

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

С.Г. Поярко¹, Н.А. Римский-Корсаков^{1,2}, М.В. Флинт¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: nrk@ocean.ru, m_flint@ocean.ru

²Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана,
Москва 105005, Russiae-mail: nrk@ocean.ru (<mailto:nrk@ocean.ru>)

Статья поступила в редакцию 10.10.2017, одобрена к печати 25.12.2017

Статья посвящена анализу средств и методов подводных исследований, которые использовались для изучения экологии районов Карского моря в местах захоронения твердых радиоактивных отходов (ТРО), а также для контроля состояния радиационно-опасных объектов составляющих эти захоронения. Рассмотрены технические и методические решения задач поиска подводных объектов и исследования морфологии рельефа дна с использованием гидролокационных методов. Важным этапом процесса исследования подводных радиационно-опасных объектов является их идентификация и определение соответствия архивным данным. Эти операции выполняются с использованием подводных видеосистем, позволяющих визуально определить состояние подводных объектов и защитных барьеров, отделяющих источники радиоактивности от окружающей среды. Состояние этих барьеров оценивается также по уровням радиоактивности снаружи объектов и на примыкающих участках дна с использованием подводных гамма-спектрометров. Гидролокаторы, видеосистемы и гамма-спектрометры доставляются к объектам исследования с помощью подводных носителей аппаратов. К ним относятся буксируемые, телеуправляемые и автономные необитаемые подводные аппараты (БНПА, ТНПА и АНПА). БНПА и АНПА используются в основном для работ на заданных маршрутах с гидролокационной или видеоаппаратурой. ТНПА используются для осмотра объектов, целенаправленных визуально контролируемых гамма-спектрометрических измерений и отбора образцов. Эти технологии были отработаны в процессе морских исследований районов захоронений ТРО в Карском море, позволили получить современные данные о состоянии окружающей среды и затопленных объектов и подтвердили правильность выбранной методологии исследований.

Ключевые слова: Новая Земля, Карское море, радиоактивные отходы, захоронения, гидролокатор, видеосистема, гамма-спектрометр, подводный аппарат, маршрутная съемка, целенаправленные наблюдения

Особенности исследований окружающей среды в Карском море связаны с наличием здесь захоронений радиоактивных аварийных объектов и отходов эксплуатации морских ядерных установок. Составляющей исследований является контроль состояния защитных барьеров подводных объектов – элементов захоронений, которые отделяют радиоактивные материалы от водной среды и донного грунта. Контроль состояния объектов включает их поиск или уточнение местоположения исходя из архивных данных о затоплении, идентификацию и оценку состояния механической конструкции, а также целенаправленные измерения радиоактивности самих объек-

тов, и окружающей природной среды. Более углубленные исследования, позволяющие прогнозировать состояние экологии в условиях временной трансформации радиоактивных объектов, включают изучение процессов переноса водных масс и донных отложений в районах захоронений. Для решения задач контроля и прогноза применяются инструментальные методы: гидролокация бокового обзора и акустическое профилирование, подводное телевидение, гамма-спектрометрия и гидрофизическое зондирование. При этом используются современные средства доставки приборов к объектам исследования: подводные телеуправляемые (ТНПА), автономные (АНПА) и буксируемые (БНПА) необитаемые аппараты, донные станции и кабельные зонды. Идентификация природных объектов производится с помощью традиционных средств отбора проб, в том числе гравитационных трубчатых отборников системы Нейместо, позволяющих отбирать граничащие образцы воды и грунта, в которых сосредоточены загрязнители морской среды.

Институт океанологии им.П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) ведет систематическую экспедиционную работу в Российской Арктике (Флинт и др., 2016; Флинт и др., 2008), направленную на изучение региональных экосистем. Неотъемлемой частью этих исследований является исследование состояния окружающей среды Карского моря в условиях присутствия массовых захоронений радиоактивных отходов.

С началом широкого развития атомной энергетики в конце 40-х годов остро встала проблема утилизации радиоактивных отходов (РАО). Одним из вариантов утилизации, получившим довольно широкое распространение, стал сброс РАО в открытое море.

В России необходимость захоронения РАО в море связана, в основном, с деятельностью Военно-Морского Флота и Мурманского Морского пароходства, имеющих атомный флот. Для захоронений твердых радиоактивных отходов (ТРО) использовались районы Карского моря (заливы Течений, Цивольки, Абросимова, Степового, Ога, Благополучия, Седова, а также глубоководный район Новоземельской впадины).

Объекты захоронений представляют собой: а) плавсредства, имеющие на борту твердые радиоактивные отходы, включая части реакторных установок и другое загрязненное оборудование разных уровней активности; б) крупногабаритные объекты, такие как реакторные отсеки атомных подводных лодках (АПЛ), которые затоплялись отдельно или внутри барж, лихтеров и танкеров; в) крупные объекты, такие как циркуляционные насосы, генераторы и другие части ядерных установок, которые затоплялись без упаковки; г) загрязненные пленочные покрытия, инструменты, средства индивидуальной защиты, спецодежда, арматура, трубопроводы, коробки фильтров активности, насосы, парогенераторы и т.д., упакованные в металлические и железобетонные контейнеры в основном размером 1×1.5 м.

По данным, изложенным в «Белой книге-2000» (Айбулатов, 2000), в Карском море затоплено 6508 контейнеров с ТРО, 13 реакторов АПЛ и одна реакторная сборка атомного ледокола «Ленин».

Длительное нахождение перечисленных объектов в морской коррозионно-агрессивной среде может привести к частичному разрушению металлических оболочек. Таким образом, затопленные в Карском море объекты являются потенциально опасными и представляют собой очаги возможного радиоактивного загрязнения. В этой связи проблема контроля состояния затопленных объектов с радиоактивными отходами в Карском море является актуальной.

В России учет подводных потенциально опасных объектов (ППО) ведет МЧС и начиная с 2002 г. регулярно заказывает ИО РАН проведение исследований, связанных с уточнением местоположения и контролем состояния ППО, в том числе в Карском море (Флинт и др., 2016; Флинт и др., 2008; Римский-Корсаков и др., 2008; Вялышев и др., 2015; Вялышев и др., 2016). Тем не менее, в акватории Карского моря до настоящего времени остаются необследованными еще ряд важных районов, а архивные данные о местоположении ряда объектов не подтверждены современными методами.

Процесс обследования районов возможного по архивным данным захоронения ППО включает: а) мезомасштабную поисковую съемку поверхности дна с использованием гидролокатора бокового обзора (ГБО); б) дообследование обнаруженных объектов с использованием ГБО с высоким пространственным разрешением; в) идентификацию объектов с использованием видеосистем подводных аппаратов различных классов и типов; г) измерения радиоактивности с использованием гамма-спектрометров в автономном режиме, с борта ТНПА, а также геохимическими методами.

Для мезомасштабной поисковой съемки в арктических экспедициях ИО РАН используется буксируемый ГБО «Мезоскан» (рис. 1) с глубиной погружения



Рис. 1. Буксируемый гидролокатор бокового обзора «Мезоскан».

2 км разработки ИО РАН (Римский-Корсаков и Сычев, 2007; Римский-Корсаков и Никитин, 2011). Рабочая частота гидролокатора составляет 78 кГц, максимальная полоса обзора – 1200 м. Разрешающая способность по дальности варьируется в зависимости от длительности зондирующего сигнала в диапазоне от 1 м до 20 см. Гидролокатор буксируется на коаксиальном трос-кабеле и может дополняться комбинированным гравитационно-гидродинамическим углубителем («решеткой»), эффективно работающим на скорости буксировки 4 узла. Для сбора, отображения, обработки и архивирования данных (изображений поверхности дна), получаемых с помощью гидролокатора, используются два пакета оригинальных программ для реального вре-

мени и для режима постобработки (ЭхоГраф и ВинРастр). На рис. 2 приведено гидролокационное изображение радиационно опасных объектов – баржи и группы контейнеров с ТРО, затопленных в заливе Абросимова, полученное с помощью ГБО «Мезоскан». Для детализированных исследований обнаруженных подводных объектов применяются высокочастотные ГБО, что позволяет в ряде случаев идентифицировать эти объекты дистанционно. В ИО РАН для этих целей используется буксируемый ГБО YellowFin канадской фирмы Imagenex model 872 с рабочей глубиной до 300 м и рабочими частотами 250, 300 и 600 кГц (www.imagenex.com). На рис. 3 приведена фотография ГБО YellowFin, а на рис. 4 – гидролокационное изображение баржи, затопленной с грузом ТРО, полученное с его помощью.

Помимо буксируемых за судном ГБО для поиска и исследования подводных объектов, в том числе потенциально опасных, используются гидролокаторы АНПА,



Рис. 2. Гидролокационное изображение дна, полученное с помощью ГБО «Мезоскан»: справа – баржа, а слева – россыпь контейнеров с ТРО, затопленных в заливе Абросимова.



Рис. 3. Высокочастотный ГБО YellowFin.

которые по заданной программе способны вести планомерную по-галсовую съемку значительных площадей морского дна на предельных глубинах. Так при обследовании АПЛ К-27, затопленной в заливе Степового Новой Земли в 2013 году, в экспедиции ИО РАН использовался АНПА «Пилигрим» (рис. 5), созданный в Институте

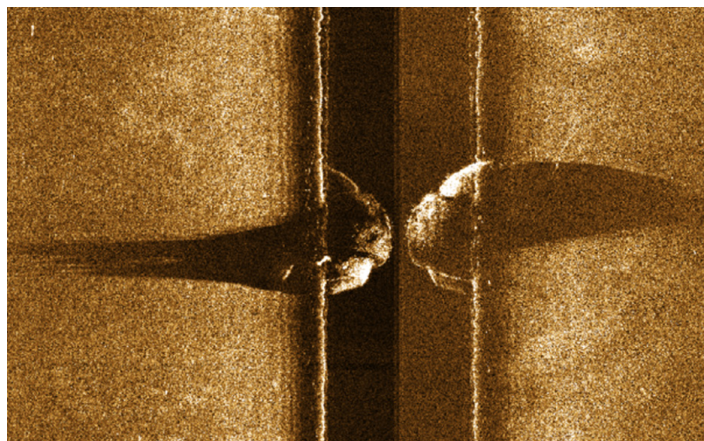


Рис. 4. Гидролокационное изображение реакторного отсека (РО) АПЛ, полученное с помощью ГБО YellowFin в заливе Абросимова.

проблем морских технологий РАН (Войтов, 2015). Максимальная рабочая глубина аппарата – 3000 м, масса 300 – кг, автономность – 20 час. Аппарат оборудован двухчастотным ГБО (80/485 кГц), акустическим профилографом, STD – зондом и цифровой фото-видео системой с разрешением 1392×1040 точек.

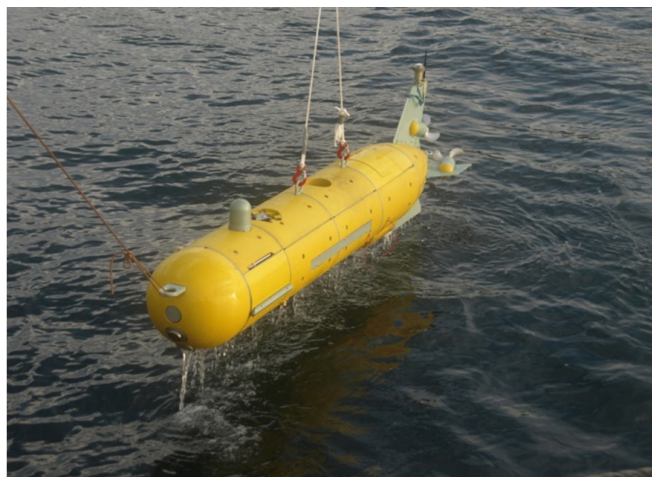


Рис. 5. Автономный необитаемый подводный аппарат «Пилигрим».

Аппарат имеет интегральную навигационную систему, включающую автономную компоненту, что обеспечивает абсолютную точность подводного позиционирования 20 м. Связь с аппаратом осуществляется в надводном положении по радио, а под водой – с использованием гидроакустической системы телеметрии и телеуправления. Обследование АПЛ «К-27» проводилось с помощью высокочастотного (ВЧ) ГБО и включало также маршрутное фотографирование прилегающего дна. Были выполнены 3 обхода АПЛ с гидролокационной съемкой по прямоугольному маршруту на глубинах 14, 19 и 24 м и один обход с фотографированием дна с высоты 2 м (рис. 6).

Маршруты отстояли в плане на 45 м от носа, кормы и бортов АПЛ. После прохода одного продольного и одного поперечного галсов АНПА всплывал, уточ-

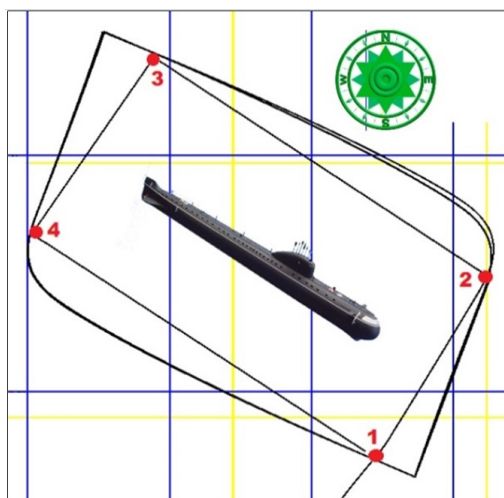


Рис. 6. Маршрут АНПА «Пилигрим» при обследовании АПЛ «К-27». Прямоугольник – запланированный маршрут. 1 и 3 – точки всплытия и коррекции маршрута.

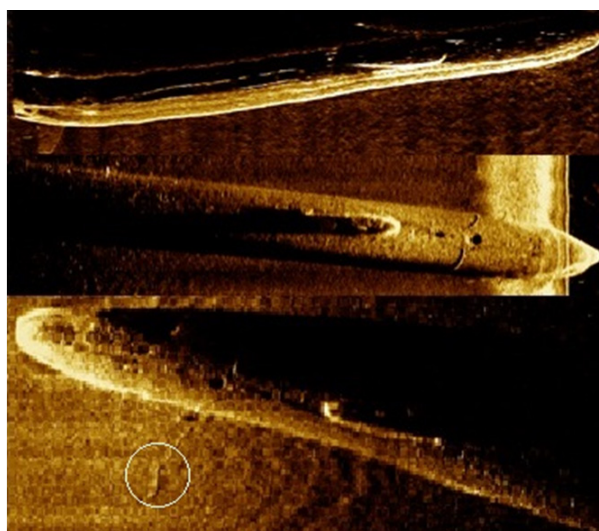


Рис. 7. Гидролокационные изображения АПЛ «К-27» полученные с помощью ВЧ ГБО АНПА «Пилигрим» в заливе Степового. Кружком обведен якорь АПЛ. Рядом видна цепь.

нял собственное местоположение по GPS и корректировал маршрут движения. Траектория движения АНПА с путевыми точками показана на рис. 5. Были получены гидролокационные изображения АПЛ с четырех ракурсов (рис. 7), якоря с якорной цепью и непрерывной серии фотографий (2383 кадра) донного грунта, прилегающего к АПЛ (рис. 8).

Довольно часто для идентификации, в первую очередь, крупных ППОО достаточным является сравнение их гидролокационных изображений с изображениями однотипных объектов, а также их сравнение с фотографиями этих объектов, полученными до затопления (Римский-Корсаков и др., 2016).

На рис. 9 приведена фотография реакторного отсека АПЛ из Интернет-ресурса (<http://avtonomka.org/kniga-vracha/1012>) перед затоплением. К отсеку с торцов

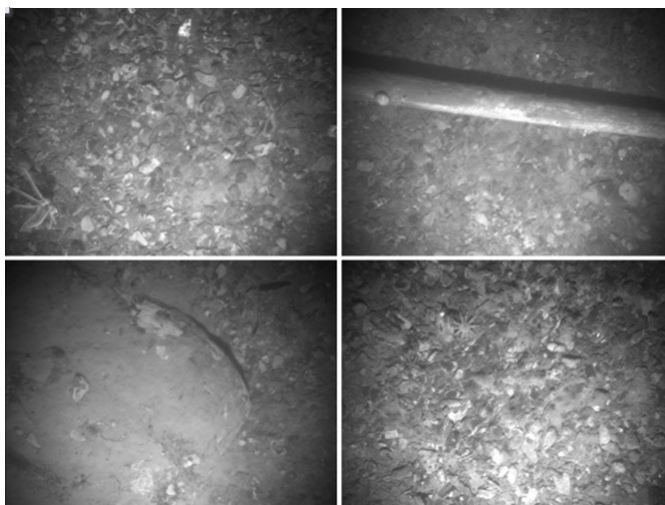


Рис. 8. Фотографии, полученные в ходе маршрутной съемки поверхности дна вокруг АПЛ «К-27».

приварены понтоны, что позволяет ему находиться на плаву и дает возможность транспортировки по воде путем буксировки. Для затопления отсека понтоны разгерметизировались. Их наличие придает такому подводному объекту характерный вид на гидролокационных изображениях, одно из которых приведено на рис. 4. На фотографии, приведенной на рис. 11, изображен пароход «Хосе Диас», который



Рис. 9. Вид реакторного отсека АПЛ проекта 658 со стороны кормового понтона наплаву перед затоплением.

использовался для транспортировки ТРО и был затоплен с грузом в Новоземельской впадине. Отличительной особенностью судна являются две мачты и дымовая труба, которые отчетливо распознаются по характерным теням на гидролокационном изображении на рис. 10. На рис. 12 слева представлено гидролокационное изображение участка дна в месте массового захоронения ТРО в контейнерах, а на рис. 12 представлены соответствующие кадры видеозаписей, сделанные с помощью ТНПА ГНОМ. На рис. 13 приведены типичные гидролокационные изображения

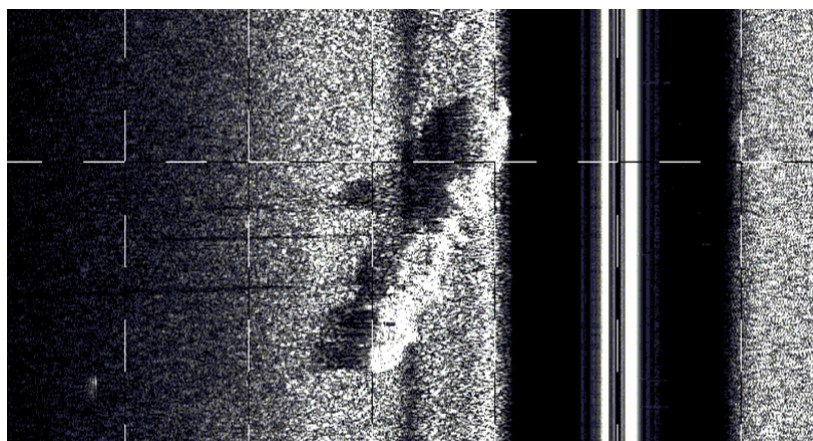


Рис. 10. Гидролокационное изображение судна п/х «Хосе Диас», затопленного с грузом ТРО в Новоземельской впадине (ГБО «Мезоскан», 78 кГц). Судно идентифицируется по четким теням от мачт со стрелами и дымовой трубы.



Рис. 11. Фотография парохода «Хосе Диас», впоследствии затопленного с грузом ТРО в Новоземельской впадине.



Рис. 12. Кадр видеозаписи контейнеров, составляющих захоронение ТРО.

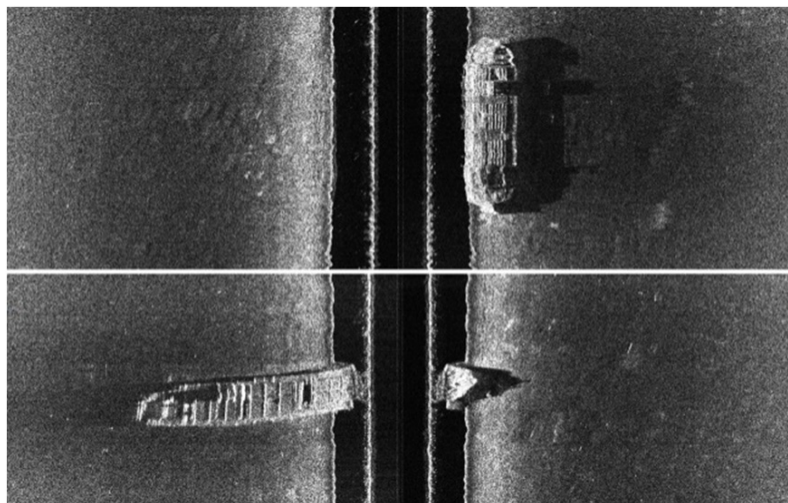


Рис. 13. Типичные гидролокационные изображения затопленных судов с ТРО.

лихтера и баржи, которые, как правило, использовались для транспортировки ТРО и впоследствии вместе с ними и затапливались.

Наиболее эффективным методом идентификации и контроля состояния конструкции подводных объектов является их визуальное наблюдение с помощью подводных телевизионных систем. Такие наблюдения могут производиться на маршрутах следования БНПА и АНПА, оборудованных видеосистемами, либо целенаправленно в процессе погружения ТНПА. Если представление видеоизображений подводных объектов с помощью видеосистем АНПА в реальном времени практически невозможно, то возможности БНПА в этой части в связи с развитием оптоволоконных технологий не ограничены.

Для маршрутных глубоководных видеонаблюдений в ИО РАН разработан БНПА «Видеомодуль», который уже на протяжении 3 лет, совершенствуясь, эксплуатируется в Арктических экспедициях. Аппарат представляет собой пространственную раму из нержавеющей стали, внутри которой на кронштейнах закреплены прочные корпуса с электронным оборудованием, элементами питания и видеокамерами, а также установлены гидрофизический зонд SBE и подводный гамма-спектрометр РЭМ-26. Корпуса соединены между собой подводными кабелями с герметичными электрическими разъемами. Рама имеет узел регулируемой подвески БНПА к кабель-тросу и 12 грузов для его устойчивого заглубления и балансировки по дифференту. Фотография аппарата приведена на рис. 14, основные технические характеристики – в таблице.

В 2015–2017 годах с помощью БНПА «Видеомодуль» были получены видеоизображения дна в местах подводной разгрузки углеводородов в море Лаптевых, изображения газовых пузырьков, бактериальных матов, карбонатных корок и эндемичных животных, были получены уникальные видеоматериалы с изображениями донных животных в заливах Новой Земли Карского моря, а также техногенных объектов – плавсредств с грузом ТРО, затопленных в заливах и в Новоземельской впадине.



Рис. 14. БНПА «Видеомодуль».

№	Характеристика	Значение
1	Масса, кг	550
2	Габариты, м	2.1 x 1.0 x 0.7
3	Максимальная рабочая глубина, м	6000
4	Тип буксирной линии	Кабель-трос КГ1х3Е-70-60-3
5	Информационный канал связи	Оптическое волокно (3)
6	Информационный интерфейс	RS232
7	Энергосистема	Бортовая аккумуляторная батарея
8	Напряжение/емкость батареи В/Ачас	12/50
9	Автономность не менее, час	2
10	Телекамера 1	Цв. цифровая IP HD BeWard BD3270Z
11	Телекамера 2	Цв. аналоговая Pal EC-007A
12	Телекамера 3	Цв. комбинированная HD XiaomiYi
13	Источник заливающего света (ИЗС)	Светодиодная матрица Epistar XY-J45
14	Максимальная электрическая мощность ИЗС, Вт	180 = (30*6шт)
15	STD-зонд	SBE 19plus
16	Датчик глубомера	MLH 08KPSB01A Honeywell
17	Гамма-спектрометр	РЭМ-26
18	Система оптического масштабирования	M65051 US-Lasers

Первоначально основным методом исследований экологии Карского моря, в том числе заливов Новой Земли, в условиях массовых затоплений радиоактивных отходов был отбор проб и анализ придонной воды и донного грунта по заранее определенной сетке. Этот метод позволил оценить средний уровень концентрации техногенных радионуклидов в осадочных породах этого региона. Вместе с тем, этот метод не позволял получить достаточной информации о состоянии непосредственно самих затопленных объектов. В тех случаях, когда эта информация необходима, оптимальным является прямое измерение уровней гамма-излучения с помощью подводной аппаратуры радиационного контроля (Казеннов и Кикнадзе, 2011;

Казеннов и др., 2008; Казеннов, 1996; Chernyaev et al., 2004). Практически для всех затопленных радиационно-опасных объектов основным индикатором утечки радиоактивности, а, следовательно, и разрушения защитных барьеров является обнаружение в воде долгоживущих гамма-излучающих радионуклидов: продукта деления ядерного топлива – цезия-137 (^{137}Cs) и кобальта-60 (^{60}Co) – продукта нейтронной активации реакторных конструкций. При этом для надежного обнаружения этих радионуклидов в морской среде необходим именно спектрометрический метод, так как в состав морской воды и донных отложений входят природные источники гамма-излучения: калий-40 (^{40}K) и дочерние продукты распада радиоактивных семейств урана (U) и тория (Th). Из-за излучения этих природных радионуклидов мощность дозы в море при приближении дозиметра к донному грунту может естественным образом увеличиться более чем в 10 раз.

В этой связи в Арктических экспедициях ИО РАН стал использоваться качественно новый подход к исследованиям радиационной обстановки в акваториях, который предполагает изучение уровней излучения в непосредственной близости от конкретных объектов с помощью подводной гамма-спектрометрической аппаратуры типа РЭМ, разработанной в НИЦ «Курчатовский институт». В качестве носителя гамма-спектрометра было решено использовать ТНПА ГНОМ, созданный ООО «Индел-Партнер» в сотрудничестве с ИО РАН (Римский-Корсаков и др., 2015). На фотографии на рис. 15 представлен ТНПА ГНОМ с гамма-спектрометром РЭМ-35-2.

ТНПА класса мини ГНОМ (www.gnomrov.ru) является основным инструментом целенаправленных видеонаблюдений и радиационного контроля подводных объектов в экспедициях ИО РАН в Арктике. ГНОМ имеет четыре винтомоторных агрегата для обеспечения движения по вертикальной и горизонтальной осям и оборудован цветной высокоразрешающей телекамерой с четырьмя источниками зали-

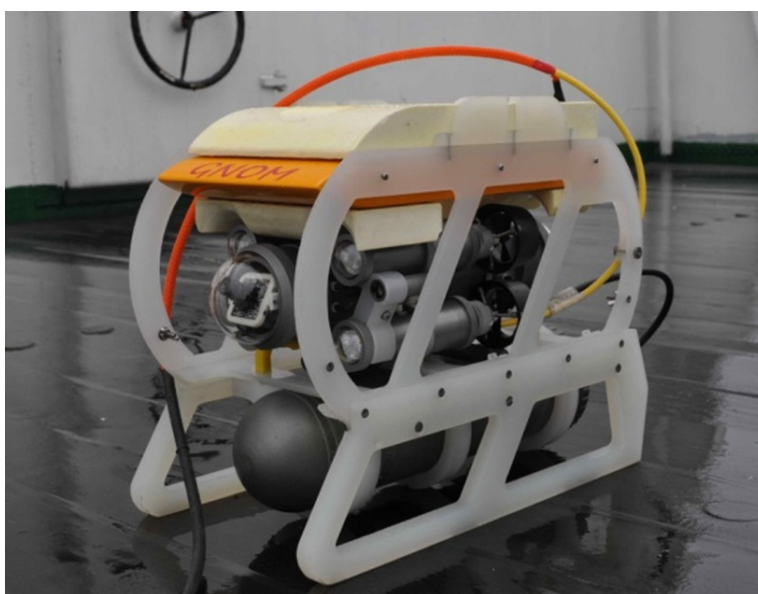


Рис. 15. ТНПА «ГНОМ» с высокочувствительным подводным гамма-спектрометром РЭМ-35-2.

вающего света на базе светодиодных матриц. В составе базового аппаратного комплекса имеется глубомер и компас, которые обеспечивают удержание аппарата на заданном горизонте и стабилизацию движения по курсу. Длина стандартного соединительного кабеля с кремне-органическим грузонесущим сердечником составляет 150 м. Дополнительно ТНПА может быть оборудован захватом-манипулятором, гидролокатором секторного обзора типа SeaKing, системой позиционирования с ультракороткой базой TriTech и кабелем длиной 500 м. Аппаратурный комплекс ГНОМ включает собственно ТНПА, вьюшку с кабелем и токоъемником, аккумулятор, блок управления, видеомонитор и записывающее устройство. Все элементы размещаются в двух водонепроницаемых контейнерах общим весом до 30 кг.

В разное время в Арктических экспедициях ИО РАН, в том числе для контроля состояния подводных потенциально опасных объектов с использованием гамма-спектрометров, применялись также ТНПА осмотрового класса «Мираж» и «Фалькон».

Высокочувствительный подводный спектрометр РЭМ-35-2 представляет собой блок детектирования БДЭГ-75(75)Б на основе монокристалла ВГО 75×75 мм с низкофоновым ФЭУ типа R6233-01 (Кикнадзе, 2016). Рабочая глубина спектрометра – 200 м. Чувствительность кристалла ВГО позволяет проводить измерения концентраций гамма-излучающих техногенных радионуклидов в морской воде на уровне в десятки раз ниже предельно допустимых, а в донном грунте – на уровне фоновых значений, вызванных глобальными выпадениями. Спектрометр предназначен для работы как в автономном режиме, так и в режиме реального времени, с использованием интерфейса RS-485. Небольшие размеры гамма-спектрометра дают возможность также исследовать радиоактивность водной среды вручную с катера.

В процессе исследований с помощью РЭМ-35-2 регистрируемые спектры в режиме реального времени отображаются на дисплее ПЭВМ, что позволяет корректировать перемещение ТНПА в зависимости от наличия и интенсивности техногенных гамма-излучателей в морской среде. В процессе работы оператор ТНПА может наблюдать окрестности измерений и визуально идентифицировать объекты или их элементы, являющиеся источником радиоактивного излучения. Измерение начинается при подходе ТНПА к исследуемому объекту. Экспозиция единичного измерения выбирается равной 60 с, что обеспечивает предел обнаружения радионуклида ^{137}Cs в поверхностном слое донных отложений на уровне 15 Бк/кг мокрого грунта и в морской воде – 0,35 Бк/л. Пример представления информации, получаемой с помощью комплекса «ГНОМ-РЭМ» приведен на рис. 16.

Таким образом в процессе подготовки и обеспечения экологических исследований в ИО РАН в Арктике были определены:

- факторы и параметры радиационной обстановки, наиболее полно характеризующие состояние окружающей среды и позволяющие прогнозировать его изменения;
- виды и характеристики оптимальных методов и средств подводных измерений радиоактивности, а также видеооборудования и средств координатно-временной привязки получаемых данных;

– характеристики технологий доставки радиометрической и видео аппаратуры к подводным объектам с использованием подводных аппаратов в судовых условиях, а также при работе с маломерных плавсредств на мелководье.

Важным итогом проведенных исследований можно считать правильность выбранных подходов к методике экспедиционных исследований мест радиоактивных захоронений и определения степени их потенциальной опасности с точки зрения радиационного воздействия на окружающую среду. Уже проведенные исследования не выявили в местах измерений наличие загрязнения техногенными радионуклидами морской среды выше уровней, характерных для районов выполнения работ.

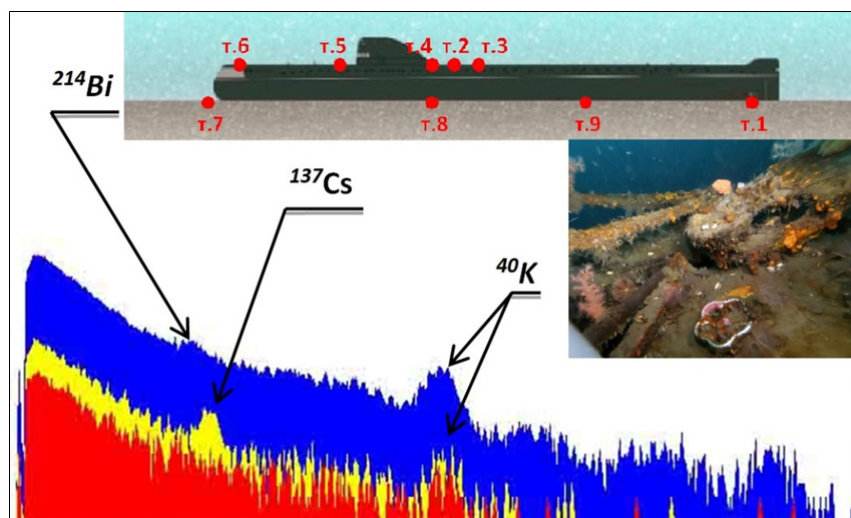


Рис. 16. Спектры, зарегистрированные на корпусе АПЛ К-27 в точках №№ 2, 5 и 9 (обозначены соответственно, желтым, красным и синим цветами);верху – схема расположения точек на корпусе АПЛ, справа – видеоизображение места проведения измерений у пролома в легком корпусе АПЛ (точка 2), где был найден ^{137}Cs (Кикнадзе, 2016).

Удельная активность естественных радионуклидов соответствует типу осадочных пород в местах отбора проб. Использование имеющейся аппаратуры в экспедициях доказало свою эффективность.

Следует отметить, что загрязнение и радиоактивный фон акваторий заливов следует рассматривать как результат взаимодействия многих гидрологических и биологических процессов, испытывающих разномасштабные временные колебания. В этой связи оценку степени радиоактивного загрязнения целесообразно проводить на основе данных многолетних наблюдений. Поэтому необходимо на регулярной основе проводить контроль загрязнения морской среды в районах захоронения радиоактивных отходов и на сопредельных площадях не реже 1 раза в год.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты Кар_а 14-05-05001, Рго_а 13-05-41001), а также РНФ (проект 14-50-00095). Авторы благодарны А.Ю. Казеннову, Б.Я. Розману, А.А. Пронину, О.Л. Кузнецову, А.В. Багницкому, а также экипажу и капитану НИС «Академик Мстислав Келдыш» Ю.Н. Горбачу за содействие в проведении экспериментальных работ и исследований.

Литература

- Айбулатов Н.А.* Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики: М.: ГЕОС, 2000. 307 с.
- Войтов Д.В.* Автономные необитаемые подводные аппараты: М.: МОРКНИГА, 2015. 332 с.
- Вяльцев А.И., Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.* Исследование потенциально опасных объектов в Балтийском море: М.: ФБГНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России, 2015. 272 с.
- Вяльцев А.И., Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.* Исследование потенциально опасных объектов в Черном море: М.: ФБГНУ «Аналитический центр» Минобрнауки России, 2016. 284 с.
- ГНОМ, телеуправляемый подводный аппарат. www.gnomrov.ru
Интернет-ресурс: <http://avtonomka.org/kniga-vracha/1012>
- Казеннов А.Ю.* Мониторинг радиоактивного загрязнения морей // Сборник трудов I-е Александровские чтения, – РНЦ «Курчатовский институт». М., 1996. – С. 31–40.
- Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е.* Технологии мониторинга и некоторые результаты обследования объектов, затопленных в Арктических морях. // Материалы семинара Контактной экспертной группы МАГАТЭ «Исследование АПЛ и объектов с ядерным топливом и радиоактивными отходами, затопленных в Арктических морях, и стратегии радиоэкологической реабилитации региона». – 16–17 февраля 2011, Осло. Норвегия.
- Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Алексеев И.Н. и др.* Современное состояние затопленных объектов с ОЯТ и ТРО в заливах архипелага Новая земля (по данным экспедиций 2004–2006 гг.) // Сборник тезисов докладов международной конференции «Международное сотрудничество по ликвидации ядерного наследия атомного флота СССР», – ЦНИИ АТОМИНФОРМ 16–18 апреля, Москва, 2008. – С. 18.
- Кикнадзе О.Е.* Оборудование, использованное при обследовании ППОО // В отчете об экспедиции «Экосистемы Российской Арктики» 66 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2016.
- Римский-Корсаков Н.А., Казеннов А.Ю., Розман Б.Я.* Технология мониторинга экологии заливов восточного побережья Новой Земли // Материалы научной конференции «Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований», – М.: ООО «АПР», 2015. – С. 258–266.
- Римский-Корсаков Н.А., Кузнецов О.Л., Пронин А.А.* Интерпретация гидролокационных изображений подводных потенциально опасных объектов в Карском море // Труды XIII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский научный центр РАН, 2016. – С. 410–413.
- Римский-Корсаков Н.А., Никитин Г.А.* Гидролокационные технологии и средства исследования дна Мирового океана // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. Под редакцией академика Н. Спасского. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. С. 92–101.
- Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Розман Б.Я.* Некоторые результаты работ по поиску и обследованию подводных потенциально опасных объектов в Карском море в 54 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» // Сборник 9 Всероссийской конференции ГА2008, «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» – С.-Петербург: Наука, 2008. – С. 141–144.
- Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А.* Многоцелевой гидролокатор бокового обзора «Мезоскан-М» // Сборник трудов международной конференции МСОИ-2007. – Т. 2, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН Москва, 2007. – С. 15–20.

- Флинт М.В., Зацепин А.Г., Кучерук Н.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (54-рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2008. Т. 48. № 6. С. 947–951.
- Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. Экосистемы российской Арктики-2015 (63-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // Океанология. 2016. Т. 56. № 3. С. 499–501.
- Chernyaev A., Gaponov I., Kazennov A. Direct methods for radionuclides measurement in water environment // Journal of Environmental Radioactivity. No. 72. 2004. P. 187–194.
- IMAGENEX MODEL 872 “YELLOWFIN” SIDESCAN SONAR. www.imagenex.com

TECHNICAL ASPECTS OF THE ENVIRONMENTAL RESEARCH OF KARA SEA WESTERN PART

S.G. Poyarkov¹, N.A. Rimsky-Korsakov^{1,2}, M.V. Flint¹

¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovskiy prospect, Moscow, 117997, Russia, e-mail: nrk@ocean.ru, m_flint@ocean.ru*

²*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia
e-mail: nrk@ocean.ru (<mailto:nrk@ocean.ru>)*

Submitted 10.10.2017, accepted 25.12.2017

The article is devoted to the analysis of Instruments and methods of underwater research, which were used to study the ecology of the Kara Sea solid radioactive waste (SRW) dumping regions, as well as to examine the condition of radiation-hazardous objects. The article deals with technical and methodical solutions to the problems of searching for underwater objects and studies of the morphology of the bottom relief using sonar methods. An important stage in the process of research of underwater radiation-hazardous objects is their identification and determination of compliance with archival data. These operations are carried out using underwater video systems, allowing to visually determine the state of underwater objects and protective barriers separating sources of radioactivity from the environment. The state of these barriers is also assessed by the levels of radioactivity outside the objects and on the adjacent areas of the bottom using underwater gamma spectrometers. Sonars, video systems and gamma spectrometers are delivered to the objects of research with the help of underwater instruments carriers. These include towed, remote-controlled and autonomous uninhabited underwater vehicles (UTSI, ROV and AUV). UTSI and AUV are used mainly for work on specified routes with sonar or video equipment. ROVs are used for objects inspection and visually controlled targeted gamma-spectrometric measurements and sampling. This technology was developed in the process of marine research of SRW dumping regions in the Kara Sea, it allowed to obtain modern data on environment and flooded objects state and though confirmed the correctness of the selected research methodology.

Keywords: Novaya Zemlya, Kara Sea, radioactive waste, sonar, video system, gamma spectrometer, underwater vehicle, route survey, targeted observations.

References

- Ajbulatov N.A.*, Jekologicheskoe jeho holodnoj vojny v morjah Rossijskoj Arktiki: Moskva: GEOS, 2000, 307 p.
- Chernyaev, A. I. Gaponov, A. Kazennov*, Direct methods for radionuclides measurement in water environment, *Journal of Environmental Radioactivity*, No. 72, 2004, pp. 187–194.
- Flint M.V., Poyarkov S.G., Rimskii-Korsakov N.A.*, Ecosystems of the Russian Arctic-2015 (63rd

- Cruise of the research vessel Akademik Mstislav Keldysh), *Oceanology*, 2016, Vol. 56, No. 3, pp. 459–461.
- Flint M.V., Zatsepin A.G., Kucheruk N.V., Poyarkov S.G., Rimskij-Korsakov N.A., Multidisciplinary studies of the ecosystem of the Kara Sea: Cruise 54 of R/V Akademik Mstislav Keldysh, *Oceanology*, 2008, Vol. 48, No. 6, pp. 883–887.
- GNOM, teleupravljajemyj podvodnyj apparat, www.gnomrov.ru.
- Imagenex model 872 “yellowfin” sidescan sonar, www.imagenex.com
- Internet-resurs: <http://avtonomka.org/kniga-vracha/1012>.
- Kazenov A.Ju., Monitoring radioaktivnogo zagrjaznenija morej, Sbornik trudov I-e Aleksandrovskie chtenija, RNC «Kurchatovskij institut», Moskva, 1996, pp. 31–40.
- Kazenov A.Ju., Kiknadze O.E., Tehnologii monitoringa i nekotorye rezul'taty obsledovanija ob'ektov, zatoplennyh, v Arkticheskikh morjah, Materialy seminarov Kontaktnoj jekspertnoj grupy MAGATJe «Issledovanie APL i ob'ektov s jadernym toplivom i radioaktivnymi othodami, zatoplennyh v Arkticheskikh morjah, i strategii radiojekologicheskoj rehabilitacii regiona», 16–17 fevralja 2011, Oslo, Norvegija.
- Kazenov A.Ju., Kiknadze O.E., Alekseev I.N. i dr., Sovremennoe sostojanie zatoplennyh ob'ektov s OJaT i TRO v zalivah arhipelaga Novaja zemlja (po dannym jekspedicii 2004–2006 gg.), Sbornik tezisov dokladov mezhdunarodnoj konferencii «Mezhdunarodnoe sotrudnichestvo po likvidacii jadernogo nasledija atomnogo flota SSSR», CNII ATOMINFORM 16–18 aprelja, Moskva, 2008, P. 18.
- Kiknadze O.E., Oborudovanie, ispol'zovannoe pri obsledovanii PPOO, V otchete ob jekspedicii «Jekosistemy Rossijskoj Arktiki» 66 rejsa NIS «Akademik Mstislav Keldysh». Institut okeanologii im. P.P. Shirshova RAN, Moskva, 2016.
- Rimskij-Korsakov N.A., Kazenov A.Ju., Rozman B.Ja., Tehnologija monitoringa jekologii zalivov vostochnogo poberezh'ja Novoj Zemli, Materialy nauchnoj konferencii «Jekosistema Karskogo morja – novye dannye jekspedicionnyh issledovanij», Moskva: OOO «APR», 2015, pp. 258–266.
- Rimskij-Korsakov N.A., Kuznecov O.L., Pronin A.A., Interpretacija gidrolokacionnyh izobrazhenij podvodnyh potencial'no opasnyh ob'ektov v Karskom more, Trudy XIII Vserossijskoj konferencii «Prikladnye tehnologii gidroakustiki i gidrofiziki», Sankt-Peterburg, Sankt-Peterburgskij nauchnyj centr RAN, 2016, pp. 410–413.
- Rimskij-Korsakov N.A., Nikitin G.A., Gidrolokacionnye tehnologii i sredstva issledovanija dna Mirovogo okeana, Podvodnye tehnologii i sredstva osvoenija Mirovogo okeana. Pod redakciej akademika N. Spasskogo, Moskva: Izdatel'skij dom «Oruzhie i tehnologii», 2011, pp. 92–101.
- Rimskij-Korsakov N.A., Pronin A.A., Rozman B.Ja., Nekotorye rezul'taty rabot po poisku i obsledovaniju podvodnyh potencial'no opasnyh ob'ektov v Karskom more v 54 rejse NIS «Akademik Mstislav Keldysh», Sbornik 9 Vserossijskoj konferencii GA2008, «Prikladnye tehnologii gidroakustiki i gidrofiziki», S.-Peterburg: Nauka, 2008, pp. 141–144.
- Rimskij-Korsakov N.A., Sychev V.A., Mnogocelevoj gidrolokator bokovogo obzora «Mezoskan-M», Sbornik trudov mezhdunarodnoj konferencii MSOI-2007, Vol. 2, Institut okeanologii im. P.P. Shirshova RAN, Moskva, 2007, pp. 15–20.
- Vjalyshev A.I., Nersesov B.A., Rimskij-Korsakov N.A., Issledovanie potencial'no opasnyh ob'ektov v Baltijskom more: M.: FBGNU «Analiticheskij centr» Minobrnauki Rossii, 2015, 272 p.
- Vjalyshev A.I., Nersesov B.A., Rimskij-Korsakov N.A., Issledovanie potencial'no opasnyh ob'ektov v Chernom more: M.: FBGNU «Analiticheskij centr» Minobrnauki Rossii, 2016, 284 p.
- Vojtov D.V., Avtonomnye neobitaemye podvodnye apparaty, Moskva: MORKNIGA, 2015, 332 p.