

ГОРНОЗАВОДСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 17(18) АВГУСТА 2006 Г. НА ЮГЕ  
О-ВА САХАЛИН

*Б.В. Левин, Ким Чун Ун, И.Н. Тихонов*

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск*

Поступила в редакцию 27 ноября 2006 г.

Выявлен и проанализирован ряд аномальных сейсмологических и геофизических эффектов, предвзвращивших возникновение Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. ( $M_w = 5.6$ ) в юго-западной части острова Сахалин. Обработан большой объем данных сети цифровых сейсмических станций, позволивший проследить динамику развития афтершокового процесса в течение первых суток после главного события. Описаны различные проявления данного землетрясения.

**Ключевые слова:** активные разломы, землетрясения, предвестники, параметры землетрясения, механизм очага, афтершоковый процесс, Сахалин.

ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ  
КОРЫ НА ЮГЕ САХАЛИНА

В пределах южной части о-ва Сахалин с прилегающим шельфом (территория южнее  $48^\circ$  северной широты) установлены три основных систем глубинных разломов, порождающих сильные коровые землетрясения: Центрально-Сахалинской, Западно-Сахалинской и Ребун-Монеронской (рис. 1). *Первая система разломов (Центрально-Сахалинская)*, а точнее, ее южный сегмент, трассируется с юга на север по западному побережью Анивского залива (п-ов Крильон), затем западнее г. Южно-Сахалинск, и далее – вдоль восточного побережья острова до г. Поронайск. В пределах южного сегмента этой зоны разломов самыми сильными за последние сто лет были два землетрясения: Анивское 2 февраля 1951 г. с магнитудой  $M_s = 5.5$  и Такойское 1 сентября 2001 г. ( $M_s = 5.6$ ).

Однако, если расширить временные рамки наблюдений от столетия до 10–15 тыс. лет за счет изучения “древних” землетрясений (палеосейсмодислокаций голоценового возраста), то окажется, что на данном участке разломов неоднократно происходили сейсмические события, не уступавшие по силе Нефтегорскому землетрясению 1995 г. ( $M_s = 7.2$ ). В частности, М.И. Стрельцов и А.И. Кожурин [4] проводили полевые исследования сегмента Апрельского активного разлома (бассейн р. Лира), расположенного вблизи г. Южно-Сахалинска, и обнаружили три ветви разлома, нарушающего современную земную поверхность – позднеплейстоценовый и голоценовый ал-

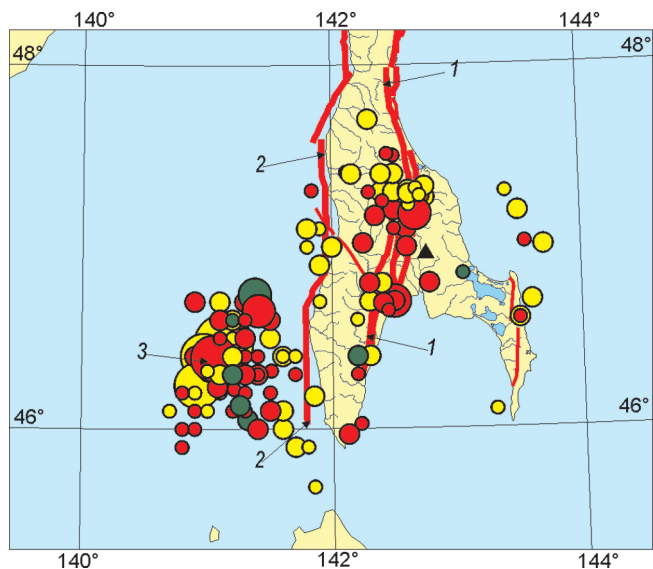
лювий р. Лира, а также плиоценовые глины и аргиллиты маруямской свиты. Причем было установлено, что последнее событие имело место менее чем 800 лет тому назад.

*Вторая система разломов (Западно-Сахалинская)* протягивается под дном Татарского пролива вдоль западного побережья острова до перешейка Поясок, соединяясь далее с разломами Среднего Сахалина. Она более мощная по сравнению с первой системой, но за прошедшее столетие (до 2006 г.) никак не проявила себя на юге Сахалина в плане сильных ( $M \geq 5.5$ ) землетрясений. Именно в пределах этой системы произошло описываемое ниже Горнозаводское землетрясение 17(18) августа 2006 г. ( $M_s = 5.6$ ).

*Третья система (Ребун-Монеронская)*, расположенная вблизи о-вов Монерон и Ребун, активизировалась 5 сентября 1971 г., когда произошло самое сильное за последние сто лет мелкофокусное землетрясение на Сахалине с  $M_s = 7.5$ . Оно сопровождалось интенсивным афтершоковым процессом, наблюдавшимся в течение 5 суток, когда было зарегистрировано 85 толчков с  $M \geq 3.0$ . Затем активность резко упала и через нескольких лет снизилась до обычного фонового уровня.

ПРЕДВЕСТНИКИ ГОРНОЗАВОДСКОГО  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 17(18) АВГУСТА 2006 Г.

Спокойная стадия развития сейсмического режима в пределах первой и второй систем разломов наблюдалась до 1997 года, после чего стали прояв-



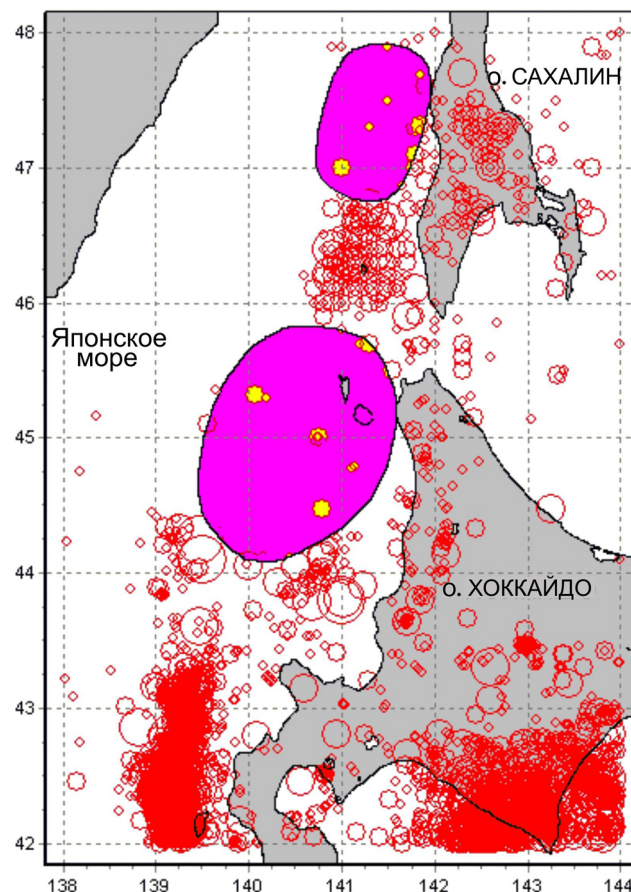
**Рис. 1.** Карта эпицентров коровых землетрясений юга о-ва Сахалин с  $M \geq 4.0$  за период 1906–2005 гг. и основные системы разломов зоны земной коры.

Цифрами 1, 2, 3 обозначены, соответственно, Центральнo-Сахалинская, Западно-Сахалинская и Ребун-Монеронская системы разломов.

ляться первые признаки активизации сейсмичности, вызвавшие серьезные опасения у сахалинских сейсмологов.

Картирование очагов известных сильных землетрясений восточнее Японских островов и Сахалина вдоль границы литосферных плит, простирающейся на 1800 км от г. Ниигата (о. Хонсю) до Севера Сахалина, позволило установить наиболее вероятные места будущих сильных землетрясений. Они отвечают областям, в которых длительное время (порядка 100 и более лет) не происходили сильные ( $M \sim 7$ ) землетрясения. Согласно К. Моги, такие области называются сейсмическими брешами первого рода [1]. Для юга Сахалина опасность представляют две сейсмические брешы: вблизи побережья о-ва Хоккайдо и в пределах вышеупомянутой второй системы разломов на юго-западном шельфе о-ва Сахалин (рис. 2).

Начиная с 2003 г., заметное оживление слабой сейсмичности удалось подтвердить с помощью сети полевых цифровых сейсмических станций “Datamark”, развернутых на юге Сахалина. Кроме того, было выявлено положение сейсмической брешы второго рода, размером  $90 \times 60$  км, в которой, по крайней мере, с середины 2003 г. не наблюдались мелкофокусные землетрясения с магнитудой  $M \geq 3.0$  (рис. 3). На основании указанных предвестников, в декабре 2005 г. был сделан долгосрочный прогноз сильного ( $M_s = 6.6 \pm 0.5$ ) землетрясения на юго-за-



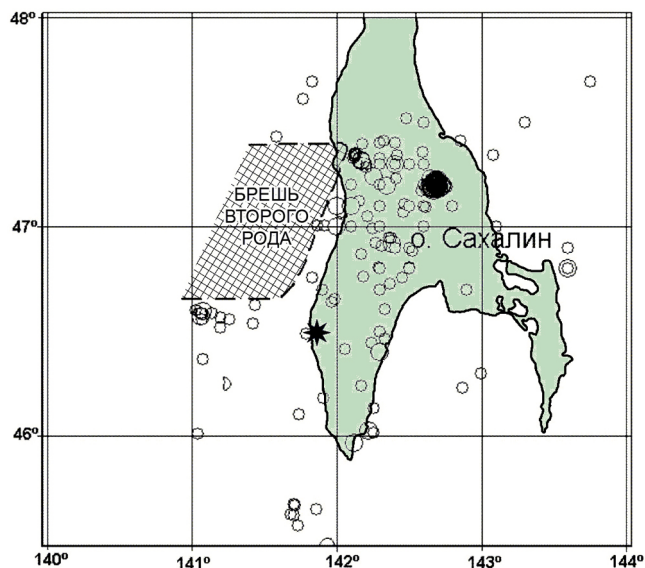
**Рис. 2.** Примерное положение сейсмических брешей первого рода (овальные области) и эпицентры землетрясений с  $M \geq 3.0$ , зарегистрированных с 1923 г. вблизи западного побережья Сахалина и Хоккайдо по [7].

Эпицентры на верхней половине карты ( $\varphi \geq 45.5^\circ$ ) приведены по данным каталога Сахалинского филиала Геофизической службы РАН, а на нижней половине карты – по данным каталога Японского метеорологического агентства (JMA).

падном шельфе о-ва Сахалин [6]. Данный прогноз был поддержан Российским экспертным советом по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска.

Начатый после этого процесс отслеживания возможных средне- и краткосрочных предвестников в исследуемом районе дал практические результаты, начиная с июля 2006 г., когда стали поступать сведения о различных аномальных явлениях. Перечислим лишь некоторые из них:

- устойчивый запах сероводорода на акватории Татарского пролива, отмеченный местными рыбаками;
- формирование более глубокого сейсмического затишья за счет снижения числа землетрясений с



**Рис. 3.** Положение сейсмической бреши второго рода и эпицентры коровых землетрясений с  $M \geq 3.0$  за 1993–2005 гг. по данным системы “IRIS-2” и сейсмических станций “Datamark”.

Пунктирная линия – граница сейсмической бреши второго рода. Звездочка – эпицентр Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. ( $M_s = 5.6$ ).

магнитудами  $M < 3.0$ . Эффект зафиксирован по записям цифровых сейсмостанций “Datamark”, расположенных на западном побережье острова (“Калинино”, “Ожидаево”, “Холмск”);

- наличие необычной корреляции в появлении шумов на записях сейсмостанций “Калинино” и “Холмск”);

- резко нелинейный характер зависимости кумулятивной суммы числа сейсмических событий от времени. Это достаточно информативный краткосрочный предвестник. Ранее было установлено, что он отмечается на Южном Сахалине перед всеми землетрясениями с  $M > 4.0$  [5].

- резкое увеличение с 14 июля сего года сечения рассеяния радиолокационного сигнала, принимаемого альтиметрическим радаром спутника Jason-1, для трека, пересекающего южную часть о-ва Сахалин (устное сообщение проф. Ю.И. Троицкой из Института прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород). Подобный эффект уже отмечался ранее перед сильными землетрясениями (Нефтегорским, 1995; Аляскинским, 2002; Корякским, 2006);

Исключение составили наблюдения за уровнем воды в гидрогеологических скважинах. Мониторинг гидрогеодеформационного поля на Южном Сахалине проводит ФГУГП “Сахалинская геологоразведочная экспедиция”. По сообщениям ведущего гидроге-

олога О.Н. Назировой, аномальных колебаний уровня воды перед Горнозаводским землетрясением 17(18) августа 2006 г. не отмечалось. Даже на Холмском наблюдательном пункте, расположенном в пределах г. Холмск, то есть наиболее близко к эпицентру, регистрировался достаточно стабильный уровень при отсутствии аномальных вариаций.

В связи с напряженной прогнозной обстановкой на юго-западе Сахалина в Холмском районе с середины августа 2006 г. в замкнутом водоеме вблизи г. Холмска (район р. Малка) была установлена мобильная система параллельной регистрации сейсмических и гидроакустических сигналов. Данная система, разработанная специалистами четырех организаций – ИМГиГ ДВО РАН, Специального конструкторского бюро средств автоматизации морских исследований (СКБ САМИ) ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск), ИО РАН и ООО “ГеоПрибор” (г. Москва), располагалась непосредственно в зоне подготовки землетрясения (в 60 км от его будущего эпицентра).

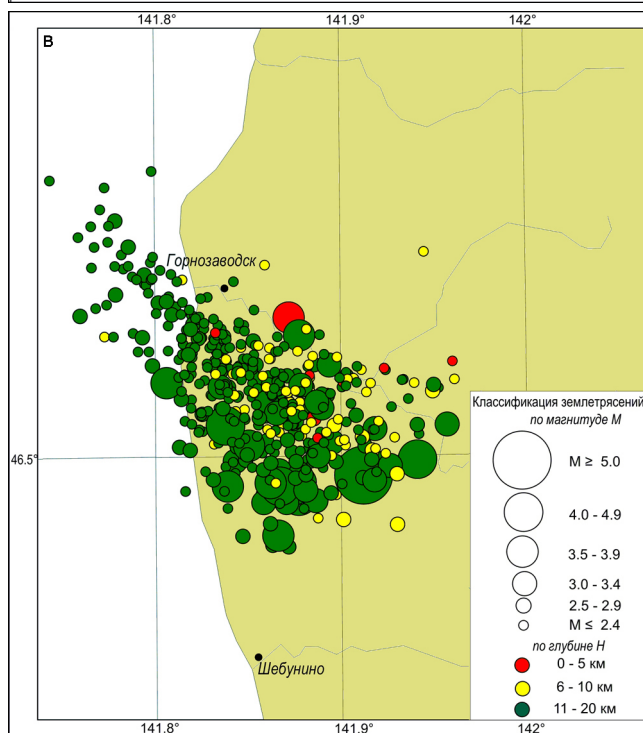
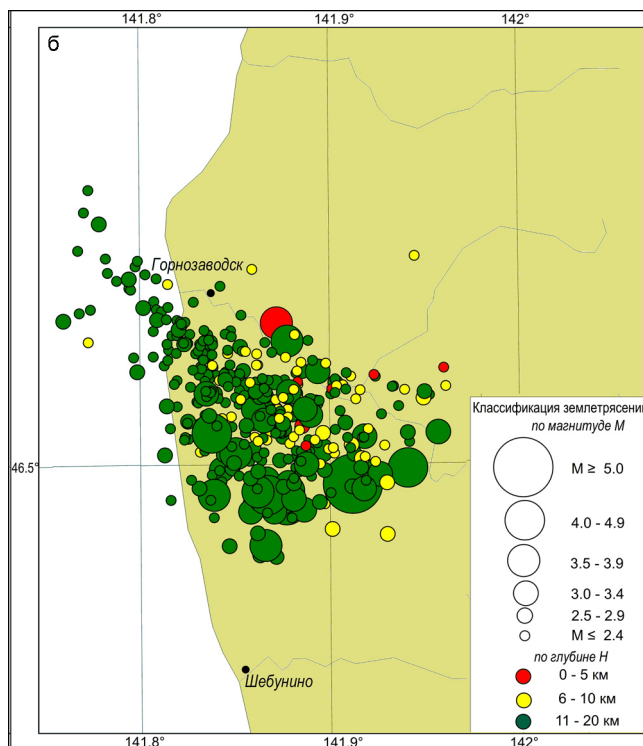
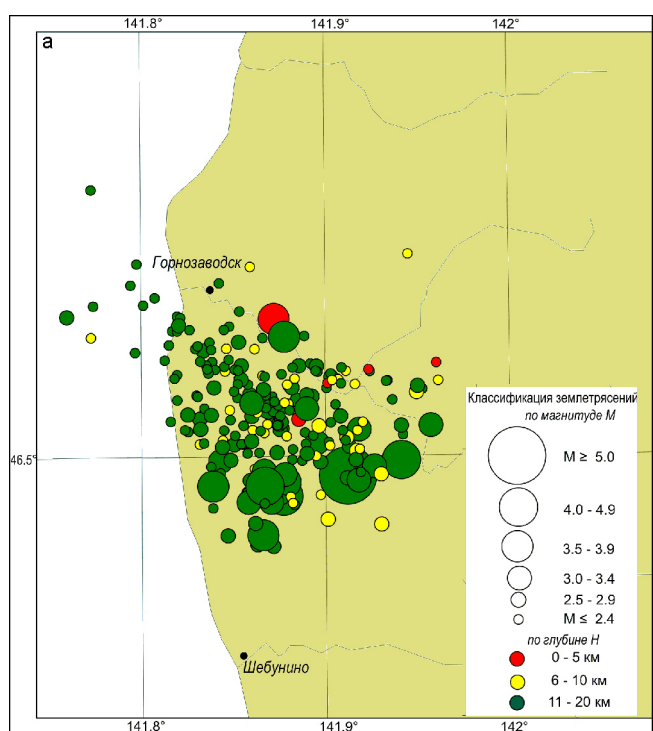
Одна из задач эксперимента заключалась в исследовании характера волновой картины в диапазоне высокочастотных акустических сигналов (1–70 Гц) на критической стадии подготовки сильного землетрясения (за несколько часов до его возникновения). Из литературных источников известно [2, 8], что в этот период над очаговой областью идет интенсивный процесс образования мелких трещин с формированием дилатантной зоны. Из-за быстрого затухания сигналов в земной коре данный процесс поддается регистрации только гидрофонами.

За 21 час 22 мин и 40 сек до начала землетрясения на гидроакустических каналах стали появляться серии (цуги) однотипных сигналов, значительно превышающие уровень помех. Они исчезли за 11 часов и 6 минут до начала главного толчка и более не регистрировались даже на стадии афтершоков Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. Всего было зафиксировано более 250 цугов. На сейсмических каналах в период регистрации цугов никаких заметных вариаций сигнала не было отмечено. Более подробно результаты эксперимента описаны в отдельной статье, сданной в печать\*. Они несомненно, будут иметь большое практическое значение в будущем при обработке комплекса краткосрочных предвестников землетрясений.

\* Б.В. Левин, Е.В. Сасорова, Ким Чун Ун, М.Е. Коровин, А.Е. Малашенко, П.В. Савочкин, И.Н. Тихонов. “Землетрясение 17(18) августа 2006 года на Сахалине и первая реализация комплексного прогноза” // Докл. АН. 2007, в печати).

**Таблица 1. Основные параметры Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г., по данным различных сейсмологических служб.**

Сейсмологическая служба	Время в очаге по Гринвичу	Координаты эпицентра		Глубина очага	Магнитуда
	час, мин, с	φ N, град	λ E, град	H, км	M <sub>s</sub>
Сахалинский филиал ГС РАН	15-20-35.5	46.5	142.0	15	5.7
NEIC	15-20-35.0	46.57	141.90	17	5.5
Сеть станций «Datamark»	15-20-34.4	46.49	141.91	13	5.6



**Рис. 4.** Развитие афтершокового процесса после Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г., по данным сети сейсмических станций “Datamark”. а – эпицентры афтершоков с  $M \geq 1.7$  за первые 3 часа после главного толчка, б – спустя 12 часов, в – спустя сутки.

**Таблица 2. Механизм очага Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г., по данным службы NEIC.**

Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
T		N		P		NP1			NP2		
PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
84	1	6	162	2	252	157	43	82	348	43	98

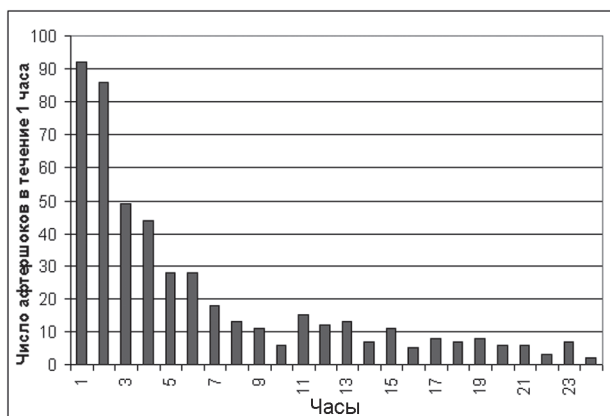
### ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ГЛАВНОМ ТОЛЧКЕ И АФТЕРШОКАХ ПЕРВЫХ СУТОК

В табл. 1 приведены оперативные данные об основных параметрах главного толчка по оценкам различных сейсмологических служб, а в табл. 2 – механизм очага по данным Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США (Голден, Колорадо) (NEIC) (<http://neic.usgs.gov/neic>). Наиболее точные оценки параметров получены при обработке записей локальной сети цифровых сейсмических станций “Datamark”. Результаты определений других служб вполне согласуются с этими оценками. Решения механизма очага для главного толчка свидетельствуют о том, что очаговая область находилась под действием субширотных близгоризонтальных сжимающих напряжений, в результате чего произошла взбросовая подвижка.

Динамику развития афтершокового процесса в течение первых суток можно проследить на рис. 4 а-в. Основной кластер афтершоков образовался на суше спустя 3 часа после главного события (рис. 4 а), а далее направление магистрального разрыва обозначилось более четко за счет процесса растрескивания в северо-западном направлении с выходом на акваторию Татарского пролива. Длину разрыва ( $L$ , в км) можно оценить на основе соотношения, предложенного Р. Сато [9]:

$$\log L = 0.5 M_w - 1.85.$$

При  $M_w = 5.6$   $L = 8.9$  км, что согласуется с линейным размером облака афтершоков, сформировавшегося в первые 3 часа разрядки напряжений.



**Рис. 5.** Затухание афтершокового процесса в очаге Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. в течение первых суток после главного толчка.

Гистограмма построена по выборке землетрясений с  $M \geq 1.7$ , зарегистрированных сетью сейсмических станций “Datamark”.

Протекание афтершокового процесса происходило по нетипичному сценарию. Наибольшая активность процесса была кратковременной и завершилась практически в течение первых суток. За этот период удалось определить основные параметры более 500 землетрясений с  $M \geq 1.7$ . Наиболее сильными оказались два толчка с  $M_s = 4.3$  и  $4.5$ . Первый возник спустя 5 мин, а второй – спустя 7 часов 20 мин после главного события. На рис. 5 показан график затухания повторных толчков.

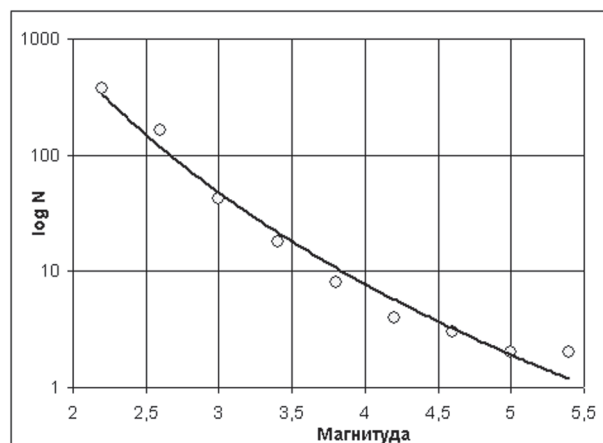
Нетипичность проявления повторных толчков видна также на графике повторяемости землетрясений (рис. 6)

$$\log N = a - b M,$$

где  $N$  – кумулятивная сумма числа толчков с магнитудой больше, чем  $M$ , а  $a$  и  $b$  – эмпирические постоянные. Из рис. 6 видно, что график носит нелинейный характер из-за дефицита событий с магнитудами  $M = 4.1-5.1$ , которые на  $0.5-1.5$  меньше магнитуды основного толчка. На основе изложенных фактов можно сделать вывод, что процесс разрядки упругих напряжений был локальным и Горнозаводское землетрясение 17(18) августа 2006 г. не сняло избыточные напряжения в зоне бреши второго рода, описанной выше.

### МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

По результатам макросейсмического обследования последствий землетрясения, выполненного сотрудниками Сахалинского филиала Геофизической службы РАН и ИМГиГ ДВО РАН, было установлено, что оно ощущалось почти во всех населенных пунктах Южного Сахалина [3]. С наибольшей силой землетрясение проявилось в пос. Горнозаводское – 7



**Рис. 6.** График повторяемости афтершоков Горнозаводского землетрясения 17(18) августа 2006 г. в течение первых суток после главного толчка.



**Рис. 7.** Пос. Лопатино. Разрушение стены дома и печи. Фото О.М. Шестаковой.



**Рис. 8.** Пос. Шебунино. Раскрытие трещины на берегу. Фото О.М. Шестаковой.

баллов. Отметим, что здесь речь идет не о магнитуде, а об интенсивности сотрясений в конкретном пункте, которая оценивается с помощью 12-балльной шкалы *MSK-64*. Данная шкала интенсивностей характеризует проявление землетрясений в баллах в конкретных точках земной поверхности. Интенсивность сотрясений убывала по мере удаления от эпицентра: пос. Шебунино – 6–7 баллов, пос. Таранай – 5 баллов, г. Анива – 4–5 баллов, г. Холмск – 4 балла, г. Южно-Сахалинск – 3–4 балла, г. Долинск и пос. Быков – 3 балла.

Основные повреждения зданий и сооружений наблюдались в г. Невельск, поселках Горнозаводск, Лопатино и Шебунино. В двух первых пунктах отмечено массовое падение печных труб (рис. 7), разрыв подземных водоводов, раскрытие трещин в грунте (рис. 7, 8). Приведем краткую выдержку из сообщения проф. Коффа Г.Л. (НИЦ “Геориск”, г. Москва) о результатах проведенного им обследования последствий землетрясения в пос. Горнозаводск.

В доме № 4а по ул. Кирпичной появились тонкие трещины в торцевых стенах. В северной стене первого подъезда наблюдались раскрытые крупные

трещины длиной от 1 до 2–3 м с вывалами из внутренней стены и откалывание больших кусков штукатурки. Произошла осадка дома в южном – юго-восточном направлении. На проезжей части распространились трещины шириной 1–5 мм и длиной от 1 до 2–3 м. В четырехэтажном здании школы-интерната для детей-инвалидов наблюдался отрыв крыльца от несущей фасадной стены здания. Во внутренних перегородках на уровне второго-третьего этажей этого здания отмечены раскрытые сквозные трещины шириной до 30–40 мм. После обследования проф. Коффа Г.Л. сделал вывод, что здание школы-интерната не может далее эксплуатироваться и подлежит капитальному ремонту с последующим усилением.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моги К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
2. Морозов В.Е., Сасорова Е.В. Высокочастотные сигналы (40–110 Гц), предшествующие землетрясениям, по гидроакустическим данным на Тихоокеанском побережье Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 64–74.

3. Оперативный каталог землетрясений Сахалинского филиала Геофизической службы РАН за август 2006 г. Южно-Сахалинск, 2006.
4. Стрельцов М. И., Кожурин А. И. Активные разломы и катастрофические землетрясения Сахалина (Апреловский активный разлом, результаты тренчинга). Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики Сахалинского науч. центра ДВО РАН, 2002. 4 с.
6. Тихонов И.Н. Методы и результаты анализа каталогов землетрясений для целей средне- и краткосрочного прогнозов сильных сейсмических событий. Владивосток, Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 2006. 214 с.
5. Тихонов И.Н. Результаты моделирования последовательностей мелкофокусных землетрясений юга Сахалина с целью прогноза времени возникновения толчков с  $M \geq 4.0$  // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока и Восточной Сибири. Южно-Сахалинск, 2003. Т. 2. С. 53–63.
7. Тихонов И.Н. Сильные землетрясения в Сахалинской области: исследования и прогнозы // Вестн. ДВО РАН, № 1. 2006. С. 67–80.
8. Sasorova E.V., Levin B.W., Morozov V.E. Local tsunami warning problem and one of possible method of its solving. // Proceedings. of 22-th International Tsunami Symposium, Chania. Greece, 27-29 June, 2005. Eds. G.A. Papadopoulos, K. Satake. Athene. 2005. P. 204–210.
9. Sato R. Theoretical basis on relationship between focal parameters and magnitude // J. Phys. Earth. 1979. V. 27. N 5. P. 353–372.

*Рекомендована к печати*

*Т.К. Злобиным*

***B.V.Levin, Kim Jung Woon, I.N.Tikhonov***

### **The August 17(18), 2006, Gornozavodsk earthquake on Southern Sakhalin**

Some anomalous seismological and geophysical phenomena before the 17(18), 2006, Gornozavodsk earthquake ( $M_w = 5.6$ ) in the south-western part of Sakhalin Island are revealed and analyzed. A large volume of digital seismic station data was processed to investigate the dynamics of aftershock process development during one day after the main event. Various effects of this earthquake are described.

***Key words:* active faults, earthquakes, precursors, earthquake parameters, earthquake focal mechanism, aftershock process, Sakhalin.**