

**СИМУШИРСКИЕ ЦУНАМИ 2006 И 2007 ГГ.:
ПРОЯВЛЕНИЯ НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ И АКВАТОРИИ ТИХОГО ОКЕАНА**

Ивельская Т.Н.¹, Поплавский А.А.², Спириин А.И.², Золотухин Д.Е.³

¹Центр цунами Сахалинского Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета, Южно-Сахалинск, T_Ivelskaya@SakhUGMS.ru

²Сахалинский филиал Геофизической службы РАН, Южно-Сахалинск

³Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

Действия Службы предупреждения о цунами в Сахалинской области. Проявления цунами на акватории Тихого океана и на побережье Курильских островов

15 ноября 2006 г. и 13 января 2007 г. восточнее острова Симушир были зарегистрированы два катастрофических землетрясения с магнитудой $M_S = 7.8$ и 8.2 по данным Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США (Голден, Колорадо, США). Оба сейсмических толчка сопровождалась волнами цунами, отмеченными практически на всей акватории Тихого океана. Описание Симуширских землетрясений сделано в работе И.Н. Тихонова с соавторами (см. настоящий сборник), поэтому перейдем к описанию действий Службы предупреждения о цунами в Сахалинской области во время возникновения указанных событий.

Цунами 15 ноября 2006 года. В 11 ч 25 мин 15 ноября 2006 года по Гринвичу (GMT) сейсмическая станция «Южно-Сахалинск» передала текст сообщения о тревоге цунами по всем Курильским островам. Начиная с момента наступления расчетного времени подхода цунами к пункту Малокурильское (около одного часа с момента землетрясения, 12 ч 12 мин), Центром цунами был начат сбор информации о ситуации на местах. В 13 ч 19 мин Центр цунами разослал сигнал отбоя тревоги цунами. Землетрясение вызвало трансокеанское цунами, которое было зарегистрировано на всей акватории Тихого океана. На рис. 1 представлены мареограммы нескольких российских мареографных станций.

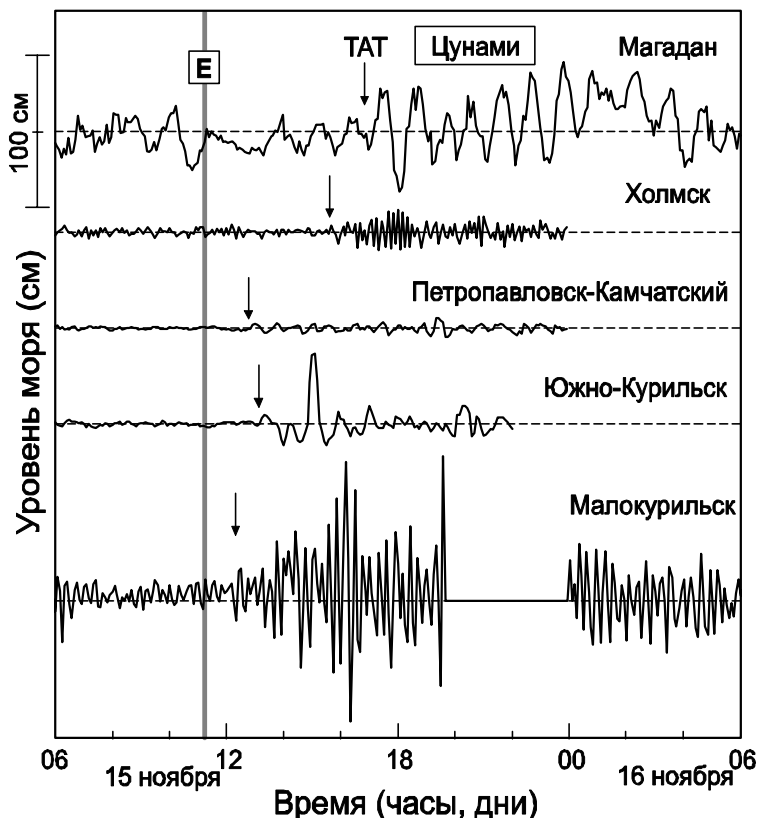


Рис. 1. Записи цунами 15.11.2006, полученные на 5 российских мареографных станциях. Стрелками (ТАТ) отмечены моменты прихода первой волны цунами. E – время землетрясения. Время гринвичское.

Максимальное проявление цунами, согласно инструментальным данным, зарегистрировано в пункте Малокурильское, остров Шикотан. Максимальная высота цунами от подошвы до гребня составила 153 см.

Данные о параметрах первой и максимальной волны (время подхода и высота от гребня до подошвы) на российском и японском побережьях представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные о временах подхода и высотах первой и максимальной волн цунами 15 ноября 2006 года на российских и японских станциях

| Название станции | Высота цунами (от гребня до подошвы), см | | Время подхода волны (GMT) | |
|---------------------------|--|---------|---------------------------|--------------|
| | первая | максим. | первая | максим. |
| Российские станции | | | | |
| Малокурильское | 26 | 153 | 12:20 | 16:00 |
| Южно-Курильск | 4 ? | 40 | 13:10 | 14:35 |
| Стародубское | 8 | 20 | 13:20 | 19:30 |
| Холмск | 10 | 24 | 15:35 | 17:55 |
| Петропавловск-Камчатский | 7 | 10 | 12:40 | 19:15 |
| Магадан | 46 | 72 | 17:03 | 22:38 |
| Японские станции | | | | |
| Amami | 25.7 | 84.8 | 00:45(16.11) | 04:58(16.11) |
| Ayukawa | 20.2 | 83.4 | 21:49 | 22:26 |
| Choshi Gyoko | 19 | 29.3 | 22:41 | 10:17(16.11) |
| Hachinohe | 47.5 | 106.2 | 02:59(16.11) | 08:32(16.11) |
| Hanasaki | 41.5 | 73 | 21:43 | 00:01(16.11) |
| Kushiro | 37 | 51.2 | 21:56 | 01:07(16.11) |
| Ishigaki | 8.5 | 18 | 02:18(16.11) | 08:12(16.11) |
| Kochi | 13.9 | 31.2 | 04:23(16.11) | 09:37(16.11) |
| Mera | 22.6 | 92.7 | 02:19? (16.11) | 04:28(16.11) |
| Maisaka | 4 | 19.5 | 23:33 | 10:39(16.11) |
| Kushimoto | 6 | 48.5 | 23:40 | 12:49(16.11) |
| Murotomisaki | 19.5 | 79.2 | 03:32? | 05:42(16.11) |
| Ofunato | 19.9 | 92.2 | 00:58(16.11) | 04:15(16.11) |
| Omaezaki | 20 | 49.8 | 03:31(16.11) | 06:38(16.11) |
| Tanegashima | 15.8 | 72.3 | 02:11(16.11) | 05:30(16.11) |
| Toba | 14 | 36 | 02:18(16.11) | 07:29(16.11) |
| Abashiri | 33.4 | 42.4 | 22:08 | 02:59(16.11) |
| Wakkanai | 20.1 | 31.2 | 23:45? | 04:50(16.11) |

Наблюдавшееся цунами имело ряд особенностей, не характерных для цунами подобной силы.

Во-первых, из таблицы 1 видно, что в большинстве пунктов наблюдения запаздывание времени прихода максимальной волны относительно первой волны аномально велико (порядка нескольких часов), то есть отмечается слабое затухание волнового процесса во времени.

Вторая особенность заключается в слабом затухании волн при распространении их вдоль побережья Курильских и Японских островов.

О третьей особенности - повсеместном проявлении цунами на акватории Тихого океана, говорилось выше. Для объяснения аномальных характеристик данного цунами, по-видимому, можно предположить долговременность процесса генерации волн в очаге цунами (в течение нескольких часов), в результате чего происходила «подпитка» энергией волнового процесса.

Цунами 13 января 2007 года. Землетрясение 13 января 2007 года, хотя и было достаточно сильным, но по своему характеру отличалось от землетрясения 15 ноября 2006 года, поэтому вызвало более слабое цунами (см. работу И.Н.Тихонова с соавторами в наст. сборнике).

В 04 час 36 мин 13 января 2007 года была объявлена тревога цунами без указания координат по всем Курильским островам.

По данным мареографа гидрометеостанции Сахалинского УГМС в п. Малокурильском первое вступление волны отмечалось в 06 час 30 мин 13 января. Максимальная высота волны, составившая 72 см (от гребня до подошвы), наблюдалась в 08 час 03 мин (рис. 2). По мареографным данным гидрометстанций «Южно-Курильск» и «Холмск», максимальная высота волны цунами составила, соответственно 11 см и 14.5 см.

Решение о выпуске отбоя тревоги принималось с учетом следующих данных:

1) отсутствие значительных изменений уровня моря вблизи населенных пунктов Курильских островов по истечении расчетного времени добегания волны до этих пунктов (и в последующие 2 – 2.5 часа),

2) отсутствие аномальных изменений уровня моря на побережье Камчатки по данным камчатских ГМС,

3) слабое проявления цунами на зарубежных станциях. По этой же причине в таблице 2 не приведены данные об амплитудах (и зачастую о времени) первого вступления волны.

Согласно таблице 2 максимальное проявление цунами наблюдалось на станции Shemya (Аляска, США). Амплитуда цунами составила 32 см.

Отбой тревоги был выпущен Центром цунами в 17 час 49 мин.

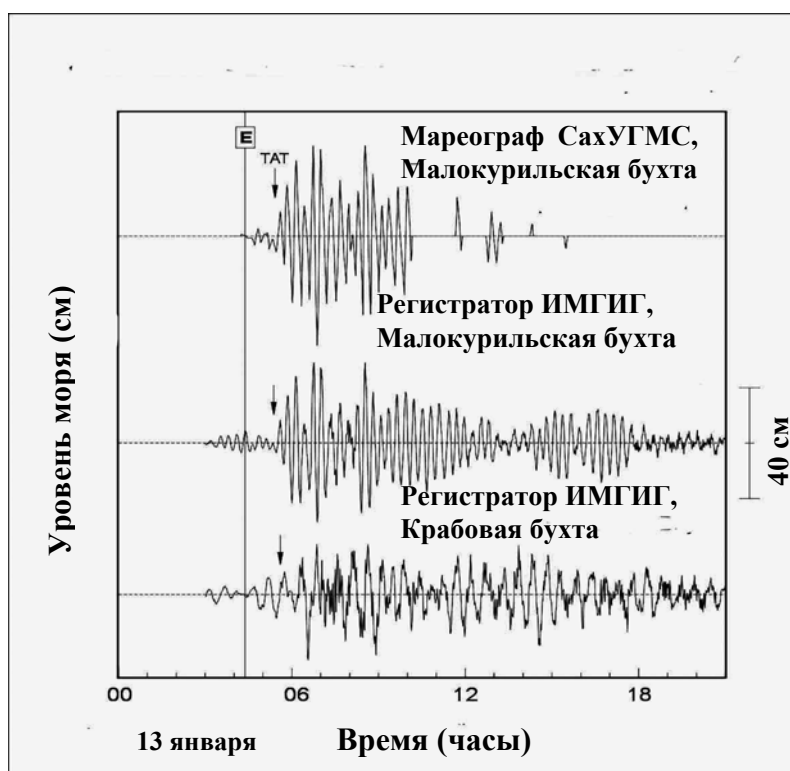


Рис. 2. Записи цунами 13.11.2007, полученных на острове Шикотан, бухтах Малокурильской и Крабовой. Данные мареографа Сахалинского УГМС и регистраторов ИМГИГ (постановка оборудования Григория Богданова). Стрелками (TAT) отмечены моменты прихода первой волны цунами. E – время землетрясения. Время гринвичское.

Таблица 2. Данные о временах подхода первой волны и высотах максимальной волны цунами 13 января 2007 года на российских и зарубежных станциях

| Название станции | Высота цунами (от гребня до подожвы, см) | Время подхода первой волны (GMT) | |
|---------------------------|--|-------------------------------------|--------------------|
| | | наблужден. | расчетное |
| Российские станции | | | |
| Малокурильское | 72 | | 05:22 |
| Южно-Курильск | 11 | 06:12? | 05:50 |
| Холмск | 14 | | 08:11 |
| Зарубежные станции | | | |
| Adak, Alaska | 5 | 07:38 | 07:35 |
| Dutch Harbor, Alaska | 6 | 08:46 | 08:44 |
| Shemya, Alaska | 32 | 06:42 | 06:36 |
| Sitka, Alaska | 8 | | 10:49 |
| Pago Pago, Amer. Samoa | 11 | | 13:37 |
| Arena Cove, California | 25 | 12:50 | 12:50 |
| Crescent City, California | 23 | | 12:47 |
| San Francisco, California | 5 | | 13:33 |
| Santa Barbara, California | 10 | | 14:38 |
| Antofagasta, Chile | 10 | | 00:28 (14 янв.) |
| Hilo, Hawaii | 11 | | 11:12 |
| Honolulu, Hawaii | 6 | | 10:47 |

В обоих случаях объявления тревоги (15 ноября 2006 и 13 января 2007 г.) отсутствие данных о цунами на ближайшем к эпицентру землетрясения острове Симушир значительно затрудняло принятие решений в ходе действия тревоги.

С целью поисков следов проявления цунами в июле 2007 года ИМГиГ ДВО РАН была организована морская экспедиция в район Симуширских землетрясений и цунами. Она состоялась благодаря полученным грантам: Российского фонда фундаментальных исследований РАН и Президиума Дальневосточного отделения РАН.

Результаты обследования побережья средних Курильских островов (Уруп, Симушир, Кетой) показали, что:

- на острове Уруп заплески цунами достигали 6 метров;
- на острове Кетой максимальные

| | | | |
|-------------------------|----|-------|-------|
| Kahului Maui, Hawaii | 17 | 11:08 | 11:04 |
| Hanasaki, Japan | 13 | 05:36 | 05:41 |
| Ofunato, Japan | 22 | | 06:13 |
| Kwajalein, Marshall Is. | 11 | | 09:47 |
| Midway Island | 19 | 08:20 | 08:21 |
| Charleston, Oregon | 9 | | 12:42 |
| Callao-La Punta, Peru | 14 | | 23:06 |
| Wake Island | 8 | 08:17 | 08:13 |

заплески цунами превышали 8-10 метров;

- на острове Симушир обнаружены следы нескольких катастрофических заплесков цунами с высотой более 10-15 метров с тихоокеанской стороны и около 8 метров на восточной части Охотоморского побережья.

Результаты численного моделирования Симуширских цунами 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г.

Оба Симуширских цунами были численно промоделированы с помощью комплекса программ ANI [2]. Модельный источник задавался в двух в двух вариантах.

Первый из них представляет собой начальное возвышение уровня в виде половинки трехосного эллипсоида, опирающегося на область макросейсмического очага землетрясения [2, 4] – макросейсмический источник цунами. Параметры такого источника в конечном итоге зависят от магнитуды и фокальной глубины землетрясения. Центр его помещается в эпицентр землетрясения, а большая ось ориентируется примерно вдоль Курильской гряды. Значения параметров очага, необходимые для вычисления параметров макросейсмического источника цунами, приняты одинаковыми для обоих землетрясений: магнитуда $M_S = 8.0$, фокальная глубина $h = 36$ км. Соответствующие размеры модельного источника в плане: большая ось $A = 230$ км, малая ось $B = 72$ км, максимальная высота начального возвышения $\eta_{\max} = 3.4$ м, потенциальная энергия начального возвышения $7.3 \cdot 10^{14}$ Дж, интенсивность цунами по шкале Соловьева [3] $I = 2.26$.

Второй модельный источник приблизительно соответствует полю остаточных смещений дна, обусловленных рассматриваемыми землетрясениями. Для удобства счета оценки остаточных смещений, рассчитанные на основе GPS данных (см. работу И.Н. Тихонова с соавторами в настоящем сборнике), были заменены эллипсоидами тех же размеров на поверхности океана. При этом соблюдалось требование равенства начальной потенциальной энергии остаточных и эллипсоидальных возмущений уровня океана.

Длина и ширина источника цунами 15 ноября 2006 г. составляют, соответственно, 300 и 120 км. Максимальная положительная денивеляция равна 1.8 м, в точке с координатами $\varphi_1 = 46^\circ 57'$ с.ш., $\lambda_1 = 154^\circ 03'$ в.д., отрицательная – 1.3 м в точке с координатами $\varphi_2 = 46^\circ 45'$ с.ш., $\lambda_2 = 154^\circ 45'$ в.д. Азимут простираения разлома $Az = 200^\circ$. Суммарная потенциальная энергия начального возмущения уровня $E = 1.7 \cdot 10^{14}$ Дж.

Значения максимальных заплесков, найденных в двух численных экспериментах, и реальные максимальные амплитуды волн, зарегистрированные некоторыми из существующих мареографов, показаны на рис. 3. Из него следует, что оба численные эксперимента дали результаты, сопоставимые друг с другом и фактическими данными. Правда, источник дипольного типа на основе GPS наблюдений, представляется более предпочтительным. Максимальные заплески, полученные от этого источника, в целом, ближе к наблюдавшимся максимальным амплитудам волн. Параметры макросейсмического источника цунами 13 января 2007 года, как сказано выше, совпадают с аналогичными параметрами ноябрьского цунами.

Источник дипольного типа приблизительно соответствует полю остаточных смещений, найденных для этого землетрясения. Максимальное положительное изменение уровня составило 2.25 м в точке с координатами $\varphi_1 = 46^\circ 21'$ с.ш., $\lambda_1 = 154^\circ 33'$ в.д. Максимальное опускание уровня составило -3.33 м в точке с координатами $\varphi_2 = 46^\circ 03'$ с.ш., $\lambda_2 = 154^\circ 57'$ в.д. Азимут простираения разлома $Az = 222^\circ$, длина и ширина источника соответственно 200 и 80 км. Потенциальная энергия начального возмущения уровня $E = 2.5 \cdot 10^{14}$ Дж.

Второй модельный источник приблизительно соответствует полю остаточных смещений дна, обусловленных рассматриваемыми землетрясениями. Для удобства счета оценки остаточных смещений, рассчитанные на основе GPS данных (см. работу И.Н. Тихонова с соавторами в настоящем сборнике), были заменены эллипсоидами тех же размеров на поверхности океана. При этом соблюдалось требование равенства начальной потенциальной энергии остаточных и эллипсоидальных возмущений уровня океана.

Длина и ширина источника цунами 15 ноября 2006 г. составляют, соответственно, 300 и 120 км. Максимальная положительная денивеляция равна 1.8 м, в точке с координатами $\varphi_1 = 46^\circ 57'$ с.ш., $\lambda_1 = 154^\circ 03'$ в.д., отрицательная – 1.3 м в точке с координатами $\varphi_2 = 46^\circ 45'$ с.ш., $\lambda_2 =$

154°45' в.д. Азимут простираения разлома $Az = 200^\circ$. Суммарная потенциальная энергия начального возмущения уровня $E = 1.7 \cdot 10^{14}$ Дж.

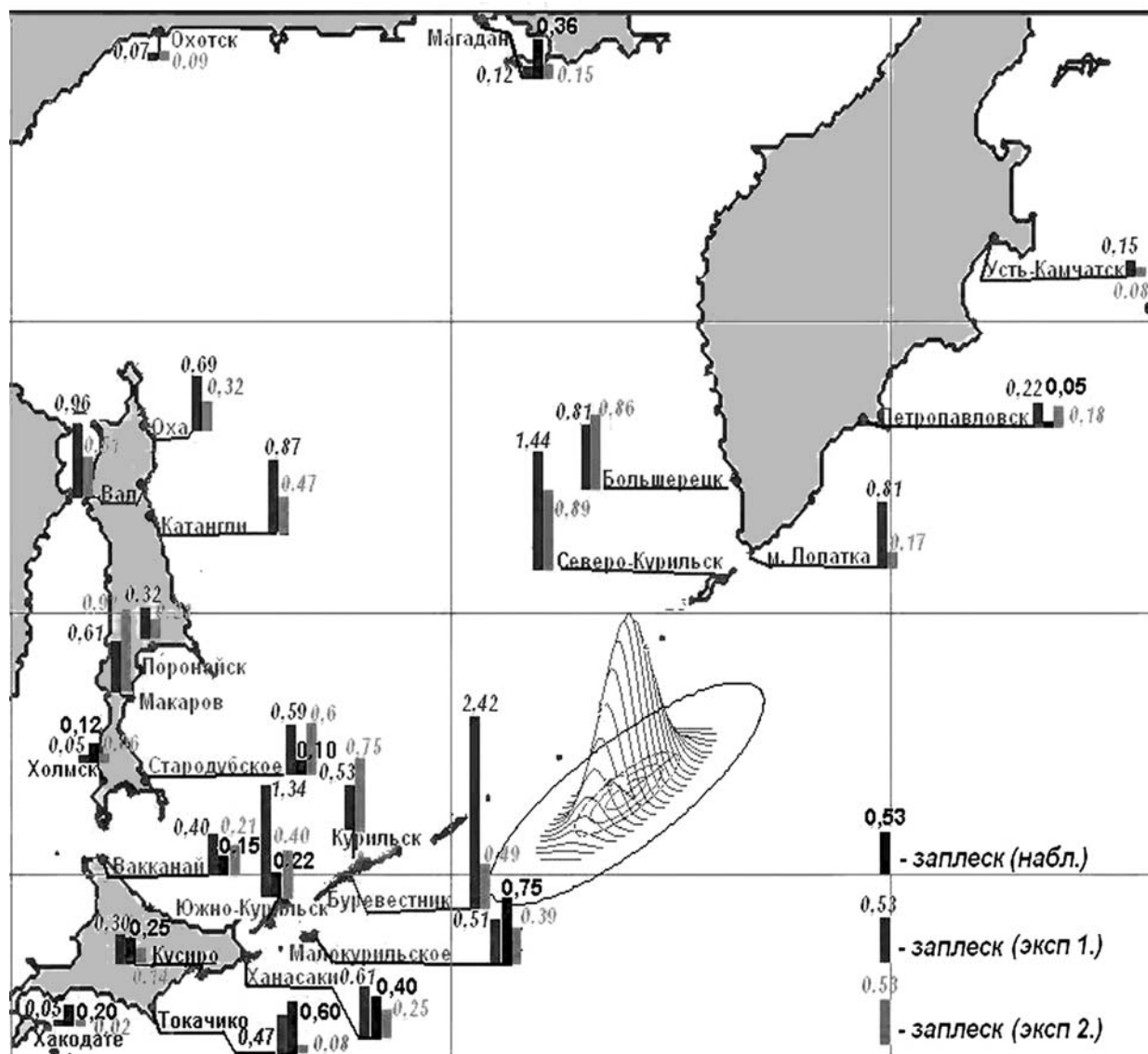


Рис. 3. Данные о наблюдаемых амплитудах волн цунами и расчетных максимальных высотах заплеска цунами 15 ноября 2006 г. На рисунке изображен источник первого типа с искажением вертикального масштаба.

Возможно, это связано с тем обстоятельством, что землетрясение 15 ноября 2006 года произошло после длительного сейсмического затишья. Отсутствие сильных землетрясений на континентальном склоне в течение долгого времени создает благоприятные условия для осадконакопления. Не исключено, что при первом Симуширском землетрясении сработали сразу два механизма возбуждения цунами: поршневой (остаточные смещения) и гравитационно-оползневой [1], тогда как при втором – только один поршневой.

Список литературы

1. Гусяков В. К. О связи цунамигенности подводных землетрясений с условиями осадконакопления на морском дне. // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский. 2000. С. 46 – 64.
2. Поплавский А.А., Храмушин В.Н., Непоп К.И., Королев Ю.П. Оперативный прогноз цунами на морских берегах Дальнего Востока России. Южно-Сахалинск: ДВО РАН, 1997. 273 с.
3. Соловьев С. Л. Повторяемость землетрясений и цунами в Тихом океане // Волны цунами (Труды СахКНИИ; Вып 29). Южно-Сахалинск. 1972. С. 7- 47.
4. Шебалин Н. В. Замечания о преобладающем периоде, спектре и очаге сильного землетрясения // Сейсмические исследования для строительства (Вопросы инженерной сейсмологии; Вып. 14). М.: Наука, 1971. С. 50 – 78.