

# Современные движения земной коры

А. А. Никонов  
Кандидат географических наук



*Андрей Алексеевич Никонов, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР, занимается геоморфологией и неотектоникой Средней Азии, закономерностями проявления современных движений земной коры. Автор многих научных и ряда научно-популярных работ.*

Кажется, что рельеф и геологические структуры не меняются на протяжении жизни многих поколений, и не задумываясь, мы говорим: «твердь земная» и «незыблем как гора». Вплоть до начала нашего века даже многие геологи были уверены, что движения земной коры закончились альпийским циклом—в третичный период. А области, подверженные землетрясениям, где «земля ходила под ногами», считали исключениями.

На самом деле земля «ходит под ногами» практически в любом пункте поверхности планеты. И если мы этих движений не замечаем, то только потому, что они протекают большей частью медленно и плавно.

Геологическая история Земли—это непрерывное и повсеместное, но вместе с тем неравномерное во времени и пространстве перемещение вещества внутри земного шара и на его поверхности. Недаром основные структурные и морфоструктурные элементы в значительной мере выделяются по степени их подвижности и характеру движений.

Среди движений земной коры различают новейшие, отвечающие длительности новейшего геологического этапа (30 млн лет), четвертичные, возраст которых до 1—3 млн лет, и молодые—10—12 тыс. лет. К современным относят измеряемые инструментально движения последних столетий. Трудно сомневаться в тектонической природе новейших, четвертичных и молодых движений. Они зафиксированы в доступных изучению осадочных толщах и структурах земной коры. Современные же движения—текущий процесс, результат которого либо еще отсутствует, либо

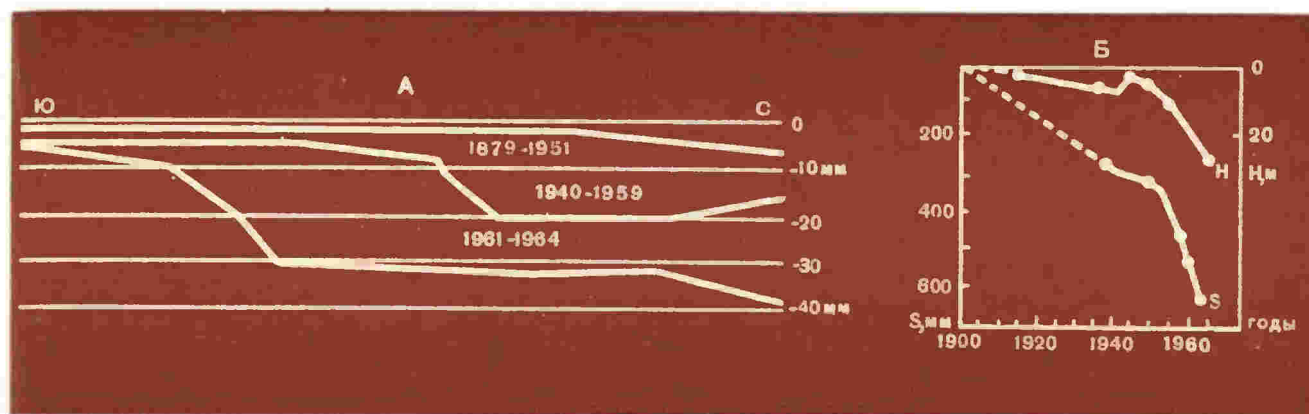
столь мал, что обычными геологическими и геоморфологическими методами не выявляется. Как же удалось получить доказательства перемещения земной поверхности?

## Как можно измерить движения земной поверхности

Первые свидетельства относительного движения суши и уровня моря были получены на берегах Балтики в XVII—XVIII вв. А. Цельсием, К. Линнеем и др. В 1731 г. Шведская Академия наук нанесла на скале первую марку, которая положила начало уровнемерным наблюдениям. Они были вызваны жизненными интересами северных стран. Опускание и затопление берегов заставляли строить морезащитные дамбы, отступление моря—переносить порты и менять фарватеры. Ученые полагали, что происходит понижение уровня Балтийского моря, и лишь в начале XIX в. утвердилось мнение о поднятии земной коры Фенноскандии.

В наше время сеть уровнемерных постов на морях дает важный материал для изучения современных движений. Величина средней ошибки определения скорости обычно не превышает  $\pm 0,3 \div \pm 0,4$  мм/год.

В последние десятилетия наряду с океанографическими данными для выявления современных движений стали использовать результаты повторного нивелирования вдоль линий государственного нивелирования. Длина линий повторного нивелирования первого класса только в Европейской части СССР измеряется десятками тысяч километров при средней



Оседание земной поверхности на территории Таллина в связи с откачкой грунтовых вод и увеличением территории города. А — график увеличения размеров площади оседания и скорости оседания поверхности города по профилю от торгового порта к югу (составлен Р. В. Лутсаром, 1965). Б — снижение напора в водоносном горизонте (Н) и наибольшее оседание земной поверхности (S) в районе торгового порта (составлен Л. К. Валленром, 1965).

квадратической ошибке  $\pm 0,2 \div \pm 0,3$  мм/км и систематической  $\pm 0,02 \div \pm 0,04$  мм/км. Около 20 лет назад ошибки достигали  $\pm 1 \div \pm 2$  мм/км.

Благодаря усилиям коллектива специалистов, возглавленного известным геоморфологом Ю. А. Мещеряковым, уже в 1958 г. был создан и опубликован первый вариант карты современных движений земной коры значительной части Европейской территории СССР<sup>1</sup>. В 1963 г. вышел уточненный ее вариант. Наконец, в 1971 г. Генеральной Ассамблее Международного геофизического и геодезического союза представлена карта современных движений Восточной Европы. Усовершенствование геофизических, океанографических и геоморфологических методов, с одной стороны, и необходимость комплексного изучения современных движений в областях особой сейсмической активности в районах разработки полезных ископаемых и крупных инженерных сооружений — с другой привели к созданию комплексных геофизических (или геодинамических) полигонов в разных районах Советского Союза. Инициатива создания полигонов и координация проводимых на них исследований принадлежит известному геофизику Ю. Д. Буланже.

На территории СССР создано около 20 полигонов, где проводится изучение современных вертикальных и горизонтальных движений земной коры, особенностей геологического строения и рельефа, геофизических полей, сейсмических проявлений. Наибольшее развитие получили исследования современных движений на полигонах в сейсмоактивных районах Средней Азии, исследования в Донбассе, Крыму, на Байкале, Камчатке и Кольском полуострове.

Но не будем забывать, что пока мы в состоянии измерить только перемещения поверхности, а не земной коры. А они отражают движения разного происхождения, интенсивности и периодичности. Кроме собственно тектонических, современные движения включают гидротермические изменения поверхности, происходящие в результате колебания уровня грунтовых вод, сезонных просадок и пучений рыхлых пород, погружения в результате преобразования рыхлых пород, колебания поверхности под влиянием гидрометеорологических факторов.

При изучении современных движений приходится учитывать еще и антропогенные и техногенные факторы, потому что человек все более изменяет процессы, влияющие на высоту земной поверхности. Так, в разных местах штата Калифорния в США откачка грунтовых вод за 20—30 лет привела к оседанию поверхности на

2,7—4,4 м, а откачка нефти и газа — на 6 м. Из-за откачки грунтовых вод земная поверхность в районе г. Ниигата в Японии ежегодно оседает на 0,5 м. Вблизи старейших в нашей стране нефтяных промыслов на Апшеронском полуострове некоторые участки поверхности опустились за 50 лет (1912—1962) на 2,5 м. Даже на сводах антиклинальных структур отмечаются опускания — 15—20 мм/год. В Подмосковном угольном бассейне и Донбассе поверхность над выработками осела более чем на 2 м.

Оседают и многие крупные города, территория которых не подвержена ни оползанию, ни карстовым процессам. Скорость понижения Таллика, например,  $-10 \div 30$  мм/год, хотя в целом северозападное побережье поднимается на 2,5 мм/год. В Москве «чаша» оседания расширяется и меняет конфигурацию по мере застройки города. За пределами «чаши» возникла полоса комплексационного поднятия, скорость которого 1—1,8 мм/год. Проседание старых городов можно частично объяснить понижением уровня грунтовых вод при длительных откачках или уплотнением рыхлых пород под строительными нагрузками. Но вот еще один пример: молодой город Апатиты по мере строительства понижается на 0,2—1,0 мм/год. А между тем заложен он на коренных кристаллических породах, грунтовые воды здесь не откачиваются. Оседание этого города

<sup>1</sup> «Природа», 1958, № 9.



трудно объяснить иначе, чем локальным прогибом верхней части кристаллического фундамента.

В конечном счете, экзогенные и техногенные движения могут быть учтены при оценке современных движений земной коры. Они — локальные, кратковременны, нестационарны.

Наиболее трудны учет и количественная оценка роли длительных гидрогеологических изменений, диагенеза рыхлых осадков и экзогенного перераспределения вещества по поверхности Земли. Поэтому приходится принимать во внимание, что результаты измерений, даже освобожденные от гидрометеорологических и техногенных факторов, не везде дают чистую картину собственно тектонических движений.

Собранный в последние годы материал позволяет сделать некоторые выводы о различиях в интенсивности перемещений земной поверхности в тектонически активных и в относительно стабильных платформенных областях, сопоставить горизонтальные и вертикальные современные движения, выявить пространственную и временную связь между современными движениями и землетрясениями. Рассмотрим, как происходят вертикальные движения земной поверхности в наши дни.

## Вертикальные перемещения земной коры

Исследования вертикальных движений относятся преимущественно к Русской, Западно-Европейской, Северо-Американской платформам, Балтийскому и Канадскому щитам. Появились также данные о современных движениях в областях горообразования в пределах Альпийского горного пояса Европы, Тянь-Шаня, Северо-Американских Кордильер, части территории Японии. Реальной стала количественная оценка современных движений в областях с разным тектоническим режимом. Нами оценены современные движения крупных структурных элементов земной коры, таких как плиты, щиты, синеклизы, антеклизы, антиклинории, синклинории. Эти движения относят

к региональным. Они охватывают площади в сотни и тысячи километров. Движения более мелких структур — внутрипокровных складок и разрывов условно называют локальными. Они проявляются на участках шириной не более десятка километров.

Основные количественные характеристики современных движений земной коры — скорость и градиент скорости. Величину скорости современных движений по геодезическим и океанографическим данным определяют в среднем за 20—50 лет (при этом средняя квадратическая ошибка составляет  $\pm 0,5 \div \pm 1,0$  мм/год). Естественно, что участки, где было установлено влияние экзогенных факторов, исключаются из обработки. Градиент скорости — это частное от деления приращения скорости между двумя изолиниями скорости или пунктами на кратчайшее расстояние между ними. Тогда размерность получаемой величины градиента будет:

$$\frac{\text{расстояние}}{\text{время} \times \text{расстояние}} = \frac{1}{\text{время}}$$

или «величиной», обратной времени, что записывается в расчете на год так: год<sup>-1</sup>.

Количественные характеристики современных движений показывают, что к малоподвижным, спокойным областям относятся платформы. К высокоподвижным областям, т. е. областям горообразования, относятся геосинклинали и активизированные области на месте геосинклиналей и платформ. Оказывается, скорости региональных движений мало- и высокоподвижных областей нередко соизмеримы. Между тем скорости локальных движений в высокоподвижных областях на 0,5—2 порядка выше таких скоростей на платформах и достигают десятков и сотен миллиметров в год. Еще более различны между собой мало- и высокоподвижные области по градиенту скорости локальных движений.

Чтобы более надежно судить об эндогенной природе движений, можно привлечь данные о молодых движениях за последние 2000—5000 лет, полученные с помощью геоморфо-

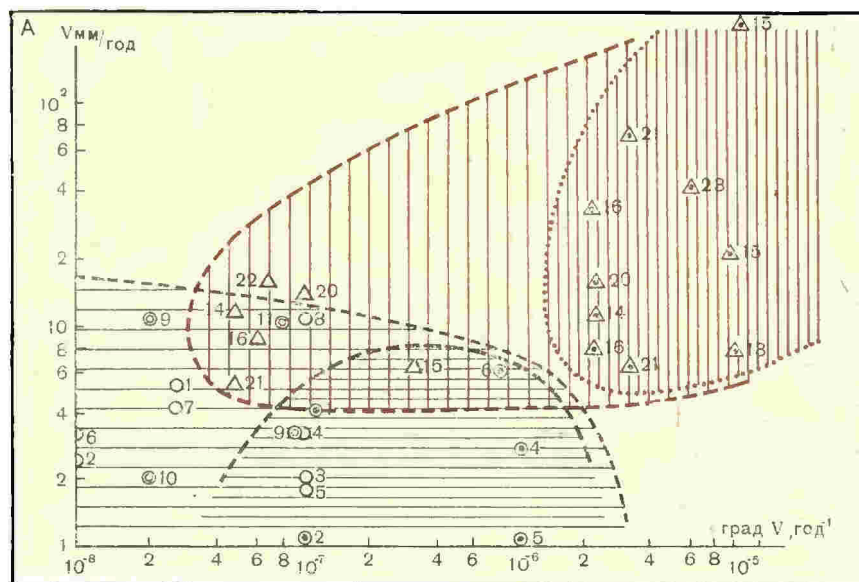
логических, археологических, палеогеографических и других методов, почти свободных от возможного влияния короткопериодических (в десятки и сотни лет) атмосферных и космических воздействий. Оказывается, молодые движения подчиняются тем же закономерностям распределения, что и современные. Основное их отличие от современных заключается в меньших величинах скорости, что может быть связано с неравномерным ходом и переменной знака движений.

Несомненно, современные движения имеют различную интенсивность в пределах материковых платформ и горных областей. Повышенная тектоническая активность орогенных областей проявляется в большей скорости движения — до нескольких см/год. Еще более это различие видно в резко дифференцированном, контрастном характере движений (градиент скорости до  $10^{-7} \div 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>).

Внутри крупных геотектонических областей имеются более активные локальные структуры и зоны разломов, где величины скорости соответственно возрастают в несколько раз, а градиент — на порядок. В пределах платформ величины скорости обычно меньше в 2—3 раза, 1 градиент в 10—100 раз.

Следует отметить любопытную деталь: ряд «точек» на платформах нарушает картину четкого распределения современных движений на малоподвижные и высокоподвижные области. Это — Балтийский и Канадский щиты, Шпицберген. Скорости современных движений здесь более высоки, чем обычно на платформах — до 10 мм/год. Однако эти исключения не нарушают, а скорее подтверждают общее правило. Заметим, что все эти районы подвергались последнему покровному оледенению. Оно и является причиной повышенных скоростей воздымания.

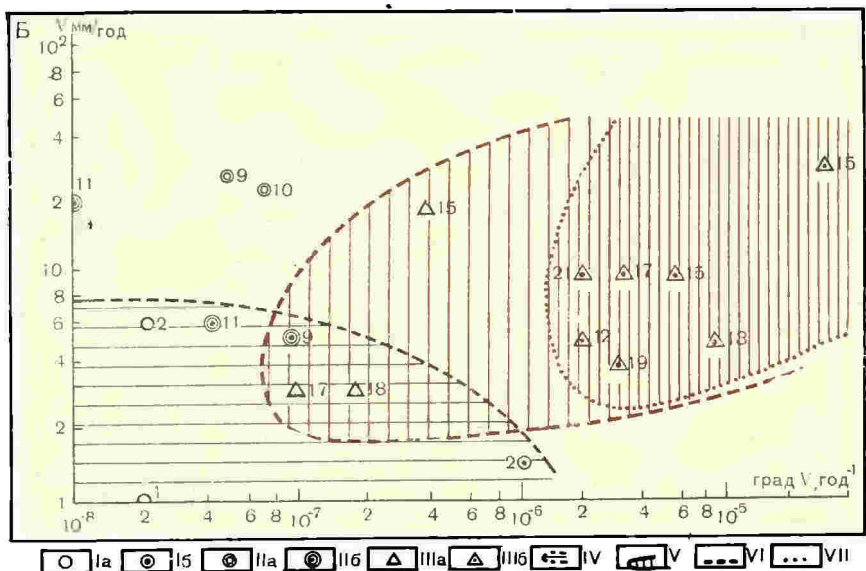
Концепция гляциозостази — восстановления равновесия участка земной коры, нарушенного нагрузкой материковых льдов, развивается в течение многих десятилетий. Факты, собранные в Фенноскандии, Канаде, на Шпицбергене, подтверждают, что центральноледниковые области последние 12—16 тыс. лет испытывают



Различия интенсивности движений платформенных (черная горизонтальная штриховка) и геосинклинальных и активизированных областей (коричневая вертикальная штриховка). А — современные движения. Б — молодые движения. Графики составлены в логарифмическом масштабе А. А. Никоновым, 1969 г. По вертикальной оси — максимальные скорости движений, по горизонтальной — максимальные градиенты скоростей.

Ia — региональные движения платформ, не подвергавшихся последнему оледенению или рано от него освободившихся:

1 — центральные части Русской платформы, 2 — территория Эстонии, 3 — Польская низменность, 4 — Северо-Германская низменность, 5 — территория Нидерландов, 6 — Парижский бассейн, 7 — Западно-Сибирская плита, 8 — Туранская плита. Ib — локальные движения тех же областей. IIa — региональные движения платформенных областей, недавно освободившихся от ледниковой нагрузки: 9 — Фенноскандия, 10 — Шпицберген, 11 — Канадский щит. IIb — локальные движения тех же областей. IIIa — региональные движения высокоподвижных областей земной коры, геосинклинальных и активизированных: 12 — Северные Аппенины, 13 — Скопленская котловина Македонии, 14 — Карпаты и Предкарпатье, 15 — Предкавказье, частично Закавказье, 16 — Копет-Даг, 17 — Месопотамская низменность, 18 — Афгано-Таджикская депрессия, 19 — Ферганская депрессия, 20 — северные предгорья Тянь-Шаня, 21 — Японские острова, 22 — Кордильеры Северной Америки, 23 — Камчатка. IIIb — локальные движения тех же областей. IV — поле малоподвижных областей; V — поле высокоподвижных областей; VI — граница поля локальных движений малоподвижных областей; VII — граница поля локальных движений высокоподвижных областей.



сводовое поднятие, максимальное над теми участками, где бывшие ледниковые покровы достигали наибольшей мощности.

После составления первой карты современных движений на территории Карелии и Кольского полуострова появилась возможность оценить современные движения Фенноскандии в целом. Максимальное поднятие в бывшей центральноледниковой области достигает в настоящее время 9,5 мм/год (в пределах СССР — до 4—6 мм), между тем в перифериче-

ских частях Фенноскандии поднятия сменяются опусканиями.

Сначала в 50-х годах в Фенноскандии, а затем в СССР (Кольский полуостров) появились данные о замедлении скорости поднятия в поздние и послеледниковое время. Недавно проведены исследования с применением радиоуглеродных датировок морских уровней и введением поправки на эвстатические повышения уровня Мирового океана в послеледниковое время. Они показали убывание скорости голоценового поднятия

Фенноскандии и Канады. Суммарная скорость послеледникового воздымания этих областей уменьшалась по мере сокращения площади оледенения и упала от 4—6 см/год до миллиметров и десятых долей миллиметра в год.

Таким образом, куполообразный характер поднятия областей бывшего оледенения, сокращение площади поднятия и уменьшение его скорости, отсутствие, как правило, тесного согласования с морфоструктурами кристаллического фундамента — все



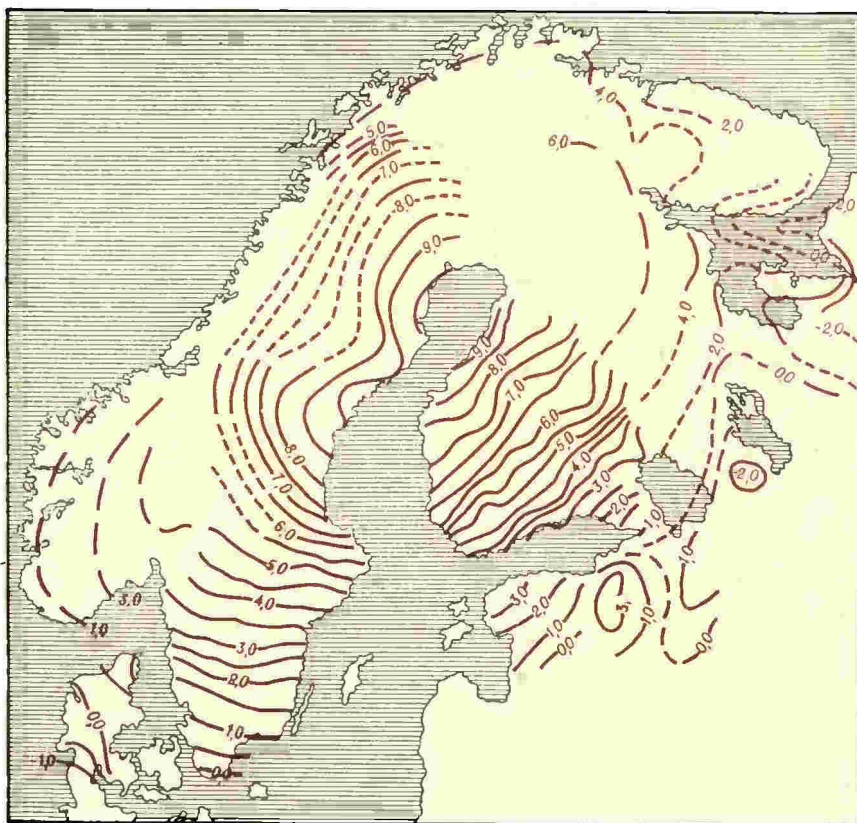


Схема современных движений Фенноскандии по гидрографическим и геодезическим данным. Скорости движений даны в мм/год. Эвстатическое повышение уровня Мирового океана учтено путем добавления +0,8 мм/год. (Зарубежная территория — по Л. Асплунду, Т. Куккамяки, Э. Кялярайнену, О. Симонсену, территория СССР — по А. А. Никонову, Ю. Ю. Рандарву и Л. Р. Серебряному.)

это свидетельствует о ведущей роли гляциоизостатического фактора в современных движениях этих областей.

Все это, однако, не значит, что собственно тектонические, как региональные, так и локальные движения в областях недавнего покровного оледенения не проявляются. Установлено, что гляциоизостатические движения в периферических частях Фенноскандии переходят в тектонические. На восточной окраине, в зоне переходной к Русской платформе, движения поверхности имеют блоковый характер с разным знаком и согласуются с морфоструктурами, что можно считать показателем тектонической природы современных движений. Имеются и другие факты в пользу тектонических движений. При решении этих вопросов задача, видимо, заключается в том, чтобы найти

верное соотношение гляциоизостатической и тектонической природы движений.

Таким образом, некоторые закономерности вертикальных движений можно считать установленными. Гораздо меньше изучены горизонтальные движения земной коры.

### Горизонтальные движения земной коры

Когда заходит речь о горизонтальных движениях земной коры, большинство собеседников в первую очередь готовы обсуждать проблему дрейфа континентов. Эта проблема в последнее время стала актуальной и модной темой, благодаря появлению новых данных.

Может создаться впечатление, что проблема дрейфа континентов ре-

шена окончательно. Однако ученые, изучающие современные движения, так не считают. Уверенно говорить о происходящих на наших глазах движениях материков, измеряемых метрами в год, как это предполагал А. Вегенер, не позволяют данные повторных триангуляций и астрономические наблюдения. Возможные движения со скоростью в несколько сантиметров или десятков сантиметров в год пока что не выявлены, так как находятся в пределах точности применяемых методов.

Гораздо более определенные и не менее важные данные относительно величин горизонтальных движений земной коры получены на отдельных активных участках. Наиболее длительные и подробные измерения проводились на разломе Сан-Андреас в Калифорнии. В сущности, здесь не один разлом, а целая система разломов, большей частью параллельных Тихоокеанскому побережью США, реже — косых и секущих. После катастрофического землетрясения 1906 г. была проведена повторная триангуляция территории на 270 км вдоль разлома. Было выявлено правостороннее сдвигание ряда пунктов на 2—6 м в направлении разлома и возникших на поверхности трещин. По мере удаления к западу и востоку от трещин величина вектора смещения уменьшалась. Детальная обработка материалов наблюдений показала, что до землетрясения пункты смещались со средней скоростью 5,2 см/год, во время землетрясения они скачком переместились в среднем на 3 м в обратном направлении, после чего опять началось их медленное движение на север.

В настоящее время осуществляется комплексная программа наблюдений за современными движениями и сейсмичностью, которая охватывает измерениями территорию протяжением около 600 км вдоль главного калифорнийского разлома. Отдельные участки системы за 1959—1966 гг. смещались на 1,4—2,5 см/год, другие участки были практически неподвижны. Показательно, например, что одна из ветвей разлома, разлом Хайвард, за 1961—1965 г. правосторонне смещалась со скоростью 1,4—1,5 см/год. В последние четыре года

(1968—1971) скорость смещения вдоль этого разлома в районе залива Сан-Франциско составляет 4—6 мм/год, южнее, в окрестностях г. Холлистера — 13 мм/год, на расстоянии 85 км к юго-востоку — 35 мм/год, и, наконец, у соединения с разломом Гарлок близ г. Гормен движения сходят на нет. В то же время вертикальные смещения в этой области незначительны.

В последние годы измерения современных горизонтальных движений проводятся и в нашей стране. В пределах Украинского кристаллического щита расположен древний глубинный разлом (сбросо-сдвиг), он ограничивает с запада Криворожский железорудный бассейн. При сравнении триангуляций 1950 и 1970 гг. здесь выявлено максимальное горизонтальное смещение, связанное с правосторонним криворожским сбросо-сдвигом, скорость которого 21 см/год. Амплитуда относительных вертикальных движений здесь всего 2—5 мм/год.

В сейсмоактивной зоне на Гармском полигоне вблизи пос. Гарм в Таджикистане было установлено, что векторы смещения крупного Сурхобского (Гиссаро-Кокшаальского) разлома за 1948—1949 гг. направлены на эпицентр произошедшего между триангуляциями разрушительного Хатинского землетрясения. Смещения здесь достигают десятков миллиметров (до 108 мм), что втрое превосходит ошибку измерений. В следующем году было отмечено попятное движение ряда точек к положению 1948 г.

При сравнении триангуляций 1949—1950 и 1968—1970 гг. выяснилось, что южное крыло придвинулось к северному на 30—40 см, т. е. среднегодовая скорость горизонтальных движений была от 12 до 17 мм/год. А среднегодовая скорость вертикальных движений на той же линии не превышает 3,5—4 мм, т. е. в три—пять раз меньше. Отмечен и еще один любопытный факт. На южном, активном крыле разлома низко расположенные в рельефе точки сместились меньше, чем высокорасположенные — соответственно на 13 и 17 мм/год. Можно предположить, что уже на глубине около полукилометра вертикальные

движения преобладают. Это наводит на мысль, что в данном случае горизонтальное движение — только приповерхностное, т. е. мы имеем здесь дело с так называемым «козырьковым» надвигом, плоскость которого на глубине приближается к вертикальной.

По-видимому, приведенных примеров достаточно, чтобы заключить, что горизонтальные движения во многих случаях имеют скорости, на порядок большие по сравнению с вертикальными, осуществляются неравномерно во времени и вдоль разломов, и в сейсмичных районах тесно связаны с землетрясениями.

## Современные движения и сейсмичность

Сейсмологи и геофизики считают, что землетрясения являются мгновенной разрядкой напряжений, накапливающихся в определенных, обусловленных геологическим строением участках земной коры.

Каким бы внезапным ни представлялось нам землетрясение, оно всегда имеет период подготовки, период концентрации внутриземной энергии в определенных тектонических зонах. Несомненно, и тектонические процессы, в том числе и современные движения земной коры, вызваны накоплением и проявлением внутриземных тектонических напряжений. Естественно поэтому искать корреляционную связь между землетрясениями и современными движениями земной коры. Советский геофизик М. В. Гзовский исследовал связь между максимальной интенсивностью землетрясения и величиной градиента скорости тектонических движений. Она осуществляется через скорость деформации пород на определенной глубине, величину максимальных касательных напряжений и вязкость вещества.

До недавнего времени геологи и сейсмологи сопоставляли области с различными сейсмической активностью и режимом и геоструктурные области, тектоническая активность которых была известна за десятки — сотни, в лучшем случае — за единичные миллионы лет. Такие сопоставле-

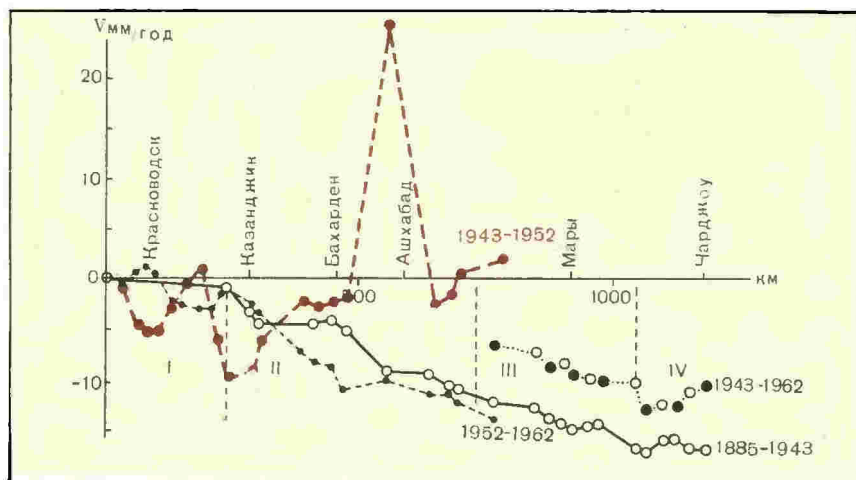
ния правомерны, необходимы, но недостаточны. Образно говоря, это похоже на сопоставление средних климатических показателей прошлого столетия с погодными характеристиками текущей недели. И только изучение современных движений земной коры позволяет сравнивать в количественном выражении сейсмические и тектонические явления одного временного диапазона.

Очевидно, наибольшая современная тектоническая активность присуща геосинклиналям и активизированным областям земной коры, которые одновременно и наиболее сейсмоактивны.

В случае недостатка инструментальных данных о каком-либо районе, по графикам градиента современных движений, построенным с учетом других факторов, можно приблизительно определить сейсмическую опасность района. Но, как правило, необходим более детальный прогноз участков возможных землетрясений. Очень важным может быть выявление зон с повышенной скоростью и градиентом скорости современных движений, т. е. активных в настоящее время локальных структур. В Средней Азии, например, измерениями на полигонах установлено, что движения над рядом активных разломов земной коры имеют скорость на порядок больше скорости региональных движений (от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров в год, а градиент — на один-два порядка больше ( $10^{-6} \div 10^{-5}$  год $^{-1}$ )). Конечно, о сейсмической опасности нельзя судить по одним только движениям поверхности, хотя бы потому, что соотношения между этими явлениями зависят от механизма деформирования земной коры, степени развития разрывов, структуры и механических свойств деформируемой области.

М. В. Гзовский выделил несколько типов соотношения сейсмичности с современными движениями на поверхности, в том числе такие, когда высокие касательные напряжения (и, следовательно, высокая сейсмическая опасность) в земной коре или под ней не проявляются в повышенных значениях градиента скорости или высокие значения скорости и гради-





Графики изменения величин скорости вертикальных движений земной коры по трассе Красноводск — Чарджоу. I — Балхано-Кубадагская антиклинальная зона; II — Предкопетдагская предгорная впадина; III — Мургаб-Тедженская зона четвертичного поднятия; IV — Восточно-Каракумская зона четвертичного погружения. В период 1943—1952 гг. вблизи Ашхабада, где в 1948 г. произошло катастрофическое землетрясение, скорости современных движений резко возросли. (График составлен И. Н. Мещерским в 1968 г.)

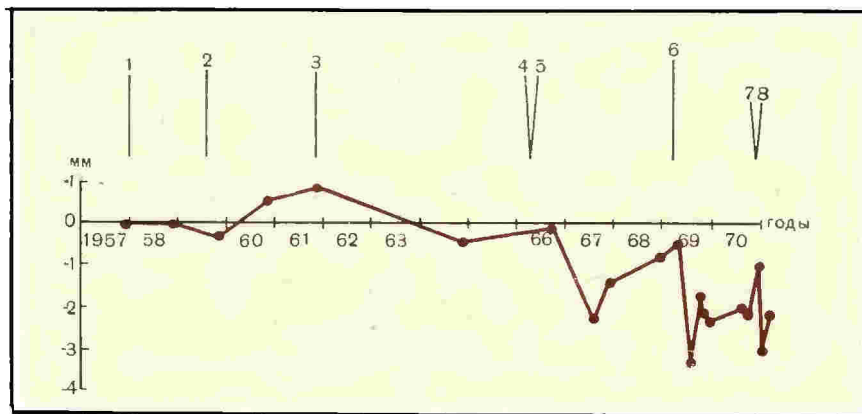


График современных движений сейсмоактивного района Средней Азии, Гармский полигон в Таджикистане (по В. Б. Энману, 1971). Среднее смещение северного крыла Сурхобского разлома в миллиметрах за 1957—1970 гг. и моменты землетрясений 12—14 энергетических классов (вверху). Поднятия предшествуют, опускания следуют за моментами землетрясений. (1—8, последовательность землетрясений).

ента в одном месте соответствуют накоплению напряжений и сейсмической опасности в другом участке.

Например, в окрестностях г. Гарма в Таджикистане сотрудники Института физики Земли АН СССР установили вертикальные смещения южного крыла одной из ветвей Сурхобского разлома со скоростью 11—16 мм/год. Однако землетрясений на этом участке не зафиксировано, они происходят в 25—30 км южнее и связаны

с другой, параллельной Сурхобской зоной разломов.

Обычно специальные нивелировки показывают смещения поверхности после сильных землетрясений. А при катастрофических землетрясениях даже разрывы коренных пород достигают на поверхности десятков километров, а смещения крыльев разломов — десятков метров. Подобные сейсморазрывы и смещения сопровождали все катастрофические зем-

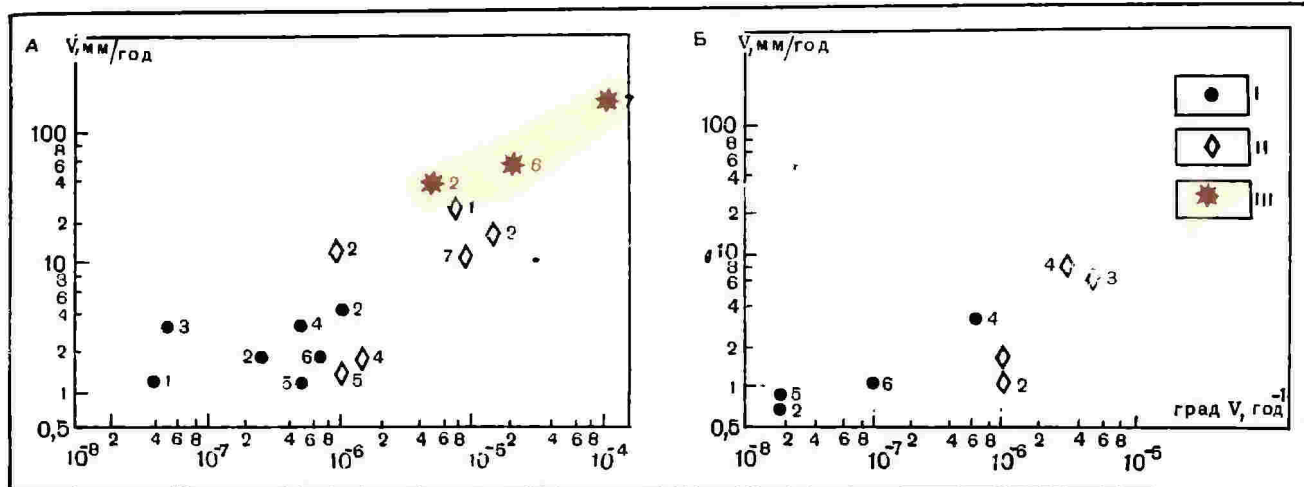
летрясения (Ашхабадское 1948, Гоби-Алтайское 1957, Чилийское 1960, Аляскинское 1964 и др.) и зафиксированы точными измерениями. Сейчас важнее изучить динамику современных движений перед землетрясениями и на этой основе предсказать время землетрясений.

## На пути к прогнозу землетрясений

Тектонисты полагают, что скорость тектонических движений неравномерна во времени, а сами движения меняют знак на протяжении миллионов или сотен тысяч лет. Но нынешние скорости движений на несколько порядков превышают скорости, рассчитанные для прошлых геологических эпох и периодов. Поэтому некоторые исследователи делали вывод о нарастании темпов тектонических движений и процесса горообразования. На самом деле такое «ускорение» происходит от алгебраического суммирования и усреднения движений разного знака и разной скорости.

Последние данные показывают, что в ряде случаев современные движения как в мало подвижных, так и в высокоподвижных областях неравномерны и знакопеременны. Материалы, собранные в высокоподвижных областях, позволили подразделить современные движения на медленные — вековые и быстрые — сейсмические. Основы такого деления заложены еще известным сейсмологом Б. Б. Голицыным. В последние годы, когда была выявлена тесная связь медленных и быстрых движений в сейсмоактивных областях, началось комплексное их изучение. Многие специалисты теперь близки к пониманию генетического единства современных медленных (десятилетия, годы, месяцы) тектонических и быстрых (недели, часы, секунды) сейсмических движений и рассматривают те и другие как проявления единого процесса накопления напряжений в земной коре и их разрядки.

Какие же факты положены в основу этих представлений? В 30-х годах нашего столетия в Японии обратили внимание на ускорение и аномальный ход движений земной поверхно-



Графики максимальных скорости и градиента скорости современных (А) и молодых (Б) движений земной коры на среднеазиатских полигонах (в логарифмическом масштабе, составлены А. А. Никоновым, 1971).

Медленные движения: I — региональные движения, II — локальные движения (над разломами).

Быстрые движения: III — движения, связанные с землетрясениями. Названия полигонов: 1 — Алма-Атинский, 2 — Ашхабадский, 3 — Гармский, 4 — Нимичский, 5 — Талгарский, 6 — Ташкентский, 7 — Руноу. Хорошо выделяются группы точек, характеризующие региональные и локальные движения, а также движения, близкие по времени крупным землетрясениям.

сти перед крупными землетрясениями и во время них. За несколько лет перед крупными землетрясениями (магнитуда больше 5) отмечались то поднятия, то опускания поверхности на несколько десятков сантиметров. Наиболее известен в литературе пример Ниигатского землетрясения 1964 г. с магнитудой 7,5, за десять лет до которого начались аномальные поднятия реперов. Величины поднятия на расстоянии 40 км от эпицентра достигла 7—8 см, во время землетрясения движения изменили знак на противоположный. В Японии наблюдали около 20 случаев аномальных движений перед землетрясениями амплитудой в 5—15—20 см. Подобные наблюдения производились и в других странах, и теперь в активе исследователей имеются аналогичные данные по Аляске (землетрясение 1964 г.), Венгрии (землетрясение 1956 г.).

В нашей стране на Алма-Атинском и Ашхабадском полигонах выявлена тесная связь медленных движений с сейсмическими проявлениями. Налинии повторного нивелирования Красноводск — Чарджоу, в период 1943—1952 гг. вблизи Ашхабада, где в 1948 г. произошло разрушительное землетрясение, скорость современных движений пикообразно возросла

до +25 мм/год против —5 ÷ —10 мм/год в предшествующий и последующий периоды. Эту аномалию вполне естественно связывают с землетрясением.

На Гармском геофизическом полигоне, где повторное высокоточное нивелирование ведется с 1957 г. ежегодно, а с 1968 г. по несколько раз в год, установлено, что поднятия поверхности на несколько миллиметров предшествуют, а опускания — следуют за землетрясениями 9—14 классов, происходящими на расстоянии 25—30 км<sup>1</sup>.

Полученные на полигонах Средней Азии данные позволили сделать некоторые обобщения и выразить их графически (см. рис. на стр. 31). К сожалению, пока мы имеем лишь алгебраическую сумму каждого показателя связанных с землетрясениями движений, которая включает предварительные, сопутствующие и последующие за землетрясением движения. Тесная связь современных движений с землетрясениями в высоко-

подвижных областях, таким образом, становится несомненной. Но прежде чем вплотную подойти к прогнозированию землетрясений на этой основе, предстоит решить немало научных, методических и технических вопросов, собрать и обработать большой статистический материал.

## Заглянем в глубь Земли

Современные движения земной коры, фиксируемые на поверхности, имеют свои глубокие причины. Трудно сомневаться в том, что движения поверхности связаны с перемещением вещества в земной коре или верхней мантии. Недаром изучение движений земной коры велось в рамках международного проекта «Верхняя мантия». Изучение современных движений все еще находится в стадии накопления фактов, но рядом советских ученых уже были предприняты попытки генетического истолкования имеющихся данных, выявления связи поверхностных движений с глубинными.

Гляциостатическая природа вертикальных движений в бывших ледниковых областях уже отмечалась. Естественно было искать общие причи-

<sup>1</sup> В. Б. Энман, А. К. Певнев. Об изменении скоростей современных движений земной коры на Гармском и Нимичском полигонах. В сб.: Изучение современных движений земной коры на стационарных геофизических полигонах. Ашхабад, 1970.



ны движений в изостатическом уравновешивании земной коры и в других местах. Для этого, прежде всего, необходимо было сопоставить распределение современных движений с гравитационным полем<sup>1</sup>.

Выяснилось, что наиболее ярко выраженные максимумы поднятий и опусканий территориально соответствуют близким к нулевым изостатическим аномалиям. То есть можно говорить лишь о приближении к изостатическому равновесию в одной части и удалении от него в другой части одного и того же района, нередко в пределах одной геологической структуры. Следовательно, современные вертикальные движения не имеют прямой связи с изостатическим выравниванием земной коры.

Для вертикальных движений новейшего времени, по данным М. Е. Артемьева, характерно преобладание движений против сил изостатического выравнивания. Аномалии в десятки миллигал, фиксируемые на платформах, не могут быть связаны с плотностными неоднородностями в литосфере и непосредственно подстилающем ее слое. Эти факты заставили искать причины движений более глубоко, в верхней мантии, и не только в процессах перемещения вещества, но и в изменениях его объема. Но и на этом пути встало весьма существенное затруднение. С одной стороны, трудно принять неизменность знака движений в течение даже короткого геологического времени в десятки — сотни тысяч лет. С другой стороны, геофизики считают невозможной смену знака движений или вызвавших их изменений температуры в мантии менее чем за 10—100 тыс. лет. Действительно, время ослабления напряжений (релаксации) для слоя толщиной в 1 км составляет 10 тыс. лет, движения конвекции в мантии также не могут происходить быстрее.

Выход из этого затруднения был предложен советским геофизиком Е. В. Артюшковым. Движения верхних частей мантии передаются зем-

ной коре через астеносферу — слой пониженной вязкости на глубинах 60—250 км. Отличная по своим физическим качествам от выше- и нижележащих слоев, астеносфера, благодаря ускоренному боковому растеканию вещества, способна так трансформировать свои движения, что простое изменение скорости первичного поднятия у подошвы астеносферы может привести к остановке поднятия земной коры и даже к ее опусканию. Иными словами, изменение знака движений на поверхности не требует изменения направления первичного движения в верхней мантии. Значит, величина поднятия на поверхности зависит не от величины поднятия нижней границы астеносферы, а от скорости ее поднятия.

По расчетам Е. В. Артюшкова, скорость движения мантии под астеносферой составляет несколько сантиметров в год. За сотни тысяч лет это может вызвать (с учетом влияния эрозии и аккумуляции на поверхности) смещение коры на несколько сот метров, что совпадает с амплитудой новейших движений на платформах. Интересно, что для перемещения в вертикальном направлении блока литосферы в несколько сот кубических километров достаточно нагрузки в  $10 \text{ кг/см}^2$ .

Но что же все-таки служит причиной появления дополнительных нагрузок и перемещений вещества в мантии? Согласно гипотезе советского геофизика В. А. Магницкого, движения коры связаны с процессами ее создания, а именно, с изменением температуры и объема глубинного вещества в процессе выделения из мантии относительно легких и легкоплавких веществ. Осуществляется такая дифференциация путем зонной плавки вещества мантии (перехода ромбического оливина в шпинель) на глубине около 400 км. Изменение плотности и объема при этом составляет около 10%, что, по расчетам, может обеспечить реально существующие на поверхности скорости и амплитуды движений.

Характер современных движений в высокоподвижных областях, а также горизонтальные движения земной коры ждут еще объяснения с геофизической точки зрения.

Появление новых данных о современных движениях земной коры в скором времени, по всей вероятности, вызовет к жизни новые гипотезы и теории происхождения современных движений, обеспечит прогресс в познании закономерностей их проявления. Все это даст надежную основу геологической теории и практике строительства и освоению прибрежных, тектонически подвижных, сейсмоактивных территорий, а также районов крупных инженерных сооружений. А строительство и эксплуатация таких сооружений, как гигантские синхрофазотроны, лазерные установки для дальних локаций, установки для космических стартов требуют столь точного знания и учета относительной и абсолютной высоты поверхности и их изменений, которые еще недавно показались бы фантастическими.

УДК 551.24

## Рекомендуемая литература

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ. Третий Международный симпозиум. Л., 1968; М., 1969.

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ. Сб. статей, № 1, М., Изд-во АН СССР, 1963.

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ. Сб. статей, № 2. Тарту, 1965.

СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ, № 3 и № 4, М., 1968.

<sup>1</sup> Такую работу на территории Русской платформы выполнили геофизики В. А. Магницкий и И. В. Калашников, используя данные М. Е. Артемьева по аномалиям силы тяжести.