
© Л.С. Загорский, И.П. Башилов, Д.Г. Левченко,
Н.П. Рыбаков, С.Ю. Червичук, В.Л. Шкуратник,
Ом Астана, Панкадж Рой Гупта, 2013

УДК 550.834

**И.П. Башилов, Л.С. Загорский, Д.Г. Левченко, Н.П. Рыбаков,
С.Ю. Червичук, В.Л. Шкуратник, Ом Астана,
Панкадж Рой Гупта**

ИСПЫТАНИЕ МАЛОГАБАРИТНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ДОННОГО МОДУЛЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СКОРОСТНОГО РАЗРЕЗА ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЫ ШЕЛЬФА АРАВИЙСКОГО МОРЯ *

Описаны результаты разработки и испытаний сейсмического малогабаритного донного модуля (МДМ). Испытания проводились в Индии на побережье Аравийского моря. Приводятся основные характеристики МДМ и результаты измерений на профиле длиной 400 м в виде скоростного разреза до глубины 2000 м, восстановленного по методу определения вертикального сейсмического разреза (МОВСР).

Ключевые слова: малогабаритный донный модуль, шельф, сейсмическая разведка, транзитные зоны.

Введение

Экспериментальный образец малогабаритного донного модуля (МДМ), представляющий собой автономную донную сейсмическую станцию, был разработан в рамках научно-исследовательской работы Министерства образования и науки РФ Российско-Индийским научно-технологическим центром (РИ НТЦ). Аппаратура предназначена в основном для проведения сейсмической разведки активными и пассивными методами на дне неглубоких акваторий (транзитные зоны). Для работы активными методами требуется дополнительно источник сейсмических сигналов. При этом МДМ используется в качестве регистрирующего модуля. Испытания станции проводились совместно российскими и индийскими специалистами из индийского Университета Нефти и Энергетики на побережье Аравийского моря.

Транзитные зоны шельфа отличаются рядом специфических условий, которые необходимо учитывать при проектировании донных станций и проведении измерений с их помощью. Наличие волнения моря, небольшие глубины, приливные явления, подводные течения, донные отложения, наличие склонов, техногенные шумы прибрежных зон и повышенные экологические требования часто делают сейсмические измерения в этих местах очень проблематичными, а то и вовсе невозможными, особенно в случае применения активной сейсмики. Пассивные методы позволяют снять большинство проблем.

При разработке МДМ учитывался опыт накопленный учеными РАН по созданию донных сейсмических станций и проведению измерений в условиях

*Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации

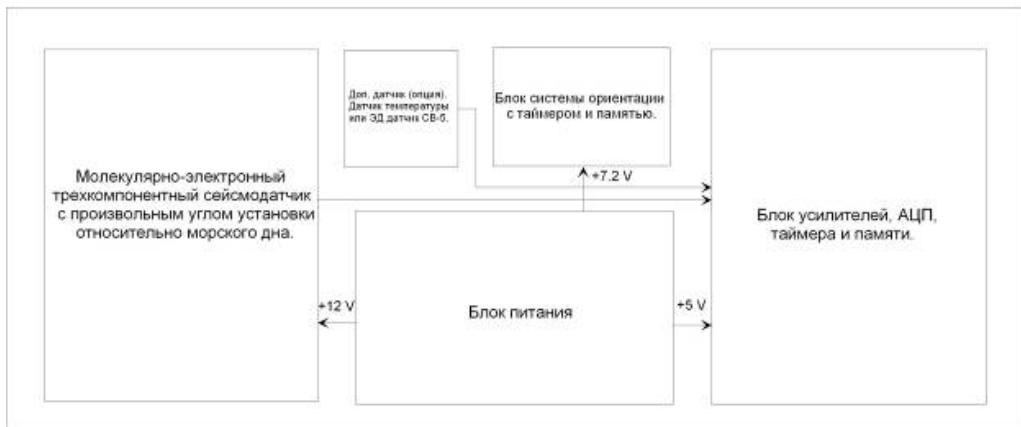


Рис. 1. Блок-схема сейсмической станции МДМ

морского дна. Так при разработке аппаратуры и методики измерений широко использовались результаты работы [1].

Методика измерений и обработки основана на использовании технологий МОВСР и ММЗ описанных в работах [2], [3]. Для работы в транзитных зонах (ТЗ), эти технологии были доработаны до технологии МОВСР ТЗ с дополнительными рекомендациями, учитывающими специфику водной толщи и волнения моря, описанными в [4], [5], и использующими шум прибора в качестве дополнительного зондирующего сигнала. Отметим, что возникающие при этом проблемы нелинейной сейсмики рассмотрены в [6], а методы изучения литосферы сейсмическими шумами в [7]-[9].

Разработка и изготовление станции

Параметры разрабатываемой аппаратуры задавались исходя из предполагаемых задач, в первую очередь, для исследования верхней части геологического разреза транзитных зон шельфа методами пассивной сейсмики. При этом ставилась задача создать достаточно простой и надежный прибор, имеющий модульную конструкцию целиком из элементов российского производства.

Основные технические характеристики станции

- рабочий диапазон частот сейсмического канала от 0,2 до 50 Гц;
- разрядность аналого-цифрового преобразователя - 24бит;
- RMS шум 112 dB (при частоте опроса 100 Гц);
- суммарная емкость внутреннего накопителя данных - 32 Гб;
- тип регистрации - непрерывный;
- длительность регистрации не менее 20 часов;
- глубина исследований верхней части разреза земной коры морского дна от нескольких метров до 1 км;
- глубина погружения модуля до 50 метров (опция до 1000 м);
- диапазон рабочих температур от -100С до + 600С;
- точность измерения углов наклона осей координат - 1°;
- напряжение питания от 5 В до 12 В;
- потребляемая мощность в режиме регистрации - не более 0.7 Вт при 12В;

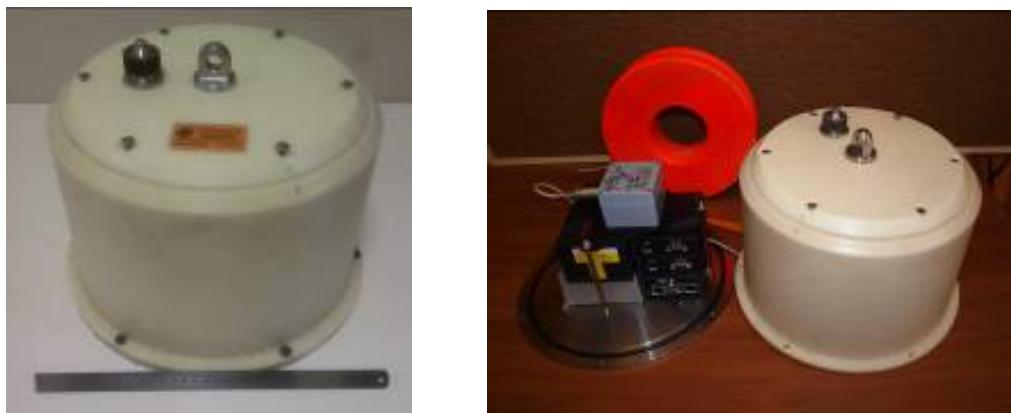


Рис. 2. Внешний вид и внутренняя конструкция станции МДМ

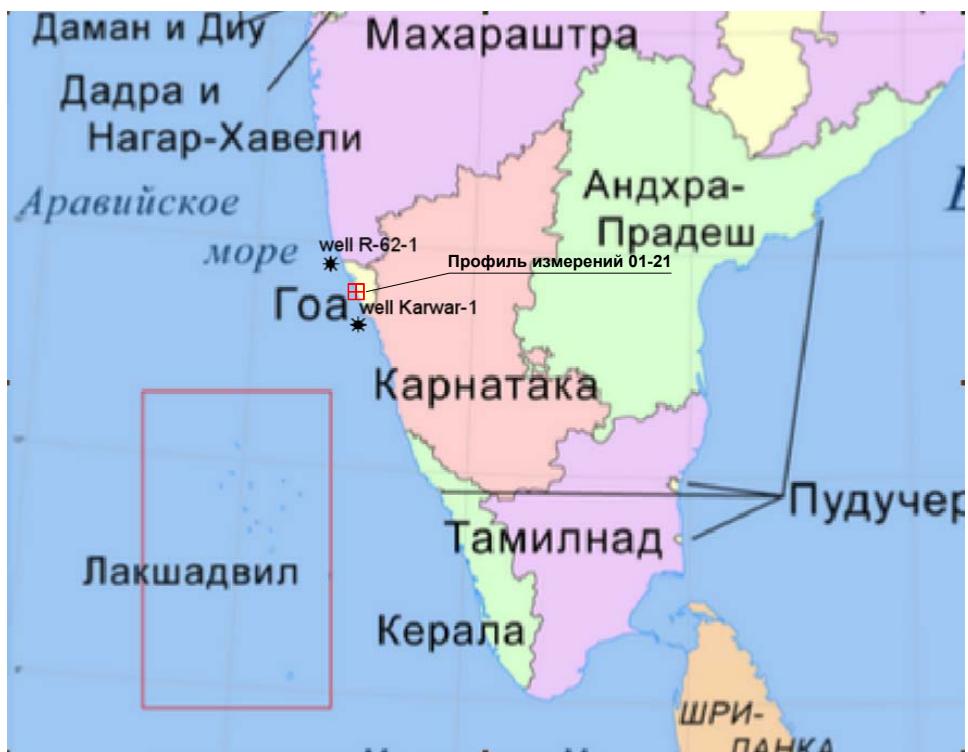


Рис. 3. Район проведения испытаний МДМ

- потребляемая мощность в режиме регистрации - не более 0.3 Вт при 7В;
- вес модуля – 16,5 кг;
- плавучесть - -4 кг.

Блок - схема МДМ показана на рис. 1, а внешний вид и внутренняя конструкция - на рис. 2.

Организация и проведение испытаний

По рекомендациям индийских специалистов и с их помощью измерения были проведены на участке побережья Аравийского моря индийского штата Гоа (рис. 3).

Исходя из рекомендаций выработанных в [4], [5] была выбрана следующая схема измерений. Профиль длиной 400 м располагался на расстоянии ~ 50-100 м от линии прибоя параллельно ему. Точки измерения в количестве 21 располагались вдоль профиля через 20 метров. Базовая станция располагалась на берегу в начале профиля на расстоянии примерно 150 метров от него (рис 4).



Рис. 4. Расположение базовой станции на берегу и испытательного профиля на шельфе



Рис. 5. Пробная постановка базовой станции (слева) и станции МДМ



Рис. 6. Работа в прибрежной зоне на профиле

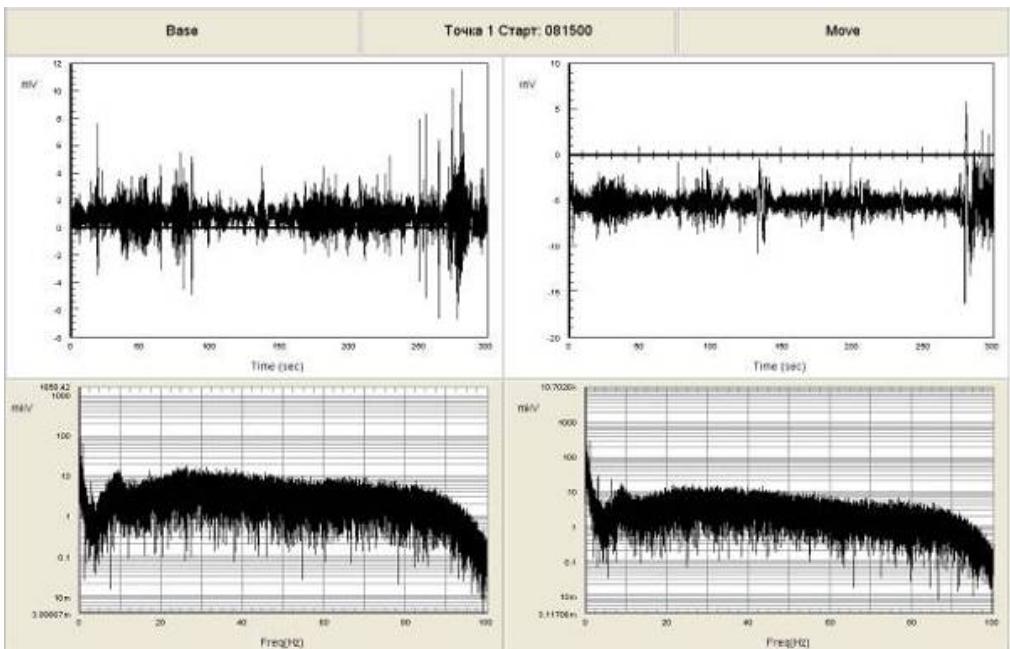


Рис. 7. Паспорт точки 01

Натурные испытания экспериментального образца проводились в период с 06 по 13 марта 2013 года на территории Индии на шельфе Индийского океана (Аравийского моря) с координатами $15^{\circ}10'39.10''$ с. ш. и $73^{\circ}56'24.10''$ в.д. Предварительно была осуществлена сборка и установка базовой станции в точке Base 0 (рис. 4) и пробное погружение с целью проверки герметичности и плавучести МДМ (рис. 5).

При работе на профиле МДМ с грузом развязки и буем опускался и поднимался вручную с борта небольшого судна (рис. 6).

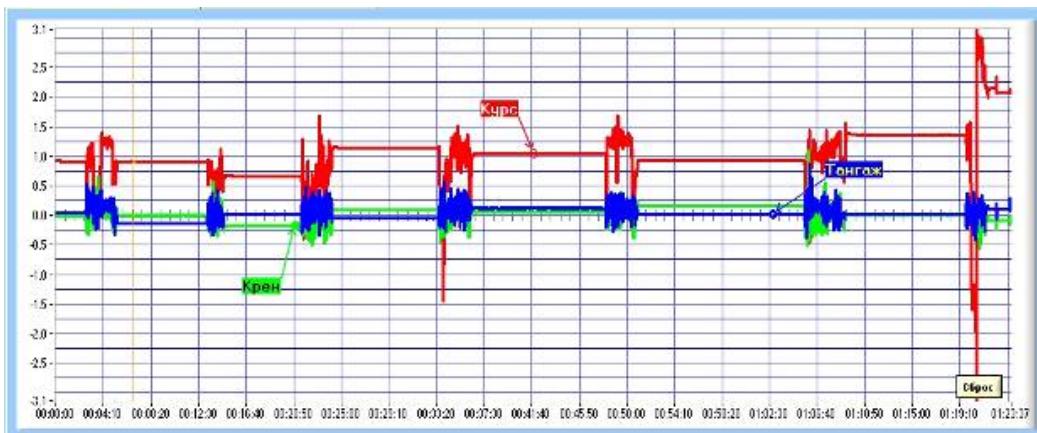


Рис. 8. Пример записи 3D компаса первой части профиля для точек 01 – 06

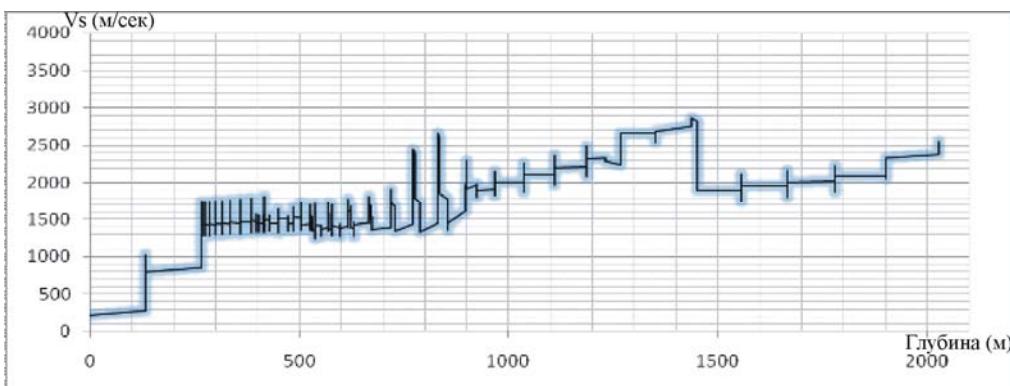


Рис. 9. Усредненный по профилю скоростной разрез по методу МОВСР

Длительность записи составляла не менее 5 минут. Частота опроса 200 Гц/канал, Привязка по координатам осуществлялась специалистами Индии судовым GPS с точностью 1 м. Глубина в месте погружения составляла от 2 до 3 метров. Качество установки контролировалось визуально.

Результаты испытаний станции МДМ

Пример сейсмической записи станции МДМ приводится на рис. 7. На графиках представлены паспорта пары (база-профиль) временных записей и соответствующих им спектров для точки 01 профиля.

При обработке учитывались наклон МДМ на дне и ориентация по сторонам света.

В качестве примера на рис. 8 приведена запись 3D компаса для точек 01 – 06 для первой части профиля.

Неудачными из 21 пары записей оказались точки 5 и 14. На точке 5 запись зашумлена, по-видимому, из-за плохой фиксации МДМ на дне, на точке 14 зашумлена (транспортный шум) запись базовой станции. Эти записи были исключены из обработки, а по остальным на первом этапе вычислений по методу МОВСР был восстановлен усредненный по профилю скоростной разрез,

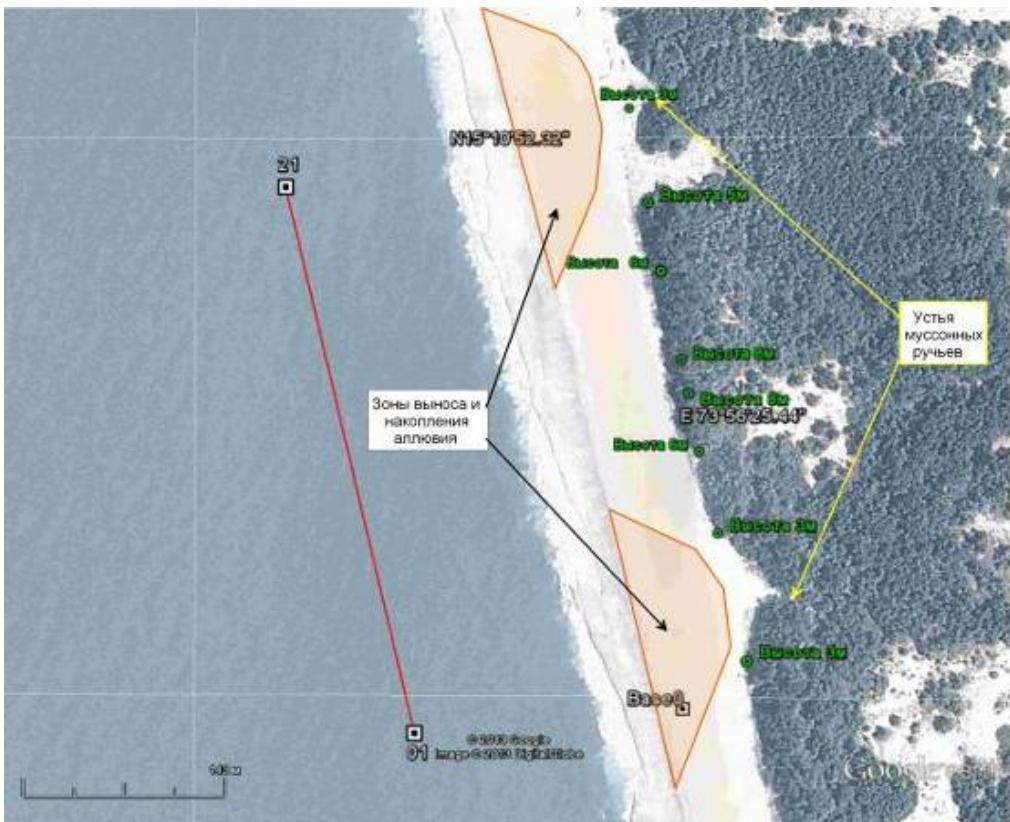


Рис. 10. Карта с сейсмическим профилем (01-21) и морфологическими особенностями территории съемки

представленный на рис. 9. В целом полученный разрез коррелирует с данными бурения скважины KARWAR-1 на шельфе того же региона (рис. 3, рис. 12), предоставляя даже более детальную информацию по тонкослойной структуре скоростного разреза, особенно в интервале глубин 250 – 900 м (рис. 9).

На рис. 10 показана карта с сейсмическим профилем и морфологическими особенностями территории съемки.

На рис. 11 показан скоростной разрез по профилю измерений, полученный по методу определения вертикального сейсмического разреза МОВСР. Следует отметить, что выявленная структура типа дайки, хорошо согласуется как с морфологическими особенностями конкретного участка побережья, так и с общими геологическими особенностями западного побережья Индии и особенно побережья штата Гоа, с учетом сдвига по широте и долготе относительно профиля измерений, если судить по разрезу рис. 14 скважины KARWAR-1 рис. 4, предоставленному специалистами Индии.

Так на скоростном разрезе рис. 11 явно прослеживается граница глина – известняк на глубине ~ 650 м соответствующая границе среднего и позднего миоцена на глубине ~ 600 м по данным бурения на рис. 12. Кроме того, отложения раннего олигоцена на глубине ~1400 м (рис. 11) также видны и на

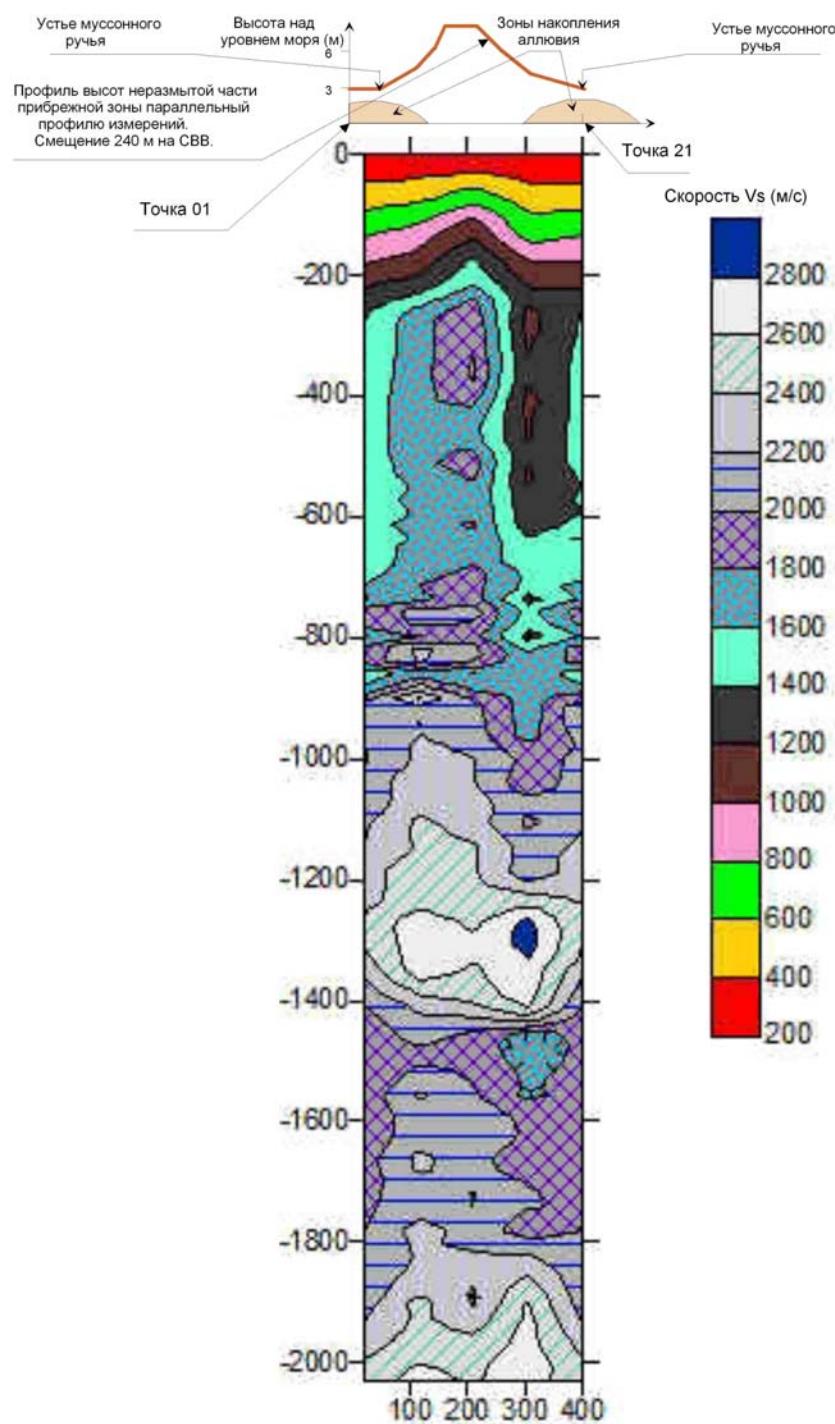
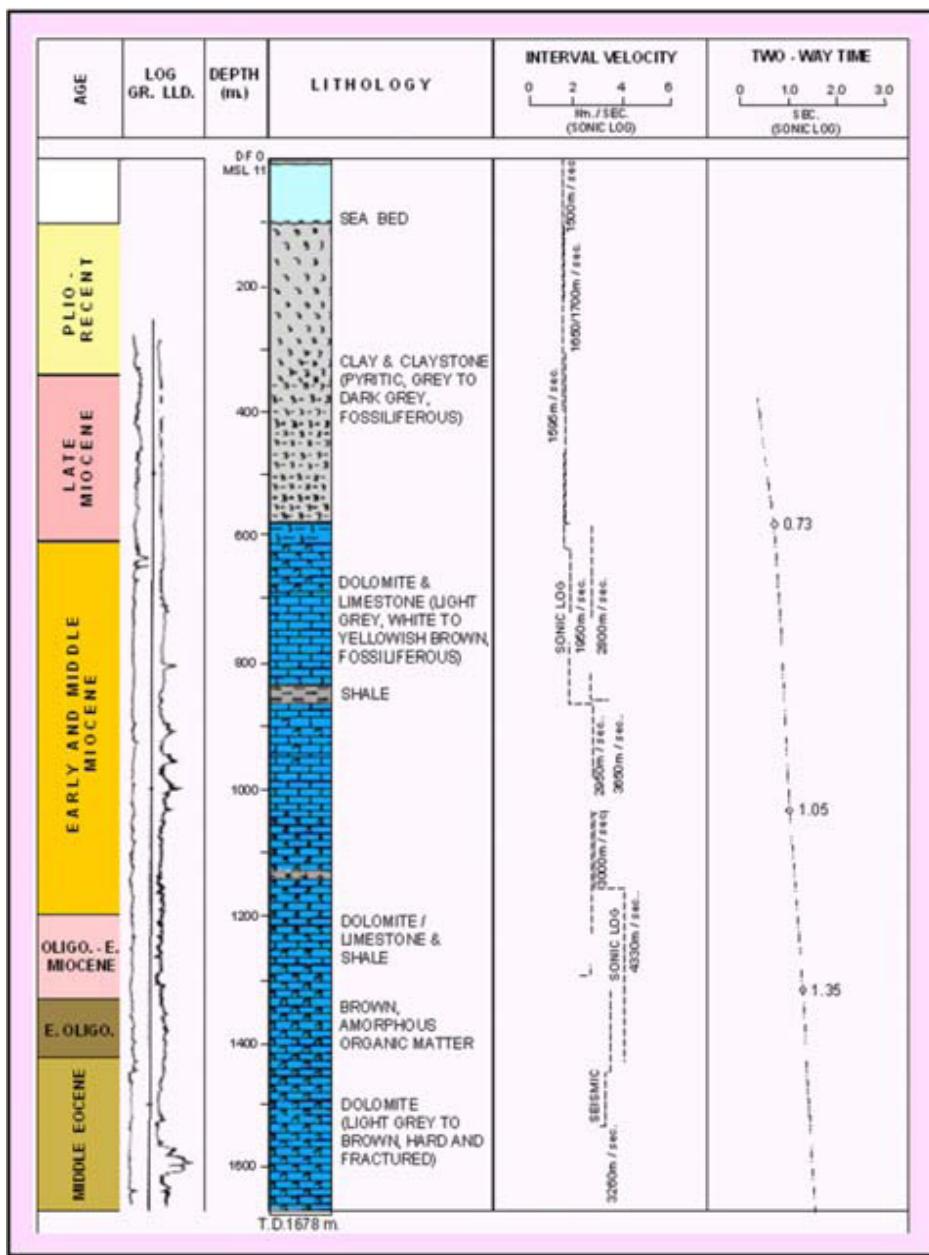


Рис. 11. Скоростной разрез по профилю измерений, полученный по методу МОВСР с помощью МДМ



Заключение

Испытания экспериментального образца сейсмостанции МДМ показали, что он полностью удовлетворяет техническим требованиям и вполне пригоден для решения задач по исследованию верхней части геологического разреза транзитных зон шельфа методами пассивной сейсмики. Конструкция модуля позволяет легко модернизировать его для мониторинга сейсмических событий на дне моря до глубин ~ 1000 метров, а также использовать его в качестве донного приемника-регистратора при проведении работ по активной сейсмике на этих глубинах.

Авторы глубоко признателны чл.-корр. РАН А.В. Николаеву за полезное обсуждение результатов работы.

Кроме того авторы выражают благодарность коллективу ОКБ ОТ РАН и его директору Н.Я. Суокину за помощь и поддержку в разработке и изготовлении экспериментального образца МДМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левченко Д.Г. Регистрация широкополосных сейсмических сигналов и возможных предвестников сильных землетрясений на морском дне. «Научный мир». 2005 г. 240 с.
2. Загорский Л.С. Спектральные методы определения строения горного массива/ под редакцией акад. В.Н.Страхова. - Москва: 2001 г., 80 с.
3. Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Камшилин А.Н.. Специфика применения метода микросейсмического зондирования в инженерных задачах. Вопросы инженерной сейсмологии. 2008. Т. 35. № 2. С. 25-30.
4. Загорский Л.С., Шкуратник В.Л., Червичук С.Ю. Оптимизация расстановки донных станций при использовании естественного волнения моря как источника микросейсм на шельфе. ГИАБ, 2013 г., № 2.
5. Загорский Л.С., Шкуратник В.Л., Червичук С.Ю. Оценка поля морских микросейсм на шельфе. ГИАБ, 2013 г., № 6.
6. Николаев А.В. Проблемы нелинейной сейсмики//Сб. Проблемы нелинейной сейсмики. М., Наука, 1987, С.5-20.
7. Николаев А.В., Троицкий П.А., Чеботарева И.Я. Изучение литосферы сейсмически-ми шумами // ДАН СССР, 1986, том 286, №3, С.586-591.
8. Longuet-Higgins M.S. A theory of origin microseisms// Philos. Trans. Roy. Soc. London, 1950. V.257.P.1-35.
9. Longuet-Higgins M.S. Can sea waves cause microseisms. // Proc. Sympos. on Microseisms. N.Y.: Harriman , 1952. P.74-86. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Башилов Игорь Порфириевич - доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт физики Земли РАН, bashilov@idg.chph.ras.ru,
Загорский Лев Сергеевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Московский государственный горный университет, zagorskiy_lev@mail.ru,
Левченко Дмитрий Герасимович – доктор технических наук, главный научный сотрудник Институт океанологии РАН, levch35@mail.ru,
Рыбаков Николай Павлович - заведующий отделом ориентированных научных и технологических разработок, НП «РИ НТЦ», nikolryb@mail.ru,
Червичук Сергей Юрьевич – старший научный сотрудник, Институт физики Земли РАН, chervinchuk@mail.ru,
Шкуратник Владимир Лазаревич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Московского государственного горного университета, ftkp@mail.ru
Om Asthana – научный консультант, Индия,
Pankaj Roy Gupta – профессор, Университет нефти и энергетики, Индия.