



КИОДЖИ СЮЭХИРО, Профессор.

«Инженерная сейсмология»

Издательство «Экономическая жизнь»

1935 г.

ОТ РЕДАКЦИИ

В 1935 году в издательстве «Экономическая жизнь» вышла в свет книга японского ученого, профессора Киоджи Сюэхиро «Инженерная сейсмология». В предисловии к русскому переводу профессор В.О. Цшохер и инженер В.А. Быховский писали: «Появление книги в русском переводе должно рассматриваться как явление чрезвычайной важности в области изучения сейсмических сил и можно только пожалеть, что она не выпущена раньше».

Сегодня эта замечательная книга стала библиографической редкостью. В стремлении исправить это положение редакция журнала приняла решение опубликовать на страницах журнала три лекции (три части книги), и переиздать этот выдающийся труд отдельным изданием.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ. ЛЕКЦИЯ 1

СОДЕРЖАНИЕ

В этой лекции рассматриваются исследования, предпринятые Научно-исследовательским сейсмологическим институтом в связи с землетрясением в 1923 г. (Куанто), в 1927 г. (Танго) и 1930 г. (Северный Иду).

Изучение землетрясения в Куанто (Kwanto) привело к заключению, что хотя поднятия и опускания земной коры до некоторой степени являются результатом медленных постепенных изменений, все же большинство таких поднятий и опусканий происходят внезапно во время землетрясений. Предстоит произвести еще много исследований, прежде чем ученые смогут предсказать землетрясения в таком виде, чтобы это могло быть использовано инженерами.

Исследования, произведенные после землетрясения в Танго (Tango), обнаружили, что земная кора состоит из ряда отдельных массивов сбросового характера. Движе-

ние земной коры фактически закончилось через четыре года после землетрясения. Непосредственно после землетрясения в двух местах вблизи области эпицентра были установлены тилтграфы Ишимото (Ishimoto tiltgraph). Изучение полученных записей выяснило, что большинство сильных последующих толчков (aftershocks) было связано с изменением направления колебаний земной коры, однако до сих пор еще нельзя установить, было ли вызвано колебание метеорологическими причинами или подземными изменениями.

Во время землетрясений в Северном Иду (Idu) 26 ноября 1930 г. в середине полуострова Иду образовался сброс, протяжением в 30 км, имеющий направление с севера на юг. Смещения в 100 см были обнаружены на поверхности, и почти год спустя ежедневные смещения в 0,001 мм наблюдались в железнодорожном тоннеле Тан-

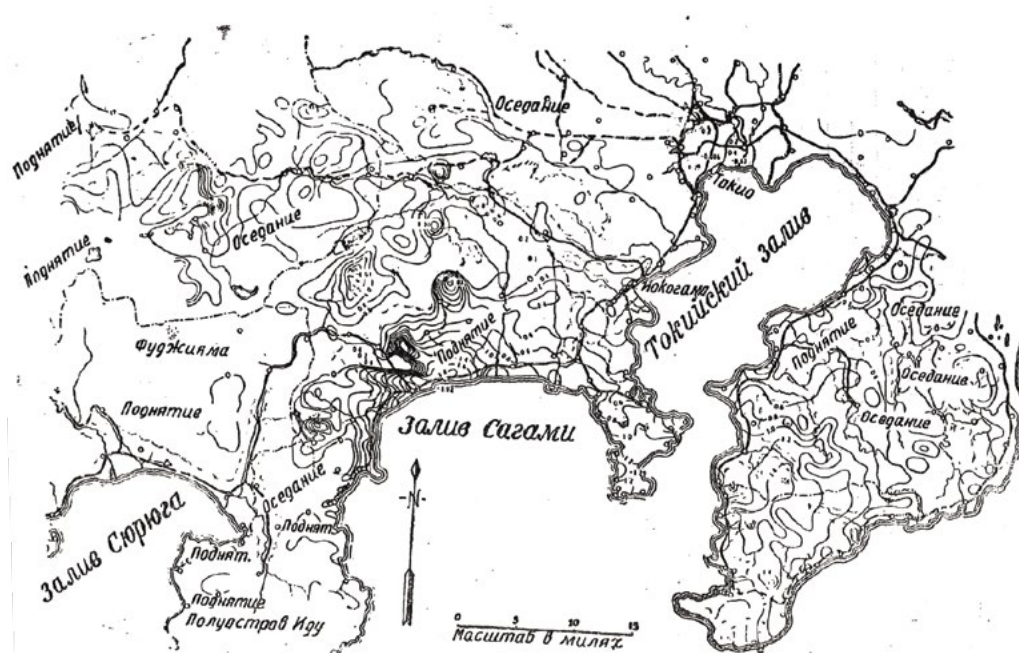


Рисунок 1 — Вертикальное смещение грунта в районе разрушения при землетрясении в Куанто

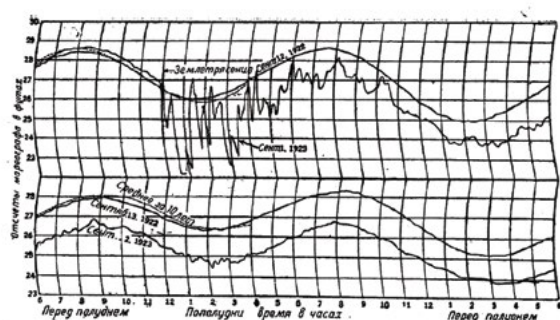


Рисунок 2 — Запись мареографа в Иокосука

на. Было сделано много попыток установить связь между землетрясениями и метеорологическими явлениями и движениями земной коры.

ВВЕДЕНИЕ

Прежде всего я должен отметить тот факт, что я не геофизик и не геолог (эти ученые более других авторитетны в вопросах, касающихся землетрясений), а только сейсмолог, интересующийся изучением инженерной стороны сейсмологии.

Основные принципы сейсмологии и все общие исследования явлений землетрясений даны в «Сейсмологии» проф. Д. Милна (Prof. J. Milne), в книге «Наша подвижная земля» проф. Р. Дейли (Prof. R. A. Daly), в «Руководстве по геофизике» проф. Б. Гутенберга (Prof. B. Gutenberg) и в других руководствах. Поэтому я, не затрагивая общих вопросов, остановлю свое внимание только на тех специальных проблемах, которые интересуют инженеров и которые до сих пор еще не рассматривались ни в каком руководстве. Кроме того в столь короткой лекции, как настоящая, невозможно во всей подробности описать это весьма сложное явление, так что я вынужден отметить лишь некоторые самые главные его особенности.

Обращаю ваше внимание на тот факт, что моя родина, Япония, обыкновенно рассматривается как одна из наиболее сейсмических стран в мире. Покойный проф. Милн, известный английский сейсмолог, говорил в шутку, что землетрясения у нас бывают к завтраку, обеду, ужину и ко сну. Излишне говорить, что это только шутка и что она далека от истины. В самом деле, сейсмичность Японии несколько преувеличена отчасти потому, что все еще продолжают последующие толчки после землетрясения 1923 г., а отчасти потому, что всякое сильное землетрясение немедленно становится известным всему миру, так как Япония так плотно населена, что каждое сильное землетрясение причиняет большие или меньшие разрушения, в какой бы части страны оно ни происходило.

Америка находится в совершенно ином положении. Например, в 1915 г. в Северной Неваде произошло ужасное землетрясение, оставившее исключительный сброс на западном склоне хребта Сонома (Sonoma Range), имевшем вертикальное смещение около 6,10 м. Однако, насколько мне известно, серьезно повреждена была только одна ферма вблизи сброса, другие же сооружения не могли быть повреждены, так как их вообще там не было. В Японии мы и мечтать не можем о подобном исходе землетрясения. Я однако не отрицаю того, что на моей родине землетрясения часты, и по этой причине мы делаем все, что в наших силах, чтобы постичь и покорить себе это явление. Однако я с сожалением констатирую, что наши старания до сих пор были недостаточно плодотворны.

Основы современной сейсмологии в Японии были заложены группой американских и английских ученых, приехавших в Японию около пятидесяти лет тому назад. В 1880 г. эти иностранные ученые основали японское сейсмологическое общество и энергично изучали сейсмологические проблемы. Среди этих людей должны быть специально упомянуты имена Милна, Кнотта (C. G. Knott), Ивинга (J. A. Ewing) и Менденхолла (T. C. Mendenhall). Проф. Ивингу удалось получить

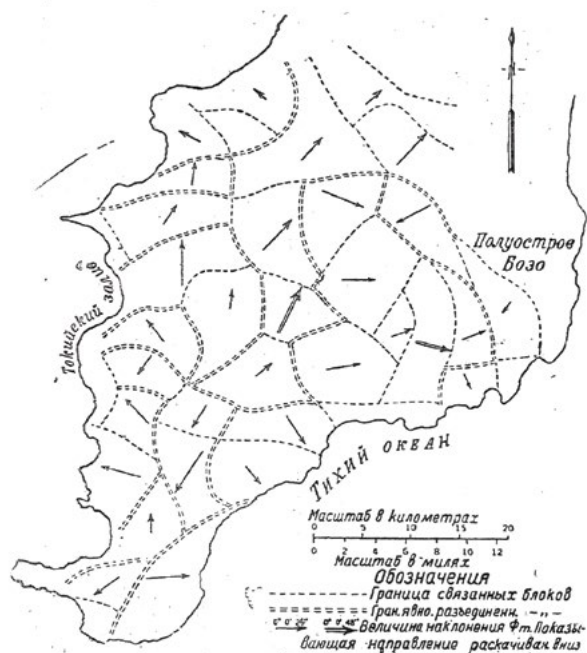


Рисунок 4 — План полуострова Бозо, разделенного на массивы, расходящиеся независимо друг от друга



Рисунок 5 — Горизонтальные смещения

нии всего периода времени между сентябрем 1923 г. и мартом 1927 г. Вертикальное смещение определено сравнением полученных результатов с данными подобной же работы, произведенной в период между 1888 и 1903 гг.

Земная кора, образующая Японские острова, даже в обычное время исключительно неустойчива, так что обнаруживаемые поднятия и опускания являются несомненно результатом как постоянных, постепенных, так и внезапных изменений. Большинство изменений произошло внезапно во время землетрясения, что отчетливо доказано не только графическими записями действия морских приливов и отливов, а также мареограммами, полученными в Йокосука (Yokosuka) (рис. 2), – порту, расположенном в районе наиболее сильных толчков, но и наблюдением над недавним под-

нятием берегов, расположенных в районе разрушения. Из мареограммы, полученной в Абюратубо (Aburatubo), – деревушке, лежащей недалеко от Йокосука, приблизительно за месяц до землетрясения было установлено, что почва по отношению к уровню моря стала медленно подниматься. До момента землетрясения поднятие достигло примерно 2 см. Некоторые считали, что эти поднятия были предвестником, землетрясения, и что такие движения земной коры могут служить средством для предсказания землетрясений.

Между тем, на основании тщательного изучения этого явления в нашем институте, проф. Терада (Prof. Terada) пришел к заключению, что досейсмические поднятия относительно уровня моря могут быть вызваны и метеорологическими причинами. Это означало бы, что причина изменения уровня моря зависела от изменений барометрического давления. В это время центры тайфунов, следовавших один за другим над Тихим океаном, прошли южнее Японских островов. Приняв во внимание указанный факт, проф. Терада пришел к заключению, что земная кора не была нарушена непосредственно перед землетрясением, и мы сделали бы поспешное заключение, если бы приняли, что подобные смещения земной коры являются предтечами и предсказывают землетрясения. Прежде чем мы получим возможность предсказывать землетрясения, многое еще в этом отношении должно быть изучено.

Вторая карта (рис. 3) показывает вертикальные смещения реперов вдоль главных нивелировочных трасс, проходящих в западной половине главного острова Японии. Естественно, что смещение грунта главным образом отмечено в следующих трех областях: область Куанто, полуостров Танго, и полуостров Иду, где недавно произошли сильные землетрясения. Тем не менее будет выяснено, что имеются еще некоторые другие местности, до сих пор еще не затронутые движением, но относительно которых существуют данные о несомненных смещениях земной коры. За развитием этих нарастающих изменений следует тщательно следить.

Вернемся к вопросу о колебаниях земной коры, которые произошли вслед за землетрясением и анализ которых, проведенный в Научно-исследовательском сейсмологическом институте, дал весьма интересные выводы. Я упомяну только один из них, полученный Н. Миабе (N. Miyabe). Анализируя своим оригинальным методом вертикальные смещения, он выяснил, что эти смещения на полуострове Бозо (Boso) состояли из смещений массивов, главные особенности которых показаны на рис. 4.; это указывает, что земная кора в этой местности по всей вероятности имеет мозаичную структуру.

Его метод основан на простом тригонометрическом соотношении $\tan \varnothing - \tan \varnothing_m \cos (\theta - \theta_m) \dots (1)$, которое верно только тогда, когда любое количество точек на одном и том же массиве движется как части целого (en masse). В этом уравнении $\varnothing$ означает изменение угла наклона линии, соединяющей пару точек (или относительное изменение высоты $\varnothing$, деленной на расстояние); θ – означает азимут этой соединяющей линии относительно определенного направления, в то время как $\varnothing_m$ и θ_m и соответственно означают направление и величину изменений угла наклона массива. Уравнением (1) Миабе выделял разные массивы графическим методом.

Он составил график значений $\tan \varnothing$ различных точек и их отношений к θ и сгруппировал точки, расположенные на

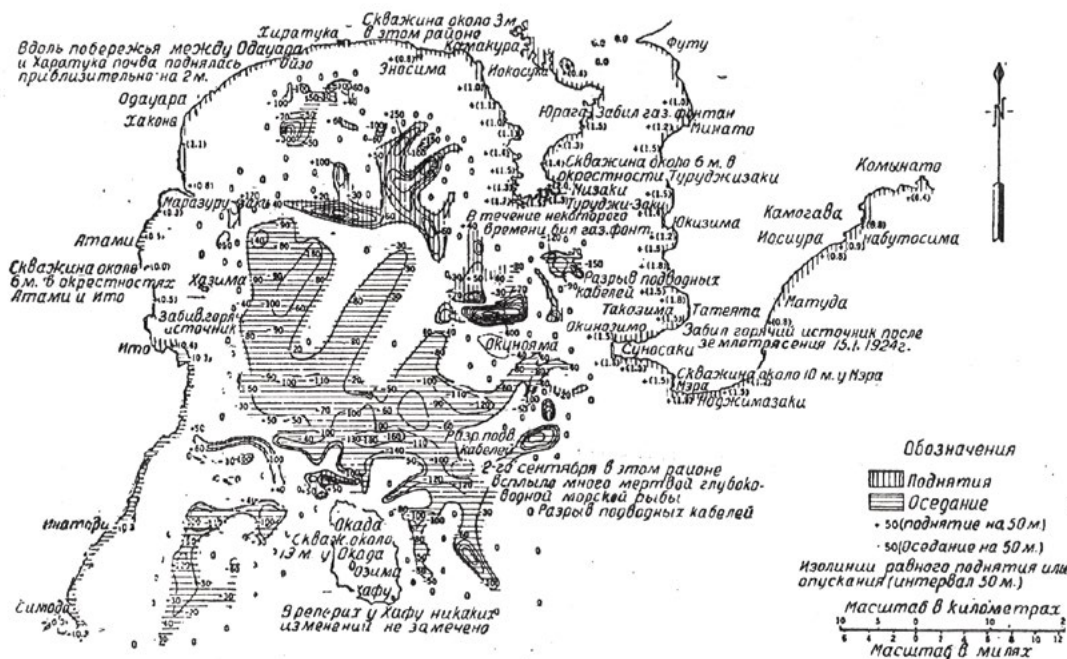


Рисунок 6 — Изменения глубины в бухте Сагами и вблизи ее между 1912 и 1923 гг. (в метрах)

одном и том же массиве, отдельно от точек других массивов, руководствуясь тем, располагаются они или нет по достаточно ясно очерченной синусоидальной кривой.

С целью определить нарастание смещений земной коры после сильных колебаний, по совместной просьбе Совета Комитета по землетрясениям и проф. Имамура (Prof. A. Imamura), Военно-топографическим департаментом были произведены многократные сплошные точные нивелировки вдоль линии Токио-Абюратубо. Было обнаружено, что непосредственно после землетрясения земная кора выявила стремление вернуться к своему первоначальному состоянию, однако впоследствии она все же подверглась дальнейшему поднятию. Для изучения сейсмологии весьма важно объяснение геофизических причин возникновения подобных явлений, но я как инженер не решаюсь обсуждать эти вопросы.

2. Горизонтальное смещение грунта

На рис. 5 показаны результаты триангуляционной съемки, произведенной Военно-топографическим департаментом, относящиеся к 778 вторичным и третичным триангуляционным пунктам. Смещения триангуляционных пунктов, определяются как разность в положениях их до и после землетрясения; первые были определены в промежутке между 1890 и 1891 гг., а последние между 1924 и 1926 гг. При составлении этой карты было допущено, что базисные триангуляционные линии, соединяющие главнейшие первичные пункты, не подвергались смещению. Это допущение сделано для упрощения работы по корректированию карты, так что выявленные смещения должны быть рассматриваемы только как относительные. Тем не менее на этой карте безошибочно изображена катастрофическая природа землетрясения.

3. Нарушения морского дна

Нарушение, которое произошло в бухте Сагами (Sagami Bay), было в высшей степени сильным. Рис. 6 показывает раз-

ницу в глубинах по измерениям, произведенным Морским гидрографическим департаментом непосредственно после землетрясения в промежутке между сентябрем 1923 г. и февралем 1924 г., в сравнении с измерениями, произведенными в 1912 г. и позже.

Так как во многих местах изменения глубин достигали более 200 м, то естественно возникает сомнение в точности измерений. Однако измерения не только были произведены очень опытными людьми, но и результаты измерений были тщательно проверены проф. Терада с целью установления зависимости обнаруженных изменений от покатостей склонов морского дна или от определенных глубин его. Он установил, что результаты измерений заслуживают доверия. Действительно, 5 апреля 1930 г. в нескольких пунктах была вторично измерена глубина, давшая фактически те же значения; это является лишним доказательством, подтверждающим достоверность измерений. В том, что при землетрясении поведение морского дна совершенно отличается от поведения суши, нас убеждают и данные «моретрясения», происшедшего 15 августа 1886 г. вблизи Занте (Zante) в Греции, когда было отмечено внезапное увеличение глубины морского дна от 1 372 до > 1 768 м.

Заслуживает упоминания, хотя и без какой-либо прямой связи с рассматриваемыми вопросами, что во время глубинных измерений в Тихом океане, южнее Японии, морское гидрографическое судно «Мансуи» (Mansui) обнаружило глубочайшую зияющую пучину вдоль цепи островов Иду, имеющую глубину, значительно превышающую хорошо известную пучину Тускарори.

4. Изменения расстояний

Деформация земной коры хорошо иллюстрирована изменениями в длинах периодических базисных линий, установленных на территории астрономической обсерватории Токийского университета в Митака (Mitaka), деревушке близ Токио. Результаты измерений, производившихся ежегодно

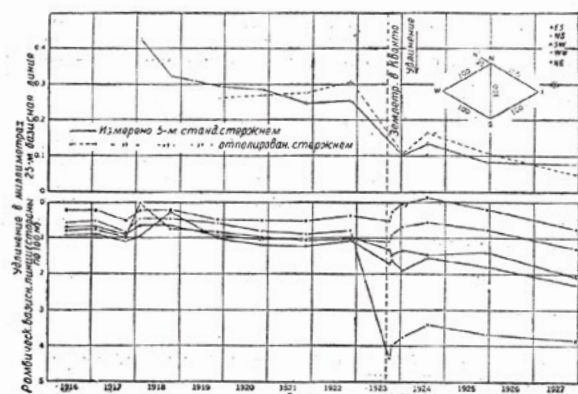


Рисунок 7 — Измерение базисной линии на территории Астрономической обсерватории Токийского университета, показывающие изменения длины (протяжения)

геодезической комиссией, наносились на график, изображенный на рис. 7. Изменения площади геодезического румба вычислены по этим данным, Тсубои (С. Tsuboi) и изображены на рис. 8. Заслуживает особого внимания тот факт, что за особенным сжатием поверхности, имевшем место непосредственно перед землетрясением, тотчас же после толчка последовало чрезвычайное расширение.

Я могу еще добавить, что на одной из наших наблюдательных станций мы подготовили в настоящее время мероприятия для получения непрерывных наблюдений за изменениями вымеренных расстояний. С этой целью кварцевые трубки длиной в 20 м, помещаемые в закрытые траншеи, будут использованы как контрольные стандартные масштабы. Есть надежда, что наблюдения начнутся еще в течение 1932 г.

5. Ускорения, вызванные силой тяжести

Ряд разнообразнейших явлений привлекал наше внимание. Однако оказалось, что они не находятся в близкой связи с землетрясением. Я сошлюсь, например, на изменение в оценке времени по стандартным часам Рифлера (Riefler), установленным в обсерватории. Определенные изменения в скорости хода часов до и после землетрясения указывали, что землетрясение изменило величину ускорения силы тяжести в этой местности. Для определения, действительно ли изменение в ходе часов было вызвано изменением величины силы тяжести, Тсубои, сотрудник нашего института, весной 1931 г. произвел в Токио и других местах Измерения силы тяжести вольфрамовым маятником Нагаока (Nagaoka). К нашему разочарованию в трех последовательных пунктах не было обнаружено (по крайней мере, в пределах точности порядка 10 милигал, т. е. $0,01 \text{ см/сек}^2$) никаких изменений в величине силы тяжести по сравнению с измерениями, произведенными до землетрясения.

Подобные исследования должны были бы производиться немедленно после землетрясения, и я сожалею, что вследствие ограниченности ассигнованных средств мы постоянно упускаем благоприятные возможности для подобного рода исследований. К счастью, или к несчастью, но мы всегда были и несомненно всегда будем снабжены обильным материалом для исследования, но мы все же со-

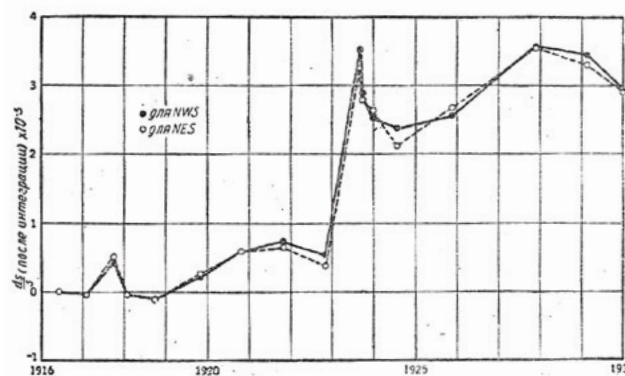


Рисунок 8 — Относительные изменения площади геодезических румбов, вычисленные по данным рис. 7

жалеем, что наши усилия по развитию этой отрасли знания относительно недостаточны.

II. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ТАНГО

После землетрясения в Танго, в дополнение к обычно производимой работе, заключающейся в сейсмометрических наблюдениях последующих толчков, геологических и географических исследованиях, промерах глубин морского дна и инженерных наблюдениях, были произведены еще следующие работы:

1. Точная нивелировка всего района разрушения повторена пять раз; причем последняя серия съемок была закончена в конце 1930 г.
2. Триангуляционная съемка этого же района была повторена три раза.
3. Непосредственно вслед за землетрясением тилтграфами Ишимото, установленными в двух местах вблизи эпицентра, производились непрерывные наблюдения раскачивания грунта.

1. Точная нивелировка

Трассы топографических съемок указаны на рис. 9, на котором определены приблизительные месторасположения линий двух главнейших сбросов или, верней, их уступов. На рис. 10 изображены пять профилей, указывающих на поднятие и оседание, происшедшие в промежутке между последовательными топографическими съемками вдоль одной из трасс. Интересно отметить, что в продолжение первой стадии возврата земной коры к равновесию, обе стороны линий сброса производили движения независимо одна против другой, в дальнейшем же перемещались как одно целое, особенно в направлениях с севера на юг, что указывает на связь трещин сброса, и что в продолжении возврата к равновесию район разрушений некоторое время то поднимался, то опускался, причем эти колебания постепенно затухали. Наблюдения истинной природы колебаний земной коры несколько затрудняются тем, что в профилях криволинейные расстояния заменяются прямыми.

Тсубои изучал характер колебаний проектированием на вертикальную плоскость вертикальных смещений вдоль искривленных трасс и обнаружил, что точно так же, как и при землетрясении в Куанто, земная кора очевидно состо-

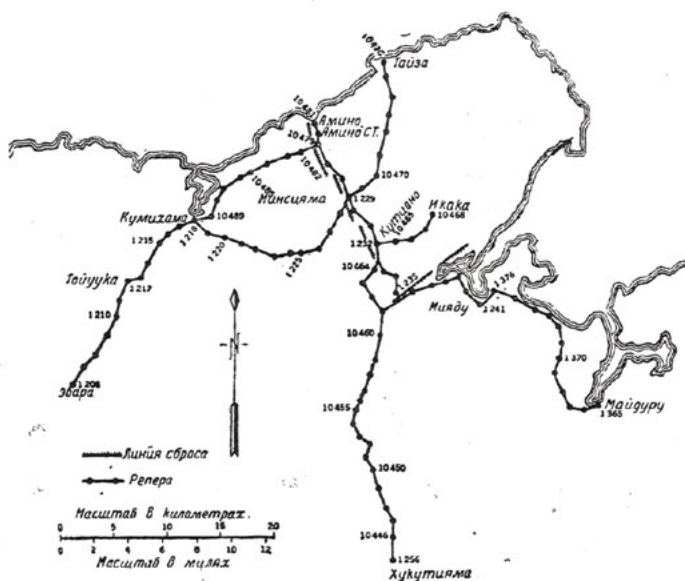


Рисунок 9 — Нивелировки, использованные для изучения действия землетрясения в Танго

ит из некоторого числа отделенных друг от друга массивов, которые перемещаются самостоятельно и независимо от смежных с ними массивов. Последнее топографическое изыскание кроме того по-видимому указывает на то, что послесейсмические движения земной коры практически можно признать прекратившимися после четырехлетнего непрерывного процесса приспособления к состоянию равновесия.

2. Триангуляции

После землетрясения триангуляция также была повторена три раза – в мае-июне, в августе-сентябре и в октябре-ноябре 1927 г. Досейсмические топографические съемки были произведены между 1884 и 1889 гг. На рис. 11 указаны смещения главных триангуляционных пунктов по данным каждой последующей топографической съемки.

Приводимая диаграмма может дать ценный материал для изучения характера землетрясений, но сейчас я воздержусь от рассмотрения этого материала и ограничусь указанием, что основанные на указанных выше топографических изысканиях весьма важные исследования были произведены членами нашего коллектива. Так, например, исследование размещения расширений и вращений (dilatation and rotation) грунта в районе землетрясения было произведено проф. Терада и опубликовано в бюллетенях Научно-исследовательского института землетрясений при Токийском государственном университете.

После землетрясения в Танго впервые были применены тилтграфы Ишимото для наблюдения послесейсмических смещений. В основном этот прибор состоит из горизонтального маятника с подвеской Цэлльнера (Zollner's suspension), сделанного целиком из плавленого кварца, с тем чтобы свести до минимума влияние температурных изменений. Тилтграф Ишимото показывает качания почвы с точностью $0^{\circ}-0'-0,1$. Эти приборы были установлены в двух местах в районе разрушений. Главнейшие последующие толчки очевидно имеют тесную связь с раскачиваниями почвы.

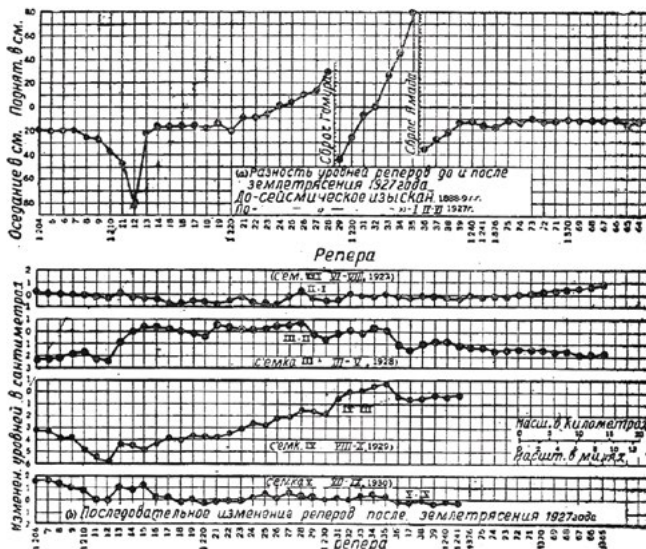


Рисунок 10 — Профили, показывающие поднятие и оседание, выявленные при съемках вдоль одной из трасс, показанных на рис. 9

Это видно из векторной диаграммы (рис. 12), записанной тилтграфом.

Большинство из сильных последующих толчков находят, как видно, в тесной связи с изменениями в направлении раскачивания почвы. Были ли эти раскачивания почвы вызваны метеорологическими причинами или подземными изменениями – мы не знаем. Но каковы бы ни были эти причины, мы не придерживаемся мнения, что подобные раскачивания почвы позволяют безошибочно предсказывать землетрясения.

Кроме вышеупомянутых были произведены еще разные другие исследования, однако в пределах этой лекции описать их подробно невозможно. В виде примера я упомяну лишь об одной сейсмометрической триангуляции, произведенной Назу (S. Nasu) под руководством проф. Имамура. Он определил месторасположение гипоцентров последующих толчков помощью сейсмографов, установленных в четырех местах в пределах эпицентральной зоны. Найденные этим способом распределения и положения гипоцентров могут быть весьма полезными данными для сейсмологов.

III. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ИДУ

1. Общие сведения

Это землетрясение, хотя и сугубо местное по характеру, было разрушительным, явившись причиной гибели 261 человека и разрушения более 2 000 зданий. По данным проф. Имамура очаг этого землетрясения находится на $139^{\circ}0'$ восточной долготы и на $35^{\circ}2'$ северной широты.

Вдоль хорошо известной тектонической линии с севера на юг возник и быстро распространился по всей средней части полуострова Иду огромный сброс, протяжением в 30 км. Местность к востоку от сброса сместилась к северу в отношении местности к западу от сброса. Горизонтальное смещение по измерениям в бассейне Танна (Tanna Basin), где сброс отчетливо выявился, составляло около 100 см. Это явление смещения особенно интересно еще и в том от-

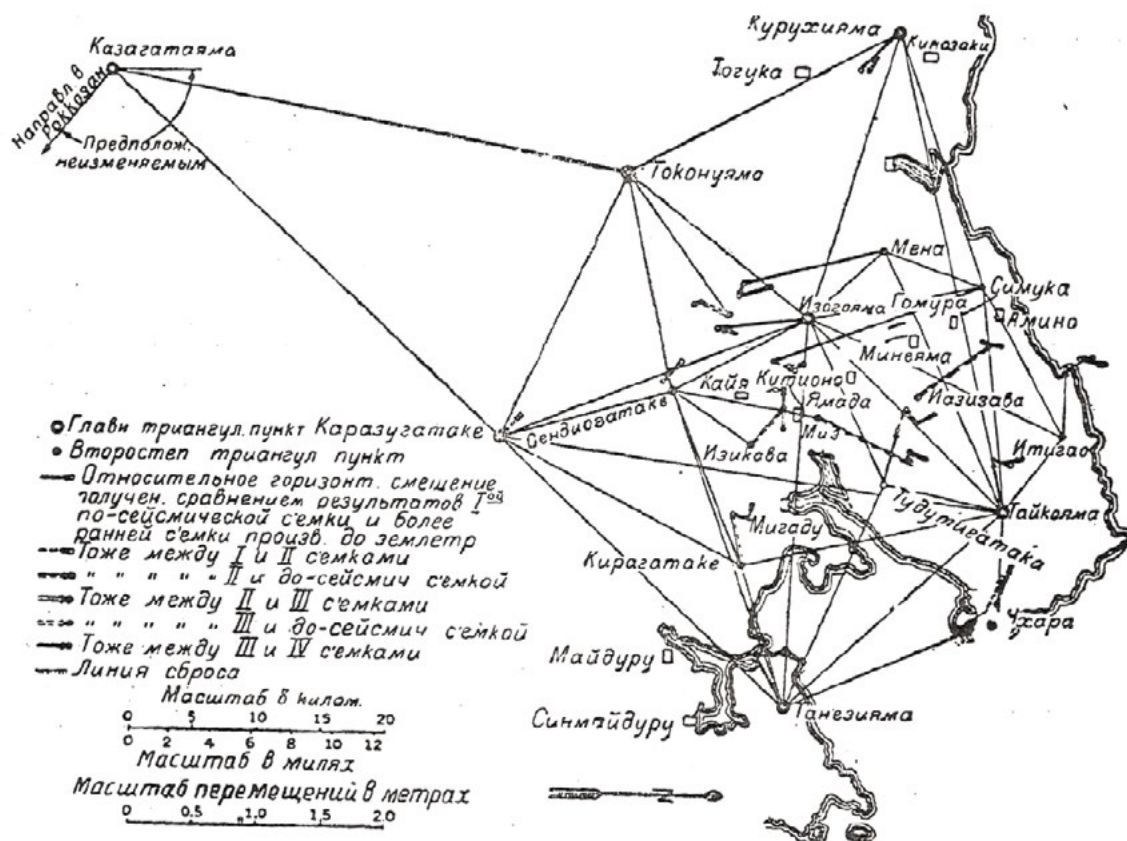


Рисунок 11 — Горизонтальное смещение триангуляционных пунктов, выявленное после землетрясения в районе Танго 7/III – 27 г.

ношении, что оно наблюдалось также в железнодорожном тоннеле Танна, что детальнее будет описано ниже.

2. Предварительные и последующие толчки

Характерной чертой этого землетрясения было большое число толчков, начавшихся на рассвете 7 ноября и предшествовавших главному землетрясению, достигшему кульминационного положения в разрушительном толчке 26 ноября. По данным Центральной метеорологической обсерватории на ее наблюдательной станции в Мизима (Misima) за день до главного землетрясения записано 789 толчков. Толчки быстрой последовательности или «рои» землетрясения (earthquake «swarms») начали также появляться 13 февраля 1930 г. со дна моря на некотором расстоянии от Ито (Ito) – курорта на западном побережье полуострова Иду, расположенном в 10 км от эпицентра этого разрушительного землетрясения. «Рои» землетрясений могут также рассматриваться как предшествующие толчки. По зарегистрированным данным можно считать, что из числа толчков, происшедших между 14 февраля и 11 апреля, 3 715 имели смещение, превосходящее 1 микрон.

На рис. 13 изображено пространственное расположение гипоцентров при землетрясении в Ито, как это определили Назу и другие с помощью пяти сейсмографов, установленных в пяти пунктах в районе эпицентра. Можно заметить, что фокусы скучены внутри узкого рогообразного пространства. На основе этого некоторые считают, что сейсмическая активность обязана действию потухшего подводного вулкана.

3. Раскачивание почвы, обусловленное землетрясениями в Ито

С целью найти какое-либо соотношение между раскачиваниями почвы землетрясениями в двух пунктах (Ito and Kawana) вблизи области эпицентра были установлены тилтграфы Ишимото. На рис. 14 изображена векторная диаграмма, показывающая направление и интенсивность раскачивания почвы, отмеченных в Ито. Наиболее значительные толчки с указанием дат их возникновения обозначены буквами алфавита.

Можно заметить, что в то время как одна группа толчков была связана с раскачиваниями почвы в направлении к западу, другая группа была связана с раскачиваниями в направлении к югу. В апреле был период затишья, когда явления раскачивания (движения) были едва заметны и этим как бы подтверждалась кажущаяся связь между раскачиванием земной коры и землетрясениями. Следует однако отметить, что хотя землетрясение 22 марта (отмеченное на диаграмме буквой К) было весьма разрушительным, ничего похожего на предостережение об его приходе за все время не было замечено. Отчасти вследствие непредвиденных обстоятельств, отчасти по упущению с моей стороны в октябре наблюдения были прерваны. К сожалению, разрушительное землетрясение 26 ноября произошло до того, как мы успели возобновить намеченные ранее наблюдения и этим самым мы были лишены возможности использовать благоприятный случай для наблюдения движений земной коры непосредственно перед и после разрушительного землетрясе-

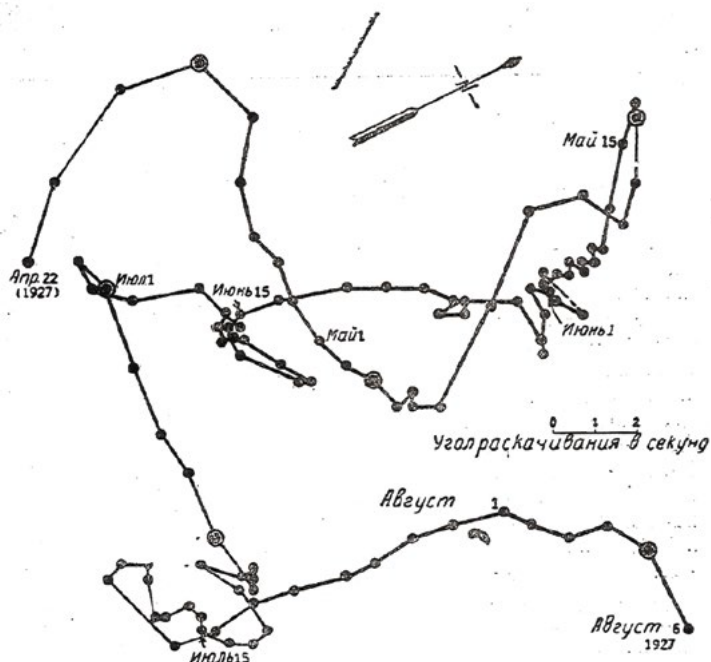


Рисунок 12 — Типовая векторная диаграмма, показывающая раскачивания грунта, записанные типографом

ния, хотя, как мы выяснили впоследствии, мы приобрели бы немного, так как движения земной коры, связанные с главным землетрясением, совсем не были заметны в этом районе.

4. Точная нивелировка и триангуляция

Кроме того оказалось необходимым провести линию точных нивелировок в направлении дороги, близко примыкающей к эпицентральной области землетрясения в Ито, как это показано на рис. 15. Работа была поручена Военно-топографическому департаменту и возобновлялась по этой же дороге в то время, когда толчки еще продолжались. Таким образом вместе со съемками, произведенными топографическим департаментом как до и после землетрясения в Куанто, так и после сильного землетрясения в Иду (26 ноября), точные нивелировки были повторены пять раз вдоль этой дороги. Вертикальные смещения по сравнению с предыдущими данными, установленные после каждой съемки, показаны на рис. 15.

Заслуживает внимания следующее:

- Разрушительное землетрясение происходило в то время, когда производилась наша вторая съемка (отмеченная II). В самом деле, съемка между реперами №№ 9339–9341 производилась в одном направлении 25 ноября, т. е. накануне землетрясения, и в противоположном направлении – на следующий день после землетрясения; однако значительных изменений не было обнаружено.
- В течение краткого промежутка времени в семь месяцев, истекших между первой и второй съемками, прибреж-

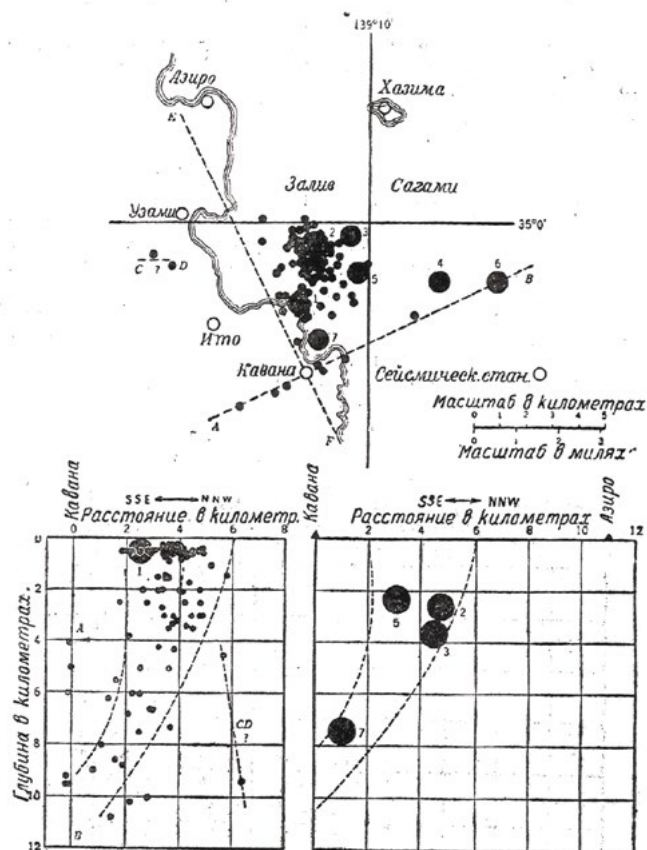


Рисунок 13 — Размещение в пространстве гипоцентров землетрясения в Ито

ные репера, обращенные к эпицентру, из которого возник сейсмический рой, сильно приподнялись.

Кроме того топографический департамент непосредственно вслед за разрушительным землетрясением разбил сеть точных нивелировок вокруг полуострова Иду, северная часть которого пересекает линию сброса. Вертикальные смещения в сравнении с данными предыдущей съемки изображены на рис. 16. Анализ и объяснения этих данных были осуществлены Тсубои и другими работниками Института и опубликованы в бюллетенях.

Летом 1931 г. была произведена триангуляция в двенадцати первичных и семнадцати вторичных пунктах полуострова Иду и в окрестностях; результаты будут вскоре опубликованы в бюллетенях Института.

5. Тоннель Танна

На рис. 17 схематично изображен план железнодорожного тоннеля общей длиной около 7 295 м, идущего в основном в восточно-западном направлении. Ко времени землетрясения около 914,4 м оставались еще не пройденными (рис. 17). Плоскости сбросов расположены в меридиональном направлении и они пересекают тоннель перпендикулярно. Из четырех плоскостей сбросов, пересекающих тоннель, три плоскости имели лишь незначительные смещения, так как они дали лишь мелкие трещины в стенке тоннеля или небольшие сдвиги основания. Четвертая же, являющаяся вероятно продолжением главного сброса, показавшегося на поверхности в бассейне Танна, весьма значительна. Ко времени землетрясения тоннельные работы продвинулись

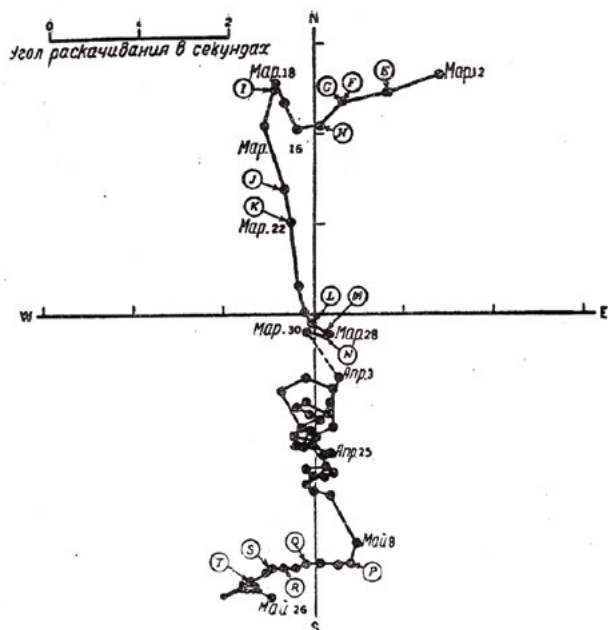


Рисунок 14 — Векторная диаграмма направления и величины раскачивания почвы, наблюдаемых в Ито

на 3 633 м от главного западного входа и наткнулись в этом пункте на илистый слой грунта, насыщенный водой. Наиболее значительная дислокация произошла именно вдоль этого илистого слоя грунта. На одном конце водоотливной штольни показалось нечто в роде «плоскости шлиха» или шлифованной поверхности, вызванной сдвигом плоскости-

сброса, отметив относительное горизонтальное смещение в 2,44 м.

Для измерения относительных смещений между двумя границами плоскости сброса, с каждой стороны были заложены два толстых стальных стержня и относительные смещения измерялись градуированными приборами, установленными между обоими стержнями. Наблюдения, начавшиеся 28 декабря 1930 г. продолжают еще до сих пор (декабрь 1931 г.). Хотя вначале наблюдения были прерваны вследствие замены приборов, общее представление об относительных смещениях может быть получено из рис. 18. Видно, что вначале смещение имело обе составляющих NS и EW. Первая составляющая однако постепенно уменьшалась, так что в настоящее время она не может быть уже обнаружена; вторая же составляющая также постепенно уменьшалась, однако еще и теперь (сентябрь 1931 г.) наблюдаются ежедневные смещения в 0,001 мм.

Деформации тоннеля дважды исследовались инженерами железнодорожного департамента. Результат их работы, сам за себя говорящий, изображен на рис. 17.

Кроме вышеупомянутого прибора в четырех местах тоннеля были установлены тилтграфы Ишимото для постоянных измерений изменений уровня. Изменения уровня по всей длине измерялись Такахаши (Takahashi) интервалами. Так как изменения уровня должны были измеряться в семидесяти двух местах на расстоянии 20 м одно от другого, работа оказалась весьма трудоемкой. Работа производилась при помощи прибора, сконструированного самим Такахаши. Существенной частью прибора является длинная гибкая трубка, наполненная водой и снабженная с обоих концов микро-

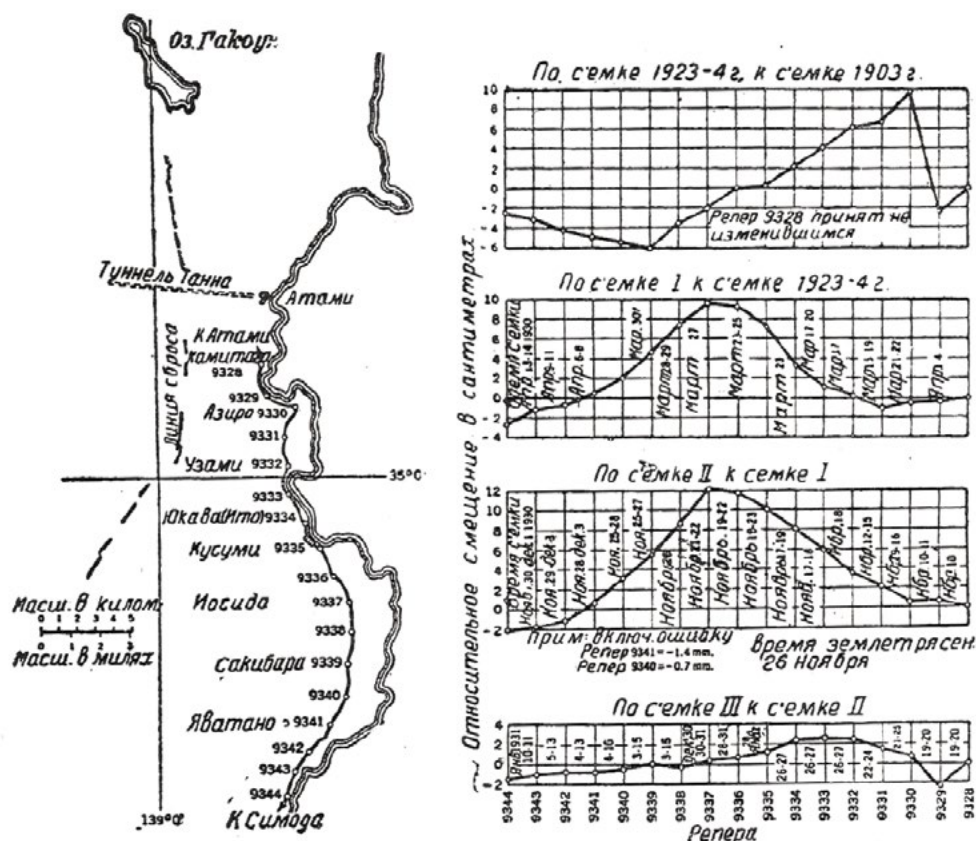


Рисунок 15 — Точная нивелировка вдоль трассы, проходящей вблизи эпицентра землетрясения в Ито

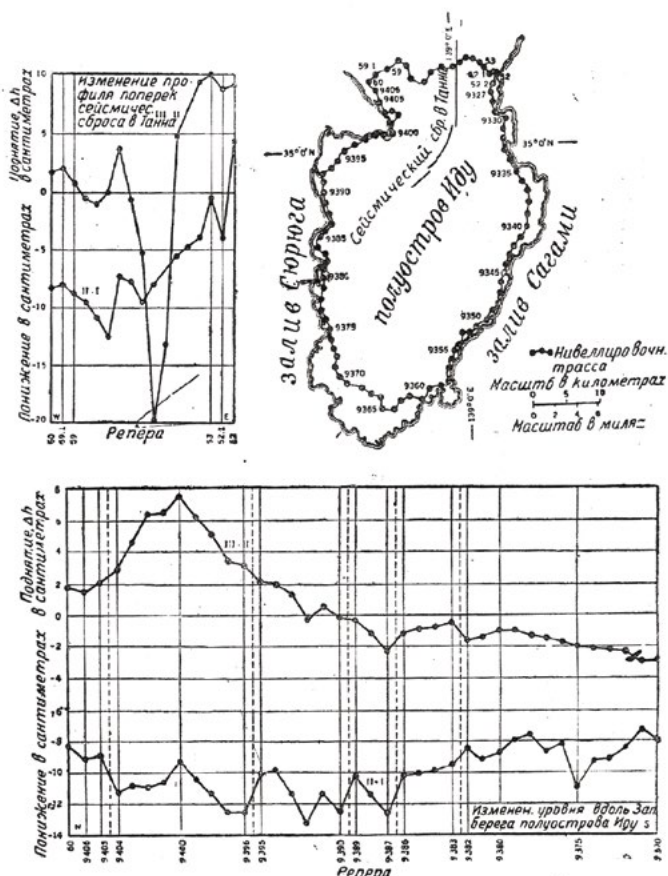


Рисунок 16 — Профили вокруг полуострова Иду, полученные непосредственно после землетрясения в Иду

трическими винтами для измерения высоты свободных поверхностей воды. До сих пор эти съемки были произведены пять раз, и их результаты изображены на рис. 19, который показывает, что изменения уровня со временем становятся все меньше и меньше, что указывает на постепенное оседание выведенной из состояния равновесия земной коры.

6. Подземная сейсмометрия

Для сейсмометрической работы кроме сейсмографов, установленных в многочисленных местах внутри и вокруг потерпевшего района, были установлены еще два сейсмографа со специальной целью сравнения сейсмических колебаний на поверхности земли с колебаниями под землей. С этой целью один прибор был установлен внутри самого тоннеля, приблизительно на 152,40 м ниже поверхности земли, а другой – на поверхности земли в бассейне Танна, как раз над тем прибором, который был установлен в тоннеле. Наблюдения, произведенные при помощи этих приборов, дали весьма ценные для геофизиков результаты, но так как они имеют также важное значение для инженеров, я вернусь в дальнейшем к их подробному изложению.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мною здесь дан общий обзор геофизических работ, произведенных в связи с исследованиями трех разрушительных землетрясений, частью уже законченных, а частью являющихся еще предметом интенсивной работы. При обсуждении этого вопроса я по необходимости не выходил за пределы исследований разрушительных землетрясений. И даже этого ограниченного вопроса я имел лишь возможность коснуться то здесь, то там. Кто интересуется более подроб-

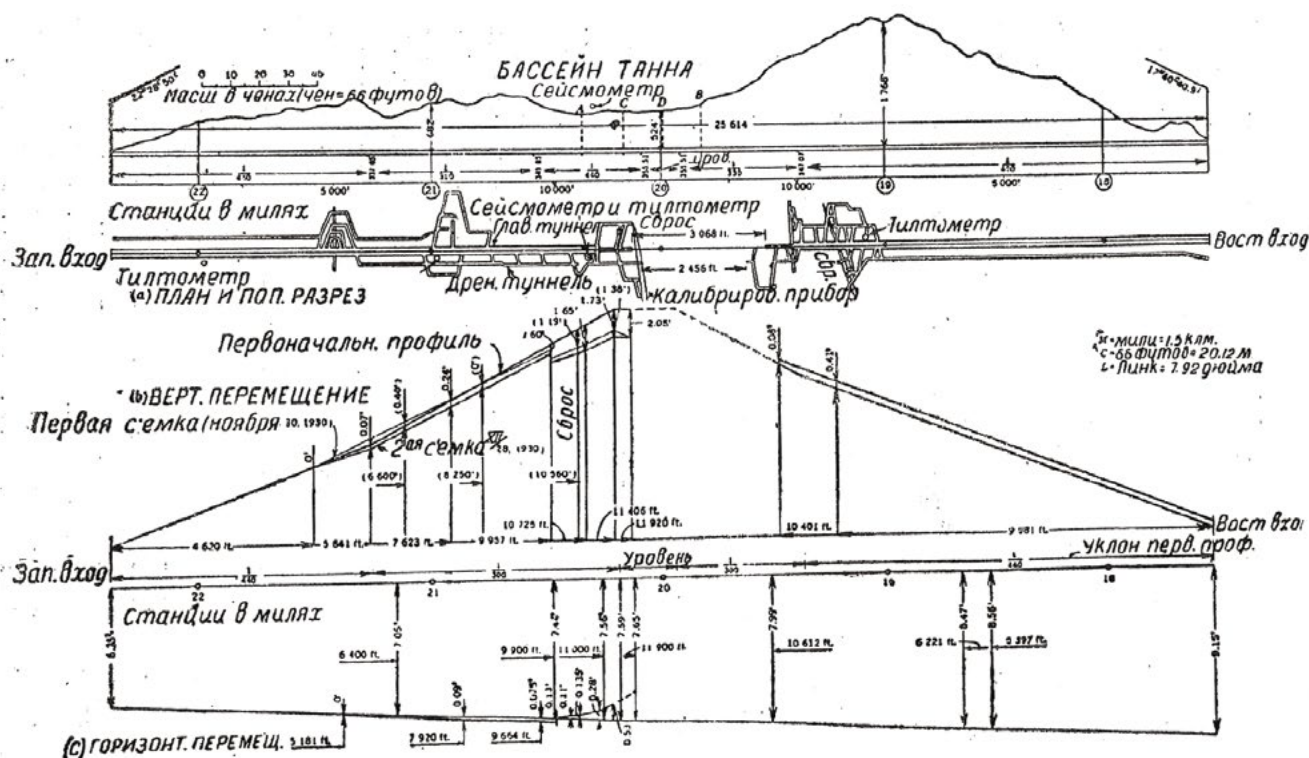


Рисунок 17 — Действие землетрясения в Иду на тоннель Танна

но этим вопросом, может обратиться к подлинным работам, опубликованным в Бюллетенях Института.

Пользуюсь случаем, чтобы разъяснить, что наша деятельность не ограничивается изучением разрушительных землетрясений. Со времени основания Института (1925 г.) произошло два разрушительных землетрясения. Они настолько овладели нашим вниманием, что мы не имели достаточно времени, чтобы заняться основными исследованиями. Тем не менее одновременно мы не оставляли в стороне другие виды исследований, имевших более непосредственное отношение к неотложным проблемам; мы не оставляли в стороне также подготовительной работы к изучению основных проблем. В дополнение к исследованиям, уже упомянутым в связи с большими землетрясениями, как то: сейсмометрия, измерение раскачиваний и т. д., в настоящее время уже начаты или запланированы на ближайшее будущее следующие работы:

- а) сооружение двух подземных камер глубиной в 9,15 и 18,30 м для изучения сейсмических колебаний на этой глубине;
- б) сооружение крытых траншей с размещением в них 20-метровых кварцевых масштабов, для непрерывных наблюдений над изменением поверхностных расстояний;
- в) сооружение постоянной сейсмической станции внутри тоннеля Танна;
- г) непрерывные измерения изменений градиентов потенциала силы тяжести;
- д) непрерывное измерение раскачиваний почвы путем длинных трубочек с водой;
- е) повторные съемки высот реперов на нивелировочной трассе в средней части главного острова, обращенной к Тихому океану;
- ж) отдельные измерения высот некоторых горных вершин;
- з) отдельные точные нивелировки города Токио и его окрестностей и отдельные измерения базисной геодезической линии;
- и) установка экселерографов в разных местах для определения периода ускорения (не периода колебаний), собственного землетрясения в этих местностях;
- к) попутно с работой, указанной в предыдущем п. «и», наблюдение за свойственным данной местности периодом при помощи анализатора сейсмического колебания;
- л) установка в соответствующих местностях усовершенствованных приборов, регистрирующих разрушительные землетрясения;
- м) установка в наиболее подходящих не бытовых зданиях автоматических приборов, регистрирующих сильные землетрясения;
- н) установка в некоторых зданиях деформетров;
- о) сооружение большой вибрационной платформы (shaking-table);
- п) геологическое обследование северной части Идзу;
- р) математические исследования;
- с) повторные измерения глубины залива Сагами измерительным прибором Ланжевэна (Langevin).

Весь этот план требует огромных вложений, поэтому в его реализации нет достаточной уверенности.

До сих пор я ссылался главным образом на работы, проведенные нашим Институтом, но это не единственная работа,

проведенная в Японии. Центральной метеорологической обсерваторией и геофизическими институтами разных университетов произведено много важных исследований, однако ни одно из них не уделяет специального внимания инженерной сейсмологии, являющейся главной темой этих лекций.

В качестве превосходного очерка прошлого и настоящего сейсмологического исследования в Японии можно рекомендовать работу проф. Терада, озаглавленную «Исторический очерк развития сейсмологии в Японии», опубликованную в «Наука Японии» и розданную членам Третьего пантихоокеанского конгресса, созданного в Токио в 1926 г. В этом очерке в сжатом виде изложена вся сейсмологическая работа, выполненная в Японии со времени ее возникновения, вплоть до 1926 г. Работы, выполняемые нашим Институтом, освещаются два раза в году д-ром Конрад (Dr. V. Conrad) в «Gerlands eitrage zur Geophysik».

ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Предсказание землетрясения естественно является сильным желанием всех проживающих в сейсмических странах и это было предметом гаданий на протяжении всех времен. Даже при современном развитии науки разрушительное землетрясение еще никогда не было предсказано. Несмотря на это, как только кончаются сейсмические колебания мы обычно слышим заявления, что землетрясению предшествовали такие-то и такие-то явления и что, если бы эти явления были своевременно замечены, то предсказание было бы возможно. К сожалению, в этих случаях нам известно весьма немного о случайной связи досейсмического явления с возникновением землетрясения, а также о том, что возникновение землетрясения было связано с досейсмическим явлением с несомненностью или только с некоторой вероятностью, если только вообще существовала какая-нибудь зависимость между ними.

Даже если бы такое предсказание землетрясения было возможно, то оно должно было бы предусмотреть в точности время возникновения явления, место его и интенсивность, – ни одно из этих трех условий не должно было бы отсутствовать. Предположим, что сейсмолог предусмотрел, что землетрясение будет неизвестной интенсивности, т. е. неизвестно, будут ли разрушены здания или это будет отмечено только чувствительным тромометром и должно произойти в данной местности и в данное время. В результате такое предсказание могло бы послужить лишь источником напрасной тревоги для населения. В Токио, например, нередко ощущаются толчки один или два раза в течение нескольких недель. Для жителей такой области лучше иметь хотя бы неполное предостережение, без какого-либо указания о вероятной интенсивности. Неполное же предостережение, подобное тем, какие иногда даются беспечными сейсмологами, устанавливая местность и вероятную интенсивность, но без какого-либо осведомления о времени возникновения, даже если бы оно было правильное, более чем бесполезно для населения, проживающего в сейсмических странах. В некотором смысле такое предсказание похоже на утверждение, что нам суждено рано или поздно умереть.

Рассмотрим кратко перспективы предсказания землетрясения в свете современной сейсмологии.

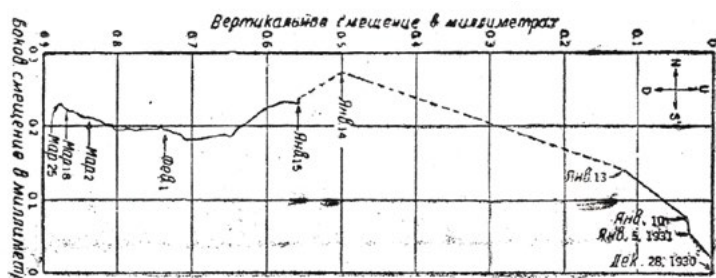


Рисунок 18 — Относительное перемещение стальных прутков противоположных плоскостей сброса в тоннеле Танна

а) Метеорологическое явление

Возникновение землетрясений несомненно имеет тесную связь с метеорологическими явлениями, как то: барометрическим давлением, изменением его величины, количеством осадков, морскими приливами и отливами и т. д. Действительно их тесная взаимозависимость с землетрясениями статистически подтверждалась многими исследователями, но очевидно метеорологическое явление здесь играет лишь роль «собачки» до выстрела. Как не заряженное ружье не может выстрелить лишь только благодаря спуску «собачки», так и одни метеорологические причины не способны вызвать землетрясение в ненапряженной земной коре или нарушить равновесие квази плотной магмы. Весьма вероятно, что незначительный циклон, пронесшийся над зоной землетрясений незадолго до его возникновения, сыграл роль «собачки», ускорившее разрушительное землетрясение 1923 г.; однако циклоны такой же и еще большей интенсивности проносились и раньше над этой же зоной и не вызывали никакого землетрясения. Больше того, если даже допустить, что данное метеорологическое явление должно безусловно повлечь за собой землетрясение, интенсивность вызванного им землетрясения может и не иметь никакой связи с метеорологическим явлением. Итак оказывается – метеорологические явления не являются существенными для предсказания землетрясений.

б) Смещение земной коры

Некоторые уверяют, что землетрясение могло бы быть предсказано по смещениям земной коры, например, по раскачиванию почвы, по хроническим поднятиям и опусканиям грунта, по изменению поверхностных расстояний и т. д.; однако до тех пор пока мы не получим больше геофизических данных в этом направлении, чем те, которыми мы располагаем в настоящее время, я не могу придерживаться подобной точки зрения. Общеизвестно, что землетрясения происходят часто там, где замечаются бради-сейсмические (медленные или постепенные) смещения земной коры. Тем не менее мы еще не знаем, на какой стадии данного типа смещения земной коры возникает землетрясение в данной местности, в данное время и данной интенсивности. Разрешить эту проблему равносильно тому, что определить появление одного какого-либо случая из великого множества других случаев, подчиненных статистическому закону, который еще не открыт. Предсказывать с уверенностью появление такого случая почти безнадежно.

Согласно нашим наблюдениям последующие толчки при разрушительных землетрясениях в Танго и в Ито были тесно

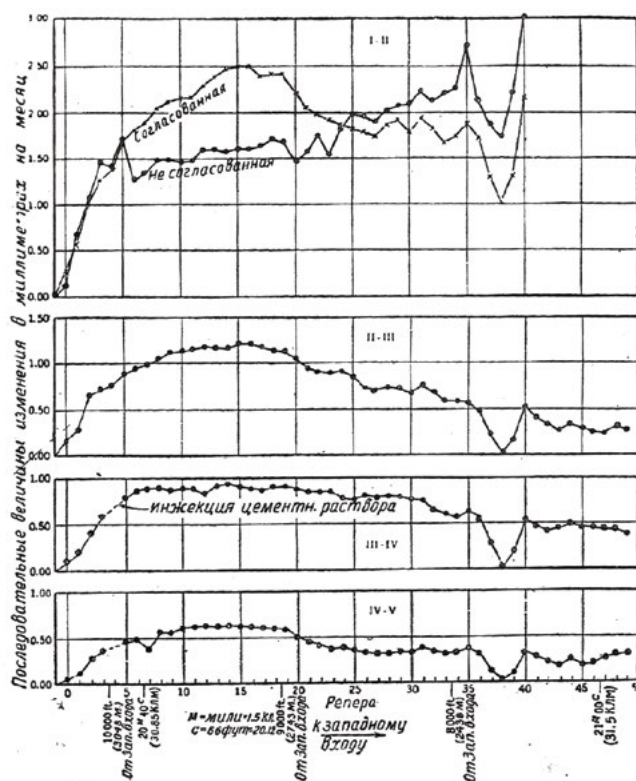


Рисунок 19 — Профили прогрессирующих изменений уровня реперов в тоннеле Танна после землетрясения в Иду

связаны с формой раскачивания почвы. Раскачивания почвы в свою очередь соответствовали морским приливам и отливам; но, как уже упоминалось, формы связи в этих двух случаях совершенно различны. При землетрясении в Танго сильные последующие толчки происходили в то время, как раскачивания почвы временно прекращались и стали менять свое направление (см. рис. 12), тогда как при землетрясении в Ито сильные толчки происходили в то время, когда почва продолжала раскачиваться в определенном направлении (см. рис. 14). Единственно, что было общего в обоих случаях, – это отсутствие каких бы то ни было признаков, предсказывающих интенсивность предстоящего землетрясения.

Мы располагаем лишь слабой информацией о линейных изменениях геодезических базисных линий. На рис. 7 и 8 приводится только один пример. Если мы согласимся с теорией, что особые смещения сжатия, наблюдавшиеся непосредственно перед сильным землетрясением, свидетельствуют об изменениях в земной коре, предшествующих сильной конвульсии, мы должны были бы ждать другое сильное землетрясение в 1930 г.; к сожалению, события этого не подтвердили. Некоторые истолковали эти данные в том смысле, что данное напряжение сжатия было предвестником землетрясения в Иду. Даже если это так, то в одном случае одни и те же напряжения сжатия предсказывали необыкновенно сильное землетрясение, охватившее обширный район, а в другом случае – разрушительное, но местного характера землетрясение иного происхождения. Итак, при современных знаниях линейные изменения почвы не могут все же считаться достаточными для полного предсказания землетрясения.

По карте, показывающей вертикальные смещения почвы в Центральной Японии (рис. 3), можно заметить, что бради-сейсмические движения в Японии весьма распространены. Если поднятия и оседания почвы являются очевидными признаками безусловного возникновения землетрясения, то в таком случае нет в настоящее время ни одного клочка земли в Японии, который не подвергался бы неминуемой опасности.

На самом деле это не так.

В связи с этим необходимо кратко упомянуть о поднятии полуострова Миура (Miura), которое, говорят, имело место до большого землетрясения 1929 г. Здравый смысл, подсказанный нам опытом в испытании материалов, ведет нас как инженеров к отысканию некоторых признаков, предшествующих конвульсиям земной коры. К сожалению, нам не удалось найти ключа к разрешению этого вопроса, который с научной стороны был бы достаточно обоснован. Как уже упоминалось, явные медленные поднятия побережья у Абуратубо, предшествовавшие большому землетрясению, как это и зарегистрировано установленным там мареографом, были тщательно проанализированы проф. Терада и Ямагучи (J. Yamaguchi), которые обнаружили, что эти поднятия вызваны скорее метеорологическими причинами, нежели каким-либо актуальным поднятием грунта.

Это верно, что тилтграф Омори в Сейсмологическом институте при Токийском университете явно указывал на постепенное изменение наклона почвы перед землетрясением; однако следует отметить, что этот прибор, представляющий собой обыкновенный горизонтальный металлический маятник с длинным периодом и снабженный барабаном с прокопченной бумагой для записей, не был приспособлен для измерения весьма слабых раскачиваний. Кроме того колыхание почвы в месте расположения университета довольно легко вызывалось прямым воздействием осадков или косвенно их охлаждающим действием. Ранним утром того же дня, когда произошло это сильное землетрясение, зона землетрясения была охвачена ливнем, а затем залита жарким летним солнцем. Метеорологические явления могли оказать сильное влияние на раскачивание почвы.

Проф. Имамура, несомненно приняв во внимание уже упомянутые факты, пришел к заключению, что необыкновенное досейсмическое раскачивание почвы действительно имело место. Такие досейсмические раскачивания даже там, где их появление вполне доказано, не могут быть признаны как бесспорное предзнаменование разрушительного землетрясения, так как последующие исследования, произведенные Ишимото и Тсюджи (M. Tsuji), которые пользовались в высшей степени заслуживающими доверия тилтграфами Ишимото, показали, что раскачивания более сильные, чем те, которые имели место непосредственно перед этим сильным землетрясением, часто регистрировались на территории обсерватории в обыкновенное время. Кроме того 17 июня 1931 г. в Токио ощущались довольно сильные сейсмические толчки с эпицентром, очень близко расположенным к территории обсерватории. Тсюджи обнаружил, что никакого необычного раскачивания не наблюдалось ни до, ни после землетрясения. Таким образом раскачивания почвы также не могут быть приняты как бесспорные предвестники землетрясений.

Я не буду рассматривать других явлений, как, например, изменений уровня грунтовых вод, изменений температуры горячих источников, изменений земных электрических токов, возмущений земного магнетизма и т. д. Нет сомнения, что все они в той или иной степени тесно связаны с землетрясениями и если бы эти и другие геофизические явления, как, например, форма геоида (земли) и гравитационное ускорение были точно исследованы, мы были бы в состоянии пролить значительный свет на сейсмологию. Остается все же прискорбным тот факт, что до сих пор мы не в состоянии обнаружить хотя бы один единственный бесспорный признак, по которому мы могли бы предсказать наступление разрушительного землетрясения. Несмотря на скудное ассигнование средств на исследования, мы делаем все возможное, чтобы найти этот признак. Тем не менее на то, что касается возможности полного предсказания не только места, но и времени и силы разрушительного землетрясения, я смотрю несколько пессимистично. Пользуясь случаем, я познакомлю вас с тем, что по этому вопросу говорит наш известный геофизик проф. Терада (Terada) в своей весьма ценной статье, озаглавленной «Предсказания явлений природы» («Prediction of Natural Phenomena»).

Осветив различие между макро и микроскопической точками зрения и обратив особое внимание на расположение кристаллов в неустойчивом перенасыщенном растворе, он переходит к обсуждению вопроса о предсказании землетрясения. Он утверждает, что если даже признать доказанным, что землетрясение вызывается нарушением неустойчивого равновесия земной коры под действием определенного закона (пока не открытого), и если признать, что измерение напряжения и других подобных элементов возможно во всех деталях, то все же и при этих условиях точное предсказание времени землетрясения было бы невозможно, как невозможно определить начало кристаллизации одного единичного кристалла в перенасыщенном растворе, где оно определяется случайными микроскопическими условиями. Излишне повторять, что в этом случае то макроскопическое свойство, что раствор пресыщен, указывает на возможность начала кристаллизации в целом. По мнению проф. Терада при современном состоянии наших знаний сейсмических явлений мы должны полагаться на методы статистики, которые должны быть разработаны, прежде чем мы сможем прийти к определенному заключению.

Я держусь того же мнения, которого держится проф. Терада, однако, хотя мы не в состоянии предсказать землетрясение в точном смысле этого слова, мы можем не сомневаться в том, что в один прекрасный день мы будем в состоянии определить, угрожает ли данному району в целом непосредственная опасность или нет, и таким образом принять меры против предстоящего разрушительного землетрясения.

Долг сейсмологов ускорить приближение этого дня. До тех пор, пока этот день наступит, и даже после его наступления защита против землетрясений в сейсмических странах целиком находится в руках инженеров. Поэтому меня в данном случае не столько беспокоит бессилие сейсмологов установить среди явлений природы безошибочные предвестники неминуемого разрушительного землетрясения, сколько современное равнодушие большинства архитекторов и инженеров к проблемам землетрясения.