

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
ФИЗИКА ЗЕМЛИ

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

11

МОСКВА - 1970

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

С. И. ГОЛЕНЕЦКИЙ, А. П. ШМОТОВ

УСТЬ-МУЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 31 АВГУСТА 1968 г.

В ночь на 1 сентября 1968 г. сейсмическими станциями Прибайкалья и других районов Советского Союза от Владивостока и Тикси до Ужгорода, а также в странах Восточной и Центральной Европы — Польше, Чехословакии, ГДР, зарегистрировано значительное землетрясение с эпицентром в северо-восточном Прибайкалье, в пределах центральной части так называемой Муйской впадины. Магнитуда землетрясения по оценке из оперативного бюллетеня, составленного Институтом физики Земли АН СССР, достигала значений $5\frac{1}{4}$ — $5\frac{1}{2}$.

Землетрясение заслуживает тщательного рассмотрения, так как, являясь одним из наиболее сильных в Прибайкалье в 1968 г., произошло в том районе — в целом весьма сейсмоактивной — Муйской впадины, где за время уверенной регистрации сейсмических явлений (последние 8—9 лет) подобных толчков не наблюдалось. Поскольку эпицентр находился в доступной для обследования и относительно хорошо заселенной области, а на малом расстоянии от него (~ 10 км) уже в течение ряда лет проводятся регулярные сейсмические наблюдения (на станции «Неляты»), при этом представлялась довольно редкая в Прибайкалье возможность более детального изучения явлений землетрясения.

Сейсотектоника района землетрясения

Муйская впадина, расположенная на территории Бурятской АССР и Читинской области, представляет собой значительное звено в цепи впадин байкальской рифтовой зоны. Ориентированная в субширотном направлении (при длине в 120 км и ширине до 50 км) она, в отличие от асимметричных впадин собственно байкальского типа, выглядит симметричной рифтовой структурой (рис. 1).

С севера и с юга границами впадины служат разломы (сбросы), по которым к ней примыкают соответственно Северо-Муйский и Южно-Муйский хребты. Превышения хребтов над днищем впадины в среднем составляют 1600—1800 м. Наименьшая абсолютная отметка ее 463 м. С востока и запада впадину ограничивают невысокие отроги Каларского и Муяканского хребтов. Образование впадины явилось одним из результатов кайнозойских орогенических движений в обширной области рифта.

Внутреннее строение впадины интересно своими структурно-тектоническими элементами [1]. Фундамент ее, скрытый под мощным чехлом рыхлых четвертичных отложений, представлен архейскими толщами, которые по структурному плану аналогичны архейским образованиям, окружающим впадину. Согласно геофизическим данным, фундамент интенсивно расчленен на отдельные блоки системой разломов субмеридионального и субширотного простирания. Субширотные разломы выражены отчетливо и являются по существу неотектоническими (кайнозойскими) структурами. Менее четко выраженная система субмеридиональных разломов — по ориентировке согласуется с докембрийскими складчатыми образованиями.

Особенностью строения впадины следует считать наличие диагональной (в западной части впадины) и продольной (в ее центральной части) горных перемычек.

Симметричность рифта Муйской впадины, возможно, объясняется условиями ее образования в результате бокового слияния двух параллельных впадин байкальского асимметричного типа. В этом случае продольная перемычка, протягивающаяся узкой полосой в субширотном направлении в виде низкорослой гряды (абсолютные отметки 900—1000 м) по левому берегу р. Муи, может соответствовать внутреннему шву двух слившихся впадин [2].

Вдоль южного склона перемычки проходит сброс с вертикальной амплитудой смещения свыше 1000 м, обоснованный и геофизическими данными. Именно здесь опускание впадины максимально и мощность рыхлых отложений превышает 1000 м. Разлом продолжается, по-видимому, к востоку за устье р. Муи и р. Витим, скрытый под толщей рыхлых отложений.

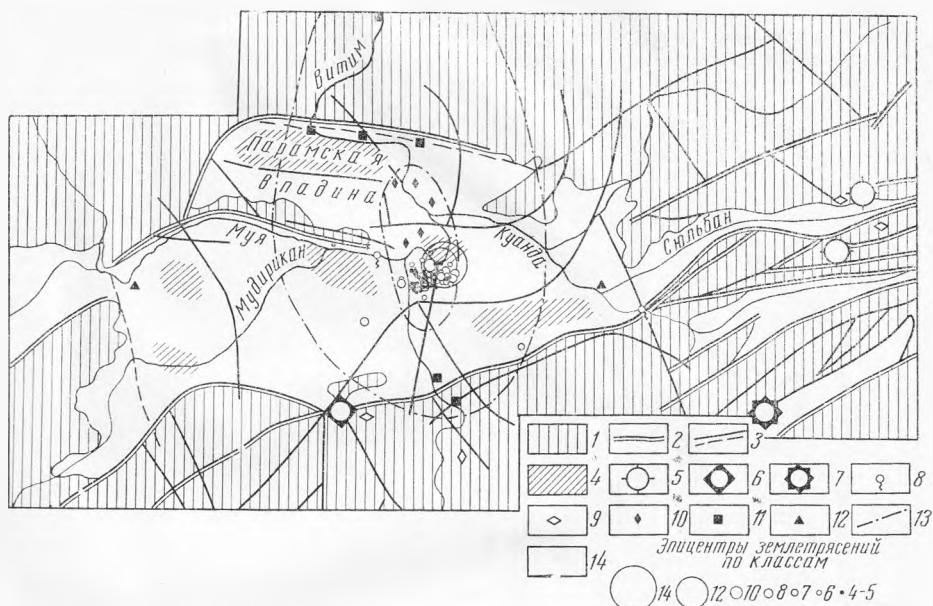


Рис. 1. Сейсмотектоническая схема района Усть-Муейского землетрясения:

1 — докембрийский кристаллический фундамент, 2 — мезокайнозойские разрывные нарушения, 3 — докембрийские разломы, 4 — участки максимального погружения впадины, 5—7 — эпицентры землетрясений силой: 5—6—7 баллов, 6—9 баллов, 7—10 баллов, 8 — термоминеральные источники, 9 — палеосейсмогенные структуры, 10—12 — пункты, в которых землетрясение ощущалось силой соответственно 10—6 баллов, 11—5 баллов, 12—4 балла, 13 — изосейсты, 14 — рыхлые отложения

Сейсмическая активность муйской впадины по инструментальным данным высокая, но присуща в основном восточной и западной ее частям, где обычно регистрируются многочисленные слабые толчки. Случаются здесь, однако, и крупные землетрясения. Так, например, девятибалльное землетрясение произошло в районе впадины (возможно — с небольшой долей уверенности — у южного ее борта) 29 апреля 1917 г. С юго-востока и востока к впадине тяготеют эпицентры десятибалльного Муйского землетрясения 27 июня 1957 г. и двух семибалльных землетрясений — 29 июня 1957 г. и 24 января 1958 г.

Как свидетельство высокой сейсмичности впадины в прошлом, сейсмологически исследованиями в области Южно-Муейского хребта выявлен ряд крупных сейсмогенных структур, таких как палеосейсмодислокации Койра, Спицинская, Шамон, Усмун и др. [1].

Анализ инструментальных наблюдений

При исследуемом землетрясении первый толчок (двенадцатого энергетического класса) произошел 31 августа 1968 г. в 13 час 00 мин 57 сек по Гринвичу и ощущался в эпицентральной области силой до 5 баллов (на расстоянии ~170 км в пос. Мамакан силой в 3 балла). За ним последовало несколько слабых афтершоков, после которых в 18 час 06 мин 35 сек (2—3 часа ночи по местному времени) случилось основное землетрясение ($K = 14$), вновь сопровождаемое уже значительно более многочисленными повторными толчками. Далее процесс стал затухать (рис. 2) и спустя 10—15 суток сейсмическая активность в очаге практически прекратилась. Лишь небольшое оживление ее отмечено 3—7 ноября 1968 г.

Всего с 31 августа по 19 сентября сеть сейсмических станций Прибайкалья зарегистрировано 68 землетрясений из рассматриваемого очага, из них за первые сутки произошло 28, в первые 5 дней — 58 толчков. Распределение землетрясений по энергии дано ниже.

Энергетический класс K	4—5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Число толчков	32	10	15	8	0	1	0	1	0	1

В тех случаях, когда толчки были записаны пятью и большим числом станций, определение гипоцентров осуществлялось на ЭВМ по специальной программе, позво-

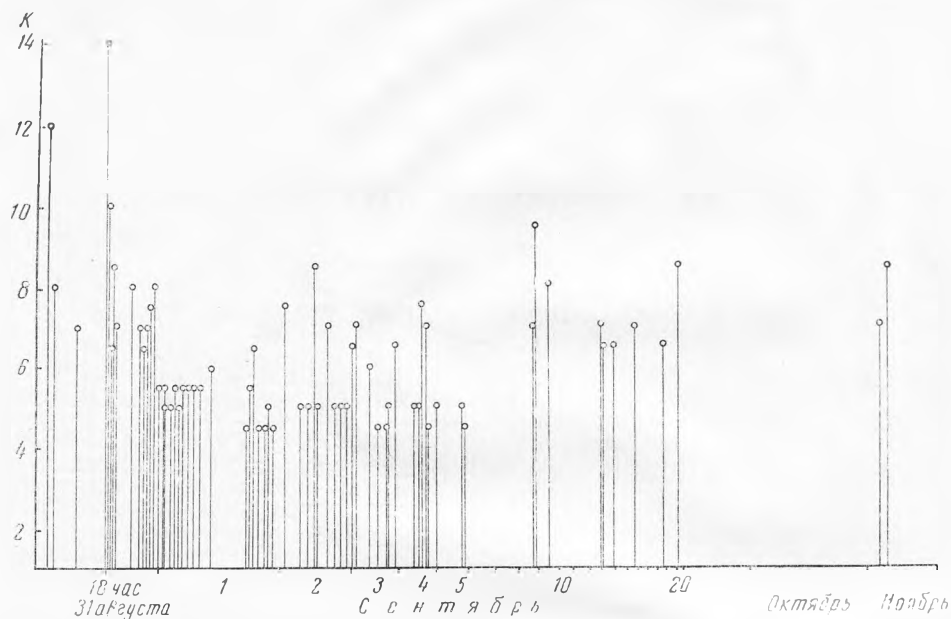


Рис. 2. Распределение толчков Усть-Муйского землетрясения во времени и по энергии

ляющей находить координаты эпицентра, глубину очага h , время очага O , скорость распространения сейсмической волны V из условия минимума суммы квадратов невязок

$$\Sigma \left(T_i - O - \frac{\sqrt{\Delta_i^2 + h^2}}{V} \right)^2 = \min,$$

где T_i — момент вступления сейсмической волны на станцию, а Δ_i — эпицентральное расстояние.

В случае необходимости программа позволяла находить решение при заданном одном или нескольких параметрах (например, Y и h) или одновременно по наблюдениям над поперечными и продольными волнами. Как правило, рассчитанные эпицентры в пределах возможных погрешностей совпадали с определениями при предварительно проведенной обычной графической обработке (с помощью засечек при предварительно вычисленном времени очага).

Результаты определения всех эпицентров нанесены на карту рис. 1. Образует весьма тесную группу в районе восточного продолжения — под слоем рыхлых осадков — внутривпадинного продольного разлома, эти землетрясения подтверждают его

Таблица 1

Распределение числа толчков по глубине

Глубина очага h , км	\bar{S}	\bar{P}
0	5	12
5	2	3
10	4	1
15	0	0

Таблица 2

Скорости распространения сейсмических волн \bar{S} и \bar{P}

	\bar{S}	\bar{P}
Скорость, км/сек	$3,52 \pm 0,005$	$6,12 \pm 0,03$
Число определений	31	18

современную активность. Эпицентральная область географически близка к устью р. Муй, где обнаруживались и максимальные макросейсмические проявления.

Глубины очагов афтершоков в различных вариантах обработки несколько различались (табл. 1), но, как правило, также не превышали 10 км. В среднем — до

вольно условно — глубину очага можно считать равной 5 км. Отметим, что вычисления производились только в тех случаях, если имелись наблюдения ближайшей станции «Неляты» ($\Delta < 15$ км). Эпицентрального расстояние до следующей станции «Средний Калар» превышало 100 км.

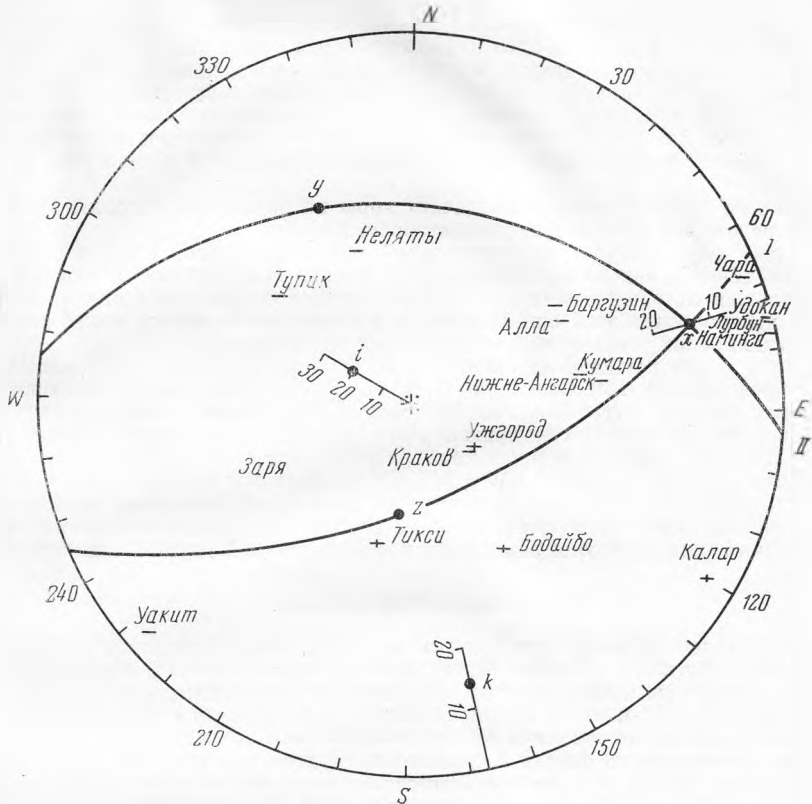


Рис. 3. Напряжения в очаге Усть-Муйского землетрясения 31 августа 1968 г.:

i — ось сжатия, k — ось растяжения, I—II — возможные плоскости разрыва (определение Н. В. Солоненко)

Точность отдельных определений гипоцентров характеризуется следующими данными. При одновременном вычислении всех параметров, когда использовались наблюдения 10—11 станций над волнами S (включая ближайшую к эпицентру станцию «Неляты»), с вероятностью 0,95 доверительный интервал установления эпицентра по широте и долготе составлял несколько менее ± 5 км, глубины очага ± 10 —15 км. Полученные значения скоростей распространения «прямых» сейсмических волн приведены в табл. 2. Они оказались близкими к средним значениям скоростей для всего Прибайкалья.

Таблица 3

Землетрясение	a , сек	V , км/сек	Число станций
31 августа 13 ч 00 м	$6,1 \pm 0,3$	$7,90 \pm 0,03$	16
31 августа 18 ч 06 м	$6,4 \pm 0,2$	$8,05 \pm 0,02$	18

Начальные ординаты линейного годографа головных продольных волн, распространяющихся под подошвой земной коры, и их кажущиеся скорости указаны в табл. 3. Отметим, что при расчете этих значений способом наименьших квадратов существенных уклонений наблюдений отдельных станций от осредненного годографа не обнаружено.

По указанным в табл. 3 и 2 значениям ординат, скоростей продольных волн и глубине очага $h = 5$ —10 км средняя мощность коры в северо-восточном Прибайкалье

ориентировочно равна 32—35 км. Гора при этом, естественно, предполагалась одноуровневой, а ее подошва горизонтальной.

Для записи афтершоков на сейсмической станции «Средний Калар» (эпицентральное расстояние 117 км) характерно наличие интенсивных вступлений, следовавших в среднем через 4,2 и 2,0 сек за вступлениями соответственно поперечных и продольных прямых волн. Регистрацию подобных вступлений в аналогичных условиях можно считать в Прибайкалье правилом. Они, по-видимому, соответствуют за критическим отражениям от подошвы земной коры и теоретически могут быть действительно весьма интенсивны. Ориентировочный расчет мощности коры H по формуле, использующей разности моментов вступлений отраженных и прямых волн из статьи [3] при тех же, что и ранее, значениях входящих параметров, приводит к значению $H=34-30$ км для района отражения, примыкающего с юго-востока к Муйской впадине.

Согласие со средней оценкой мощности коры по начальной ординате годографа главных продольных волн вполне удовлетворительное.

Поскольку сейсмологических определений мощности земной коры в северо-восточном Прибайкалье еще не проводилось, эта оценка представляет известный интерес. Наибольшая погрешность ее может быть связана с ошибкой в оценке глубины очага, так как половина этой ошибки входит в погрешность оценки мощности коры. В других отношениях результаты расчета весьма устойчивы.

Механизм очага наиболее сильно землетрясения 31 августа в 18 час 06 мин (рис. 3), определенный Н. В. Солоненко по методике А. В. Введенской, оказался вполне типичным для структур Байкальского рифта. Ось сжатия ориентирована почти вертикально, ось растяжения — горизонтальна и направлена вкост геологических структур. Из двух возможных плоскостей разрыва (азимуты простирания 65 и 96°, углы падения соответственно 60° NW и 34° SW) ни одну не оснований считать более предпочтительной. По азимутам простирания они приблизительно соответствуют ориентировке внутривпадинного продольного разлома, в области восточного продолжения которого располагаются эпицентры рассматриваемой группы землетрясений.

Макросейсмические данные

При землетрясении в ночь на 1 сентября 1968 г. сила сотрясения в плейстоценовой области достигала 6 баллов. Сразу после предварительного определения эпицентра (по наблюдениям сети сейсмических станций Прибайкалья) в Институте земной коры СО АН СССР к месту предполагаемого эпицентра вылетела обследовательская группа в составе начальника сейсмогеологической экспедиции А. П. Шмотова, начальника сейсмического отряда А. Дреннова, студента-практиканта А. Артеменко. Был организован также сбор макросейсмических сведений по почте от многих (более 30) сейсмодиспетчеров из различных районов Прибайкалья и Забайкалья.

Группе обследования удалось опросить значительное число свидетелей в селах, зимовьях, лагерях геологов и т. д. с юга на север от подножий Южно-Муйского хребта до хребта Северо-Муйского (села Спицино, Догочан, Усть-Муя, Муя, Неляты, Барголено, зимовье Бахтарнак, пос. Каралон) и с запада на восток (село Таксимо, зимовье Сьюлбан, Конда). Помимо этого с вертолета обследовались склоны хребтов с заходом в горы по некоторым речкам и ключам.

Наибольшее сотрясение отмечено в селах Усть-Муя, Муя, Неляты, Барголено, и, следовательно, здесь устанавливается эпицентр по макросейсмическим данным. Все жители из этих населенных пунктов при опросе рассказывали о двух сильных толчках, происшедших в 21—22 час 31.VII и в 2—3 час ночи 1.IX — по местному времени. Толчки сопровождался продолжительным отчетливым громopodobным гулом, заглушавшим в некоторых случаях шум воды в речках. Особенно сильным был второй толчок. Многие утверждают, что после главных толчков в течение всей ночи следовала серия ощутимых более слабых землетрясений, разделенных во времени интервалами в 20—30 мин.

Некоторые очевидцы отмечают направление распространения гула и толчков — с юга, юго-востока. Двое жителей из с. Неляты заметили во время толчка мгновенное яркое освещение деревьев. Другие трое, находясь в устье р. Конда на охоте, сразу после гула слышали слабые свистящие звуки в воздухе.

В с. Усть-Муя при первом сильном толчке многие жители покинули сельский клуб, где в это время демонстрировался кинофильм, при втором наиболее сильном толчке большинство жителей среди ночи в испуге выбегали из домов, собирались в группы, в страхе не спали до утра. Дети проснулись, были беспокойны. Стекла в окнах дребезжали, посуда звенела. Кровати раскачивались, иногда сдвигались с места, шкафы тряслись, даже открывались дверцы. Вода в бочке раскачивалась. В двух случаях остановились часы-ходики (Муя, Усть-Муя). Смещались с места и опрокидывались неустойчивые предметы.

Животные в Усть-Муе, Муе перед землетрясением и во время его были беспокойны. Некоторые очевидцы рассказывают, что собаки за час-два до первых сильных толчков вели себя необычно — скулили, подвывали, лаяли, а во время землетрясения и после него продолжительно лаяли. Коровы при землетрясении беспокойно мы-

чали, некоторые из них кружились на одном месте. Сколь-нибудь существенных повреждений строений в эпицентральной зоне не обнаружено. Лишь в отдельных случаях незначительно пострадали ветхие дома, в которых трескалась и осыпалась известь, особенно из пазов между бревнами по углам и с потолка. Отмечены единичные случаи образования трещин в кирпичных печах и обрушения отдельных кирпичей. Иногда в результате искривления дома заклинивались входные двери. Сила землетрясения в эпицентре оценивается в 6 баллов.

С удалением от эпицентральной области (даже на небольшое расстояние порядка 10 км и несколько более) сила ощущавшихся сотрясений заметно убывала, причем в южном направлении это ослабление колебаний происходило значительно быстрее, чем в северном.

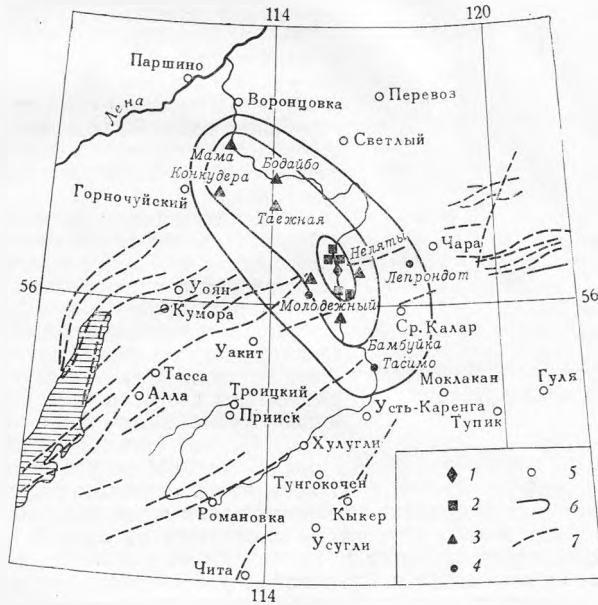


Рис. 4. Карта изосейст Усть-Муйского землетрясения:

1—5 — пункты с интенсивностью сотрясения соответственно 1—6 баллов, 2 — 5 баллов, 3 — 4 балла, 4 — 3 балла, 5 — не ощущалось, 6 — изосейсты, 7 — разломы

При обследовании района к северу от эпицентра, по направлению к Северо-Муйскому хребту, выяснилось, что в зимовье Бахтарнах, урочище Парам, пункте лесосилава, пос. Каралон два основных землетрясения и несколько из последующих проявились весьма ощутимо. Отчетливо был слышен гул. При двух сильных толчках дома слегка потрескивали, кое-где по швам между бревнами образовались тонкие трещины, звенели оконные стекла. Многие жители выходили из домов, по без паники. Просыпались дети. Сила сотрясений здесь — 5 баллов.

Такую же балльность можно приписать сотрясению в населенных пунктах Догочан, Спицино и лагере геологов, расположенных от эпицентра к югу, по направлению к Южно-Муйскому хребту.

Из-за более редкой заселенности территории вдоль впадины в направлении, пересекающем эпицентральной зону с запада на восток, получены данные только для двух пунктов — пос. Таксимо на западе и Сьюлбан на востоке. Землетрясение в этих пунктах проявилось слабее. Некоторые жители ощущали лишь первый толчок, происшедший вечером, ночью же спокойно спали. Животные беспокойства не проявляли. В редких случаях слышался легкий скрип полов и стен, дребезжание стекол в окнах (если они не были плотно закреплены в рамах). Сила сотрясений — 4 балла.

Таким образом, в ближней к эпицентру зоне сотрясения ощущались заметно сильнее в направлении поперек Муйской впадины (по р. Витим), чем вдоль нее (рис. 1). Эта закономерность обнаруживается и при анализе корреспондентских сведений со всей области, охваченной землетрясением (рис. 4). Изоэписты оказываются заметно растянутыми по направлению среднего течения р. Витим и сужены вдоль основных неотектонических структур. Если в направлении на северо-запад на расстоянии до 250 км от эпицентра землетрясение ощущалось еще как четырехбалльное (пос. Мама, Конкудера, Тажная, Мамакан), то к юго-западу и северо-востоку уже на расстоянии 50—100 км сила сотрясения падала до 3 баллов. (пос. Молодежный, гидрометеостанция Б. Леприндо).

Промежуточной была степень убывания силы сотрясения в юго-восточном направлении. В пос. Бамбуйка (гидрометеостанция Тилишма, эпицентрального расстояние около 70 км) сила землетрясения оценена в 4 балла, в пос. Калакан (около 150 км) — 3 балла. Знаком нуль на карте рис. 4 отмечены населенные пункты, где по полученным сведениям землетрясение не ощущалось.

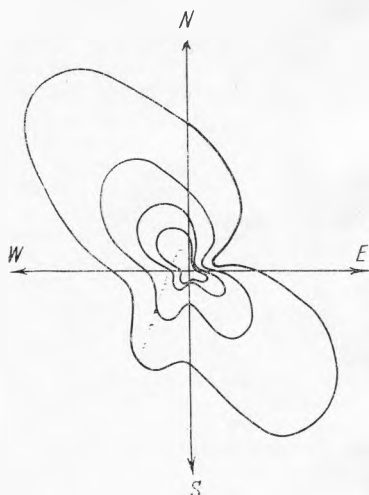


Рис. 5. Карта теоретических изосейст Усть-Муйского землетрясения

статье О. В. Соболевой [8], причем считалось, что в основном ощутимые колебания обусловлены прохождением прямых поперечных волн и что при изменении амплитуды колебаний в два раза сила сотрясений изменяется на один балл. Рассчитанные изосейсты со сглаженными деталями представлены на рис. 5. По форме они вполне удовлетворительно согласуются с наблюдаемой в действительности картиной (рис. 4). Вопрос о количественном их согласовании в данном случае поставлен быть не может из-за введенных упрощающих предположений. Существенно, что особенностями изучения в очаге можно попытаться объяснить относительно более быстрое падение интенсивности колебаний в направлении запад — юго-запад — восток — северо-восток (т. е. вдоль Муйской впадины).

На примере Усть-Муйского землетрясения можно проверить применимость к условиям Прибайкалья известной методики [6, 9, 10] определения глубины очага по макросейсмическим данным. Ранее отмечалось, что при обработке наблюдений сети близких станций глубины очагов получаются небольшими (5—10 км).

Оценка глубины очага по средним радиусам изосейст (по номограмме из книги [6]) приводит к явно завышенным результатам. При средних радиусах второй и третьей изосейст в 37 и 110 км (рис. 4) в зависимости от показателя степени затухания ($n = 2$ или $n = 1,5$) значения глубины очага получаются равными 27 и 51 км или 21 и 38 км.

Не лучше определяется глубина очага и по данным о магнитуде землетрясения ($M = 5\frac{1}{4} - 5\frac{1}{2}$) и бальности в эпицентре (6 баллов) по методике, изложенной в сборниках [9, 10]. Глубина очага в этом случае также оказывается существенно завышенной (25—30 км).

Эти результаты, по-видимому, указывают на целесообразность таких оценок в условиях Прибайкалья, по крайней мере до тех пор, пока не будут учтены закономерности, специфичные для района.

Выводы

Описаны инструментальные наблюдения над Усть-Муйским землетрясением 1968 г., его макросейсмические проявления и тектонические условия возникновения. Землетрясение вызвано процессами развития байкальского рифта и во всех отношениях обнаруживает типичные для таких землетрясений особенности.

Изосейсты землетрясения оказались значительно растянутыми по направлению вкост геологических структур.

Согласно проведенной ориентировочной оценке мощность земной коры в северо-восточном Прибайкалье существенно не отличается от значения $H = 35$ км.

Сопоставление результатов определения глубины очага по наблюдениям сети близких станций и на основе макросейсмических сведений указывает на ненадежность заключений в последнем случае.

Расчеты гипоцентров на ЭВМ по инструментальным наблюдениям осуществлены для настоящей работы Г. И. Переваловой, теоретические изосейсты рассчитаны также на ЭВМ — Г. Л. Мыльниковой, макросейсмическое обследование эпицентральной области проведено А. П. Шмотовым, интерпретация инструментальных наблюдений и корреспондентских сведений дана С. И. Голенецким.

Академия наук СССР
Сибирское отделение
Институт земной коры

Поступила
11 IX 1969

Литература

1. Сб. «Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья». Под ред. В. П. Солоненко. «Наука», 1966.
 2. Солоненко В. П. Сеймотектоника и современное структурное развитие Байкальской рифтовой зоны. Сб. «Байкальский рифт». «Наука», 1968.
 3. Голенецкий С. И. Определение мощности земной коры по наблюдениям волн, отраженных от ее подошвы и глубины залегания очагов афтершоков Среднебайкальского землетрясения 29 августа 1959 г. Геология и геофизика, № 2, 1961.
 4. Солоненко В. П., Тресков А. А. и др. Муйское землетрясение 27 июня 1957 г. Тр. Ин-та физики Земли АН СССР, № 1 (168), 1958.
 5. Сб. «Методы детального изучения сейсмичности». Под ред. Ю. В. Ризниченко. Тр. Ин-та физики Земли АН СССР, № 9 (176). Изд-во АН СССР, 1960.
 6. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. Госстройиздат, 1962.
 7. Коньков А. А. Некоторые особенности затухания силы сотрясения. Сб. «Глубинное строение и землетрясения Таджикистана», Душанбе. «Дониш», 1968.
 8. Соболева О. В. Влияние асимметрии излучения из очага на распределение смещений вокруг эпицентра глубокого землетрясения. Изв. АН СССР, Физика земли, № 10, 1968.
 9. Землетрясения в СССР. Изд-во АН СССР, 1961.
 10. Сейсмическое районирование СССР. Под ред. Медведева С. В. «Наука», 1968.
 11. Шкала сейсмической интенсивности MSK, 1964. Межведомственный геофизический комитет при Президиуме АН СССР, 1965.
-