

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 551.341

СПОСОБ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНОЙ МЕРЗЛОТЫ

© 2024 г. В. И. Юсупов, И. П. Семилетов, А. С. Саломатин

Поступила в редакцию 18.04.2024 г.

После доработки 13.05.2024 г.

Принята к публикации 02.07.2024 г.

DOI: 10.31857/S0032816224060202 EDN: EJYXGO

На шельфе морей Восточной Арктики (МВА) — самом широком и мелководном шельфе Мирового океана — находятся более 80% всей подводной мерзлоты и гигантские запасы гидратов метана [1]. Дестабилизация гидратов шельфа МВА может привести к многократному увеличению концентрации атмосферного метана и ущербу национальной и мировой экономики. В связи с этим актуальным является организация мониторинга многолетней мерзлоты с целью картирования геологических опасностей и создания системы раннего предупреждения. В работе представлен прототип портативного акустического комплекса мониторинга подводной мерзлоты, основанный на экспериментально установленной зависимости длительности

сигнала обратного рассеяния высокочастотного звука Δ от температуры слоя водонасыщенных донных отложений T [2, 3].

На рис. 1а представлена блок-схема прототипа портативного комплекса для изучения многолетней мерзлоты. Управление комплексом осуществляется с помощью управляющего компьютера 1, который соединен с блоком системы глобального позиционирования 5 и основным блоком 2. Основной блок периодически формирует импульсы с частотами 50 кГц и 200 кГц длительностью 0.5, 1, 3 или 10 мс. Сформированные импульсы после усиления блоком согласования 3 до импульсной мощности 200 Вт поступают на электроакустические преобразователи 4, излучающие акустические

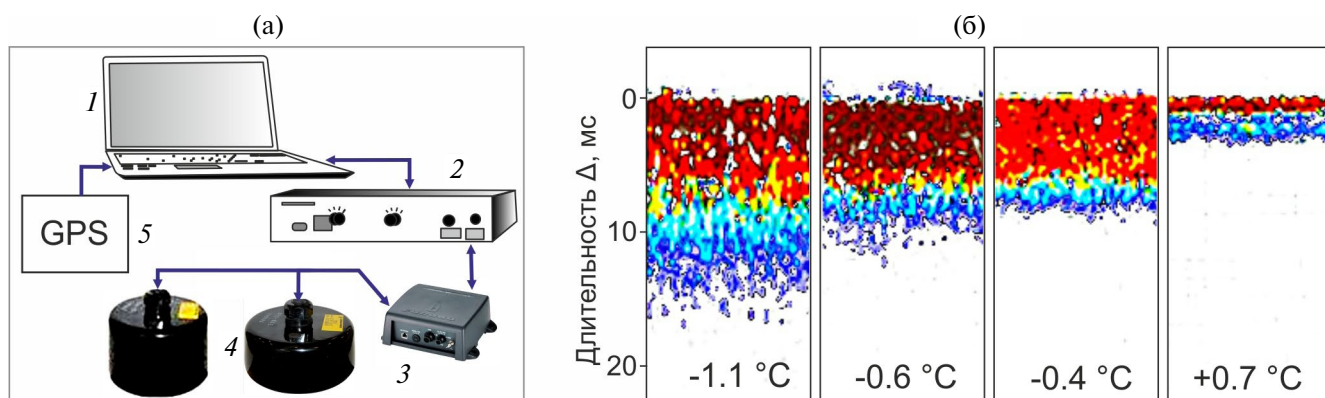


Рис. 1. а — Блок-схема портативного комплекса: 1 — управляющий компьютер, 2 — основной блок, 3 — блок согласования, 4 — электроакустические преобразователи, 5 — блок системы глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС и др.); б — фрагменты эхограмм на частоте 50 кГц при различных температурах донных осадков.

импульсы с полушириной диаграммы направленности 12° на частоте 50 кГц и 2.5° на частоте 200 кГц вертикально вниз.

Отраженный и рассеянный от верхнего слоя донных осадков акустические сигналы принимаются электроакустическими преобразователями. Далее сигнал после предварительного усиления блоком согласования поступает в основной блок, где происходят его усиление, частотное преобразование и фильтрация от шумов. На экране управляющего компьютера принятые сигналы обратного рассеяния отображаются в виде эхограммы. Одновременно с акустическими данными регистрируются точные координаты.

Апробация портативного комплекса проводилась на мелководном шельфе Арктики. Излучатели помещались на глубину около 2–3 м и ультразвуковые импульсы длительностью 1 мс излучались и принимались в вертикальном направлении. Длительность сигнала обратного рассеяния Δ от верхнего слоя донных осадков определялась по усредненному профилю обратного рассеяния после устранения шума как промежуток времени прохождения сигнала от поверхности осадков до границы, выше которой сосредоточено 98% энергии донного рассеяния. Температура донных осадков на глубине около 0.5 м определялась с помощью термопар. В местах измерений стандартными методами проводился гранулометрический анализ верхнего слоя донных осадков.

На рис. 16 показаны примеры эхограмм на экране управляющего компьютера, полученные при различных температурах донных осадков. Видно, что с уменьшением температуры длительность сигнала обратного рассеяния постепенно возрастает примерно с 2.5 мс для $T = 0.7^\circ\text{C}$ до примерно 16 мс для $T = -1.1^\circ\text{C}$.

Проведенные измерения на разных частотах показали, что эта зависимость в интервале температур донных осадков примерно

от -1.2°C до 2.5°C для частоты 50 кГц хорошо описывается выражением $\Delta[\text{мс}] = 1.2(T - 2.5)^2 + T - 0.5$, а для частоты 200 кГц — выражением $\Delta[\text{мс}] = 0.9(T - 2.5)^2 + 0.4T + 1.1$. Согласно полученным зависимостям, в области положительных температур Δ слабо зависит от температуры, а при $T < 0$ значение Δ быстро возрастает с охлаждением, причем при отрицательных температурах Δ слабо зависит от гранулометрических характеристик пород, поэтому данная величина является надежным параметром, с помощью которого можно дистанционно отслеживать участки, на которых температура донных отложений поднимается и, следовательно, может произойти деградация подводной многолетней мерзлоты.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при поддержке фонда Андрея Мельниченко и в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН № 121021500057-4 в части предоставления аппаратуры и выполнения калибровки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O.* // Science. 2010. V. 327ю. № 5970. P. 1246.
<https://doi.org/10.1126/science.1182221>
2. *Yusupov V., Salomatin A., Shakhova N., Chernykh D., Domaniuk A., Semiletov I.* // Geosciences. 2022. V. 12. P. 315.
<https://doi.org/10.3390/geosciences12090315>
3. *Юсупов В.И., Семилетов И.П., Черных Д.В., Саломатин А.С.* // Акустический журнал. 2022. Т. 68. С. 1.
<https://doi.org/10.31857/S0320791922050136>

Адрес для справок: Россия, 690041, Владивосток, Балтийская ул., 43, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук. E-mail: iouss@yandex.ru