
ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 551.465

М.В. Мироненко¹, П.А. Стародубцев^{2,3}, Е.Н. Бакланов², К.А. Пичугин³

¹Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований
ДВО РАН, 693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

³Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова,
690006, г. Владивосток, Днепровский переулок, 6

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПУТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДОННЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматриваются особенности сейсмических процессов северо-западной части Тихого океана и возможности контроля сейсмического режима с использованием гидроакустических систем с учетом многократных отражений акустического сигнала от поверхности воды и дна. Обосновывается возможность расширения частотного диапазона измеряемых параметров землетрясений с одновременным повышением чувствительности приемных гидроакустических систем для получения более емкой информации о сейсмическом режиме исследуемого района. Описаны эксперименты по измерению шумов океана в инфразвуковом спектре при помощи одиночных ненаправленных гидрофонов.

Ключевые слова: гидролокация, гидрофон, сейсмический процесс, акустический сигнал, землетрясение.

M.V. Mironenko, P.A. Starodubtcev, E.N. Baklanov, K.A. Pichugin

PRACTICAL WAYS OF PREDICTION OF STRONG EARTHQUAKES USING BOTTOM SONAR SYSTEMS

Peculiar properties of seismic processes of North-West Pacific and seismic mode control possibilities using sonar systems are discussed considering multiple reflections of the acoustic signal from the water surface and the bottom. The article substantiates the possibility of extending the frequency range of measured parameters of earthquakes with simultaneous increase in sensitivity of receiving sonar systems for more capacious information about seismic conditions of the study area. Experiments on the measurement of ocean noise in the infrasonic range using single omnidirectional hydrophones are described.

Key words: sonar, acoustic signal, earthquake, hydrophones, seismic process.

Особенность сейсмических процессов в северо-западной части Тихого океана состоит в том, что эпицентры подавляющего большинства землетрясений располагаются в прибрежной зоне океана. В таких условиях становится очевидным, что контроль сейсмического режима в этом районе возможен с использованием гидроакустических донных систем. В качестве основного приемного элемента используется гидрофон, представляющий собой пьезоэлектрический датчик давления.

Основным механизмом образования гидроакустических сигналов, обусловленных землетрясением, является то, что они проявляются в виде сейсмических волн, распространяю-

щихся в твердой оболочке Земли. Для наземных сейсмических станций первым признаком землетрясений бывает появление продольных волн, следом за которыми проходят поперечные волны. Для Камчатского региона скорости распространения продольных волн составляют 5–6 км/с, поперечных – 3–4 км/с [1]. При приеме сейсмических сигналов на дне океана или водной толще гидрофон регистрирует давление, пропорциональное вертикальной составляющей скорости смещения дна, поэтому он эффективно воспринимает Р-фазу сейсмического сигнала. Исходя из общих физических представлений, поперечная волна подходит ко дну практически под прямым углом и, очевидно, поэтому не происходит ее трансформации в волну сжатия в воде. В связи с этим на записях сейсмических сигналов, полученных с помощью гидрофона, S-фаза практически отсутствует. Но особенно эффективен гидрофон при регистрации Т-фазы сейсмического сигнала, поскольку она представляет собой гидроакустическую волну давления, распространяющуюся в водном слое со скоростью звука ~ 1,5 км/с.

В большинстве случаев регистрации Т-фазы в условиях Курило-Камчатской островной дуги область образования гидроакустической волны, способной распространяться на большие расстояния в водном слое, находилась на подводном континентальном склоне, обращенном в сторону открытого океана. При этом гидроакустическая волна из-за многократных отражений от водной поверхности и наклонного дна, при постепенном изменении углов падения от скользящих к крутым, попадает в подводный или приповерхностный звуковой канал. В дальнейшем распространение происходит без касания дна, т.е. в условиях минимальных потерь энергии. Она может содержать значительную часть энергии сигнала. Ее интенсивность и длительность нередко превышает аналогичные параметры Р-фазы.

Из-за больших потерь энергии гидроакустической волны при ее трансформации в области перехода из воды в грунт прием Т-фазы наземными сейсмостанциями оказывается, как правило, неэффективным. Сведения о Т-фазе могут быть использованы для определения эпицентра сейсмических событий с малой глубиной очагов. Это связано с тем, что при распространении сейсмических сигналов в этой области обычно наблюдаются большие потери энергии Р-фазы из-за рефракционных эффектов в приповерхностном слое земной коры, чем объясняется низкая эффективность регистрации событий наземными сейсмостанциями. Кроме того, Т-фаза в ряде случаев оказывается единственным источником информации для определения цунамигенности землетрясений. Использование возможностей по расширению частотного диапазона излучаемых параметров близких землетрясений в область звуковых частот с одновременным повышением чувствительности приемных гидроакустических систем позволяют получить больше информации о сейсмическом режиме исследуемого района, чем наблюдения только на сейсмической аппаратуре.

В рамках работы [2] применялись возможности использования характерных предпосылок для прогнозирования подводных землетрясений, т. е. поиск таких характеристик, которые были бы связаны с процессами подготовки землетрясения и принимали бы аномальные значения в периоды, предшествующие землетрясениям (наблюдения за гидроакустическими предвестниками). В этой связи в работе рассматриваются данные результатов регистрации сигналов сейсмического происхождения с использованием гидроакустических станций. Следует отметить, что имеются дополнительные материалы долговременных исследований по наблюдению сейсмоакустической обстановки сотрудниками СКБ САМИ ДВО РАН, выполненные собственными донными гидроакустическими станциями, которые требуют дальнейшей обработки.

Были проведены работы по измерению инфразвуковых шумов океана в диапазоне частот от 2 до 500 Гц. Наблюдения осуществлялись при помощи одиночных ненаправленных гидрофонов, расположенных на грунте в зоне берегового шельфа на глубине 250 м и в 20 км от береговой черты. Регистрация сигналов осуществлялась в режиме прямой записи. За время

выбранных для анализа записей непрерывных измерений в течение шести суток было зарегистрировано три сейсмических события. В табл. 1 приведены параметры этих землетрясений по данным Института вулканологии ДВО РАН (ИВ ДВО РАН), а также СКБ САМИ, КГФИ.

Таблица 1

Зарегистрированные землетрясения

Table 1

Registered earthquakes

Номер сейсмического события	Время, ч, мин, с	Глубина очага землетрясения, км	Энергетический класс землетрясения
1	3.10.14,0	29	11,5
2	1.36.53,8	33	9,2
3	1.19.34,6	37	9,1

Средние значения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн (Р- и S-фазы) в районе для мелкофокусных землетрясений составляют соответственно 5,2 и 3,0 км/с. Среднюю скорость гидроакустической волны (Т-фазу) можно считать приближенно равной 1,5 км/с. Расчетные времена прихода Р-, S-, Т-волн в зависимости от расстояния до эпицентра землетрясения, а также истинное направление на источник сигнала приведены в табл. 2:

Таблица 2

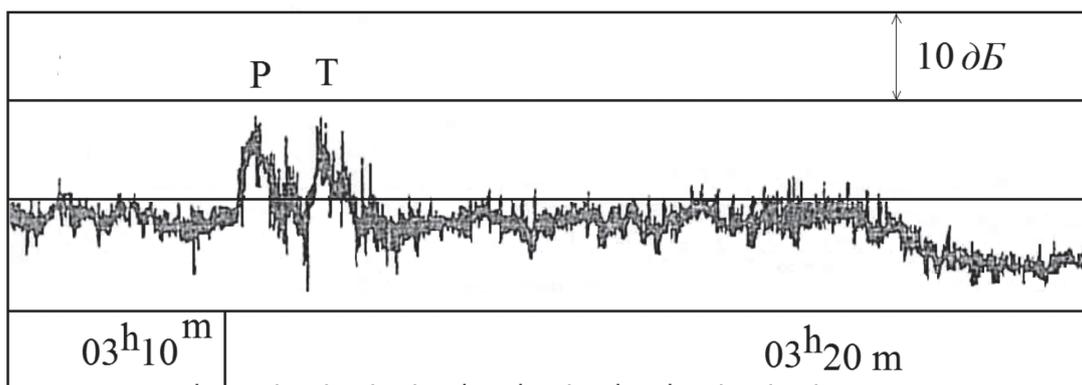
Параметры прихода сейсмических волн

Table 2

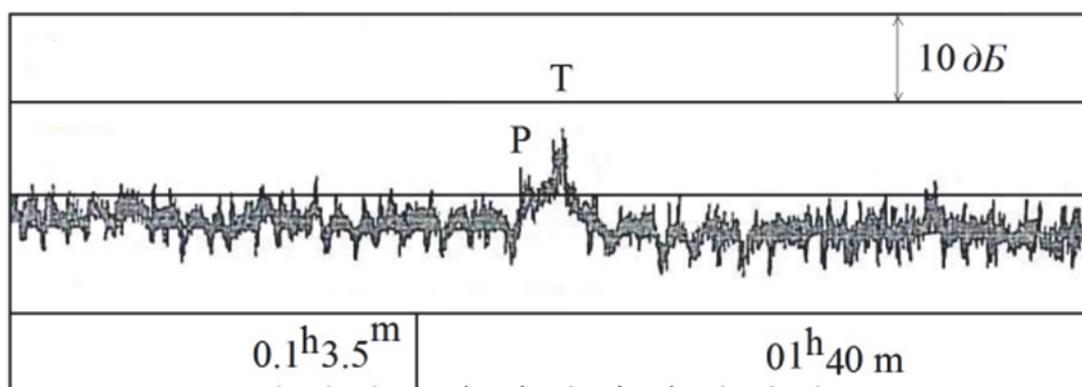
Parameters of arriving seismic waves

Номер сейсмического события	Эпицентральное расстояние	Время прихода различных составляющих сейсмических волн, с			Направление приемной системы на эпицентр землетрясения, град
		Р	S	Т	
1	118	23	40	80	62
2	293	56	98	195	45
3	320	62	107	213	37

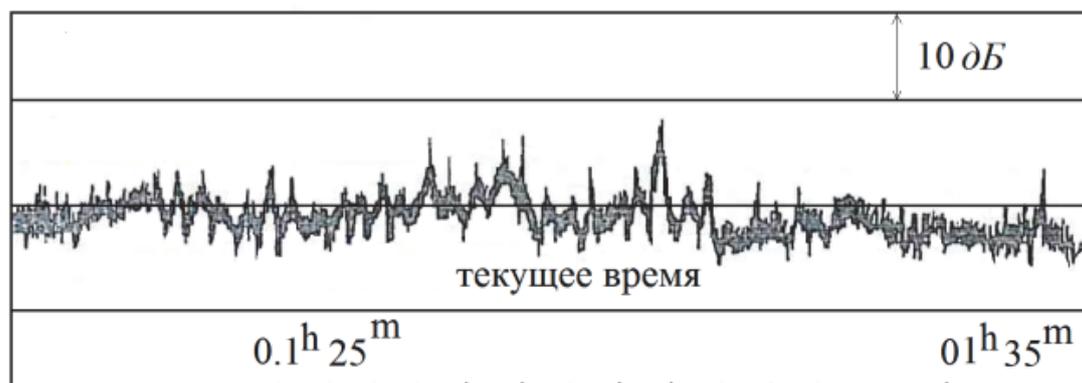
На рисунке представлены записи уровня собственных шумов океана с одиночного направленного гидрофона в полосе частот 2–200 Гц. Стрелками обозначены моменты землетрясений. Обработка экспериментальных материалов проводилась с помощью стандартной аналоговой аппаратуры. Определялось наличие сейсмоакустического сигнала в известный момент времени, оценивались его амплитуда и длительность, распределение энергии в спектре низкочастотных океанических шумов. Время прихода импульсов от землетрясений № 1 и № 2 (рис. 1, а, б) совпадает с расчетными временами прихода Р-волн от эпицентров (см. табл. 2). Вторые импульсы, наблюдаемые на рисунке, соответствуют приходу Т-волн землетрясений. Причем для землетрясения № 1 разность времени прихода Т- и Р-волн ($\Delta t_{Т-Р}$) составляет около одной минуты, что соответствует расчетному времени распространения волны Т от эпицентра землетрясения. Для землетрясения № 2 $\Delta t_{Т-Р}$ равно ~ 40 с вместо расчетной разности в 140 с. Такое существенное расхождение говорит о том, что генерация Т-фазы происходит не в эпицентре сейсмического толчка, а гораздо ближе.



а



б



в

Записи собственных шумов океана с одиночного ненаправленного гидрофона
Records of the ocean noise with a single omni-directional hydrophone

Несложные расчеты показывают, что область генерации гидроакустического сигнала расположена на расстоянии 90–100 км от приемного гидрофона. Подобные механизмы генерации достаточно подробно описаны в работе [3]. Этот факт подтверждается также экспериментами в районе Курильских островов [4]. Землетрясение № 3 (рис. 1, в) маскируется проходом судна, что делает невозможным выделение сигналов сейсмических и акустических

волн на фоне интенсивных шумов ближнего судоходства. Анализ результатов обработки сигналов от восьми зарегистрированных событий энергетических классов $K \geq 8$ показал, что в периоды подготовки землетрясений максимальное количество превышений среднего уровня на интервале 300 с для указанного порога возрастает в два раза и более по сравнению с предстоящими и последующими значениями этой величины.

Аномальные значения суммарной длительности превышений достигают величины 0,03–0,15, что в 4–20 раз больше последующих значений. В периоды, не сопровождавшиеся сейсмическими событиями и достаточно далеко от них удаленные по времени (на 2–4 ч), колебания среднего уровня квадрата амплитуды шумового сигнала кратковременны (единицы минут) и составляют величину 5–6 %. Количество и суммарные длительности превышений в полтора и более раз меньше, чем в периоды возрастания активности, предшествующие землетрясениям. Аналогичные результаты получены также при обработке магнитных записей шумов океана, зарегистрированных в последние годы в периоды сейсмической активности приемными антеннами, установленными у побережья Камчатки и Охотоморского региона.

Список литературы

1. Кадыков, И.Ф. Акустика подводных землетрясений / И.Ф. Кадыков. – М.: Наука, 1986.
2. Петrochenko, С.П. Конверсионное применение стационарных гидроакустических систем / С.П. Петrochenko. – Петропавловск-Камчатский, 1997.
3. Ринемак, Т. Предсказание землетрясений / Т. Ринемак. – М.: Мир, 1979.
4. Белавин, Ю.С. Регистрация фаз Т в сигналах землетрясений в северо-западной части Тихого океана / Ю.С. Белавин, И.Ф. Кадыков, С.Л. Соловьев // Вулканология и сейсмология. – 1980. – № 1. – С. 60–69.

Сведения об авторах: Мироненко Михаил Владимирович, доктор технических наук, профессор, e-mail: professor@mail.primorye.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: spa1958@mail.ru;

Бакланов Евгений Николаевич, доцент, e-mail: baklanoven@mail.ru;

Пичугин Константин Александрович, доцент, e-mail: pka2004@yandex.ru.