

Опыт применения в Арктике подводных сейсмографов на основе молекулярно-электронных датчиков



Арктика

Актуальность и задача

Арктика представляет особый интерес с точки зрения перспективы добычи нефти и газа, развития морских транспортных путей, строительства инженерных сооружений и военных баз. В этой связи различная сейсмическая активность региона требует детального изучения инструментальными методами.

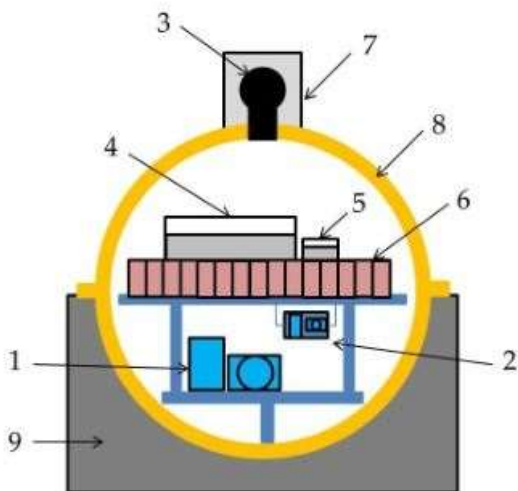
Задача оценить сейсмическую опасность чрезвычайно важна и является одной из сложных проблем сейсмологии. Для оценки сейсмической опасности в арктических морях были впервые опробованы подводные сейсмографы и системы на их основе в нескольких модификациях.



*Молекулярно-электронный датчик
СМЕ-4111 (120 сек – 50 Гц)
в специальном корпусе*



*Молекулярно-электронный датчик
СМЕ-4311 (60 сек – 50 Гц)
в специальном корпусе*



1. Датчик СМЕ-4311
2. Короткопериодный датчик SV-10
3. Гидрофон 5007m
4. Регистратор URS-S
5. Модуль цифрового компаса
6. Блок аккумуляторов
7. Защитная крышка для гидрофона
8. Дюралевая сфера
9. Бетонный балласт

Решение

Для решения этой задачи в 2018-2020 гг. были использованы первые результаты нескольких пилотных установок подводных сейсмографов, разработанных в Институте океанологии им. П.П.Ширшова Российской академии наук (ИО РАН) и в ИП Ильинский А.Д.

Подводные сейсмографы оборудованы двумя типами широкополосных молекулярно-электронных датчиков производства Р-сенсорс в двух модификациях: СМЕ-4111 (120 сек) и СМЕ-4311 (60 сек). Молекулярно-электронные чувствительные элементы демонстрируют высокий коэффициент преобразования – он может регистрировать минимальные движения, такое как естественные сейсмические сигналы вращения Земли над шумом сопутствующей электроники датчика.

Частотный диапазон датчиков, используемых в исследовании, составляет 0,0083 (120 сек) – 50 Гц для СМЕ-4111 и 0,0167 (60 сек) – 50 Гц для СМЕ-4311. Шумовые характеристики обоих сейсмометров практически идентичны.

Оба датчика опционально имеют одинаковый внешний вид и размер, легкий корпус из нержавеющей стали и полную совместимость между собой.

Конструкция **подводного сейсмографа** представлена на рисунке слева.

Подводный сейсмограф, разработанный в ИО РАН, подходит для широкого комплекса задач, таких как сейсмологический мониторинг, активная и пассивная сейсмика, сейсмоакустические исследования высокого разрешения.

Сейсмограф оборудован двумя трёхкомпонентными датчиками и гидрофоном.

Трёхкомпонентный широкополосный датчик СМЕ-4311 с диапазоном 0,0167 (60 сек) – 50 Гц изготовлен на основе молекулярно-электронной технологии.

Трёхкомпонентный короткопериодный датчик создан на основе классических электро-



механических геофонов SV-10 и SH-10 с диапазоном частот 10 – 200 Гц (аналог GS-20DX).

Гидрофон 5007m с диапазоном частот 0,04 – 2500 Гц разработан в ИО РАН.

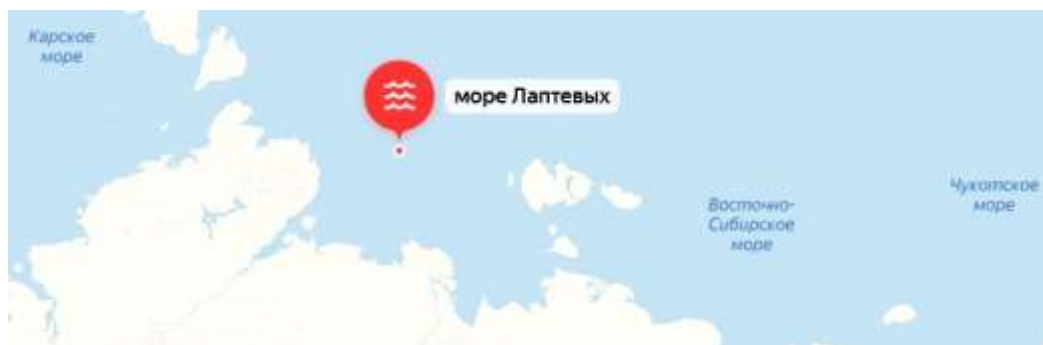
Внешний вид **подводного сейсмографа** представлен на рисунке слева.

Установка, результаты, выводы

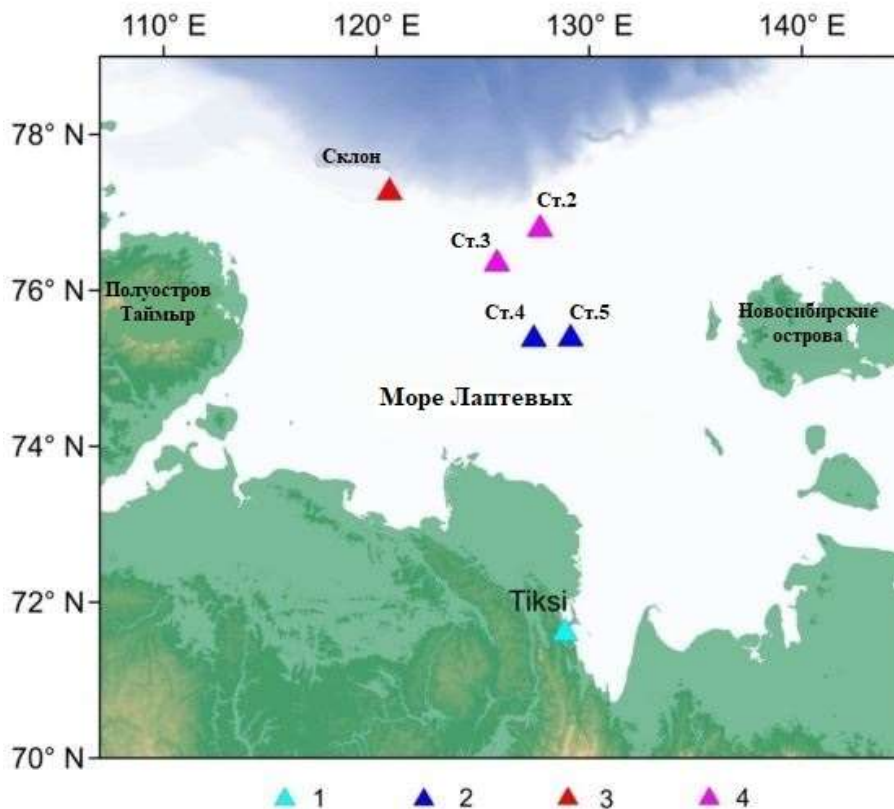
Море Лаптевых – один из самых интересных регионов для сложных научных исследований. Это самая сейсмически активная акватория среди арктических морей России.

С 2018 года по программе сейсмологических исследований в море Лаптевых направлялись несколько научных морских экспедиций, организованных Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И.Ильичёва и ИО РАН. Цель экспедиций – определить сейсмические и сеймотектонические характеристики региона с помощью регистрации локальных микроземлетрясений, удалённых телесеismicических событий и окружающего сейсмического шума на шельфе и континентальном склоне моря Лаптевых.

В дополнение, новые данные по сейсмичности и современная тектоника региона крайне необходима для детальной оценки сейсмической опасности.



Во время экспедиций подводные сейсмографы устанавливались на 1 год на шельфе и континентальном склоне моря Лаптевых – это техническая цель программы сейсмологических работ. К настоящему времени получены записи наблюдений о двух одногодичных исследованиях. На рисунке показаны местоположения **долгосрочной установки** во время экспедиций АМК-73 (2018 г.) и АМК-78 (2019 г.).



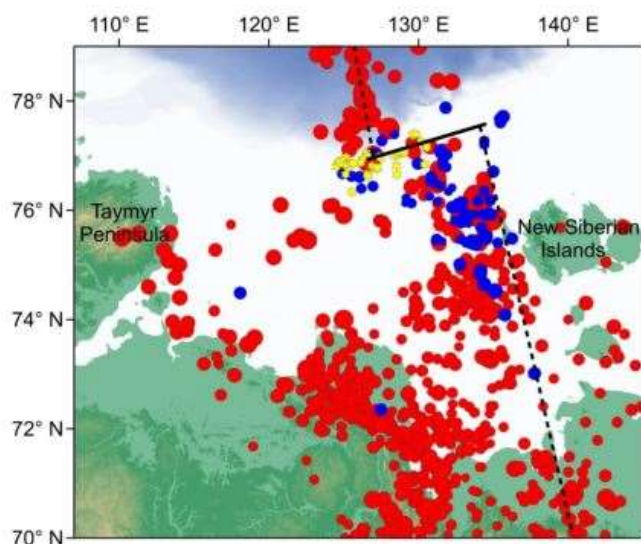
1. Постоянная широкополосная сейсмическая станция Tiksi, включена в глобальную сейсмологическую сеть GSN

2. Подводный сейсмограф на внутреннем шельфе, установлен во время экспедиции АМК-73

3. Подводный сейсмограф на склоне, установлен во время экспедиции АМК-73

4. Подводный сейсмограф на внешнем шельфе, установлен во время экспедиции АМК-78

Результаты



Эпицентры землетрясений
в море Лаптевых:

- красный** – внесенные в каталог ISC,
- синий** – точно записанные сейсмографом
- жёлтый** – выход метана на внешний шельф
- пунктирная линия** – предполагаемая граница между Евразийской и Североамериканской плитами
- линия** – предполагаемый поперечный разлом

Существует несколько модификаций подводных сейсмографов, разработанных в ИО РАН и ИП Ильинский А.Д., в зависимости от допустимых глубин и диапазонов частот. Записи с подводных сейсмографов, полученные при пилотных установках в море Лаптевых, использовались для демонстрации применимости подводных сейсмографов для оценки уровня сейсмической опасности в Арктике.

Результатом двух полевых кампаний в 2018-2019 и в 2019-2020 гг. стали качественные сейсмические записи. Стандартные щелочные аккумуляторы позволяют вести запись 3-5 месяцев, литиевые аккумуляторы позволяют записывать сигналы 7-8 месяцев. Оказалось, что возможности записи на арктическом шельфе и верхнем склоне значительно зависят от уровня окружающего сейсмического шума, на который, в свою очередь, влияют ветровые волны. Таким образом, рекомендуется записывать сигналы с подводного сейсмографа на арктическом шельфе в периоды времени, когда море покрыто льдом. Для этого необходимо установить подводный

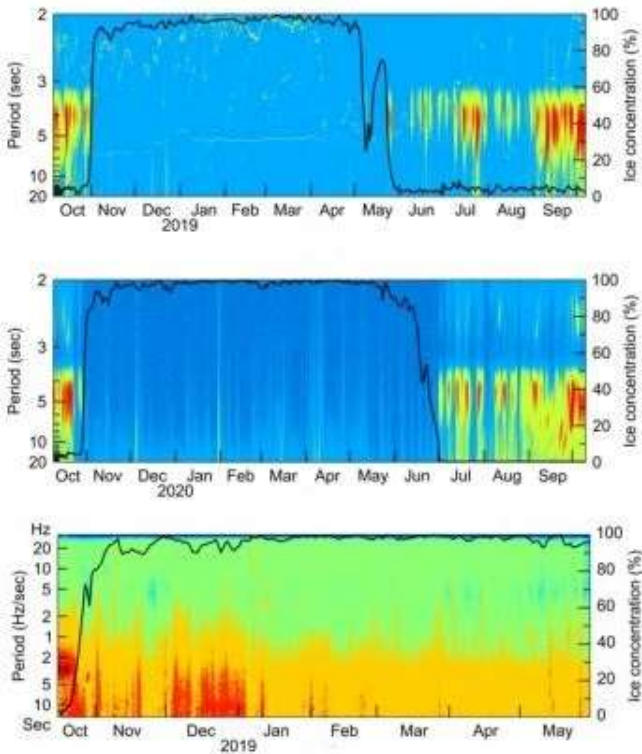
сейсмограф в сентябре-октябре и демонтировать в июне.

Выводы

Основные характеристики **широкополосных молекулярно-электронных датчиков**, такие как допустимые углы установки, диапазон рабочих температур, чувствительность и динамический диапазон, оказались подходящими для получения записей в арктических условиях для решения сейсмологических задач.

Помимо фундаментальных исследований, инженерное направление не менее важно. Изучение особенностей влияния морских грунтов и водной толщи на распространяющиеся сейсмические волны будет полезно при будущем строительстве объектов нефтегазовой инфраструктуры в перспективной Арктике.

Представленные подводные сейсмографы продемонстрировали эффективность в решении ряда сейсмологических задач и будут активно использоваться в арктических экспедициях в дальнейшем.



Спектрограммы окружающего сейсмического шума

=====