

Рис. 3. Результаты режимных наблюдений в скважинах № 12, 52, 112, 156 в Западном Байкальске и схема расположения скважин  
1 — эпицентр землетрясения; 2 — скважина, вскрывшая порово-пластовый водоносный горизонт; 3 — скважина, вскрывшая трещинно-пластовые воды; 4 — скважина в зоне разлома в нижнемеловых отложениях

В пос. Тарбагатай отдельные макросейсмические эффекты свидетельствуют о более сильном, чем в баллов, воздействии. Здесь в подготовленном к эксплуатации новом здании спортивного комплекса на потопке актового зала лопнула шпигта, в стене, разделяющей спорзал и актовый зал, образовалась сквозная трещина от пола до потолка, с наружной стороны стены вскрылись старые и образовались новые трещины, рассекшие кирпичную кладку и фундамент здания. Однако в данном случае деформации, хотя и возникли при землетрясении, скорее всего, обусловлены недоучетом инженерно-геологических условий или недоработками строителей. В шпиготном и меридиональном направлениях размеры области шестибалльных сотрясений составили примерно 70 и 20 км соответственно. В области семи- и шестибалльных сотрясений всюду слышался гул, особенно сильный в эпицентральной зоне. В ряде случаев гул отмечен и в областях сотрясений меньшей балльности (см. таблицу).

В пятибалльной зоне в отдельных случаях наблюдались повреждения, соответствующие шестибалльным макросейсмическим эффектам. Это, по-видимому, также обусловлено неблагоприятными инженерно-геологическими условиями. Здания со следами таких проявлений возведены без антисейсмических мероприятий. В некоторых случаях повреждения произошли из-за ветхости построек.

Общим для всех пунктов пятибалльных сотрясений было появление тонких трещин на стыках стен, стен и потолков; осыпание известки, выплескивание воды из сосудов, падение книг, цветов и т.д. В редких случаях на верхних этажах зданий лопались оконные стекла. Изосейсты землетрясения определены по широте (рис. 2).

К особенностям проявления землетрясения, не находящим пока должного объяснения, нужно отнести повышенный относительно ожидаемого согласно карте изосейст эффект в Кяхте (а возможно, и в Нижнем Торее) и пониженную силу сотрясений на северо-западном берегу Байкала — в Большом Голоустном и Больших Котах. По анкетным сведениям во многих зданиях в г. Кяхте открывались или закрывались двери, колебались висюльки, падали предметы на полках, сообщается даже о том, что школьники были выведены на улицу с урока. Вместе с тем в пунктах Бортое и Джидае, расположенных недалеко от г. Кяхты, землетрясение не ощущалось.

Макросейсмический эпицентр ( $\varphi = 51,6^\circ \text{N}$ ,  $\lambda = 107,2^\circ \text{E}$ ) достаточно близок к инструментальному (расстояние менее 15 км), расположенному у западной границы области шестибалльных сотрясений. При эффекте  $I_0 = 7$  баллов в эпицентре и магнитуде толчка  $M = 5,1$  глубина очага согласно макросейсмической формуле  $I_0 = 1,5M - 4 \lg h + 4$  [5] равна 14 км, что хорошо согласуется с ранее приведенной оценкой по инструментальным наблюдениям. Отметим однако, что указанная осредненная формула весьма приближена, относится главным образом к землетрясениям из зоны рифта и факти-

ческие данные о землетрясении 2 октября лишь только в общих чертах соответствуют ей. По размерам зоны опустимости и отдельных изосейст согласно этой формуле следовало бы ожидать более высокого значения магнитуды землетрясения.

Результаты режимных наблюдений за изменениями уровня и дебита подземных порово- и трещинно-пластовых вод в четырех скважинах (№ 12, 52, 112, 156) отражены на рис. 3. По скважинам № 52 и 112 глубинной 200 м соответственно в г. Улан-Удэ (трещинно-пластовые воды в отложениях гусинозерской свиты), уровень на глубине 4,5 м, расстояние до эпицентра ~40 км) и в Кабанске (в среднетвердых отложениях, представленных среднезернистым песком, водоносный горизонт на глубине 3,6 м, расстояние до эпицентра ~60 км) никаких изменений в режиме в связи с землетрясением не обнаружено.

В скважине № 12 глубиной 71 м в пос. Иволгинск, вскрывшей в песчаных и алевролитах гусинозерской свиты нижнемелового возраста водоносный горизонт на глубине 55 м (уровень 0,15–0,5, расстояние до эпицентра 25 км), при землетрясении и в течение 7–8 суток после него отмечалось изменение уровня одного знака. Из-за недостаточной частоты измерений нельзя сказать, начались ли изменения уровня непосредственно перед землетрясением или только после него. Для объяснения наблюдавшегося явления можно предположить, что в результате землетрясения в песчаных образовались дополнительные трещинные емкости аккумуляции подземных вод, что и привело к скачкообразному изменению уровня.

Очень изменчивы были измерения на самоизливавшейся скважине № 156 в г. Гусиноозерске, пройденной до глубины 98 м в песчаных нижнемелового возраста, рассеченных тектоническим нарушением (расстояние до эпицентра 50 км). В какой мере указанную реакцию подземных вод следует связывать с землетрясением, без других наблюдений такого рода, разумеется, сказать нельзя. Температура воды во всех скважинах была стабильна, колебания ее не превышали  $0,2^\circ \text{C}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голеницкий С.И., Первалова Г.И. Программа определения гипоцентров близких землетрясений на ЭВМ по наблюдениям сейсмических станций Прибайкалья. — В кн.: Изучение сейсмической опасности. Гашкент: Фан, 1971, с. 66–73.
2. Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.; Л.: Наука, 1969, с. 1–258.
3. Очиров Ц.О. Блоковая тектоника Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1976, с. 199.
4. Миширина Л.А. Напряжения в очагах землетрясений Монголо-Байкальской сейсмической зоны. — В кн.: Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. М.: Наука, 1972, с. 161–171.
5. Голеницкий С.И. Сейсмичность Байкальской рифтовой области. — В кн.: Конгиенганальный рифтогенез. М.: Сов. радио, 1977, с. 56–64.

УДК 550.348.436 (571.56)

Б.М. Козьмин, Т.А. Андреев, Р.С. Югова, М.С. Попова

### Землетрясения Якутии и Северо-Востока

Сейсмические наблюдения проводились на 17 стационарных станциях, из них 10 (одна опорная и девять региональных) действовали на территории Якутии и 7 (две опорных и пять региональных) — в Магаданской области. С целью уточнения сейсмической опасности района строительства Адычанской ГЭС (среднее течение р. Яны) действовали две временные станции на р. Адыче-Сайды и Табалах. Другие две временные станции — Тунгурча и Хатыстыр — функционировали в зоне влияния центрального участка трассы БАМ Хани-Тында. Эти станции были оснащены типовой сейсмической аппаратурой (маятники СКМ-3, ВЭГИК — гальванометры ГК-VII, ГБ-III) с увеличением

5. Зак. 494

Величина максимального увеличения и соответствующие периоды

Станция	Тип аппаратуры	N-S		E-W		Z	
		Vm	Tm, c	Vm	Tm, c	Vm	Tm, c
Якутия							
Багай	СКМ-3	37130	0,2-1,1	38100	0,2-1,0	44000	0,3-1,0
Нерюнги	ВЭГИК	91800	0,8-1,0	53900	0,4-0,7	30250	0,2-0,6
Тунгурча	СКМ-3	179100	0,6-0,8	59350	0,8-1,0	73840	0,4-0,7
Усть-Нера	СКМ-3	39200	0,2-1,1	44100	0,3-1,1	33400	0,3-1,1
Усть-Нюкжа	СКМ-3	40500	0,3-1,2	30200	0,3-1,2	38300	0,3-1,1
Хандыга	СКМ-3	33200	0,3-1,1	25300	0,2-1,0	23300	0,2-1,0
Хатыстыр	СКМ-3	93000	0,7-0,9	43000	0,8-1,1	134000	0,7-1,0
Чагда	СКМ-3	31500	0,2-1,0	40600	0,2-1,1		
Черский	СМ-3	29000	0,3-1,1	30700	0,4-1,2	33200	0,6-1,3
Цульман	СКМ-3	32700	0,3-1,1	32700	0,3-0,9	36700	0,3-0,9
Якутск	СКМ-3	40600	0,8-1,4	38200	0,8-1,4	20200	0,4-1,3
"	СК	1900	0,4-1,1	1900	0,4-1,1	600	0,3-0,9
Северо-Восток							
Дебин	СКМ-3	47000	0,2-0,9	48500	0,2-1,0	45500	0,2-0,9
Кулу	СКМ-3	43800	0,4-0,7	48400	0,4-0,7	55500	0,3-0,7
Омуекчан	СКМ-3	36400	0,4-1,3	35000	0,2-1,2	34000	0,3-1,3
Сейчан	СКМ-3	44600	0,2-1,2	44600	0,2-1,2	44600	0,2-1,2
Стекольный	СКМ-3	29600	0,3-1,0	30000	0,4-0,9	30100	0,4-0,9
Суусман	СКМ-3	44500	0,2-0,9	47400	0,2-0,8	45900	0,2-0,9
Талая	СКМ-3	13900	0,2-0,7	12600	0,2-0,6	14400	0,2-0,7
Усть-Омчуг	СКМ-3	25300	0,5-0,8	25000	0,5-0,8	25700	0,5-0,8

20-40 тыс. в интервале периодов 0,3-0,9 с. Параметры приборов стационарных сейсмических станций приведены в табл. 1.

Обработка сейсмограммных материалов проводилась способом засечек с использованием времен пробега прямых поперечных сейсмических волн при скорости 3,6 км/с для Якутии и способами гипербол и засечек при скорости S-волн 3,5 км/с для Магаданской области, полученных из региональных томографов [1]. Эпицентры землетрясений на севере региона определялись по наблюдениям станций Якутии с привлечением данных сейсмической станции Тикси (Институт физики Земли АН СССР), на юге — по совокупности наблюдений сетей станций Якутии, Прибайкалья (Чара, Средний Калар, Тулик — ИЗК СО АН СССР) и Приамурья (Кировский, Бомнак и Зеза — СахКНИИ ДВНЦ АН СССР).

С наименьшей погрешностью (классы точности "а" и "б") определение эпицентров землетрясений оценивалось на юге Якутии в приграничных районах с Чилинской и Амурской областями, а также на востоке — на участках, соседних с Магаданской областью. На значительной части региона точность определения эпицентров соответствовала классу А, а на крайнем севере — классам А и Б.

Глубина очага землетрясений вычислялась из прямоугольного треугольника станция-эпицентр-гипоцентр, когда эпицентральное расстояние не превышало 50 км. Энергетический класс землетрясений рассчитывался по номограмме Т.Г. Раутиан. Действующая система инструментальных наблюдений позволяла без пропусков регистрировать на всей рассматриваемой территории толчки, начиная с 11-го энергетического класса. В местах ступенчатости сети станций (юг Якутии и Магаданской области) представительны землетрясения с энергией  $10^7$  Дж и выше. Условное деление региона на сейсмические районы показано в табл. 2.

Таблица 2  
Распределение землетрясений Якутии и Северо-Востока по энергетическим классам

№ района	Название района	Энергетический класс К							Итого по району	ΣE, Дж
		8	9	10	11	12	13	14		
1	Олекминский	20	6	4	—	—	—	—	30	$0,05 \cdot 10^{12}$
2	Становой хребет	34	13	6	—	1	—	—	54	$1,08 \cdot 10^{12}$
3	Алданское нагорье	25	3	5	1	—	—	—	34	$0,16 \cdot 10^{12}$
4	Учурский	4	4	1	—	—	—	—	9	$0,01 \cdot 10^{12}$
5	Хребет Джугджур и побережье Охотского моря	23	27	2	4	—	—	—	56	$0,45 \cdot 10^{12}$
6	Хребет Сетге-Дабан	1	2	—	—	—	—	—	3	$0,002 \cdot 10^{12}$
7	Верхоянский хребет	8	7	1	2	—	—	—	18	$0,22 \cdot 10^{12}$
8	Яно-Оймяконское нагорье	10	2	1	1	—	—	—	14	$0,11 \cdot 10^{12}$
9	Система хребтов Черского	36	20	8	2	2	—	—	68	$2,30 \cdot 10^{12}$
10	Приморская низменность	4	2	—	1	—	—	—	7	$0,10 \cdot 10^{12}$
11	Дельта р. Лены и шельф моря Лаптевых	1	2	10	7	2	—	1	23	$1,03 \cdot 10^{14}$
	Всего по региону	166	88	38	18	5	—	1	316	$1,07 \cdot 10^{14}$

Региональный каталог землетрясений за 1980 г. включает сведения о 316 землетрясениях. Распределение их по энергетическим классам и районам приведено в табл. 2. Карта эпицентров землетрясений, содержащихся в каталоге, представлена на рис. 1 (см. вкл.).

Максимальная суммарная сейсмическая энергия, выделявшаяся в 1980 г. ( $\Sigma E = 1,03 \cdot 10^{14}$  Дж), зафиксирована на шельфе моря Лаптевых в Оленёкском заливе, где 1 февраля 1980 г. произошло Оленёкское землетрясение с  $M_{LN} = 5,2$ , которое могло достигать в эпицентре силы 7 баллов.

Наиболее сильно (6 баллов) землетрясение ощущалось в пос. Усть-Оленёк (100 км к юго-западу от эпицентра). Толчок почувствовали все работники метеостанции. В ее помещении, построенном на сваях, при сотрясении образовались многочисленные трещины в оштукатуренных стенах местами шириной до 5 мм, с некоторых стен облетела масляная краска.

Пятибалльные макроэффекты зарегистрированы в четырех пунктах: на о-ве Дунай, пос. Таймыль, метеостанциях Тюмети и Олимпийская. Очевидец Голубков с о-ва Дунай, расположенного в 90 км к северо-востоку от эпицентра, так описывает свои ощущения: 2 февраля в 2 ч 30 мин местного времени проснулся от довольно сильного толчка. В комнате звенела посуда, наблюдалось перемещение дивана-кроватьи, 25-30 с раскачивался металлический сейф. В пос. Таймыль (90 км к юго-западу) от сотрясения домов славшие проснулись. Дребезжана посуда, колебались всякие предметы, легкие предметы сдвинулись с места. Был слышен гул, похожий на звук высоко летящего самолета. На метеостанции Олимпийская все работники ощутили толчок, славшие проснулись от сильного сотрясения зданий. Работниками метеостанции Тюмети было замечено дребезжание стекол окон и мебели, содрогались дверцы шкафа. Само здание трещало и скрипело. Был слышен глухой подземный гул.

Сотрясения силой 3-4 балла проявились на верхних (третьем и четвертом) этажах зданий пос. Тикси (280 км к юго-востоку от эпицентра). Дребезжали посуда, стекла

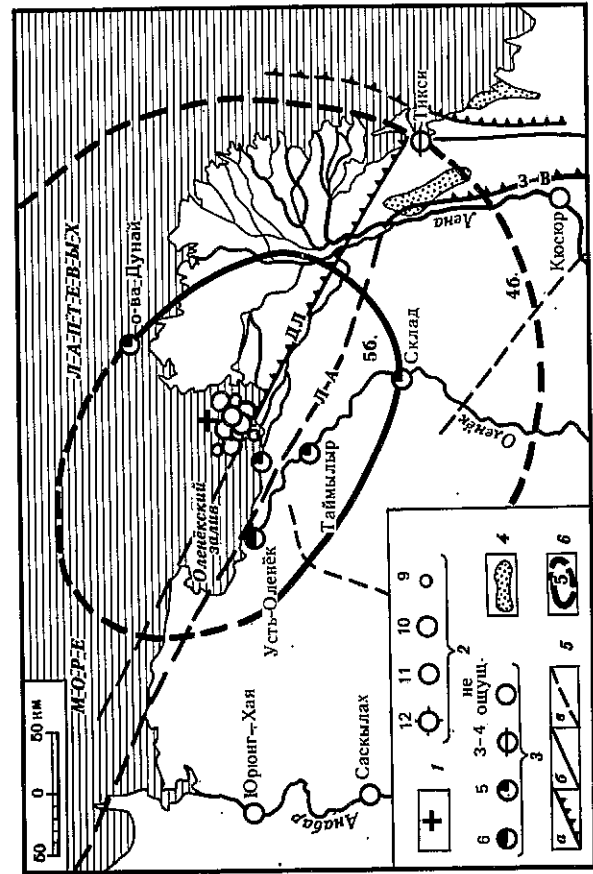


Рис. 2. Карта изосейст Оленёкского землетрясения 1 февраля 1980 г. в море Лаптевых  
 1 — эпицентр землетрясения; 2 — энергетический класс  $K$ ; 3 — балльность; 4 — кайнозойская впадина; 5 — разлом; а — надвиги, б — предполагаемый; 6 — изосейста

мебели, открылась дверца у шкафа. У жительницы пос. Кокориной беспokoйно вел себя полугай.

На карте изосейст более или менее уверенно удалось провести лишь границу области пятибалльных сотрясений, которая оказалась вытянутой вдоль трассы Дюлонгского разлома (рис. 2). Об этом, возможно, свидетельствует также тот факт, что землетрясение ощущалось в пос. Тикси, находящемся вблизи трассы Дюлонгского разрыва, и совсем не ощущалось в поселках Юрюнг-Хая и Саксылах вне зоны влияния данного тектонического нарушения. Отметим, что ранее из-за редкой населенности территории не удавалось построить карт изосейст землетрясений этого района.

Сейсмостанцией Тикси зарегистрировано свыше 50 повторных толчков Оленёкского землетрясения, два из которых имели энергию  $10^{12}$  Дж. Все повторные толчки произошли южнее основного землетрясения. Эпицентральная область Оленёкского толчка тяготеет к зоне влияния Лено-Анабарского краевого шва и параллельно ему протягивающегося Дюлонгского надвига. Краевой шов прослеживается под покровом мезо- и кайнозойских отложений Лено-Анабарского прогиба от приустьевой части р. Лены до устья р. Анабара. Он отделяет складчатые структуры Оленёкской ветви от Сибирской платформы. Его положение устанавливается по линейной магнитной аномалии и градиентной ступени силы тяжести. Разлом был заложен, вероятно, в позднем прогерозе и отделял существовавший здесь глубокий Прончищевский трог от Сибирской платформы. Таким образом, Лено-Анабарский разлом, приуроченный к зоне затухания складок Оленёкской ветви, является естественной границей между ду складчатой областью и плитой. Современные движения в зоне этого шва и явились причиной возникновения настоящего землетрясения [2]. По инструментальным данным за 1973—1977 гг. здесь зафиксировано одно землетрясение  $13$ -го энергетического класса и свыше десяти с  $K = 10 \div 12$ .

В районе дельты р. Лены и шельфа моря Лаптевых в 1980 г. отмечено несколько других землетрясений с  $K = 11 \div 12$ , по-видимому также связанных с современными движениями по Лено-Анабарскому краевому шву Сибирской платформы и оперяющим его разрывам [3]. Один из толчков, зарегистрированный 16 октября 1980 г.

в 12 ч по Гринвичу с энергией  $10^{11}$  Дж вблизи Тикси (20 км), силой 3—4 балла ощущался в блочных домах поселка. В Тикси в стене деревянного одноэтажного здания образовалась сквозная от пола к потолку трещина. На карте эпицентров землетрясений видна широкая сейсмоактивная полоса, протягивающаяся от шельфа моря Лаптевых на юго-восток, к Охотскому морю. Она включает несколько районов, самым активным из которых является система хр. Черского. Высвобожденная в этом районе более активном районе сейсмическая энергия все же в 40 раз меньше, чем в районе дельты р. Лены и шельфа моря Лаптевых. Очаги землетрясений тяготеют к Индиго-Кольской системе глубинных разломов юго-восточного простирания [4].

Юго-восточная часть полосы более активна по сравнению с северо-западной. Здесь обращают на себя внимание две группы землетрясений: первая расположена в эпицентральной области Артыкского землетрясения 1971 г. (северо-восточный борт Верхне-Нерской мезокайнозойской впадины), вторая — в 150 км юго-восточнее и приурочена к приразломной Аркагаинской мезозойской впадине. Максимальная энергия отмеченных здесь землетрясений достигала  $10^{11} - 10^{12}$  Дж. Редкое "облако" слабых землетрясений зарегистрировано в Верхне-Адычанской мезокайнозойской впадине, которая в 1975—1979 гг. была практически асейсмична.

На северном побережье Охотского моря землетрясения более всего тяготеют к зоне влияния Челомдха-Ямского разлома, в частности группирование толчков происходило по трассе разлома между полуостровами Лисянского и Хмитевского. Небольшое скопление эпицентров наблюдалось также в районе хр. Сунгар-Хаята.

На юге Якутии наиболее сейсмичным участком территории являлся Становой хребет. Очаги землетрясений локализовались здесь вдоль субширотного Станового глубинного шва, отделяющего Сибирскую платформу от Джугджуро-Становой орогенной области. Как и раньше, более сейсмоактивны были края Станового шва, центральная его часть слабосейсмична. На западном фланге 22 сентября 1980 г. произошло землетрясение  $12$ -го энергетического класса, сопровождавшееся небольшой серией повторных толчков. Умеренная сейсмичность зафиксирована на восточном фланге — в районе Токинского Становика близ озера Большое Токо.

Из других постоянно активных из года в год районов юга Якутии следует отметить Алданское и Олёкмо-Чарское нагорья и район среднего течения р. Учур. Слабая сейсмическая активность в 1980 г. выявлена в Олёкминском эпицентральном поле (наибольшая энергия местных землетрясений не превышала  $10^{10}$  Дж).

Все очаги землетрясений, для которых рассчитаны глубины, практически расположились в пределах земной коры в интервале 7—27 км. Угловые коэффициенты двух графиков повторяемости — одного для Южной Якутии за 1963—1980 гг. (более 600 толчков с изъятием афтершоков, роев и групп), другого для системы хребтов Черского на северо-востоке региона за 1970—1980 гг. (свыше 200 землетрясений) — соответственно составили  $-0,47$  и  $-0,45$ . Это мало отличается от величины 7, определенной для Прибайкалья ( $-0,48$ ) и Магаданской области ( $-0,48$ ) [5]. Из графиков следует, что частота повторения местных землетрясений в системе хребтов Черского примерно в 1,5 раза меньше частоты их проявления в Южной Якутии и в 3 раза меньше, чем в Байкальской рифтовой зоне [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козьмин Б.М., Андреев Т.А. Землетрясения Якутии и Северо-Востока СССР. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1976 году. М.: Наука, 1980, с. 58—61.
2. Горшителин Д.К., Гусев Г.С. Краевые швы восточной части Сибирской платформы. — В кн.: Разломная тектоника территории Якутской АССР. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1976, с. 64—72.
3. Тектоника Якутии. Новосибирск: Наука, 1975. 1980 с.
4. Гусев Г.С. Складчатые структуры и разломы Верхояно-Кольской системы мезозойск. М.: Наука, 1979. 208 с.
5. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1979. 208 с.
6. Голденцкий С.И. Землетрясения районов трассы БАМ на участке от северной оконечности оз. Байкал до р. Олёкмы. — В кн.: Геологические и сейсмические условия района БАМ. Новосибирск: Наука, 1978, с. 126—138.