

Рис. 5. Показания детектора сверхслабых излучений во время полного лунного затмения 9 января 2001 года (Санкт-Петербург)

лучений — ДСИ (патент № 2138984, Е.Г. Бондаренко, В.Н. Рыжевнин). Работу ДСИ определяет ряд физических явлений, таких как контактная разность потенциалов, двумерная система зоны контактов, полупроводниковые эффекты, контакт Джозефсона и др. Реакция ДСИ на внешнее воздействие проявляется в электрической проводимости, которая может изменяться медленно или скачком в зависимости от вида воздействия и режима

работы. Отмеченные характеристики обладают признаками нелинейности, а их суперпозиция приводит к значительному увеличению чувствительности. Именно избирательно высокая чувствительность ДСИ к внешним воздействиям была реализована при регистрации полного лунного затмения 09.01.2001 года, когда Луна находилась вблизи точки перигея орбиты (рис. 5).

С.Н. Шаповалов (АНИИ)

ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ (НА ПРИМЕРЕ КАРСКОГО МОРЯ)

В настоящее время одним из основных методов изучения гидрофизических полей водных акваторий как в интересах фундаментальных исследований, так и при решении хозяйственно-экономических проблем является постановка сети автономных буйковых станций (БС) в местах выполнения работ. В условиях арктических морей постановка БС производится в приотпленном состоянии или на дне для защиты от воздействий ледяного покрова.

Сбор накопленной информации производится путем подъема БС на поверхность либо через гидроакустический (ГА) канал связи. Такую процедуру удобно проводить летом при отсутствии ледяного покрова, что усложняет процесс отслеживания динамики гидрофизических процессов и их прогнозирование.

В последние годы широкое применение находят универсальные автономные БС, регистрирующие весь комплекс параметров гидрологического режима контролируемой акватории включая течения и толщину льда. Несколько таких комплексов с универсальным доплеровским профилографом течений (ADCP) французской фирмы Teledupa HD Instrument установлены в придонном слое Карского и Лаптевых морей с целью

мониторинга в интересах хозяйственной деятельности. Измерители работают с годовым циклом накопления информации с объемом памяти до 16 Гб. Снятие информации производится один раз в год.

С целью развития данного способа организации мониторинга гидрофизических параметров целесообразно найти пути решения следующих задач:

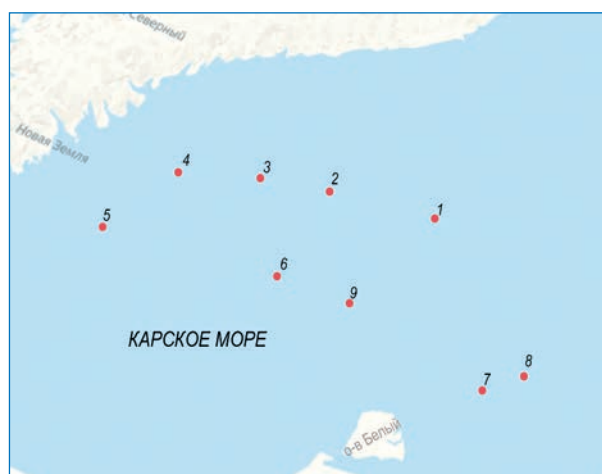
- снижение стоимости эксплуатации БС;
- уменьшение времени съема накопленных данных;
- получение дополнительных гидролого-акустических данных в районе размещения БС.

Возможны различные варианты решения перечисленных задач, такие как:

- организация гидроакустического канала связи с каждой БС;
- объединение всех БС подводным кабелем с выводом его на береговой пост;
- обход БС автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА).

Нами были произведены оценки возможности реализации предлагаемых вариантов мониторинга гидрофизического состояния вод центральной части Карского моря с использованием установленной в нем системы из 9 БС (рис. 1).

Рис. 1. Размещение буйковых станций в Карском море



Большой опыт, накопленный специалистами Камчатского гидрофизического института (КГФИ) по разработке и эксплуатации гидроакустических систем двойного применения и звукоподводной связи, может быть успешно использован для решения задач долговременного мониторинга с использованием системы скоростной передачи цифровой информации по ГА каналам связи между БС и организацией на одной из них микропроцессорного измерительно-управляющего модуля и гидроакустического приемо-передатчика с накопителем данных.

Эта головная БС должна быть расположена в наиболее благоприятном с точки зрения условий распространения звука месте акватории и управлять всей системой БС, собирая с них и накапливая информацию с заданной дискретностью и периодичностью.

В таком случае задачей экспедиционного судна будет посещение места расположения этой головной БС и снятие необходимой информации с заданной периодичностью в любое время года. Однако при таком подходе останется нерешенной вторая половина задачи — восстановление энергетического запаса источников питания БС.

Организация каналов связи с необходимой пропускной способностью между БС в условиях мелководного Карского моря, с учетом расстояний между БС, является проблематичной, что подтверждают расчеты условий распространения звука на трассах между каждым из буев и буюм № 6, который был принят за головной. Просчитаны энергетические потребности осуществления ГА связи.

Расчет потерь на распространение (ПР) ГА сигналов для ненаправленных излучающей и приемной антенн

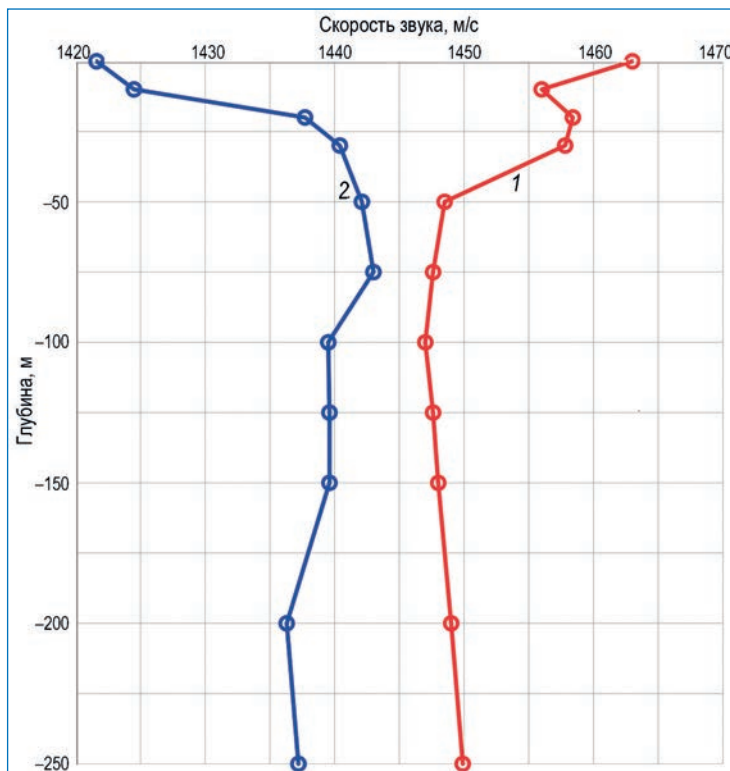


Рис. 2. Вертикальные разрезы скорости звука для августа и ноября:
1 – август, 2 – ноябрь

в Карском море проводился для значений частоты источника звука f : 100 Гц, 200 Гц, 400 Гц и 800 Гц.

Для оценки коэффициента затухания звука в Карском море на частотах 0,3–4 кГц используется эмпирическое соотношение применительно к мелкому морю: $\beta = 0,5f^{0,9}$ (дБ/км, при f в кГц).

Гидрологические данные по вертикальным профилям скорости звука в воде взяты из материалов, опубликованных в интернете Центром океанографических данных (National Oceanographic Data Center, NODC). Расчеты проводились для летних (август) и осенних (ноябрь) гидрологических условий.

На рис. 2 представлены соответствующие вертикальные разрезы скорости звука (ВРСЗ) в воде.

Рассмотрен рельеф дна вдоль трасс, соединяющих точку «6» с точками «1», «5» и «8» (рис. 3). Из трех рассмотренных — трасса «5–6» является предпочтительной с точки зрения минимизации потерь на распространение ГА сигналов. Большие потери вдоль остальных трасс необходимо будет компенсировать установкой промежуточных ретрансляторов или несколько изменить местоположение БС опытным путем.

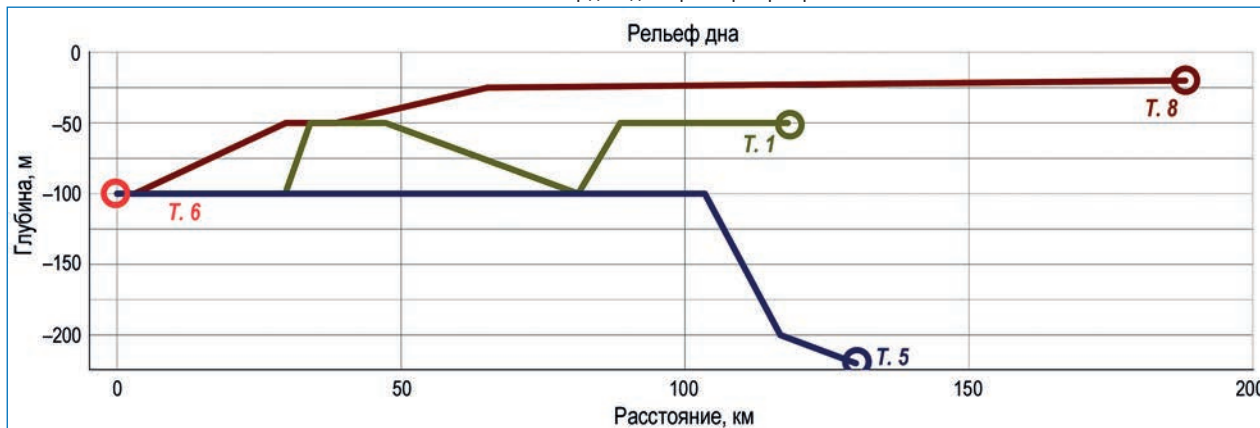
На трассах «1–6» и «8–6» ПР будут больше.

Расчеты ПР были проведены вдоль акустической трассы, соединяющей точки «5» и «6». Расстояние между точками составляло 130 км.

На рис. 4 представлены результаты расчетов ПР для летних и осенних гидрологических условий вдоль трассы «5–6».

Из рассмотрения рис. 4 видно, что потери на распространение сигнала в летних гидрологических условиях существенно превышают ПР для осенних условий. Объяснение этого заключается в том, что главный вклад в ПР

Рис. 3. Рельеф дна вдоль трассы распространения «5–6»



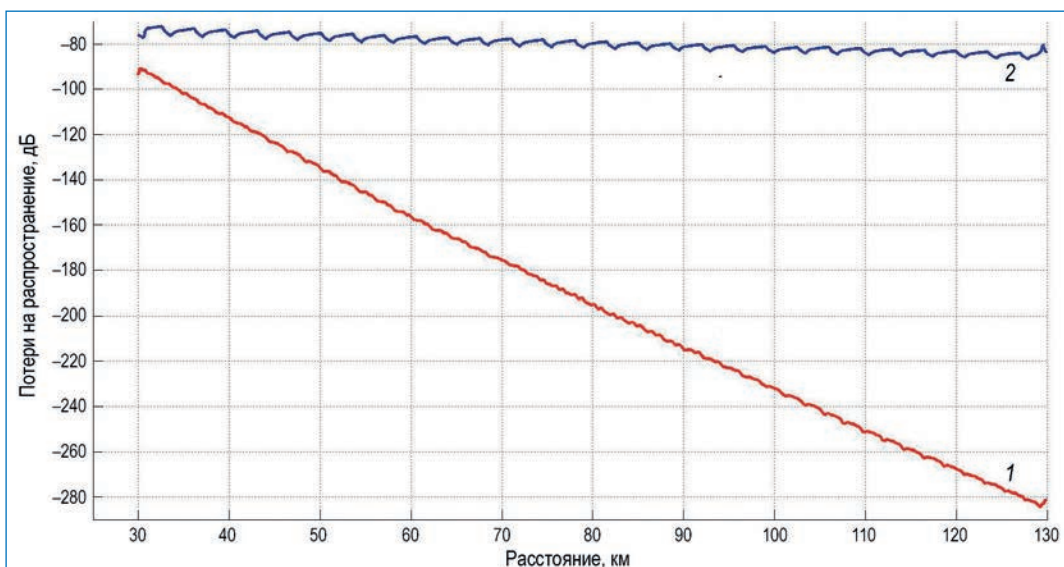


Рис. 4. ПР вдоль трассы «5–6» для летних (август) и осенних (ноябрь) гидрологических условий. Трасса 5, точка 6, частота 100 Гц, глубина излучателя 61 м, глубина приемника 61 м, ширина окна скользящего усреднения 2,55 км.

вносят отражения звуковых лучей от донной поверхности. В августе звуковые лучи отклоняются в сторону дна и больше взаимодействуют с донной поверхностью, нежели в ноябре, когда лучи отклоняются в сторону поверхности моря.

Результаты ГА расчетов показывают, что с точки зрения распространения звука в данном конкретном районе (акватории), принимая во внимание рассмотренный диапазон частот (повышение рабочей частоты только усугубит ситуацию с ПР), следует рассчитывать, в лучшем случае, на рабочую полосу около 100 Гц (~25 % от центральной частоты диапазона), что обусловит практически возможный на сегодняшний день предел скорости передачи данных 5 бит/с при 0,05 бит/Гц полосы. При такой скорости и круглосуточной работе за один год можно передать около 4 Мбайт, что на несколько порядков меньше требуемого объема. Учитывая также то обстоятельство, что для работы на излучение требуется некоторое количество энергии и существенная доработка БС с добавлением габаритных излучателей (т. е. $\sim >1$ м на частоте 100 Гц), — организация ГА канала связи между БС для решения задачи в описанных условиях Карского моря представляется нецелесообразной.

Объединение всех БС подводным оптоволоконным кабелем с выводом его на береговой пост решает задачу передачи данных с высокой скоростью и в любых объемах в реальном масштабе времени. При применении кабеля с медной жилой решается также проблема энергоснабжения БС. БС могут быть объединены кабелем последовательно, звездообразно или комбинированным способом. Данный вариант организации мониторинга технически реализуем, но при этом имеет ряд существенных недостатков, главный из которых: стоимость кабеля для указанной магистрали около 350 тыс. руб/км (медная жила с активным сопротивлением не менее 1 Ом/км, кабель грузонесущий с броневым покрытием), т. е. $>0,3$ миллиарда рублей для всей магистрали.

Автономные необитаемые подводные аппараты являются одним из наиболее перспективных средств изучения и освоения Мирового океана.

Активная разработка АНПА ведется в нескольких десятках стран. Мировыми лидерами в создании АНПА являются США, Канада, Норвегия, Франция, Великобритания, Япония. Ежегодно в мире создается немногим менее сотни новых АНПА (см. рис. 5).

Учитывая тенденции развития АНПА, целесообразно проанализировать возможность их применения для решения рассматриваемой задачи.

Модель применения АНПА в нашем случае может выглядеть следующим образом. АНПА доставляется в район расположения поля БС, и для него формируется маршрутное задание. В конечной точке маршрута должны находиться средства приведения (акустический маяк) и судно сопровождения, которое поднимет АНПА на борт.

БС оборудуются маяками-ответчиками (МО), работающими по запросу и являющимися опорными навигационными точками по маршруту следования АНПА.

АНПА с запрограммированным маршрутным заданием спускается на воду и начинает обход БС. Во время движения по маршруту система управления АНПА рассчитывает момент времени вхождения в зону действия МО очередной БС и излучает сигнал запроса МО. Получив ответ, АНПА пеленгует МО и движется в точку установки БС.

При сближении с БС АНПА должен решить несколько задач:

- считать с БС накопленную информацию;
- подзарядить источник энергии БС (например, аккумуляторную батарею);
- перепрограммировать, при необходимости, вычислительные средства БС.

Для решения перечисленных задач рядом с БС должно быть установлено донное причальное устройство (ДПУ), обеспечивающее информационный и энергетический обмен АНПА с БС контактным или бесконтактным способом. АНПА при сближении с БС должен причалить к ДПУ для обмена данными с БС и возобновления запаса энергии БС. При этом, руководствуясь знанием географических координат БС, которые были заданы при программировании маршрутного задания, АНПА обнуляет погрешность, накопленную навигационной подсистемой.

После завершения работы с данным БС АНПА отстыковывается от него и следует к очередному БС.

Перечисленным требованиям удовлетворяют АНПА тяжелого класса, имеющие на борту довольно большой запас энергии и, следовательно, внушительные габариты, см. таблицу.

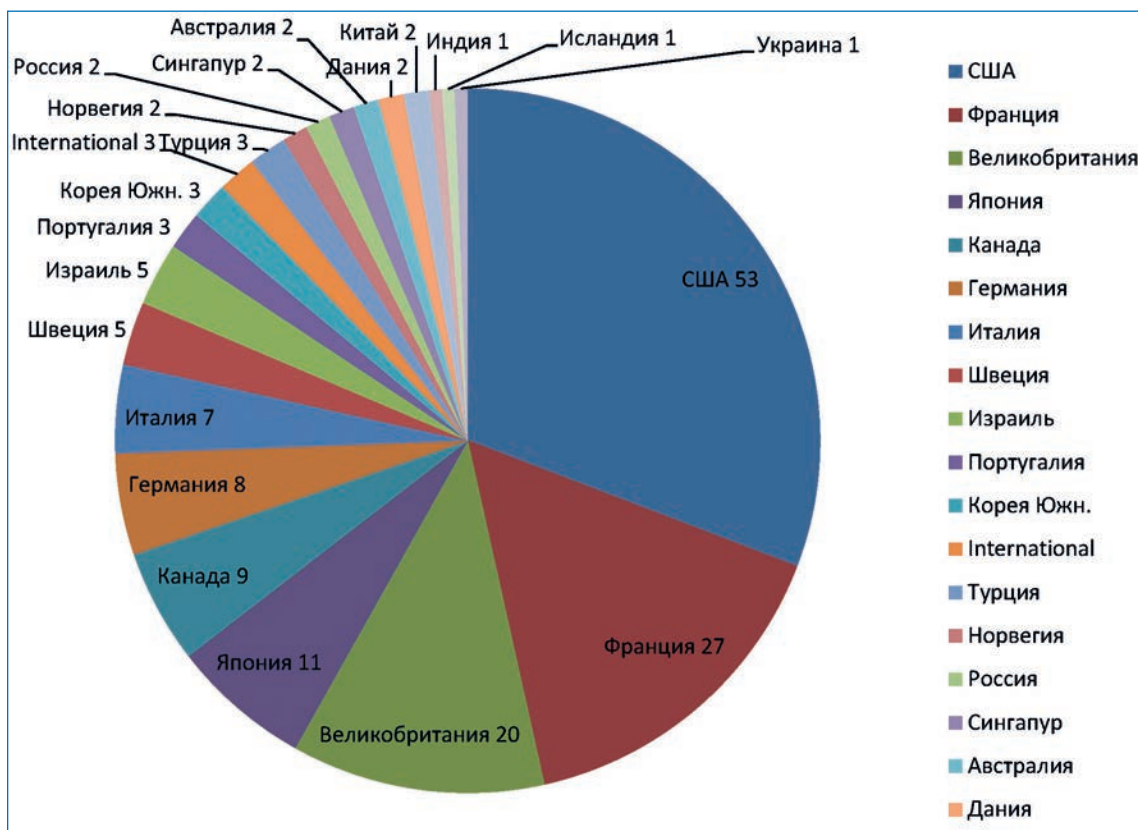


Рис. 5. Количество типов АНПА, разработанных в разных странах. По данным "Jane's Unmanned Maritime Vehicles 2017–2018"

Технические характеристики АНПА тяжелого класса

Разработчик	Название АНПА	Вес, кг	Скорость, узлы	Автономность, ч
National Oceanography centre	AutoSub-3	2300	4	150
ASV Global	C-Enduro	500	7	2196
ASV Global	C-Worker 6	500	6,5	240
Boeing	Echo Ranger	4853	6	150

Возможно также применение АНПА с меньшей автономностью, аналогичных «Клавесин 1Р» или «ММТ-3000» ИПМТ ДВО РАН, но при этом должно быть оборудовано промежуточное ДПУ для пополнения энергии АНПА.

АНПА могут быть оборудованы специализированным оборудованием для проведения дополнительных исследований во время следования по маршруту в соответствии с заданием.

В результате рассмотрения способов организации мониторинга гидрофизических параметров арктических морей очевидно, что самым перспективным для Карского моря является способ с применением АНПА, обладающий следующими преимуществами:

- выполняет задачу без постоянного сопровождения судна обеспечения;
- позволяет обслуживать поле БС в условиях ледовой обстановки неоднократно в течение года;

- во время обслуживания с БС обеспечивает проведение цикла дополнительных измерений по маршруту следования;

- может применяться для обслуживания поля БС, установленных в разных районах;

- обеспечивает решение дополнительных задач в произвольных районах (профилографирование, картографирование, батиметрия, измерение ВРСЗ и пр.).

Системы с применением АНПА могут быть созданы и в других морях Заполярья, в том числе на трассах транспортировки нефти и газа, где особенно важен мониторинг и прогноз гидрофизической обстановки.

В морях с глубинами более 200 м реально создание ГА каналов связи между БС с центральным измерительно-управляющим модулем.

Рис. 6. АНПА AutoSub



*В.О. Гравин
(ОАО Камчатский гидрофизический институт),
И.К. Попов
(ААНИИ)*