

## ГИПОТЕЗА О ПРИЧИННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ МАГМАТИЗМОМ И СЕЙСМИЧНОСТЬЮ НА ТЯНЬ-ШАНЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Т. П. Грин

*Кыргызстан, Институт сейсмологии*

Обсуждаются перспективы исследований, которые открывает гипотеза о причинной связи между магматизмом и сейсмичностью на Тянь-Шане. Гипотеза приводит к новому взгляду на причины глобальных явлений и развитие Земли в целом

Настоящая статья подготовлена на основе доклада, сделанного автором на Третьем международном симпозиуме по проблемам геодинамики и геоэкологии высокогорных регионов, проходившем в Бишкеке осенью 2005 г. [1, 2].

Хотелось бы начать с одного поучительного высказывания о роли научного эксперимента. Оно принадлежит известному астрофизику М.Шварцшильду: «Если Вселенная управляется простыми универсальными законами, то разве чистое мышление оказалось бы не способным открыть эту совокупность законов? Тогда не нужно было бы опираться на наблюдения, которые приходится производить с таким трудом. Хотя законы, которые мы стремимся открыть, быть может, и совершенны, но человеческий разум далек от совершенства; представленный самому себе он склонен заблуждаться, чему мы видим печальное подтверждение среди бесчисленных примеров прошлого. Действительно, мы очень редко упускали возможность впасть в заблуждение; только новые, полученные из наблюдений данные, с трудом отвоеванные у природы, возвращали нас на правильный путь» [3, с. 19]. Хорошо сказано. Из истории наук о Земле можно привести немало примеров, когда крупные гипотезы, просуществовав десятки и даже сотни лет, вступали затем в противоречие с новыми данными и их приходилось пересматривать. Такое положение сложилось и в сейсмологии к началу 80-х годов прошлого века после 50 лет инструментальных наблюдений. Очень непростым оказался вопрос о том, что такое сейсмичность.

Инструментальные наблюдения за землетрясениями Средней Азии начались в 30-х годах прошлого века. Но представления об их причинах уже имелись. Они базировались на существовавших в то время гипотезах горообразования. Это были

гипотезы чисто механического толка. Согласно одной из них рост гор происходит под воздействием горизонтальных (тангенциальных) сил сжатия. Согласно другой — в результате дифференцированных вертикальных движений участков земной коры (первичный тектогенез), а затем действия сил гравитации (вторичный тектогенез). Представления сейсмологов о том, как сейсмический процесс должен выражаться в пространстве и во времени, как он должен быть связан с геологическим и тектоническим строением, строились именно на этих гипотезах. Е.А. Розова была первой, кто сопоставил эти гипотетические представления с тем, что наблюдается в действительности. Она проанализировала карту эпицентров землетрясений Средней Азии за 1941—1948 годы. Отсутствие закономерностей в распределении эпицентров и их связи с так называемыми «живыми тектоническими линиями» (т.е. разломами) позволило ей усомниться в правильности существующих представлений и высказать мысль о том, что «причиной возникновения этих землетрясений не является перемещение масс, находящихся на земной поверхности, но что-то другое...» [4].

Новый этап в истории сейсмических наблюдений на территории Средней Азии начался после Ашхабадского землетрясения 1948 года. Советское правительство отпустило большие денежные средства на развитие сейсмологии и работы по поиску предвестников сильных землетрясений. Общее руководство заданием было поручено академику Г.А. Гамбурцеву. Была составлена большая программа действий. В неё входило создание новых сейсмических приборов, переоснащение существующих и строительство новых сейсмических станций, организация научных учреждений по сейсмологии в союзных республиках и мн. другое. Но самое сложное состояло в том, чтобы направить работы по поиску предвестников, определить научные направления этих исследований.

Г.А. Гамбурцев исходил из представлений о блоковом строении земной коры. Разломы между блоками он называл «сейсмическими швами». Во всём комплексе прогнозных исследований перво-степенное значение он придавал детальным сейсмическим наблюдениям и высказал ряд гипотез о том, как должна проявляться сейсмичность (т.е. чего следует ожидать). Эти гипотезы были абсолютно логичны. Согласно одной из них, должна иметь место коцентрация слабых землетрясений вдоль активных сейсмических швов, согласно другой — должна наблюдаться их миграция вдоль этих швов. Г.А. Гамбурцев полагал также, что между сильными и слабыми землетрясениями должна существовать связь и тогда, наблюдая за слабыми, можно будет предсказывать места возникновения сильных. Следует заметить, Г.А. Гамбурцев нигде не утверждал, что должно быть именно так. Эти гипотезы рекомендовалось просто проверить на материале детальных сейсмических наблюдений [5, 6]. Самому ему не довелось увидеть результатов этих наблюдений. Григорий Александрович скончался внезапно и рано в 1955 году.

Но научные идеи определились, их предстояло проверить. В 50—70-х годах детальные сейсмические наблюдения были проведены во многих районах Средней Азии. Главные закономерности сейсмического процесса были установлены, но ожидания не подтверждались. Закономерности «поведения» многочисленных слабых землетрясений оказались иными. Явной концентрации слабых землетрясений вдоль разломных зон не наблюдалось. Временной ход сейсмичности тоже оказался другим. Вместо миграций значительная доля сейсмической энергии выделялась «вспышками», т.е. в виде появления и исчезновения во времени отдельных скоплений эпицентров.

Не подтвердилось также предположение о возможном существовании прямой связи между сильными и слабыми землетрясениями. Уже в 60-х годах у В.К. Пшенникова сложилось представление о двух видах сейсмичности (фоновая и сильные землетрясения) [7, с. 17, 29]. Сопоставления карт плотности сейсмического фона с местоположением эпицентров сильных землетрясений показывали, что последние возникают как в зонах скопления слабых, так и вне их. Одним словом, структурное положение слабых и сильных  $M \geq 6,5$  землетрясений оказалось разным. Сильные происходят в пределах межгорных впадин, чаще вдоль их бортов, тогда как слабые — в окружающих впадинах хребтах.

Афтершоковая деятельность тоже не находила обстоятельного объяснения. Попыты по разрушению горных пород в лабораторных условиях показывали, что взрывоподобному разрушению образцов предшествуют многочисленные микротрещины. Выражаясь просто, порода сначала трещит, а потом разрушается. На этой основе сложилось мнение, что сильным землетрясениям должны предшествовать слабые форшоки. Но наблюдения показывали, что имеет место обратная картина. Сильные землетрясения возникают без предваряющих микроземлетрясений, а уже потом сопровождаются афтершоками.

К началу 80-х новые данные появились и в ходе изучения очагов слабых землетрясений [8]. Казалось бы, очаги слабых землетрясений должны представлять собой трещины скола, либо подвижки по готовым трещинам. Однако измерения на сейсмограммах показывали, что далеко не все очаги дают диаграммы излучения, соответствующие трещинам скола. Автор указанной работы разделил все источники на два типа. К первому из них относились трещины скола, ко второму — очаги с более сложным взрывоподобным излучением. Оказалось также, что временное поведение землетрясений второго типа прямо противоположно поведению землетрясений сколового типа — они появляются группами и образуют рои, тогда как первые происходят в виде единичных событий.

Одним словом, ожидалось увидеть одно, но наблюдалось нечто другое. Фактический материал просто противоречил вышеупомянутым гипотезам о механизме роста гор и землетрясений. Возникло состояние неопределенности, вера в перспективность прогнозных исследований ослабла. Но отрицательный результат — тоже результат. Постепенно становилось понятным, что существующие представления о природе сейсмичности в областях горообразования являются просто исторически первыми. Они возникли, так сказать, «авансом», т.е. без участия сейсмических данных. Теперь эти данные имеются. Это и есть тот самый фактический материал, на основе которого следует строить представление о том, что такое сейсмичность.

Но одних сейсмических данных было бы недостаточно. Ко второй половине прошлого века в геологии по проблеме горообразования оформилось новое направление мысли. Ещё в 30-х годах французский геолог Р. Перрен предложил теорию «метаморфизма, формирующего складчатость». Эта теория основывалась на предположении, что метаморфизм сопровождается увеличением объ-

ема. Примерно в те же годы А.Е. Ферсман высказал аналогичную мысль: «Само вещество, законы сил, заложенные в атоме, определяют собой судьбу земной коры... образование горных хребтов и глубоких геосинклиналей есть результат, а не причина определенных геохимических процессов». Во второй половине века эти идеи развивали И.А. Резанов и С.А. Захаров. Резанов считал, что земная кора сама способна породить тектонические движения и, в частности, образование гор. Он связывал горообразование с увеличением объема вещества и гранитизацией [9]. А вот представление Захарова: «...складки складчатых систем могут быть созданы только усилиями, возникающими внутри слоистых толщ вследствие преобразования в механические силы энергии, вносимой в породы в других формах... Рассмотрение возможных факторов приводит к выводу, что только региональный метаморфизм, начиная со стадии катагенеза (позднего диагенеза), может вызвать достаточное дифференцированное увеличение объема пород вследствие иммиграции вещества, химической и тепловой энергии. Изменение объема создает стресс, действие которого совместно с перекристаллизацией, приводит к послонному течению пород» [10].

Эти представления способствовали разрешению нашей задачи. Они показывали, что тектонические силы (вертикальные или горизонтальные), действующие извне, не являются единственно возможными причинами появления упругих напряжений (стресса) в земной коре. Всё становилось на свои места. Закономерности проявления слабых землетрясений соответствовали именно этому новому направлению мысли о причине горообразования. Многочисленные слабые землетрясения, сопутствующие росту гор, с такой точки зрения имеют не просто механическое происхождение, а связаны с эволюцией самого вещества земной коры под воздействием поступающей из глубины энергии и увеличением его объема. Вышесказанное было опубликовано автором настоящей статьи в начале 80-х [11]. Но вполне обоснованной гипотезы в указанной статье не получилось. Требовалось дополнительное время, чтобы глубже осознать проблему. С другой стороны, срок для восприятия нового ещё не наступил. Устоявшиеся представления были слишком сильны.

В период 80—90-х накопление фактических данных продолжалось. Результаты этих исследований опубликованы в десятках статей сотрудников Института сейсмологии НАН КР. Автор настоящей статьи в эти годы занимался вопросами скоростно-

го строения сейсмоактивного слоя и распределения сейсмической активности по глубине [12, 13]. К началу нового века наши сведения о сейсмичности сводились, в основном, к следующему.

1. Толщина земной коры на Тянь-Шане 60 км, но сейсмически активна не вся земная кора, а лишь её гранито-метаморфический слой.

2. В пределах гранито-метаморфического слоя сейсмическая активность распределена не равномерно, а приблизительно по нормальному закону с максимумом на глубине 12—15 км.

3. Сильные землетрясения возникают внезапно, без предваряющего сейсмического шума и, как правило, сопровождаются афтершоковой деятельностью, которая продолжается месяцами и даже годами.

4. Эпицентры слабых землетрясений не распределены равномерно по площади. Они образуют скопления как в зонах разломов, так и вне их. Это свойство группировки землетрясений.

5. Значительная часть сейсмической энергии выделяется «вспышками», т.е. в виде появления и исчезновения во времени отдельных скоплений эпицентров.

6. Имеет место влияние крупных разломов. Особенно Таласо-Ферганского. По разные стороны от него уровень сейсмической активности различен.

7. Вокруг межгорных впадин происходит много землетрясений. Сами же впадины слабо сейсмичны и даже асейсмичны. В центре Ферганской впадины, например, активность резко снижается, а под Иссык-Кулем землетрясений почти не бывает.

8. Прямая связь между сильными и слабыми землетрясениями отсутствует. Тектоническое (структурное) положение крупных землетрясений с  $M \geq 6,5$  и слабых различно. Крупные приурочены к межгорным впадинам, чаще к их бортам, слабые же происходят в окружающих хребтах.

9. Далеко не все очаги слабых землетрясений по характеру излучения соответствуют трещинам скола или подвижкам по готовым трещинам. Наблюдается большее разнообразие источников.

10. Имеет место реакция термальных источников на землетрясения, происходящие в районе их расположения.

Распределение гипоцентров землетрясений по глубине — важнейшая пространственная закономерность сейсмического процесса. Выяснение этого вопроса оказалось очень трудоёмким делом. Он возник с самого начала инструментальных наблюдений и имеет уже 70-летнюю историю.

Е.А. Розова в своё время полагала, что землетрясения на Тянь-Шане происходят не только в земной коре, но и под ней, и что глубины их гипоцентров достигают 200 км. Мы видим теперь, насколько неточными были первые представления. Выяснение истины шло постепенно и, пожалуй, только теперь, на основе данных наблюдений американской телеметрической сети KNET, мы получили о ней достаточно точное представление. В связи со сказанным, считаем необходимым ненадолго отклониться от основного курса и сообщить здесь эту новую, наиболее точную информацию, полученную автором в последнее время (см. Отчёт о работах ОМСЭ в 2002—2003 гг., с.74—99). В этой работе одновременно исследовано два вопроса — скоростное строение сейсмоактивного слоя в районе расположения KNET и распределение сейсмической активности по глубине в пределах этого слоя. Всего в составе американской телеметрической сети работало 10 сейсмических станций. Все эти станции расположены западнее оз. Иссык-Куль в пределах прямоугольника, размеры которого составляют 210 км с востока на запад и 140 км — с юга на север. Для исследования применён метод сейсмического просвечивания [12].

Суть исследования состоит в следующем. Глубины всех событий, происходящих в пределах KNET, с высокой точностью определять не удаётся. Однако глубины землетрясений, происходящих непосредственно под сейсмическими станциями

(когда выполняется условие  $h \geq D$ , где  $h$  — глубина гипоцентра, а  $D$  — эпицентральное расстояние до ближайшей станции), можно определять с высокой точностью  $\pm 2$  км. Для этого достаточно знать разности S-P на этой ближайшей станции и точное местоположение эпицентра данного землетрясения. Шесть (из десяти) станций KNET оказались расположенными в высокосейсмичных местах. За семилетний срок наблюдений (1995—2001) под каждой из этих станций произошло по несколько десятков землетрясений. Из этих землетрясений мы отобрали те, что были зарегистрированы по крайней мере в 6—7 точках наблюдения. Всего таким способом были определены глубины гипоцентров 310 слабых землетрясений и микроземлетрясений с  $5 \leq K \leq 8$ . Разности S-P на ближайших станциях варьировали в пределах от 0,7 до 4,4 с, а гипоцентральное расстояния — от 5,6 до 35 км. Столь большое количество событий с точно определёнными глубинами позволило, наконец, составить достаточно точное представление о распределении сейсмической активности по глубине. От этих землетрясений строились также годографы первых вступлений P- и S-волн. Длина годографов достигала 150—200 км. Это позволило детально «просветить» скоростное строение сейсмоактивного слоя и сопоставить его с распределением гипоцентров по глубине. Картина (если двигаться снизу вверх) выглядит следующим образом (рис. 1).

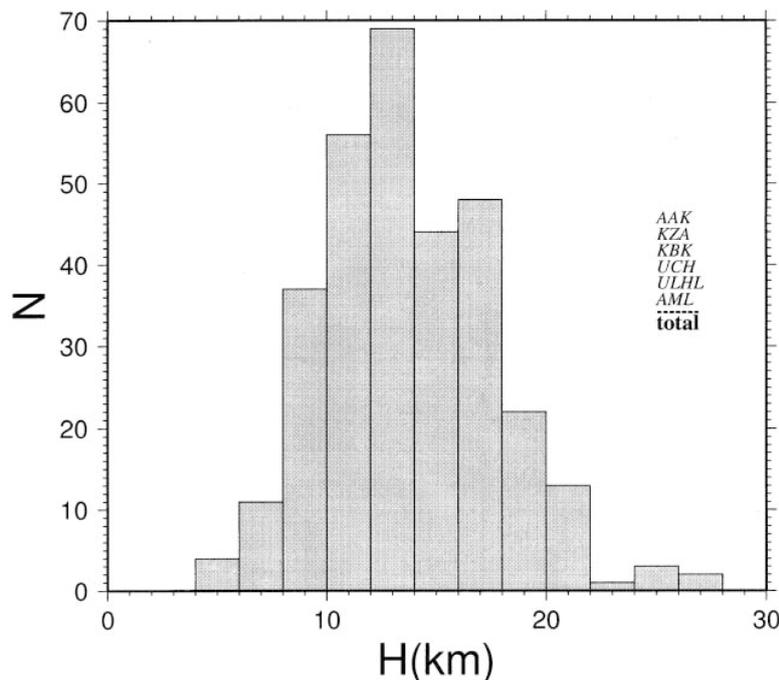


Рис. 1. Сводная гистограмма распределения гипоцентров землетрясений по глубине под сейсмическими станциями KNET

Первые землетрясения появляются на глубине 27 км. Скорости продольных волн на годографах от землетрясений такой глубины равны 6,8—6,7 км/с. Измерения скоростей продольных волн в образцах горных пород различного состава показывают, что значение 6,7 км/с является предельно высоким для пород кислого состава. И, наоборот, это значение является нижним пределом для пород основного состава [14]. Сейсмический процесс, таким образом, «начинается» от поверхности «базальтового» слоя земной коры. Однако в пределах первых шести километров он остаётся слабым и проявляется не повсеместно, а только в некоторых местах. Другими словами, в интервале от 27 до 21 км землетрясений очень мало; при этом они происходят не везде, т.к. отмечены только под тремя станциями (из шести) всего в количестве 7 штук.

На глубине 21—20 км сейсмический процесс резко усиливается. При этом землетрясения появляются уже под всеми станциями. Скорости на годографах от землетрясений этой глубины снижаются до 6,5—6,4 км/с. По всей вероятности, это явление повсеместно, т.е. имеет место во всех сейсмоактивных зонах. Резкое усиление сейсмической активности, как видим, происходит на уровне поверхности, выше которой земная кора заведомо сложена гранитами и метаморфическими породами кислого состава. Слабая активность и значения скоростей указывают на то, что между «базальтовым» и «гранитным» слоями граница не резкая, а существует некоторый переходный слой мощностью около 6 км, скорости в котором снижаются от 6,8—6,7 до 6,5—6,4 км/с.

Далее при движении вверх сейсмическая активность быстро усиливается, и в интервале 14—12 км достигает максимума. Скорости в этом интервале равны 6,2—6,0 км/с. В целом по данным всех станций основная масса землетрясений происходит в диапазоне от 21 до 7 км. Иными словами, высокая сейсмическая активность имеет место лишь в пределах гранито-метаморфического слоя, подошва которого проходит по глубине 21 км. На глубине 7 км сейсмический процесс резко ослабевает. Более мелкие землетрясения с глубинами гипоцентров около 5 км бывают, но их мало. При этом они тоже происходят не везде, т.к. отмечены только под двумя станциями в количестве всего 4 штук. В интервале глубины 7—5 км скорости имеют значения 5,9—5,8 км/с.

Этот результат оказался для нас в какой-то мере неожиданным. Ещё совсем недавно мы были почти уверены, что сейсмический процесс прекраща-

ется на глубине около 3 км. Теперь же оказывается, что верхняя асейсмичная толща почти вдвое мощнее. Но, с другой стороны, полученный результат вносит большую ясность. Дело в том, что слабых землетрясений с  $K=8-10$  и землетрясений средней силы с  $K=11-12$  очень много. Землетрясения с  $K=8-9$  — достаточно сильные источники. Если сейсмический процесс приближался бы вплотную к дневной поверхности (точнее к поверхности кристаллического фундамента), то слабые землетрясения и землетрясения средней силы разрушали бы всё. Нас защищает от них верхний 5—7 километровый асейсмичный слой. Этот, если можно его так назвать, «защитный» слой для землетрясений такой силы «непробиваем». Реальный ущерб начинают приносить землетрясения с  $K=13$ . Но таких событий уже мало.

Установленный факт нужно теперь объяснять. Здесь предстоит искать ответы на 4 неразрывно связанных вопроса: почему сейсмический процесс начинается на глубине 27 км; по какой причине он резко усиливается на глубине 21 км; с чем связан максимум сейсмической активности в интервале 12—14 км; почему сейсмический процесс полностью прекращается в 5—7 км от земной поверхности. Объяснить это, основываясь на простых механических представлениях о природе сейсмичности (например, с точки зрения гипотезы тангенциальных сжатий) не представляется возможным.

Попытки истолковать отдельные закономерности в 80—90-х годах, конечно, были. Но проблема в том, что привлекать (или предлагать) для объяснения каждой закономерности свою «удобную» для этого гипотезу было бы неправильно. В таком случае потребовалось бы много гипотез, тогда как истина одна. Совершенно очевидно, что вышеперечисленные факты определяются природой сейсмического процесса, и поэтому все они должны объясняться с единой точки зрения, т.е. с точки зрения одной гипотезы. Наша гипотеза была доложена в 2002 году на Втором международном симпозиуме по проблемам геодинамики [15, 16]. Второй раз она докладывалась на Международной конференции «Современная геодинамика и геоэкология Тянь-Шаня», посвященной 50-летию НАН КР и проходившей в Бишкеке 27—29 сентября 2004 года в Институте геологии. Гипотеза позволяет с единой точки зрения наметить пути к объяснению вышеперечисленных закономерностей. В рамках настоящей статьи мы не можем рассмотреть все закономерности. В качестве при-

меров коснёмся лишь второй, четвёртой и шестой из них. Седьмая (асейсмичность межгорных впадин) будет рассмотрена в последнем разделе настоящей статьи.

С точки зрения нашей гипотезы наблюдаемое распределение сейсмической активности по глубине определяется действием магматизма при движении снизу вверх, отражает динамику того, как он постепенно останавливается в пределах гранито-метаморфического слоя и как создаётся слоистое строение среды. На Тянь-Шане магматизм проявляется в скрытой (плутонической) форме [17]. Магматические растворы-расплавы зарождаются в областях высоких давлений и температур, и потому могут существовать только при таких условиях. Назвать точно глубину, где берут начало растворы-расплавы сложно. Это может быть верхняя мантия, но могут быть и нижние слои земной коры. По современным представлениям температура на подошве земной коры составляет 1000—1100°С. На уровне поверхности «базальтового» слоя, откуда магматические растворы-расплавы начинают внедряться в пределы гранито-метаморфического слоя, температура должна снизиться до 700—800°С. Химический состав вмещающей среды тоже меняется, и магматические растворы-расплавы начинают «разрушаться», т.е. терять отдельные компоненты. На уровне поверхности 20—21 км температура и давление опускаются ещё ниже, а химический состав среды становится кислым. В таких условиях магматические растворы-расплавы существовать уже не могут и начинается их быстрое разрушение. Среди газовых компонент гранитоидного магматизма первое место занимает вода. Её содержание может составлять несколько процентов по весу. В пределах сейсмоактивного слоя температура при движении вверх должна снижаться гораздо быстрее, чем в интервале от 60 до 27 км. Однако это быстрое падение температуры замедляется радиоактивным теплом, которое начинает добавляться в пределах гранито-метаморфического слоя. На глубине 15 км температура находится на уровне порядка 400°С. Очень может быть, что максимальная сейсмическая активность в интервале 12—14 км связана со снижением её до критической 374°С, где вода из газообразного состояния должна переходить в жидкость. Здесь магматический раствор-расплав разрушается окончательно, и здесь «откалывается» основная масса сиалического материала. На этих глубинах процессы гранитообразования, метаморфизма и, следовательно, увеличения объёма вещества долж-

ны быть максимальными. Далее с уменьшением глубины действие магматизма меняется. Здесь могут протекать уже гидротермальные процессы с образованием жил и даек.

Магматизм в местах своего действия разрушает старую кристаллическую структуру и создаётся новая. Давления, существующие в пределах гранито-метаморфического слоя, не являются преградой для межатомных сил. Атомы новых (привнесённых) химических элементов занимают своё место в кристаллической структуре, объём вещества увеличивается, земная поверхность поднимается и одновременно создаются горизонтальные сжатия. В результате возникает множество разрывов-трещин (т.е. очагов слабых землетрясений). Эти разрывы-трещины сопутствуют и способствуют магматизму. На глубине 5—7 км магматизм полностью останавливается. Выше поднимаются лишь ювенильные воды с небольшим количеством растворённого в них минерального вещества и газами. Они участвуют в образовании месторождений термальных вод и термальных источников. Нетрудно видеть, что реакцию термальных источников на землетрясения, возникающие в районе их расположения, с нашей точки зрения объяснить гораздо проще, чем на основе прежних представлений. Отсутствие землетрясений в пределах верхнего 5—7 километрового слоя объяснить, пожалуй, несложно. Поверхность этого слоя свободна, источники напряжений в нём самом отсутствуют, он расколот многочисленными разломами-трещинами. Его участки (или блоки) целиком перемещаются по готовым трещинам без значительных деформаций. Больших напряжений, необходимых для возникновения разрывов (т.е. очагов землетрясений), в них просто не накапливается.

Мы попытались истолковать сводную гистограмму распределения сейсмической активности по глубине, полученную по данным шести станций. Если, однако, нашу сводную гистограмму разделить на составные части и посмотреть на распределение сейсмической активности по глубине под отдельными точками, то увидим следующее. Под станциями КВК и АМЛ (Карагай-Булак и Алмалы-Ашу) максимум сейсмической активности приходится на интервал 8—10 км, под станциями УЛНЛ и ААК (Улахол и Ала-Арча) — на интервалы 10—12 и 12—14 км соответственно, под станциями же КЗА и УСН (Кызарт и Учтор) — на интервалы 16—18 и 18—20 км. Разница в положении максимумов под разными точками наблюдения, как видим, двойная и достигает 10 км. Геотермические

измерения показывают аналогичную картину. В скважинах, пробуренных в пределах межгорных впадин Тянь-Шаня, тепловой поток сильно меняется от места к месту. В интервале глубин от 1000 до 1500 м геотермический градиент варьирует от  $1,6^{\circ}\text{C}/100\text{м}$  до  $5,1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$  [18, с. 172]. Разница в значениях достигает трёхкратной величины. Экстраполировать столь большие различия на большие глубины, конечно, нельзя, однако в пределах сейсмоактивного слоя температура под такими точками должна сильно различаться.

И те, и другие данные свидетельствуют об одном и том же — о неравномерном по мощности распределении магматизма по площади. Этим, скорее всего, и объясняется свойство группировки слабых землетрясений. Густые скопления их эпицентров должны наблюдаться там, где мощность магматизма высокая. В таких местах тепловой поток должен быть повышенным, а в асейсмичных — пониженным. Межгорные впадины слабо сейсмичны и даже асейсмичны. Вокруг же межгорных впадин сейсмичность, как правило, высокая. Следует поэтому ожидать, что в окружающих впадины хребтах тепловой поток будет выше. Данные геотермических измерений подтверждают сказанное. В горном обрамлении Ферганской впадины тепловой поток усиливается более чем в два раза (Кураминская аномалия теплового потока) [18, с. 176]. Автор указанной монографии приводит также данные по другим регионам, в которых положительные вертикальные тектонические движения за неоген-четвертичное время тесно коррелируют с большими значениями теплового потока, тогда как отрицательные движения — с низкими его величинами. Далее в этой же монографии делается вывод о том, что «слой пород, сохранивших магнитные свойства, под впадинами имеет существенно большую мощность, чем в окружающих хребтах. Это обстоятельство и определяет в целом повышенный уровень магнитного поля над впадинами и пониженный над хребтами». Мы видим, как, казалось бы, очень разные по природе явления увязываются между собой.

Влияние Таласо-Ферганского разлома на сейсмичность замечено давно. В.И. Кнауф обращал на это явление особое внимание и объяснял разницей в механических свойствах вещества по разные стороны от него [19]. С точки зрения нашей гипотезы рассматриваемое явление истолковывается несколько иначе. Уровень сейсмической активности должен определяться тремя факторами: веществом состава среды, составом магматизма и

его интенсивностью. Между регионами Тянь-Шаня, разделёнными Таласо-Ферганским разломом, имеется большая разница в геологической истории и вещественном составе верхних толщ. К юго-западу от разлома граниты слабо развиты, и обширные участки кристаллического основания сложены породами основного и даже ультраосновного состава. При столь существенных различиях в химическом составе среды даже при одинаковом составе магматизма сейсмичность будет неодинаковой. Но, скорее всего, различия есть не только в составе вещества сейсмоактивного слоя, но и в составе самого магматизма. Об этом свидетельствует, например, разница в содержании фтора в водах термальных источников Тянь-Шаня, находящихся по разные стороны от Таласо-Ферганского разлома. В источниках к северо-востоку от разлома наблюдаются высокие концентрации фтора. Так, в водах месторождения Аламедин содержание фтора составляет  $10\text{ мг/л}$ , Иссык-Ата —  $11$ , Аксу (Теплоключенка) —  $11$ , Керегеташ —  $12$ , Чон-Кызылсу —  $9$ . Тогда как в термальных источниках, расположенных к юго-западу от Таласо-Ферганского разлома, содержание фтора на порядок ниже. Оно характеризуется следующими цифрами: Карашура —  $0,4\text{—}0,8\text{ мг/л}$ ; Кагаро-Матур —  $0,4\text{—}0,7$ ; Конур-Тюбе —  $1,0\text{—}1,4$ ; Колубек —  $0,2$ ; Джалал-Абад —  $0,1\text{—}5,0$ ; Кочкор-Ата —  $0,7\text{—}1,2$ ; Гульча —  $0,2\text{—}0,6$ ; Кадамжай —  $0,2\text{—}0,6$  [18, с. 193]. По мнению А.П. Виноградова, фтор генерируется веществом мантии. Эта десятикратная разница в содержании фтора указывает не только на различие в химическом составе магматизма, действующего в пределах рассматриваемых частей Тянь-Шаня, но и о разных глубинах его зарождения. Образование гранитов у поверхности — общая тенденция развития континентальной земной коры. По разные стороны от разлома она находится на разных этапах своего развития. Весьма вероятно, что более высокий уровень сейсмичности к юго-западу от Таласо-Ферганского разлома связан с интенсивной гранитизацией пород меланократового основания.

Наши рассуждения не претендуют на многое; мы попытались наметить лишь возможные варианты объяснений в рамках своей гипотезы. Ясно одно, интерпретация любой из вышеперечисленных закономерностей сейсмического процесса — большой самостоятельный вопрос, и здесь открывается широкий фронт новых исследований. В конечном счёте нам нужна теория сейсмического процесса. Такая теория может вырасти только на основе правильной гипотезы. Но это лишь одна

сторона. Это применение гипотезы к решению региональных вопросов.

Открывается еще одно направление исследований. Дело в том, что горообразование и сейсмичность, если рассматривать эти явления в глобальном масштабе, представляют собой наиболее яркие проявления тектонического развития Земли. Если поверить в нашу гипотезу, если допустить, что она в принципе верна, то это меняет многое. Открывается путь к решению вопроса о росте материков и, более того, оказывается возможным, как это не покажется поначалу странным, назвать причину рифтообразования на дне океанов. Выстраивается новый взгляд на развитие Земли в целом. Однако в настоящее время уже существует несколько глобальных гипотез. Каждая из них предлагает свою трактовку тех же явлений, своё возможное направление мысли. Противоречия между гипотезами общеизвестны. По этой причине, прежде чем говорить о новом, необходимо рассмотреть вопрос о требованиях, предъявляемых к глобальным геотектоническим гипотезам. Без этого, если можно его так назвать, предисловия, воспринять содержание последнего раздела настоящей статьи было бы труднее.

### **ГЛОБАЛЬНЫЕ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ГИПОТЕЗЫ И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНКИ. ОЦЕНКА ТЕКТониКИ ПЛИТ**

В науках о Земле имеется много, если можно их так называть, «малых» гипотез. Эти гипотезы посвящены отдельным наиболее ярким явлениям. К ним относятся, например, гипотезы горообразования, гипотезы о происхождении гранитов, о причинах землетрясений, о механизме рифтообразования на дне океанов и мн. другие. Малые гипотезы играют ключевую роль. Если причины всех этих явлений нам стали бы вдруг понятными, то мы без труда составили бы общую картину развития Земли. Однако это проблемы. Они быстро не решаются. Поэтому путь к теории развития Земли идет через глобальные гипотезы. Любая из них стремится охватить как можно больший круг явлений, логически увязать их и представить картину развития Земли в целом. Успех глобальной гипотезы зависит от того, насколько верно она трактует охватываемые явления, насколько верно устанавливает между ними причинно-следственные связи. Если трактовка ошибочна, то стройной картины не получится, а явления будут выглядеть разрозненно, бессвязно.

Любая глобальная геотектоническая гипотеза является, таким образом, «пробой сил» на пути к

теории развития Земли. Высказывания по этому коренному вопросу естествознания можно найти в работах О.Ю. Шмидта, В.А. Магницкого, В.В. Белоусова, В.Е. Хаина. Хорошая глобальная геотектоническая гипотеза должна удовлетворять ряду требований.

1. Она должна иметь «начало», т.е. исходить из определённых космогонических представлений об образовании и первоначальном состоянии Земли.

2. Иметь понятный движущий механизм (первопричину развития Земли).

3. Решать вопрос о происхождении материков и океанов.

4. Быть диалектичной, т.е. не быть ограниченной каким-то отрезком времени, показывать направленность развития Земли, предсказывать её будущее.

5. Отвечать на вопрос о том, что происходит с Землёй в настоящее время. Для этого объяснять и увязывать между собой важнейшие глобальные тектонические явления

- вековые колебания земной коры,
- горообразование на материках,
- магматизм,
- землетрясения ( сейсмичность в разных тектонических зонах ),
- рифтообразование на дне океанов,
- островные дуги и сопряжённые с ними глубоководные желоба.

Эти требования могут служить критериями оценки любой глобальной гипотезы.

Всё начинается с объяснения отдельных явлений (критерий 5). До середины прошлого века наука ограничивалась рассмотрением лишь первых четырёх из них. Любой курс геологии, изданный в 50-х годах, строился на описании этих четырёх явлений и рассмотрении гипотез об их причинах. Исследование дна океанов в 50-х годах привело к открытию системы срединно-океанических хребтов с рифтовыми долинами посередине. Были получены также новые данные по континентальным окраинам, островным дугам и сопряжённым с ними глубоководным желобам. Картина усложнилась. К четырём уже известным глобальным явлениям добавились два новых.

Тектоника плит «начиналась» с малой гипотезы — с гипотезы раздвижения океанического дна, т.е. с объяснения одного (пятого) явления. Очень скоро она была дополнена новыми идеями и переросла в глобальную [20]. Часто эту гипотезу называют даже теорией. Но разница между терминами «теория» и «гипотеза» огромна. Гипотез

может быть несколько, но теория — только одна. Попробуем применить к тектонике плит наши критерии.

Согласно тектонике плит вдоль срединно-океанических хребтов дно океанов раздвигается с такой силой, что приходит в движение вся литосфера. В зонах глубоководных желобов происходит поддвижение (субдукция) океанической литосферы под островные дуги. Если не задаваться вопросом о движущем механизме, то гипотеза, на первый взгляд, увязывает два последних явления.

*Трактовка сейсмичности* занимает ключевое положение в гипотезе. Землетрясения происходят в трёх очень разных тектонических условиях — на материках в областях горообразования, вдоль островных дуг и глубоководных желобов, а также вдоль рифтов на дне океанов. С точки зрения механизма тектоники плит понять сейсмичность вместе с закономерностями её проявления одновременно во всех зонах сложно, особенно в областях горообразования. На Тянь-Шане, например, закономерности проявления сейсмического процесса явно не соответствуют механизму горизонтальных сжатий. Бросается также в глаза энергетическое несоответствие. Вдоль рифтов, где согласно тектонике плит находится движущий механизм, сейсмичность слабая и мелкофокусная. Вдоль же островных дуг (т.е. там, где следствие) она на порядок интенсивнее и, кроме того, глубоководнофокусная. Получается так, что энергетически слабый процесс порождает грандиозные явления — субдукцию и надвигание Ю. Америки на дно океана.

*Горообразование.* Тектоника плит — глобальная гипотеза. Её механизм приводит в движение всю литосферу. В таком случае горы могли бы вырастать где угодно. Однако у горообразования нет глобальной причины. Это чисто континентальное явление. Мы нигде не видим, чтобы горы «уходили» с континента в океан. Они обрезаны береговыми линиями. В своё время это явление не объяснила гипотеза контракции, а теперь не удаётся объяснить с позиций тектоники плит. Тектоника плит предлагает объяснение для Гималаев и американских Кордильер. Но есть не только эти горные системы. Горы есть внутри материков, на островах и полуостровах. Как применить механизм тектоники плит ко всему этому ?

*Магматизм.* Если посмотреть как «встроено» это глобальное явление в тектонику плит и какая роль ему отводится, то ясности не прибавится. Проявления магматизма в этой гипотезе рассмат-

риваются, но рассматриваются в зонах контакта плит. В зонах субдукции, например, он объясняется трением верхней части погружающейся океанической пластины о сопредельные части мантии. Магматизм выглядит здесь как следствие какого-то механизма, приводящего в движение литосферные плиты. Но как быть с магматизмом внутри плит? Земная кора материков состоит из магматических и метаморфических пород. Магматизм действовал в течение всей геологической истории. Он создал материки и океаны. Это самое мощное явление из всех известных. Совершенно очевидно, что магматизм, как явление в целом, невозможно подчинить механизму тектоники плит. Стройной картины не получается, явления разобщены. Но так не должно быть, потому что это явления глобальные.

Можно поднять *вопрос о диалектичности* гипотезы (критерий 4). На Земле есть материки и океаны. Это структуры № 1 и, прежде всего, должен решаться вопрос об их образовании. Тектоника плит «двигает» уже готовые плиты. Дрейф начался где-то в палеозое и продолжается сейчас. Но вечного ничего нет. Возникают простые вопросы. Когда закончится дрейф? В чём направленность развития? Ответа нет. У тектоники плит нет начала и не видно конца.

Если гипотеза в принципе верна, то должна быть видна перспектива её развития. У тектоники плит этой перспективы не видно. Ошибка, скорее всего, в исходной идее — в определении причины рифтообразования на дне океанов. Неясность вопроса о движущем механизме тектоники плит признаётся во всех книгах, где обстоятельно излагается её содержание.

В адрес тектоники плит высказано много критики. Мы применили свой подход к оценке этой гипотезы. Но высказывать в очередной раз критические замечания и не предлагать ничего нового было бы бесполезно.

## СЛЕДСТВИЯ ИЗ ГИПОТЕЗЫ

*Горообразование на материках.* Если допустить, что наша гипотеза в принципе верна, то ее следует распространить на все горообразование. На самом деле, если уж горы вырастают на материках, то, скорее всего, вырастают по какой-то одной причине.

Слабость представлений о том, что горы образуются в результате боковых сжатий, состоит ещё и в том, что такой механизм не будет приводить к увеличению мощности земной коры, к накоплению ее вещества за счет мантии. Наша точка зрения,

что горообразование связано с подъемом вещества из мантии и медленным увеличением объема гранито-метаморфического слоя имеет как раз это огромное преимущество. Закономерности проявления многочисленных слабых землетрясений на Тянь-Шане соответствуют именно этому направлению мысли.

Такая точка зрения открывает путь к решению вопроса о росте материков. На самом деле. На материках нет ни одного места, где бы не было горообразования. Следы древних гор имеются всюду. Более того, это явление многократное на поверхности материков. Даже самые древние участки земной коры хранят следы былых тектономагматических эпох. Надо полагать, материки выросли через многократное горообразование. Одним словом, горообразование это скорее процесс роста материков под воздействием магматизма, чем простое сжатие земной коры горизонтальными силами.

**Сейсмичность Земли.** Если допустить далее, что наша гипотеза в принципе верна, то ее можно распространить на сейсмичность Земли в целом. В глобальном масштабе связь между магматизмом и сейсмичностью замечена давно. Она очевидна. Землетрясения происходят там, где идет вынос энергии из глубины к земной поверхности. На материках это области горообразования, вдоль Тихоокеанского побережья — островные дуги (которые имеют магматическое происхождение), на дне океанов — рифты, образование которых сопровождается магматизмом и сейсмичностью. Эти структуры совершенно различны, не похожи друг на друга. Но всем им присуще, как видим, нечто одно — в их пределах идет вынос энергии из глубины к земной поверхности, т.е. имеет место магматизм. Если принять справедливость такого взгляда на сейсмичность Земли в целом (т.е. общеземной причиной землетрясений считать магматизм), то всё явление становится понятнее.

**Островные дуги и глубоководные желоба.** Одно из интереснейших явлений на Тянь-Шане — слабая сейсмичность (и даже асейсмичность) межгорных впадин и их погружение. Вокруг Иссык-Куля, например, как уже говорилось, происходит много слабых землетрясений, но под дном озера их почти не бывает. Наша гипотеза предлагает объяснение этому [16]. Межгорные впадины — это участки внутри горной системы, где магматизм отсутствует, либо проявляется слабо. По этой причине в их пределах слабые землетрясения не происходят, либо их мало. Погружение

межгорных впадин связано с магматизмом, который имеет место вокруг них. Вещество верхней мантии или низов земной коры (откуда исходит магматизм) отторгает воду и легкие химические элементы, меняет минеральный состав, переходит в более плотное состояние и давление здесь падает. По этой причине межгорные впадины теряют опору снизу; вещество под ними «расступается» в стороны и они погружаются по разломам. Из-за увеличения объема гранито-метаморфического слоя в окружающих зонах, разломы, отделяющие впадины от хребтов, могут иметь не вертикальное падение, а наклонное под хребты. Аналогичное происхождение имеют предгорные прогибы и разломы, отделяющие их от хребтов.

Но нетрудно видеть, что это явление универсально проявляется в разных структурных формах. Наше объяснение приложимо не только к предгорным прогибам, но также к глубоководным океаническим желобам и сопряженным с ними островным дугам. Островные дуги имеют магматическое происхождение; вдоль них имеет место высокая сейсмичность. Дно примыкающего океана из-за оттока вещества в сторону островных дуг, подобно межгорной впадине, теряет опору снизу и погружается, тогда как сами островные дуги, подобно горным хребтам, поднимаются. Возникает региональный дисбаланс в распределении масс. Данные измерений силы тяжести над желобами и островными дугами согласуются с нашим объяснением [21]. Над желобами наблюдаются сильные отрицательные аномалии силы тяжести, что говорит о недостатке масс, тогда как над островными дугами аномалии положительны. Аналогия между предгорными прогибами и глубоководными желобами очевидна. Разница, правда, в том, что предгорные прогибы быстро заполняются осадочным материалом, что сглаживает дисбаланс в распределении масс.

Итак, выстраивается картина, в которой непротиворечиво увязываются четыре глобальных явления — магматизм, горообразование, сейсмичность и глубоководные желоба с островными дугами. Попробуем увязать с этой картиной ещё одно из них.

**Рифтообразование на дне океанов.** Горные системы вырастают за несколько десятков миллионов лет. Тянь-Шань, например, начал расти 35 млн. лет назад. За это время мощность гранито-метаморфического слоя увеличилась на 2—3 км, а дневная поверхность испытала поднятие. Если умножить 2—3 км на площадь всей горной систе-

мы, то получится значительная масса. Если учесть далее, что огромные пространства на материках подвержены горообразованию и прибавить к этому островные дуги, то получится впечатляющая картина. Ведь Земля вращается... Это крайне неравномерное распределение магматизма постоянно создает дисбаланс, который непременно должен каким-то образом устраняться. Представляется, что это достигается за счет рифтообразования.

Поясним сказанное. На рис. 2 дана принципиальная схема (пропорции не соблюдены).

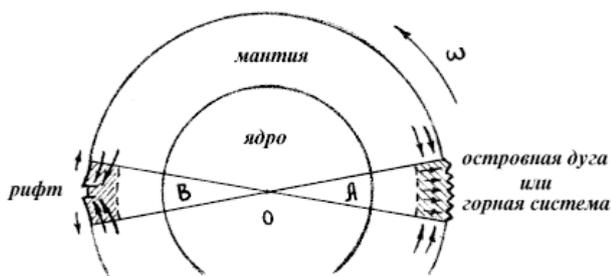


Рис. 2. Принципиальная схема устранения дисбаланса за счет рифтообразования

Показано сечение Земли плоскостью, перпендикулярной оси вращения. Ось вращения проходит через точку О перпендикулярно плоскости рисунка. В секторе А находится островная дуга или горная система. Здесь в пределах тектоносферы действуют глубокофокусный магматизм и сейсмичность. При магматизме часть вещества отторгается и выносится к земной поверхности. Оставшееся вещество верхней мантии переходит в более плотное состояние, и давление здесь падает. Падение давления будет выравниваться за счет медленного притока вещества из соседних областей (показано стрелками). Величина центробежной силы  $F$ , соответствующей тектоносфере в пределах сектора А, выразится формулой:

$$F = \sum \omega^2 m_i r_i,$$

где  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли,  $m$  — небольшие частицы массы,  $r$  — расстояния этих частиц от оси вращения Земли. Из-за того, что тектоносфера в секторе А становится тяжелее, а также из-за того, что часть массы выносится к земной поверхности (т. е. удаляется от оси вращения), центробежная сила  $F$  будет возрастать. Если бы этот дисбаланс не устранялся, появилось бы «биение». Единственный способ устранения дисбаланса — рифт в противоположном секторе В.

Приток вещества мантии в сектор В приподнимет здесь земную кору и разорвет ее. Трещина (рифт) освободит вещество мантии от давления и снизит температуру плавления. Разоуплотненное вещество мантии начнет заполнять раздвигающуюся трещину. Действие магматизма по разные стороны от рифта проявится также в plutонической форме. Из вещества океанической земной коры и базальтового магматизма возникнет подводный хребет с рифтовой долиной посередине.

Явления в секторах А и В совершенно не похожи друг на друга. В первом из них действует естественный магматизм и образуется островная дуга или горная система. В секторе В магматизм будет «вызванным» чисто механической причиной (растяжением). Сейсмичность здесь будет мелкофокусной и менее интенсивной. Однако, с точки зрения механики вращения (устранения дисбаланса) явления в секторах А и В абсолютно адекватны.

Нетрудно понять, почему рифтообразование развито на дне океанов. Это связано с ростом материков, с тем, что источники дисбаланса находятся в их пределах и вдоль их краин. На долю Северного полушария приходится большая активность (больше источников дисбаланса, рис. 3).

Равновесие должно достигаться не только в отдельных дисках, но и между полушариями (между равноудалёнными от экватора дисками). Поэтому рифтообразование сильнее развито в Южном полушарии. При этом наблюдается симметричность. В Северном полушарии (Камчатка, Алеутские острова, Аляска) высокая сейсмичность достигает  $60^\circ$ . В Южном полушарии рифтообразование на дне Тихого океана достигает тех же широт. В целом же оба процесса (т.е. источники дисбаланса и рифты) сосредоточены в интервале  $\pm 60^\circ$ .

Попытаемся истолковать происхождение трансформных разломов. Разделим Землю (мысленно) на ряд дисков какой либо толщины по широте. Вышеописанное равновесие (рис. 2) должно достигаться в каждом из-них. Если источник дисбаланса (например, островная дуга) протягивался бы с Севера на Юг вдоль одного и того же меридиана, то рифт с обратной стороны Земли тоже прошел бы симметрично. Если же островная дуга будет кривой, то рифт с обратной стороны тоже должен быть кривым. Это значит, что для устранения дисбаланса земная кора в пределах разных дисков должна разрываться на разных долготах. Горные системы и островные дуги имеют сложное распределение на поверхности Земли, поэтому рифты образуют сложную систему линий. Но образование непре-

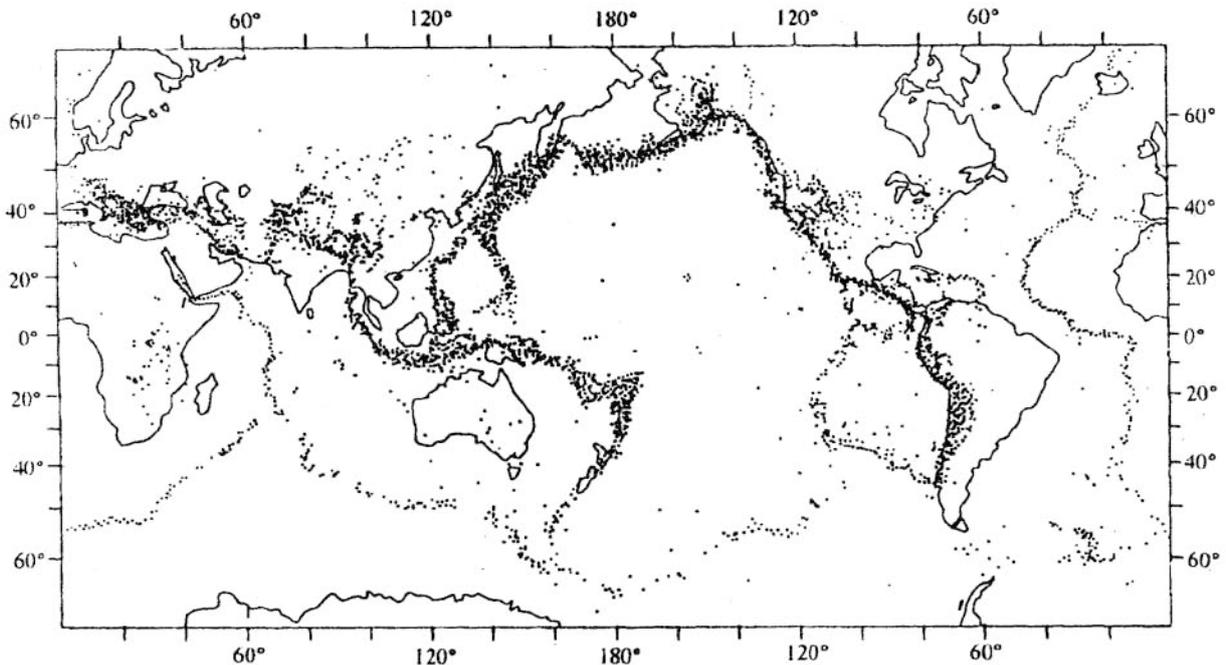


Рис.3. Глобальное распределение эпицентров сильных землетрясений по инструментальным данным за 1961—1967 гг.

рывных криволинейных рифтов невозможно. Они возникают в виде отдельных прямых отрезков, концы которых соединяются трансформными разломами.

В конечном счёте выстраивается иной взгляд на явления. Движущим механизмом является магматизм. Он действовал в течение всей геологической истории и действует сейчас. На материках магматизм вызывает горообразование и сейсмичность. Вдоль побережья Тихого океана он создаёт островные дуги. В зонах своего действия магматизм нарушает равновесие в распределении масс, медленно увеличивает радиус Земли, и тем самым искажает её форму. Тогда вступают в действие законы механики вращения. Центробежные силы разрывают дно океанов, и в трещины (рифты) поднимается вещество мантии. Тем самым устраняется дисбаланс в распределении масс и корректируется форма Земли. Неизбежность рифтообразования на дне океанов очевидна. Но этот процесс не бесконечен. Рифты — структуры временные. В процессе роста материков местоположение зон магматизма и горообразования менялось. Каждой эпохе соответствовала своя рифтовая система. Современная рифтовая система отвечает современному магматизму. Ширина рифтов ограничена его действием. Рифты откроются, и к земной поверхности

поступит ровно столько вещества, сколько требуется для устранения дисбаланса и приведения формы Земли в соответствие с новым распределением масс.

Современный магматизм действует несколько десятков миллионов лет. Общая длина рифтовой системы составляет около 80 тыс. км. Средняя ширина рифтовых долин 10—20 км. Наша гипотеза допускает, таким образом, некоторое увеличение общей площади земной поверхности. Однако это увеличение очень незначительно. Небольшое расширение Земли вызовет замедление скорости её вращения, а также небольшие перемещения континентов относительно друг друга. Но эти перемещения должны происходить вместе с тектонической плитой, так что процессы магматизма и горообразования на материках будут протекать одновременно и независимо.

Далее. Несколько десятков миллионов лет — срок небольшой. На протяжении геологической истории известно несколько тектоно-магматических циклов. Каждой эпохе магматизма должна была соответствовать своя глобальная рифтовая система. Следы древних рифтов на материках и на дне океанов известны. Земля в течение всей геологической истории корректировала свою форму. Центробежные силы, возвращающие её в состояние гидроста-

тического равновесия, заставляли вещество верхней мантии перемещаться в горизонтальном направлении. С этим, скорее всего, связаны медленные вертикальные колебательные движения земной поверхности.

Итак, если допустить, что наша гипотеза о причине роста гор и землетрясений на Тянь-Шане в принципе верна, то выстраивается иное представление о развитии Земли в целом. Предлагаемая теперь уже глобальная гипотеза имеет ясный движущий механизм, сможет охватить более широкий круг явлений и лучше объяснить их. Важнейшие проявления тектонического развития Земли (критерий 5) уже не выглядят бессвязно. Наша гипотеза не отрицает идею перемещения континентов относительно друг друга, а, наоборот, подводит под неё основу. В то же время устраняется главное противоречие в геотектонике — противоречие между фиксизмом и мобилизмом.

Магматизм в нашей гипотезе — движущий механизм, но не первопричина. Первопричина это внутреннее тепло Земли и то, что вызывает магматизм. Это коренной ещё не решённый вопрос геофизики, и никакая гипотеза, пока она не содержит в себе этот фрагмент, не содержит в себе обстоятельный ответ на этот вопрос, претендовать на то, чтобы называться теорией не может. В настоящее время температура вещества верхней мантии (до глубин 100 км) оценивается достаточно надёжно. Её величина составляет примерно 1200° С. Для больших глубин эти определения очень гипотетичны. На границе мантия-ядро температура оценивается в 3—4, а в ядре — в 5—6 тысяч градусов. Это тепло медленно перемещается из глубины к земной поверхности. Создаётся постоянный тепловой поток, приблизительно равный на материках и океанах. Его средняя величина составляет 1,48 мккал\ см<sup>2</sup>\с. Потеря тепла с поверхности Земли оценивается в 2,4·10<sup>20</sup> кал\год [22]. Но сама по себе высокая температура в мантии тектонических процессов вызвать не может. Совершенно очевидно, что на фоне этого общего тепла под тектонически активными областями действуют очаги магматизма. В этих очагах каким-то образом генерируется дополнительное тепло. Вещество нагревается ещё сильнее и даже плавится. Межатомные силы расслаивают его по химическому составу и легкоплавкая часть под огромными давлениями отторгается вверх. Достигая приповерхностных слоёв и оставаясь здесь, магматизм привносит своё (дополнительное) тепло. В результате суммарный тепловой поток в тектонически активных областях

повышен и может даже в несколько раз превышать своё среднее значение.

Мы не можем сейчас с уверенностью ответить на вопрос остывает Земля в целом или, наоборот, нагревается. Или, быть может, имеет место баланс между количеством тепла, которое генерируется и количеством, которое расходуется на теплоизлучение и тектонические процессы. Бесспорно одно, Земля обладает огромным запасом внутренней энергии, который постепенно расходуется в течение её геологической истории. При этом имеет место цикличность тектогенеза. Тектонические процессы невозможны без дополнительной генерации тепла. Если эта генерация вдруг прекратится, все они быстро остановятся и начнётся простое медленное остывание Земли. В этой проблеме, как видим, выделяется два неразрывно связанных вопроса — вопрос о происхождении общего внутреннего тепла Земли (т.е. высокой температуры в её недрах) и вопрос о причине магматизма. Рано или поздно обстоятельный ответ на них откроет путь к теории Земли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грин Т.П. Глобальные геотектонические гипотезы и критерии их оценки. Оценка тектоники плит // Тез. докл. на Третьем международном симпозиуме «Геодинамика и геоэкология высокогорных регионов в XXI веке». Бишкек, 30 окт. — 6 нояб., 2005, С. 187—189.
2. Грин Т.П. Магматизм, сейсмичность и рифтовые зоны Земли. Там же, С. 31—33.
3. Шкловский И.С. Звёзды: их рождение, жизнь и смерть. М., Наука, 1975, 368 с.
4. Розова Е.А. Расположение эпицентров и гипоцентров землетрясений Средней Азии // Тр. Геофиз. Ин-та АН СССР, 1950, № 10 (37), 131 с.
5. Гамбурицев Г.А. Состояние и перспективы работ в области прогноза землетрясений // Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1960, С. 427—435.
6. Гамбурицев Г.А. Прогноз землетрясений // Там же, С. 436—443.
7. Труды 3-го Всесоюзного симпозиума по сейсмическому режиму (3-7 июня 1968 года). Часть 1. Новосибирск, Наука, 1969, 179 с.
8. Кальметьева З.А. Классификация очагов слабых землетрясений по характеру излучения // Методы и результаты исследования сейсмоактивных зон Киргизии. Фрунзе, Илим, 1982, С. 33—39.
9. Резанов И.А. Образование гор. М., Наука, 1977, 175 с.
10. Захаров С.А. Генезис покровной складчатости. Душанбе, Дониш, 1979, 167 с.
11. Грин Т.П. Некоторые закономерности проявления сейсмичности на Тянь-Шане // Методы и результаты исследования сейсмоактивных зон Киргизии. Фрунзе, Илим, 1982, С. 3—24.

12. Грин Т.П. Зависимость скорости на годографе от глубины землетрясения в пределах Северного Тянь-Шаня // Структура литосферы Тянь-Шаня. Бишкек, Илим, 1991, С. 40—53.
13. Грин Т.П. Распределение гипоцентров землетрясений по глубине на Северном Тянь-Шане // Сейсмологические наблюдения в Кыргызстане. Бишкек, Илим, 1993, С. 55—63.
14. Ронов А.Б., Ярошевский А.А. Химический состав земной коры и её оболочек // Тектоносфера Земли. М., Наука, 1978, С. 379—402.
15. Грин Т.П. Горообразование и сейсмичность на Тянь-Шане // Тез. докл. на Втором международном симпозиуме по геодинамике и геоэкологическим проблемам высокогорных регионов. Бишкек, 29 окт.-3 нояб., 2002, С. 12—13.
16. Грин Т.П. Магматизм и закономерности сейсмического процесса на Тянь-Шане. Там же, С. 65—66.
17. Бакиров А.Б., Лесик О.М., Лобанченко А.П., Сабитова Т.М. Признаки современного глубинного магматизма в Тянь-Шане // Геология и геофизика, 1996, Т. 37, № 12, С. 42—53.
18. Юдахин Ф.Н. Геофизические поля, глубинное строение и сейсмичность Тянь-Шаня. Фрунзе, Илим, 1983, 248 с.
19. Кнауф В.И., Кузнецов М.П., Нурманбетов К., Христов Е.В., Шилов Г.Г. Домезозойские структуры и сейсмичность Киргизии. Фрунзе, Илим, 1981, 75 с.
20. Зоненшайн Л.П., Ковалев А.А. (ред.). Новая глобальная тектоника (тектоника плит). Сб. статей. Перев. с англ., М., Мир, 1974, 471 с.
21. Боуин К. Сила тяжести над желобами и рифтами // Окраины континентов и островные дуги. М., Мир, 1970, С. 354—360.
22. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М., Наука, 1983, 415 с.

Поступила в редакцию 12.12.06 г.