

## МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

УДК 534.222

А.Е. Малашенко, В.В. Перунов, А.А. Малашенко

### СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РЕГИСТРАЦИИ ПОДВОДНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Специальное конструкторское бюро средств автоматизации  
морских исследований ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Рассматриваются особенности передачи возмущения, вызванного землетрясением, в водной толще. Обосновывается необходимость использования сейсмогидроакустических систем для регистрации звуковых волн, порождённых землетрясением, в водной среде. Приводится описание и технические характеристики автономной морской сейсмоакустической станции (АМСС), созданной в СКБ САМИ ДВО РАН.

*Ключевые слова:* гидроакустические предвестники землетрясений, автономная морская сейсмоакустическая станция, гидрофон, регистратор.

Особенность сейсмических процессов в северо-западной части Тихого океана состоит в том, что эпицентры подавляющего большинства землетрясений располагаются в прибрежной зоне Курило-Камчатской островной системы на подводном континентальном склоне, обращенном в сторону открытого океана. В таких условиях становится очевидным, что контроль сейсмического режима в этом регионе возможен с использованием гидроакустических донных систем. В качестве ведущего приемного элемента в этих системах используется гидрофон, представляющий собой пьезоэлектрический датчик давления.

Основным механизмом образования акустических сигналов в гидросфере, обусловленных землетрясением, является то, что они проявляются в виде сейсмических волн, распространяющихся в твердой оболочке Земли. Для Курило-Камчатского региона скорости распространения продольных волн составляют 5-6 км/с, поперечных - 3-4 км/с [4]. При приеме сейсмических сигналов на дне океана или водной толще гидрофон регистрирует давление, пропорциональное вертикальной составляющей скорости смещения дна. Поэтому гидрофон эффективно воспринимает **P**-волну сейсмического сигнала. Поперечная волна подходит ко дну практически под прямым углом, поэтому в воде не происходит ее трансформации в волну сжатия. В связи с этим на записях сейсмических сигналов, полученных с помощью гидрофона, **S**-волна практически отсутствует. Но особенно эффективен гидрофон при регистрации **T**-волны сейсмического сигнала, поскольку она представляет собой гидроакустическую волну давления, распространяющуюся в водной массе со скоростью звука, равной примерно 1,5 км/с.

При этом гидроакустическая волна из-за многократных отражений от водной поверхности и наклонного дна, при постепенном изменении углов падения акустических лучей от скользящих к крутым, попадает в подводный или приповерхностный звуковой канал. В дальнейшем распространение лучей происходит без касания дна, т.е. в условиях минимальных потерь энергии. В результате акустический луч может содержать значительную часть энергии сигнала, а его интенсивность и длительность нередко превышают аналогичные параметры **P**-волны. Из-за практически полной потери энергии гидроакустической волной, при

ее переходе из воды в донные грунты и в случае трансформации ее на этой границе, прием  $T$ -волны наземными сейсмостанциями оказывается, как правило, неэффективным. Однако сведения о  $T$ -волне могут быть с успехом использованы для определения эпицентра сейсмических событий с малой глубиной очагов. Это связано с тем, что при распространении сейсмических сигналов из-за рефракционных эффектов в приповерхностном слое земной коры обычно наблюдаются большие потери энергии  $P$ -волны, чем объясняется низкая эффективность регистрации событий наземными сейсмостанциями. Кроме того,  $T$ -волна в ряде случаев вследствие своей физической природы оказывается единственным источником информации для определения цунамигенности землетрясений. Использование возможностей по расширению и переносу частотного диапазона волн, излучаемых близкими землетрясениями, в область звуковых частот с одновременным повышением чувствительности приемных гидроакустических систем позволяют получать значительно больше информации о сейсмическом режиме исследуемого района, чем наблюдения с применением только сейсмической аппаратуры.

В качестве одной из наиболее информативных характеристик служит изменчивость шума океана, отражающая явное влияние сейсмической активности как на общие свойства его акустического поля, так и на формирование и последующую трансформацию отдельных акустических волн. На фоне последних при их параллельной записи сейсмограмм, достаточно отчетливо выделяется и прослеживается  $T$ -волна, обусловленная упругими свойствами морской воды на акваториях дальневосточных морей.

Для более детального анализа шумовых составляющих океанских вод при поиске гидроакустических предвестников землетрясений могут быть использованы с высокой степенью информационной обеспеченности:

- среднее значение квадрата шумового сигнала на коротких временных интервалах длительностью до десятых секунд;
- величина и длительность превышений квадратов шумового сигнала относительно его среднего значения;
- распределение количества превышений амплитуды сигналов и их суммарной длительности на заданных временных интервалах.

Количество превышений квадратов шумового сигнала относительно его среднего уровня и суммарная длительность превышений среднего уровня в интервале до 300 с возрастают в несколько раз перед возникновением сейсмического события, затем уменьшаются до прежнего, начального, уровня и далее вновь возрастают в момент, непосредственно предшествующий или совпадающий с собственно сейсмическим событием. Эти обстоятельства говорят о достаточно однозначной связи перечисленных выше характеристик шума океана, начиная со стадии подготовки землетрясения в зоне очага предстоящего сейсмического события. Для доказательства эффективности использования наблюдаемой шумовой гидроакустической аномалии океана перед землетрясением при анализе 8-11 энергетических классов в качестве предвестника требуются дополнительные, достаточно продолжительные исследования, особенно при наблюдении за временной изменчивостью шума перед сильными землетрясениями, а также о возможной акустической стратификации водных толщ, которая может нести более однозначную и непротиворечивую информацию об акустических предвестниках землетрясений [6].

Развитие цифровой техники сбора, обработки и передачи информации позволяет создать цифровые автономные сейсмоакустические станции с разнесенными в пространстве акустическими приемниками, объединенными в единую информационную сеть.

Автономная морская сейсмоакустическая станция (АМСС) (рис. 1), созданная в СКБ САМИ, предназначена для регистрации акустических сигналов в автономном режиме и конструктивно состоит из аппаратного модуля, в прочном корпусе которого размещен источник питания и модуль регистратора, а также из цифровой приемной антенны из гидрофонных модулей [2, 3]. В качестве первичного источника питания используются литиевые батареи ФУЛ-600 в количестве 3 штук.



Рис. 1. Автономная морская сейсмоакустическая станция

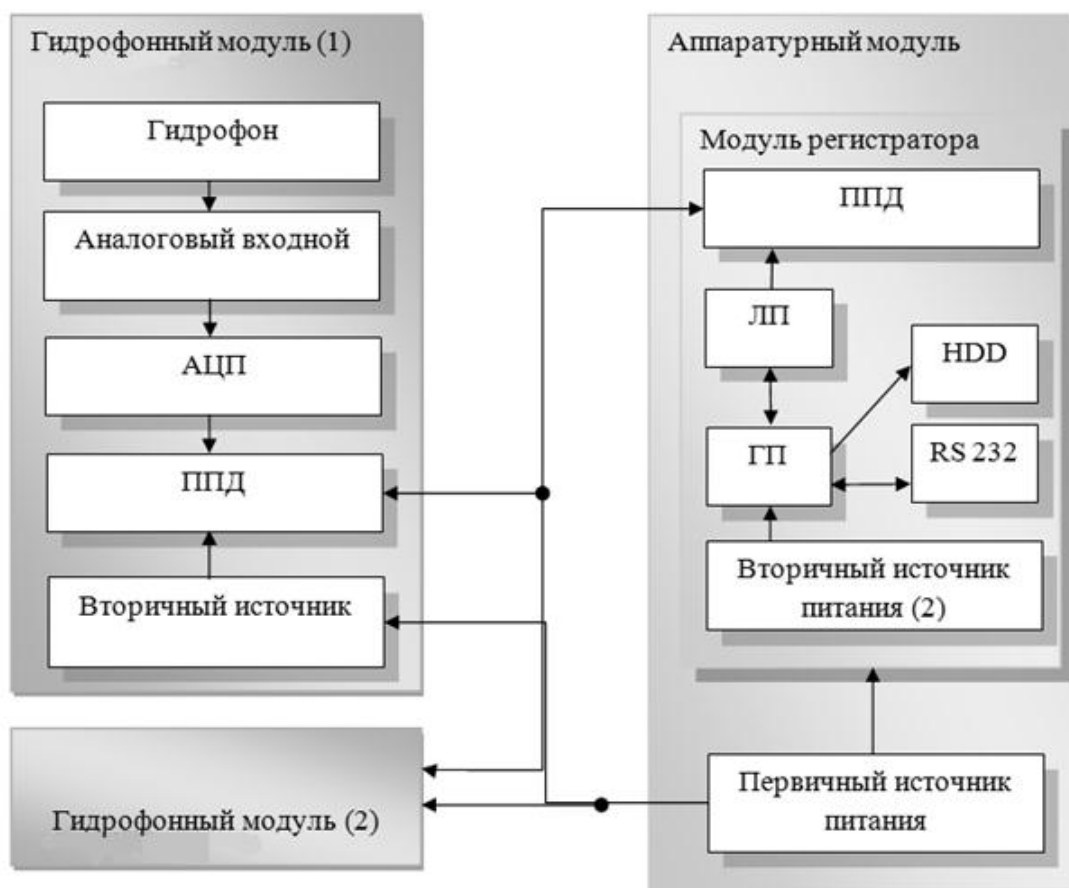


Рис. 2. Структурная схема АМСС:

АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ГП – головной процессор; ЛП – лучевой процессор; ППД – приёмо-передатчик данных; HDD – накопитель на жёстком магнитном диске

Приемная антенная состоит из трех гидрофонных модулей. Гидрофонный модуль (ГМ) (рис. 3) выполняет функции преобразования аналогового сигнала с выхода гидрофона в циф-

ровую форму с широким динамическим диапазоном и малым уровнем собственных шумов. Полученные данные передаются в аппаратный модуль по локальной сети в цифровом виде по витой паре экранированных проводов интерфейса RS-485.



**Рис. 3. Конструкция цифровой приёмной антенны**

Основные технические характеристики гидрофонного модуля:

полоса частот	.....от 30 до 300 Гц;
частота дискретизации АЦП	.....4000 Гц;
рабочая глубина до	.....100 м;
напряжение питания	.....5 В.

Модуль регистратора предназначен для сбора цифровой информации, преобразования протоколов, буферизации данных и записи их на жёсткий диск HDD по интерфейсу IDE. Регистратор так же имеет интерфейс RS-232 для связи с технологическим компьютером либо модемом.

Модуль регистратора опрашивает гидрофонный модуль в соответствии с протоколом обмена и собирает блок данных в буферной статической памяти. После этого данные по интерфейсу SPI передаются по определённому протоколу головному процессору, который преобразует блоки и осуществляет запись данных на жёсткий диск по интерфейсу IDE. Головной процессор также поддерживает обмен данными и командами с внешней ПЭВМ по интерфейсу RS-232 со скоростями до 115 кБод. Собранные с гидрофонного модуля данные, дополняются служебной информацией и записываются на жёсткий диск в виде файлов. Размер записываемой информации ограничен лишь объёмом жёсткого диска [2, 5].

Конструкция автономной морской сейсмической станции позволяет устанавливать и поднимать ее с маломерных судов в условиях мелководных бухт и озер Сахалина. В отсутствии шумов развитого поверхностного волнения и удаленного судоходства, шумов обтекания, вызванных течениями, весьма характерных для дальневосточных морей, регистрация сейсмоакустических шумов в условиях озера оказывается более эффективной, а проведение эксперимента менее затратным.

Отработка конструкции проводилась на острове Сахалин в озере Червячное (рис. 4, 5). Продолжительность исследования 15 суток. Глубина места постановки автономной морской сейсмоакустической станции 6,5 м [7].



Рис. 4. Место постановки станции



Рис. 5. Постановка станции

### Выводы

Для поиска гидроакустических предвестников землетрясений могут быть использованы с высокой степенью информационной обеспеченности автономные цифровые сейсмоакустические станции с пространственно развитыми многоэлементными приемными антеннами. Развертывание сейсмоакустических приемных комплексов большой автономности в условиях озер Сахалина и Курильских островов позволит получить статистику наблюдений за временной изменчивостью гидроакустического шума перед сильными землетрясениями и повысить достоверность прогноза землетрясений.

### Библиографический список

1. **Кадыков, И.Ф.** Акустика подводных землетрясений / И.Ф. Кадыков. – М.: Наука, 1986.
2. **Малашенко, А.Е.** Глубоководный автономный комплекс для измерения и передачи информации о характеристиках полей морской среды / А.Е. Малашенко, М.В. Мироненко, Ю.В. Киян // Сборник трудов 14-й сессии РАО. – М.: ГЕОС. 2011.
3. **Малашенко, А.Е.** Морское приборостроение комплексного мониторинга Мирового океана / А.Е. Малашенко [и др.] // Экологические системы и приборы. – М.: ООО Научтехиздат. №7. 2003. С. 3–6.
4. **Мироненко, М.В.** Прогнозирование сильных землетрясений по измерениям их предвестни-

- ков / М.В. Мироненко [и др.] // Сборник трудов 13-й сессии РАО. – М.: ГЕОС. 2003. Т. 2. С. 70–71.
5. Пат. 49286 РФ МПК, G01V 1/38. Автономная донная сейсмическая станция / Перунов В.В. [и др.], 20035111413/22; заявл. 18.04.2005; опубл. 10.11.2005. Бюл. № 31.
  6. Соловьев, С.Л. Регистрация фаз Т в сигналах землетрясений в северо-западной части Тихого океана / С.Л. Соловьев [и др.] // Вулканология и сейсмология. 1980. №1. С. 60–69.
  7. Таболяков, А.А. Широкомасштабный акустический эксперимент по измерениям характеристик гидродинамических возмущений морской среды, сформированных синоптическими процессами / А.А. Таболяков, М.В. Мироненко, Л.Э. Карачун // Сборник трудов 14-й сессии РАО. – М.: ГЕОС, 2011.

*Дата поступления  
в редакцию 15. 07.2011*

**A.E. Malashenko, V.V. Perunov, A.A. Malashenko**

### **THESES SEISMOACOUSTICAL MEANS OF REGISTRATION OF UNDERWATER EARTHQUAKES**

Special features of propagation of disturbance caused by an earthquake, in water mass is examined. Necessity of using seismoacoustical systems for acquisition of sound waves generated by an earthquake, in water environment is proved. Description and specifications of autonomous marine seismoacoustical station (AMSS), made in Special Design Bureau of Sea Research Automation Equipment (SDB SRAE) of FEBRAS is given.

*Key words:* hydroacoustic earthquake precursors, independent marine seismic stations, hydrophone, the registrar.