

МЕДЛЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Движения земной коры большей частью настолько медленны, что остаются незамеченными человеком. Тем не менее исследования показывают, что на земной поверхности нет ни одного участка, который находился бы в состоянии покоя. Движения земной коры разнообразны и происходят постоянно. В современных вертикальных движениях различаются направленные и колебательные. Направленные происходят вверх или вниз и скорость их может изменяться. Такие движения создают в земной коре складки, вспучивания, сбросы, провалы, прогибы и т. п. Колебательные складываются из чередующихся более или менее плавных поднятий и опусканий разной продолжительности. Во многих местах происходят также резкие движения в виде землетрясений.

Для регистрации медленных опусканий и поднятий земной коры требуются длительные сроки, специальные методы наблюдений и точные измерительные приборы. В нашей стране организованы опытные участки, где непрерывно исследуются эти процессы. С каждым годом такие наблюдения приобретают все большее практическое значение. Так, например, уже в настоящее время характер и скорость движений земной коры приходится учитывать при проведении мелиоративных работ, при проектировании строительных сооружений и т. п.

В публикуемых статьях рассказывается о некоторых наблюдениях над вертикальными движениями земной поверхности.

НАКЛОНЫ ВЕРХНИХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ

В. Ф. Бончковский

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР (Москва)

Плавные, но непрерывные поднятия одних территорий и опускание других создают наклоны земной поверхности. Причиной их могут быть прогибы под влиянием местных, временных нагрузок, например высокого атмосферного давления, сильных дождей и т. п. Большую роль играет расширение и сжатие верхних слоев земной поверхности, вызванные периодическими изменениями

температуры. Наклоны земной поверхности связаны также с местными колебаниями земной поверхности под воздействием химических, механических, тепловых процессов внутри Земли и перемещениями пластичного подкорового вещества с длительными опусканиями и поднятиями больших территорий. Не меньшее значение для образования наклонов имеют горообразовательные про-

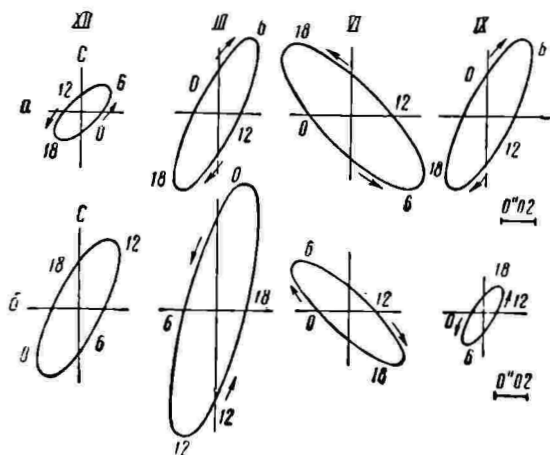


Рис. 1. Векторные диаграммы суточных ходов наклонов в разные месяцы на станциях Ялта (а) и Пулково (б). Амплитуды суточных наклонов находятся в пределах $0''$,1. Длинные оси эллипсов от месяца к месяцу изменяют свое положение. Это свидетельствует о зависимости характера суточного хода наклонов от распределения температур на земной поверхности по сезонам года

цессы и деформации земной поверхности, связанные с сильными землетрясениями и вулканическими извержениями, а также с лунно-солнечным притяжением. В тех случаях, когда наклоны вызваны одновременно несколькими причинами, приборы записывают сложный комплекс наклонов, из которого выделить отдельные составляющие довольно трудно. Существование наклонов вносит искажения в результаты геодезических и астрономических исследований, в связи с этим большое значение приобретают специальные исследования всех форм изменений наклонов. Длительные непрерывные измерения наклонов нужны для изучения вековых движений земной поверхности.

При помощи горизонтальных маятников, дающих высокую точность отдельных отсчетов (сотые, а в некоторых случаях и тысячные доли секунды дуги¹) накоплен

¹ Одна секунда соответствует углу, под которым можно было бы видеть 1 м длины с расстояния в 206 км

большой материал наблюдений по наклонам земной поверхности.

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

Годовые и суточные колебания температуры вызывают периодическое расширение и сжатие земных слоев, в которых возникают напряжения, приводящие их к периодическим наклонам, вертикальным перемещениям и линейным деформациям. До каких глубин проникают при этом тепловые деформации, сказать пока трудно, однако они отмечены значительно глубже, чем могли бы проникнуть суточные и годовые колебания температуры. Так, например, можно утверждать, что тепловые годовые наклоны на глубине порядка 1 км все еще имеют заметную амплитуду. Это объясняется упругими связями между слоями, способствующими передаче деформаций верхних слоев на значительные глубины.

Тепловые деформации выражаются в форме суточных и годовых ходов наклонов земных слоев. Суточный ход наклонов изображается в виде векторных диаграмм (рис. 1), подобных кривым, которые описал бы конец стержня, укрепленного перпендикулярно земной поверхности в точке наблюдения наклонов.

Данные о годовых ходах наклонов были получены для некоторых станций, где непрерывные наблюдения велись уже много лет. Оказалось, что амплитуды в годовом ходе наклонов в десятки раз превышали амплитуды в суточных ходах. Полная амплитуда

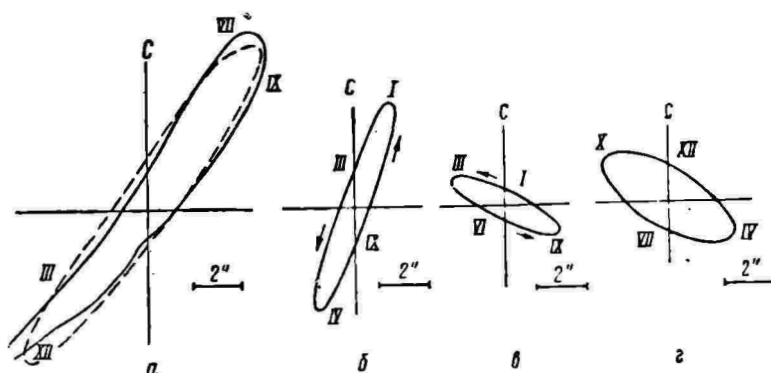


Рис. 2. Векторные диаграммы годового хода наклонов на станциях Гарм-шольная, 1952 (а); Алма-Ата, 1940 (б); Полтава (ср. 1934—1940) (в); Подмосковная, 1960 (г). Эллипсы векторных диаграмм годовых ходов вытянуты в направлениях, близких к меридиональному, а точки поворота приурочены к осенним и весенним месяцам в Европейской части СССР и к зимним и летним месяцам в Средней Азии

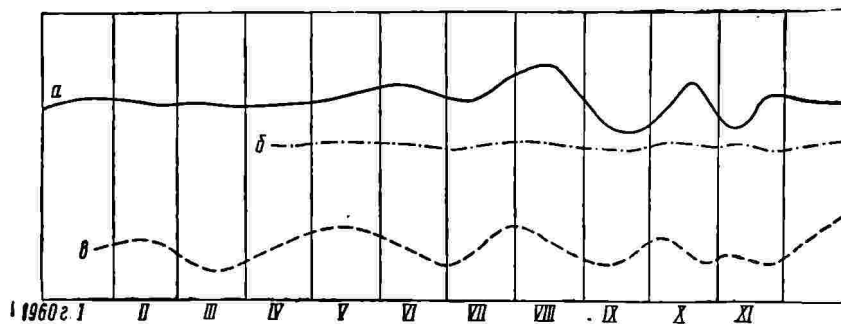


Рис. 3. Вариации наклонов и атмосферного давления в годовом цикле: а — вариации наклонов на земной поверхности; б — вариации наклонов в шахте на глубине 15 м; в — вариации атмосферного давления

годовых наклонов для некоторых станций (рис. 2) достигает значения около 10 дуговых секунд на глубинах от 4 до 30 м. Наблюдения чешского ученого Яна Пиха показали, что на глубине 1009 м годовой ход наклонов выражен вполне отчетливо и амплитуда его только в два — три раза меньше, чем на глубинах первых десятков метров. Перемена направлений в годовом ходе наклонов на большинстве станций отмечена в весенние и осенние месяцы.

Причиной годового хода наклонов также служат напряжения в земных слоях, вызванные изменением теплового режима в верхних слоях Земли в течение года.

Следует отметить, что кроме тепловых причин наклоны также связаны с изменением атмосферного давления, которое на больших площадях земной поверхности вызывает ее прогибы и поднятия. Особенно отчетливо связь между вариациями атмосферного давления и наклонами обнаруживается в годовом цикле, как это было выявлено Подмосковной Геофизической экспедицией (рис. 3). Важно, однако, учитывать, что ход наклонов отстает по времени от хода атмосферного давления на несколько дней при периодах вариаций в несколько месяцев.

ВЕКОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Непрерывное исследование векового хода наклонов ведется сравнительно недавно. Но уже сейчас мы располагаем значительными научными данными, по которым можно составить общее представление о наклонах этого типа для земной поверхности в целом. Так, в Душанбе за девять лет наблюдений вековой ход наклонов достиг 75" на юг и 75" на запад, а в Полтаве за один-

надцать лет — 45" на юг и 38" на запад¹ (рис. 4). Перед 1949 г. в Душанбе изменение наклонов подверглось наибольшему нарушению в своем ходе. Возможно, что оно было связано с возникновением напряжений в земной коре перед катастрофическим Хатинским землетрясением 10 июня 1949 г. Интересные данные получены на японской станции Огойа, где за 1,5 года вековой ход наклона на глубине 300 м равнялся 180". Такой огромной величины векового хода не наблюдалось ни на одной из станций СССР. Наклоны этого типа, вероятно, существуют в любой точке земной поверхности, однако решить, какая ее часть подвержена единому наклону, периодичны ли эти движения и, наконец, в чем заключается причина вековых движений земной поверхности, возможно будет лишь после специальных длительных наблюдений.

«БУРИ НАКЛОНОВ» И ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Накануне землетрясений в земной коре возникают огромные напряжения, как правило, нарушающие обычный ход наклонов земной поверхности. Исследования показали, что чем ближе эпицентр землетрясения к месту наблюдения и чем больше его сила, тем теснее эта зависимость. Резкие повороты или петли наклонов, предшествующие и сопровождающие землетрясения, получили название «бурь наклонов».

Гармская экспедиция в течение 1947—1954 гг. провела одновременные наблюдения на нескольких станциях. Для большин-

¹ Петли в вековом движении обусловлены годовыми ходами наклонов, которые наложались на общее вековое движение.

ства сильных землетрясений направление наклонов совпадало с направлением линии эпицентр — станция, а после землетрясения их направление поворачивалось под углом, близким к 90° . Такой же результат получен на станции Душанбе для некоторых Афганских землетрясений. Японскими учеными впервые было найдено, что направление наклонов — на эпицентр или от эпицентра — зависит от того, какая волна (сжатия или растяжения) будет зафиксирована на станции в момент землетрясения. Однако эти признаки предваряют далеко не всякое землетрясение и поэтому они не вполне достоверны. С другой стороны, сами землетрясения, по-видимому, отличаются друг от друга. Наиболее интересные результаты получили японские ученые из наблюдений линейных деформаций. Землетрясение 18 июля 1952 г. было записано на двух станциях в виде значительных предваряющих нарушений в ходе линейных деформаций. В момент, близкий к приходу волны землетрясения, деформация изменила знак. Идентичность записи нарушения на двух станциях дает уверенность в достоверности подобных нарушений. Следует отметить, что нарушения в ходе деформаций начались за несколько месяцев до землетрясения. При катастрофическом землетрясении 21—22 октября 1951 г. близ Тайваня, впервые в Англии и в Японии были зарегистрированы значительные нарушения в ходе наклонов, которые возникли во время прихода волн на станцию наблюдения и оставались в виде остаточных наклонов и после землетрясения, при этом расстояние от эпицентра землетрясения до Англии было порядка 10 000 км, а до японских станций — около 1 000 км.

9 марта 1957 г. произошло катастрофическое землетрясение в группе Алеутских островов. Крутильные деформографы, установленные в Ялте, дали весьма отчетли-

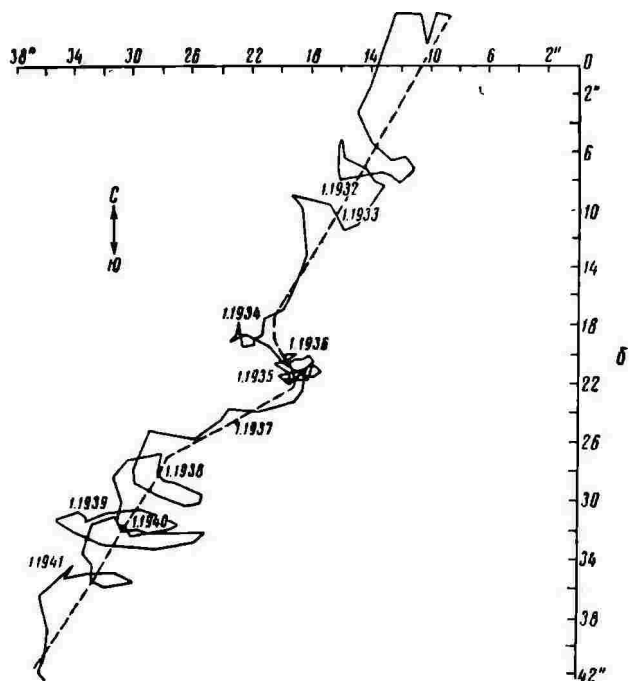
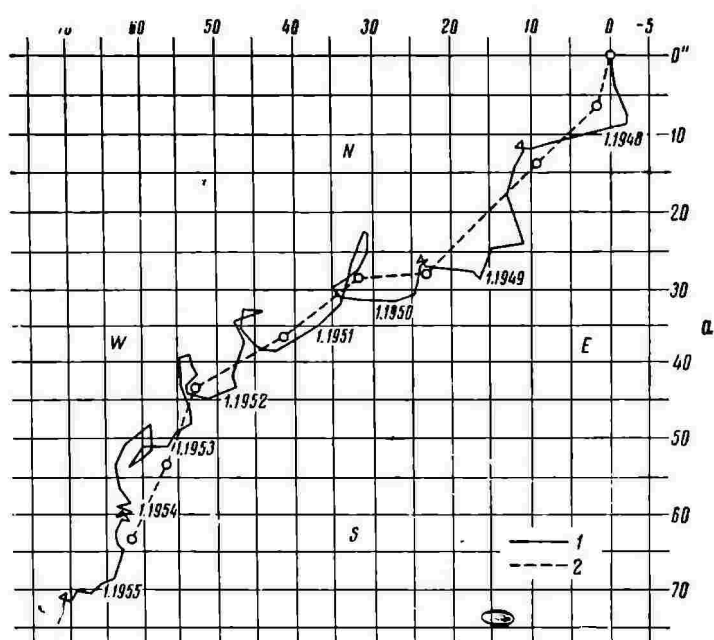


Рис. 4. Векторная диаграмма векового хода наклонов. Месячный (1) и годовой (2) ходы наклонов в секундах дуги для: а) Душанбе (1947—1955) и б) Полтавы (1931—1941)

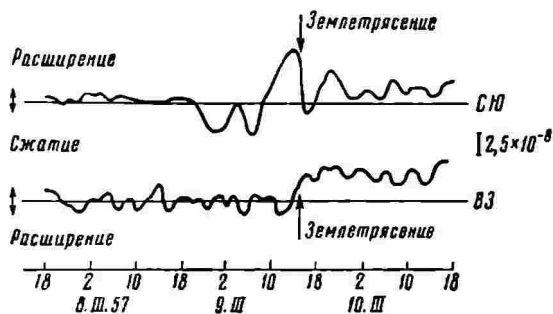


Рис. 5. Ялта. Ход линейных деформаций во время Алеутского землетрясения 9 марта 1957 года

вую картину нарушений в ходе деформаций перед землетрясением и во время него. Обычный спокойный ход деформаций, не выходящих из пределов $0,05 \mu/\text{м}$, за 18 час. до начала землетрясения был нарушен волной сжатия по составляющей север — юг. За 8 час. до землетрясения началось интенсивное расширение, которое в момент, близкий к приходу волны землетрясения на станцию, сменилось на сжатие, записанное по обеим составляющим (рис. 5).

Особый интерес представляет катастрофическое Монгольское землетрясение 4 декабря 1957 г., которое сопровождалось разрывами земной поверхности на протяжении нескольких сот километров. Наибольшая ширина трещин достигла 19 м. На станциях Гарм и Симферополь это землетрясение сопровождалось значительными нарушениями в ходе наклонов в виде остаточных деформаций. Векторные диаграммы на обеих станциях (рис. 6) оказались подобными, а амплитуды остаточных наклонов изменились обратно пропорционально эпицентральным

расстояниям. Это отчасти указывает на распространение остаточных деформаций по земной поверхности от эпицентра землетрясения. Особенно резкое изменение произошло в ходе суточных скоростей наклонов. Однако далеко не всякое катастрофическое землетрясение вызывает остаточные деформации земной поверхности на далеких от него расстояниях. Но некоторые из них вызывают остаточные деформации на всем земном шаре.

В исследовании всех форм медленных движений земных слоев и особенно в выяснении физической их природы сделаны только первые шаги. Для более глубокого изучения медленных движений земной поверхности потребуются дальнейшие длительные наблюдения и исследования и особенно

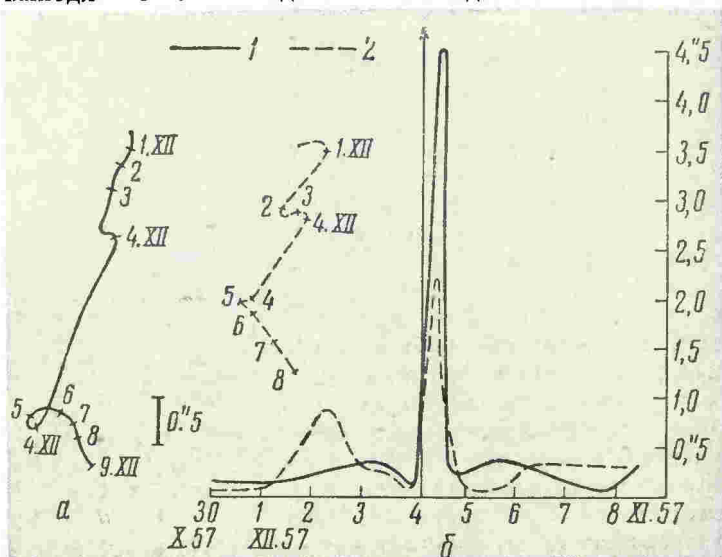


Рис. 6. Векторные диаграммы (а) и изменение суточной скорости хода наклонов (б) во время Монгольского землетрясения 4 декабря 1957 г. для станций: 1 — Гарм и 2 — Симферополь

большое внимание должно быть уделено изысканию признаков прогноза землетрясений.

Читайте в следующем, № 8 журнала «Природа»

КОСМИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИЯ. Статья В. П. Петрова, В. П. Селезнева.

ПРИРОДА ТУНГУССКОГО ПАДЕНИЯ. Статьи акад. В. Г. Фесенкова, К. П. Флоренского и И. Т. Зоткина, Н. И. Пьявченко.