

Глубинные разломы Земли

А. И. Суворов
Доктор геолого-минералогических наук



Анатолий Иванович Суворов, старший научный сотрудник Геологического института АН СССР. Много лет занимается изучением глыбовых структур земной коры и глубинных разломов. На материале экспедиций во многих районах Казахстана, на Тянь-Шане, Памиро-Алае, в Приморье разработал концепцию эволюции глубинных разломов и показал их значение в процессах формирования земной коры. Автор многих научных работ в этой области.

Изучение глубинных разломов — новое научное направление в геологии, оформившееся всего лишь 20—25 лет назад. Оно помогает понять многие особенности строения и развития земной коры, в том числе наиболее глубоких ее горизонтов, вплоть до верхней мантии, о которых сейчас известно пока еще очень немного.

Глубинные разломы — одно из уникальных природных геологических явлений. Они прослеживаются по поверхности Земли на огромные расстояния и глубоко проникают в ее недра. В определенные этапы развития земной коры глубинные разломы служат путями проникновения расплавленных горных пород и гидротермальных растворов на поверхность Земли. Они же являются теми гигантскими поверхностями, вдоль которых крупнейшие глыбы коры и мантии Земли перемещаются относительно друг друга. Велика роль изучения глубинных разломов и в познании закономерностей размещения в земной коре ряда полезных ископаемых.

Немного истории

Судьба представлений о разломах интересна и поучительна. Первые сведения о них мы находим в работах конца XIX — начала XX вв. Еще в 1883—1894 гг. известный русский геолог А. П. Карпинский указывал на широкое развитие разрывных дислокаций в гранито-гнейсовом фундаменте территории Европейской России. Акад. В. А. Обручев установил серию разломов в Средней и Центральной Азии, а также в Сибири. В ряде работ он дал им развернутую характеристику и указал основные признаки, отметив место и время их проявления в геологическом развитии отдельных районов. В 1911 г. американский геолог У. Хоббс высказал предположение о единстве этих нарушений на всей Земле. Он считал, что главные черты рельефа земной поверхности и структура земной коры обусловлены сеткой правильно расположенных разломов.

Казалось бы, после всех этих авторитетных высказываний должно было начаться повсеместное выявление разломов. Однако этого не произошло. Первые успехи в их изучении не нашли благоприятного отклика в широких геологических кругах, и вплоть до конца 30-х гг. в литературе появлялись лишь отдельные описания, посвященные этой проблеме (В. А. Обручев, Н. Г. Кассин, а за рубежом Джильберт, Вер Уиб, Г. Клоос, Р. Швиннер, Р. Зондер и др.). Многие исследователи вообще отрицали возможность существования в земной коре крупных разломов, считая, что ведущая роль в ее развитии принадлежит деформациям изгиба. В нашей стране 30-е годы — время наибольших сомнений в реальности существования и целесообразности изучения разломов.

Отношение к проблеме резко изменилось в конце 40-х и, особенно, в 50-е годы, после нескольких статей советского ученого акад. А. В. Пейве, который впервые с наибольшей полнотой вскрыл геологическую сущность этих феноменальных тектонических элементов.



Глубинные разломы Украины (по С. И. Субботину и др., 1966 г.). Подошва земной коры и другие геологические границы до глубины 50 км расчленены системой почти вертикальных разломов на изогнутые ступени; к одному из разломов приурочены очаги зем-

летрясений. 1 — осадочный слой; 2 — гранитный слой; 3 — метаморфические породы; 4 — базальтовый слой; 5 — глубинные разломы; 6 — поверхность Мохоровичича; 7 — граничная скорость сейсмических волн (км/сек); 8 — очаги землетрясений

Для обозначения самых больших разломов А. В. Пейве в 1945 г. предложил термин «глубинные разломы», под которыми он понимал дизъюнктивные поверхности или узкие зоны между подвижными сегментами земной коры, характеризующиеся длительностью и многофазностью развития (в течение нескольких периодов или даже эр), большим пространственным протяжением (сотни и первые тысячи километров), большой глубиной заложения (десятки и первые сотни километров) и определенной связью с формациями горных пород. Эти работы послужили толчком к массовому выявлению всевозможных разломных структур. В последние два десятилетия глубинные разломы в огромном количестве обнаружены на территории СССР и за рубежом — в странах Европы, Азии, Северной и Южной Америки, Африки, в Австралии, а также в Антарктиде и на дне морей и океанов. Они свойственны буквально всем геологическим структурам — складчатым геосинклинальным системам, древним и молодым платформам, предгорным прогибам, островным дугам и т. д. Это послужило прочным основанием для вывода о планетарном распространении глубинных разломов. Теперь глубинным разломам посвящено множество публикаций и специалисты целого ряда направлений геологической науки в своих трудах объясняют наличием глубинных разломов многие факты и закономерности. Более того, ряд исследователей полагает, что без представлений о глубинных разломах невозможно создать современную теорию строения и формирования земной коры.

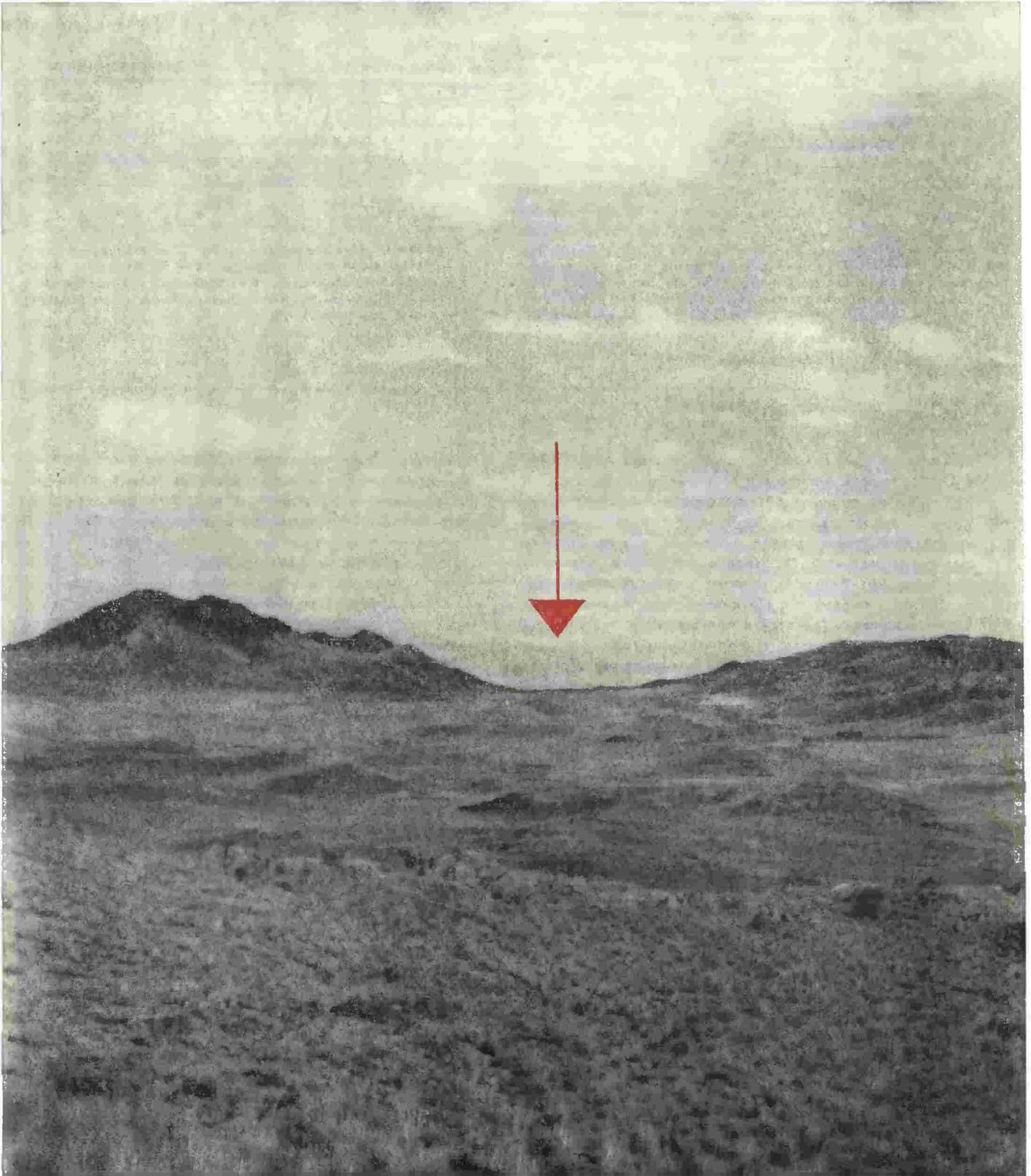
Что мы уже знаем

Глубинные разломы обычно выражены в виде зон сгущения всевозможных, слепых и зияющих, трещин или же зон дробления и расланцевания горных пород, нередко пропитанных магматическим материалом

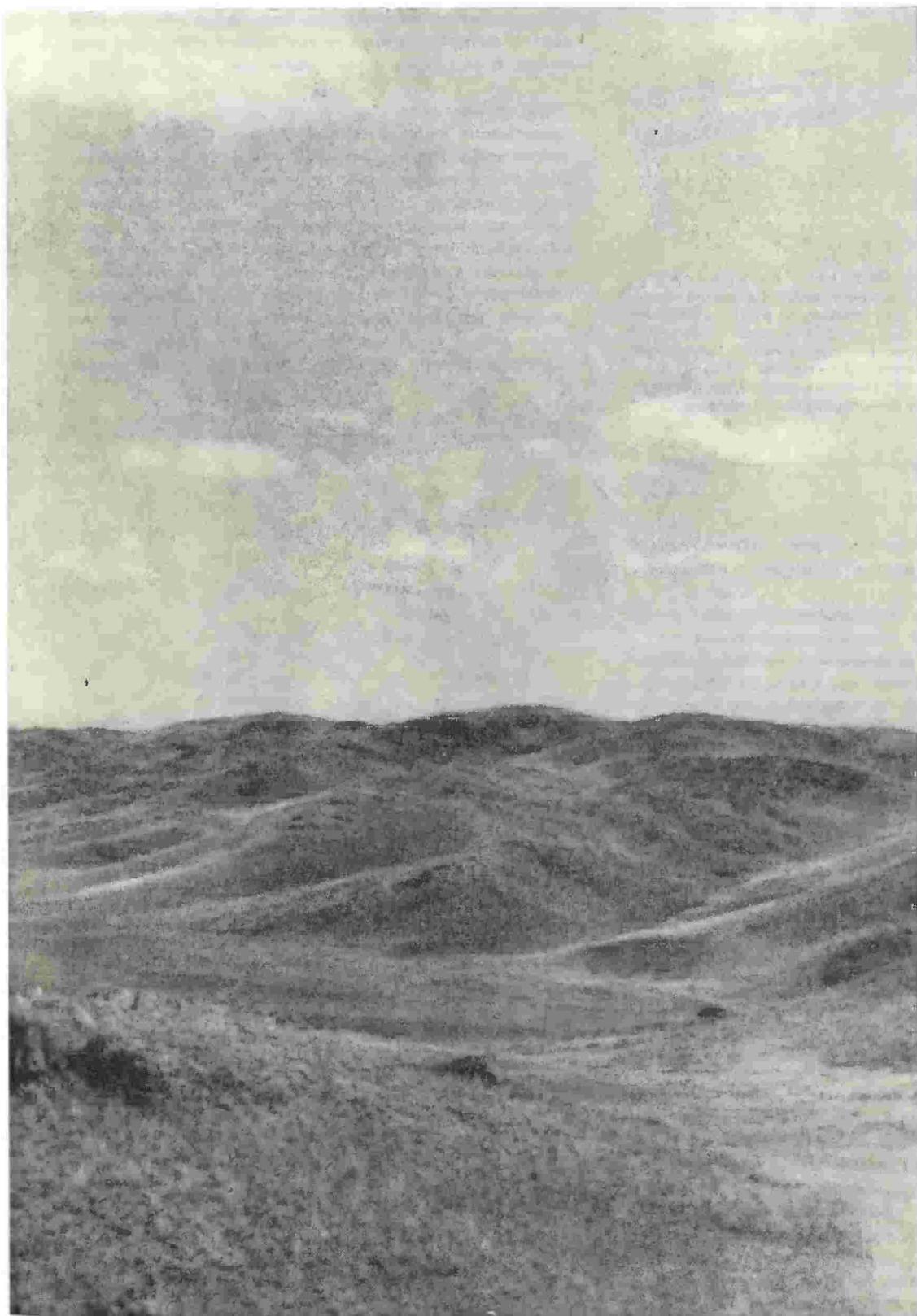
и сильно метаморфизованных. Одни из них вертикальны, другие наклонены под разными углами к земной поверхности, а некоторые, в недрах Земли, занимают горизонтальное положение. В рельефе с разломами совпадают прямолинейные или дугообразно вытянутые ущелья, овраги, седловины, обрывистые уступы; часто разломы резко отделяют гористые районы от равнинных или проходят по берегам озер и морей; к разломам нередко приурочены родники и термальные источники, а в безводных районах вдоль них вытягиваются полосы травянистой и кустарниковой растительности. Некоторые разломы сейсмичны и являются источниками землетрясений.

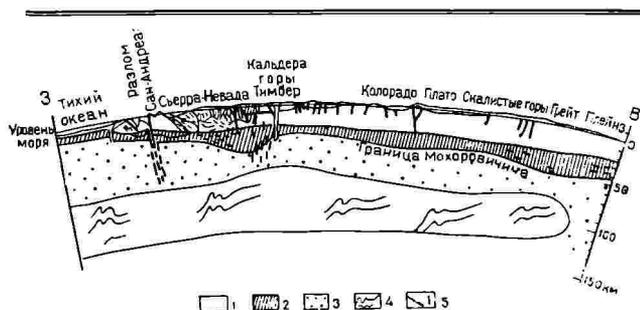
Промежутки между крупными трещинами заполнены породами, сильно смятыми в разнообразные по форме, размерам и простираению складки; здесь же довольно много изверженных горных пород. Ширина отдельных разломов составляет 1—2 км, но их зоны нередко достигают первых десятков километров. Для разломов разной величины указываются одинаковые признаки глубинности: длительное существование, связь с магматизмом и т. д. Это послужило поводом для дискуссии о том, какие же из разломов следует называть глубинными. И хотя уже были известны данные о коровых глубинных разломах небольшого масштаба, некоторые ученые предложили называть глубинными только разломы в мантии. Более правдоподобно другое мнение: нижняя граница этих структурных элементов может находиться на разных уровнях.

Глубина наиболее молодых (поздних) разломов сравнительно просто определяется геофизическими исследованиями. Глубинным сейсмическим зондированием, в частности, установлено, что одни из них пробивают всю земную кору до поверхности Мохоровичича и уходят в верхнюю мантию; другие не выходят за пределы коры, достигая только базальтового, а третьи —



Казахстанский мелкосопочник. В зоне Чингизского разлома образовалась корытообразная долина (показана стрелкой), протянувшаяся на многие десятки километров





Разломы западной части США (по Гамильтону и Пакисеру, 1965 г.). Отчетливо видны разломы разных глубинных уровней; под подошвой коры, в мантии (на глубинах около 100 км), предполагается современный магматический бассейн. 1 — осадочный и гранитный слои; 2 — базальтовый слой; 3 — мантия Земли; 4 — зона низких скоростей сейсмических волн (где образуется базальтовая магма); 5 — глубинные разломы

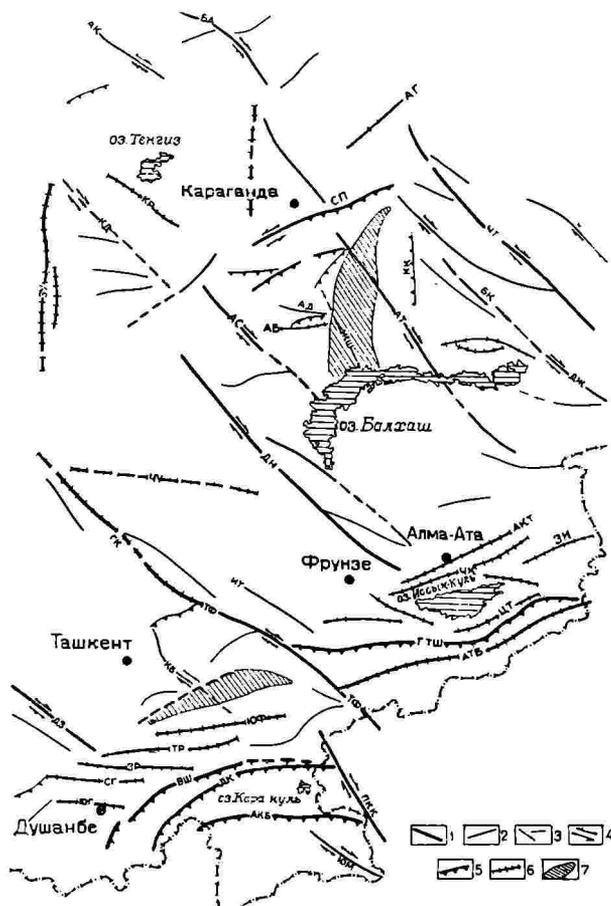
гранитного слоев. На этом основании глубинные разломы и подразделяют на три большие группы.

Сложнее обстоит дело с определением глубины древних разломов, поскольку соотношение глубоких горизонтов земной коры с разломами в их современном виде вряд ли осталось таким же, каким оно было когда-то. В этих случаях о глубине разломов судят по присутствию изверженных пород того или иного состава, сопоставляя физические свойства последних со свойствами соответствующих горизонтов коры и верхней мантии, установленных сейсмическим зондированием и другими геофизическими методами. Существует мнение, что выведенные по разломам породы ультраосновного состава происходят из верхней мантии, породы основного состава — из верхней мантии и базальтового слоя, породы кислого состава — из гранитного слоя.

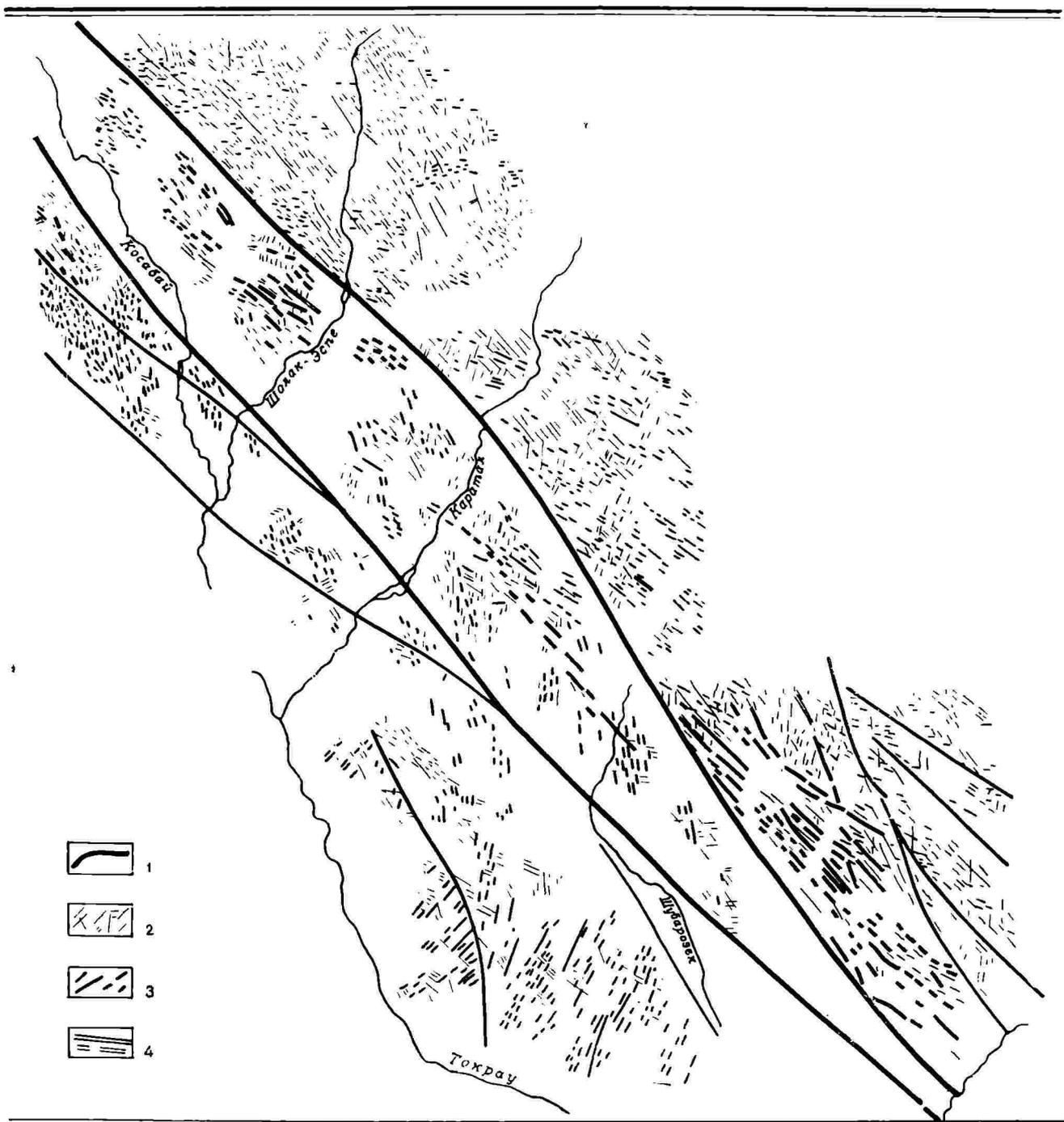
Некоторые ученые высказывали предположение, что многие разломы проникают в мантию до глубин 700—800 км и что именно с ними связано возникновение очагов глубокофокусных землетрясений. Однако эти очаги не всегда следуют вдоль конкретных дизъюнктивных поверхностей и намечают лишь очень широкие (до 200—300 км) мобильные зоны. Кроме того, сейчас известно, что на значительно меньших глубинах располагаются обширные зоны плавления и пластического течения горных пород, где разломы должны исчезать. В областях современного вулканизма такие зоны находятся в верхней мантии, на глубине порядка 100 км, а в более отдаленные этапы они неоднократно появлялись и внутри земной коры, на глубинах от 15—20 до 50 км. Нам, например, кажется более правильным считать, что глубинные разломы проникают в недра Земли не на какие-то неопределенно большие глубины, а только до кровли зон сплошного пластического те-

чения горных пород. Именно положение пластической кровли предопределило те три уровня глубинных разломов, о которых мы уже рассказали.

Одни из разломов в плане дугообразны и от земной поверхности наклонены под углами 40—60°. В виде прерывистых или непрерывных линий они прослеживаются вдоль современных островных дуг и всевозможных структурных дуг геологического прошлого. Таковы, например, новейшие разломы Курило-Камчатской дуги, мезокайнозойские разломы Памира и Гималаев, раннепалеозойские разломы западной части Центрального Казахстана и Северного Тянь-Шаня и др. Дугообразные разломы наиболее значительны по величине и в какой-то мере отражают эллипсоидную форму Земли. Другие разломы, меньшего масштаба, простираются



Глубинные разломы Казахстана и Средней Азии: 1 — первого порядка; 2 — второго порядка; 3 — третьего порядка; 4 — сдвиги; 5 — надвиги и взбросы; 6 — сбросы; 7 — зоны раздвигов. Обращает на себя внимание закономерное расположение разломов, образующих четыре главные системы — меридиональную, широтную, северо-западную и северо-восточную



Система мелких трещин в зоне глубинного разлома (Казахстан). Трещины обильны и разнообразны; они расположены в соответствии с законами механики; не-

которые из них заполнены магматическим материалом. 1 — глубинный разлом (сдвиг); 2 — трещины скалываания; 3 — трещины растяжения; 4 — жилы и дайки

прямолинейно и наклонены под углом 80—90°. Среди них преобладают:

— разломы северо-западного направления: Предкопетдагский, Таласо-Ферганский, Чингизский, Восточносаянский (СССР), Загрос, Красного моря, Годавари (Индия), Сан-Андреас (США) и др.;

— разломы северо-восточного направления: Спасский (Центральный Казахстан), Атбашинский (Срединный Тянь-Шань), Байкальский, Саяно-Тувинский, Мархинско-Катангский (Сибирь), Монголо-Охотский, Сихотэ-Алиня, Грейт-Глен (Шотландия), Нармадинский (Индия), Дарлинг (Австралия), Альпийский разлом Новой Зеландии;

— субмеридиональные разломы: Уральские, Западно-улутавский (Казахстан), Сахалина, Мертвого моря, Восточноафриканские, морей Флорес-Сулавеси, Западноордосский (Китай), Атакамский (Чили), линия вулканов в США;

— субширотные разломы: Южноферганский, Гиссара, Главный Тянь-Шаньский (линия Николаева), Джагды-Тукурингский (Забайкалье), Североордосский (Китай), Мендосино (северо-восточная часть Тихого океана), Эль-Пилар (южный берег Карибского моря).

Если дугообразные разломы в качестве определенных систем окаймляют громадные сегменты Земли, например Сибирскую платформу или, в более крупном плане, восточную и южную части Азиатского материка от Трансгималаев и о-ва Суматры до Аляски, то прямолинейные разломы разбивают эти сегменты на многочисленные угловатые глыбы. В отдельных участках доминируют одно или два направления, но чаще, особенно если рассматривать большие территории, разломы основных четырех направлений встречаются совместно, как, например, в Казахстане и Средней Азии. Некоторые геологи считают, что близкие по размеру разломы одного направления располагаются на более или менее одинаковом расстоянии друг от друга. Так был сделан вывод о правильном, симметричном по отношению к оси вращения Земли, расположении прямолинейных разломов.

Каждый из крупных разломов сопровождается серией мелких, а эти в свою очередь — многочисленными трещинами со смещением и без смещений. Ориентировка дополнительных разрывов и трещин определяется уже местными причинами, одна из которых — характер глыбовых движений в данной зоне.

Многие геологи еще совсем недавно считали (а некоторые утверждают это и теперь), что движения глыб земной коры по разломам происходили только в вертикальной плоскости. Соответственно этому развитие земной коры представлялось ими в виде своеобразной клавишной игры, с перемещением вниз — вверх, а существование глыб допускалось только в строго определенных и неизменных границах. Однако это большая ошибка, которая еще до конца не исправлена в наших теоретических построениях.

Сейчас уже во многих местах, на примерах не только горных, но и равнинных территорий, твердо доказано,

что перемещения глыб земной коры были направлены как по вертикали, так и по горизонтали. Широко известны, например, горизонтальные сдвиги по крутопадающим разломам: Альпийскому в Новой Зеландии (с амплитудой, возможно, до 480 км), Сан-Андреас в Калифорнии (свыше 200 км), Грейт-Глен в Шотландии (до 107 км), Марей на дне Тихого океана (до 160 км и более). В СССР к числу сдвигов относятся разломы Таласо-Ферганский (с амплитудой около 200 км), Байдаулет-Карасорский (70 км), Чингизский (50—100 км) и другие.

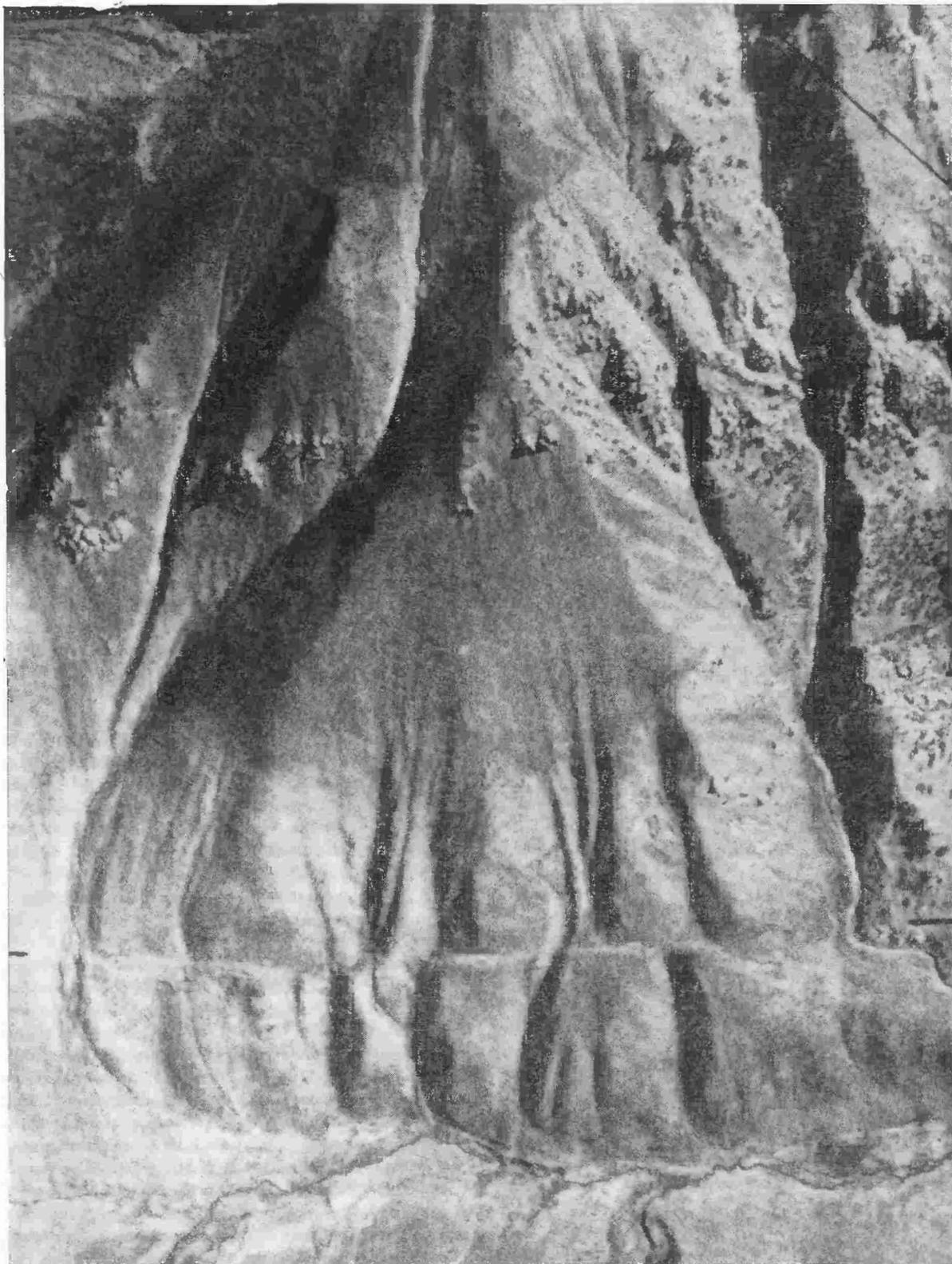
Благодаря сдвигам геологические образования земной коры коленчато изгибаются, растягиваются, разрываются и начинают соприкасаться друг с другом под острыми углами. Под такими же углами они располагаются и относительно поверхностей смещения (в плане). Создаются характерные структурные рисунки. Нередко сдвиги вызывают смещения современных форм рельефа.

Не менее существенная роль в жизни земной коры принадлежит горизонтальным надвиговым перемещениям по пологонаклонным поверхностям, с перекрытием структур одного крыла разлома структурами другого. Надвиги островных дуг, наиболее глубокие, вероятно, распространяются в верхнюю мантию, на материках же они в основном находятся в пределах земной коры. Амплитуда перемещений составляет десятки и первые сотни километров: в Австрии 180, в Скандинавии 150, в Западных Карпатах 100, в Гималаях и на Памире до 80—100, в Канадских Кордильерах 65, в Неваде 70, в Центральном Казахстане 20—40 км и т. д.

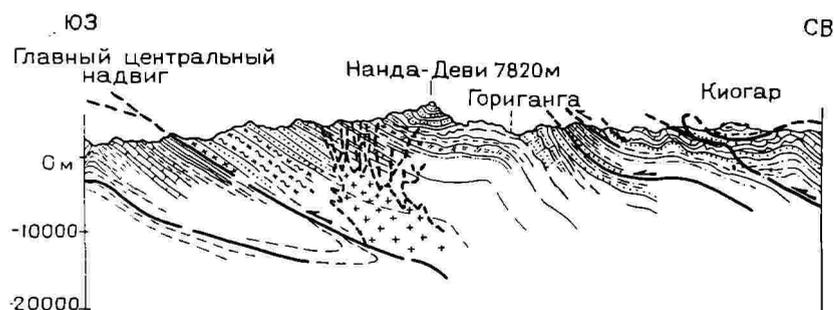
Надвиговые перемещения предопределяют многоэтажное строение земной коры и местами увеличивают ее общую мощность (например, на Памире и в Гималаях — до 70 км). На поверхности же они вызывают сближение и скучивание горных пород разного происхождения: осадочных и вулканогенных, морских и континентальных, глубоководных и мелкоководных, мощных и маломощных и т. д.

В некоторых районах сдвиги и надвиги сопровождаются раздвигами земной коры (т. е. зонами ее растяжения и растаскивания по горизонтали), на месте которых закладываются впадины. Такие структуры особенно характерны для тыловых частей крупноамплитудных надвигов и для некоторых участков сдвиговых зон. К числу раздвигов относятся, например, впадина оз. Байкал и долина Смерти в Калифорнии. Вероятно, такое же происхождение имеют Токрауская впадина в Центральном Казахстане, Венгерская впадина, некоторые впадины «окраинных» морей типа Японского, отдельные рифтовые зоны и т. п.

Раздвиги как дизъюнктивные нарушения обычно в чистом виде не сохраняются. Они либо заполняются осадочными отложениями большой мощности, либо на их



Отражение Таласо-Ферганского глубинного разлома (сдвига) в современном рельефе (по В. С. Буртману, 1964). Разлом выражен более или менее прямой трещиной, по которой русла временных потоков сдвинуты на 30 м



Геологический разрез зоны глубинного надвига в Гималаях (по А. Гансеру, 1967 г.). Надвиговая поверхность наклонена слева вниз направо, и в надвинутое крыло внедрены граниты (показаны прямыми крестиками). Ориентировочная глубина надвига около 20 км

месте создаются многочисленные вулканические постройки. Данных о раздвиговых структурах получено еще мало, и вопрос о них разработан пока недостаточно.

Одновременно с горизонтальными перемещениями или независимо от них блоки земной коры испытывают перемещения по вертикали — по так называемым сбросам и взбросам. Одни из блоков погружаются, другие, наоборот, вздымаются. Нередко поднятие одного и того же блока сменяется его опусканием, и это повторяется несколько раз. В таких случаях зона разлома становится похожей на весы.

Амплитуды вертикальных перемещений по глубинным разломам значительно меньше горизонтальных. Обычно они находятся в пределах нескольких километров, не превышая в сумме для данной зоны 10—15 км. Примеры сбросов неоднократно отмечались на Русской и Сибирской платформах, на Северном Тянь-Шане, в грабенах Рейна и Красного моря, в провинции Бассейнов и Хребтов (США) и в других местах. Участки земной коры, нарушенные сбросами, в вертикальных разрезах имеют ступенчатое строение.

Формирование земной коры

Влияние глубинных разломов на процессы формирования земной коры огромно. Движения по разломам намечают резко очерченные области размыва и накопления осадков. Разломы обуславливают проявления вулканизма и интрузивного магматизма. Вдоль них возникают всевозможные структуры дробления и изгиба горных пород. Они же разделяют зоны с разной степенью деформированности пород и их вторичных метаморфических изменений.

Роль и влияние разломов разного кинематического типа весьма неодинаковы. Например, вдоль сбросовых линий и параллельно им образуются глубокие и протяженные зоны прогибания, заполняемые осадочными отложениями. По фронту крутых надвигов возникают дугообразные в плане прогибы типа современных оке-

анических желобов. В зонах сдвигов формируется целая система из нескольких небольших и прямолинейных прогибов, которые ориентированы относительно главной сдвиговой поверхности косо, под острыми углами.

В результате длительных вертикальных глыбовых движений разного знака толща осадков в прогибах близ сбросов, оставаясь в одних и тех же границах, уже в процессе накопления приобретает неравномерно ритмичное строение, с чередованием в разрезе одинаково построенных пачек. В условиях надвиговых перемещений и напоязания зон размыва на зоны прогибания и накопления осадков последние значительно смещаются в том же направлении. Сносимый с размываемых участков обломочный материал накапливается все дальше от этих участков и на все более высоких гипсометрических уровнях, так что в конце концов пласты одного и того же фациального состава приобретают некоторый наклон под надвиговую поверхность. Нечто аналогичное происходит и в сдвиговых зонах, с той лишь разницей, что миграция здесь направлена не по нормали, перпендикулярно от разлома, а вдоль него (в одном крыле в одну сторону, в другом — в противоположную).

В связи с глубинными разломами магматизм проявляется следующим образом. Вулканические извержения наибольшее распространение получают в некоторых раздвиговых зонах, где происходит заложение широких понижений, впадин или, как говорят, вулканотектонических депрессий. Вулканические постройки здесь довольно многочисленны и в виде «волдырей» беспорядочно покрывают всю депрессионную площадь. Нередко вместе с ними обнаруживаются небольшие интрузивы — линейно вытянутые дайки, кольцевые структуры, округлые в плане штоки и т. д. По химическому и минеральному составу эти интрузивы близки излившимся лавам; обычно они представляют собой корни вулканов, отпрепарированные эрозией.

Вулканическая деятельность неоднократно вспыхивает и в зонах сбросов. Однако здесь вулканы вытягиваются

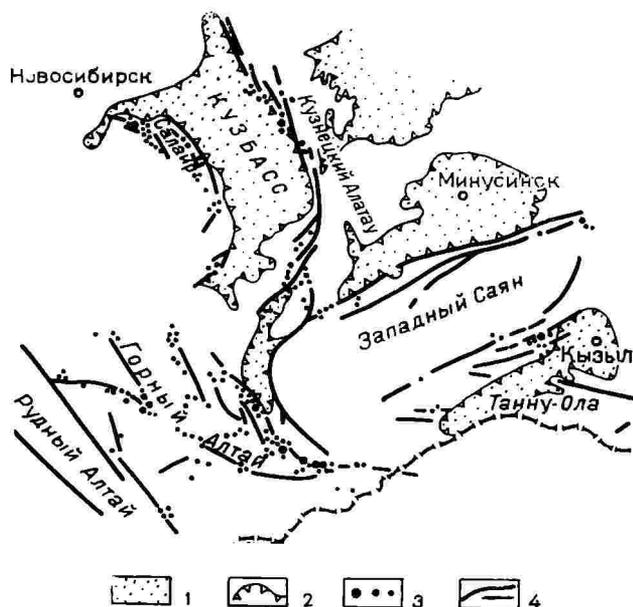


Схема пространственного размещения ртутных рудопроявлений в зонах глубинных разломов Алтае-Саянской области (по В. А. Кузнецову). Рудопроявления ртути, приуроченные к разломам, образуют скопления в виде «узлов» и линейно вытянутых зон. 1 — герцинские прогибы; 2 — их границы; 3 — рудопроявления ртути; 4 — глубинные разломы

преимущественно в виде цепочек, а продукты их извержений накапливаются непосредственно у сбросовых линий, в том и другом крыле. Наибольшей мощности вулканогенные отложения достигают в приразломных прогибах.

Для зон надвигов и ряда взбросов, формирующихся в условиях сжатия, вулканизм, как правило, не характерен. Приподнятые крылья этих разломов временами обильно интродуцируются гранитоидами и другими магматическими расплавами, застывающими не на дневной поверхности, а в недрах земной коры. Возникшие таким путем кристаллические породы затем вскрываются эрозией и проступают в виде широких и протяженных интрузивных поясов.

В сдвиговых зонах магматизм связан главным образом с отдельными, наиболее глубокими трещинами растяжения (отрыва), «оперяющими» главную поверхность сдвигового смещения. Эти трещины служат путями как для излияния лав, так и для внедрения интрузивных пород, причем и те и другие распространяются не по всей длине сдвига, а лишь в некоторых местах.

Внутренняя структура земной коры (изгибы пластов, их местные смещения по разрывам, трещиноватость, раздробленность и т. д.) зависит более всего от характера движений по глубинным разломам, и эта зависимость сейчас устанавливается не только непосредственно у поверхностей смещения, но и на расстоянии от них в десятки километров.

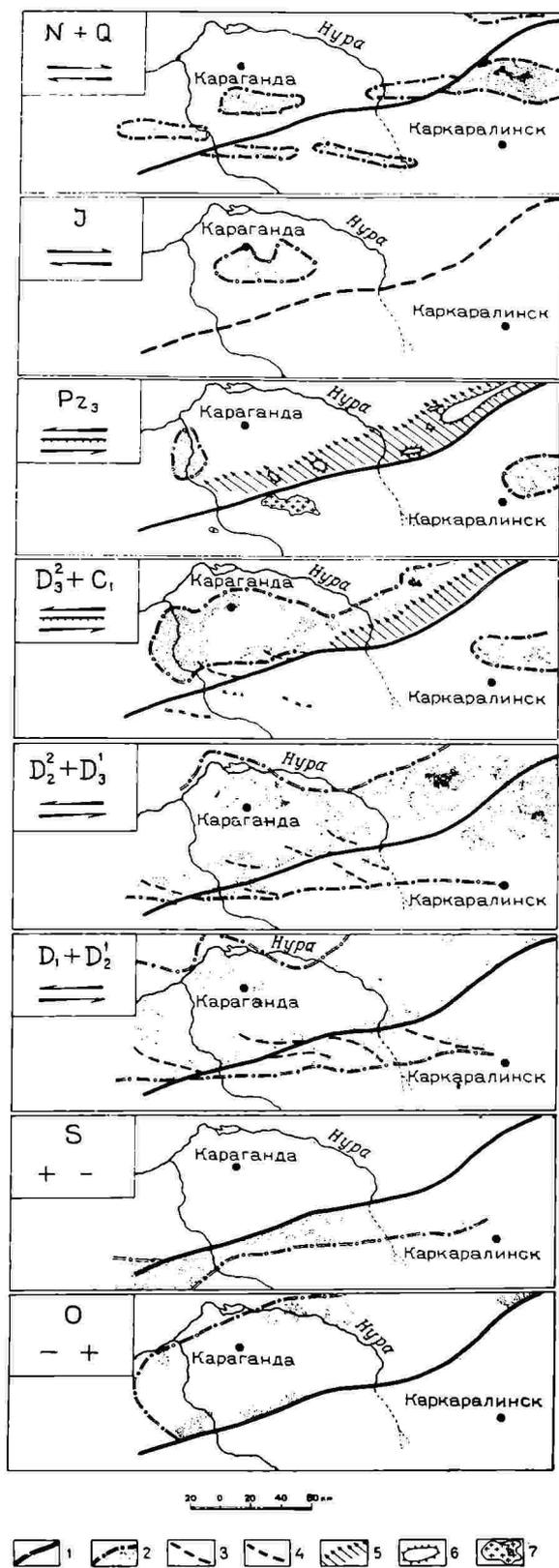
В крыльях горизонтальных сдвигов, например, развиваются крутые складчатые изгибы, а также понижения и повышения в залегании пластов, оси которых,

дугообразно изгибаясь в сторону смещения, наискось отходят от главных сместителей на расстояние до 20—30 км. Этим предопределяется перисто-дугообразный или перисто-веерообразный структурный рисунок сдвиговых зон, на которые в дальнейшем накладывается несколько систем мелких, диагонально расположенных трещин.

В сбросовых зонах, наоборот, складчатые изгибы более пологие, причем их оси, как и осложняющие эти складки трещины, в основном параллельны поверхностям сбрасывателей; внутренняя структура здесь большей частью складчато-блоковая с развитием изогнутых вверх и вниз ступеней.

В условиях горизонтальных надвиговых перемещений складки получают наклон в одну сторону (опрокидываются) и становятся резко асимметричными. Они, как правило, расчленены местными поверхностями скольжения на крупные и мелкие чешуи. Последние, при усилении надвиговых движений, перекрывают друг друга и превращаются в тектонические покровы. В противоположность этому, при горизонтальном растяжении (в раздвиговых зонах) пласты заметно растягиваются, растаскиваются и проседают. Образующиеся в них складки в поперечных разрезах имеют форму двояковыпуклых и двояковогнутых линз, осложненных небольшими почти вертикальными сбросовыми трещинами.

Особо следует отметить роль глубинных разломов в пространственном размещении многих видов полезных ископаемых. Установлено, что они осуществляют как прямой, так и косвенный контроль над размещением рудных месторождений. Во-первых, разломы — это пути для проникновения к земной поверхности рудо-



носных магматических и гидротермальных растворов. Во-вторых, они существенно влияют на состав, мощность и структуру отложений, в которых рудное вещество концентрируется.

На ранней стадии развития глубинных разломов формируются месторождения хромитов, титано-магнетитов, платиноидов, на поздней — месторождения цветных и редких металлов.

Так возникают целые рудные пояса. Известны, например, три группы рудных поясов: одна — вдоль конкретных видимых разломов (например, Алтайский полиметаллический пояс, редкометальный пояс Карамазара, сурьмяно-ртутные пояса Корякского нагорья); другая — между крупными областями, характеризующимися разной подвижностью (например, рудный пояс Северного Тянь-Шаня, Яно-Индигири-Колымский золотой пояс); третья — вдоль предполагаемых разломов в фундаменте складчатых областей (например, Великий Серебряный канал Америки, платиновый пояс юго-восточной Африки и др.).

Практика поисков и разведки месторождений показала, что в пределах рудных поясов и провинций особенно перспективны участки пересечения разломов разных направлений, полости второстепенных разломов, «оперяющих» главные, и зоны повышенной трещиноватости горных пород.

Эволюция глубинных разломов

Возникновение на Земле глубинных разломов относится к глубокой древности. Известно, что они существовали уже в архее, около 3 млрд лет назад. С тех пор земная кора прошла через многие преобразования. Изменялся и облик глубинных разломов.

Попробуем на примере Спасской зоны Центрального Казахстана (см. рис. слева) проследить историю формирования глубинных разломов, которая в данном случае может быть восстановлена с раннего палеозоя.

В то время (0) в этой зоне активно проявлялся Байдаулет-Карасорский глубинный разлом. Он служил южной границей прогиба, в котором накапливались вулканогенные толщи основного (базальтового) состава.

На этой схеме эволюции Спасской зоны разломов (Центральный Казахстан) видно (см. снизу вверх), как изменялась геологическая обстановка в зоне разломов на протяжении палеозоя, мезозоя и кайнозоя, каковы были границы области прогиба и накопления осадков в разные этапы, как происходили движения по разломам в горизонтальной и вертикальной плоскостях, когда внедрились граниты и т. д. 1 — глубинный разлом; 2 — область прогиба; 3 и 4 — оси приразломных складок; 5 — область развития надвигов; 6 — тектонические «окна»; 7 — граниты

В начале среднего палеозоя (D_3) северное крыло разлома приподнялось и стало разрушаться, а южное опустилось — оно было перекрыто песчано-глинистыми осадками мощностью в несколько километров. После этого началось всеобщее погружение района (к югу и северу от разлома) и отложение по всей его площади многокилометровой девонской песчано-вулканогенной толщи ($D_1 + D_3^1$). Вдоль главного сместителя появились приподнятые складки сдвигового волочения, которые влияли на процесс накопления осадков (на их сводах толщина пластов в 1,5—2 раза меньше, чем на крыльях).

В конце среднего палеозоя ($D_3^2 + C_1$) в зоне разлома происходят надвиговые смещения и площадь, где накапливались осадки, оказывается снова на его северном крыле. В позднем палеозое (Pz_3) надвиги усиливаются, зона испытывает всеобщий подъем и в южное крыло разлома внедряется небольшой гранитный массив.

В мезозойское время Байдаулет-Карасорский разлом в тектоническом рельефе почти не сказывается. И только в кайнозое ($N + Q$) по нему начинаются небольшие сдвиговые подвижки, обусловившие перистое расположение вытянутых вдоль него молодых прогибов.

Таким образом, в истории геологического развития Спасской зоны намечается чередование вертикальных и горизонтальных глыбовых движений разного знака, смена тектонических обстановок и отвечающих им структурных форм. Облик Байдаулет-Карасорского разлома все время усложнялся. При этом, если судить по присутствию в зоне изверженных горных пород разного состава (или по их отсутствию на некоторых этапах), нижняя граница разлома, вероятно, несколько раз переходила с одного уровня на другой. В целом же, по мере стабилизации территории, разлом становился менее глубинным и менее активным.

На примере Спасской зоны легко убедиться, что роль глубинных разломов на протяжении многих десятков миллионов лет неоднократно изменялась. Параллельно, под влиянием этого изменялись также состав и стиль строения глыб земной коры, соприкасавшихся по разломным поверхностям: извергались и затем отвердевали лавы, отлагались новые осадочные толщи, построенные по-разному в зависимости от характера глыбовых движений, внедрялись граниты и т. д. Глубинные разломы в прошлом как бы стимулировали процессы развития коры, а в настоящее время они являются наиболее надежными индикаторами этих процессов.

Преобразования глубинных разломов, подобные отмеченным, известны и в ряде других мест (Восточный Казахстан, Тянь-Шань, Памир, район Красного моря, Рейнский грабен и т. д.). В совокупности они свидетельствуют о неравномерном, пульсирующем развитии земной коры с чередованием в ней усилий сжатия и растяже-

ния. Такое чередование могло быть связано как с планетарными, так и с местными изменениями тектонических напряжений, а они, в свою очередь, были обусловлены, с одной стороны, космическими причинами, с другой — физико-химическими процессами, происходившими в коре и мантии Земли.

Выяснение всех этих связей — интереснейшая и неисчерпаемая проблема, к которой нас приводит изучение глубинных разломов.