

УДК 551.4 : 551.243.8

КАТТЕРФЕЛЬД Г. Н.

ПЛАНЕТАРНАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ И ЛИНЕАМЕНТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Одна из главных проблем современной планетологии — изучение планетарной трещиноватости (ПТ) и линеаментов Земли и других планет.

Фундаментальное научное значение проблемы подчеркивается тем фактом, что второй из трех основных программ Международной ассоциации планетологов является «Изучение глобальных решетчатых и радиально-концентрических систем линеаментов Земли, Марса, Меркурия и Луны». Многочисленные исследования и публикации по данной проблеме нашли свое обобщение в Трудах трех международных конференций по новой фундаментальной тектонике, проводившихся в США в 1974, 1976 и 1978 гг.

В Советском Союзе наиболее эффективно и систематически различные аспекты проблемы ПТ изучались: в 1960-х годах — в Лаборатории планетарной трещиноватости Ленинградского государственного университета, в 1970-х — в Лаборатории аэрометодов ВАНПО «Аэрогеология» Министерства геологии СССР (Ленинград).

Планетарные трещины имеют повсеместное распространение. Главными их особенностями являются систематичность и закономерная ориентировка относительно меридиана (а следовательно, и оси вращения Земли). Генезис такой всепроникающей глобальной системы разрывных нарушений связывается с планетарным ротационным полем напряжений, почему и сама эта трещиноватость получила название *планетарной*. Накоплен большой фактический материал о трещиноватости в осадочных, осадочно-эффузивных, интрузивных и метаморфических толщах как платформенных, так и складчатых областей. Выявлены морфология трещин, их ориентировка, размеры, иерархия, основные закономерности формирования, разработана методика их полевого изучения и камеральной обработки [1—4]¹, а также Каттерфельд, Чарушин, 1970; Гамкрелидзе, 1972; Шульц, 1973, 1977; Мирошниченко, 1973; Шульц, Николаева, 1976.

Полученные в результате многолетней работы данные о ПТ и планетарно-трещинной делимости (ПТД) литосферы как нашей, так и других планет позволяют ставить задачу выработки репрезентативной модели этих фундаментальных геологических явлений. Такая модель должна быть основана на совокупности данных достаточно обширных и представительных полевых наблюдений и изучения материалов дистанционных съемок (МДС) Земли и других планет, экспериментального моделирования ПТ и ПТД и теоретического (физико-математического) анализа этих явлений. Модель должна дать ответы на следующие вопросы: 1) количество серий (2, 4, 6 или 8) ПТ; 2) сравнительная количественная представительность (вероятность проявления) этих серий и образуемых ими систем по отношению друг к другу; 3) характер изменения ПТ в зависимости от географического положения, геологической обстановки (мощности работающего слоя) и геологического возраста; 4) причинность возникновения ПТ как повсеместного, систематического и планетарного явления.

¹ Полный список литературы насчитывает 190 названий. Поэтому мы вынуждены ограничиться здесь ссылками на 6 работ (см. ниже), в которых имеются подробные библиографические указатели.

Первым исследователем явления параллелизма и систематичности структурных линий (трещин, минеральных жил, разломов, флексур, горных кряжей и долин) был английский геолог У. Хопкинс (Hopkins, 1835, 1845). Он обнаружил в них две взаимно перпендикулярные серии² параллельных нарушений, «образованных одной и той же подъемной силой». Хотя выводы и заключения Хопкинса были получены на региональных примерах Велдского сводового поднятия на юге Англии и Нижне-Булоньской области на севере Франции, но, как показали последующие работы, подмеченные Хопкинсом параллелизм, систематичность и генетическое единство характерны и для явления планетарной трещиноватости, формируемой тангенциальными силами.

Существенный вклад в методику обработки полевых наблюдений и анализ систематической трещиноватости внес Джон Филлипс (Phillips, 1839). Исследуя трещины йоркширского карбона, он впервые ввел полярные диаграммы-розы трещин и использовал их для выявления серий трещин и определения их доминирующих простираний. Эта методика незаменима при статистическом изучении планетарной трещиноватости и линеаментов.

Резюмируя свои наблюдения, Филлипс пришел к выводу, что постоянство направлений трещин в больших районах вызывается действием некоторой весьма общей причины. Это указание Филлипса более чем на 70 лет предвосхитило аналогичную идею, высказанную У. Хоббсом (Hobbs, 1911), но свое дальнейшее подтверждение и развитие оно получило только в связи с появлением гипотезы о ротационной причинности планетарной трещиноватости.

А. Добре во Франции (Dabrée, 1879), Т. Черульф в Норвегии (Kjerulf, 1880), Ч. Лапуорс в Англии (Lapworth, 1892) и С. Пассарге, работавший в Южной Африке (Passarge, 1904), были первыми полевыми исследователями, не только документировавшими прямолинейные сетки морфологических и структурных линий — трещин, разломов, складок в осадочном чехле, разломов в фундаменте; они уже четко подметили главное свойство этих сеток — стремление образовывать четыре серии основных направлений и контролировать простирания форм рельефа целых регионов. А. Добре и Т. Черульф независимо друг от друга пришли к заключению о существовании связи между трещинами и разломами, с одной стороны, и основными магистралями эрозионной и речной сети — с другой. Т. Черульф опубликовал карту линеаментов Южной и Центральной Норвегии, на которой прямолинейные участки эрозионных линий показаны как образования, фиксирующие разломы и отражающие их прямолинейность. В сети этих линейных элементов обнаруживаются четко выраженные четыре серии параллельных направлений, тяготеющих к азимутам 315 и 45°, 0 и 90°. По своей представительности эти серии подчиняются следующему ряду СЗ, С—Ю, В—З, СВ.

Пионером систематического изучения системности в расположении трещин и разломов был Уильям Хоббс (W. Hobbs). Изучая в 1889 и 1890 гг. область долины Помперо в штате Коннектикут на северо-востоке США, он обнаружил, что а) вертикальные разломы в отличие от наклонных прямолинейны; б) их ориентировка прямо соответствует линейным элементам рельефа и систематическим трещинам; в) речные русла Коннектикута образуют сетку пересекающихся линий, сгруппированных в параллельные направления, которые близко совпадают по простиранию с сериями разломов этого региона (Hobbs, 1901_{1,2}).

По мнению Хоббса, большая часть прямолинейных образований земной поверхности обусловлена систематической трещиноватостью и разломами (Hobbs, 1904). Вместе с тем в этой же работе он впервые вво-

² Серией мы называем совокупность, группу или ряд параллельных трещин; две взаимно перпендикулярные и генетически сопряженные между собой серии образуют систему. В зависимости от углового положения относительно сетки меридианов и параллелей совокупность планетарных трещин разделяется на ортогональную, или кардинальную, и диагональную системы.

дит точный и четкий термин «линеамент», определяемый следующими словами: «A lineament is nothing more than a Rectilinear Earth Feature» (Линеамент — это прямолинейное земное образование и ничего более). Наиболее значительные линеаменты лика Земли могут быть описаны как гребни хребтов или границы поднятых областей, линии тальвегов, линии побережий и линии границ геологических формаций, петрографических типов пород и контуров обнажений. Подчеркивая сложный характер выражения земных линеаментов, Хоббс указывает, что линеамент может включать в себя несколько различных геоморфологических или геологических образований, расположенных вдоль него, причем ориентировки этих частных элементов могут несколько отличаться от общего простираания линеамента.

Следующая работа У. Хоббса «Корреляция систем трещин и данные о планетарных дислокациях в земной коре» (1905) интересна для нас тем, что в ней мы впервые находим термин «планетарная» применительно к трещиноватости. В 1911 г. Хоббс опубликовал обстоятельную работу «Повторяющиеся системы в рельефе и структуре суши», в которой суммировал все результаты своих полевых исследований в США и Норвегии.

На примере этих двух больших регионов он подтвердил и проиллюстрировал свою основную идею о том, что линейные элементы рельефа, трещины и вертикальные разломы располагаются не хаотически, а упорядоченно по отношению к сетке меридианов и параллелей, образуя четыре почти постоянно и неизменно сохраняющиеся серии с румбами С—Ю, В—З, СЗ—ЮВ и СВ—ЮЗ. По отношению к этой сетке две первые серии образуют (применяя современную терминологию) ортогональную, две вторые — диагональную систему. Он указывал, что эта систематическая тенденция является общей, но не универсальной, и считал ее весьма важной чертой земной поверхности и литосферы³. У. Хоббс пришел к трем важным заключениям.

1. Земная кора глубоко и систематически разбита сериями больших трещин; они вертикальны, разделены равными расстояниями и подчиняются только нескольким первичным направлениям.

2. Существует первичная трещиноватость, образованная двумя бисектрально пересекающимися прямоугольными системами трещин. Эти системы ориентированы вдоль кардинальных направлений компаса и их биссектрис, т. е. подчиняются направлениям С—Ю и В—З, СЗ и СВ.

3. Исследование разрывных комплексов внешней оболочки Земли, образующих уникальный и относительно простой узор, общий по крайней мере для большей части поверхности, но, возможно, скрытый в некоторых местах в результате наложения более или менее беспорядочных комплексов трещин, должно рассматриваться как наиболее фундаментальное и перспективное. Это неизбежно приводит к заключению, что более или менее одинаковые условия деформирующих усилий и напряжений, вероятно, были общими для всей внешней оболочки Земли.

Последователи У. Хоббса, Ганс Клоос (Cloos, 1936, 1939) и Р. А. Зондер (Sonder, 1938, 1956) с энтузиазмом поддержали его первый вывод, но мало упоминали о его втором, более специальном заключении. Такое положение просуществовало в линеаментной тектонике около 40 лет.

Дж. Умбгрове (Umbgrove, 1947), цитируя работы Хоббса и других авторов, заключает, что литосфера Земли действительно рассечена трещинами, образующими две прямоугольные системы, что эти системы ориентированы вдоль кардинальных направлений компаса и их биссектрис, т. е. подчиняются направлениям С—Ю и В—З, СЗ и СВ.

Такая двухсистемная трещиноватость, состоящая из четырех серий направлений, была названа Умбгрове планетарной. Все другие трещины, не подчиняющиеся этим основным направлениям, Умбгрове, следуя первоначальному суждению Хоббса, рассматривал как «локальные».

³ Первым автором, обратившим внимание на ту планетарную систему доминирующих геоморфотектонических линий, которую мы сейчас называем диагональной, был Александр Гумбольдт (1844).

В русской геологической литературе термин «планетарная трещиноватость» мы впервые находим у Е. Н. Пермякова (1949, с. 31). Он же дал подробную генетическую классификацию различных типов трещиноватости, среди которых, в частности, выделил локальную, региональную и планетарную. Позднее этот термин был использован С. С. Шульцем (1962—1979) и другими авторами и получил широкое распространение в отечественной, а затем и в зарубежной литературе [4].

Р. Зондер (Sonder, 1947, 1956) распространенную на всей Земле планетарную трещинную систему назвал регматической (rhegmatisch), но приписывал ей контракционную природу.

Проблемой планетарной трещиноватости Земли занимались в той или иной степени многие тектонисты и геологи: Н. С. Шатский (1945), Г. Штилле (1945, 1964), Г. Н. Каттерфельд [5, 6 и др.], С. С. Шульц (1962—1979), Г. Кнеч (Knetsch, 1964, 1967, 1969), Г. Плафкер (Plafker, 1964), Г. В. Чарушин (1965—1976), Р. И. Баева (1968, 1977), И. П. Гамкрелидзе (1972, 1976), Паркер Гэй (Gay, 1973), В. П. Мирошниченко (1973, 1977), Л. М. Расцветаев (1973), В. М. Ротенфельд (1974), Р. А. Ходжсон (Hodgson, 1976, 1977), Н. В. Шаблинская (1977), Л. И. Березкина (1983), Р. Квет (Květ, 1983) и др.

Планетарные закономерности размещения крупнейших трещин и разломов земной коры рассматривали Э. Р. Шмидт (Schmidt, 1948), Н. Бутаков (Boutakoff, 1952), А. В. Пейве (1956), Дж. Муди и М. Хилл (Moody and Hill, 1956), Г. Н. Каттерфельд (1958, 1962, 1970, 1973, 1976), В. В. Белоусов (1962, 1979), И. И. Чебаченко (1963, 1977), Н. С. Шатский (1964), В. Е. Ханн (1964, 1971), Н. В. Штьовичкова (Štovičková, 1966, 1967, 1968), К. Ф. Тяпкин (1966, 1974), Е. Хиллс (1967), П. С. Воронов (1968), Г. И. Мартынова (1969, 1974), Н. Тамм (Tamm, 1969), Чарушин (1970, 1973), Г. А. Мурзина (1972), П. Кронберг (Kronberg, 1977; Mohr, Kronberg, Günther, 1977; Kronberg, Günther, 1977; Schonfeld, Günther, Kronberg, 1977) и др.

Работами Тайхерта (Teichert, 1927), Кауфмана (Kaufmann, 1931), Паркера (Parker, 1942), Шатского (1945) и Пермякова (1949) было впервые подтверждено эвристическое указание Дж. Филлипса (1839) на существование общих закономерностей в расположении систем трещин и разломов в пределах крупных районов земной поверхности. Указанные исследователи на основании своих независимо сделанных наблюдений пришли к единому выводу о закономерном преобладании в самых различных районах Земли (Северо-Американская платформа, Русская платформа и др.) одних и тех же направлений разрывов, сопряженных в две системы: I — северо-западных и северо-восточных (диагональная система) и II — меридиональных и восточно-западных (ортогональная система). При этом наиболее четко выражено направление 315° СЗ — весьма примечательный факт, впервые отмеченный нами еще в 1959 г., но до сих пор не получивший полного или вполне удовлетворительного объяснения (Каттерфельд, 1959, с. 276; 1962, с. 81—84).

Подобное постоянство в направлениях в угловых соотношениях указывает, по мнению Р. Кауфмана, на общую, действующую во всей большой области причину возникновения разломов. Такую причину Кауфман видел в движении подкорового субстрата, а Н. Арабю (1937) — в изменении скорости вращения планеты, причем он считал, что структурные пары систематических направлений СЗ+СВ и С-Ю+В-З становятся более выраженными под влиянием тангенциальных усилий, возникающих в результате сжатия Земли в период уменьшения ее объема. Идею систематического распределения структурных линий Н. Арабю считал хорошо обоснованной и видел в ней существенное условие динамики Земли (1937, с. 342). «Периодичность действия различных систем направлений в различные эпохи» и «весь комплекс направлений и сил, обуславливающих эти направления, ... можно объяснить изменениями скорости вращения Земли» (с. 347—348). «Будучи хорошим рабочим методом при анализе отдельной области, идея направлений является в

то же время превосходным орудием синтеза. Она обязана этим качеством общности направлений на всем земном шаре» (с. 348).

Стало ясным, что «на большей части Земли, несмотря на некоторые незначительные отклонения в отдельных районах, существуют универсальные закономерности в распределении систем трещин, так что можно в раздробленности (литосферы) усматривать воздействия существенных изменений в форме всей Земли,— быть может, как следствие изменений в положении оси вращения или в скорости вращения, которые, вероятно, оба имеют место — и тогда возникает возможность посредством сравнения направлений трещин в различных формациях узнать кое-что о ходе этих изменений формы (Земли)». Эта замечательная мысль была высказана Ф. Лётце (Lötze, 1933, р. 198). Этим двух авторов — немецкого геолога Ф. Лётце (1933) и румынского палеогеографа Н. Арабю (1937) — и следует считать провозвестниками ротационной гипотезы происхождения планетарной трещиноватости.

Таким образом, еще в 30-х годах в результате системного подхода к своим объектам геологическая мысль неизбежно пришла к выводу о том, что разрывы в отложениях и кристаллических породах — это массовое проявление реакций последних процессы, связанные с движениями самой планеты в целом.

Позднее было отмечено, что не только крупные трещины, но и многие линеаменты совпадают с большими кругами земного шара, которые расположены симметрично относительно оси вращения Земли (Boutakoff, 1952). По мнению этого автора, возникновение глобальной системы тектонических структур и их расположение по таким кругам связаны с изменениями скорости вращения Земли и порождаемыми ими ротационными напряжениями, имеющими именно такую ориентировку.

Сравнительно-планетологический подход к проблеме изучения планетарной трещиноватости Земли впервые был применен автором (Каттерфельд, 1959), а позднее использован Г. В. Чарушиным (1965, 1968) и др. Анализ и сравнение всех имевшихся к тому времени геологических и планетологических данных привели нас к следующему общему выводу: разрывные движения литосферы и глобальные разломы создаются усилиями, обусловленными изменениями объема и формы, переменностью гравитационного сжатия и неравномерностью вращения планеты (Каттерфельд, 1959, с. 277, 283).

Наиболее надежная и достоверная оценка напряжений в коре и мантии Земли, возникающих при изменениях скорости вращения нашей планеты, была дана Г. Джеффрисом (Jeffreys, 1963). Сопоставление полученной из наблюдений фигуры Земли с ее фигурой равновесия показало, что расхождение в полярных сжатиях двух фигур таково, что оно обеспечивает планетарное ротационное поле с реально существующими напряжениями в 10^7 — 10^8 дин/см². Как указывают В. А. Магницкий и Е. В. Артюшков (1978), таких напряжений достаточно, чтобы вся литосфера могла быть на грани землетрясения.

Предварительные физико-математические модели ПТ и ПТД литосферы были построены Г. Н. Каттерфельдом (1962), А. В. Долицким и И. А. Кийко (1963), Г. Н. Каттерфельдом и Г. В. Чарушиным (1970), И. В. Галибиной и Г. Н. Каттерфельдом (1977). Согласно этим авторам, ПТ формируется четырьмя сериями ротационно обусловленных максимальных деформирующих усилий, подчиняющихся закону четырех «экстремальных» азимутов:

$$A_e = \begin{cases} A_D = 45^\circ \pm 90^\circ n \quad (n = 0, 1, 2, 3), \\ A_0 = 90^\circ n \quad (n = 0, 1, 2, 3). \end{cases}$$

Эти усилия формируют две сопряженные, генетические системы линейных структур: D — систему трещин скалывания и сдвигов, и O — систему трещин растяжений и складок сжатия.

Экспериментальное моделирование этой планетарно-ротационной деформации (Knetsch, 1964; Чередниченко и др., 1966; Бурмистенко,

1972) показало, что ориентация линейных нарушений, возникающих на поверхности вращающихся сферических оболочек, подчиняется тому же самому закону четырех систематических направлений, образующих диа- и ортосистему.

Следует особо подчеркнуть, что генезис планетарных разрывов связан не только с чисто ротационными причинами (отвечающими в первую очередь за ориентировку и систематичность планетарных трещин), но также с изменениями объемного сжатия — объемными пульсациями планеты (см. выше), в свою очередь вызывающими появление (более значительных) деформирующих напряжений, а их суммарного действия вполне достаточно для образования даже глобальной системы глубинных разломов (Асланян, 1976, 1977), не говоря уже о мелкой планетарной трещиноватости.

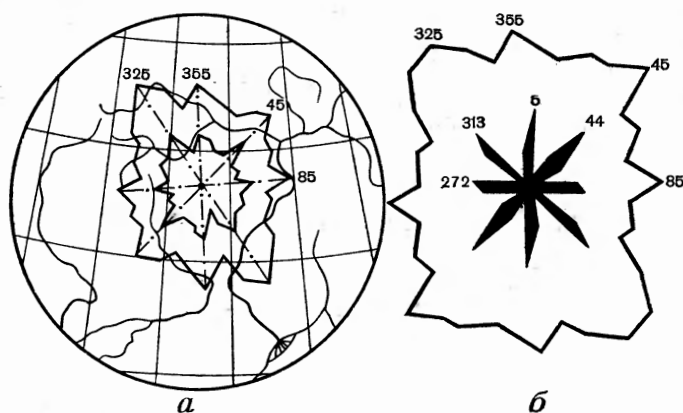


Рис. 1. Сводные розы-диаграммы трещин и разломов Русской платформы *а* — для трещин осадочного чехла центральной и юго-восточной частей Русской платформы ($\Sigma=19\ 607$). Для сравнения внутри диаграммы, дана такая же роза на меньшую площадь, составленная по 6133 замерам. Обращает на себя внимание хорошее соответствие с основными магистралями эрозионной сети (по Е. Н. Пермякову, 1949); *б* — для трещин осадочного чехла всей Русской платформы ($\Sigma=60\ 000$). Внутри розы дана диаграмма простираний разломов кристаллического фундамента северо-запада Русской платформы ($\Sigma=138$, общая протяженность 11 000 км) (составили Г. Н. Каттерфельд и Г. В. Чарушин)

Рассматривая глобальные линейные структуры Земли в целом и анализируя преобладающие смещения по ним в мезозое и кайнозое, Л. М. Расцветаев (1948) пришел к выводу о существовании весьма строгой упорядоченности морфолого-кинематической картины перемещений. Она заключается в том, что в диасистеме северо-западные структуры характеризуются правыми сдвигами, северо-восточные — левыми сдвигами, тогда как в ортосистеме субмеридиональные структуры (срединно-океанические хребты, материковые рифты, возрожденные сбросовые горы и долины) имеют сбросораздвиговый характер, а субширотные зоны сжатия Альпийского пояса Старого и Нового Света — надвиговый.

Таким образом, если на материках во всех масштабах отчетливо преобладает диагональная система, то в океанической коре наиболее крупные разрывные нарушения — рифтовые и трансформные швы — принадлежат к ортогональной системе ПТ. Соответственно этому выделяются два основных типа планетарных отдельностей (ПО) — тетрагонов: диагонально ориентированные (преимущественно материковые) ПО, разделяемые сколами и сдвигами, и ортогонально ориентированные (преимущественно океанические) ПО, ограниченные раздвигами, сбросами (вдоль параллелей).

В итоге многолетних полевых и дистанционных исследований планетарной трещиноватости разными исследователями накоплено к настоящему времени более 350 тысяч замеров трещин и разломов [5, табл. 1].

С целью оценки значения планетарных трещин и линеаментов на материале более 250 тысяч замеров на поверхности Земли, а также на космических снимках Земли, Марса, Меркурия и Луны нами были построены следующие диаграммы простираций: 1) глубинных разломов Земли, очертаний ее материков, направлений крупных рек и ориентировок горных хребтов; 2) линеаментов Африки; 3) линеаментов Юго-Западной Азии и Северо-Восточной Африки; 4) линеаментов территории США; 5) линеаментов юго-западной части Северной Америки; 6) разломов, выявленных по геофизическим данным для территории СССР к западу от критического меридиана 105° в. д.; 7) трещин, осей антиклинальных складок, гидросети и разломов Волго-Камского края; 8) трещин, разломов, осей антиклинальных складок, геофизических аномалий и элементов гидросети Иркутского амфитеатра; 9) сводные розы трещин Русской и Сибирской платформ, Северного Казахстана и Западно-Сибирской эпигерцинской платформы; 10) розы и гистограммы линейных структур Казахстана; сводные розы: 11) трещин в лёссовых породах и современных почвах Западного Предкавказья; 12) линеаментов Предкавказья; 13) трещин в базальтах Армении (Каттерфельд, Чарушин, 1968, 1969, 1970, 1973; [1, 2, 5]; Katterfeld, Galibina, 1982); 14) трещин Русской платформы (рис. 1, а, б); 15) разломов северо-запада Русской платформы (рис. 1, б); 16) линеаментов территории СССР и прилегающих районов (рис. 2); 17) линеаментов Европы, Западной Азии, Восточной Азии, Юго-Западной Азии, Азии, Северной Америки, Северной Африки, Евразии и всего Северного полушария Земли в целом (рис. 3); 18) линеаментов Земли, Марса, Меркурия и Луны.

Анализ статистических данных по ориентировке трещин и разломов самого разного возраста для различных областей Земли, собранных нами в результате 25 лет полевых исследований и дешифрирования МДС, показывает, что они характеризуются четырьмя доминирующими сериями направлений, соответствующих максимальным нормальным ($0,90^\circ$) и максимальным касательным ($315, 45^\circ$) ротационно обусловленным деформирующим усилиям. Этот вывод не нов, но на таком большом и представительном фактическом материале (250 тысяч замеров) он получен впервые.

Все розы линеаментов как для отдельных материков, так и для их крупных частей (рис. 2 и 3) также подчиняются закону планетарного распределения по четырем экстремальным азимутам, близким или совпадающим с $270, 0, 315, 45^\circ$; а дисперсия от материка к материка или от одной его части к другой невелика. Фактическое распределение ориентировок систем линеаментов тем ближе к теоретически рассчитанным [3], чем больше размер анализируемой территории и количество выявленных на ней линеаментов.

В розе линеаментов Европы доминирующее северо-западное направление имеет азимут 324° (см. рис. 3, 1). Этот факт весьма примечателен,

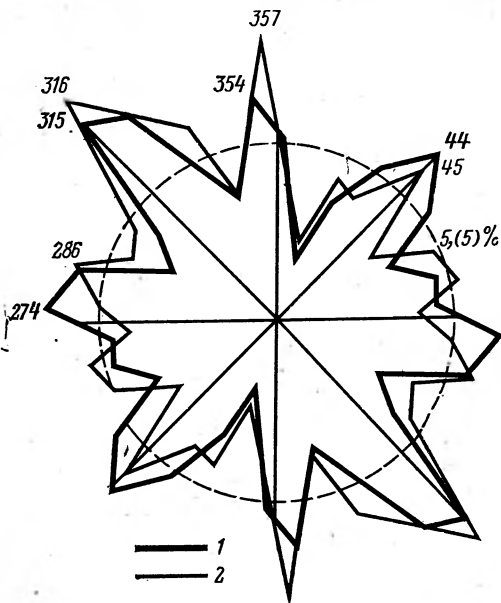


Рис. 2. Сводная роза линеаментов территории СССР и прилегающих районов ($\Sigma = 990$, $\Sigma l = 496\ 860$ км)
Составлена по данным дешифрирования телевизионных космических снимков
1 — по частоте, 2 — по длине

так как он выявляется по любым материалам и совпадает с ранее полученными данными по наземным полевым наблюдениям на Русской платформе (Пермяков, 1949, ~20 000 замеров; Katterfeld, Charushin [1], ~60 000 замеров; см. рис. 1).

В розе для Западной Азии доминирует северо-западное направление, тогда как в розе для Восточной Азии — северо-восточное (см. рис. 3, 2),

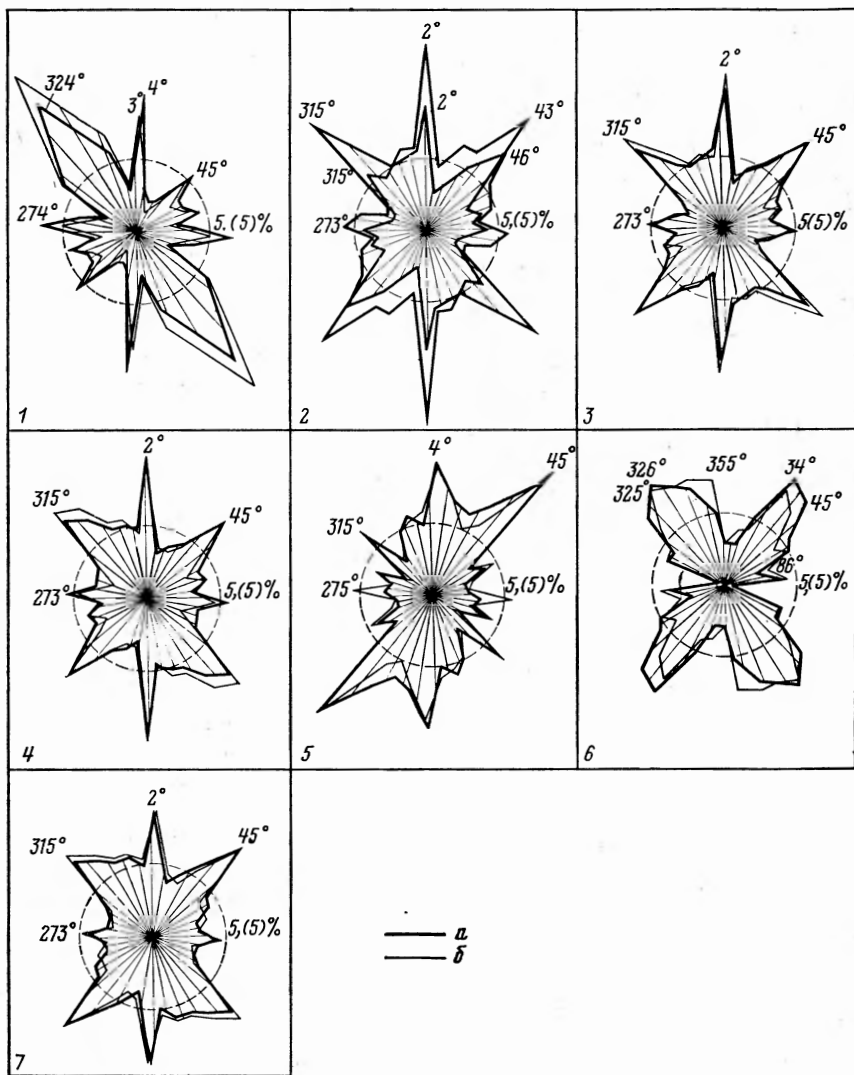
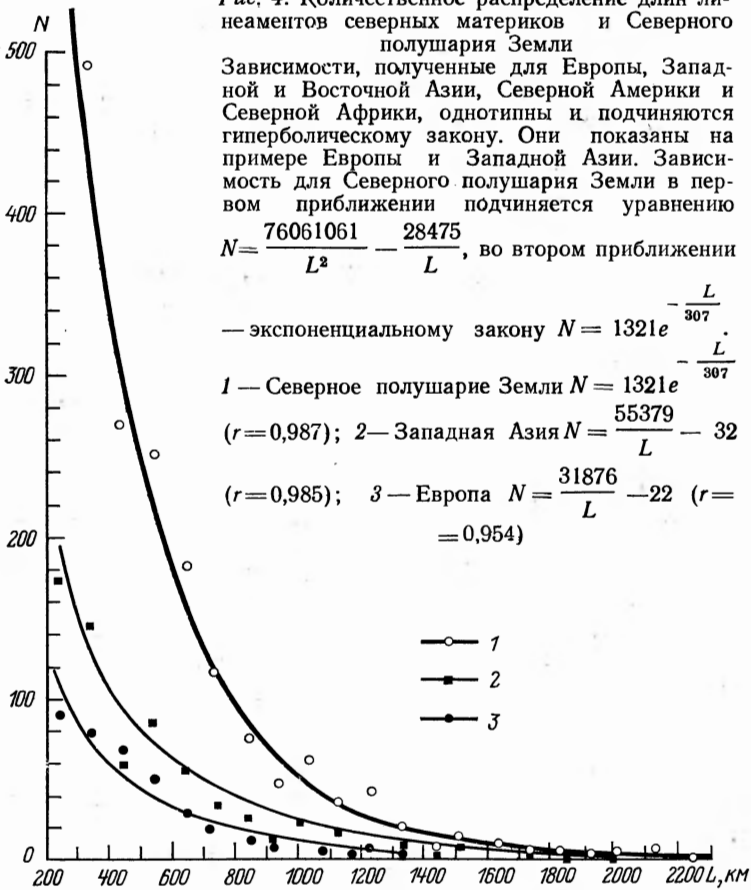


Рис. 3. Розы основных линейментов материков Северного полушария Земли. Составлены по карте м-ба 1 : 15 000 000, построенной В. Я. Ероменко по данным дешифрирования ~4 тыс. телевизионных и инфракрасных космических снимков 1 — Европа ($\Sigma=451$, $\Sigma l=173\ 260$ км), 2 — Западная (слошной линией, $\Sigma=747$) и Восточная (пунктиром, $\Sigma=482$) Азия, 3 — Азия ($\Sigma=1229$, $\Sigma l=581\ 108$ км), 4 — Евразия ($\Sigma=1680$, $\Sigma l=754\ 368$ км), 5 — Северная Америка ($\Sigma=430$, $\Sigma l=251\ 880$ км), 6 — Северная Африка ($\Sigma=400$, $\Sigma l=169\ 680$ км); 7 — Северное полушарие Земли ($\Sigma=2510$, $\Sigma l=1\ 175\ 928$ км): а — по частоте, б — по длине

что можно связать с влияниями западного и восточного критических поясов земного эллипсоида (Каттерфельд, 1962).

Для всех материков (за исключением Северной Америки) и для всего Северного полушария Земли в целом средняя длина линейментов северо-западной серии оказывается больше, чем для северо-восточной. Средняя длина линейментов для всего Северного полушария Земли равна 468 км.

Рис. 4. Количественное распределение длин линеаментов северных материков и Северного полушария Земли



Зависимости, полученные для Европы, Западной и Восточной Азии, Северной Америки и Северной Африки, однотипны и подчиняются гиперболическому закону. Они показаны на примере Европы и Западной Азии. Зависимость для Северного полушария Земли в первом приближении подчиняется уравнению

$$N = \frac{76061061}{L^2} - \frac{28475}{L}, \text{ во втором приближении}$$

— экспоненциальному закону $N = 1321e^{-\frac{L}{307}}$.

1 — Северное полушарие Земли $N = 1321e^{-\frac{L}{307}}$

($r=0,987$); 2 — Западная Азия $N = \frac{55379}{L} - 32$

($r=0,985$); 3 — Европа $N = \frac{31876}{L} - 22$ ($r=0,954$)

Количественное распределение длин линеаментов для Европы, Западной Азии, Восточной Азии, Северной Америки и Северной Африки подчиняется гиперболическому закону вида

$$N = \frac{a}{L} - b,$$

где N — количество линеаментов определенной длины; L — длина линеаментов, км. Зависимость для Северного полушария Земли в первом приближении подчиняется уравнению

$$N = \frac{76061061}{L^2} - \frac{28475}{L},$$

во втором приближении аппроксимируется экспоненциальным законом

$N = 1321 e^{-\frac{L}{307}}$ с коэффициентом корреляции $r=0,987$ (рис. 4).

ВОЗРАСТ ПЛАНЕТАРНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ СИСТЕМ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

В ряде работ по мелкой и крупной трещиноватости, как планетарной, так и региональной, специально рассматривался вопрос о зависимости доминирующих направлений трещин и разломов от их геологического возраста (Пермяков, 1949; Шатский, 1955; Хиллс, 1956; Воронов, 1960, 1962; Николаев, 1962; Пейве, 1965; Баева, 1968; Тамм, 1969; Каттерфельд и Чарушин, 1970, 1973_{1,2}; Гамкрелидзе, 1972; Шульц, 1973; Кнеч, 1974; Полеховский, 1975; Пашова и Пистрак, 1976; Драновский и др., 1976; Чарушин, 1976_{1,2}; Шаблинская, 1977, и др.).

Полученные Р. И. Баевой и И. П. Гамкрелидзе, Г. Н. Каттерфельдом, Г. В. Чарушиным и др. данные полевых исследований дают стратиграфическую дисперсию в азимутах простираний, определяемую в пределах 10° (реже 15°). Данные Р. И. Баевой относятся к северо-западу Русской платформы, И. П. Гамкрелидзе — к Аджаро-Триалетской складчатой зоне и Грузинской глыбе.

Г. Н. Каттерфельд и Г. В. Чарушин, анализируя планетарную трещиноватость Русской и Сибирской платформ, нашли, что она характеризуется четырехсерийной сходимостью с дисперсией в 10° по всему стратиграфическому разрезу платформ от архея до антропогена [1].

От общего количества тектонических трещин (локальных, региональных и планетарных) последние составляют: для Русской платформы — от 19 до 30, в среднем 25%, для Сибирской платформы — от 26 до 62, в среднем 39%. При этом на обеих платформах среди планетарных трещин главная система — диагональная; на Русской платформе она господствует над ортогональной почти во все крупные этапы геологической истории независимо от возрастной индикации.

На Русской платформе северо-западная серия занимает 1-е место по своей представительности в 55% исследованных районов, северо-восточная — в 24%; серия С—Ю — в 26,5%, а В—З — только в 10%. Диасистема занимает 1-е место в 40% исследованных районов, ортосистема — в 20%, т. е. представительность диасистемы в целом в 2 раза выше представительности ортосистемы.

Большинство исследователей постоянно отмечают унаследованность, удивительное постоянство плана разломов во времени и инвариантность их систем в областях с развитием пород самого разного состава и возраста.

«Планетарная сеть разломов является как бы основой или, так сказать, каркасом, которому подчиняются все последующие деформации в земной коре», — писал Н. С. Шатский (1955, с. 24).

Удивительное постоянство, стабильность и длительность развития молодых тектонических движений вдоль древнейших архейских направлений для разломной сети отмечены и в Австралии (Hills, 1956).

Консерватизм направлений зон глубинных разломов и простираний связанных с ними линейных тектонических структур, нередко сохраняющийся от протерозоя до четвертичного времени, подчеркивал А. В. Пейве (1956).

Георг Кнеч, известный своими экспериментальными работами по изучению ротационного генезиса планетарной трещиноватости, считает, что глобальная система разломов имеет по крайней мере допротерозойский возраст (Галибин и др., 1975, с. 5).

Планетарные системы разрывных нарушений Карелии были заложены еще в раннем протерозое (Полеховский, 1975).

Глубинные структуры и тектонические элементы, определившие строение и развитие Сарматского щита, в частности Украинского кристаллического массива, Припятско-Донецкого авлакогена и Воронежской антеклизы, а также ограничения последней, подчинены единым системам глобальной трещиноватости. Эти системы устойчивы во времени и сохраняют свои простирания и активность своих составляющих с протерозоя (Пашова, Пистрак, 1976).

По заключениям Н. Тамма (Tamm, 1969), основными характеристиками ПТ Земли и минерализации земной коры являются следующие.

1. ПТ вертикальна, прямолинейна и рассекает земную поверхность по большим кругам. Минерализация, по-видимому, также следует длинным прямолинейным линиям вдоль больших кругов.

2. Главными направлениями ПТ и контролирующими направлениями для распределения отложений никеля, платины, олова и алмазов в Африке являются северо-западное и северо-восточное с менее частым С—Ю и подчиненным В—З направлениями.

3. ПТ — перманентное и возобновляемое явление в земной коре. Она формируется безотносительно к предшествующим ей геологическим

структурам. Регенерация минерализации в той же самой зоне или линии в различные геологические эпохи происходит безотносительно к предшествующим структурам и показывает постоянство этого процесса.

4. Диспозиция генеральных линий минерализации, как указывает расположение полей олова и алмазов в Африке, приурочена к заливам и мысам этого континента.

Вопрос о возрасте глобальной системы разломов был рассмотрен А. Т. Асланяном (1955, 1976), исходившим при этом из принципа наследственности и факта существования перманентных разломов. По его мнению, большинство современных крупнейших линейментов Земли, включая срединно-океанические хребты, наследует матрицу древней глобальной системы разломов (Асланян, 1955). Так как в начале протерозоя период вращения Земли был в 2—3 раза меньше современного, то соответственно полярное сжатие Земли было в 4—9 раз больше, чем в настоящее время. В результате ротационно обусловленной деформации Земли еще в катархее возникла глобальная сеть разрывов, нарушившая сплошность земной коры и верхней мантии. Вместе с этим древнейшая литосфера должна была расчлениваться на множество блоков, так как в условиях большого полярного сжатия разность главных напряжений значительно превосходит предел прочности самой литосферы (Асланян, 1976).

Н. В. Роланд (Roland, 1976) нашел, что на Земле и Марсе максимальная частота тектонической стандартной сетки и плоскости обуславливающих ее максимальных напряжений соответствуют азимутам 0, 50, 90 и 320°. Это полностью согласуется с полученными ранее результатами. Если они верны, то это предполагает, что ориентация как литосферных плит, так и самих материков практически не менялась в течение весьма длительного времени. Интересно отметить, что М. Шевалье и А. Кайё на основе сферического гармонического анализа пришли к аналогичному заключению о неизменности ориентации материков в течение 3,8 или даже 4,5 млрд. лет (устное сообщение А. Кайё).

Как уже отмечалось нами, повышенная количественная представительность северо-западной серии над всеми другими может быть связана с эффектом кручения (Каттерфельд, 1962, с. 50—51, 81—84). А этот эффект, по мнению А. Кайё, также предполагает древний катархей-архейский возраст возможного возникновения планетарной решетчатой системы (grid system) материков.

Я. А. Драновский и др. (1976) определяли основные временные закономерности глобальной решетки разрывных и складчатых структур земной коры на основе анализа тектонических карт Европы, Азии, Северной Америки, Южной Америки, Австралии и физиографических карт океанов. Сопоставление распределений азимутальной интенсивности глобальных линейментов, проведенное для всех материков и океанов по всем интервалам хронологической шкалы, показало, что наблюдаемая глобальная решетка закономерно ориентирована относительно фигуры современного геоида независимо от ее возрастной индикации. Это свидетельствует о пространственно-временной стабильности глобальной структурной решетки земной коры*. В споре идей фиксизма и мобилизма такой вывод не подтверждает идеи мобилизма, поскольку дрейф и вращение плит должны были привести к искажению параметров решетки глобальных линейментов в пространстве и времени, чего не наблюдается в действительности.

Основные разломы и блоковые поля между ними — наиболее древние образования структурного плана фундамента Русской платформы. Их заложение А. К. Запольнов и К. О. Кратц (Кратц и др., 1979, с. 70) относят к рубежу между катархеем и археем (3,5 млрд. лет). По их данным, эти древнейшие структуры укладываются в единую систему диа-

* **Примечание:** Развиваемые автором представления о глубокой унаследованности всей системы ПТ и особенно сделанный им вывод о стабильности литосферных плит во времени являются весьма дискуссионными (Ред.).

гональных и ортогональных направлений. Этот факт говорит об общей целостности, единстве всей территории Восточно-Европейского кратона в течение всей геологической истории и неизменности его ориентировки относительно фигуры вращающейся Земли по крайней мере от раннего архея до современной эпохи включительно (Кратц и др., 1979, с. 81—82).

По Р. Ф. Черкасову (1980), простирания складчатости нижнеархейских толщ на примере Алданского щита и его окружения подчиняются четырем диапазонам: субмеридиональному С—Ю (*a*), субширотному В—З (*b*), СЗ (*c*) и СВ (*d*). Ортогональные направления резко преобладают над диагональными, а отношения между двумя преобладающими направлениями очень устойчивы в разных зонах. Они выражаются формулой $b = \frac{2}{3}a$, что отвечает «золотому сечению». Дисперсия и распространенность серий таковы: С—Ю ($0 \pm 5^\circ$)—38%, В—З ($90 \pm 5^\circ$)—24%, СЗ ($315 \pm 15^\circ$)—3%, СВ ($45 \pm 15^\circ$)—1%.

По мнению Е. А. Долгинова (1979, с. 28), материка, омываемые водами Индийского и Атлантического океанов, приобрели структурные ограничения, близкие к современным, уже в раннем архее, а подвижные пояса Тихоокеанского обрамления также обособились в среднем, а возможно, и в раннем докембрии.

П. С. Воронов (1960, 1962), исходя из мезозой-кайнозойского возраста полярных радиально-концентрических систем разломов в Арктике и Антарктике, заключил, что полюса не меняли своего положения по крайней мере с юрского времени.

Все эти результаты не подтверждают ультрамобилистских концепций и говорят как против возможности значительных поворотов отдельных плит, так и против значительных смещений оси вращения Земли, по крайней мере начиная с позднего протерозоя (Галибина, Каттерфельд, Чарушин, 1975).

Находясь на других позициях и анализируя другие геологические факты, точно к такому же выводу пришел в одной из последних работ и В. В. Белоусов (1979, с. 10—11), словами которого мы и резюмируем изложение этого вопроса: «На протяжении *всего времени от раннего архея* (курсив наш.—Г. К.) до новейшего времени наблюдалась большая пространственная устойчивость в закономерно следующих друг за другом рядах эндогенных режимов, а в простираниях геосинклиналей, складчатых зон и отдельных структур решительно преобладала и неизменно выдерживалась правильная сетка направлений, ортогональных и диагональных, сохранявшая удивительное постоянство современной географической сетки».

Автор благодарит И. В. Галибину, Г. А. Иваняна, Л. А. Лоскутникову и А. И. Пышкина за помощь в вычислениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Katterfeld G. N., Charushin G. V. General Grid System of Planets.—Modern Geol., 1973, v. 4, № 4, p. 253.
2. Галибина И. В., Каттерфельд Г. Н., Чарушин Г. В. Типы и системы линеаментов планет.—Изв. АН СССР. Сер. геол., 1975, № 11, с. 5.
3. Галибина И. В., Каттерфельд Г. Н. Некоторые вопросы теории планетарной трещиноватости.—В кн.: Проблемы планетологии. Т. 2. (Тектоника и вулканизм планет). Ленинград—Ереван, 1977, с. 90.
4. Proceedings, First Internat. Confer. New Basement Tectonics, Salt Lake City/Eds Hodgson R. A., Gay S. P., Benjamins J. Y.—Utah Geol. Ass. Publ., 1976, № 5, 636.
5. Каттерфельд Г. Н. Планетарная трещиноватость четвертичных отложений Предкавказья и Армении.—Изв. АН АрмССР. Науки о Земле, 1980, т. 33, № 4, с. 29.
6. Katterfeld G. N., Galibina I. V. Astronomic Geology, its subject and general problems.—Modern Geol., 1982, v. 8, № 2, p. 127.

Summary

The historical review of investigation of the planetary fractures, faults and lineaments systems is given. The term «planetary» was first applied to fracturing by Hobbs (1905). German geologist F. Lötze (1933) and Rumanian paleogeographer N. Arabu (1937) were first to connect the planetary fracturing genesis with changes in rotation, shape and volume (compression) of the Earth. J. Umbgrove (1947) and E. N. Permyakov (1949) clearly showed that the planetary fracturing consists of four series with general directions 0, 90, 315 and 45°. Results of the statistical analysis of 250 000 fractures, faults and lineaments made by the author and his colleagues in the course of 25 years of field and remote sensing studies are given.

The constancy of ancient fault plan in the course of geological time and the invariability of the planetary fracturing systems in areas differing in rock composition and age are shown. The age of the Earth's global system of faults and fractures is defined as the Early Pre-Cambrian.

УДК 551.4 : 551.311.22

СИМОНОВ Ю. Г., БЕЛЕНЬКИЙ А. В.

**МОРФОСТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД
В ИЗУЧЕНИИ ПРОТИВОДЕНУДАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОРОД
(НА ПРИМЕРЕ ПЕВЕКСКОГО МАССИВА)**

Среди факторов рельефообразования литология коренных пород занимает важное место. Изучению этой проблемы посвящено большое число работ геологов и геоморфологов различных поколений [1—6], она вошла почти во все учебники геоморфологии. В оценке литологических условий или факторов рельефообразования центральным является представление о существовании ряда горных пород, различающихся своей противоденудационной стойкостью. Предполагается, что существуют относительно более и относительно менее стойкие по отношению к денудации горные породы. И. С. Шукин [2] высказал мысль о том, что этот ряд меняется в зависимости от ландшафтно-климатических условий, так как литологические различия в рельефе проявляются с помощью механизмов избирательного выветривания. Выветривание, как известно, по-разному протекает в различных ландшафтно-климатических условиях. Обзор современных представлений по этому вопросу содержится в статье Г. С. Ананьева [7]. Кроме интересного фактического материала, собранного в этой статье, хотелось бы обратить внимание на два важных содержащихся в ней вывода: 1) устойчивость пород, слагающих земную поверхность, против агентов выветривания при постепенном переходе от климатов низких широт к климатам арктических пустынь для одних литологических разностей возрастает, для других — убывает, для третьих — существенно не меняется; 2) сравнительно-геоморфологический анализ противоденудационной стойкости горных пород, проведенный по современным климатическим зонам, не вполне корректен, так как в современном рельефе сохраняются морфолитологические соотношения, возникшие не в современных, а в иных климатических условиях предшествующих геологических эпох.

Наряду с этими более сложными представлениями о влиянии литологических различий на рельефообразование в нашей науке существует и некоторое обобщенное представление о противоденудационной стойкости пород, основанное на том, что горные породы сложены различными пороодообразующими минералами. А отношение минералов разного