы было получено представительное число линеаментов (45 и более), дающее возможность решать поставленную задачу. В то же время размер элементарного участка должен быть минимально малым, чтобы уловить изменение структурных особенностей на площадях.

В дальнейшем возможно составление таблицы (см. табл. 3), в

которой будут проставлены числа линеаментов в соответствующих интервалах длины. Нами был взят интервал в 125 м. Он может быть меньше, что повысит точность исследований, или больше в зависимости от поставленной задачи, структурных условий и линеаментности района работ. Число линеаментов соответствующей длины может оказаться не представительным. Следовательно, задача не решается.

Выявив отклонения числа линеаментов в каких-либо интервалах длины, необходимо привязать их к геологическому разрезу. Для этого необходимо проследить изменение числа линеаментов в интервалах длины на тех элементарных участках, на которых пробурены скважины на соответствующую глубину. Таким образом определяются возраст и вещественный состав пород, слагающих маркирующий горизонт (или горизонты). По положению маркирующего горизонта в интервалах длины строится структурная схема.

Линеаменты — индикаторы глубины залегания (и локальных поднятий и опусканий) поверхности кристаллического фундамента. Анализ распределения средних значений числа линеаментов по интервалам длины в группах I—IV, различающихся по глубине залегания фундамента (см. табл. 3), показал следующее. При отсутствии ярко выраженных маркирующих горизонтов или толщ в разрезе осадочного чехла интенсивность уменьшения количества трещин с увеличением глубины их заложения обратно пропорциональна глубине залегания кристаллического фундамента. Число трещин, проникающих в верхнюю часть фундамента, скачкообразно уменьшается в сравнении с числом трещин, секущих осадочную толщу до ее основания. На интегральном (кумулятивном) графике распределения средних значений числа линеаментов (ось y) по интервалам длины (ось x) кривые I—IV обособлены и

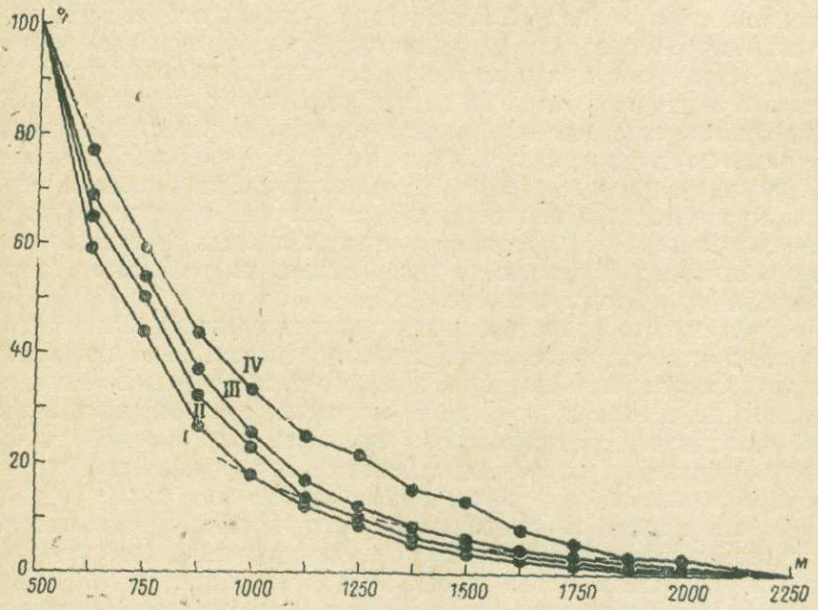

Рис. 28. Интегральные (кумулятивные) графики распределения среднего количества линеаментов в интервалах длины для групп элементарных участков I—IV.

располагаются слева направо и снизу вверх: I—IV (рис. 28). Последовательный отход кривых от пучка кривых наблюдается в интервалах длины, соответствующих глубине залегания фундамента в каждой группе. Отмечается ряд признаков того, каким образом по количеству

линеаментов фиксируется глубина залегания фундамента на элементарном участке (обрыв информации, резкий перепад числа линеаментов и т. д.).

Из анализа характеристик линеаментов следует, что длина линеаментов соизмерима с глубиной заложения трещин. Если допустить, что форма плоскости трещин треугольная, а центральный угол треугольника, опирающийся в основание рассекаемой толщи, составляет 45—54°, то при любом денудационном срезе сохраняется соответствие длины линеаментов глубине заложения трещин. Знание абсолютной отметки каждого линеамента повысит точность исследований. Можно предположить, что трещины развиваются снизу вверх:* раз возникнув, они переходят из слоя в слой, сохраняя первоначальную ориентировку.

Изложенные методические разработки анализа линеаментов требуют проверки в различных структурных условиях для определения границ их применения и эффективности.

Линеаменты и геологический разрез

Многомасштабная и, несомненно, по своей природе многофакторная планетарная трещиноватость в общем виде и в деталях выражена в ландшафтах земной поверхности различными природными индикаторами (линеаментами). Среди последних наиболее важное значение имеют формы рельефа, возникающие в результате экзогенной препарировки систем разноразмерных планетарных отдельностей — геометрически правильных тел, ограниченных пересечением серий планетарных трещин. В настоящее время достаточно достоверно установлено, что планетарная трещиноватость индивидуально проявляется в каждом литолого-петрографическом подразделении (Шульц, 1962). Каковы особенности этих проявлений в более высоких таксономических подразделениях разреза осадочного чехла, каковы закономерности иерархии их различных категорий крупности проявлений, отношения к литологии, текстуре сложения и мощности литолого-стратиграфических подразделений разного таксономического ранга в настоящее время известно очень мало.

В напластованиях различных пород на территории Туркменистана (Копетдаг, юго-западные отроги Гиссарского хребта, Большой и Малый Балхан, Красноводский полуостров, Центральные и Заунгузские Каракумы — современные и предсовременные отложения) трещиноватость изучалась в последовательно расположенных по разрезам литолого-стратиграфических подразделениях.

По протяжению разреза были выявлены трещины разных соотношений со слагающими его стратоподразделениями, локализующиеся в слоях разного литолого-петрографического состава и мощности, в подпачках, пачках и свитах слоев с тем или иным превалирующим литологическим составом, сложением и мощностью. Для каждой из систем трещин в указанных стратоподразделениях устанавливаются, таким образом, «кровля» и «подошва». Эта аналогизация может, однако, в основном относиться к литолого-петрографическим подразделениям. Если системы внутрислойных трещин вертикальны, ограничиваются кровлей и подошвой слоев и согласно исследованиям С. С. Шульца (1962; и др.) связаны с их литологией, то для систем трещин, возникших в литолого-стратиграфических подразделениях, существуют иные закономерности генетического порядка в отношении их связей со стратоподразделениями разреза напластований. Каждому из последних присуща индивидуально выраженная морфология, обусловленная разли-

* По мнению С. С. Шульца, трещины развиваются сверху вниз.

чиями составляющих ее систем трещин. Это весьма интересное обстоятельство. Оно имеет не менее важное значение для формирования физиономичности ландшафта, чем вещественный состав, текстура сложения и характер залегания напластований. Отметим, что данное обстоятельство имеет важный индикационный смысл и было положено в основу методики дешифрирования планетарной трещиноватости.

В разрезах изучавшихся напластований ориентировка трещин является фактором по существу постоянным. Достаточно постоянна вертикальность внутрислойных планетарных трещин. Что касается трещин, развитых в литолого-стратиграфических подразделениях разных рангов, то на многих наблюдавшихся обнажениях присущие им трещины обычно отклоняются от вертикали к напластованиям на угол 2—3° (рис. 29). На данном рисунке видно, что трещины 1—1, секущие толщу слоев неокома на юго-восточном склоне г. Душак-Эрек-Даг (Центральный Копетдаг), действительно отличаются по своему пространственному положению от положения внутрислойных трещин. Надо сказать, что подобные их пространственные соотношения наблюдаются на многих объектах горных областей Туркмении.

Системы господствующих — диагональных — серий трещин (320—340 и 50—70°) устойчиво проявляются почти во всех стратоподразделениях, образуя в них ромбоидальные и тетраидальные планетарные отдельности. Встречаются, но значительно реже, главным образом в средней части готерива, планетарные отдельности более сложных — пентаидальных и гексаидальных — форм, для образования которых необходимо пересечение трещин трех и пяти направлений.

При постоянстве ориентировки трещин их частота является фактором очень переменным. Она различна в стратоподразделениях разреза разного ранга и выражается по его протяжению сложным многомерным спектром. Наряду с этим значительные различия частоты трещин устанавливаются и по направлениям указанных их серий, определяя размерность граней планетарных отдельностей по указанным направлениям их ориентировки.

Таким образом, частота планетарной трещиноватости пространственно сложнодифференцирована и несомненно несет хронологическую последовательность своего образования. Иначе говоря, спектр систем планетарных трещин разделяется на возрастные генерации, последовательная цепь которых охватывает стратоподразделения разреза разного ранга, состава, сложения и мощности, одинаковой ориентировки, но разной частоты и глубины стратиграфического заложения. Генетически обусловленные сочетания внутрислойных и транзитных — сквозных — трещин разного ранга и возраста являются одной из основных закономерностей планетарной трещиноватости в изучавшихся разрезах Туркмении (рис. 30).

Пересечениями серий трещин указанных направлений и поверхностями смены трещиноватости разной частоты стратоподразделения разреза делятся на планетарные отдельности, выраженные как в объеме литолого-петрографических, так и в объеме литолого-стратиграфических его подразделений (Мирошниченко, 1973).

Неодинаковая частота серий трещин по направлениям их ориентировок обусловливает различную протяженность граней планетарных отдельностей, чаще всего неравных по длине. В то же время поверхностями смены частоты трещин определяется их высота как в литолого-петрографических, так и в литолого-стратиграфических подразделениях разреза. Как важное обстоятельство подчеркнем, что протяженности граней планетарных отдельностей соответствует длина линеаментов в ландшафте.

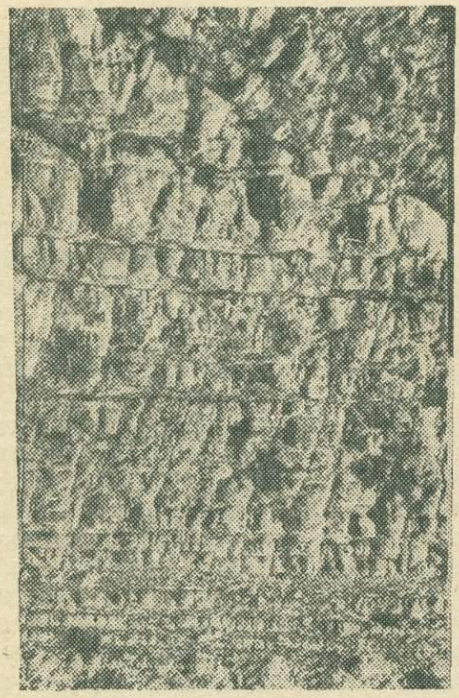

Рис. 29. Обнажение систем планетарных трещин разных рангов и частоты трещин от внутрислойных до систем, охватывающих всю толщу неокома. Центральный Копетдаг.

Объяснение в тексте.

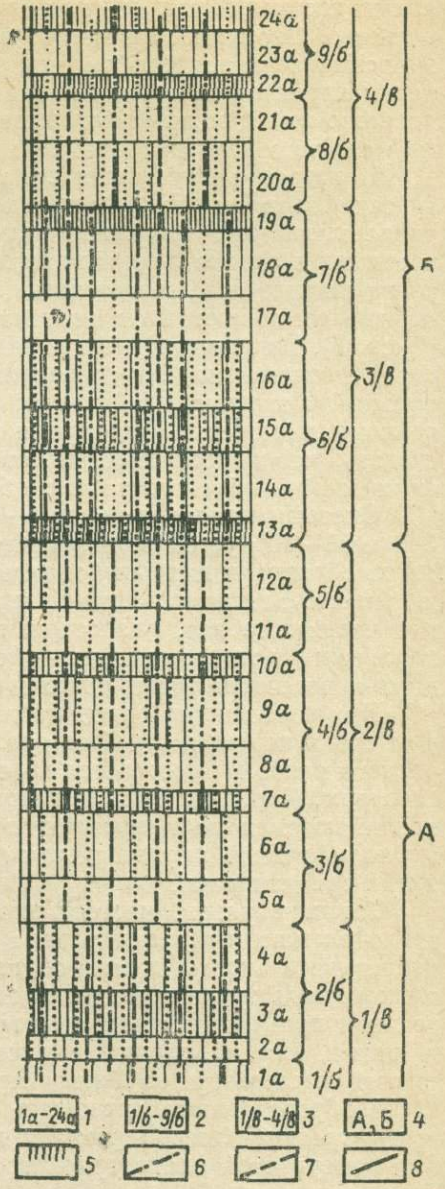

Рис. 30. Модель проявлений планетарной трещиноватости в толще осадочных образований.

1 — пласты; *2* — подпачки; *3* — пачки; *4* — свиты; *5, 6, 7, 8* — планетарные трещины (320—340 и 50—70°) разных категорий глубины заложения (от внутрислойных до проникающих всю толщу).

Понятие о планетарных отдельностях не синоним «тектонического блока». Данный термин закрепился за образованиями, ограниченными трещинами тектонического происхождения, а не планетарными трещинами, образующими грани планетарных отдельностей. Особенно важной отличительной чертой последних является наличие верхней и нижней поверхностей раздела, образованных сменой частоты трещин, обычно пространственно четко выраженных. Строго выраженная пространст-

венно-хронологическая системность планетарных отдельностей не свойственна любым сочетаниям тектонических блоков.

Совершенно различна роль планетарных отдельностей и тектонических блоков как субстрата развития рельефа.

В каждом стратоподразделении пересекающиеся серии планетарных трещин разной ориентировки образуют «поля (системы) планетарной трещиноватости» (рис. 31). Они представляют собою пространственно-сопряженные, стратифицированные по разрезу системы трещин и планетарных отдельностей, различающиеся присущей им частотой, возрастом и морфологией. Смена частоты трещин по вертикали разреза определяет верхнюю и нижнюю границы подобных полей, не всегда совпадающие с кровлями и подошвами литолого-стратиграфических подразделений.

Каждое такое поле локализуется в стратоподразделениях разреза, объемы которых в генетическом отношении еще неясны. Несомненно, однако, что составляющие их системы трещин являются пространственно-ограниченными поверхностями раздела с подобными же системами, имеющими другую частоту, характер и протяженность выражающих их линеаментов.

Пространственное положение поверхностей смены частоты трещин обычно аналогично положению стратоповерхностей, разделяющих литологически разнородные напластования. Наблюдаются, однако, такие поверхности и в литологически однородных породах, например в серых и светло-серых мергелях верхнего баррема Копетдага, с характерной палочкообразной отдельностью очень высокой частоты. Это обстоятельство может служить указанием на образование поверхностей раздела и смену частоты трещин без влияния закономерностей седиментации.

В изучавшихся разрезах горных и равнинных областей Туркмении выявлено пять основных морфологических разновидностей отдельностей и, следовательно, пять типов полей (систем) планетарной трещиноватости. Для изучавшегося разреза Северо-Западной Туркмении основным является тетраидальное поле, образованное пересечением серий трещин 320—340 и 50—70°. Часто встречаются ромбоидальные поля планетарной трещиноватости. Реже—поля трещин трех и пяти направлений, ограничивающих гексаидальные и пентаидальные планетарные отдельности.

Поле планетарной трещиноватости, образовавшееся в объеме какого-либо литолого-петрографического подразделения, по представлению автора, является элементарным. Взаимные соответствия таких полей ввиду совпадения пространственных параметров поверхностей раздела степени частоты, кровли и подошвы вмещающих их слоев не вызывают сомнений. Более сложным в этом отношении является вопрос о таком же соответствии полей планетарной трещиноватости, образовавшихся в стратоподразделениях высоких рангов. По ряду признаков, которые, однако, нельзя считать достаточно установленными, поверхности раздела частоты трещин подобных полей, как выше отмечено, не обязательно совпадают с кровлей и подошвой того или иного индивидуально выраженного литолого-стратиграфического подразделения.

Структура полей планетарной трещиноватости различна. Выделяются мономорфные, диоморфные и полиморфные их структуры. Первые состоят из тетраидальных или ромбоидальных планетарных отдельностей. Вторые — из гексаидальных и триидальных отдельностей. Третьи — из пентаидальных отдельностей или из отдельностей, образованных одновременным сочетанием трещин ортогональных и диагональных направлений. В осадочном чехле мономорфным полям планетарной

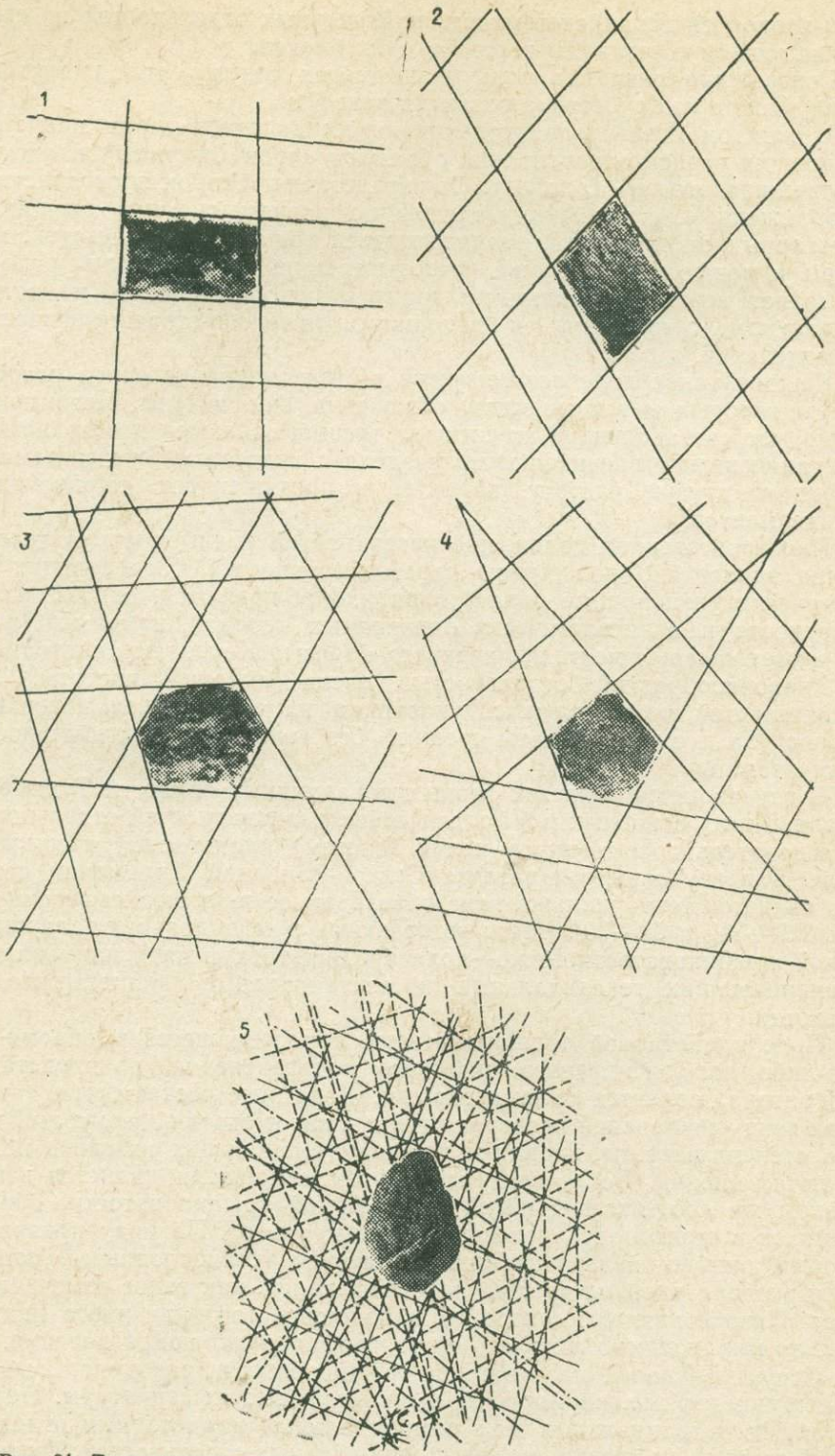

Рис. 31. Типы элементарных полей планетарной трещиноватости, установленных в разрезе осадочных образований юры, мела, третичных, четвертичных и современных отложений Туркмении.

1 — тетраидальный; *2* — ромбоидальный; *3* — гексаидальный; *4*—пентаидальный; *5*—сложный, образованный четырьмя сериями трещин (диагональных и ортогональных).

трещиноватости, по-видимому, принадлежит ведущее значение. Так как параметры этих полей разные, то физические свойства каждого из них, например, прочность, непроницаемость, реакция на эндогенные и экзогенные воздействия и некоторые другие, несомненно также различные.

Частота трещин в пределах каждой из серий в общем выдерживается. Но местами на фоне поля встречаются полосы сгущения трещиноватости, обычно включающие множество коротких пересекающихся трещин тех же направлений. Подобные полосы представляют места ослабления полей планетарной трещиноватости, с которыми могут быть связаны вторичные тектонические (складчатые) и разрывные нарушения.

В стратоподразделениях разреза часто встречаются планетарные отдельности, не делимые на еще более мелкие их аналоги по направлениям ограничивающих трещин. Судя по ряду признаков, они, возможно, представляют нижний предел подобной делимости. Размеры их незначительны (0,04—0,08; 0,2—0,4 м по граням). При этом бо́льшие из них состоят из средне- и крупнозернистой породы, меньшие — из пород, образованных пелитоморфным материалом. Внутри таких элементарных, по автору, отдельностей обычно развита хаотически расположенная трещиноватость, возможно обусловленная литогенным фактором. В каждой из упомянутых пород хаотическая трещиноватость выражена достаточно индивидуально, но без заметно проявленной закономерности.

В основу начертания структуры полей планетарной трещиноватости положены элементарные планетарные отдельности. Их фотоизображения находятся в центральной части каждого из подобных полей (см. рис. 31). Заметим здесь, что по наблюдениям автора на современных и предсовременных такырах равнинной Туркмении довольно четко выражена аналогия образования и сочетания элементарных и более крупных отдельностей, составляющих их полигональные поверхности, трещины которых, вероятно, также имеют планетарный генезис.

Изучавшимися разрезами горных областей Туркмении вскрываются сложные сочетания полей планетарной трещиноватости разного ранга, разной сложности и взаимной соподчиненности. Поэтому коснемся теперь иерархии составляющих их трещин, весьма сложной по содержанию. Лестница их соподчинения начинается от слоя элементарной единицы в системе данной иерархии. Система сопряженных с ним вертикальных по преимуществу трещин замкнута в его объеме, не проникает в соседние стратоподразделения, их частота относительно высокая.

Системы трещин, локализующихся в пачках слоев, более сложны. Они состоят из множеств внутрислойных и сквозных трещин, секущих всю пачку и не выходящих за ее пределы. Трещины систем более высоких рангов имеют еще более глубокое стратиграфическое заложение.

Характерной чертой этой очень многоступенчатой иерархии является перекрытие систем трещин мелких рангов трещинами систем более высоких рангов при прогрессивном уменьшении частоты последних.

В разрезе осадочного чехла поля планетарной трещиноватости разного ранга составляют непрерывно-прерывную стратифицированную систему планетарной трещиноватости. Каждый из ее индивидуально выраженных элементов обособлен от соседних поверхностями раздела частоты трещин. Подобная система показывает, что в истории развития осадочного чехла планетарная трещиноватость имеет системно-дискрет-

ный характер, проявляющийся не только в территориальном, но и в хронологическом отношении *.

Постоянство ориентировки трещин указывает на неизменность условий, определяющих последнее. Примером в этом отношении служит территория Большого Балхана, где по крайней мере на протяжении средней и верхней юры и нижнего мела такие условия сохранялись. В то же время условия, определяющие частоту трещиноватости за указанный отрезок времени, многократно изменялись.

Не останавливаясь здесь на причинности этих явлений, отметим лишь их противоречивый характер, выявляющий важные особенности процесса образования планетарной трещиноватости, несомненно многофакторного по содержанию. Частота трещиноватости, имеющей, как оказывается, сложную иерархию, есть, несомненно, одно из основных проявлений этого процесса.

В силу каких причин возникают различная частота в сложных стратоподразделениях и строго выраженные поверхности ее разделов? Почему различна частота по направлениям серий трещин, образующих сопряженные системы и почему наблюдаются региональные отклонения от их основных диагональных и ортогональных ориентировок? Можно ли говорить об унаследованности трещин или только унаследованности их направлений? Следует иметь в виду, что наличие поверхностей смены частоты трещин ставит в этом отношении определенные ограничения. Почему планетарная трещиноватость спорадически проявляется во времени также тремя и пятью направлениями серий трещин (гексаидальные и пентаидальные планетарные отдельности) и, наконец, каковы нижний и верхний пределы делимости земной коры по направлениям планетарных трещин?

В настоящее время недостаточно, например, данных, чтобы стало ясно, почему в ряде районов Туркмении (как, несомненно, и многих других регионах планеты) встречаются поля планетарной трещиноватости, образованные только двумя, тремя, четырьмя и пятью сериями трещин. Отрывочно (не системно) получаемые материалы не могут иметь достаточного информационного значения. Системный подход к исследованиям, включающий как пространственные, так и хронологические аспекты формирования планетарной трещиноватости, поможет в какой-то мере ответить на перечисленные выше и аналогичные вопросы. Для этого необходимо понимание закономерностей «стратиграфии» *систем планетарной трещиноватости и иерархии составляющих их* трещин.

В заключение отметим, что в дальнейших исследованиях линеаментов, обусловленных планетарной трещиноватостью, по-видимому, явилось бы важным системное решение следующих задач:

1. Выделение в разрезах осадочных пород последовательных во времени систем трещин, выявление в ландшафтах и стратиграфическая привязка соответствующих им линеаментов.

2. Выделение поверхностей смены частоты трещин, их хронологическая идентификация с выявлением их выражения в ландшафтах как факторов стратификации планетарной трещиноватости осадочного чехла. Определение глубины стратиграфического заложения выделяемых линеаментов по соответствующим им поверхностям смены частоты трещин.

---

* Отмеченные закономерности проявлений планетарной трещиноватости в разрезе имеют близкое отношение к вопросу о генезисе тектонических нарушений (пликативных и дизъюнктивных). Поэтому в имеющиеся представления о происхождении складчатых и разрывных нарушений можно внести ряд существенных дополнений.

3. Определение среднего интервала частоты трещин, а также его максимального и минимального значений. Выявление на земной поверхности систем линеаментов соответствующего интервала встречаемости, их аналогизация и стратиграфическая привязка.

4. Разделение разреза на индивидуально выраженные поля (системы) планетарной трещиноватости по признакам стратиграфической приуроченности, состава, сложения, характера вмещающих их литолого-петрографических и литолого-стратиграфических подразделений, морфологии, интервалов частоты трещин и глубины стратиграфического заложения трещин. Установление стратификации полей планетарной трещиноватости и аналогизация с ними систем линеаментов.

5. Исследования морфологии планетарных отдельностей (составляющих индивидуально выраженные поля планетарной трещиноватости) как индикаторов количества серий планетарных трещин, их ориентировок и морфологии полей планетарной трещиноватости.

6. Разработка фотограмметрических методов измерений основных элементов морфологии систем планетарных трещин, особенно в горных областях со складчатым основанием.

7. Разработка методики математических методов исследований, сбора полевых материалов для целей формализации получаемых данных и моделирования сопряженной системы планетарных трещин и планетарных отдельностей.

О связи тектоники с планетарной трещиноватостью и линеаментами

Связь, существующая между простираниями планетарных трещин и простираниями складчатых областей, отдельных складок и разрывов, геофизических и рудных полей и отдельных жильных образований, в настоящее время никем не может оспариваться. Иногда эта связь устанавливается непосредственно, иногда при помощи изучения отражения трещиноватости в рельефе и ландшафте путем анализа линеаментов. Но все эти связи остаются зачастую не обнаруженными, если исследователь не обратит на них специального внимания. Совершенно очевидно, что в первую очередь связь тектонических деформаций с планом трещиноватости должна быть установлена лицами, изучающими планетарную трещиноватость.

Целый ряд методических указаний, позволяющих использовать планетарную трещиноватость при изучении и прогнозе тектонической структуры, был дан выше. Здесь мы кратко рассмотрим лишь некоторые общие связи трещин и линеаментов с тектоническими формами и процессами. Последние наиболее активно проявляются в настоящее время в современных мобильных областях Земли, в тех областях, рельеф которых создан в основном современной и новейшей тектоникой, более интенсивной, чем денудационные процессы. Так, например, на полуострове Камчатка интенсивно проявляются не только собственно тектонические движения, но и вулканические явления. Действующие (и потухшие) вулканы расположены здесь вдоль пересекающихся систем трещин. То же намечается и для сейсмических явлений.

На Кавказе, по данным Е. Е. Милановского (1973), вытянутые в запад-северо-западном направлении сейсмические зоны и таким же образом вытянутые изосейсмы и остаточные деформации большинства землетрясений соответствуют общекавказским простираниям новейших структурных и орографических элементов. Кроме того, выделяются поперечные зоны распределения землетрясений антикавказского северо-северо-восточного направления. С последними тоже связаны некото-

рые особенности рельефа и вулканизма Кавказа. После крупных землетрясений, например после Семиреченского землетрясения 1911 г. в Тянь-Шане, остаточные деформации оказываются зачастую вытянутыми в виде уступов вдоль господствующих систем трещин.

Но особенно ясно закономерности простираний видны в расположении крупных орографических элементов горных стран. Горные хребты, представляющие собой выраженные в рельефе новейшие тектонические поднятия, как правило, вытянуты параллельно друг другу, подчиняясь в каждом данном участке лишь одной из систем трещин. Но и более или менее перпендикулярная ей система трещин получает то или иное выражение в складчатой зоне. Нередко можно видеть погружения шарниров складок и понижения гребней водоразделов хребтов, расположенных вдоль параллельных, пересекающих складки и хребты линий («поперечная складчатость»). Но чаще здесь наряду с продольными (конкордантными) развиваются поперечные (дискордантные) разрывы.

Связь перечисленных структурных и орографических элементов с планетарной трещиноватостью может анализироваться либо путем общих, планетарных сопоставлений, либо путем конкретного изучения планетарной трещиноватости данной исследуемой области. Первый путь лежит в построении глобальных схем или схем больших областей с использованием снимков из космоса и широких обобщений и сравнений. Сюда относятся и теоретический анализ планетарных напряжений, возникающих в литосфере Земли при ее ротационно-обусловленной полярной деформации, и возможные изменения простирания планетарной трещиноватости в случае перемещения материков или оси вращения Земли, а также сравнения трещиноватости Земли и других планет. Другой путь идет через построения роз, схем и карт трещиноватости или линеаментов и сравнения их со структурными схемами изучаемых районов, а также со строением отдельных структурных форм. Этот путь позволяет эмпирически установить некоторые общие закономерности и наметить пути последующего их использования для понимания и прогноза структурных особенностей.

Говоря о трещиноватости мобильных областей надо иметь в виду, что здесь помимо планетарной трещиноватости наблюдается трещиноватость тектоническая. При интенсивном формировании структурных форм в мобильных областях возникают зоны смятия, милонитизации, большие разломы, местный и региональный кливаж и, наконец, вызванные формированием структуры трещины и разрывы.

Тектонической трещиноватости посвящена огромная литература, критическое рассмотрение которой не входит в нашу задачу. Следует, однако, отметить, что отнесение всех трещин складчатых областей к тектоническим заведомо не верно. Но надо учитывать, что планетарная трещиноватость изменяет здесь в некоторых случаях свои особенности. Во-первых, при наклоне пласта только секущие его вкрест простирания трещины остаются вертикальными и сохраняют свое направление. Планетарные трещины, простирание которых соответствует простиранию получившего какой-либо наклон пласта, так же как и секущие трещины, сохраняют свое простирание. Но, будучи перпендикулярными к поверхности пласта, они перестают быть вертикальными и приобретают угол наклона, дополнительный к углу падения пласта. Первичное простирание планетарных трещин, идущих косо относительно структуры, должно пересчитываться.

В некоторых случаях в процессе деформации несколько изменяется и частичный или общий план планетарной трещиноватости. Это отмечается иногда превращением прямоугольной отдельности в ромбоидаль-

ную, раздавливанием или искривлением трещин. Возможно, что в большом плане прямолинейные простирания крупных разрывов, складок и горных хребтов, благодаря пластическим деформациям, изгибаются, и прямолинейные формы структуры превращаются в виргации. Однако возможна и другая трактовка кажущегося изгибания тектонических линий. Она опирается на представление о том, что тектонические напряжения не только не создают рассматриваемую трещиноватость, но, как правило, не изменяют и плана ее. Тектонические дислокации с этой точки зрения приспосабливаются к планетарной трещиноватости. В частности, крупные изгибы простираний, виргации или островные дуги рассматриваются как приспособление дислокаций к ряду прямолинейных отрезков первично-разнонаправленных трещин (Архипов, 1970).

Изменчивость характера дислокаций в зависимости от направления тектонических напряжений, приложенных к блоку горной породы, разбитому двумя взаимно перпендикулярными системами планетарных трещин, может иллюстрироваться рис. 32. На рис. 32, *А* при условии давления на блок с юга, юго-юго-запада или юго-юго-востока меридиональные трещины будут открываться. Они могут выполниться жильными образованиями, по ним могут произойти сдвиги, оставив следы, главным образом горизонтального движения, на стенках трещин. Система широтно вытянутых трещин при тех же условиях давления будет испытывать сжатие. Разрывные дислокации в них выразятся в виде взбросов с вертикальными штрихами на стенках трещин, превращенных иногда в зеркала скольжения образованием милонитов и катаклазитов.

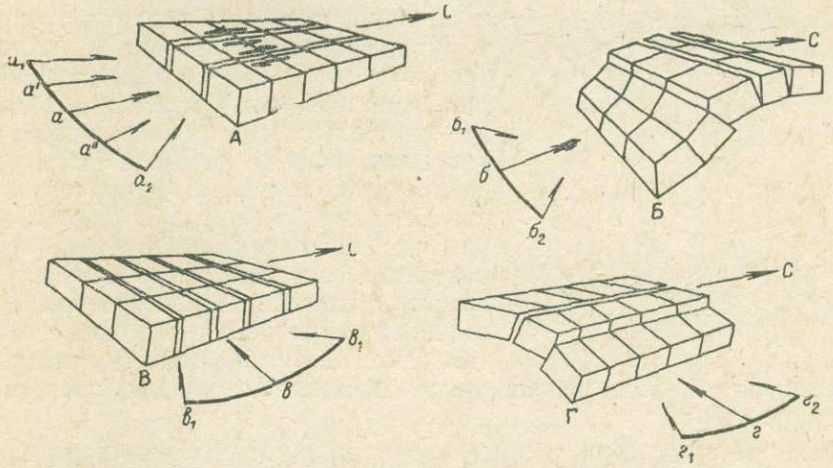

Рис. 32. Блок-диаграммы пласта, пересеченного ортогональными трещинами.
А — при давлении с юга без изгиба пласта; *Б* — при давлении с юга с изгибом пласта; *В* — при давлении с востока без изгиба пласта; *Г* — при давлении с востока с изгибом пласта; *а*, *б*, *в*, *г* — направления давления (общие); *а'*, *а''* — неравномерное распределение давления $a' < a > a''$); a_1, a_2, $б_1$, $б_2$, $в_1$, $в_2$, $г_1$, $г_2$ — отклонения в направлении давлений от перпендикулярности к одной из трещин.

Наличие двух подобного рода пересекающихся систем трещин давно отмечалось для плутонических пород. При этом первая из рассмотренных систем, вытянутая по направлению давления, получила обозначение *Q*, а вторая, перпендикулярная ей,— система *S* (Клоос). Кроме того, выделяется система *L*, первично близкая к горизонтальному залеганию, по которой могут происходить срывы типа надвигов или шарьяжей. В осадочных породах трещины *L* могут сопоставляться с поверхностями напластования.

На рис. 32 видно, что при давлении восточных румбов (см. рис. 32, *В*) трещины, разбивающие рассматриваемый блок горных пород, приобретают иные особенности, чем на рис. 32, *А*. Меридиональные трещины становятся закрытыми и могут обозначаться как трещины *S*, широтные становятся трещинами *Q*.

На рисунке 32, *Б* и *Г* тот же блок горной породы испытывает пластический изгиб. При этом поперечные направлению давления трещины (S) на своде складки растягиваются, на крыле сжимаются и перестают быть вертикальными. По ним происходят здесь взбросы и надвиги. А растущая складка лишь более или менее перпендикулярна направлению тектонического сжатия и имеет простирание, соответствующее одной из систем трещин,— либо широтное (рис. 32, *Б*), либо меридиональное (рис. 32, *Г*).

Если к такому же блоку, разбитому ортогональной сетью трещин, приложить давление с юго-востока (рис. 33), разрывные дислокации произойдут вдоль тех же двух систем трещин. Но в данном случае образуются сдвиги: левые по меридиональным трещинам, правые — по широтным. Что же касается складок, то в этом случае они могут образоваться под углом к планетарной трещиноватости (см. рис. 33).

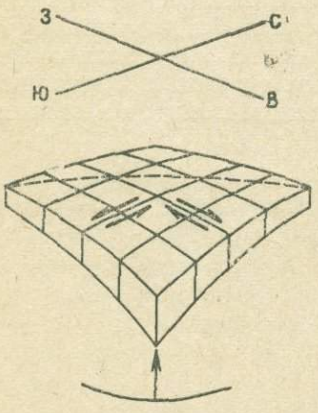

Рис. 33. Блок-диаграммы пласта, пересеченного ортогональными трещинами, при давлении, направленном с ЮВ и СЗ.

Мы рассмотрели простейшую схему приспособления разнонаправленных тектонических давлений южных и восточных, а затем юго-восточных румбов к блоку пород, разбитых лишь двумя системами трещины — широтной и меридиональной.

В природе обычно развиты трещины, не укладывающиеся в две, а большей частью и в четыре системы «планетарных направлений». И все же, измерив трещины и построив их розы, можно увидеть, как связана с выявленными направлениями структура изучаемого района. Если же структурные формы в закрытом районе не известны, зная существующие связи, мы можем сделать прогноз, опираясь на данные планетарной трещиноватости. Если в том же закрытом районе нельзя замерить трещины в горных породах, надо использовать линеаменты и по ним предсказать структуру.

Закономерная связь разрывов с планетарными трещинами приводится в ряде исследований. В частности, в работах И. П. Гамкрелидзе указывается, что сдвиги в Аджаро-Триалетской зоне Кавказа приурочены к развитым там планетарным трещинам СВ и СЗ простирания. При этом в полном согласии с приведенной выше схемой (см. рис. 33) по трещинам СЗ направления развиты правые сдвиги, а по трещинам СВ простирания — левые. Отсюда напрашивается вывод о близких к меридиональным тектоническим напряжениям, формирующим структуру. Данные о взбросах по трещинам широтного направления, совпадающим с простиранием складок, полностью укладываются в такой вывод.

Все эти наблюдения имеют не только частное, но и общее значение. Так, например, приуроченность правых сдвигов к трещинам СЗ простирания, а левых сдвигов к СВ трещинам характерна для Земли в целом.

Эмпирические данные Е. Н. Пермякова показывают, что складки Поволжья имеют простирание, большей частью параллельное диагонали параллелограмма, построенного на главных лучах роз-диаграмм планетарных трещин. Данные В. Б. Полкановой и других исследователей закрытых пространств Западной Сибири позволяют по ориентировке и густоте линеаментов искать складчатые структуры. Все эти закономерности излагаются в статьях нашего Методического руководства, и здесь нет надобности их повторять.

В процессе дальнейших исследований планетарная трещиноватость несомненно будет все шире привлекаться при структурном анализе и методы ее использования будут умножаться и совершенствоваться. Это необходимо, так как только учитывая сеть планетарных трещин и создаваемую ими анизотропию земной коры, можно понять особенности ее структуры. Поверхности трещин, даже если сеть их остается неизменной, являются гранями, по которым легче всего могут произойти смещения. Но в зависимости от положения и характера источника напряжений, а может быть и других внутренних и внешних условий, грани эти используются выборочно.

В самом общем плане неоднократно отмечалось, что западнее Байкала на обширной территории СССР и Западной Европы преобладают северо-западные простирания тектонических структур. Но в некоторых случаях, например в Барабинской и особенно в Кулундинской степи, линеаменты с исключительной четкостью рисуют только северо-восточные направления.

При ближайшем рассмотрении некоторых структурных и орографических областей видно, что для отдельных участков они имеют разное свое выдержанное простирание. Так, в горах Тянь-Шаня выделялись Алайское (широтное), Ферганское (северо-западное) и Чаткальское (северо-восточное) направления. В некоторых случаях эти направления постепенно сменяют друг друга в пространстве, образуя изгибы, виргации, диагональные перемычки, сигмоиды, в других одна из систем резко упирается в другую, образуя торцовое сочленение.

Замеряя простирание линейно-вытянутых хребтов и впадин, крупных складчатых и разрывных дислокаций Тянь-Шаня по топографическим и геологическим картам, можно видеть, что они в общем близки, но в точности не соответствуют эмпирически полученным для платформ и теоретически вычисленным простираниям планетарной трещиноватости. В то же время замеры более мелких линеаментов — спрямленных участков русел основных рек Тянь-Шаня — позволили построить розу с векторами СВ 40 и СЗ 318, т. е. с системами диагональных трещин, лишь на 3—5° отличающимися от стандарта.

Представляется, что главные формы структуры и горные хребты хотя и используют в каждом случае в основном одну планетарную систему трещин, но не полностью подчинены ей. Дислокации происходят не по всем трещинам выбранной системы, а кулисообразно располагаются вдоль них. В то же время происходят сдвиги по поперечным трещинам. Все это создает зоны разломов или иные тектонические и морфологические формы структуры, характерные не только для гор Средней Азии.

Здесь мы не останавливаемся на обосновании изложенных построений, на длительной истории изучения направлений вытянутости горных хребтов Средней Азии и связанной с этим вопросом дискуссии. Укажем только, что И. В. Мушкетов считал хребты северо-восточного простирания более древними складчатыми поднятиями (палеозойскими), а северо-западные — более молодыми (главным образом третично-

четвертичными). Более молодые поднятия, по мысли И. В. Мушкетова, перестроили более древние, сформировав виргацию складок.

Разный возраст разнонаправленных трещин, а также разрывных и складчатых дислокаций, представляет собой тему, требующую самого внимательного рассмотрения. Во-первых, надо разделить вопрос. Простирание и возраст планетарных трещин и простирание и возраст тектонических дислокаций. Это разные вещи. Сейчас уже мало кто согласится с тем, что разные лучи розы или разные системы планетарной трещиноватости могут иметь разный возраст. Трещины всех простираний в каждом случае возникли одновременно. Возраст планетарных трещин, разбивающих отдельные слои или пачки слоев, принимается нами как соответствующий возрасту пород. Такое заключение опирается на неоднократно излагавшееся (Шульц, 1962—1973) наше представление об эндокинетическом генезисе планетарных трещин, возникающих внутрислойно в процессе литификации отлагающихся осадков. При рассмотрении более глубоко проникающих трещин должны быть привлечены, опять-таки, внутренние напряжения, связанные с изменением объема толщ, обусловленным эпигенезом, остыванием, кристаллизацией, метаморфизмом и другими физико-химическими явлениями, происходящими внутри самих толщ, а не в результате внешних усилий.

Какого бы порядка ни были трещины и как бы они глубоко ни проникали, они не могут быть древнее тех пород, которые ими пересекаются. Впрочем для платформенных областей наблюдаемые в обнажениях трещины разных порядков и разного возраста параллельны или почти параллельны друг другу.

Несколько иначе обстоит дело в складчатых областях. Как уже говорилось, планетарные трещины, нормальные к напластованию, вместе с наклоном слоев на крыльях складки перестают быть вертикальными. Однако после того как складка будет сформирована, могут образоваться новые планетарные трещины, часть из которых будет пересекать не только вновь отложившиеся горизонтальные слои, но и более глубокие, в том числе и дислоцированные горизонты. Они не будут параллельны нарушенным вместе со слоями на крыльях складки более древним трещинам. Однако, как показало изучение Калача-Мазарской антиклинали в Ферганской впадине, и наклонные и вертикальные, разновозрастные и разнопорядковые планетарные трещины имеют одинаковое простирание.

У нас нет достаточно убедительных данных для того, чтобы говорить об изменении плана планетарных трещин в течение геологической истории Земли. Или, точнее, в течение фанерозоя. Однако некоторые небольшие отклонения для трещин разного возраста, как будто, намечаются. Так, например, ортогональная трещиноватость как первого, так и второго порядка в верхнем девоне Северо-Запада Русской платформы имеет четкие простирания З 280° и С 10°, на 10° отличаясь от стандарта. Тщательное изучение простирания систем трещин разного возраста и в разных областях является одной из важнейших задач изучения планетарной трещиноватости.

Для этого делать замеры трещин и строить сводные векторные диаграммы надо в каждом данном районе раздельно для пород разного возраста. К этому надо добавить, что, как известно, геофизические и другие данные говорят о перемещении полюсов и о возможных резких перескоках трещин одной системы в другую. В этом случае план трещиноватости в том или ином районе может не меняться, но широтные трещины могут занять положение меридиональных, и т. п. (Шульц мл., 1974).

То же может произойти при резких скачкообразных поворотах и перемещениях материков, наблюдаемых на Земле по данным теории плит. Все эти вопросы требуют сопоставлений с геофизическими и палеоклиматическими материалами и сводок данных по планетарной трещиноватости разных возрастов для больших территорий.

В отличие от планетарных трещин тектонические дислокации связаны с экзокинетическими воздействиями на рассматриваемые горные породы, с тектоническими напряжениями, вызывающими сдавливание или растяжение пород. Выше было показано, как при наличии планетарных трещин тектонические деформации приспосабливаются к ним. Мы рассмотрели простейшие случаи влияния на трещины разнонаправленных тектонических давлений (см. рис. 32 и 33).

Тектонические воздействия могут проявляться как во время формирования планетарных трещин, так и позже их образования. В общем можно считать, что дислокации, и в частности разрывные дислокации, как правило, моложе трещин. Они используют готовую сеть планетарных трещин и могут проявляться на этой основе неоднократно. При этом разрывы в разное время могут по-разному проявляться вдоль трещин того или иного направления, вызывая сжатие их или расширение, проявляясь в виде сбросов, сдвигов или надвигов. Таким образом, и возраст и простирание тектонических дислокаций на фоне неизменной сети планетарных трещин могут быть различными.

В заключение следует сказать, что при изучении связей планетарных трещин и тектонической структуры могут быть использованы все методы, описанные в настоящем руководстве. При этом исследователь планетарной трещиноватости в первую очередь должен изучать сами трещины, их возраст, морфологию и ориентировку в пространстве. От особенностей трещин идут наши заключения о характере тектонической дислокации, о процессах самых разных масштабов, значения и времени проявления. От иллюстрации идей новой глобальной тектоники рифтовых зон и плавания материков до выяснения и прогноза местоположения и характера отдельных дислокаций, создавших складки, разрывы или жильные тела, с которыми так или иначе связаны те или иные полезные ископаемые.

Использование данных о магнитном поле для изучения планетарной трещиноватости

Вследствие того, что геофизические методы разведки, в частности магнито- и гравиметрия, фиксируют смену вещественного состава горных пород в горизонтальном направлении, они давно и успешно применяются для выявления и изучения разрывных нарушений земной коры разного ранга и различной глубины заложения. Признаки, по которым опознаются разрывные нарушения в магнитном и гравитационном полях, описаны во многих работах (Андреев, Клушин, 1962; Аэромагнитная съемка..., 1973; Фуллер, 1966, и т. д.). В свою очередь многочисленными работами в районах, различающихся по особенностям геологического строения и развития, показано, что ориентировка разрывных нарушений, как правило, тождественна ориентировке планетарной трещиноватости. Более того, разрывные нарушения — суть планетарные трещины, по которым произошли смещения.

Таким образом, данные о гравитационном и магнитном полях могут быть использованы для изучения планетарной трещиноватости. Следует отметить следующие особенности использования данных магнито- и гравиметрии для изучения этого вопроса. В отличие от полевых гео-

логических наблюдений за планетарной трещиноватостью, обычно дискретных ввиду приуроченности к естественным обнажениям горных пород и искусственным выработкам, геофизические материалы дают одинаково достоверные данные по всей изучаемой территории. Следствием этой особенности является возможность использования геофизических данных в первую очередь для изучения таких свойств планетарной трещиноватости, которые проявляются только статистически, на основе количественной обработки больших массивов наблюдений (например, ориентировка планетарной трещиноватости, распределение ее на площади). Это, однако, не исключает возможности непосредственного изучения по данным магнито- и гравиметрии отдельных разрывных нарушений. Порядок таких нарушений определяется масштабом геофизических съемок.

Конечно, не все планетарные трещины выражены в виде разрывных нарушений и не все из разрывов в свою очередь находят отражение в магнитном и гравитационном полях. Вследствие этого какая-то часть информации о планетарной трещиноватости теряется при использовании геофизических данных. Однако при обработке крупных представительных массивов данных основные закономерности пространственного размещения планетарной трещиноватости устанавливаются достаточно надежно.

Ниже рассмотрены возможности использования данных о магнитном поле (на примере одного из районов Северо-Запада Русской платформы). Условия района эксперимента следующие: территория находится на стыке трех крупнейших структурных форм Северо-Запада Русской платформы: южного склона Балтийского щита, Московской синеклизы и Латвийской седловины и в административном отношении захватывает почти всю Ленинградскую и частично Новгородскую и Псковскую области. Поверхность фундамента и породы осадочного чехла полого падают к юго-востоку. Мощность осадочного чехла изменяется от 200—300 м на севере до 1,5—2,0 км на юго-востоке.

Осадочный чехол представлен породами верхнего протерозоя, палеозоя и ледниковыми образованиями четвертичной системы. Последние имеют мощность от нескольких метров в пределах плоских низин до 200—250 м на возвышенностях. Под покровом четвертичных отложений залегают карбонатные и песчано-глинистые отложения каменноугольной, девонской, ордовикской и кембрийской систем. Именно в этих отложениях и развита планетарная трещиноватость, частично отражающаяся в современном рельефе в виде линеаментов. Кристаллический фундамент представлен магматическими (граниты, гранодиориты, сиениты, лабрадориты, анортозиты) и метаморфическими (гнейсы, сланцы) породами.

Вследствие того, что осадочный чехол района практически немагнитен, принято считать, что магнитное поле достаточно полно отражает внутреннюю структуру кристаллического фундамента и неровности его поверхности. Следует ожидать, что разрывные нарушения, секущие кристаллический фундамент, отражаются в характере магнитного поля ориентированными аномалиями, спрямленными отрезками изодинам. С целью выявления таких отрезков и установления закономерности в их ориентировке вся территория была разбита на элементарные участки, соответствующие по площади трапециям масштаба 1 : 25 000 или в отдельных случаях 1 : 50 000. Для каждого участка на картах магнитного поля, построенных по материалам аэромагнитной съемки, изодинамы делились на отрезки длиною в 1 см, измерялись количество и ориентировка таких отрезков, а затем в виде розы строилась диаграмма простирания изодинам магнитного поля.

В качестве выраженных в рельефе планетарных трещин принима-

лись линеаменты — в основном прямолинейные элементы рельефа. Они измерялись по крупномасштабным топокартам, минимальная длина выбранных для эксперимента линеаментов составляла 2 см в масштабе карты. Для каждого элементарного участка подсчитывалось количество линеаментов и строилась диаграмма их простирания. Каждая диаграмма простирания изодинам магнитного поля и диаграмма простирания линеаментов наносились на сводную карту в точке, соответствующей центру элементарного участка, к которому они относятся. Всего было получено 289 диаграмм простирания изодинам и 590 диаграмм простирания линеаментов.

Анализ материалов (графиков, диаграмм, схем расположения диаграмм простирания изодинам и линеаментов) осуществлялся в двух направлениях. Одно из них ставило задачей получение выводов об общих закономерностях в ориентировке линеаментов и изодинам для всей территории. Общий вид кривых простирания линеаментов и изодинам различен (рис. 34), но корреляционный анализ показал, что коэффициент корреляции между простиранием изодинам магнитного поля и линеаментов, вычисленный по методике М. Фуллера (1966), очень высок — 0,81. Эмпирическая мера тесноты связи, определенная по методике Фехнера, также высокая — 0,7.

При анализе кривых выясняется, что максимумы у них во многих случаях общие, в частности, преобладают сравниваемые показатели северо-восточной ориентировки. Отрезки изодинам магнитного поля и линеаменты такого простирания имеются почти на каждом элементарном участке. При этом на одном и том же участке сходство в ориентировке линеаментов и отрезков изодинам северо-восточного простирания очень высокое: в 86% случаев отклонение не превышает 15%. Для сравнения укажем, что для линеаментов и изодинам, ориентированных на северо-запад, такое сходство отмечается лишь в 60% случаев. Участки с преобладанием северо-восточной ориентировки сравниваемых показателей встречаются вдвое чаще, чем участки с преобладанием линеаментов или изодинам широтного, меридионального или северо-западного направлений: 41,6% случаев для изодинам и 46% случаев для линеаментов.

Второе направление анализа заключалось в характеристике связи ориентировки изодинам магнитного поля и линеаментов в пределах отдельных участков. Каждая полученная диаграмма является выборкой (совокупностью), состоящей из какого-то количества наблюдений, распределенных по нескольким разрядам. Оказалось, что сопоставление диаграмм ориентировки изодинам и линеаментов для каждого из 590 участков невозможно как ввиду непредставительности большинства выборок в целом, так и неудовлетворительного распределения по разрядам. Вследствие этого пришлось пойти на увеличение площади, в пределах которой возможно было бы проводить сопоставление ориентировки различных элементов. Формальный путь приводит к увеличению каждого участка до площади листа масштаба 1 : 100 000, 1 : 200 000 и т. д. Однако при таком подходе в пределах одного листа могли оказаться различные по тектоническим особенностям участки. Более целесообразно, по-видимому, районирование по какому-либо признаку. В пределах исследованной территории по различию в геологическом строении было выделено 6 участков: Северо-Западный, Центральный, Будогощский, Волховский, Крестецкий и Юго-Восточный.

Максимумы кривых распределения ориентировки линеаментов и изодинам магнитного поля Северо-Западного участка приурочены к азимутам (с точностью до 5°) 360, 20, 40, 55, 65 и 90° (рис. 35, а). При этом линеаменты чаще ориентированы в направлениях 5, 20, 40, 55, 345°.

Знаменательно, что простирание известных на этом участке структур осадочного чехла близко к этим же направлениям: простирание Гатчинско-Павловского вала 40—45°, простирание Колпинской структуры около 5°, Озерецкой — около 350°.

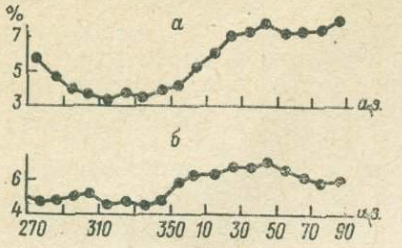

Рис. 34. Диаграммы ориентировки (частотные кривые распределения) изодинам магнитного поля (*а*) и линеаментов (*б*) для территории Ленинградской и Новгородской областей.

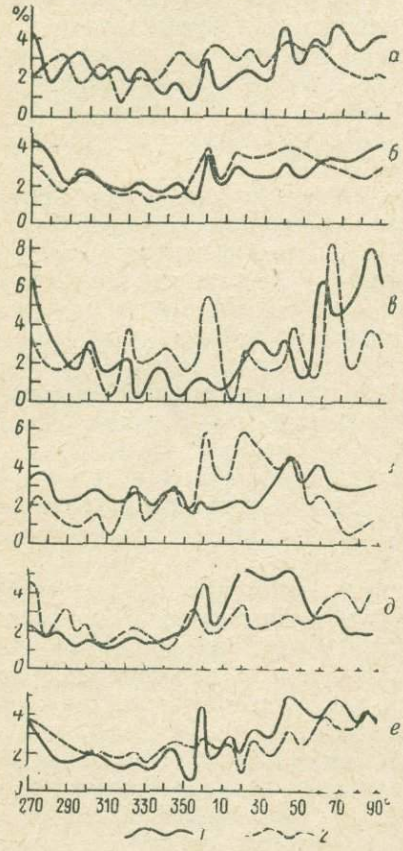

Рис. 35. Диаграммы ориентировки (частотные кривые распределения) изодинам магнитного поля (*1*) и линеаментов (*2*) отдельных участков Ленинградской и Новгородской областей.
а—Северо-Западный, *б*—Центральный, *в*—Будогощский, *г* — Волховский, *д*—Крестецкий, *е* — Юго-Восточный;

Диаграммы ориентировки изодинам и линеаментов Центрального участка не имеют резких максимумов, но зато, пожалуй, характеризуются наибольшим сходством (см. рис. 35, *б*). Следует отметить, что этот участок характеризуется наиболее спокойным тектоническим режимом как на доплатформенном, так и платформенном этапах развития. В его пределах к настоящему времени локальные структуры не известны.

Для Будогощского участка характерна очень высокая степень сходимости в расположении относительных максимумов на кривых распределения (см. рис. 35, *в*). Участок находится на стыке двух зон доплатформенной тектонической активности: северо-восточного направления (Волховской) и широтной (о. Муху—Муставээ—Луга). Судя по

ориентировке изодинам магнитного поля, на доплатформенном этапе наиболее активными были движения широтного и близкого к нему направлений. Локальная структура в районе Будогощи, намеченная сейсморазведочными работами и подтверждаемая буровыми работами в ходе геологического картирования, также ориентирована субширотно.

Для Волховского участка также характерна высокая степень сходимости в расположении относительных максимумов на кривых распределения ориентировки линеаментов и изодинам магнитного поля (см. рис. 35, *г*). Особенно хорошее совпадение (даже по величине максимумов) отмечается в интервалах 345 и 45°. Оси установленных сейсморазведкой Костылевского и Витковского поднятий осадочного чехла ориентированы в направлении СВ 45°, Долговское поднятие — в направлении ЗСЗ, т. е. близко второму направлению.

Крестецкий участок относится к наиболее активной зоне доплатформенного этапа развития исследуемой территории. По-видимому, основная разрядка напряжений происходила в направлениях 360, 20—45° (см. рис. 35, *д*). Линеаменты повторяют эту ориентировку, максимумы в других интервалах также совпадают. Намечаемые по данным сейсморазведки и отчасти подтверждаемые бурением Невское, Винское, Плашкинское, Мерлюгинское и другие поднятия вытянуты в направлении СВ 20—40°. В этом же направлении протягивается Крестецкий разлом амплитудой около 1000 м.

Для Юго-Восточного участка степень сходимости относительных максимумов на кривых распределения также очень высока (см. рис. 35, *е*). Участок этот относится к территории Крестецкого авлакогена, где кристаллический фундамент опущен глубже 2 км.

Установленное сходство в ориентировке изодинам магнитного поля и линеаментов, а в ряде случаев и непосредственно трещиноватости горных пород, свидетельствует о возможности использования данных аэромагнитной съемки для изучения планетарной трещиноватости. На основе сопоставления ориентировки изодинам магнитного поля и линеаментов современной поверхности Земли может быть сделан и вывод общегеологического характера о существовании устойчивых во времени направлений разрядки различных напряжений земной коры: от тектонических процессов доплатформенного этапа развития до трещинообразования в осадочном покрове и современных рельефообразующих процессов.

Использование гравиметрических данных для изучения планетарной трещиноватости

При решении многих вопросов, связанных с проблемой исследования планетарной трещиноватости, широкое применение могут найти данные аномальных потенциальных полей Земли — гравитационного и магнитного. Данные потенциальных полей, таким образом, могут представлять характеристику пространственной структуры сети планетарных трещин для больших регионов земной коры.

Непосредственное выделение трещин коры в потенциальном поле не может быть сделано. Структура линейного нарушения сплошности коры проявляется в гравитационном поле лишь в том случае, когда по линии нарушения существует плотностной скачок, или, иными словами, плоскость нарушения является плоскостью нарушения горизонтальной плотностной однородности некоторых толщ земной коры. Это явление может иметь место, если по плоскости трещины произошло смещение пород с образованием разноплотностных уступообразных структур, в случаях, когда по трещинам происходит инъецирование толщи магматическими образованиями, отличной от вмещающих пород плотности, а

также, если в аномальном гравитационном поле проявляются структуры, вторично связанные с нарушениями коры. Таковы, например, линейно-ориентированные по простиранию трещин цепочки локальных структур фундамента или платформенного чехла, уступообразные изгибы вышележащих гравитационно-активных горизонтов и др.

Чем больше гравитационная интенсивность нарушения, определяемая разностью плотностей по плоскости контакта, его глубиной и протяженностью, чем больше региональность контакта, тем на более мелкомасштабных гравиметрических картах может быть прослежено нарушение. В то время как нарушения, связанные с незначительным горизонтальным плотностным изменением, обладающие незначительной гравитационной интенсивностью и малой протяженностью, могут быть выявлены лишь по крупномасштабным гравиметрическим картам или по материалам съемок повышенной точности.

Выявление и прослеживание нарушений по гравиметрическим данным производится по таким структурам аномального поля, которые, будучи обусловлены перечисленными особенностями строения коры, имеют специфический вид, и поскольку так или иначе связаны с линейными границами скачкообразных плотностных изменений на тех или иных глубинных уровнях земной коры, были названы (Строение..., 1974) «граничными линейными структурами аномального поля». Признаки, определяющие эти структуры поля, могут быть подразделены на группы.

К первой группе — прямым признакам — относятся гравитационные ступени — линейные зоны горизонтальных градиентов V_z, непосредственно определяющие в поле V_z влияние структур типа уступа (первый порядок интенсивности проявления).

Ко второй группе относятся косвенные признаки проявления аномалии уступа, когда его гравитационная интенсивность относительно низка в общем аномальном поле (коррелирующиеся пережимы, изломы изолиний и т. д.). Эти признаки соответствуют сложным случаям суммарных аномалий и обретают характер прямых после операций разделения полей разных порядков (вычисление высших производных поля V_z) — второй порядок интенсивности проявления.

Третья группа включает признаки, названные вторичными. Их свойством является протяженная линейная корреляция прямолинейных элементов аномалий, цепочек ориентированных локальных аномалий и смещений в рисунке аномалий гравитационного поля, позволяющая выявить в нем некоторые линии граничных структур. По сравнению с первыми двумя эта группа признаков характеризуется наименьшей гравитационной интенсивностью. Она прослеживает некоторые, возможно, прерывистые по простиранию, но единые по направлению линейные границы изменения плотностных характеристик земной коры — признаки третьего порядка интенсивности проявления. На рис. 36 (Строение..., 1974) представлены примеры граничных линейных структур аномального поля силы тяжести. Принципиальной разницы между признаками всех трех групп нет. Их формальные отличия относятся лишь к интенсивности гравитационного проявления в общем аномальном поле.

Выделяемые таким образом нарушения не могут быть тектонически определенно классифицированы. Формально используемым признакам может соответствовать представление о смещении. Но это смещение может быть поверхностным и погребенным на разных глубинах, обладать большой или малой вертикальной мощностью, большей или меньшей величиной избыточной плотности контакта, иметь вертикальную или значительно наклонную ориентировку сместителя, наконец, быть древним или молодым.

Поскольку нарушения, прослеживаемые граничными структурами гравитационного поля, не дифференцированы по глубине и могут принадлежать различным глубинным горизонтам земной коры или выходить на поверхность, необходимо подчеркнуть, что каждая линия нарушения, выделяемая по гравиметрическим данным описанными признаками, представляет собой линию проекции данного нарушения на дневную поверхность.

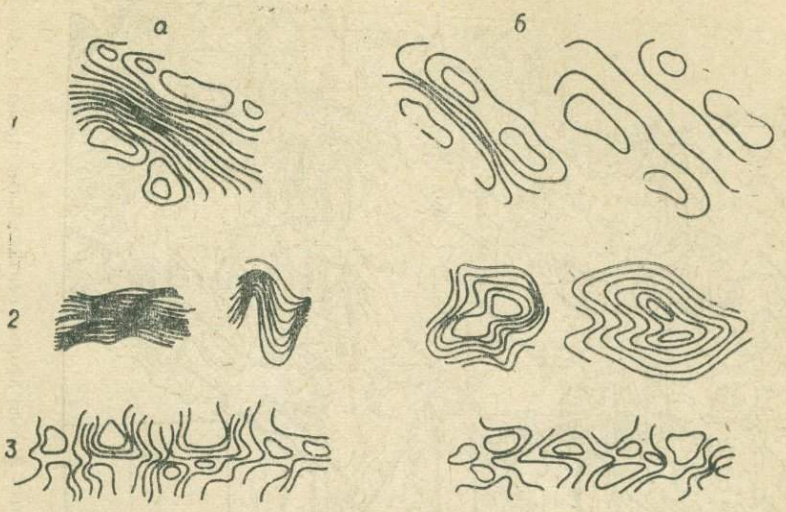

Рис. 36. Граничные линейные структуры аномалий гравитационного поля, проявляющиеся признаками 1, 2 и 3 порядка интенсивности.
Интенсивность проявлений: *а* — большая, *б* — меньшая.

Естественно, не все нарушения земной коры, выделенные в гравитационном поле по перечисленным признакам (см. рис. 36), могут быть отнесены к категории планетарных трещин. Однако их латеральное расположение в значительной степени обладает закономерной ориентировкой относительно географических координат планеты и, таким образом, должно быть связано с планетарной трещиноватостью.

При более детальном исследовании планетарных трещин по данным гравиметрических съемок, при изучении составляющих зоны отдельных элементов трещин и их взаимоотношений (особенно характера пересечения трещин разных направлений и их взаимного соподчинения) с успехом могут быть использованы локальные поля высших производных силы тяжести. На рис. 37 (Строение..., 1974) приведен пример выделения нарушений по данным поля V_{zzz}, вычисленного в масштабе 1 : 200 000. Перечисленные выше признаки граничных линейных аномалий, используемых для выделения нарушений, остаются теми же и для производных полей, с той разницей, что меняется в соответствии с модификацией поля V_z вид аномалии ступени — признака первого порядка интенсивности. Так, в поле V_{zzz} непосредственно аномалия ступени имеет вид линейной сопряженной аномалии с двумя разнозначными экстремумами и отношением продольной и поперечной осей не менее 1,7. Проекция линии нарушения проводится здесь приблизительно по нулевой линии аномалии.

Выделение нарушений по данным крупномасштабных гравиметрических съемок, значительно детализируя и усложняя сеть их распространения, не меняет принципиально характера азимутальных распределений простираний элементов этой сети. На рис. 38 видно, что экстремумы основных предпочтительных направлений простираний наруше-

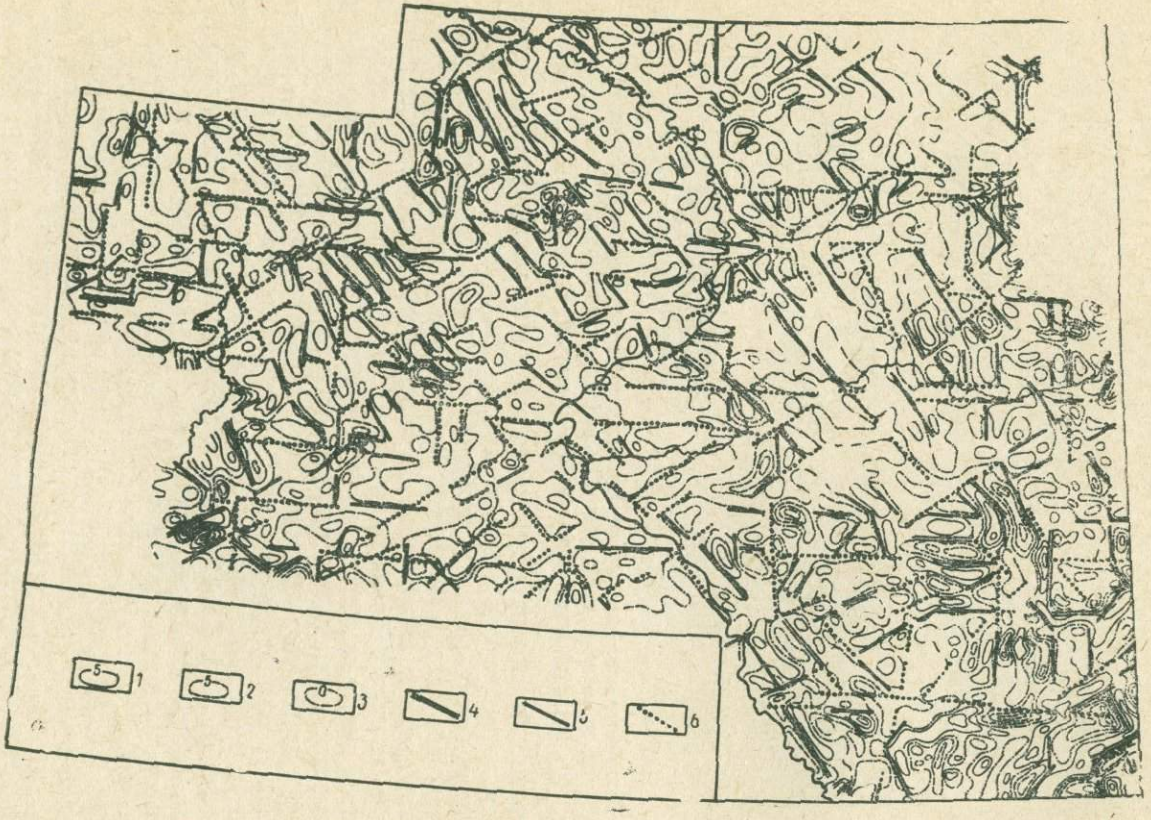

Рис. 37. Фрагмент детальной карты нарушений, выделенных в поле вторых вертикальных производных силы тяжести.

1 — 3 — изолинии поля V_{zzz} в единицах 10^{-15} *CGS* (сечение через 5 ед.) соответственно положительных, отрицательных и нулевых значений; *4—6* — линии проекций деформаций смещений, проявляющихся соответственно признаками — прямыми, косвенными и вторичными.

ний, выделенных в крупномасштабном поле V_{zzz}, ориентированы относительно географических координат таким же образом, как на гистограммах азимутального распределения региональных нарушений, выделенных по мелкомасштабным гравиметрическим данным, на всей территории СССР, расположенной к западу от Енисея или во всем регионе Западной Сибири.

Перечисленные выше преимущественные особенности использования гравиметрических данных позволяют проводить исследование сети планетарных трещин, выделенных с их помощью, в следующих двух направлениях: 1) статистическое исследование закономерностей строения плана сети планетарных трещин и 2) статистическое изучение глубинной структуры трещин, составляющих планетарную сеть.

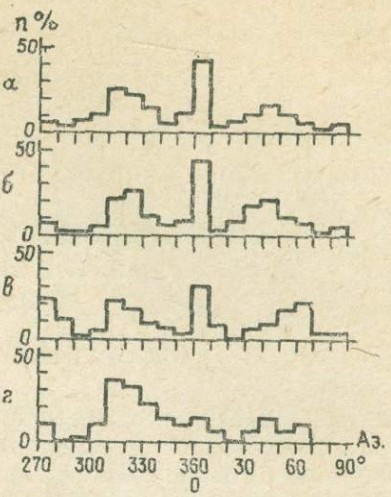

Рис. 38. Гистограммы распределения по азимутам простираний нарушений.

По мелкомасштабным гравиметрическим данным: *а* — на территории СССР, расположенной к западу от Енисея; *б* — в Западно-Сибирской низменности и участках ее обрамления. По среднемасштабным данным V *zzz*: *в* — всей совокупности выделенных нарушений; *г* — нарушений, для которых оценены параметры залегания.

ГЛАВА IV

ВОЗМОЖНОСТИ УСКОРЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ О ПЛАНЕТАРНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ЛИНЕАМЕНТАХ

Обработка данных с помощью ЭЦВМ

При обработке замеров азимутов простирания планетарной трещиноватости одной из задач является выделение систем трещин, под которыми согласно данному выше определению понимаются их естественные группировки с близкими азимутами простирания. В ряде случаев выделение систем трещин не представляет трудности; но чаще как в пределах одного объекта, так и в основном при объединении данных по нескольким объектам это связано с существенными затруднениями. *Исследователь, анализируя таблицу трещиноватости* и следуя приведенному выше определению, не имеет четких критериев для их выделения. Эта задача имеет много общего с различными геологическими и географическими задачами, решение которых приводит к выделению определенных закономерностей на общем фоне или к отделению *сигнала от шума. Одним из наиболее простых способов* ее решения является следующий.

Обозначим: x_i — количество наблюдений (замеров) в i-том интервале, n — число интервалов, N — общее число замеров трещин на объекте. В предположении о равномерном без аномальных значений распределении всех трещин можно вычислить математическое ожидание

$$\bar{m} = \frac{N}{n},$$

т. е. практически среднее количество замеров, которые попали бы в каждый интервал при равномерном распределении. Затем вычисляются дисперсия

$$D = \left(\frac{\Sigma x_i}{n} - m^2 \right) \frac{n}{n-1}$$

и среднее квадратическое отклонение математического ожидания

$$\bar{\sigma}_m = \sqrt{\frac{D}{n}}.$$

Далее находятся значения коэффициента ширины доверительного интервала t_β (Вентцель, 1964; табл. 5) при определенном уровне надежности β (0,8; 0,9; 0,95; 0,97 и т. д.) и числе интервалов $n-1$. Затем *определяется половина ширины доверительного интервала* $\bar{m} \pm t_\beta \bar{\sigma}_m$, и все интервалы с количеством замеров, превышающим максимальное значение $\bar{m} + t_\beta \bar{\sigma}_m$, выделяются как аномалии или системы трещин, отделенные от фона и обусловленные влиянием какого-то одного или нескольких факторов.

Приведем пример. В сводной таблице линеаментов, изученных в районе г. Пскова, имеются 780 значений, которые в 18 интервалах распределились следующим образом:

n	270—279°	280—289°	290—299°	300—309°	310—319°	320—329°	330—339°	340—349°	350—359°	0—9°	10—19°	20—29°	30—39°	40—49°	50—59°	60—69°	70—79°	80—89°
N	69	30	32	28	41	39	52	25	17	77	52	43	57	59	46	43	39	32

Отсюда: 1) $\bar{m} = \frac{780}{18} = 43{,}3;$

2) $\Sigma x_i^2 = 37\,794;$

3) $m^2 = 1860;$

4) $\bar{D} = \left(\frac{37794}{18} - 1860\right)\frac{18}{17} = 250;$

5) $\bar{\sigma}_m = \frac{250}{18} = 3{,}75;$

6) при $n=18$, $n-1=17$ и $\beta=0{,}9$ значение $t_\beta = 1{,}74$ (находится по таблице); $\bar{m} \pm t_\beta \bar{\sigma}_m = 43{,}3 \pm 3{,}75 \cdot 1{,}74$.

Следовательно, доверительный интервал $36{,}8 \leqslant m \leqslant 49{,}8$. Значения выше 49,8 отмечены в интервалах: 270—279, 330—339, 0—19, 30—49°. Это означает, что именно в пределах указанных интервалов азимутов количество трещин является аномально высоким и, следовательно, эти азимутальные направления представляют собой системы трещин. Следует подчеркнуть, что при таком подходе выделившиеся системы, как правило, представляют трещины с действительно близкими азимутами простирания, размах которых редко превышает 20°. Это дает возможность легко выделить средневзвешенный азимут простирания в системе и выразить его графически векторной диаграммой.

Для удобства применения описанного способа ниже приводятся значения t_β для уровней надежности 0,8; 0,9; 0,95.

Таблица 4

Значения коэффициента ширины доверительного интервала t_β при различных уровнях надежности

$n-1$	β			$n-1$	β		
	0,8	0,9	0,95		0,8	0,9	0,95
1	3,08	6,31	12,71	10	1,372	1,812	2,23
2	1,886	2,92	4,30	11	1,363	1,796	2,2
3	1,638	2,35	3,18	12	1,356	1,782	2,18
4	1,533	2,13	2,77	13	1,350	1,771	2,16
5	1,476	2,02	2,57	14	1,345	1,761	2,14
6	1,44	1,943	2,45	15	1,341	1,753	2,13
7	1,415	1,895	2,36	16	1,337	1,746	2,12
8	1,397	1,860	2,31	17	1,333	1,74	2,11
9	1,383	1,833	2,26				

В зависимости от особенностей распределения азимутов трещин и линеаментов в пределах объекта могут выделиться системы, включающие более одного интервала группировки, т. е. имеющие достаточно большой разброс от среднего значения азимута простирания. Выше неоднократно указывалось, что многими исследователями в качестве основного закона распределения азимутальных направлений внутри выделенной системы принимается закон Гаусса. Следовательно, возникает задача проверки, действительно ли распределение трещин подчиняется нормальному закону. Из многих способов решения этой задачи наиболее простым и ясным является, вероятно, применение критерия согласия Колмогорова, который обычно используется как для оценки выборочных функций, так и в тех случаях, когда закон распределения или вид функции распределения величин в генеральной совокупности неизвестен.

Сущность критерия Колмогорова состоит в оценке эмпирических и теоретических функций распределения. Схема применения критерия Колмогорова следующая: строится статистическая функция распределения $\bar{F}(x)$ и предполагаемая (теоретическая) функция распределения $\bar{F}(x)$ и определяется величина $Д$ — модуль разности между ними. Затем определяется величина $\lambda = Д\sqrt{n}$ и по таблице находится вероятность $p\,(\lambda)$. Эта величина есть вероятность того, что за счет случайных причин максимальное расхождение между $\bar{F}(x)$ и $F(x)$, т. е. статистической функцией распределения значений замеров трещин и теоретической функцией, будет не меньше, чем фактически наблюденное. Если вероятность $p(\lambda)$ весьма мала, гипотезу о нормальном распределении следует отвергнуть как неправдоподобную, и наоборот.

Технические приемы работы сводятся к следующим операциям.

1. Подсчет вероятностей по интервалам замеров трещин

$$P_i = \frac{n_i}{N},$$

где n — количество замеров в i-том интервале; N — общее количество замеров в выделенной системе.

2. Построение гистограммы распределения вероятностей, т. е. функции распределения вероятностей, путем последовательного суммирования всех вероятностей. Точки полученных значений ставятся в конце каждого интервала.

3. Вычисление математического ожидания в выделенной системе трещин, определяющегося как сумма средних значений интервалов (x_i), умноженная на вероятность:

$$\bar{m} = \Sigma x_i p_i .$$

4. Вычисление дисперсии, т. е. квадрата среднего квадратического отклонения

$$\mathrm{D} = \Sigma \frac{x_i^2}{n} - m^2.$$

При этом ясно, что само среднее квадратическое отклонение (или стандартное)

$$\sigma = \sqrt{D}.$$

5. Далее вычисляется согласие с принятой гипотезой о нормальном распределении по критерию Колмогорова. По таблицам интегралов Лапласа (Вентцель, 1964, табл. 1) находятся значения нормальной функции распределения

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt.$$

Параметр t находится следующим образом: каждому значению x_i отвечает значение конца интервала (279, 289, 299°); из каждого значения конца интервала вычитается математическое ожидание всей системы и разность делится на значение среднего квадратического отклонения для всей системы трещин, т. е.

$$t = \frac{x_i - \bar{m}}{\sigma}.$$

Например: x=279°, $\bar{m}$=310°, σ=15. Тогда 279 — 310= — 31: $\sigma \frac{31}{15} = -2$; $\Phi(x) = 0{,}9772$.

6. На уже построенном графике распределения вероятностей строится теоретическое распределение вероятностей. Максимальная разность вероятностей ($Д$) на двух полученных кривых умножается на $\sqrt{n}$, где n — количество замеров в системе

$$\lambda = Д\sqrt{n},$$

и по таблице (Вентцель, 1964, 157) определяется согласие. Результат считается очень хорошим, если значения λ равны 0,6—0,7.

В случае, когда нормальное распределение азимутов трещин в системе доказано, необходимо проанализировать края распределения, т. е. те места, где вероятности попадания отдельных значений в систему малы. Иначе говоря, следует выяснить, закономерно или случайно попали в систему эти замеры, поскольку граничные точки всегда сомнительны. Для решения этого вопроса можно применить так называемое «правило трех сигм» (правило Ролля): «Отклонение истинного значения измеряемой величины от среднего арифметического значения результатов измерений не превосходит утроенной средней квадратической ошибки этого среднего значения» (Румшицкий, 1971). Следовательно, чтобы сузить интервал внутри системы, можно «отсечь» все значения, лежащие за пределами трех стандартных отклонений влево и вправо от среднего значения (математического ожидания). Следует помнить, что применение этого правила может существенно зависеть от числа наблюдений — чем оно меньше, тем большее количество замеров может попасть в «отсеченные», например «две сигмы». Появляется, таким образом, возможность максимально «сузить» разброс азимутальных направлений трещин, выделившихся в систему. В этом случае векторное (средневзвешенное) выражение системы трещин также будет весьма точным.

Следует отметить, что предлагаемое решение задачи о выделении систем трещин имеет много общего со «способом 5,5%», описанным в гл. 1. Именно этим объясняется большая сходимость результатов, полученных при обработке одних и тех же объектов ручным и машинным способами (табл. 5).

Таблица 5

Результаты выделения систем трещин при ручной и машинной обработке

№ объекта	Системы (средневзвешенные азимуты простирания систем трещин), град.	
	ручная обработка	машинная обработка
1	300—329 (317); 20—49 (33)	300—329 (317); 20—39 (28)
2	300—329 (312); 30—69 (46)	300—319 (310); 30—59 (44)
3	290—329 (306); 10—29 (18); 40—69 (51)	290—299 (294); 10—19 (11); 40—69 (51)
4	270—289 (279); 340—349 (343); 0—39 (15); 40—59 (48)	270—289 (279); 0—19 (10); 40—59 (49)
5	280—299 (288); 310—329 (318); 10—49 (29)	280—299 (289); 310—329 (318); 10—39 (25)
6	280—299 (288); 320—349 (331); 30—39 (34)	280—299 (288); 320—339 (329)
7	300—329 (314); 0—39 (17)	300—329 (314); 0—29 (14)
8	300—329 (315); 20—39 (28)	300—329 (315); 20—39 (28)

Ниже приводится программа выделения систем трещиноватости, составленная для ЭВЦМ БЭСМ-6 на АЛГОЛе. Программа составлена для $\beta = 0{,}8$ и $n-1 = 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17$. При необходимости изменить значения β в программу следует внести эти значения в соответствии с таблицей (Вентцель, 1964, табл. 5).

```
 1  BEGIN REAL N,M,D,S,T,K;
 2  INTEGER I,L,J;
 3  P0042 (I,J,K);
 4  BEGIN ARRAY P[1 I];
 5  SWITCH Q:=M1,M2,M3,M4,M5,M6,M7,M8,M9;
 6  A: P0042(P); P1041(P); N: = 0;
 7  FOR L: = 1 STEP 1 UNTIL 1 DO
 8  N: = N+P[L]; N: = N/K; D: = 0;
 9  FOR L: = 1 STEP 1 UNTIL 1 DO
10  D: = D+P[L]×P[L];
11  D: = (D/K—N×N)×K/(K—1);
12  S: = SORT(D/K);
13  FOR L: = 1 STEP 1 UNTIL 9 ДО
14  BEGIN IF L = J THEN GO TO Q[J];
15  ELSE END; M1:T: = 1.397;
16  GO TO M10; M2:T: = 1.383;
17  GO TO M10; M3:T: = 1.372;
18  GO TO M10; M4:T: = 1.363;
19  GO TO M10; M5:T: = 1.356;
20  GO TO M10; M6:T: = 1.350;
21  GO TO M10; M7:T: = 1.345;
22  GO TO M10; M8:T: = 1.341;
23  GO TO M10; M9:T: = 1.333;
24  GO TO M10; M10:M: = N+T×S; P1041(M);
25  FOR L: = 1 STEP 1 UNTIL 1 DO;
26  BEGIN IF P[L]>M THEN P1041(L,P[L]);
27  IF P[L]<M THEN END;
28  GO TO A; END; END;
```

Применение математических методов при обработке материалов по планетарной трещиноватости и линеаментам имеет большое значение с двух точек зрения: во-первых, оно позволяет более строго подойти к вопросу об отделении закономерных направлений трещиноватости от случайных и, во-вторых, математическая обработка с применением ЭЦВМ ускоряет получение результата.

Методы ускоренной обработки

Из трех основных типов трещин — локальных, региональных и планетарных — оказывается наиболее целесообразным применение комплекса упрощений в процессе обработки параметров планетарной трещиноватости, так как последняя характеризуется наиболее выдержанными пространственными показателями на больших территориях платформ и трещины азимутально группируются в узких и определенных градусных интервалах. Поскольку в обнажениях горных пород планетарные трещины образуют четкие параллельные совокупности, то достаточно замерить одну из серий параллельных трещин, чтобы определить азимут нескольких ближайших трещин.

Косвенные пути выявления планетарных трещин (структурные — по стратоизогипсам, изопахитам, ориентировке и контурам тектонических структур, разломам; геоморфологические — по элементам гидрографической сети, мелким и крупным формам рельефа, линеаментам; геофизические — по линейным аномалиям, изолиниям физических свойств толщ горных пород; гидрогеологические — по гидроизогипсам расположению источников воды; геоботанические — по ассоциациям растений и др.) и замеры их азимутов можно отнести к разряду ускоренных камеральных методов, которые отнимают в несколько раз меньше времени, чем прямые методы выявления и фиксации азимутов планетарных трещин. Кроме того, замеры азимутов отдешифрированных линий трещин производятся быстрее в сравнении с замерами планетарных трещин в обнажениях.

Для дальнейшей обработки пространственных параметров планетарных трещин, полученных при полевых или камеральных (лабораторных) методах их выявления, большое значение приобретают размеры минимального исходного количества замеров, достаточных для выявления их систем (табл. 6). Минимальное число трещин можно установить посредством построения серии таблиц распределений азимутов (табл. 7) с нарастанием исходных данных или графическим путем с последовательным увеличением замеров до появления стабильных максимумов, соответствующих системам планетарных трещин. Использование минимального достаточного исходного количества замеров трещин исключает дополнительные многочисленные статистические операции.

При выявлении систем планетарных трещин по косвенным признакам возникает необходимость в подтверждении достоверности полученных распределений азимутов простираний путем сравнения непосредственными замерами в обнажениях. В этом случае производится расчет критерия Пирсона $\varkappa^2$ при сумме замеров более 100 и критерия Колмогорова $Д\ n_1 n_2$ при сумме замеров менее 100 (Кноринг, Белонин, 1964; Урбах, 1963). Поскольку системы планетарных трещин выдержаны в своих простираниях и трещины группируются в определенных интервалах, можно избежать громоздких статистических пересчетов по выявлению критериев сходства или различия посредством визуального сравнения распределений или диаграмм.

Таблица 6

Минимальное исходное количество замеров, необходимое для выявления систем планетарных трещин в скальных породах

Разновидности пород	Районы с различным залеганием пород осадочного чехла платформенных областей			Районы горно-складчатых зон и обнаженных фундаментов платформ с разной степенью дислоцированности пород		
	горизонтальные и моноклинальные	слабо дислоцированные	сильно дислоцированные	слабо дислоцированные	сильно дислоцированные	очень интенсивно дислоцированные
Карбонатные, песчаные и кремнистые осадочные породы	25—30	30—50	50—100	30—50	50—100	100—150
Алевролитовые и пелитолитовые осадочные породы	50—70	70—100	100—150	70—100	100—150	
Базальты и диабазы	50—100	100—150		50—70	70—100	100—150
Граниты, диориты, сиениты, габбро				100	100—150	150—200
Гнейсы, кварциты, мраморы, амфиболиты, кальцефиры				50—70	70—100	100—150
Кристаллические сланцы				100—150	150—200	200—300

Значительные упрощения и ускорения могут быть достигнуты в процессе табличной обработки параметров планетарных трещин. Упрощения возникают и при выборе постоянного рационального градусного интервала таблиц. Геологически оправданным оказывается десятиградусный интервал i_{10}. Графический анализ линий распределений азимутов, когда $i<10°$ ($i=1°$, $i=2°$, $i=3°$, ...), показывает, что происходит появление многочисленных второстепенных максимумов, сопровождающих нечетко выраженные максимумы планетарных трещин. Наоборот, выбор большего интервала $i>10°$ ($i=15°$, $i=20°$, $i>30°$, $i=45°$) приводит к ненужным осреднениям распределений азимутов (систем) планетарных трещин, особенно в условиях выбора интервалов $i>20°$.

С целью ускорения обработки всякие последующие после замеров трещин поправки целесообразно делать с помощью заранее подготовленных специальных таблиц или так производить замеры, чтобы не возникала нужда в поправках. Так, переводы азимутов падения в азимуты простирания можно производить по готовым таблицам. При занесении значений азимутов простираний трещин в десятиградусные интервалы таблиц можно записывать последние правые цифры двух- и трехзначных чисел.

После вычисления количества замеров по каждому интервалу таблиц и их суммирования определяются процентные выражения. Визуальное вычисление процентов для каждого интервала ускоряется после определения процентного значения одного замера (табл. 8, 9). При этом производятся в уме простейшие вычислительные операции. Нетрудно проверить точность такого быстрого вычисления процентов, сравнив полученную систему процентов со 100,0%. Разность $\pm q\%$ ($\Sigma Q\% - 100{,}0\%$) не должна превышать процентное значение одного замера, числовое выражение которого увеличивается при малом количестве замеров и уменьшается при большом. Наиболее ускоренный путь определения процентов заключается в использовании уже готовых

Таблица 7

Появление максимумов (систем) планетарных трещин с нарастанием количества замеров *

0—9	10—19	20—29	30—39	40—49	50—59	60—69	70—79	80—89	270—279	280—289	290—299	300—309	310—319	320—329	330—339	340—349	350—359	Сумма
+ 1		+ 1					+ 1	+ 1		+ 1								5
1		1					1	+ 2	+ 1	1	+ 1				+ 1	+ 1		10
+ 2		+ 2					1	2	1	+ 2	1			+ 1	1	1	+ 1	15
+ 3		2					1	+ 3	1	2	2			+ 2	1	1	+ 2	20
+ 4		2				+ 1	1	+ 4	+ 2	2	2			2	1	1	+ 3	25

Распределения с суммами 30, 35, 40 и 45 не изменили положение систем

7	2	2	1	1	3	2	2	6	4	3	2	2	1	3	1	3	5	50

Продолжение стабилизации положения систем при суммах замеров 55—70

9	3	2	2	4	5	3	5	8	6	4	4	2	2	5	3	3	5	75

* + — единичные азимуты; 1, 2, 3, . . . — нарастающая частота; 2, ... 8 — стабильные максимумы:

Таблица 8

Процентные значения одного замера

Сумма замеров	Процентное значение одного замера	Сумма замеров	Процентное значение одного замера	Сумма замеров	Процентное значение одного замера
25	4,0	40	2,5	80—86	1,2
26	3,8	41—42	2,4	87—95	1,1
27	3,7	43—44	2,3	96—105	1,0
28	3,6	45—46	2,2	106—117	0,9
29	3,4	47—48	2,1	118—133	0,8
30	3,3	49—51	2,0	134—153	0,7
31	3,2	52—54	1,9	154—181	0,6
32	3,1	55—57	1,8	182—221	0,5
33	3,0	58—60	1,7	222—286	0,4
34—35	2,9	61—64	1,6	287—309	0,3
36	2,8	65—68	1,5	400—500	0,2
37	2,7	69—74	1,4	700—1000	0,1
38—39	2,6	75—79	1,3	2000	0,05
				5000	0,02
				1000	0,01

таблиц их значений (Шерман, 1961). Особое значение приобретают отмеченные пути получения процентных выражений частот планетарных трещин в полевых условиях. В лабораторной обстановке часто используют логарифмическую линейку или счетные машины, которые дают выигрыш времени при суммировании, но не вычислении процентов.

Возможны существенные упрощения при построении диаграмм планетарных трещин. Поскольку в сферу трещинного анализа включаются максимумы определенных интервалов (системы), то крайним выражением простоты роз-диаграмм являются «векторные диаграммы» (Методические указания по изучению планетарной трещиноватости, 1965), представляющие собой прямые линии разной длины, расположенные под определенными углами друг к другу (см. гл. 1). При построении полных роз-диаграмм планетарных трещин наиболее выразительными оказываются островершинные формы максимумов по сравнению с овальной или прямоугольной формами. Некоторые упрощения возможны и в процессе построения круговых диаграмм, создаваемых на стереографических сетках (Чарушин и Шерман, 1961). Вычисление плотности точек (полюсов трещин) на круговых диаграммах ускоряется, если применять вместо подвижного шаблона с двумя круговыми «окнами», перемещаемого по сетке, прозрачный сетчатый трафарет с пересекающимися окружностями. И здесь возможно построение «векторных» диаграмм как наиболее простого выражения ориентировки систем планетарных трещин. На таких круговых диаграммах в виде нескольких точек или овалов показываются положения на сфере полюсов систем трещин.

Ускоренное построение сводных диаграмм-роз и выявление общих систем планетарных трещин для больших территорий намного быстрее совершается не путем последовательного статистического обобщения

Таблица 9

Ускоренный визуальный расчет процентных значений частоты трещин *

Градусные интервалы	0—9°	10—19°	20—29°	30—39°	40—49°	50—59°	60—69°	70—79°	80—89°
Количество	5	4	2	1	5	2	1	2	2
Порядок определений, №	7	3	2	1	7	2	1	2	2
Схема ускоренного пути вычисления, %	2+3	2⊃2	2⊃1		2+3	2⊃1		2⊃1	2⊃1
Проценты	7,5	6,0	3,0	1,5	7,5	3,0	1,5	3,0	3,0

Градусные интервалы	270—279°	280—289°	290—299°	300—309°	310—319°	320—329°	330—339°	340—349°	350—359°
Количество	4	1	3	3	3	9	3	6	11
Порядок определений, №	3	2	4	4	4	6	4	5	8
Схема ускоренного пути вычисления, %	2⊃2		2+1 или 3⊃1	2+1 или 3⊃1	2+1 или 3⊃1	6+3	2+1 или 3⊃1	2⊃3	9+2
Проценты	6,0	1,5	4,5	4,5	4,5	13,5	4,5	9,0	16,5

* Сумма замеров 67, один замер составляет 1,5%; сумма процентов 100,5, ошибка 100,5—100,0=0,5%.

частных локальных распределений замеров, а посредством максимумов, когда в каждой таблице максимумы обозначаются буквой «М» и разносятся в сводную таблицу, в которой производятся несложные и негромоздкие статистические операции (Чарушин, 1963). Построение сводных круговых точечных диаграмм упрощается в процессе наложения частных диаграмм друг на друга.

Определение расстояний между трещинами одной и той же системы и средних показателей на основе замеров в обнажениях или после дешифрирования трещин по косвенным признакам представляет собой довольно длительный процесс. Эти средние показатели по каждой системе трещин и по любому направлению могут быть получены значительно быстрее при использовании готовых роз-диаграмм и известного среднего показателя одного из многочисленных направлений. При этом используется обратная зависимость между частотой трещин q и их расстояниями S. Поскольку наибольшее число систем планетарных

Таблица 10

Примеры расчета средних расстояний между планетарными трещинами разных систем * (I—IV)

Характеристики	Системы трещин			
	I	II	III	IV
Средний азимут, град	5	46	84	316
Количество трещин	38	12	24	15
Расчетные формулы .	$\bar{S}_1 = \frac{q_2 \ominus S_2}{q_1}$	$\bar{S}_2 = 5{,}0$ м	$\bar{S}_3 = \frac{q_2 \ominus \bar{S}_2}{q_3}$	$\bar{S}_4 = \frac{q_2 \ominus \bar{S}_2}{q_4}$
Среднее значение расстояний между трещинами, м . . .	Вычисленное — 1,6	Замеренное — 5,0	Вычисленное — 2,5	Вычисленное — 4,0
Средний азимут, град	4	56	274	325
Количество трещин	24	7	20	27
Расчетные формулы .	$\bar{S}_1 = \frac{q_4 \ominus \bar{S}_4}{q_1}$	$\bar{S}_2 = \frac{q_4 \ominus S_4}{q_2}$	$\bar{S}_3 = \frac{q_4 \ominus \bar{S}_4}{q_3}$	$\bar{S}_4 = 1{,}8$
Среднее значение расстояний между трещинами, м . . .	Вычисленное — 1,7	Вычисленное — 7,0	Вычисленное — 2,4	Замеренное — 1,8

* Расчеты производились только для четырех систем трещин. В остальных градусных интервалах средние значения $\bar{S}$ также могут быть вычислены.

трещин равно четырем, то вместо цепочки расчетных формул

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{q_2}{q_1}, \quad \frac{S_2}{S_3} = \frac{q_3}{q_2}, \ldots, \frac{S_{17}}{S_{18}} = \frac{q_{18}}{q_{18}}$$

могут быть использованы четыре из них (табл. 10). Общий вид формулы таков:

$$\bar{S}_{n+1} = \frac{q_n \ominus S_n}{q_{n+1}},$$

где $\bar{S}_{n+1}$ — полученное среднее расстояние между трещинами; q_n и q_{n+1} — интервальная частота; S_n — известное среднее расстояние между трещинами (см. табл. 10).

Несмотря на то, что рассмотренные методы и приемы упрощения обработки параметров планетарных трещин возможны во многих операциях, так как получены положительные результаты, необходима дальнейшая разработка этих приемов применительно к различным геологическим условиям. Представляются наиболее перспективными два основных направления. Во-первых, получение разнообразных переходных и функциональных коэффициентов, во-вторых, лабораторное и теоретическое моделирование систем планетарных трещин. Здесь, очевидно, не обойтись без применения электронно-вычислительных машин и программирования. Моделирование планетарной трещиноватости должно оказаться более простым процессом по сравнению с моделированием других типов трещин.

Часть вторая

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О ПЛАНЕТАРНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ЛИНЕАМЕНТАХ

ГЛАВА V

СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ ЛИНЕАМЕНТОВ И ТРЕЩИНОВАТОСТИ

Обобщение материалов по трещиноватости и линеаментам, а также выявление закономерностей их пространственного распределения для целей различных геологических исследований (общие теоретические вопросы планетарной трещиноватости и линеаментов, тектоническое районирование, поиски месторождений полезных ископаемых) производится с помощью карт трещиноватости и линеаментов.

Карты трещиноватости по сравнению с картами линеаментов имеют ограниченные возможности. Они составляются на небольшие площади, поскольку получение фактического материала сопряжено с трудоемкими полевыми работами. В то же время, используя данные этих карт, исследователь может иметь более точные результаты по отдельным конкретным вопросам. Карты по данным линеаментов могут заменять карты трещиноватости. Они составляются на площади разных размеров, обычно камеральным путем, и не требуется больших материальных затрат на их выполнение. Методика составления карт по линеаментам разработана лучше, чем для карт трещиноватости. Поэтому настоящий раздел руководства мы и начнем с изложения методики составления карт линеаментов.

Карты линеаментов

Произведя все технические приемы по выявлению линеаментов на топокартах или аэрофотоснимках (см. гл. 2), исследователь получает кальку с нанесенными на нее разномасштабными и разноориентированными линеаментами. Калька является основой, как бы картой фактического материала *, по которой анализируются ориентировка и густота линеаментов. Анализ проводится как визуально, так и путем построения различных карт.

Визуально по этой карте фактического материала можно: а) установить наличие линеаментов различной протяженности (линеаменты разного порядка), отражающих повсеместно распространенные планетарные трещины разных масштабов; б) выделить узкие зоны повышенной густоты взаимопараллельных линеаментов, цепочки линеаментов разной протяженности, сближенные линеаменты, образующие рисунки типа «конского хвоста» или «кулис», и т. д.; в) объединить параллельные, близкорасположенные линеаменты в зоны. Используя данные карты фактического материала (или непосредственно топоосновы),

* Так ее мы ниже и будем называть.

можно построить серию карт линеаментов: карты по ориентировке линеаментов и карты по их густоте.

Карты по ориентировке линеаментов. *Карты избранных простираний.* Способ построения этих карт состоит в следующем. С карты фактического материала линеаментов делается негатив. Затем негатив накладывается на трафарет, закрывающий все линеаменты, кроме определенного направления (например, 300—310°). Все прочие линеаменты по карте зачерняются. В результате на отпечатке получается карта избранных простираний (рис. 39). Для более точного анализа возможно построение карт линеаментов строго избранных простираний. Простирания определяются по розам-диаграммам линеаментов. Методика построения карт избранных простираний разработана И. Г. Гольбрайхом и др. (1968).

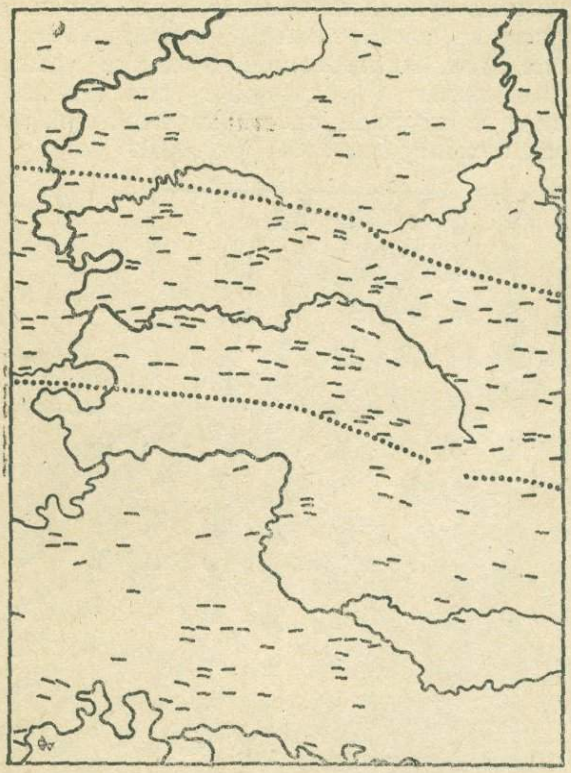

Рис. 39. Карта избранных простираний линеаментов Ботуобинской котловины. По И. Г. Голбрайху, В. В. Забалуеву и др., 1968.

Существует иной, уточняющий эту методику способ выделения избранных простираний линеаментов, разработанный В. Я. Ероменко. Заключается он в следующем. Карта фактического материала линеаментов, составленная первоначально в масштабе 1 : 25 000, уменьшается в четыре раза. Затем выделяются и переносятся на кальки отрезки определенного направления с обязательным соблюдением последовательного перекрытия при выборе отрезков (например, 271—290, 281—300° и т. д.). В результате получается 18 калек с нанесенными на них отрезками определенных направлений или зон их сгущения. Этот метод был применен в районе Среднего Приднестровья и позволил выделить разломы и зоны разломов. Первые — по отдельным отрезкам

линеаментов; вторые — по зонам сгущения линеаментов значительной ширины (2—4 мм). Метод построения карт избранных простираний может быть заменен более простым — выделением зон линеаментов путем визуального анализа карты фактического материала линеаментов. Результаты получаются идентичными.

Карты роз-диаграмм и векторных диаграмм линеаментов Более объективно сравнение распределения линеаментов по ориентировке можно производить путем построения и анализа карт роз-диаграмм. Впервые такие карты в своих исследованиях применил П. Бланше (Blanchet, 1957), позднее они широко вошли в практику работ многих геологов. Эти карты представляют собой равномерно распределенные по исследуемой территории розы-диаграммы, которые можно дополнять или заменять векторными диаграммами линеаментов. Строятся они следующим образом. Карта фактического материала линеаментов, аэрофотоснимки или топооснова разбиваются на элементарные квадраты. Размер квадрата определяется масштабом исследований. В центре каждого квадрата строятся розы-диаграммы и векторные диаграммы линеаментов (см. гл. 1). Площади со сходными простираниями лучей роз-диаграмм и векторных диаграмм оконтуриваются (рис. 40).

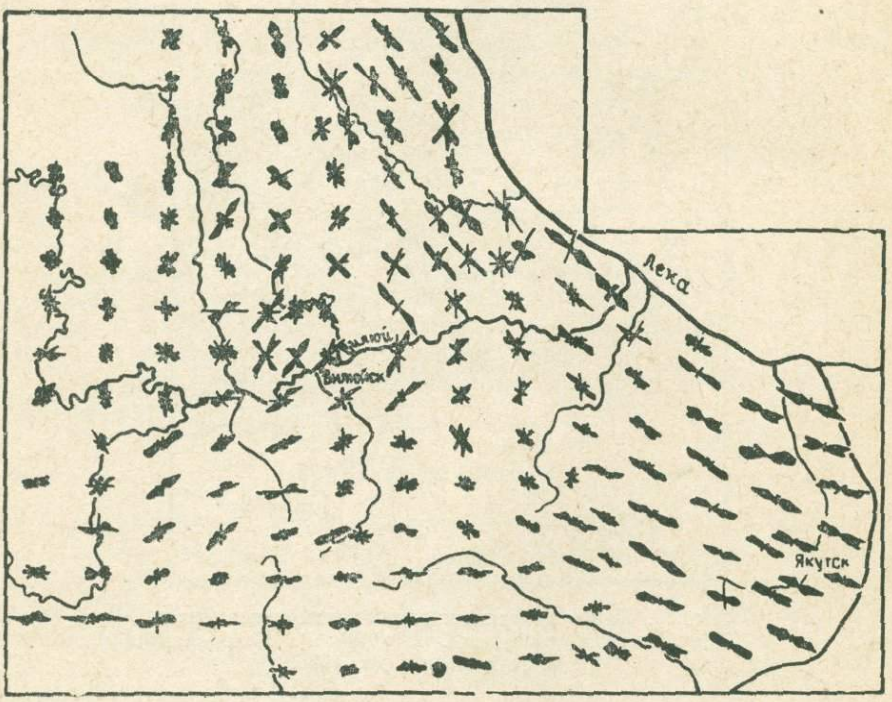

Рис. 40. Карта роз-диаграмм линеаментов Вилюйской синеклизы. По И. Г. Гольбрайху, В. В. Забалуеву и др., 1968.

Карты роз-диаграмм позволяют устанавливать общие закономерности и частные отклонения в простираниях линеаментов и могут быть использованы для выявления крупных тектонических зон и локальных структурных форм. В частности, В. Б. Полканова, установив, что в ориентировке линеаментов наблюдаются закономерности общепланетарного характера и отклонения от них, вслед за Бланше (Blanchet, 1957) предложила метод выявления структурных локальных форм с помощью построения карт локальных отклонений.

Карты локальных отклонений. Карты этого типа строятся следующим образом:

1) По карте фактического материала линеаментов (либо непосредственно по топооснове или по аэрофотоснимкам) замеряют ориентировку всех линеаментов. Замеры с последующим построением роз-диаграмм или векторных диаграмм делают по элементарным квадратам, за которые принимаются листы топокарты масштаба 1:100 000 (или аэрофотоснимок);

2) Розы-диаграммы (векторные диаграммы) размещают в центрах элементарных квадратов и затем оконтуривают поля, заключающие сходные розы-диаграммы. В результате получаются площади, каждая из которой будет иметь свои характерные направления главных лучей роз-диаграмм (или векторных диаграмм). Для каждой такой площади строится сводная роза-диаграмма;

3) Затем сравнивают розы-диаграммы (векторы) сводной (по оконтуренной площади) и участковой (по элементарным квадратам) диаграмм и отбрасывают из анализа общие направления. Это делается путем переноса на кальку только тех векторов участковых диаграмм, которые не являются общими для сводных и участковых диаграмм. Таким образом, получается карта локальных отклонений от общеразвитых направлений.* Появление локальных отклонений В. Б. Полканова объясняет влиянием локальных тектонических структур, искажающих сеть общеразвитых направлений линеаментов. Именно в местах расположения векторов локальных отклонений и должны находиться локальные структурные формы;

4) На векторах участковых диаграмм, оставшихся после отбрасывания общих направлений,** строят параллелограмм по методике Пермякова (1949). Применив предложенные им расчеты, более точно определяют параметры выделенных структур.

Карты средних простираний. Этот тип карт предложен геологами-нефтяниками (Гольбрайх и др., 1968). Построение карт опирается на правило «параллелограмма» Пермякова, из которого следует, что простирание структур совпадает с диагональю параллелограмма, построенного на главных лучах роз-диаграмм. Основой построения этих карт являются карты роз-диаграмм. На главных лучах роз-диаграмм линеаментов строится параллелограмм. Простирание большой диагонали в виде отрезка прямой наносится на карту в том же месте, где располагается и роза-диаграмма. В результате получается карта средних простираний линеаментов. В случае многолучевых роз-диаграмм предлагается построение проводить так, чтобы диагональ параллелограмма, построенного на любых (выбранных исследователем) лучах, совпадала с другими лучами этой же розы-диаграммы.

И. Г. Гольбрайх и др. (1968) считают, что эти карты могут быть использованы для прогноза простирания локальных структур на закрытых территориях. Мы считаем, что это не всегда так. Эмпирически установлено, что структурные формы (как складчатые, так и разрывные) могут следовать в своем простирании как диагонали параллелограмма, так и любому из главных лучей роз-диаграмм. Поэтому окончательный вывод нуждается в проверке другими методами.

Карта линеаментов, составленная методом протягивания выявленных

---

* В. Б. Полканова называет — от нормы тектонических напряжений.

** Это те векторные диаграммы, которые нанесены на карту локальных отклонений.

простираний линеаментов. Таким методом построения карт линеаментов * пользуется Н. В. Введенская (1969, 1973) и ее последователи.

Карты составляются по картографическим материалам разных масштабов (в зависимости от целей исследования). Цветной тушью поднимаются все спрямленные участки речных долин независимо от порядков рек. Линеаменты разных простираний отмечаются на карте разным цветом. В результате получается карта фактического материала с разноцветными линеаментами. С карты фактического материала на кальку или ватман переносят пунктиром системы взаимно перпендикулярных направлений линеаментов. В каждой системе выделяются зоны повышенной и пониженной трещиноватости ** (или просто «зоны трещиноватости»).

Зоны трещиноватости образованы сгущенными рядами параллельных трещин, расположенных на одной линии прерывисто (пунктиром) или кулисообразно относительно друг друга. В зонах трещиноватости выделяются участки примерно одинаковой густоты трещин и сходной морфологии (по длине и ширине трещин, а также по расстоянию между ними) — «блоки трещиноватости». «Блоки» располагаются на границах «зон трещиноватости», отличаются большой протяженностью и малой шириной. По блокам производят ограничение зон трещиноватости. Зоны трещиноватости характеризуются строгой азимутальной выдержанностью относительно современной градусной сети и поэтому могут быть трассированы по их географическим азимутам. Полученные карты линеаментов сопоставляются с геологическими, структурными и геофизическими картами.

Схема плотности узлов — пересечений линеаментов ***. Способ построения этих схем следующий. Сначала на аэрофотоснимках выявляются линеаменты протяженностью более 5 км. Затем отмечаются узлы их пересечения и подсчитывается количество узлов по площади равновеликих квадратов. А. И. Петров принимает за единицу площади 100 км^2. Подсчет количества узлов на единицу площади производится с помощью скользящего квадрата — «окна». Для большей точности дальнейших построений предусматривается пятидесятипроцентное перекрытие площади. По полученным цифровым результатам составляется схема (в изолиниях) плотности узлов пересечения.

На примере восточной части Балтийского щита, по схеме плотности узлов пересечений линеаментов, А. И. Петров установил, что: 1) максимальное количество узлов расположено в местах пересечения зон разломов; 2) отдельные разломы не приводят к значительному увеличению плотности узлов; 3) направление простирания региональных зон разломов подчеркивается конфигурацией изолиний количества узлов. Подробно с методикой построения и интерпретацией описанной схемы можно познакомиться в диссертации А. И. Петрова.

Карты по густоте линеаментов. Для анализа распределения линеаментов по площади строятся карты густоты линеаментов. Делается это следующим образом. Карта фактического материала линеаментов, или непосредственно топооснова, разбивается на равновеликие квадраты,

---

* Н. В. Введенская называет линеаменты (в нашем понимании) линеаментными формами современного рельефа.

** «Зоны трещиноватости», «блоки трещиноватости» выявляются Н. В. Введенской по линеаментам. Но поскольку линеаменты полностью отражают трещины, она и называет их трещинами. На наш взгляд, это не совсем верно. Но в настоящем разделе мы оставляем эти термины, поскольку все описание метода также делается по Н. В. Введенской.

*** Составление схем этого типа предложено А. И. Петровым. По аэрофотоснимкам он выявлял линеаменты длиной более 5 км, которые называл разрывными нарушениями.

размер которых выбирают с учетом целей и масштаба исследований. При мелкомасштабных исследованиях за такой квадрат следует принимать лист карты 1:100 000; при крупномасштабных берутся квадраты размером 4 × 4 см. В каждом квадрате подсчитывается количество (а не сумма длин) линеаментов. Результаты подсчета записывают в центре квадратов и строят карту методом проведения изолиний. Для увеличения числа значений показателя сетку квадратов сгущают путем перекрытия соседних квадратов (по вертикали и горизонтали) на половину расстояния. Опыт построений карт густоты линеаментов для равнинных территорий показал, что наиболее полные сведения о структурной выраженности и морфологии прогнозируемых структур дает проведение всех изолиний, но не реже, чем через один интервал.

Точность построения карт зависит от величины элементарного квадрата. Чем больше размер квадрата превосходит площадь структуры, тем грубее ошибка. В то же время нельзя бесконечно уменьшать размер квадрата. Слишком мелкие квадраты делают распределение густоты линеаментов маловыразительным. Как подчеркивают Гольбрайх и др. (1968), важно также правильно расположить сетку квадратов по отношению к предлагаемым аномалиям густоты трещиноватости.

В результате построения карты густоты линеаментов выявляются аномалии густоты, в местах расположения которых можно предполагать наличие локальных структур. Но аномальные участки не всегда четко выявляются на картах густоты линеаментов. Они бывают затушеваны «фоном», появление которого обусловлено многими причинами — физико-географическими, литологическими, тектоническими. Величина фона меняется в различных частях исследуемого района.

Способ выделения локальных аномалий из «фона», заимствованный И. Г. Гольбрайхом и др. (1968) у геофизиков, сводится к применению «скользящего замера» при последующем осреднении полученных данных. Осреднение производится способом «скользящего окна» с помощью палетки, путем последовательного совмещения с центром палетки каждой точки изучаемой территории. Палетка (круговая или квадратная) представляет собой окно соответствующего размера. Радиус осреднения при выявлении локальных структурных форм выбирается эмпирически. При этом обязательно соблюдение условия: радиус должен превышать размер локальных аномалий, но не превосходить размеров крупных региональных аномалий.

Карты густоты линеаментов имеют теоретическое и практическое значение. По ним устанавливаются общие закономерности и особенности распределения линеаментов по площади изучаемых регионов, а также вырисовываются структурные формы (разных порядков, типа, знака и амплитуды), не выраженные в современном рельефе и другими методами структурно-геоморфологического анализа не выявляющиеся.

Эмпирически установлено, что наименьшее по площади число замеров свидетельствует об опусканиях. Числовые характеристики показателя дают возможность (при прочих равных условиях) говорить об относительной интенсивности тектонических процессов. Наблюдаемые на картах аномально высокие значения густоты линеаментов, сосредоточенные в узких линейных зонах, и соответствующий рисунок этих зон могут интерпретироваться как зоны разрывных нарушений *. Выявление этих зон, так же как и складчатых структурных форм, имеет непосредственное отношение к оценке перспектив на различные полезные ископаемые.

---

* По М. В. Проничевой — зоны активного разлома.

Карты трещиноватости

Карты трещиноватости, так же как и карты линеаментов, составляются по ориентировке и по густоте * трещин. Наиболее распространенным типом карт по ориентировке трещин являются карты роз-диаграмм, которые часто называют схемами распределения роз-диаграмм по площади, или схемами направлений трещиноватости.

Розы-диаграммы вертикальных трещин, построенные для каждой точки наблюдения, помещают на план исследуемой территории соответственно в каждой точке. Иногда на этот же план наносят границы геологических образований, разрывные тектонические нарушения, выявленные по геологическим и геофизическим данным, оси антиклиналей и синклиналей, элементы залегания слоев. Считаем удачным на подобных картах (схемах) трещиноватости розы-диаграммы совмещать с векторными диаграммами. На таких схемах наглядность и точность изображения трещиноватости возрастают.

Анализ распределения роз-диаграмм (и векторных диаграмм) трещин по площади дает возможность выявить в пределах той или иной территории основные направления планетарной трещиноватости и отклонения от них. Сравнение карт роз-диаграмм с геологическими, тектоническими и геофизическими картами позволяет установить соотношение трещин с тектоническими структурами разного типа и порядка и выявить связь направлений трещин с различными возрастными комплексами пород. Можно использовать данные карт роз-диаграмм для построения структурных карт или для уточнения уже составленных карт. Пример такой карты предлагает Г. В. Чарушин (1960) для одного из районов Сибирской платформы. Построив на главных лучах роз-диаграмм параллелограмм (по правилу Пермякова) и, определив простирание больших диагоналей параллелограмма в каждой из точек наблюдения, он уточнил структурную карту Аларского района, составленную по данным бурения.

Карты по ориентировке трещин можно составлять способом нанесения на план местности линий простирания трещин. Делается это следующим образом (Шершуков, 1963). На план местности наносятся точки замеров трещин, в которых показываются простирания основных систем трещин в виде прямых линий. С крайнего объекта замеров трещин линия простирания проводится до следующего ближайшего объекта, где направление простирания может измениться. Затем линия простирания продолжается до следующей точки наблюдения. То есть на карте трещиноватости изменение простирания систем трещин по площади можно показать с помощью условных линий, проводимых через точки наблюдения над трещиноватостью в соответствии с элементами залегания систем трещин. Такое построение является наглядным и при этом показывается не суммарное простирание систем трещин в целом на участке (по сводной розе-диаграмме или круговой диаграмме), а изменение простирания по площади.

Часто карты трещиноватости составляются в круговых диаграммах, которые так же, как и розы-диаграммы, равномерно распределяются по исследуемой площади (Каменев, 1963).

Известны карты, составленные по густоте трещин (Шершуков, 1963) по удельной плотности трещин (Калачева, 1958), по удельной трещиноватости и пр.

---

* Кроме карт густоты трещин в эту группу входят карты, составленные по удельной плотности трещин, по удельной трещиноватости и пр.

Построение карт по удельной трещиноватости* предлагают А. В. Королев и П. М. Шехтман (1965). Перед составлением карты рекомендуется провести систематическое изучение трещиноватости повсеместно способом спорадических замеров и массовых замеров в характерных местах. Результаты замеров изображаются в изолиниях, а предварительно, до проведения изолиний, удельная трещиноватость оценивается по предлагаемой шкале в баллах: 1 балл — 200 тр/1 пог. м; 2 балла — 500 тр/1 пог. м; 3 балла — 1000 тр/1 пог. м; 4 балла — более 1000 тр/1 пог. м.

Любой из перечисленных методов построения карт трещиноватости можно применять при изучении планетарной трещиноватости. Но наиболее удачный вариант карты трещиноватости предложен С. И. Шерманом (1966). На карте этого типа показываются: 1) основные направления трещин в различных частях исследуемого района; 2) количественные взаимоотношения между основными системами трещин; 3) степень интенсивности** трещиноватости и ее распределение по площади.

Направления трещин и их количественное выражение изображаются на карте круговыми диаграммами трещиноватости. Их размещают непосредственно в местах замеров трещин или же на краях карты с указанием стрелками местоположения мест замеров. Обязательно указывают интервал проведения изолиний процентной плотности точек внутри диаграмм. Степень интенсивности трещиноватости показывается на карте изолиниями. Для этого на план наносятся выраженные в процентах данные об интенсивности трещиноватости по точкам наблюдения. Через точки с одинаковой интенсивностью проводятся изолинии.

При составлении карт трещиноватости необходимо равномерно покрывать площадь точками наблюдения. Кондиционность и масштаб карты определяются обнаженностью и задачами исследования. Чем гуще и равномернее распределены точки, тем проще и точнее можно будет составить карту. Составленная карта анализируется. Основные направления трещин и их количественная выраженность вычитываются из диаграмм трещиноватости. Изолинии хорошо отражают изменение интенсивности трещиноватости по площади, а сгущение изолиний свидетельствует о повышении интенсивности трещиноватости. Линейное расположение сгущений свидетельствует о наличии в районе линейно вытянутых зон сгущения трещиноватости.

Карта С. И. Шермана (1966) является наиболее удачным образцом для построения карт планетарной трещиноватости. Рекомендуем внести незначительные изменения, существенно не влияющие на содержание карты и методы ее построения. Предлагается круговые диаграммы трещиноватости заменить розами-диаграммами и векторными диаграммами трещин, поскольку основным объектом исследований при изучении планетарной трещиноватости являются вертикальные трещины, и графическая обработка их выполняется с помощью роз-диаграмм и векторных диаграмм. Основные простирания вертикальных трещин, изображенных этим способом, будут проявляться отчетливее. Для выявления закономерностей распределения трещиноватости по площади можно использовать показатель густоты трещиноватости.

Методика построения карт трещиноватости требует дальнейшей разработки.

---

* Удельная трещиноватость — это количество трещин, относящееся к 100 см длины обнажения (Королев, Шехтман, 1965).

** Под интенсивностью трещиноватости С. И. Шерман вслед за другими исследователями понимает выраженное в процентах отношение суммы произведений длин трещин на их зияние к единице площади.

ГЛАВА VI

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Нефть и газ

Важной составной частью нефтяной геологии является поиск антиклинальных складок (структурных ловушек), с которыми могут быть связаны скопления углеводородов. Детальные буровые и сейсморазведочные работы очень дороги, поэтому их обычно проводят на участках поднятий, выявленных другими, более дешевыми методами. Для этой цели часто привлекаются данные по геологическому строению верхних горизонтов осадочной толщи и геоморфологии. Одной из разновидностей такого рода исследований является изучение планетарной трещиноватости и линеаментов.

Е. Н. Пермяковым (1949, 1951) в результате работ на Русской платформе была подмечена следующая закономерность. Развитые в пределах антиклинальных складок трещины ориентированы не беспорядочно, а образуют отчетливо выраженные направления. Одно из этих направлений параллельно длинной оси складки, второе перпендикулярно ей, а два остальных луча трещин ориентированы по диагонали к простиранию складки. Согласно введенному Пермяковым в литературу правилу параллелограмма диагональ параллелограмма, построенного на диагональных лучах диаграмм трещин, направлена по линии простирания. При разработке своей методики Пермяков исходил из предположения, что трещиноватость образуется в результате тектонических деформаций пород: относительные перемещения блоков фундамента приводят к искривлению пород осадочного комплекса и к образованию различно ориентированных трещин.

О закономерном расположении трещин в пределах платформенных структур пишет и С. С. Шульц (1971, 1973). Однако он считает, что не трещины возникают в результате развития тектонической структуры, а наоборот, тектоническая структура подчинена в своих формах ориентировке планетарной трещиноватости. Проведенный рядом исследователей анализ пространственного положения линеаментов подтверждает правильность указанных построений. В частности, это показано Г. И. Сковородниковой на примере Западно-Сибирской плиты, где интенсивность тектонических движений очень мала.

На пяти участках, расположенных в разных частях плиты, по картам масштаба 1 : 100 000 ею были замерены простирания прямолинейных отрезков долин водотоков I и II порядков (в масштабе карты прямые линии длиной от 0,5 до 3—5 см и более) как на антиклинальных складках (в присводовых частях и на крыльях), так и за их пределами. В результате статистической обработки более 16 тыс. линеаментов было установлено, что как на положительных, так и на отрицательных структурах в приповерхностных отложениях развиты практически одни и те же системы выраженных в рельефе трещин. Простирание их боль-

шей частью совпадает с направлением систем планетарной трещиноватости (рис. 41). Это значит, что не тектонические движения, формирующие антиклинальные складки, являются причиной образования трещин, а существующая в осадочном чехле система трещин определяет конфигурацию структур.

И. Г. Гольбрайх и др. (1968) отмечают, что теоретические построения Пермякова в последние годы подверглись справедливой критике, однако выявленные им закономерности пространственного положения трещин и структур оказались правильными. Они подтверждены многочисленными исследованиями в разных районах страны. Названные авторы также считают, что указанные закономерности могут быть объяснены только в том случае, если формирование платформенных структур связывать с предшествующей им сеткой трещин и разрывов.

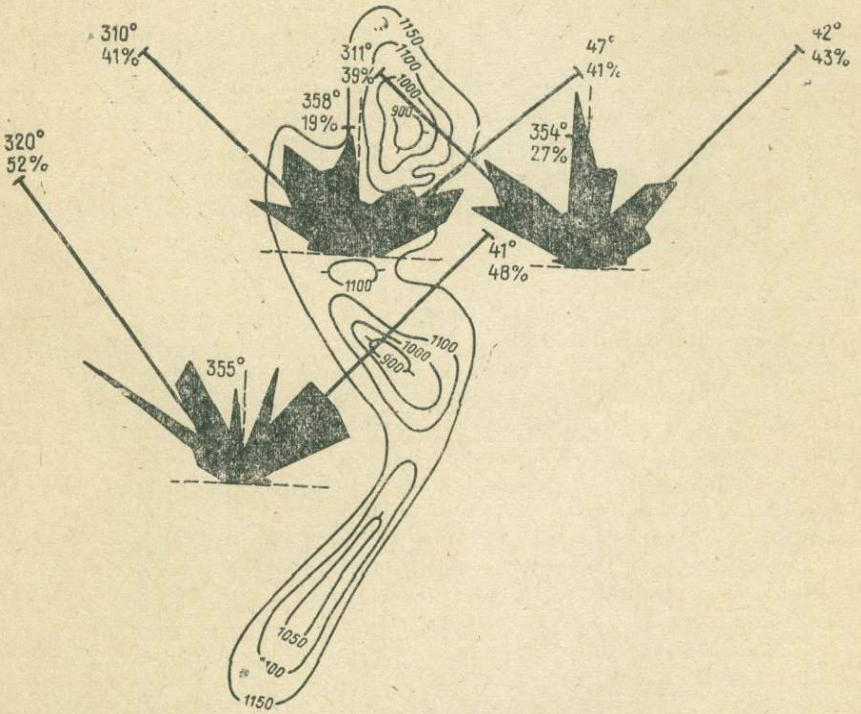

Рис. 41. Розы-диаграммы и векторные диаграммы в районе Танловского мегавала.

Для определения параметров антиклинальных складок эти исследователи предлагают проводить следующий анализ. В пределах положительной структуры, намеченной по геологическим и другим материалам, измеряются ориентировка и длина всех линеаментов. По этим данным строится роза-диаграмма частот или длин линеаментов, которая затем обрабатывается по правилу параллелограмма. С нее снимается ряд исходных характеристик (интенсивность главных лучей, угловые величины), после чего по формулам определяются длина, ширина и другие параметры антиклинальной складки. Полученные таким способом характеристики структур хорошо согласуются с геологическими данными.

Существуют и другие методики определения параметров антиклинальных складок с помощью планетарной трещиноватости и линеаментов. Так, например, методика П. Бланше (Blanchet, 1957), некоторые

составные части которой являются секретом фирмы, где работает этот исследователь, основана на выявлении деформаций выраженной в рельефе планетарной трещиноватости, обусловленных формированием локальных структур. Она включает в себя следующие операции:

1. После выделения по аэрофотоснимкам и интерпретации линейных элементов установленные линеаменты переносятся на кальку, где определяется их принадлежность к одной из четырех планетарных систем, отмечается положение центра линеамента.

2. Для изучаемой территории или ее отдельных частей определяется региональный стандарт каждого направления по диаграммам распределения линеаментов.

3. Вычисляется среднее статистическое направление каждой системы в пределах круга, радиус которого выбирается эмпирически. Так же эмпирически подбирается ряд чисел, которым дается оценка каждой системе линеаментов. Причем наибольшие значения даются линеаментам, ближайшим к центру окружности. Перечисленные действия дают возможность определить локальное среднее направление для каждой системы линеаментов в каждой окружности и локальные отклонения, которые затем вводятся в эмпирическое уравнение, позволяющее вычислить структурную интенсивность данной точки.

4. Интерпретация карты структурной интенсивности проводится с параллельным анализом карты густоты линеаментов и рисунком гидросети.

Выявленные по этой методике структуры, по указанию Бланше, хорошо подтверждаются бурением.

Определенный интерес представляют исследования, в которых антиклинальные складки устанавливаются через «густоту» линеаментов. Линейные формы рельефа, плановое положение которых обусловлено планетарной трещиноватостью пород, имеют различные размеры. Для выявления связи разномасштабных прямолинейных долин и водоразделов с системой планетарных трещин автором совместно с Е. В. Пискуновой и Г. И. Сковородниковой проведена статистическая обработка их планетарного положения в разных районах Западно-Сибирской плиты. Направление долин водотоков длиной до 100 м замерялось в поле, длиной до 0,5 км — по аэрофотоснимкам, всех более крупных водотоков — по картам масштаба 1 : 100 000, 1 : 500 000 и 1 : 2 500 000. Следует отметить, что крупные долины нами также разделены на несколько групп, однако ввиду того, что в пределах района таких форм рельефа немного, при статистической обработке все замеры простираний прямолинейных долин длиной более 200 км объединены. Ориентировка положительных линеаментов замерялась только у прямолинейных водоразделов длиной более 10 км.

Размеры и количество линейных форм рельефа зависят от многих факторов. Образование их связано с экзогенными процессами, а линейность и направленность — со структурными условиями района. Если долины мелких водотоков образуются в процессе избирательной эрозии вдоль систем трещин, то плановое положение крупных долин и водоразделов обусловлено развитием закономерно ориентированных синклинальных и антиклинальных складок. По расположению прямолинейных долин и водоразделов разных порядков часто можно судить о характере и направленности новейших тектонических движений. Чем крупнее они, тем выше порядок новейших структурных форм, с которыми они связаны. Сопоставление последних со структурным планом более глубоких горизонтов осадочного чехла позволяет судить о характере унаследованности в развитии структур и выявлять новообразованные формы. Это обстоятельство имеет важное значение при выяснении ус-

ловий размещения и формирования месторождений нефти и газа. В качестве примера сказанному можно привести возвышенность Сибирские увалы, пересекающую с запада на восток центральную часть Западно-Сибирской низменности. Этот крупнейший линеамент приурочен к новообразованной надпорядковой структуре, развитие которой связано с системой глубоких разломов субширотного простирания. Он располагается на границе различных по углеводородному составу областей. К югу от него сосредоточены преимущественно нефтяные, а к северу — газовые месторождения. Изучение этого линеамента, возможно, поможет выяснить причины указанной закономерности в пространственном размещении скоплений углеводородов.

Планетарная трещиноватость пород оказывает существенное влияние и на процессы вертикальной миграции флюидов. На участках поднятий существующая в породе система трещин раскрывается, в результате чего коллекторские свойства продуктивных горизонтов улучшаются, увеличивается их емкость. Раскрытие трещин в глинистых породах приводит к ухудшению изолирующих свойств покрышек, к вертикальной миграции флюидов и к увеличению этажа нефтегазоносности. При прочих равных условиях чем больше амплитуды поднятий, тем выше этаж нефтегазоносности. Сказанное относится и к новейшему тектоническому этапу. Так, например, в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции на локальных структурах с приростом амплитуд за кайнозойскую эру не более 10% этаж нефтегазоносности (расстояние от доюрского фундамента до верхней залежи) составляет в среднем 0,5 км, с приростом амплитуд до 20% — 0,7 км, с приростом амплитуд до 30% — 1,9 км и с приростом амплитуд более 30% — 2,8 км.

Таким образом, изучение планетарной трещиноватости пород имеет важное значение как для поисков структурных ловушек, так и для выявления условий формирования месторождений нефти и газа.

Угли

В угленосных отложениях, испытавших складчатость, кроме планетарной возникает тектоническая трещиноватость, которая иногда совершенно затушевывает планетарную. При изучении трещиноватости углей и вмещающих пород надо знать и непосредственно в полевых условиях различать эти генетически разные типы трещиноватости.

Основное различие их обусловлено разными факторами, участвующими в их образовании: растяжением при образовании планетарной и сжатием при возникновении тектонической трещиноватости (рис. 42, табл. 11).

Планетарная трещиноватость образуется внутри каждого слоя породы одного (или близкого) вещественного состава в результате внутреннего его стяжения и уменьшения его объема. Этот процесс начинается в раннем диагенезе и продолжается при более глубоких эпигенетических (для углей — метаморфических) изменениях. Внутреннему стяжению вещества слоев способствует давление вышележащих отложений. Под влиянием обоих этих факторов происходит усадка их мощности. Сам же процесс возникновения планетарной трещиноватости, перпендикулярной к наслоению, обусловлен планетарным растяжением, сообщающим трещиноватости соответствующую ориентировку.

В угленосных формациях наибольшее сокращение объема в процессе регионального метаморфизма испытывает угольное вещество пластов угля, претерпевающее глубокие физико-химическое изменения. При наличии планетарного растяжения это ведет здесь к образованию наиболее четко выраженной планетарной трещиноватости. Последняя

по степени выраженности и размеру соответствует каждому петрографическому типу угля и степени регионального метаморфизма.

Установление закономерного изменения «размера» планетарной трещиноватости в гамме регионально-метаморфизованных углей (с ми-

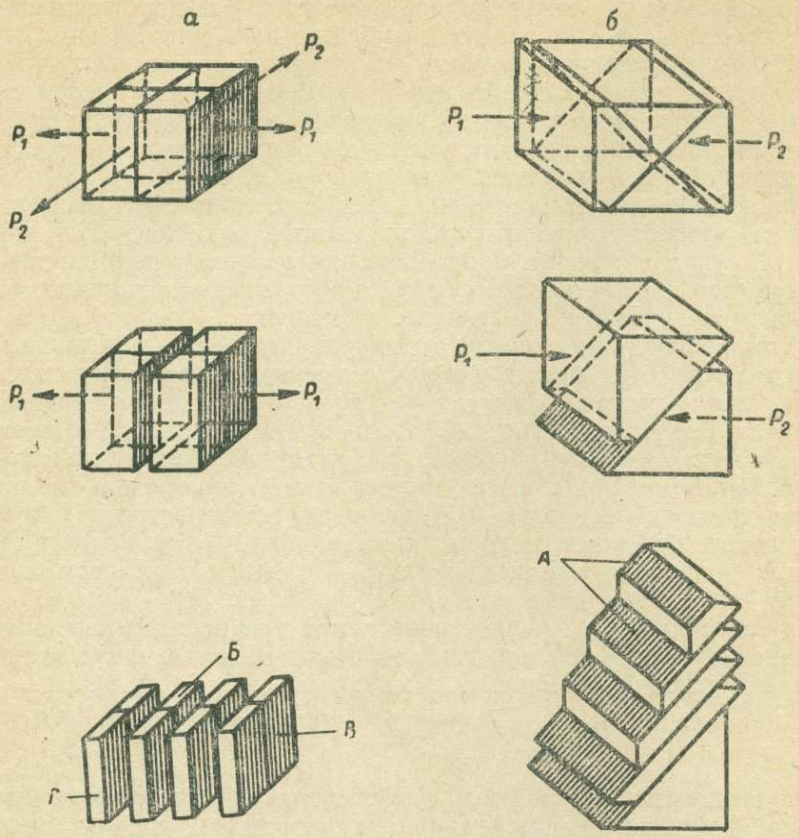

Рис. 42. Схема образования систем.

а — планетарная трещиноватость; *б* — тектоническая трещиноватость. *А* — плоскость скольжения; *Б* — плоскость наслоения; *В* — основная плоскость отдельности; *Г* — торцовая плоскость отдельности.

нимумом расстояний между трещинами 2—3 мм в витренитовых блестящих разностях коксовых углей) позволило использовать размер планетарной отдельности как один из надежных признаков определения степени метаморфизма углей.

Таблица 11

Признаки планетарной и тектонической трещиноватости

Характеристика	Планетарная эндогенная (первичная)	Тектоническая экзогенная (вторичная)
По основному фактору образования трещин	Напряжения растяжения	Напряжение сжатия
Сущность происходящего при образовании трещин процесса	Сокращение объема породы — внутреннее стяжение ее вещества и одновременное планетарное растяжение	Напряжение сжатия породы и скалывание ее по плоскостям максимального напряжения

Характеристика	Планетарная эндогенная (первичная)	Тектоническая экзогенная (вторичная)
По времени образования трещин	С раннего диагенеза складчатости	Во время образования складчатости и сопровождающих ее разрывов
По соотношению трещин друг к другу	Никогда не сечет тектонической трещиноватости	Всегда сечет планетарную трещиноватость
Распространение трещин	Развиты повсеместно — планетарно во всех породах (фоновая трещиноватость)	Локализованы главным образом в зонах тектонических напряжений и разрывов
Приуроченность трещин	Приурочены к отдельным литологически однородным слоям; встречаются «сквозные» трещины, секущие несколько слоев	При движении по трещинам они выходят, как правило, за пределы слоя.
Ориентировка трещин внутри слоя породы	Перпендикулярны к слою (напластованию)	Всегда под углом к слою, часто под углом около 45°
Ориентировка систем трещин в плане	Повсеместно развиты две взаимно перпендикулярные системы трещин: хорошо выраженная — основная (О) и плохо выраженная — торцевая (Т). Наблюдаются системы трещин и с другой ориентировкой	В зонах повышенных напряжений и тектонических нарушений наблюдается одна хорошо выраженная система трещин, параллельная плоскости смесителя нарушения; перпендикулярная к ней система выражена плохо
Характер поверхности отдельности (разлома по трещинам)	Ровные, гладкие, без следов скольжения	Неровные, струйчатые, штриховатые и зеркала скольжения
Характер трещин и их выполнение	Открытые (зияющие), нередко выполнены инфильтратами (каолинитом, кальцитом и др.).	Обычно замкнутые; при зиянии иногда выполняются инфильтрами
Расстояния между трещинами («размер» отдельности)	Зависит от вещественного состава и степени измененности породы: от мм до см — в углях; от см до м — в породах	Как и в планетарной трещиноватости, в углях наблюдается более тонкая и более правильная трещиноватость, чем в породах.

В планетарной трещиноватости местами возникают «сквозные» трещины, секущие несколько слоев. По ним, видимо, наиболее легко происходят сбросовые движения, как это наблюдается, например, в осевой части Донецкого бассейна, где шахтные поля ограничены сбросами, совпадающими здесь с планетарными трещинами.

Все явления планетарной трещиноватости в угленосных формациях, как и региональный метаморфизм углей и эпигенез (катагенез) вмещающих пород, возникают и заканчиваются конседиментационно во время накопления формации; в глубоких прогибах — до инверсии движения и возникновения складчатости.

Тектоническая экзогенная трещиноватость (обусловленная внешним воздействием на породы) возникает только в отложениях, испытывающих напряжение сжатия. В результате последнего образуются складчатость и сопровождающие ее разрывы. Тектоническая трещиноватость проявляется локально. Наиболее отчетливо она выражена в зонах наибольших напряжений сжатия, где часто образуются разрывы взбросового или надвигового типа. Более часто она наблюдается при крутых углах падения слоев и при послойных скольжениях даже при пологом их залегании.

Тектоническая трещиноватость, как и планетарная, наиболее отчетливо выражена в пластах угля, чутко реагирующих на сжатие, — тектонические (складчатые и разрывные) движения. При образовании тектонической трещиноватости, как и при образовании самой складчатости (по форме, размерам, радиусам кривизны и пр.), существенное значение имеет степень метаморфизма углей и эпигенеза (катагенеза) вмещающих пород. Механическая прочность одних и других в разных стадиях их изменений различна. Последнее и предопределяет течение процессов, происходящих при складчатости и сопровождающих ее разрывов. Так, вязкие, механически прочные длиннопламенные и газовые угли, заключенные в слабо литифицированных породах, хорошо сопротивляются напряжению сжатия. В них лишь в зонах непосредственно у тектонических разрывов и смещений образуются единичные неясно выраженные тектонические трещины («заколы»). Все тектонические напряжения сжатия локализуются здесь в основном во вмещающих породах. Слои пластичных глин изменяют свою мощность, раздуваются в осевых частях мелких складок, приобретая плойчатость (рис. 43, *а*).

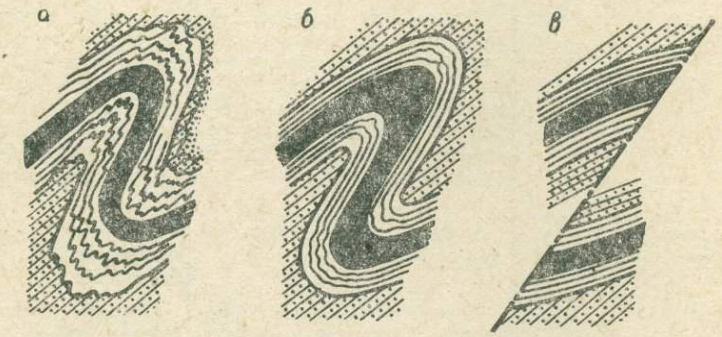

Рис. 43. Схема деформации пород под влиянием сжатия в зависимости от разных прочностных свойств углей и вмещающих пород, испытавших различные стадии регионального метаморфизма.

Для стадий углей: *а* — слабометаморфизованных; *б* — среднеметаморфизованных; *в* — антрацитовых.

Планетарная трещиноватость в этих углях с расстояниями между трещинами до нескольких сантиметров четко выражена. Витринитовые коксовые и близкие к ним жирные и отощенноспекающиеся угли, и в особенности коксовые, очень хрупки, с тонкой (до 2—3 мм) планетарной трещиноватостью, заключены, как правило, в достаточно сильно литифицированных механически крепких породах. Здесь все тектонические напряжения сжатия локализуются в пластах угля (рис. 43, *б*). Хрупкая «мягкая» их масса с тонкой планетарной трещиноватостью в результате образования многочисленных систем тектонических трещин приобретает осколочную отдельность и «течет», образуя раздувы и пережимы, «хвостатые» складки и пр. (см. рис. 43, *б*). Тектоническая трещиноватость особенно в крутопадающих пластах угля полностью затушевывает в них планетарную трещиноватость. Ориентировку последней можно заметить лишь во вмещающих породах (песчаниках и известняках).

Твердые, вязкие, упругие и механически прочные антрациты заключены в породах примерно равной им механической прочности. Поэтому тектонические напряжения сжатия воспринимаются ими одинаково, и «работают» угли антрацита и вмещающие породы не на изгиб, а на разрыв (рис. 43, *в*). В зонах тектонических напряжений и в особенности у тектонических разрывов (взбросов) образуется четкая

правильная система тектонической трещиноватости с ровными гладкими зеркалами скольжения, с ориентировкой, соответствующей ориентировке плоскости сместителя (взброса или надвига). Несмотря на то, что тектонические трещины секут планетарные, последние здесь обычно четко выражены и очень редко затушевываются тектонической трещиноватостью.

Основные методические указания при наблюдениях за планетарной трещиноватостью. *В горизонтально лежащих (платформенных) отложениях* развиты буроугольные угленосные и сланценосные формации. Они сложены, как правило, слабо или совсем не литифицированными осадками (глинами, алевритами и песками). Иногда в составе их принимают участие автоцементирующиеся известняки, сидериты и другие карбонатные образования. Изучение планетарной трещиноватости здесь сводится к следующему.

1. Замеры ориентировки трещиноватости производятся в углях и горючих сланцах. При наличии карбонатных пород замеры производятся и в последних, где трещиноватость выражена исключительно четко, в особенности при наблюдениях ее в естественных обнажениях и карьерах.

2. При горизонтальном залегании слоев и перпендикулярности к ним планетарных трещин производятся замеры только азимутов простирания трещин.

3. Производится определение степени выраженности различных систем трещин с разделением каждой из двух взаимно перпендикулярных систем на основную O_1 и торцевую T_1.

4. Определяется выполняющее трещины вещество.

5. Определяется частота трещиноватости — расстояние между трещинами.

6. Устанавливается зависимость частоты трещиноватости от литологического (для углей — от петрографического) состава и мощности слоя.

7. Производятся наблюдения за веерообразным раскрытием трещин в пологих антиклинальных структурах (при раскрытии трещин вверх), в синклинальных структурах (при раскрытии их вниз) и в флексурообразных структурах (при смене одного типа раскрытия другим).

8. Наблюдения за сбросовой тектонической трещиноватостью со следами скольжения по плоскостям планетарной трещиноватости. Эти трещины локализуются около сбросов, приуроченных, как правило, к сквозным планетарным трещинам.

В складчатых угленосных отложениях разнообразных и нередко значительных мощностей заключаются каменные угли (при больших мощностях включительно до антрацитов). Соответственно и вмещающие их породы имеют разные стадии эпигенеза (катагенеза). Во всех отложениях повсеместно развита планетарная трещиноватость, на которую в зонах наиболее интенсивных напряжений сжатия и в местах их разряжения, в особенности у разрывов взбросового и надвигового типа, накладывается тектоническая трещиноватость. Поэтому при наблюдениях за планетарной трещиноватостью здесь должны выполняться следующие рекомендации.

1. Непосредственно при наблюдениях (при описании керна, обнажений, выработок) следует четко различать планетарную и тектоническую трещиноватость (см. табл. 11 и рис. 42).

2. При негоризонтальном залегании слоев помимо замера элементов их залегания (азимута и угла падения) производится замер элементов залегания плоскостей планетарной и тектонической трещиноватости. Только в том случае, когда наиболее четко выраженная система плане-

тарной трещиноватости (O_1) сечет вкрест простирание складок и трещины расположены вертикально, ориентировку этой системы трещин в плане можно производить по измерению одного простирания трещин.

В районах распространения коксовых и близких к ним марок углей, где в пластах угля планетарная трещиноватость нередко полностью затушевана тектонической трещиноватостью, замер ориентировки первой следует производить по вмещающим породам.

3. Как и в горизонтально лежащих отложениях, производится определение степени выраженности различных систем трещин, состав выполняющего их вещества, расстояния между трещинами, зависимость последних от литологического состава породы и мощности слоя.

Обработка и обобщение материалов по изучению планетарной трещиноватости в угленосных отложениях производится так же, как при изучении этого явления в других отложениях.

Изучение планетарной трещиноватости в угленосных формациях помимо теоретического имеет огромное практическое значение во всех геологических исследованиях (съемке, поисках, разведке) и в особенности при эксплуатации угольных месторождений, так как трещиноватость определяет механическую прочность пород и устойчивость их в горных выработках, способы выемки угля и пр.

Планетарная трещиноватость, возникающая до складчатых и разрывных нарушений, как и степень вторичных изменений (эпигенез) пород в значительной мере предопределяет размер, форму, степень кривизны складок и сопровождающих их разрывов. Особенно большую роль планетарная трещиноватость играет при образовании разных порядков сбросовых нарушений, как правило, локализующихся к разным порядкам «сквозных» планетарных трещин.

Горючие сланцы

На примере Ленинградского месторождения горючих сланцев разработана методика изучения взаимосвязи линеаментов с системами планетарных трещин и строением толщи сланцев на глубине.

Наиболее крупные ослабленные зоны и карсты, как правило, находят отражение в современном ландшафте и рельефе в виде линеаментов соответствующих простираний. Это позволяет прогнозировать их местоположение как на поверхности, так и на глубину проходки горных выработок. При этом необходимо учитывать, что все линеаменты представлены либо одиночными, протяженностью на десятки и сотни метров, либо групповыми однонаправленными линеаментами, свидетельствующими о наличии тектонических нарушений локального или регионального плана, протяженностью в несколько километров. Они отражаются в прямолинейной вытянутости озерных котловин, участков речных долин, в спрямленной конфигурации болотных массивов. Последние нередко располагаются под углом 86—90° относительно друг друга, повторяя взаиморасположение трещин северо-западного и северо-восточного румбов в карбонатных породах ордовика. Отмечено, что некоторые долины рек образуют серию округлых излучин, располагаясь над ослабленными зонами и закарстованными трещинами.

После сбора всего фактического материала по линеаментам составляется комплекс карт — ориентировки линеаментов, их густоты (в изолиниях), роз-диаграмм преобладающих направлений, структурного фона и т. д.

Одновременно с выявлением линейных элементов ландшафта рекомендуется проводить изучение планетарных трещин в горных выработках шахтных полей как непосредственно в породах промышленного

пласта, так и во вмещающих его образованиях. С этой целью проводятся документация и прослеживание секущих промышленный пласт трещин, замеры их протяженности по панельным, откаточным, вентиляционным штрекам и камерам-лавам. Изучаются закарстованность, пересечения трещин, пологая волнистость, микро- и макросбросы, явления катаклаза, связь сульфидной минерализации с трещиноватостью и пр. По замерам трещин составляется тот же комплекс карт, что и при замерах линеаментов.

Для проверки результатов поверхностных и глубинных замеров составляется схема сопоставления ориентировки линеаментов поверхности над шахтными полями с замерами трещин по шахтам. В результате всех проведенных работ составляется карта структурного районирования территории, на которой четко выделяются участки аномальной густоты линеаментов и трещин, их преобладающая ориентировка. Эта схема позволяет выявить стабильные и ослабленные участки кровли пород промышленного пласта и кровли в пределах шахтных полей, наличие конкретных ослабленных зон и связанных с ними карстовых проявлений, позволяет получить представление о преобладающей ориентировке трещин для новых участков шахтных полей, способствует выявлению аномалий блокового типа. В пределах последних иногда наблюдается разворот как всех трещин и карстов в породах ордовика, так и линеаментов на 15—20° относительно других территорий шахтных полей.

Изложенная методика применяется в комплексе с геофизическими и буровыми работами. Характерно, что ориентировка планетарных трещин на Ленинградском месторождении совпадает с направлением эндогенных трещин в углях Подмосковного и Донецкого угольных бассейнов и преобладающей ориентировкой планетарных трещин на Северо-Западе Русской платформы (Шульц, 1964).

Применение изложенной методики рекомендуется для изучения тектонического строения других месторождений Северо-Запада, находящихся в аналогичных геологических условиях и при разномасштабных геологических и инженерно-геологических съемках.

Соли

Методические вопросы выделения и трассирования зон планетарной трещиноватости в условиях большого развития соляных структур в пределах геологически закрытых территорий имеют огромное значение. Наиболее экономически выгодным и геологически эффективным методом картирования соляных структур из геофизических методов является сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ). Наилучшие результаты дает ее самая современная модификация — метод общей глубинной точки (МОГТ). Теоретические основы и методика работ МОГТ рассматриваются в специальных руководствах (Мешбей, 1973). Практика разведки соляных структур Западного Прикаспия показывает, что более рационально покрывать отдельные поисковые площади детальной съемкой в масштабе 1 : 50 000 с густотой сети сейсмических профилей не более 1,5×1,5 пог. км. Последнее дает возможность не только протрассировать зоны отсутствия материала, связанные с существованием зон планетарной трещиноватости, но и выявить и закартировать соляные гряды и купола по опорным отражающим горизонтам. По последним составляются структурные карты и схемы. Например, для Западного Прикаспия нами составлялись структурные карты по надслоевым отложениям, схемы по кровле соли и подсолевым осадкам. В последующем они были генерализованы в виде региональных

структурных схем в масштабе 1 : 500 000. Данный масштаб дает возможность выявить региональные закономерности размещения соляных структур и планетарной трещиноватости. Так, были выделены 24 соляные гряды преобладающего северо-западного (310—317°) и северо-восточного (42—47°) простираний, под которыми протрассированы зоны непрослеживаемости опорных подсолевых отражающих горизонтов $П_1$ и $П_2$, связанные с наличием зон планетарной трещиноватости. Хорошее совпадение простираний соляных гряд и связанных с ними зон исчезновения сейсмического материала на уровне подсолевых отложений с теоретически вычисленными азимутами (СВ 45° и СЗ 315°) планетарных трещин позволило их формирование связать с ротационным режимом Земли.

Выявленные соляные гряды протягиваются на сотни километров, как полярно-ориентированные подземные линеаменты относительно оси вращения Земли. Как правило, наблюдается расположение соляных куполов вдоль сводов гряд. При этом отмечается соединение последних и куполов соляными перемычками. В результате межантиклинальные прогибы дифференцируются на локальные мульды, вся соль из которых часто выжата в соседние соляные купола. Обычно количество последних вокруг такой мульды равно четырем. Этот факт заслуживает особого внимания при прогнозировании надсолевых структур с возможной нефтегазоносностью и месторождений калийных и магнезиальных солей, связанных со сводовыми частями соляного ядра куполов. Следует иметь в виду, что названные соли, обладая наибольшим потенциалом подвижности среди других солей разреза галогенных отложений, мигрируют в первую очередь при течении соли в процессе формирования куполов и нагнетаются к сводам последних, образуя месторождения в виде дисгармоничных складок. Таковы, например, месторождения калийных руд соляных куполов Эльтона, Индера, Челкара, Баскунчака и др. Приуроченность соляных куполов к зонам пересечений соляных гряд дает возможность прогнозировать еще неизвестные соляные купола и связанные с ними полезные ископаемые.

Межкупольные мульды, окруженные четырьмя высокоподнимающимися соляными куполами и перемычками, образуют громадные природные резервуары. Отсутствие соли в них создает благоприятные условия миграции и концентрации углеводородов из подсолевых отложений в надсолевой комплекс. В подобных сквозных мульдах прогнозируется развитие экранированных солью кольцевых и полукольцевых, стратиграфических и литологических и др. типов залежей нефти и газа. Соляные перемычки, изолировавшие подобные мульды, имеют также преобладающее северо-западное и северо-восточное простирание. Они, как правило, к соляным грядам подходят нормально. Под ними наблюдаются зоны отсутствия подсолевых отложений. Так, в региональном плане создается гигантская закономерная полигональная (каркасная) соленосная структура. Размеры одного полигона (или блока) порядка 0,8×8,0 км.

Таким образом, устанавливается упорядоченная соленосная структура, позволяющая этот признак использовать при прогнозировании еще неизвестных подсолевых структур, соляных куполов и сквозных мульд. Так, нами в Западном Прикаспии был прогнозирован большой фонд как надсолевых, так и подсолевых структур.

Все подсолевые дислокации обычно в виде приразломных полузамкнутых структур размещены под закономерно ориентированными соляными грядами, являющимися в свою очередь индикаторами зон планетарной трещиноватости. Используя этот критерий, нами вдоль зоны Волгоградской глубинной планетарной трещиноватости, западной бортовой

зоны Прикаспия было прогнозировано развитие около 20 структур, перспективных на нефть и газ. Недавно в пределах одной из них было открыто Комсомольское газовое месторождение в подсолевых артинских отложениях. В пределах этой же планетарной трещиноватости, в зоне Сарпинско-Тингутинской поисковой площади, получены два промышленных фонтана также из подсолевых отложений.

Таким образом, установление существования закономерной контролирующей связи локальных соляных и подсолевых структур с данными планетарной трещиноватости позволяет целенаправленно вести поисково-разведочные работы на те полезные ископаемые, которые так или иначе связаны с соленосными отложениями.

Кимберлитовые месторождения алмазов

Среди обширного комплекса применяющихся методов систематическое площадное изучение планетарной трещиноватости пород в известных районах кимберлитового магматизма и на перспективных площадях с целью поисков кимберлитовмещающих структур планомерно нигде в Советском Союзе практически не производилось, за исключением одного из районов Якутии. Имеющиеся сведения, касающиеся трещиноватости пород в других кимберлитоносных районах (Зведер, 1961 и др.), собраны или по небольшим площадям, или проанализированы формально и не дают глубокой информации по возможностям использования результатов изучения планетарной трещиноватости для целей поисков и прогнозов. Некоторыми исследователями вообще ставится под сомнение взаимосвязь между трещиноватостью пород и кимберлитопроявлениями.

Как показала практика работ, изучение планетарной трещиноватости может принести ощутимый эффект, так как длительные поднятия территорий приводят обычно к приоткрыванию и препарировке трещин в породах, к четкому выделению на картах и аэрофотоснимках по повышенным густотам трещиноватости высокопроницаемых зон, отвечающих разломам, зонам разломов или их взаимным пересечениям и сопряжениям.

Процесс поисков и прогнозирования кимберлитоносных провинций и собственно кимберлитовых тел (трубок, жил, даек) в перспективных районах сводится обычно к выявлению возможных кимберлитоносных и кимберлитовмещающих структур. Так, для детально изученного района в качестве кимберлитоносных были установлены крупные (до 10—30 км в плане) возвышенности в древнем (погребенном) рельефе на карбонатных породах нижнего палеозоя, отвечающие структурам фундамента. Характерной особенностью этих возвышенностей являются прямолинейные очертания их склонов, простирания которых совпадали с направлениями сети развитых в породах планетарных трещин. Кимберлитовмещающими оказались склоны возвышенностей и особенно те их участки, где к крупным возвышенностям примыкали мелкие (зоны сопряжения). Как в случае склонов, так и в случае сопряжений породы характеризовались резко повышенной трещиноватостью, а следовательно, и проницаемостью.

Установленные факторы локализации кимберлитов дали основание производить поиски аналогичных установленным погребенных возвышенностей, а в их пределах зон повышенной трещиноватости пород. Площадное изучение планетарной трещиноватости района позволило установить, что территории погребенных возвышенностей и впадин разделяются по разному облику роз-диаграмм и по разнонаправленности векторов «средних простираний», построенных по указанным розам-ди-

аграммам. Результаты работы выразились в выделении ряда новых погребенных возвышенностей, перспективных на кимберлитопроявления, в их оконтуривании и в оценке (в совокупности с данными шлиховых поисков и геофизики) их реальных перспектив. Ожидается, что аналогичная методика подхода к изучению кимберлитоносных районов, основанная в каждом конкретном случае на изучении характерных особенностей развития планетарной трещиноватости в породах известных в том или ином районе кимберлитоносных полей и перенесенная на соседние площади, принесет ощутимые результаты.

По каждой конкретно взятой площади имеет место согласование пространственного положения разломов, даек траппов, очертаний разномасштабных структур, линейных элементов погребенного рельефа и рельефа дневной поверхности с сетью трещин в породах. В вертикальном разрезе также наблюдается совпадение или близкая пространственная ориентировка трещин в породах различного возраста, литологического состава и генезиса. Так, в пределах изученного района на каждом участке план сети максимально развитых систем трещин в карбонатных породах нижнего палеозоя находит свое повторение в трещиноватости терригенных пород мезозоя, кимберлитах и даже в покровных силлах траппов. Имеющиеся различия выражаются в основном в густотах проявлений трещин, их протяженности, составе минеральных выполнителей и углах наклона (при мелкой складчатости). Методика изучения трещин сводится к двум взаимно дополняющим направлениям ведения работ — полевому и камеральному.

Специфическим является тот факт, что при выборе масштабов «единичного квадрата» замеров линеаментов следует руководствоваться поставленными перед исследователями задачами, которые в каждом конкретно взятом случае решаются особо. В частности, для выявления структур, измеряемых десятками километров, возможно использование топоосновы масштаба 1 : 100 000 с площадью единичного квадрата, равной площади листа маштаба 1 : 50 000. Выявление и изучение мелких структур желательно производить на топооснове более крупных, чем указано выше, масштабов. При этом площадь единичного квадрата выбирается из расчета, чтобы она составляла не более четверти площади минимально ожидаемой структуры. В целях выявления зон разломов желательно, чтобы размер сторон квадрата не превышал ширины ожидаемой зоны. Предположительную минимальную ширину зон можно определить непосредственно по «Карте линеаментов».

При снятии «фона» в процессе обработки густоты линеаментов, в случае выхода на поверхность генетически разнородных толщ, следует сопоставлять результаты, полученные при снятии «фона», характерного для всей изучаемой территории по всем замерам, с результатами, полученными при снятии «фона» для площади развития каждой генетической разновидности пород (например, траппов), рассмотренной отдельно. Этим контролируется правильность выделения зон или структур.

По розам-диаграммам частот и длин простирания всех линеаментов каждого квадрата, по методике Пермякова, строятся «линии средних простираний». Площадь, в пределах которой направления «линий средних простираний» близки или совпадают, следует рассматривать в качестве структурно-однородной, отвечающей каким-то стабильным геолого-тектоническим условиям (приподнятому или опущенному блоку, склону структуры и т. д.), сопряжения площадей с разноориентированными линиями средних простираний могут интерпретироваться как возможные зоны разломов, отвечающие сопряжениям блоков. Для «сопряжений» из-за масштаба квадрата могут быть получены многолепестковые

розы-диаграммы, по которым трудно построить «линии средних простираний». На таких участках единичные квадраты следует разделить на более мелкие и заново провести по той же методике замеры и обработку результатов замеров простираний и длин линеаментов.

Обработку и анализ результатов замеров линеаментов желательно также производить раздельно и по длинам линеаментов, исходя из принципа, что длина трещины, которой соответствует линеамент, примерно равна ее глубине. Этим методом можно провести анализ структурного плана территории, выделив трещины приповерхностных толщ и толщ глубоколежащих. Кроме того, следует обработать густоты распространения линеаментов по каждому десятиградусному интервалу их простираний. Тем самым также возможно выявление зон повышенной трещиноватости пород.

Таким образом, по густотам можно выделить положение линейных зон повышенной трещиноватости пород, соответствующих глубинным разломам. По облику роз-диаграмм простираний линеаментов и по направленности «линий средних простираний», отстроенных по этим розам, выделяются:

1. Линейные зоны, характеризующиеся или резко развитым одним из направлений трещин, или выраженными многолепестковыми розами за счет замеров наиболее развитых систем трещин по двум соседним блокам и предположительно отвечающие шовным зонам между блоками (разломы).

2. Структурно-однородные площади (блоки), характеризующиеся сходным обликом роз-диаграмм и близпараллельным направлением «линий средних простираний».

Зоны повышенной трещиноватости пород и площади со сходным планом роз-диаграмм и линий средних простираний представляют собой объекты детального анализа, как возможные объекты кимберлитопроявления. В частности, кимберлитоносная Ангаро-Вилюйская зона разломов в изученном районе четко выделяется по повышенной густоте простираний линеаментов, совпадающих с простиранием зоны. Кимберлитоносными площадями этого района являются структуры, выраженные в виде эрозионно-тектонических поднятий в древнем рельефе, образованном на породах нижнего палеозоя. Поднятия картируются в виде участков с северо-восточным планом «линий средних простираний» среди площадей, где план «линий средних простираний» северо-западный (эрозионно-тектонические впадины). В пределах поднятий, очертания склонов которых совпадают с планом сети планетарных трещин, кимберлитовые трубки группируются на склонах и на участках сопряжений разномасштабных поднятий, что соответствует зонам пересечения густой сети разноориентированных систем планетарных трещин. Направления кимберлитовмещающих разломов (СЗ) отвечают поперечным к направлениям мелких складок (СВ) систем трещин. Возможно, что для других районов кимберлитоносные структуры могут не получить четкого выражения в палеорельефе. В таких районах в качестве критериев возможных кимберлитовмещающих структур при поисковых работах могут служить (в соответствии с геолого-геофизическими данными) зоны повышенной трещиноватости пород, пересечения зон, сопряжения полей с различной ориентировкой «линий средних простираний».

Рудные полезные ископаемые

В настоящем разделе не ставится целью в полном объеме осветить методические приемы изучения трещиноватости, применяемые при поисках рудных полезных ископаемых. Нашей задачей является обра-

тить внимание геологов на широко развитую в горных породах планетарную трещиноватость, данные изучения которой можно использовать как для широкого прогноза, так и для решения узкоспециальных задач рудной геологии.

При поисках и разведке полезных ископаемых уже издавна трещины рассматривались в основном как структуры, способствовавшие локализации рудных месторождений, особенно их жильных форм, и изучение трещин чаще всего носило узконаправленный характер. Лишь в недавнее время данные изучения мелкой трещиноватости стали использоваться в более широком плане для выявления тектонической структуры рудного месторождения в целом. Особое внимание этому вопросу уделяют в своих исследованиях В. М. Крейтер, Ф. И. Вольфсон, Л. И. Лукин, А. В. Королев, П. А. Шехтман и др.

Всеми перечисленными исследователями трещины рассматриваются как тектонические, и их ориентировка в пространстве тесно связывается только с тектоническими факторами структурообразования. Но в природе кроме тектонических широко развиты планетарные трещины разных масштабов, простирания которых определены планетарными причинами. По этой сети планетарных трещин, различно ее используя, развиваются складчатые и разрывные тектонические структуры, в том числе и часть тектонических трещин.

Планетарной ориентировкой характеризуются рудоносные структуры разных масштабов: и мелкие трещины, и крупные разрывные тектонические нарушения, входящие в состав рудных поясов, и рудные пояса в целом. Так, например, основные рудопроявления в Западной Якутии приурочены к зонам планетарных разломов северо-восточных и северо-западных простираний. В юго-восточной части Тунгусской синеклизы контролирующая роль в размещении железорудных месторождений принадлежит диагональным разломам. Металлогенические пояса Южного Урала, Северных Мугоджар приурочены к зонам разрывных нарушений ортогональных простираний. Поэтому детальное изучение пространственного размещения рудоносных структур разных порядков в их тесной взаимосвязи, а также сравнение их с нерудоносными структурами представляет несомненный практический интерес.

Особое значение имеет сбор материалов и анализ данных по мелким трещинам. Однако изучение трещин непосредственно в породах не всегда возможно, а на больших площадях весьма трудоемко. В связи с этим рекомендуется проводить площадное изучение и анализ линеаментов — спрямленных элементов рельефа и ландшафта.

Применение различных методов изучения планетарной трещиноватости и линеаментов при поисках и разведке рудных полезных ископаемых дает возможность выявлять и прослеживать рудные пояса и зоны, определять их масштаб, намечать вероятное положение рудных узлов и полей, оконтуривать намеченные рудные узлы и поля и выделять в их пределах возможные максимальные концентрации полезного ископаемого. Кроме того (и это очень важно), используя данные трещиноватости и линеаментов, можно изучать структуру месторождения и этапы ее формирования. Нельзя не отметить возможности применения метода для прогнозирования новых месторождений как на глубину, так и по площади рудоносных площадей разных порядков.

Рудные пояса часто достаточно отчетливо устанавливаются по геолого-структурным и геофизическим данным (линейное расположение разномасштабных разрывных тектонических нарушений, плутонических тел, геофизических аномалий и пр.). Не всегда бывает возможным выявить и проследить их границы. Например, тогда, когда рудовмещающие комплексы пород перекрыты более молодыми, не содержащими

руду образованиями. В этом случае можно применить методы изучения планетарной трещиноватости и линеаментов.

Трещины и отражающие их линеаменты в рудных поясах и зонах располагаются закономерно направленно и часто образуют линейно-вытянутые сгущения или зоны сгущений. В региональном масштабе их можно выявить путем анализа площадного распространения линеаментов: простираний и степени выраженности их систем, а также густоты линеаментов по площади.

Анализ полученного фактического материала производится с помощью построения карт линеаментов (см. гл. 5). Для решения поставленных задач мы считаем необходимым провести сначала визуальный анализ карты фактического материала линеаментов и построить на ее основе (или непосредственно по топокартам, аэрофотоснимкам) серию карт: избранных простираний, карт, составленных методом протягивания выявленных простираний линеаментов, карт густоты линеаментов и пр.

При построении этих карт по общей методике необходимо обратить внимание на некоторые моменты, наиболее важные при поисках рудных полезных ископаемых. В частности, выделение линеаментов, построение карты фактического материала линеаментов, разбивку квадратов замеров, замеры простираний линеаментов рекомендуется производить по топографической основе или аэрофотоматериалами масштабов 1 : 50 000 и мельче. Площадь изучения должна быть в 2—3 раза шире предполагаемой ширины пояса (из расчета надежного выхода за пределы пояса). Минимальная длина линеаментов, подлежащих учету, должна обеспечивать надежную глубинность их заложения (исходя из эмпирически выявленной закономерности о том, что длина линеамента приблизительно равна глубине заложения трещины, по которой он развивается). Минимальная длина линеамента должна составлять 0,7 км; однако в каждом конкретном случае надо исходить или из минимальных длин даек, или других минимальных размеров магматических тел, известных на данной площади.

Анализ простираний и густоты всех линеаментов, предварительно нанесенных на карту фактического материала и замеренных, производится раздельно по группам, объединенным в десятиградусные интервалы их простираний (например, линеаменты с простираниями только 270—279 или 280—289° и т. д.). Для каждого интервала простираний строятся две карты. На одну из них с карты фактического материала линеаментов переносятся линеаменты только какого-то определенного интервала простираний. На второй карте показывается густота линеаментов этого же интервала их простираний, изображенная в изолиниях (см. гл. 2). И так делается по каждому десятиградусному интервалу замеров (от 270 до 0° и от 0 до 90°).

Первая карта дает общее представление о распространении по площади линеаментов каждой группы и аналогична карте избранных простираний (см. гл. 5). По второй карте можно выделить поля, характеризующиеся преобладающим распространением линеаментов той или иной группы. В совокупности эти карты дают возможность выявить закономерности ориентировки линеаментов и степень их выраженности в пределах той или иной территории, а также площади сгущения линеаментов, отвечающие участкам сгущения трещин, благоприятным для локализации руд. Полученные карты линеаментов необходимо сопоставить с имеющимися геологическими, структурными и металлогеническими картами (сопоставить данные, полученные по линеаментам, с зонами рудоконтролирующих разломов, рудовмещающими трещинами и др.). И только применив в комплексе все возможные методы изучения раз-

личных рудных площадей, можно получить подробные сведения о ширине и протяженности рудных поясов и о положении внутри них рудных узлов и полей, провести структурное районирование. Таким образом, была охарактеризована Вилюйско-Мархинская зона разломов, обрамляющая с востока Вилюйскую синеклизу.

Общеизвестно, что оруденение в рудных поясах сосредоточено на отдельных участках (в рудных районах, узлах или полях), разделенных безрудными промежутками. Размещение оруденения контролируется различными структурными факторами. Поэтому выявление структурных закономерностей размещения рудоносных площадей в пределах отдельных рудных поясов приобретает исключительно важное практическое значение. Определенную помощь в этом могут оказать методы изучения планетарной трещиноватости и линеаментов. В частности, применяя эти методы, можно выявить положение мест пересечения разноориентированных разрывных нарушений, мест смены их простираний, местоположение оперяющих трещин и пр.

Если при выявлении рудных поясов главное внимание уделялось анализу карт линеаментов, составленных камеральным способом, то при оконтуривании и изучении рудных полей и узлов рекомендуется производить и полевое изучение трещин наряду с изучением линеаментов.

Основой предварительного выделения площадей, перспективных на полезные ископаемые, могут служить карты линеаментов, данные которых используются совместно со всеми имеющимися геологическими предпосылками. В частности, необходимо учитывать закономерности положения рудных тел на соседних известных месторождениях, генетически связанных с предполагаемыми рудопроявлениями рассматриваемой территории. Особенности строения изучаемой площади и роль тех или иных систем трещин в процессе локализации рудных тел должны быть уточнены при проведении полевых работ. Необходимо обращать внимание на участки с повышенной густотой трещиноватости, иногда характеризующей места пересечения разломов, разломов и складок, изгибов разломов (и другие), и на участки с аномально повышенным развитием тех систем трещин, которые на соседних, известных рудных полях являются рудовмещающимися или рудоконтролирующими. Кроме того, заслуживают внимания и изучения участки резкой смены простираний наиболее развитых систем, характеризующие изгиб разлома структуры или границу между разнородными структурными полями.

В процессе наблюдений сопоставляются простирания систем трещин и линеаментов, а также определяется соотношение густоты развития тех или иных систем трещин и соответствующих им линеаментов. Устанавливается взаимосвязь оруденений (по составу и возрасту) с различными системами трещин; выявляется последовательность в формировании тел. Следует заметить, что если при изучении рудных поясов можно ограничиться анализом крупных линеаментов, то в случае исследования рудных площадей более низких рангов учитываются все линейные элементы, минимальная протяженность которых обосновывается фактическим геологическим материалом в каждом отдельном случае (но не менее 0,7 км).

Многими исследователями в различных районах СССР установлено, что максимальные скопления оруденения приурочены к местам пересечения разрывных нарушений разных порядков. Поэтому разработка способов нахождения этих узлов пересечений представляет большой практический интерес. Выявленные узлы анализируются по-разному. В частности, А. И. Петров предложил способ оконтуривания предполагаемых рудных полей путем составления карт плотности узлов (см.

гл. 5). Выполнив статистический анализ плотности распределения узлов пересечений разрывных нарушений, Петров установил взаимосвязь распределения молибденового полиметаллического, серноколчеданного оруденения с определенной плотностью узлов пересечения разрывных нарушений на территории восточной части Балтийского щита.

Методами изучения трещиноватости можно выявить ослабленные зоны над скрытыми разломами фундамента и изучать их внутреннее строение. Зоны представляют собой своеобразные линейные ослабленные зоны, выраженные цепочками интрузивных тел, поясами даек, гравитационными ступенями и многими другими признаками. Иногда они сопровождаются зонами мелкой трещиноватости (планетарной в нашем понимании). С ними связаны пояса концентрации гидротермальных проявлений, поэтому выявление их представляет несомненный практический интерес. Ориентировка зон повышенной трещиноватости в Приморье (Томсон, 1962) представлена направлениями: широтным, меридиональным, северо-восточным и северо-западным, что соответствует планетарным направлениям.

Зоны повышенной трещиноватости не представляют сплошной широкой полосы развития. Они состоят из нескольких отдельных зон, иногда сменяющих друг друга кулисообразно. Особенности размещения мелких трещин предлагается выявлять путем их площадного картирования с последующей интерполяцией. На картах выделяются участки пересечения зон повышенной трещиноватости, которые особенно благоприятны *для развития в них оруденения. Практические рекомендации* по выполнению этих работ предложены И. Н. Томсоном (1962).

Останавливаясь на методике Томсона, следует заметить, что результаты, полученные по данным изучения трещин, могут быть более точными и объективными, если заменить метод визуального определения систем трещин в обнажении массовыми их замерами с последующей статистической и графической обработкой. Затраты времени будут компенсированы практическими результатами. Замеры трещин в обнажениях можно дополнять, а иногда и заменять наблюдениями над линеаментами, их отражающими, по топо- и аэрофотоматериалам. Результаты будут сходными.

Одной из основных задач при изучении месторождения также является установление структуры, контролирующей размещение оруденения. Под структурой эндогенных месторождений большинство специалистов (В. М. Крейтер, Л. И. Лукин и др.) понимают совокупность структурных элементов, определяющих форму месторождения и влияющих на его локализацию. Среди всех структурных элементов важная роль многими исследователями отводится трещинам. Н. П. Херасков, например, считает, что места отложения минеральных скоплений связаны в основном с особенностями трещиноватости, а не только с минеральным и химическим составом вмещающих толщ.

Трещиноватость (в нашем понимании планетарная) играла существенную роль на всех этапах формирования месторождения, выступая в качестве основных дорудных, внутрирудных и послерудных элементов структуры. Системы планетарных трещин либо обеспечивали условия формирования залежи (повышенная проницаемость пород), либо выполняли роль подводящих каналов для рудных растворов, либо служили полостями для осаждения руд (внутрирудные структуры). При этом роль одних и тех же трещин неоднократно изменялась в зависимости от условий структурно-тектонического развития района.

Из сказанного ясно, насколько важно изучать трещиноватость в пределах месторождения с точки зрения ее морфологии, ориентировки простираний систем трещин, выполнения различными минеральными

(в том числе и рудными) компонентами, распределения трещиноватости по площади (ее густоты и ориентировки).

В процессе изучения рудных месторождений интересно измерять количество трещин, приходящихся на линейный метр обнажения («удельная трещиноватость»), так как часто имеет место прямая зависимость между величиной удельной трещиноватости и содержанием металла. Поэтому можно выделить сорта руд без предварительного опробования. В ряде районов определяют «пустотность» пород (или «удельное растяжение»), выражающуюся в отношении объема приоткрывания в трещинах, обычно с минеральными выполнениями, ко всему объему породы, содержащей эти трещины. Данные параметры позволяют (если рудоотложение не сопровождается метасоматозом) определить степень раздробленности пород и интенсивность оруденения.

Необходимо определять последовательность рудоотложения в трещинах и выявлять приуроченность различных по составу руд к определенным системам трещин. Этим путем можно установить принадлежность трещин к до-, внутри- и послерудным элементам структуры.

Очень важно проводить тщательное изучение даек как тел, выполняющих планетарные трещины и несущих иногда рудное оруденение. Необходимо обращать внимание на наличие рудных жилок в дайках, развитие гидротермальных изменений (окварцевания, хлоритизации, эпитодизации и пр.), появление раздробленности и милонитизации пород в дайках. Важно также наблюдать за взаимоотношениями даек с рудными жилками, за наличием апофиз даек среди рудоносных пород, за контактом дайки и рудного тела. При этом следует разобраться в сложной последовательности и многократном чередовании даек разного состава и установить соотношение оруденения с разными системами даек.

При изучении структур месторождений, сложенных плутоническими образованиями, необходимо обращать внимание на внутреннее строение плутонических тел (см. гл. 3). С ними связаны пластовые рудные залежи, согласные с внутренним строением массива, и секущие тела.

Большой практический интерес представляют участки, расположенные в зонах контакта интрузивных тел с вмещающими породами. Здесь создается зона повышенной трещиноватости и, следовательно, проницаемости всего приконтактового участка в целом, в котором создаются благоприятные условия для перемещения растворов и частично для рудоотложения. Херасков (1967) рекомендует методику структурного изучения размещения месторождений приконтактового типа. Характер трещиноватости должен изучаться совместно с расположением минерализованных и неминерализованных участков по радиальному направлению или по направлениям линий изомощностей контактовой зоны, по линии падения в зависимости от расстояния от свода и угла падения контакта и по линии простирания (в зависимости от особенностей контура массива). Каждый раз следует определять местоположение месторождений в зависимости от структуры вмещающих пород.

Данные трещиноватости (косвенным путем) можно использовать для выявления рудовмещающих структур — структурных ловушек различного типа (Монич, 1956; Королев, Шехтман, 1965; Аэров, 1972, и др.).

Россыпные месторождения

Наиболее распространенным генетическим типом россыпей умеренного пояса являются аллювиальные россыпи двух возрастных генераций — современные россыпи и россыпи древней гидрографической сети, часть из которых представлена погребенными россыпями. Большинст-

во аллювиальных россыпей приурочено к верховым звеньям гидрографической сети. Так, в пределах Приморья на долю верховых участков приходится свыше 90% суммарной протяженности гидрографической сети. В связи с этим применение методов изучения планетарной трещиноватости при поисках аллювиальных россыпей приобретает существенное значение. Картина пространственного размещения россыпных месторождений определяется историей развития гидрографической сети. Аллювиальные россыпи часто наследуют разномасштабные трещины в горных породах. В первую очередь это относится к низшим порядкам долин.

В подготовительный период работы по поискам аллювиальных россыпей на основе дешифрирования аэрофотоснимков и анализа топографических карт полезно установить участки возможной локализации россыпей, учитывая общую геологическую и палеогеографическую обстановку. Обычно задача решается с помощью набора поисковых признаков, типичных для данного района и типа развитых в нем россыпей: в этот набор составной частью входит измерение азимутальных направлений верховых звеньев гидрографической сети с целью рационального расположения сети горных выработок.

На Северо-Востоке СССР, например, нередки случаи, когда верховья гидрографической сети, представляющие собой, как правило, прямолинейные долины, являются более древними по отношению к долинам современной возрастной генерации. Выявление закономерных взаимоотношений между линеаментами этой древней и современной гидрографической сети представляет собой один из критериев, используемых при поисках и разведке россыпных месторождений. Не исключено, что в некоторых случаях преобладающие азимуты простирания древней и современной гидрографической сети могут оказаться не тождественными. При этом следует иметь в виду, что направления, связанные с долинами верховых звеньев гидрографической сети, часто бывают более перспективными для поисков россыпей. В других случаях наиболее продуктивными являются переотложенные россыпи, приуроченные к участкам молодых речных долин. Тогда азимутальные направления спрямленных участков этих долин приобретают главное значение. Естественными ловушками тяжелых компонентов россыпи могут быть резкие изменения направлений долин, связанные в основном с сетью планетарной трещиноватости, поэтому на них следует обратить особое внимание.

Для некоторых типов россыпных месторождений с повышенной миграционной способностью полезных компонентов (алмазы, янтарь и др.) характерна их приуроченность к долинам высоких порядков, нередко связанных с крупными планетарными трещинами. В этих случаях полезные компоненты иногда могут содержаться в прааллювии крупных речных долин, поэтому выявление закономерных простираний крупных линеаментов тоже играет существенную роль. Многие из известных россыпных месторождений пространственно тяготеют к зонам дробления кристаллических горных пород. Поэтому, получив картину закономерных направлений планетарной трещиноватости в указанных породах, можно ожидать, что участки долин этих направлений окажутся перспективными.

Строительные материалы

Естественные строительные материалы подразделяют на рыхлые геологические образования — глина, песок, гравий, галечник и др. и строительные камни — разнообразные магматические, метаморфические

и осадочные породы. Ценность породы как строительного и облицовочного камня, механическая прочность, стойкость относительно процессов выветривания, способность к обработке и полировке, способность давать крупные блоки, их размер и форма зависят от характера планетарной трещиноватости. Планетарные трещины имеют разный масштаб и образуют системы разных порядков, разбивающие горные породы на отдельности различного размера и формы.

В *рыхлых породах* трещиноватость бывает выражена не всегда с достаточной отчетливостью, однако в плотных слоистых глинах пористых песчаниках и песках системы трещин внутрислойных или пересекающих пачки слоев различной мощности хорошо выделяются, и их ориентировка и густота могут быть учтены для проектирования расположения забоев карьера, а также в оценке инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождения.

В *строительном камне*, как правило, наблюдается хорошо выраженная трещиноватость. Известняки, доломиты, песчаники и сланцы обычно характеризуются наличием от двух до пяти систем трещин, расположенных перпендикулярно плоскостям напластования. Косые (наклонные) трещины встречаются редко и составляют не более 2% от общего числа замеров. Преобладают внутрислойные трещины, слепо кончающиеся в подошве и кровле, до 10% замеров составляют трещины, пересекающие пачки слоев. Густота трещиноватости колеблется в широких пределах от 2—10 до 300 трещин на участок замеров 10 м длиною.

Местами устанавливаются зоны повышенной трещиноватости (зоны дробления), связанные иногда со сбросовыми или сдвиговыми перемещениями. Эти зоны являются неблагоприятными для разработки строительного и облицовочного камня и после определения их пространственного положения (простирание, падение), мощности и глубины их следует из подсчета запасов исключить.

Для разработки каменных строительных материалов трещиноватость горных пород приобретает особенное значение. Характер планетарной трещиноватости определяет блочность строительного камня, т. е. форму и размеры природных отдельностей и выход блоков в процентах от вынутой горной породы.

В настоящее время разработка строительного камня производится главным образом с помощью взрывных работ, но разрушение пластов при взрывах, как показывают наблюдения в карьерах, происходит по плоскостям планетарных трещин, причем наряду с открытыми трещинами обнаруживаются незаметные при обычных наблюдениях «скрытые» трещины, которые идут параллельно выделенным системам. При проектировании расположения забоев карьеров необходимо учитывать простирание основных систем трещиноватости. В изверженных породах наилучший раскол камня при добыче происходит по трещинам, расположенным параллельно волокнистости, «продольным» системам.

Для оценки качества строительного и облицовочного камня необходимо определить размеры и форму блоков (планетарных отдельностей), которые могут быть получены при разработке. Для этого необходимо изучить в поле и статистически обработать данные по ориентировке систем планетарной трещиноватости и образуемым ими «полям планетарной трещиноватости», по густоте трещиноватости и, наконец, по глубине проникновения трещин.

Густота трещиноватости оценивается количеством всех трещин, замеренных на единицу длины участка разреза. Она колеблется в весьма широких пределах в зависимости от состава и структуры слагающих пород. Практически для целей определения блочности строительного

камня производят измерение расстояний между трещинами одной системы (частота трещин, частотность трещиноватости). На обнаженных днищах карьеров, в тальвегах речных долин (в межень), при хорошей обнаженности породы в областях ледниковой денудации и т. п. эти расстояния легко могут быть замерены и вместе с мощностью слоя дают ясное представление о размере и форме блоков. Например, в Новоалексеевском карьере Кингисеппского района Ленинградской области на днище в плотных светло-серых доломитизированных известняках ордовика, залегающих горизонтально, хорошо прослеживаются две системы трещин: СЗ 305—325° и СВ 45—55°. Расстояния между трещинами СЗ системы колеблются от 0,75 до 2,5 м, расстояния между трещинами СВ системы меньше — 0,25—0,65 м. Они образуют поле планетарной трещиноватости тетраидального рисунка со средним объемом блоков при мощности пласта 0,5 м и приближении углов между системами к прямым $0{,}5 \times 1{,}62 \times 0{,}45$ м$=0{,}4$ м^3.

Если хотя бы один из углов между системами острый, объем блоков при одинаковых расстояниях между трещинами будет меньше объема прямоугольного блока, кроме того, косоугольные блоки нуждаются для использования в производстве в пассировке, т. е. в придании им прямоугольной формы. По Б. П. Беликову, при скашивании одного угла даже на 15° блок будет меньше прямоугольного на 27%.

Если изучаемая горная порода покрыта выветрелым слоем, то о частоте трещин можно судить лишь по сравнению замеров в разных обнажениях. Беликовым (1953) рекомендуется определение коэффициентов частоты трещин: 1) коэффициент выражается количеством интервалов между трещинами данной системы на 10 м длины разреза; 2) коэффициент представляет число интервалов более 1 м (из числа всех интервалов на 10 м).

Как показывает опыт разработки месторождений строительного камня, размер и выход блоков из горной массы (в %) зависит от петрографического состава породы, ее упругих свойств, геоструктурных условий района месторождения и др. Очень велика блочность гранитов, из которых часто получают блоки 6—8 м длиною, а в отдельных случаях — до 30 м длиною. Из гранитного монолита, добытого в Пютерлакском карьере на берегу Финского залива, вблизи Выборга, в 1834 г. была воздвигнута Александровская колонна на Дворцовой площади Ленинграда длиною 27,9 м (общая высота памятника 47,9 м). Из выборгского гранита рапакиви сделано 116 цельных колонн величайшего архитектурного сооружения Исаакиевского собора в Ленинграде. Из них 48 колонн-портиков, примыкающих к зданию с четырех сторон, имеют высоту 17 м, диаметр 1,8 м и вес более 100 т (Лебединский, Кириченко, 1974). Процент выхода блоков при механизированной системе разработок достигает в гранитах от 30 до 70% от объема вынутой горной массы. Высокую блочность имеют габбро, габбро-нориты, лабрадориты, хибиниты, уртиты. Блочность мраморов ниже, чем у гранитов, размеры блоков по длине редко более 2—3 м, выход блоков составляет 20—25%. Кварциты имеют еще меньшую блочность, чем мраморы, месторождения песчаников обычно дают бутовый камень и щебень. Блочность известняков зависит от мощности пласта и его упругих свойств. При меньшем модуле упругости они имеют большую блочность.

Наконец, весьма существенным фактором, который необходимо учитывать при разработке строительного камня, является изменение особенностей развития планетарной трещиноватости с глубиной по разрезу. Эти изменения могут быть установлены прямыми методами, т. е. замерами ориентировки и частоты трещиноватости по обнажениям, горным выработкам и керну буровых скважин, и косвенными опытными и геофизическими методами.

Андреев Б. А., Клушин И. Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л., 1965. 495 с.

Архипов И. А. О структурной неоднородности тектонических дуг областей кайнозойской складчатости.—«Геотектоника», 1970, № 3, с. 61—73.

Аэров Г. Д. Возможности реконструкции апикальной поверхности интрузивных тел.—«Геология и геофизика», 1972, № 5, с. 131—134.

Аэромагнитная съемка при региональных тектонических исследованиях. Л., 1973. 78 с.

Беликов Б. П. О методике изучения трещинной тектоники месторождений строительного и облицовочного камня. М., Изд-во АН СССР, 1953. 39 с.

Богданов А. А. Зависимость интенсивности кливажа от мощности пластов.—«Советская геология», 1947, № 16, с. 102—104.

Бубнов С. Н. Основные проблемы геологии. М., 1960. 233 с.

Булач М. Х. О трещиноватости меловых отложений Чечено-Ингушской АССР в связи с изучением их коллекторских свойств.— Труды ВНИГРИ, 1961, вып. 165, с. 89—128.

Васильев В. И. Симметрия планетарных форм и сил.— В кн.: Симметрия в природе. Л., 1972, с. 101—110.

Введенская Н. В. Планетарно-тектонические закономерности в современном рельефе бассейна Камы.— В кн.: Геология Урала и Предуралья. Пермь, 1969, с. 188—200.

Введенская Н. В. Планетарно-тектоническая трещиноватость, ее структурное, стратиграфическое и поисковое значение.— В кн.: Применение аэрогеологических и морфометрических методов для изучения неотектоники и глубинного строения Русской платформы. Воронеж, 1973, с. 88—91.

Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., 1964. 576 с.

Гамкрелидзе И. П. Планетарная трещиноватость дислоцированных толщ и связанные с нею явления.—«Геотектоника», 1972, № 6, с. 45—54.

Гольбрайх И. Г., Забалуев В. В., Ласточкин А. Н. и др. Морфоструктурные методы изучения тектоники закрытых платформенных нефтеносных областей. Л., 1968. 151 с.

Гонин Г. Б., Погодина Л. И. Учет масштабных искажений космического фотоснимка при его дешифрировании.— Изв. вузов. 1973, № 7. Сер. геол. и разв., с. 81—84.

Горецкий Г. И. Аллювий великих антропогенных прарек Русской равнины М., «Наука», 1964. 416 с.

Грачев А. Ф. Трещиноватость Байкальской рифтовой зоны.— В кн.: Планетарная трещиноватость. Л., 1973, с. 88—104.

Григоренко Ю. Н. Влияние разрывов и трещиноватости в горных породах на распределение эрозионной сети в Южно-Тигильском районе Западной Камчатки.— Труды ВНИГРИ, 1962, вып. 193, с. 219—233.

Деннис Дж. Международный словарь английских тектонических терминов. М., 1971. 288 с.

Дорофеева Т. В. О тектонической трещиноватости в зонах дизъюнктивных нарушений.— Труды ВНИГРИ, 1968, вып. 264, с. 100—116.

Зведер Л. Н. О роли тектонического контроля в распределении трапповых даек и силлов на севере Сибирской платформы.— Труды Вост.-Сиб. НИИ, 1961. Сер. геол. геофиз. и мин. сырья, вып. 5, с. 79—83.

Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций. Л., 1972. 399 с.

Калачева В. Н. Некоторые данные о трещиноватых породах нижнего кембрия Иркутского амфитеатра и их коллекторских свойствах.— Труды ВНИГРИ, 1958, вып. 121, с. 67—115.

Калачева В. Н. Закономерности распространения тектонической трещиноватости и прогнозирование трещинных коллекторов.— Труды ВНИГРИ, 1968, вып. 264. 63—99 с.

Каменев Е. А. Трещинная тектоника Хибинского щелочного массива.— В кн.: Магматизм и геология Кольского п-ова. М., Госгеолтехиздат, 1963, с. 36—44.

Кириллова И. В. Некоторые вопросы механизма складкообразования (в связи с изучением внутренней структуры складчатых толщ).— Труды геофиз. ин-та АН СССР, 1949, № 6 (133). 92 с.

Кноринг Л. Д., Белонин Н. Д. Критерии сравнения роз-диаграмм.— Труды ВНИГРИ, 1964, вып. 228, с. 249—260.

Коган А. Б. Теория, методика НСЧФ и результаты изучения геомагнитного поля Сибирской платформы. Л., «Недра», 1975. 119 с.

Королев А. В., Шехтман П. А. Структурные условия размещения послемагматических руд. М., 1965. 507 с.

Кропоткин П. Н. Тектонические напряжения в земной коре по данным непосредственных измерений.— В кн.: Напряженное состояние земной коры (по измерениям в массивах горных пород). М., 1973, с. 21—31.

Лихтерман В. А., Потапов О. А. Некоторые возможности оптического фильтра при дешифрировании аэрофотоснимков.— В кн.: Новые исследования в горном деле. Л., ЛГИ, 1971, с. 57—64.

Лобанов В. Н. Аэрофототопография, 1971, с. 93—109, 528—543.

Методика изучения трещиноватости горных пород и трещин коллекторов нефти и газа. Вып. 276. Л., 1969. 128 с.

Методические указания по изучению планетарной трещиноватости. Л., 1965. 27 с.

Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. 1. М., 1968. 346 с,

Мешбей В. И. Сейсморазведка методом общей глубинной точки. М., 1973. 152 с.

Милановский Е. Е., Короновский Н. В. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. М., 1973. 179 с.

Мирошниченко В. П. и др. Ландшафтный метод дешифрирования проявлений новейшей и современной тектоники для поисков погребенных нефтегазоносных структур. Л., 1971, с. 59—65.

Мирошниченко В. П. Новые данные о происхождении морфоскульптурного рельефа горных складчатых областей.— В кн.: Аэрофотосъемка — метод изучения природной среды. Л., 1973, с. 135—151.

Михайлов А. Е. Полевые методы изучения трещин в горных породах. М., Госгеолтехиздат, 1956. 149 с.

Можаев Б. Н. Новейшая тектоника Северо-Запада Русской равнины. Л., 1973, 232 с.

Можаев Б. Н., Иванова Л. Н. К методике совместного анализа современного рельефа и магнитного поля для изучения тектоники.— В кн.: Основные проблемы геоморфологии и стратиграфии антропогена Кольского п-ова. К VIII конгрессу ИНКВА (Франция, 1969). Л., 1969, с. 145—154.

Монич В. К. О векторном анализе трещин отдельности интрузивных массивов.—Изв. АН Каз. ССР, 1956, Сер. геол., вып. 25, с. 27—38.

Наркевич В. И. Фотограмметрические работы на отдельных этапах геологической съемки.— В кн.: Аэрометоды геологических исследований. Л., 1971, с. 144—155,

Немец В. Регулярность геологических структур — математическая геология — геодинамика. — В кн.: Внутренняя геодинамика. Вып. 1. Л., 1972, с. 32—33.

Николаева Т. В. Совещание, посвященное проблемам планетарной трещиноватости.—БМОИП, отд. геол., 1974, № 3, с. 68—85.

Новикова А. С. О трещиноватости осадочных пород восточной части Русской платформы.— Изв. АН СССР, 1951. Сер. геол., № 5, с. 68—85.

Пейве А. В. Общая характеристика, классификация и пространственное расположение глубинных разломов. Главнейшие типы глубинных разломов.— Изв. АН СССР, 1956, № 1. Сер. геол., с. 90—105.

Пермяков Е. Н. Тектоническая трещиноватость Русской платформы. М., 1949. 216 с.

Пермяков Е. Н. Основы методики использования трещиноватости горных пород для изучения тектоники платформенных областей.— Труды МФ ВНИГРИ, 1951, вып. 2, с. 122—158.

Планетарная трещиноватость. Л., 1973. 176 с.

Полканова В. Б. Возможность применения структурно-геоморфологических методов в центральной части Западно-Сибирской низменности.— Труды СНИИГГиМС, 1968, вып. 54. 93 с.

Пронин А. В. Статистическая обработка в стереографической проекции ориентированных величин.—«Советская геология», 1949, № 37, с. 41—50.
Радкевич Е. А. Глобальная тектоника в свете металлогении Тихоокеанского пояса.— В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника. Краткие тезисы докладов к совещанию. Л., 1973, с. 142—144.
Розанов Л. Н. Физико-механические условия образования тектонических структур платформенного типа. Л., 1965. 84 с.
Розенберг Р. Фотограмметрия в век космоса.— В кн.: Пособие по фотограмметрии. М., 1971, с. 137—166.
Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. М., 1971. 192 с.
Скарятин В. Д. Об изучении разрывной тектоники по комплексу разномасштабных космоснимков Земли (метод многоступенчатой генерализации).— Изв. вузов, 1973, Сер. геол. и разв. с. 34—50.
Смехов Е. М. Вопросы терминологии и классификации.— Труды ВНИГРИ, 1961, вып. 172. 197 с.
Смехов Е. М. Теоретические и методические основы поисков трещинных коллекторов нефти и газа. Л., 1974. 425 с.
Смирнов С. А. О некоторых закономерностях в развитии трещинных отдельностей.— Изв. АН СССР, 1949, № 3, Сер. геол.
Строение континентальной земной коры на территории СССР. Авт.: Л. В. Булина, Н. К. Булин, Г. И. Мартынова, Д. М. Мильштейн. Л., «Недра», 1974, с. 72—104.
Томсон И. Н. Особенности строения ослабленных зон над скрытыми разломами фундамента в складчатых областях Дальнего Востока.— Труды ИГЕМ АН СССР,1962, вып. 84, с. 58—85.
Урбах В. Ю. Математическая статистика для биологов и медиков. М., 1963. 126 с.
Фаворская М. А., Томсон И. Н. Глобальные закономерности размещения рудоконцентрирующих структур.— В кн.: Металлогения и новая глобальная тектоника. Л., 1973, с. 133—136.
Федюк В. И. Микромагнитная съемка и ее геологические возможности. М., 1958. 64 с.
Фуллер М. Д. Отражение разломов широтного простирания в магнитных съемках некоторых районов США.— В кн.: Аэромагнитные методы в геофизике. М., 1966, с. 184—216.
Херасков Н. П. Тектоника и формации. М., 1967. 404 с.
Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. Геофизический подход к количественной морфологии. М., 1948. 158 с.
Чарушин Г. В. Изучение тектонической трещиноватости осадочных пород юга Сибирской платформы.— В кн.: Проблемы тектонофизики. М., 1960, с. 216—229:
Чарушин Г. В. Путь быстрого выявления простираний наиболее развитых систем трещин.—«Советская геология», 1963, № 2, с. 110—117.
Чарушин Г. В., Шерман С. И. О двух приемах, позволяющих ускорить работу по составлению структурных диаграмм.—«Советская геология», 1961, № 9, с. 108—114.
Чудинский В. Л. Об упорядочении трещинно-разрывной сетки горных пород платформенных областей.— В кн.: Давления и мех. напряжения в развитии состава, структуры и рельефа литосферы. Л., 1969, с. 21—33.
Шерман С. И. О новом типе карт тектонической трещиноватости.—«Геотектоника», 1966, № 3, с. 141—143.
Шершуков В. В. Методика составления карт трещиноватости горных пород.— В кн.: Проблемы рудничной аэрологии. М., 1963, с. 167—171.
Шрок Р. Последовательность в свитах слоистых пород. М., 1950. 564 с.
Шульц С. С. Об изучении планетарной трещиноватости.— В кн.: IV совещание по проблемам астрогеологии (тезисы докладов). Л., 1962, с. 55—56.
Шульц С. С. Об изучении планетарной трещиноватости.— В кн.: Докл. сов. геол. на XXII сессию МГК. Проблема 4. Деформация пород и тектоника. М., «Наука», 1964, с. 147—153.
Шульц С. С. Планетарная трещиноватость и ориентировка некоторых линейных форм рельефа.— В кн.: Основные проблемы изуч. четв. периода. М., «Наука», 1965, с. 147—150.
Шульц С. С. О разных масштабах планетарной трещиноватости.—«Геотектоника», 1966, № 2, с. 36—42.
Шульц С. С. Некоторые вопросы планетарной трещиноватости и связанных с нею явлений.— Вестн. Ленингр. ун-та, 1969, № 6, с. 86—99.
Шульц С. С. Линеаменты.— Вестн. Ленингр. ун-та, 1970, № 24, с. 50—56.
Шульц С. С. Планетарные трещины и тектонические дислокации.—«Геотектоника», 1971, № 4, с. 6—14.

Шульц С. С. О соотношении планетарной трещиноватости с формами рельефа земной поверхности и тектонической структуры.— В кн.: Тезисы докл. науч. конф. геогр. ф-та ЛГУ. Л., 1971, с. 37—40.

Шульц С. С. Планетарная трещиноватость и ее значение для нефтяной геологии.— В кн.: Структурно-геоморфологическое изучение нефтегазоносных земель. М., МГУ, 1973, с. 4—12.

Шульц С. С. (мл.). Тектоника плит, планетарная трещиноватость и линеаменты на космических снимках Земли.— Изв. вузов, 1974, № 12, Сер. геол. и разв.

Abdel-Gawad M. Geological structures of the Red Sea area inferred from satellite pictures.—In: Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea. B.—N. Y., Springer-Verlag, 1969, p. 25—37.

Abdel-Gawad M. Wrench movements in the Baluchistan arc and their relation to Himalayan-Indian ocean tectoniks.—Bull. Geol. Soc. Amer., 1971, vol. 82. N 5, p. 1235—1250.

Beard C. N. Quantitative study of columnar jointing.—Bull. Geol. Soc. Amer., 1959, N 70, p. 379—382.

Blanchet P. N. Development of fracture analysis as exploration method.— Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 1957, vol. 4, N 8, p. 1748—1759.

Brock B. B. The world rift system.— Geol. Surv. Canada, p. 66—14, 99—123.

Hast N. The state of stress in the upper part of the Earth's crust.—Tektonophysics, 1969, vol. 8, N 3, p. 169—211.

Hobbs W. N. Lineaments of the Atlantic border region.— Bull. Geol. Soc. Amer., 1904, vol. 15, p. 483—506.

Hobbs W. N. Repeating patterns in the relief and the structure of the land.— Bull. Geol. Soc. Amer., 1911, vol. 22, p. 123—176.

Hodgson R. A. Genetic and geometric relations between structures in basement and overlying sedimentary rocks, with examples from Colorado Plateau and Wyoming.— Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., 1965, vol. 49, N 7, p. 935—919.

Kjerulf T. Die Geologie des südl. und mit. Norwegen, 1880.

Kutina J. Regularities in the distribution of hypogene mineralization along rift structures.— In: Intern. Geol. Congr., 24 sessia, Canada, 1972, section 4. Mineral deposits. Montreal, 1972, p. 65—73.

Kutina J., Pokorny J., Yesela M. Empirical prospecting net based on the regularity distribution of ore veins with application to the Iihlava mining district, Czechoslovakia.— Ekon. Geol. Lancaster, 1967, vol. 62, N 3, p. 390—405.

Kutina J., Fabbri A. Relationship of structural lineaments and mineral occurences in the Abitibi area of the Canadian shield.— Geol. Surv. Canada. Ottawa, paper 71—79, p. 1—36.

Sillitoe R. H. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits.— Econ. Geol., 1972, vol. 67, N 2, p. 184—197.

Sonder R. A. Die Lineamenttektonik und ihre Probleme.— Ed. geol. Helv., 1938, vol. 31, N 1, p. 199—238.

Tomkief S. I. The basalt lavas of the Giant's Causeway district of Northern Ireland.— Bull. Volcanologique, 1940, N 6, p. 84—143.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ (С. С. Шульц) 3

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. **ОБЩИЕ ВОПРОСЫ И МЕТОДЫ**

Глава I. **Методы изучения планетарной трещиноватости (полевые и камеральные)** 6

Общие методы изучения трещиноватости (Р. И. Баева) . . . . . —

Изучение трещиноватости в горизонтально залегающих и слабо дислоцированных осадочных породах (Р. И. Баева) 12

Изучение трещиноватости в дислоцированных породах (Г. И. Гамкрелидзе) 18

Изучение микротрещиноватости (Т. В. Дорофеева, Е. М. Смехов) . . 21

Изучение трещиноватости в многолетнемерзлых породах (Е. В. Пискунова) 23

Изучение трещиноватости в плутонических породах (Т. В. Николаева) 24

Изучение трещиноватости в эффузивных породах (А. Ф. Грачев) . . . 31

Глава II. **Методы изучения линеаментов** 34

Общие методы изучения линеаментов (технические приемы) (Р. И. Баева) —

Изучение линеаментов по топографическим картам (Р. И. Баева) . . . 37

Изучение линеаментов по аэрофотоснимкам (В. П. Мирошниченко) . . 39

Линеаменты, разрывы и планетарная трещиноватость на космических снимках Земли (С. С. Шульц, мл.) 50

Изучение линеаментов по радиолокационным снимкам (В. Г. Можаева) 55

Глава III. **Связь трещиноватости и линеаментов со строением земной коры, геологическим разрезом, тектоникой и геофизическими полями** . . 58

Сопоставление планетарной трещиноватости с линеаментами (Р. И. Баева) —

Линеаменты — индикаторы строения земной коры (А. А. Рукояткин) . . 60

Линеаменты и геологический разрез (В. П. Мирошниченко) 68

О связи тектоники с планетарной трещиноватостью и линеаментами (С. С. Шульц) 75

Использование данных о магнитном поле для изучения планетарной трещиноватости (Б. Н. Можаев) 81

Использование гравиметрических данных для изучения планетарной трещиноватости (Г. И. Мартынова) 85

Глава IV. **Возможности ускоренной обработки данных о планетарной трещиноватости и линеаментах** 90

Обработка данных с помощью ЭЦВМ (Ю. М. Миханков) . . . . . —

Методы ускоренной обработки (Г. В. Чарушин) 95

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. **ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О ПЛАНЕТАРНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ЛИНЕАМЕНТАХ**

Глава V. **Составление карт линеаментов и трещиноватости** 102

Карты линеаментов (Т. В. Николаева, В. Б. Полканова) . . . . . —

Карты трещиноватости (Т. В. Николаева, В. Б. Полканова) 108

Глава VI. **Поиски и разведка полезных ископаемых** . . . 110

Нефть и газ (И. Л. Кузин) . . . . . —

Угли (Г. А. Иванов) 113

Горючие сланцы (Э. Н. Варфоломеева) 118

Соли (Н. Д. Павлов) 119

Кимберлитовые месторождения алмазов (М. И. Попов) 121

Рудные полезные ископаемые (Т. В. Николаева, М. И. Попов) . . . 123

Россыпные месторождения (Н. В. Разумихин) 128

Строительные материалы (Е. Н. Азбукин) 129

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ 132

5376

1 р. 65 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА · 1977