

## Деформации земной коры на Камчатке

В. Б. Энман



Вячеслав Борисович Энман, кандидат технических наук, заведующий геодезической лабораторией Института вулканологии ДВНЦ АН СССР. Занимается изучением современных движений земной коры в сейсмоактивных областях и районах действующих вулканов геодезическими методами.

Любой участок земной поверхности непрерывно испытывает сложные колебания различной длительности и интенсивности. Даже в наиболее стабильных платформенных областях наблюдаются медленные (вековые) поднятия, опускания, сжатия и растяжения, на которые накладываются более быстрые подвижки.

В областях же активного горообразования существуют, кроме того, специфические смещения, сопутствующие землетрясениям и извержениям вулканов. Длительность этих движений варьирует от секунд и минут при землетрясении до нескольких лет перед землетрясениями и извержениями. Величины смещений земной коры измеряются сантиметрами и даже метрами.

В нашей стране уже около 30 лет проводятся измерения современных движений земной коры на больших и малых геодезических полигонах. Большая их часть расположена в сейсмически активных районах, занимающих более 10% территории Советского Союза с населением свыше 20 млн человек. Один из таких полигонов создается на Камчатке, являющейся первоклассным объектом исследований из-за наивысшего в стране уровня сейсмической активности и действующих вулканов. С 1972 г. здесь впервые в стране были созданы крупные геодезические сети для

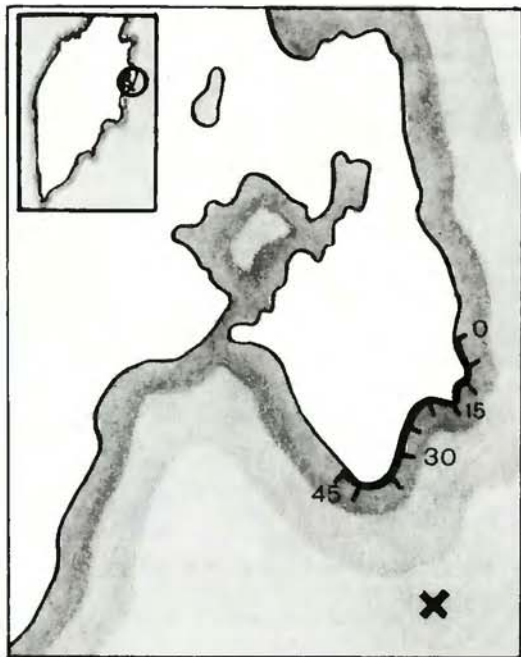
изучения горизонтальных деформаций с помощью светодальномерных измерений и триангуляции.

Геодезические работы, выполненные после землетрясения в районе Усть-Камчатка в 1971 г. и Большого трещинного Толбачикского извержения 1975—1976 гг., позволили выявить крупные деформации земной коры.

Еще в 1969 г. в связи с долгосрочным прогнозом С. А. Федотова о возможности сильного землетрясения в районе Усть-Камчатка была начата закладка нивелирного хода для исследования вертикальных смещений земной коры. Осенью 1971 г. вдоль побережья п-ова Камчатский мыс на расстоянии 45 км были установлены 32 репера. В декабре 1971 г. в океане в 30 км от созданной трассы произошло сильное землетрясение с магнитудой 7,8 и глубиной очага 20—40 км, сопровождавшееся мощной серией толчков в течение 6 мес. Осенью 1972 г. геодезические измерения были повторены. Оказалось, что участок нивелирного хода, расположенный ближе всего к эпицентру землетрясения, опустился на 12 см. Однако абсолютная величина подвижки, которая могла измеряться многими дециметрами, не была установлена (за неподвижный условно был принят репер, наиболее удаленный от эпицентра).

Известно, что землетрясения такой силы вызывают вертикальные и горизонтальные подвижки территорий площадью в сотни квадратных километров. Поэтому вероятно, что весь нивелирный ход, включая исходный репер, оказался в зоне смещения.

Эта работа показала, что для изучения быстрых сейсмических смещений недостаточно дискретных геодезических методов. Необходимы непрерывные измерения, которые и были проведены во время Большого трещинного Толбачикского



Опускание нивелирных реперов, сопутствующее Усть-Камчатскому землетрясению 1971 г. Вверху — расположение эпицентра землетрясения и нивелирного хода. Внизу — кривая смещения реперов за 1971—1972 гг.

извержения, продолжавшегося с 6 июля 1975 г. по 10 декабря 1976 г. Оно началось в 18 км к югу от крупного действующего вулкана Плоский Толбачик, входящего в Ключевскую группу вулканов, наиболее активную на Камчатке.

С 6 июля по 15 сентября 1975 г. в середине зоны старых базальтовых шлаковых конусов, отходящей полосой к югу от Плоского Толбачика, последовательно один за другим образовались и извергались три больших и несколько малых конусов. Высота крупных конусов составила 330, 290 и 140 м. Эта часть извержения была названа Северным прорывом. Одновременно обрушилась вершина Плоского Толбачика и образовалась кальдера диаметром 1700 м и глубиной около 450 м.

18 сентября 1975 г. после трехдневной паузы извержение возобновилось в 10 км южнее (Южный прорыв), где начал расти еще один крупный конус, действовавший до 10 декабря 1976 г. Высота его к концу извержения достигла 160 м. Подъем магмы по трещинам и необычайно мощное извержение привели к значительным деформациям окрестностей.

Геодезические исследования начались через неделю после начала извержения и продолжались 3 года. Горизонтальные смещения обширной площади около 2500 км<sup>2</sup> измерялись с помощью триангуляционной сети, а также светодальномерами, установленными в постоянных пунктах. Вблизи растущих конусов горизонтальные деформации измерялись круглосуточно светодальномерами, поднятия и опускания — нивелированием и теодолитными съемками. Рост высот и объемов конусов изучался с помощью теодолитных измерений и наземной стереосъемки.

Для определения деформаций земной коры, вызванных извержением, мы располагали измерениями, охватывающими площадь 60×40 км вокруг извержения, выполненными в 1971 г. и в конце извержения в 1976 г. Оказалось, что пункты, расположенные восточнее линии, соединяющей вершины Плоского Толбачика и Северный и Южный прорывы, сместились к востоку или юго-востоку. При этом векторы смещений достигают здесь 23 см, несколько уменьшаясь к востоку. Пункты западной части полигона сместились к западу и юго-западу примерно на те же величины. Одновременно эта же область оказалась приподнятой на величину до 0,5 м. Зона поднятия и растяжения площадью 1500 км<sup>2</sup> или более вокруг новых

вулканов протягивается к югу, выходя за границы полигона.

Неожиданным оказалось образование в северной части полигона, в 20—40 км от Северного прорыва, обширной зоны сжатия и опускания, площадью более 1000—1200 км<sup>2</sup>. Максимальные величины и горизонтальных подвижек, и опусканий составляют здесь 0,5 м.

О времени появления этих деформаций можно судить лишь по косвенным признакам. В период с 1971 по 1975 г. в этом районе наблюдались лишь отдельные слабые землетрясения, тогда как во время извержения произошла целая серия землетрясений. Кроме того, грандиозный провал новой вершинной кальдеры Плоского Толбачика диаметром 1700 м и глубиной 450 м образовался за первые несколько месяцев извержения. Вероятно, и наблюдаемые деформации произошли главным образом во время извержения.

Растяжение и поднятие земной коры вокруг новых Толбачицких вулканов, по-видимому, вызвано внедрением магмы из глубины к поверхности вдоль линии крупных конусов. Обширная область оседания и сжатия севернее и северо-западнее извержения позволяет предположить, что на глубине здесь существует обширный глубокий магматический очаг или система очагов длиной в десятки километров. Этот очаг, возможно являющийся главным источником извержения базальтов, судя по сейсмологическим данным, может находиться в нижней части земной коры.

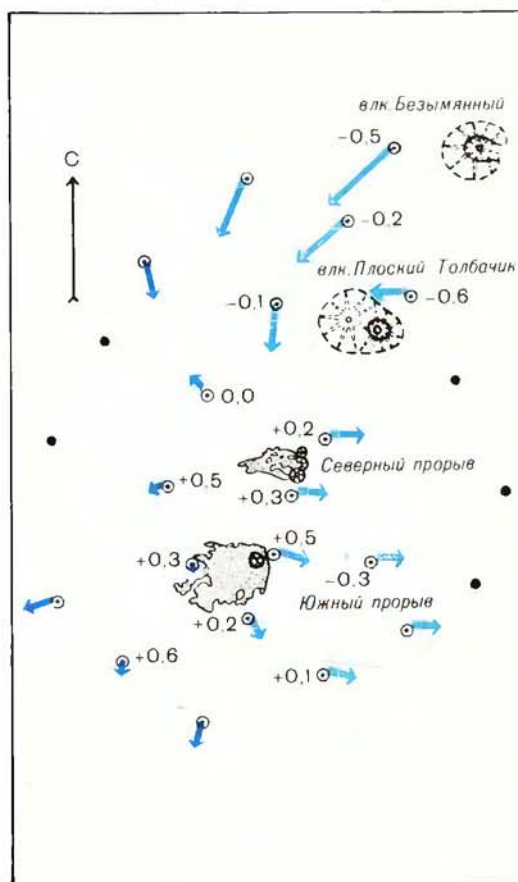
С помощью периодических теодолитных наблюдений и фототеодолитными стереосъемками с постоянных точек, расположенных не далее 1,5 км от извержения, измерялись размеры конусов Северного прорыва и изменения их объемов. Все три конуса росли примерно одинаково, со средней скоростью 50 м<sup>3</sup>/с. Общий объем конусов Северного прорыва за 72 дня их деятельности достиг 0,33 км<sup>3</sup>.

С 26 июля 1975 г. с двух постоянных пунктов геодезическим измерением горизонтальные деформации вблизи конусов. Смещения всех замеренных точек оказались одновременными и примерно одинаковыми по величине. Это дало основание предположить, что извержение имеет трещинный характер и что длина глубокой питающей трещины субмеридионального направления более 4 км.





Рождение каждого из крупных конусов происходило одинаково. На поверхности старых шлаковых полей над главной глубокой трещиной, питающей Северный

прорыв, появлялась кулисообразная трещина, расположенная под острым углом к главной. По всей ее длине начинался выброс вулканического материала через десятки жерл. Далее, над серединой начинал расти конус. Длину извергающейся трещины удалось измерить при прорыве второго конуса 9 августа 1975 г. За первые 20 мин она достигла 450 м, через 3 часа длина была максимальной — 480 м. Далее начинал формироваться шлаковый конус.

Важные данные о динамике образования и ширине питающих трещин, т. е.



Смещение пунктов Толбачицкого полигона за период 1971—1976 гг.

-  конусы Новых Толбачицких вулканов
-  лавовые потоки Северного и Южного прорывов
-  масштаб векторов горизонтальных смещений, в см; цифры со знаком — вертикальные смещения, в м
-  пункты, принятые за неподвижные

мощности базальтовых даек, лежащих близ поверхности, были получены при прорыве третьего конуса Северного прорыва. С 17 августа, за несколько часов до ожидаемого прорыва, начались частые измерения геодиметром по линиям, расположенным западнее ряда конусов. Их сжатие к моменту прорыва составило от 8 до 20 см. Одновременно другим светодальномером измерялись линии, пересекающие трещину. Примерно за 10 часов до прорыва на-

чалось растяжение местности, образование питающей трещины, полная ширина которой составила 1,1 м.

Эти работы впервые позволили измерить параметры трещин, питающих извержение, длина которых оказалась равной около 450 м, а ширина немногим более 1 м, а также оценить давление магмы при прорыве ее на поверхность, оказавшееся небольшим: 100—300 бар.

Область распространения деформа-

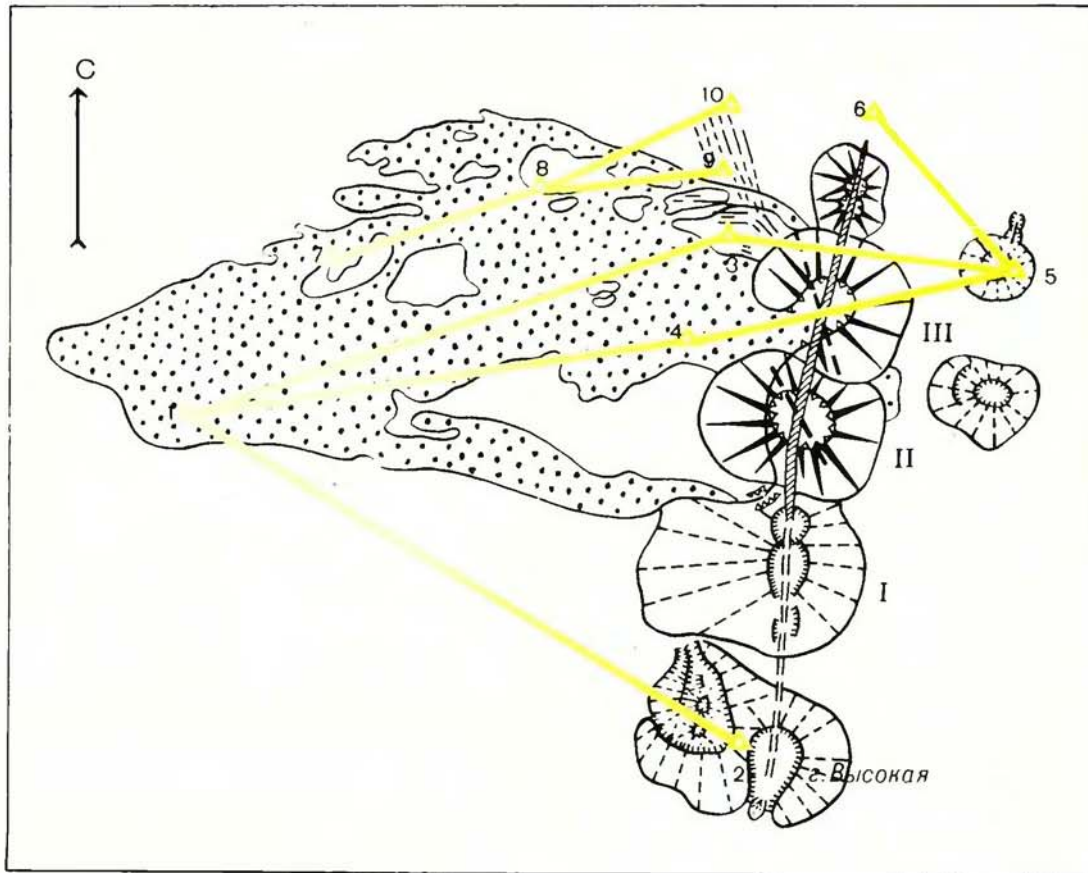


Схема геодезических работ вблизи Северного прорыва. I, II и III — крупные конусы.

	линии измерения горизонтальных деформаций		обрывы
	лавовые потоки		трещины, образовавшиеся во время извержения
	старые шлаковые конусы		новые шлаковые конусы

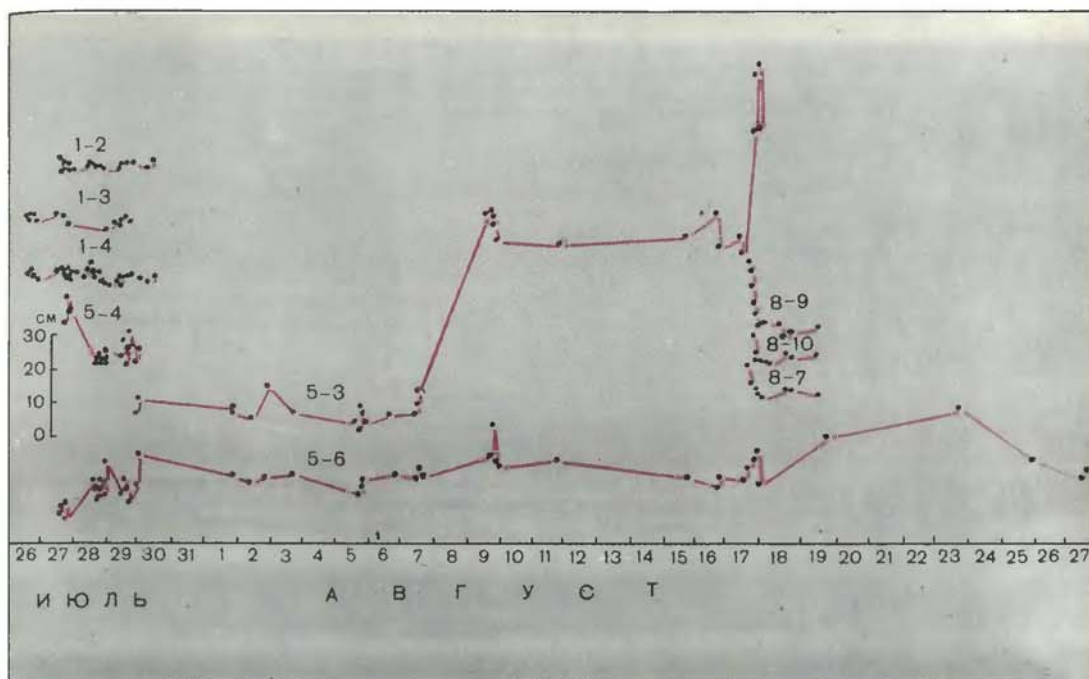
ций, связанных с наблюдавшимся извержением, оказалась ограниченной радиусом 15—20 км. Величины деформаций растут от сантиметров на краю области до нескольких метров вблизи извержения. Крупные локальные подвижки, вызванные изменением режима извержения, знакопеременны и происходят необычайно быстро, со скоростью до 10 см/мин.

Эффективное изучение динамики развития таких деформаций возможно

и различных сетей триангуляции для изучения горизонтальных компонент тектонических движений.

Все существующие и новые геодезические полигоны будут связаны в единый многоцелевой крупный полигон, охватывающий территорию Восточной Камчатки.

Лишь для изучения активности локальных структур (вулканов, кальдер, разломов, районов очагов землетрясений)



Горизонтальные деформации во время извержения Северного прорыва по линиям, отмеченным на предыдущем рисунке.

лишь круглосуточными геодезическими измерениями с интервалами до минут, в сочетании с непрерывными методами измерения наклонов и деформаций.

Проведенные измерения — лишь часть долгосрочной программы исследований современных движений земной коры на Камчатке Института вулканологии, рассчитанной на несколько десятилетий. Программой работ предусмотрено широкое применение метода точного нивелирования для измерения вертикальных смеще-

планируется создать 12 локальных полигонов с учетом 9 уже существующих. В зависимости от решаемых задач каждый полигон имеет свои особенности, конструкцию геодезических построений, программу и методику измерений.

Работы, связанные с изучением и прогнозом землетрясений и извержений, занимают особое место. Поэтому для поисков быстрых движений земной коры — предвестников в Петропавловске-Камчатском и пос. Ключи созданы 2 геодезические обсерватории для круглогодичных измерений горизонтальных и вертикальных деформаций в радиусе до 100 км от обсерватории. В этих же районах создаются сети станций непрерывной регистрации наклонов и деформаций. Сейчас уже действуют 6 наклономерных станций. В дальнейшем такая сеть распределится по всей территории Камчатского полигона.