

ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЛАНДШАФТОВ В КАРСКОМ МОРЕ

В. О. Муравья^{1,2}, И. М. Анисимов¹

¹ *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36;*

² *Московский физико-технический институт,
Россия, 141700, Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9,
e-mail: muravya.vo@ocean.ru*

Работа посвящена описанию методики поиска, идентификации, уточнения координат, наблюдения и исследования окружающей среды, в том числе подводных потенциально опасных объектов в Карском море и заливах архипелага Новая Земля, с использованием оборудования, подобранного опытным путем по итогу многолетних экспедиций.

Ключевые слова: Карское море, радиоактивные отходы, экология, ТНПА, подводные объекты, поиск, экспедиционные работы, подводные наблюдения

Введение

Утилизация радиоактивных отходов (РАО) напрямую связана с периодом развития атомной энергетики. В конце 50-х годов прошлого столетия появилась необходимость в безопасном захоронении твердых радиоактивных отходов (ТРО). Одним из распространенных методов в мировой практике стал сброс РАО в открытое море. В 60–70 годах многие страны, включая СССР, использовали эту практику. По данным МАГАТЭ, до 1982 г. 14 стран (без СССР) сбросили в океан 1,24 МКи РАО, в основном в северо-западной Атлантике (Сивинцев и др., 2005).

СССР и затем Россия с 1957 по 1993 гг. производили сброс РАО, образовавшихся в основном в результате деятельности Военно-Морского Флота, в Арктических и Дальневосточных морях (Казеннов и др., 2016). В Карское море было сброшено более 1 МКи активности, что составляет 97 % всех отечественных сбросов (рисунок 1). В настоящее время эта активность за счет радиоактивного распада снизилась более, чем в 10 раз, – до ~3 ПБк (100 кКи) и определяется в основном долгоживущими радионуклидами ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ⁶⁰Co (Сивинцев и др., 2005; Большагин и др., 2020).

Всего в Карском море было затоплено ~17 000 контейнеров, элементов атомных энергетических установок и ядерных реакторов различных конструкций, в том числе с невыгруженными активными зонами, а также 4 реакторных отсека, экранная сборка атомного ледокола «Ленин» и атомная подводная лодка (АПЛ) «К-27» (рисунок 1) (Саркисов и др., 2015). Первые поисковые работы с детальными исследованиями

радиоактивного загрязнения морской среды в районах захоронения РАО были проведены в российско-норвежских экспедициях 1992–1994 гг. В этот же период были выявлены несоответствия в данных о местах затопления, что скорее всего связано с несовершенством навигационного оборудования того времени (Никитин, 2009). В 2001 г. на МЧС России было возложено ведение Реестра ППОО (в т. ч. РАО) (Казеннов и др., 2016; Постановление правительства РФ, 2001; Реестр ППОО МЧС России, 2019).

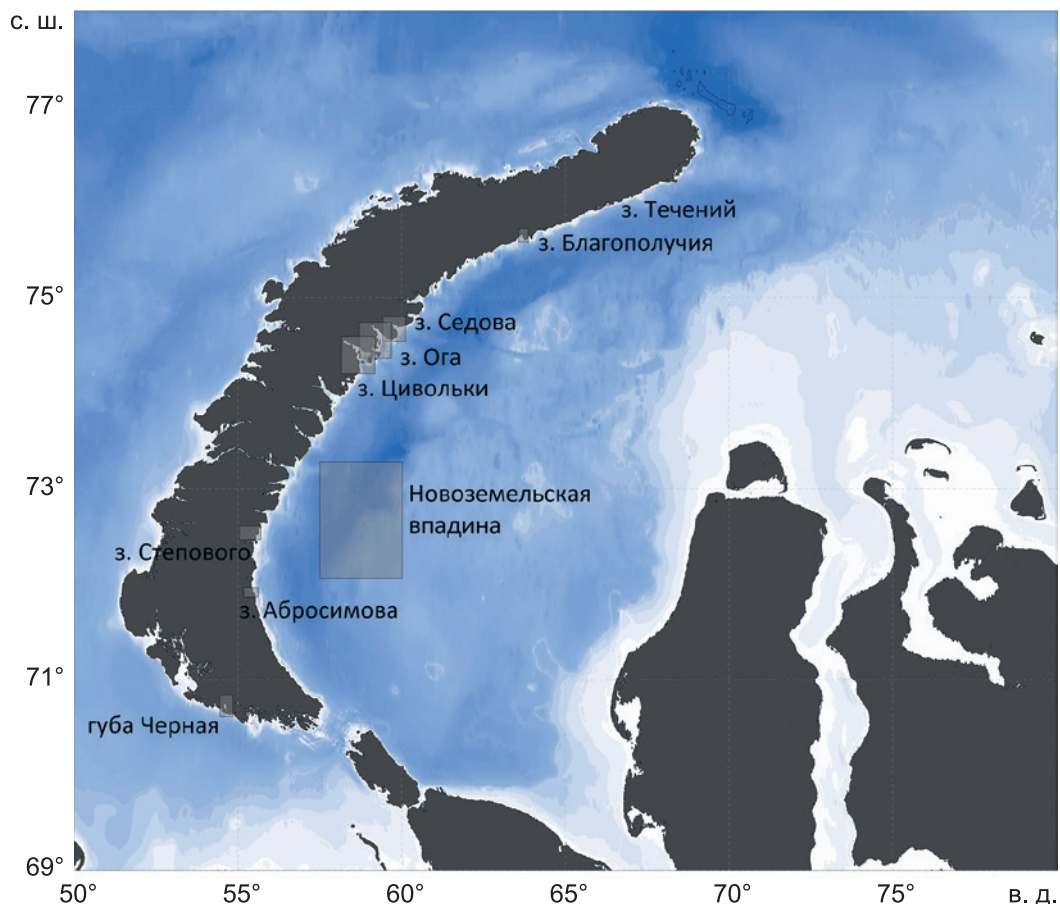


Рис. 1 – Карта районов затоплений ТРО в Карском море

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН проводит систематическую экспедиционную работу в морях полярной зоны (Поярков и др., 2017). За период с 2004 по 2020 гг. было проведено 10 экологических экспедиций, по результатам которых было обнаружено и исследовано порядка 45 % захоронений. С 2021 г. совместно с Национальным Исследовательским центром «Курчатовский институт» (НИЦ КИ) и МЧС России было проведено 3 комплексных экспедиции в Карское море исключительно с целью поиска и исследования затопленных потенциально опасных объектов (Римский-Корсаков и др., 2024). В рамках этих работ были уточнены координаты и идентифицированы 58.6 % от всех затопленных объектов в Карском море.

Целью данной работы является разработка методов, направленных на повышение эффективности поиска и идентификации объектов с последующими экологическими и радиационными исследованиями.

Материалы и методы

Захоронения РАО располагаются на различных глубинах, что требует применения разнообразных методик для их поиска и исследования. Глубина, на которой находятся эти объекты, может варьироваться от мелководья (например, в заливах архипелага Новая Земля) до значительных глубин (например, Новоземельская впадина, которая имеет среднюю глубину 350 м), что непосредственно влияет на выбор оборудования и технологий, используемых в исследовательских экспедициях. Стоит отметить, что в зарубежной практике радиоактивные отходы затопляли на глубинах свыше 1000 м, зачастую более 3000 м, что исключало необходимость дальнейшего мониторинга в связи с уверенностью в безопасности таких операций (Сивинцев и др., 2005; IAEA, 1991). Тем не менее, благодаря работе Меркушова (2001), были учтены технологии и подходы, используемые зарубежными специалистами при проведении подобных работ, что позволило расширить методологические основы исследования.

В ограниченных акваториях, таких как узкие заливы или мелководные участки, съемка осуществляется с борта катера (рисунок 2а). В других случаях используется научно-исследовательское судно (НИС) (рисунок 2б).

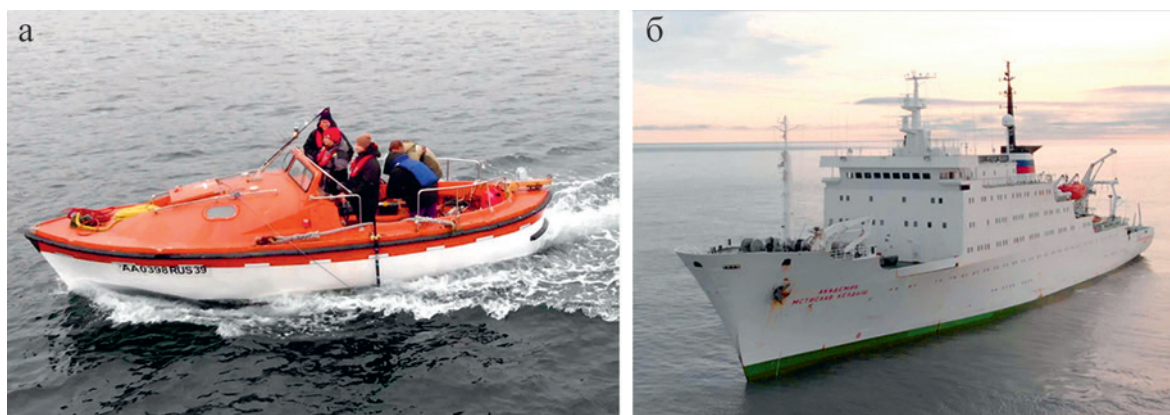


Рис. 2 – Судовой моторный катер (а), научно-исследовательское судно «Академик Мстислав Келдыш» (б)

Методика поиска и исследования подводных радиационно опасных затопленных объектов включает гидролокационную съемку, визуальный осмотр с использованием подводных аппаратов и диагностику радиационной обстановки при помощи гамма-спектрометров. Такая последовательность действий позволяет комплексно исследовать захоронения РАО и оценить их состояние.

Методика работы основана на многолетнем опыте целенаправленных наблюдений и радиационных измерений в заливах Новой Земли. Исследования проводились учеными Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН в сотрудничестве с коллегами из НИЦ КИ, Центра подводных исследований Русского географического общества (ЦПИ РГО) и Центра по проведению спасательных операций особого риска

(ЦСООР) «Лидер» МЧС России. В процессе работы использовались гидролокаторы бокового обзора (ГБО): «Мезоскан-Т», «Микросаунд» и “YellowFin” (Римский-Корсаков, 2011), а также телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) мини-класса «СуперГНОМ» и «РБ-300» при погружениях с борта судового катера, а также ТНПА осмотрового класса “SeaEye Falcon” и “Argus Mini System” при погружениях с борта научно-исследовательского судна (Муравья и др., 2024). Детальный поиск подводных объектов и маршрутная видеосъемка велись с использованием буксируемого необитаемого подводного аппарата (БНПА) «Видеомодуль» (Анисимов и др., 2023). Радиационные измерения велись с помощью гамма-спектрометров типа РЭМ, разработанных в НИЦ КИ, которые устанавливались на ТНПА (Казеннов и др., 2023).

Поиск РАО

Первый этап в работе на подводных объектах представляет собой гидролокационную съемку с целью поиска и уточнения координат элементов захоронения РАО. Существует два основных типа съемки: маршрутная и площадная (по системе галсов). Маршрутная съемка применяется для исследования протяженных площадей и объектов, например, съемка поверхности дна вдоль линии предполагаемого маршрута прокладки подводного трубопровода или кабеля или контроля состояния такого трубопровода или кабеля. Маршрутная съемка выполняется, как правило, за один проход и при этом наблюдается поверхность дна в полосе обзора используемого средства исследований (ГБО, видеосистема, морской магнитометр и др). Так называемая площадная съемка используется для картирования рельефа поверхности дна и подводных объектов на полигонах и выполняется вдоль маршрута, представляющего собой, как правило, значительное число параллельных галсов, обеспечивающих сплошное перекрытие полос (зон) обзора используемых средств исследований (Меркушов, 2001).

В каждом районе вначале производится поиск с использованием геофизической и навигационной аппаратуры (гидролокаторы бокового обзора, акустический профилограф, морской магнитометр, система спутниковой навигации). Галсы маршрута поиска ориентированы в меридиональном либо широтном направлении, что вызвано удобством последующей стыковки вновь обследованных площадей. При выборе направления галсов конкретной съемки также учитываются метеоусловия в районе на момент работы. Методика гидролокационной съемки подробно рассмотрена в работе (Римский-Корсаков, 2011).

Визуальный осмотр необитаемыми подводными аппаратами

Визуальный осмотр поверхности дна и подводных объектов необитаемыми подводными аппаратами представляет собой наблюдения и съемку объектов с использованием видео- и фотосистем.

При использовании БНПА типа «Видеомодуль» визуальные наблюдения выполняются в следующем порядке:

- в районе работ намечаются маршруты буксировки с учетом расположения объектов исследования, рельефа дна, гидрометеорологических условий (направление волнения, ветра), положения навигационных препятствий (мелководье, береговая линия) и других факторов;
- при исследовании одиночных подводных объектов, как правило, планируется маршрут, представляющий собой систему 4 или 8 взаимно перпендикулярных галсов, протяженностью около 1 м мили, пересекающихся в точке нахождения исследуемого объекта;
- судно-носитель БНПА выводится в точку начала маршрута, на скорости движения 0,4–0,7 узла, где производится спуск БНПА за борт судна и погружение его до установления визуального контакта с дном;
- процесс погружения и проводки БНПА вблизи дна контролируется по показаниям глубомера (датчика давления), эхолота (эхолота) и видеокамер, установленных на БНПА, показания которых передаются на судно и отображаются на дисплее поста управления комплексом БНПА и на дисплее оператора буксирной лебедки;
- в процессе движения БНПА по маршруту ведется постоянный контроль и электронная запись данных космической навигационной системы (КНС) о месте судна, а также глубины места по судовому эхолоту; ведется также запись глубины погружения БНПА и его расстояния до дна. Контролируется длина вытравленного кабель-троса, работа видео, гидролокационного и навигационного оборудования (Римский-Корсаков и др., 2024; Анисимов, 2024).

Другой аппарат, используемый для осмотра подводных объектов, – ТНПА. Интерес к телеуправляемым необитаемым подводным аппаратам объясняется безопасностью и удобством их использования (García et al., 2017; Коноплин и др., 2019). Технология визуальных наблюдений и измерений радиоактивности с помощью аппаратуры, установленной на ТНПА класса «мини», определяется глубиной, на которой находится затопленный объект. На глубинах до 50 м возможно использование ТНПА с борта малогабаритного заякоренного плавсредства (шлюпки, судового катера и т. п.). При этом обеспечивающее судно ложится в дрейф, либо встает на якорь в безопасной точке, максимально приближенной по возможности к объекту. Дальнейшие работы проводятся с вспомогательного плавсредства, имеющего каюту-укрытие для размещения электронной управляющей аппаратуры ТНПА. Плавсредство с малогабаритным ТНПА, энергетическим и навигационным оборудованием, а также группой из 4-х специалистов (моторист, навигатор, оператор ТНПА, оператор гамма-спектрометра), спускается за борт судна. Плавсредство выходит в точку, лежащую в непосредственной близости от обнаруженного объекта с использованием КНС (GPS, ГЛОНАСС) и эхолота. Подход к объекту сопровождается эхолотным промером (Муравья и др., 2024). При обнаружении на экране эхолота искомого объекта, катер ложится в дрейф, чтобы определить скорость и траекторию, по которой происходит его

снос. С учетом полученной информации, производится сброс якоря в непосредственной близости от объекта, в соответствии с правилом выбора длины вытравливания якорного троса по формуле:

$$L_{\text{цепи}} = 4 \times h; L_{\text{цепь+веревка}} = 6 \times h,$$

где L – длина вытравливаемого якорного троса, м.; h – глубина в месте стоянки, м (Ватрунин, 2013).

Допустимый радиус рысканья малого плавсредства, при стоянке на якоре, определяется с учетом правил безопасности и длины имеющегося кабель-троса ТНПА.

Далее осуществляется погружение ТНПА и работа с ним на объекте. Выход ТНПА на объект выполняется визуально или с помощью гидролокатора кругового обзора (ГКО), при его наличии. После установления визуального контакта проводится детальная видеосъемка для окончательной идентификации и оценки состояния объекта, на предмет наличия коррозии и разрушений, которые могут привести к утечке радиоактивных отходов. Затем выполняются измерения параметров окружающей среды, включая радиоактивность. Все забортные работы сопровождаются непрерывным измерением глубин эхолотом и ведением дневника наблюдений, а навигационная привязка обеспечивается КНС (GPS, ГЛОНАСС).

Если глубина в месте нахождения подводных объектов достаточна для постановки обеспечивающего судна на якорь, то работы ведутся непосредственно с судна. После постановки на якорь за борт судна спускается ТНПА, который наводится оператором на объект. Для эффективного ориентирования ТНПА в пространстве при наличии времени и благоприятных погодных условий, при работе на небольших глубинах, непосредственно над исследуемым объектом, желательно установить маркерный буйек. Операция по установке буйка аналогична запуску ТНПА с катера с использованием эхолота.

После визуального контакта с объектом оператор ТНПА производит его обзор, идентификацию, видеосъемку и, если необходимо, измерение радиоактивности с помощью бортового гамма-спектрометра.

Использование ТНПА с борта НИС, стоящего на якоре, затруднено вследствие постоянного изменения его ориентации в пространстве под действием ветра. При этом точка схода кабель-троса ТНПА с судна может изменять свое положение в пределах до 100 м с периодом в несколько минут. Это обстоятельство делает практически невозможным использование даже ТНПА осмотрового класса с длиной кабеля до 600 м в режиме прямого погружения с судна. Работа с дрейфующего судна так же невозможна, так как в режиме удержания судна в точке на движителях существует опасность повреждения кабельной линии гребными винтами главных ходовых и подруливающих машин. Поэтому предпочтительнее осуществлять работу с ТНПА с маломерного плавсредства.

При отработке технологии использования ТНПА для визуального осмотра затопленных объектов использовались различные аппараты, представленные на рисунке 3.

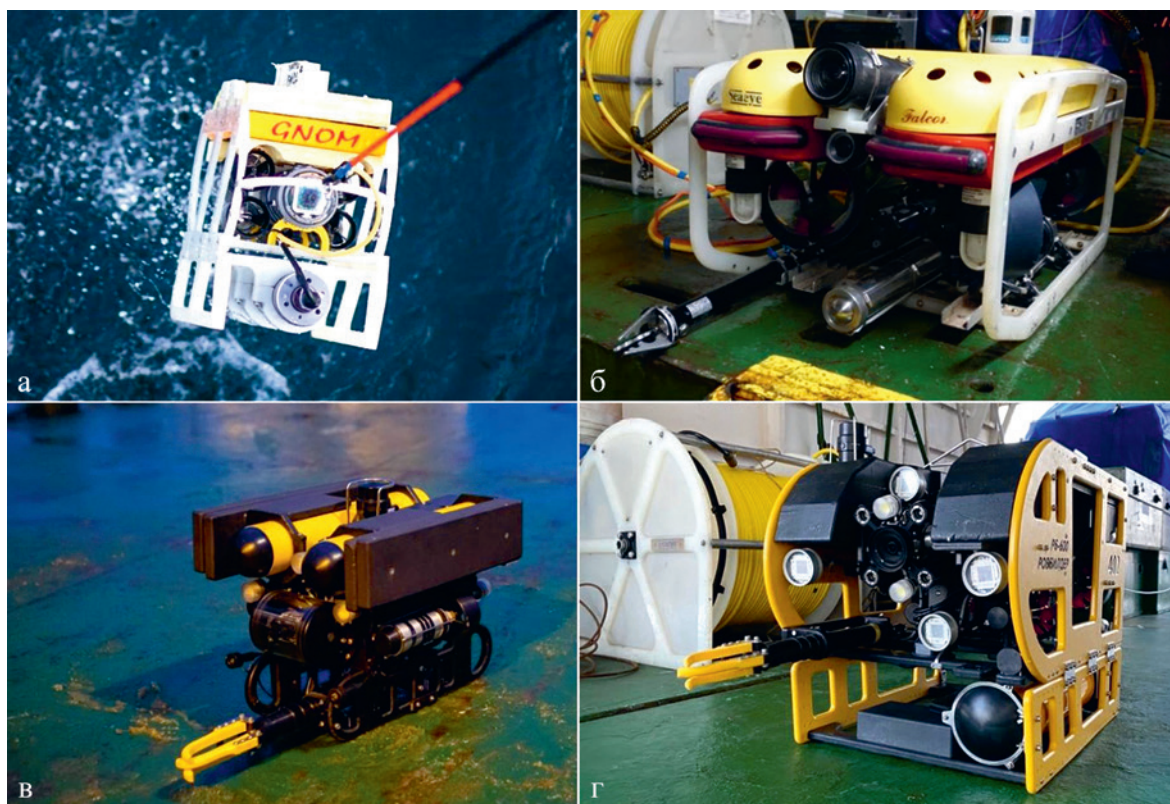


Рис. 3 – Различные ТНПА: **а** – «СуперГНОМ» (<https://gnomrov.ru/>), оборудованный подводным гамма-спектрометром РЭМ-35-2 (производитель НИЦ КИ). Рабочая глубина до 150 м. Масса ~15 кг; **б** – “Falcon” (<https://www.tetis-pro.ru/article/4412/>), оборудованный подводным гамма-спектрометром РЭМ-4-50 (производитель НИЦ КИ). Рабочая глубина до 300 м. Масса ~ 55 кг; **в** – «РБ-300» (<https://www.rovbuilder.com/>) с установленным высокочувствительным подводным гамма-спектрометром РЭМ-4-76 (производитель НИЦ КИ). Рабочая глубина до 100 м., Масса ~ 15 кг; **г** – «РБ-600» (<https://www.rovbuilder.com/>), оборудованный гамма-спектрометром NaI ПАК-Sub (производитель НИЯУ МИФИ). Рабочая глубина до 300 м. Масса ~ 30 кг

Радиационное обследование

Радиационное обследование затопленных объектов проводится с помощью подводных гамма-спектрометров типа РЭМ. Гамма-спектрометры устанавливаются на БНПА или ТНПА и могут работать как в автономном режиме, так и в режиме передачи данных в реальном времени, что зависит от поставленной задачи и наличия канала связи у аппарата. В автономном режиме работы спектрометра измерения проводятся по заданной программе в течение всего времени погружения аппарата (Лесин, 2021). При этом одновременно с зарегистрированным спектром в память спектрометра записывается время его измерения, что позволяет соотнести зарегистрированный спектр с местом его измерения в соответствии с хронограммой работы аппарата. В режиме работы online измерения выполняются целенаправленно в местах, выбранных по показаниям спектрометра и изображениям, получаемым с помощью видеосистемы

ТНПА. Экспозиция единичного измерения выбирается от 50 до 90 секунд, что обеспечивает предел обнаружения радионуклида ^{137}Cs в поверхностном слое донных отложений на уровне 30 Бк/кг мокрого грунта и 0,7 Бк/л – в морской воде (Казеннов и др., 2023; Поярков и др., 2017).

При целенаправленных измерениях радиоактивности соблюдается определенный протокол действий, который включает в себя измерение радиоактивности минимум в четырех точках вблизи каждого обследуемого объекта: 1 – на грунте в отдалении от объекта для фиксации фонового значения (проводится в начале и в конце каждого погружения); 2 – на грунте в 1–2 метрах от объекта; 3 – на грунте вплотную к объекту; 4 – сверху на объекте; 5 – дополнительное измерение в наиболее разрушенном месте при наличии. Все визуальные наблюдения фиксируются с помощью видеозаписи, фотофиксации наиболее важных объектов и ведением дневника наблюдений. Данный протокол составлен на основании принципа действия гамма-спектрометра типа РЭМ, описанного в соответствующей документации Госреестра № 93750-24.

Результаты

По результатам комплексных экспедиций, организованных Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН совместно с НИЦ «Курчатовский институт» и МЧС России, были проведены исследования, подробно рассмотренные в ряде статей (Римский-Корсаков и др., 2023; Римский-Корсаков и др., 2022; Римский-Корсаков и др., 2020; Флинт и др., 2024), а также обобщены в монографии (Казеннов, 2018). На рисунке 4 наглядно продемонстрировано повышение эффективности исследования, связанное с усовершенствованием методов работы. Представлены результаты проведения работ на момент 2004–2015 гг. (работы проводились МЧС России), 2016–2020 гг. (экологические экспедиции ИО РАН), 2021–2024 гг. (совместные целенаправленные экспедиции ИО РАН и НИЦ КИ).

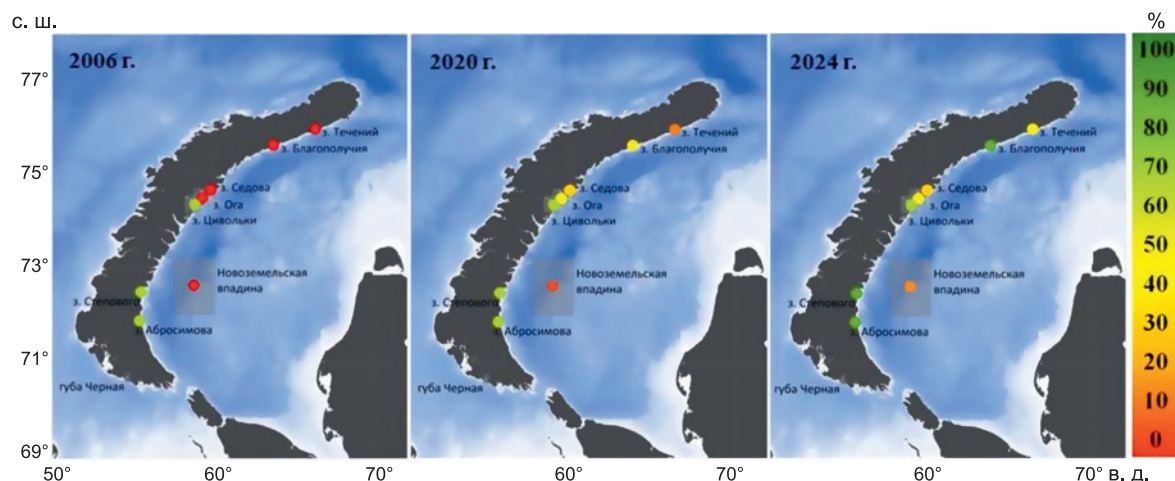


Рис. 4 – Динамика многолетних исследований затопленных потенциально опасных объектов в Карском море в процентном соотношении

При подсчете процента исследованности каждого района учитывалось проведение каждого этапа, описанного в текущей работе. Таким образом, 100 % исследованность обозначает, что в районе найдены и картированы все затопленные объекты, при помощи ГБО проведены визуальный осмотр с целью идентификации и целенаправленные измерения радиоактивности гамма-спектрометром.

Анализируя полученный процент исследованности каждого района в отдельности и комплексно в Карском море и в заливах архипелага Новая Земля, можно сделать вывод, что описанная выше технология внесла большой вклад в изученность захоронений РАО. На момент начала разработки метода (2006 г.) общий процент найденных, идентифицированных и исследованных объектов составлял 25 %. Технология, которой посвящена настоящая работа, отрабатывалась в рамках экспедиций «Экосистемы морей Сибирской Арктики» с 2007 по 2020 гг. и в совместных экспедициях с МЧС России, что привело к общему результату – 45 % найденных, идентифицированных и исследованных объектов. С 2021 г. совместно с Национальным Исследовательским центром (НИЦ) «Курчатовский институт» и МЧС России были проведены 3 комплексные экспедиции в Карское море исключительно с целью поиска и исследования захоронений РАО. В рамках этих работ общий процент исследованности удалось повысить до 58.6 % от всех затопленных объектов в Карском море.

Дальнейшее повышение эффективности проводимых исследований существенно ограничивается отсутствием разрешений на осуществление научной деятельности в ряде заливов, таких как Абросимова, Цивольки, Ога и Седова в течение последних нескольких лет. Это обстоятельство приводит к невозможности осуществления поиска оставшихся ненайденных затопленных объектов, а также мониторинга состояния ранее обнаруженных. Помимо этого, в некоторых районах возникают дополнительные препятствия природного характера, такие как приливные течения или повышенная мутность из-за стока реки (Муравья и др., 2025), что требует корректировки методики и учета особенностей каждого региона. Дополнительный феноменологический анализ района позволит повысить эффективность проводимых исследований.

В 2024 г. с применением рассмотренной методики были получены значительные результаты в экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК) в Карское море (97-й рейс). В заливе Степового с использованием ТНПА «СуперГНОМ» были впервые идентифицированы и обследованы контейнеры, обнаруженные экспедицией НИС АМК в 2021 г. (85-й рейс). В Новоземельской впадине картировано обширное скопление элементов ТРО, затопленных с борта дрейфующего судна, маршрут которого соответствует направлению маршрута, указанному в архивных источниках (Сивинцев и др., 2005). В заливе Течений с использованием высокоразрешающего многолучевого эхолота и ТНПА «СуперГНОМ» получены гидрографические материалы, а также видеоизображения места затопления «Лихтера-4». Останки судна, в течение 36 лет подвергавшегося ледовому воздействию айсбергов и торосов, лежат на глубине 31 м, сильно присыпанные терригенными осадками.

По итогам работ, проведенных в 2024 г., можно прийти к выводу, что радиационная обстановка в исследованных акваториях удовлетворительная. Влияния

затопленных потенциально опасных объектов с ТРО на состояние экосистемы в настоящее время не выявлено. Результаты исследований и наблюдений будут использованы для прогнозирования возможных чрезвычайных ситуаций в районах нахождения затопленных радиоактивных объектов и выработки мер по предупреждению экологических бедствий, а также занесены в Реестр ППОО РФ.

Заключение

Рассмотренная технология исследования подводных объектов в Карском море с использованием подводных аппаратов и гидролокационных методов поиска позволила получить новые данные о состоянии окружающей среды акваторий, где присутствуют массовые захоронения радиоактивных отходов.

Исследование и контроль состояния ППОО в Карском море являются важными задачами для охраны экосистем Арктики. Загрязнение воды и донных осадков, вызванное разрушением защитных оболочек этих объектов, может привести к распространению радиоактивных загрязнителей на всю акваторию Карского моря. Кроме того, изменение климата и таяние льдов могут усугубить проблему, способствуя вредному воздействию этих объектов на экосистему. Необходимы комплексные исследования, включая поиск, обследование и мониторинг состояния объектов, и оценку их влияния на биологическое разнообразие региона.

Благодарности. Авторы благодарят экипаж НИС «Академик Мстислав Келдыш» и его капитана Горбача Ю. Н., сотрудников НИЦ «Курчатовский институт» Алексеева И. Н., Калмыкова С. А. и Никитина А. О. за консультации по вопросам работы гамма-спектрометров РЭМ и непосредственное участие в сборе и обработке данных, сотрудников Центра по проведению спасательных операций особого риска «Лидер» (ЦСООР «Лидер») МЧС России: Федотова А. А., Рябцева И. К. и Джума-мурадова И. А. в работе с ТНПА, а также Римского-Корсакова Н. А., Книвеля Н. Я., Кикнадзе О. Е. Щеглову Я. В., Флинта М. В. и Пояркова С. Г., которые на протяжении нескольких лет организовывали крупные комплексные экспедиции в Карское море.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0024). Участие в экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» профинансировано из средств проекта Российского научного фонда № 23-17-00156.

Список литературы

1. *Анисимов И. М.* Исследование и разработка технологии визуальных наблюдений с борта глубоководных буксируемых аппаратов: Дисс. кандидата. техн. наук (01.06.17) / Анисимов Иван Михайлович; Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Москва. 2024.
2. *Большагин А. Ю., Вялышев А. И., Долгов А. А., Зиновьев С. В., Ермаков С. Г., Котосорова М. Н., Хоруженко А. Ф.* Оценка вероятности чрезвычайных ситуаций с подводными радиационно опасными объектами Карского моря // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т. 17. №. 1 (63). С. 48–53.
3. *Ватрунин В.* Яхтенный капитан: Учебно-практическое пособие для владельцев парусных и моторных яхт. М.: СмартБук, 2013. 202 с.: ил.
4. *Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Королев А. В.* Ядерное наследие в Арктике // Российские полярные исследования. 2016. № 1 (23). С. 9–11.
5. *Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Калмыков С. А., Никитин А. О.* Применение подводных высокочувствительных гамма-спектрометров при проведении радиационного мониторинга состояния подводных ядерно и радиационно опасных объектов // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XVIII международной научно-технической конференции. М.: ИО РАН, 2023. Т. 1. С. 172–176. <https://doi.org/10.29006/978-5-6045110-8-4-2023>.
6. *Казеннов А. Ю., Нерсесов Б. А., Римский-Корсаков Н. А.* Экспедиционные исследования экологии морей Российской Арктики. М., 2018. 307 с. ISBN 978-5-904670-47-4.
7. *Коноплин А. Ю., Денисов В. А., Даутова Т. Н., Кузнецов А. Л., Московцева А. В.* Технология использования ТНПА для комплексного исследования глубоководных экосистем // Подводные исследования и робототехника. 2019. №. 4. С. 4–12. <https://doi.org/10.25808/24094609.2019.30.4.001>.
8. *Лесин А. В., Анисимов И. М.* Применение волоконно-оптической линии связи для работы с буксируемыми необитаемыми подводными аппаратами // Экология гидросферы. 2021. № 1 (6). С. 61–68.
9. *Меркушов Н. С.* Состояние и направления развития технических средств и методов океанографических исследований в интересах ВМС (по материалам зарубежной печати). СПб.: Издание ГУНиО МО, 2001.
10. *Муравья В. О., Анисимов И. М., Лесин А. В., Римский-Корсаков Н. А.* Технология исследований и наблюдений поверхности дна акваторий и подводных потенциально опасных объектов с помощью телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов // Комплексные исследования Мирового океана: Материалы VIII Всероссийской научной конференции молодых ученых. Владивосток, 13–17 мая 2024 года. Владивосток: Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, 2024. С. 636–637.
11. *Муравья В. О., Недоспасов А. А., Анисимов И. М.* Учет гидрологических особенностей акватории при исследовании ППО // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2025): Материалы XIX Международной научно-технической конференции. Том II. М.: Издательство Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, 2025. С. 16–19.
12. *Никитин А. И.* Натурные исследования последствий сброса и захоронения радиоактивных отходов в моря северного и дальневосточного регионов Российской Федерации: Дисс. Институт глобального климата и экологии Российской академии наук и Федеральной службы РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2009.

13. Постановление Правительства РФ от 28.06.2001 г. № 486 «О совершенствовании деятельности по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на подводных потенциально опасных объектах».
14. Поярков С. Г., Римский-Корсаков Н. А., Флинт М. В. Технические аспекты исследований окружающей среды западной части Карского моря // Океанологические исследования. 2017. Т. 45. №. 1. С. 171–186. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2017.45\(1\).13](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).13).
15. Реестр подводных потенциально опасных объектов во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации // Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019, 115 с.
16. Римский-Корсаков Н. А., Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Пронин А. А., Анисимов И. М., Лесин А. В., Муравья В. О. Исследование объектов, представляющих экологическую угрозу, в заливе Ога (Новая Земля, Карское море) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 9. С. 29–34.
17. Римский-Корсаков Н. А., Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Пронин А. А., Анисимов И. М., Лесин А. В., Муравья В. О. Исследование объектов, представляющих экологическую угрозу, в заливе Цивольки (Новая Земля, Карское море) // Океанологические исследования. 2023. Т. 51. №. 3. С. 73–83.
18. Римский-Корсаков Н. А., Книвель Н. Я., Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Басин А. Б., Пронин А. А. Радиационно опасные объекты в Российской Арктике (85-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море) // Океанология. 2022. Т. 62. №. 3. С. 495–498.
19. Римский-Корсаков Н. А. Технология исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами: Дис. док. техн. наук (25.00. 28) / Римский-Корсаков Николай Андреевич; Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Москва, 2011.
20. Римский-Корсаков Н. А., Флинт М. В., Казеннов А. Ю., Анисимов И. М., Поярков С. Г., Пронин А. А., Тронза С. Н. Результаты исследования объектов, представляющих экологическую угрозу, в заливе Абросимова (Новая Земля, Карское море) // Океанология. 2020. Т. 60. №. 5. С. 720–728.
21. Римский-Корсаков Н. А., Книвель Н. Я., Флинт М. В., Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Анисимов И. М., Тихонова Н. Ф. Технологии и результаты исследований объектов, представляющих экологическую угрозу, в Новоземельской впадине // Океанологические исследования. 2024. Т. 52. №. 3. С. 133–148.
22. Саркисов А. А., Сивинцев Ю. В., Высоцкий В. Л., Никитин В. С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. Радиологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2015. 699 с.: ил., карт. ISBN 978-5-9907220-0-2.
23. Сивинцев Ю. В., Вакуловский С. М., Васильев А. П. Радиоэкологические последствия затопления радиоактивных отходов в морях, омывающих Россию («Белая книга-2000»). М.: ИздАТ, 2005.
24. ТНПА “Falcon”. <https://www.tetis-pro.ru/article/4412/> (дата обращения: 20.03.2025).
25. ТНПА “RovBuilder”. <https://www.rovbuilder.com/> (дата обращения: 20.03.2025).
26. ТНПА «СуперГНОМ». <https://gnomrov.ru/> (дата обращения: 20.03.2025).
27. Anisimov I. M., Zalota A. K., Lesin A. V., Muravya V. O. Aspects of the towed underwater vehicle “videomodule”: utilization for surveying underwater objects and benthic fauna // Oceanology. 2023. Vol. 63. No. 5. P. 733–743.

28. Flint M. V., Poyarkov S. G., Rimsky-Korsakov N. A., Knivel N. J., Miroshnikov A. Y. Ecosystems of Siberian Arctic Seas–2023: (92^d cruise of research vessel “Akademik Mstislav Keldysh” in the Kara Sea). *Oceanology*. 2024. Vol. 64. No. 3. P. 550–553.
29. García J. C., Patrão B., Almeida L., Pérez J., Menezes P., Dias J., Sanz P. J. A natural interface for remote operation of underwater robots // *IEEE computer graphics and applications*. 2015. Vol. 37. No. 1. P. 34–43. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.118>.
30. Inventory of Radioactive Material Entering the Marine Environment: Sea Disposal of Radioactive Waste / IAEA. [P. 1.], 1991. 76 p. (IAEA-TECDOK-588).

Статья поступила в редакцию 02.04.2025, одобрена к печати 30.06.2025.

Для цитирования: Муравья В. О., Анисимов И. М. Технология исследований подводных объектов и ландшафтов в Карском море // *Океанологические исследования*. 2025. № 53 (3). С. 190–204. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(3\).11](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(3).11).

THE RESEARCH METHODOLOGY FOR STUDYING UNDERWATER OBJECTS AND LANDSCAPES IN THE KARA SEA

V. O. Muravya^{1,2}, I. M. Anisimov¹

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia;

² Moscow Institute of Physics and Technology,
9, Institutsky lane, Dolgoprudny, Moscow region, 141700,
e-mail: muravya.vo@ocean.ru

The given study describes methods of searching, identifying and specifying the coordinates of potentially hazardous underwater facilities, as well as observing and researching the environment in the Kara Sea and the bays of the Novaya Zemlya archipelago. It has been achieved due to using equipment that was selected following long-term expeditions.

Keywords: ROV, search and survey of sunken objects, expeditionary work, underwater photography

Acknowledgements: The study is prepared as part of the IO RAS state assignment (subject No. FMWE-2024-0024). Participation in the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” expedition was financed by the Russian Science Foundation Project No. 23-17-00156.

References

1. Anisimov, I. M., 2024: *Issledovanie i razrabotka tekhnologii vizual'nykh nablyudeniy s borta glubokovodnykh buksiruemykh apparatov*: Dis. kandidata tekhn. nauk (01.06.17) / Anisimov Ivan Mikhailovich; In-t okeanologii im. P. P. Shirshova RAN. Moscow.
2. Anisimov, I. M., A. K. Zalota, A. V. Lesin, and V. O. Muravya, 2023: Aspects of the towed underwater vehicle “videomodule”: utilization for surveying underwater objects and benthic fauna. *Oceanology*, **63** (5), 733–743.

3. Bolshagin, A., A. Vyalyshev, A. Dolgov, S. Ermakov, S. Zinoviev, M. Kotosonova, and A. Khoruzhenko, 2020: Estimation of Emergency Situations Probability with Underwater Radiation Hazardous Objects of the Kara Sea. *Civil Security Technology*, **17**, 1 (63), 48–53.
4. Flint, M. V., S. G. Poyarkov, N. A. Rimsky-Korsakov, N. J. Knivel, and A. Y. Miroshnikov, 2024: Ecosystems of Siberian Arctic Seas–2023: (92^d cruise of research vessel “Akademik Mstislav Keldysh” in the Kara Sea). *Oceanology*, **64** (3), 550–553.
5. García, J. C., B. Patrão, L. Almeida, J. Pérez, P. Menezes, J. Dias, and P. J. Sanz, 2015: A natural interface for remote operation of underwater robots. *IEEE computer graphics and applications*, **37** (1), 34–43, <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.118>.
6. Inventory of Radioactive Material Entering the Marine Environment: Sea Disposal of Radioactive Waste / IAEA. [P. 1.], 1991. 76 p. (IAEA-TECDOK-588).
7. Kazennov, A. Yu., B. A. Nersesov, and N. A. Rimsky-Korsakov, 2018: *Ekspeditsionnye issledovaniya ekologii morei Rossiiskoi Arktiki*, 307 p., ISBN 978-5-904670-47-4.
8. Kazennov, A. Yu., O. E. Kiknadze, S. A. Kalmykov, and A. O. Nikitin, 2023: Application of underwater highly sensitive gamma spectrometers for radiation monitoring of the state of underwater nuclear and radiation hazardous objects. Modern methods and means of oceanological research”. *Proceedings of the XVIII International Conference MSOI-2023*, Vol. II. Moscow, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 172–176, <https://doi.org/10.29006/978-5-6045110-8-4-2023>.
9. Kazennov, A. Yu., O. E. Kiknadze, and A. V. Korolev, 2016: Yadernoe nasledie v Arktike. *Rossiyskie polyarnye issledovaniya*, **1** (23), 9–11.
10. Konoplin, A. Yu., V. A. Denisov, T. N. Dautova, A. L. Kuznetsov, and A. V. Moskovtseva, 2019: Technology of technology of the ROV using for comprehensive research of deep-sea ecosystems. *Underwater Investigations and Robotics*, **4**, 4–12, <https://doi.org/10.25808/24094609.2019.30.4.001>.
11. Lesin, A. V. and I. M. Anisimov, 2021: Fiber-optic communication line application for towed underwater vehicles. *Hydrosphere Ecology*, **1** (6), 61–68, <http://hydrosphere-ecology.ru/239>.
12. Merkushev, N. S., 2001: *Sostoyaniye i napravleniya razvitiya tekhnicheskikh sredstv i metodov okeanograficheskikh issledovaniy v interesakh VMS (po materialam zarubezhnoi pechati)*. Saint Petersburg, Izdanie GUNiO MO.
13. Muravya, V. O., I. M. Anisimov, A. V. Lesin, and N. A. Rimsky-Korsakov, 2024: Tekhnologiya issledovaniy i nablyudeniya poverkhnosti dna akvatorii i podvodnykh potentsial’no opasnykh ob’ektov s pomoshch’yu teleupravlyaemykh neobitaemykh podvodnykh apparatov. Complex Investigations of the World Ocean. *Proceedings of the VIII Russian Scientific Conference of Young Scientists*, Vladivostok, May 13–17, 2024. Vladivostok, NSCMB FEB RAS, 636–637.
14. Muravya, V. O., A. A. Nedospasov, and I. M. Anisimov, 2025: Consideration of the hydrological features of the aquatorium when surveying underwater potentially dangerous object. Modern methods and means of oceanological research”. *Proceedings of the XIX International Conference MSOI-2025*, Vol. II: Moscow, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 16–19.
15. Nikitin, A. I., 2009: *Naturnye issledovaniya posledstviy sbrosa i zakhoroneniya radioaktivnykh otkhodov v morya severnogo i dal’nevostochnogo regionov Rossiiskoi Federatsii*: Dis. – Institut global’nogo klimata i ekologii Rossiiskoi akademii nauk i Federal’noi sluzhby RF po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy.
16. *Postanovlenie Pravitel’sтва RF* ot 28.06.2001 g. No. 486 “O sovershenstvovanii deyatelnosti po preduprezhdeniyu i likvidatsii chrezvychainykh situatsii na podvodnykh potentsial’no opasnykh ob’ektakh”.

17. Poyarkov, S. G., N. A. Rimsky-Korsakov, and M. V. Flint, 2017: Technical aspects of the environmental research of Kara sea western part. *Journal of oceanological research*, **45** (1), 171–186, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2017.45\(1\).13](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).13).
18. *Reestr podvodnykh potentsial'no opasnykh ob'ektov vo vnutrennikh vodakh i territorial'nom more Rossiiskoi Federatsii*. Ministerstvo Rossiiskoi Federatsii po delam grazhdanskoi oborony, chrezvychainym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiinykh bedstviy, FGBOU VO Sankt-Peterburgskii universitet GPS MChS Rossii, 2019, 115 p.
19. Rimsky-Korsakov, N. A., A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, A. A. Pronin, I. M. Anisimov, A. V. Lesin, and V. O. Muravya, 2023: Ecological hazard objects research results at Oga bay (Novaya Zemlya, Kara sea). *International Journal of Applied and fundamental research*, **9**, 29–34.
20. Rimsky-Korsakov, N. A., A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, I. M. Anisimov, A. A. Pronin, A. V. Lesin, and V. O. Muravya, 2023: Ecological hazard objects research results at Tsivolki Bay (Novaya Zemlya, Kara Sea). *Journal of Oceanological Research*, **51** (3), 73–83, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(3\).3](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(3).3).
21. Rimsky-Korsakov, N. A., N. Y. Knivel, A. Y. Kazennov, O. E. Kiknadze, A. B. Basin, and A. A. Pronin, 2022: Radiation Pollution of the Russian Arctic-2021 (Cruise 85th of the R/V “Akademik Mstislav Keldysh”). *Oceanology*, **62**, 430–432, <https://doi.org/10.1134/S0001437022030092>.
22. Rimsky-Korsakov, N. A., 2011: *Tekhnologiya issledovaniya dna akvatorii i podvodnykh ob'ektov gidrolokatsionnymi metodami*: Dis. dok. tekhn. nauk (25.00. 28). Rimskii-Korsakov Nikolai Andreevich; In-t okeanologii im. P. P. Shirshova RAN. Moscow.
23. Rimsky-Korsakov, N. A., M. V. Flint, A. Y. Kazennov, I. M. Anisimov, S. G. Poyarkov, A. A. Pronin, and S. N. Tronza, 2020: Research Results on Ecological Hazard Objects in Abrosimov Bay (Novaya Zemlya, Kara Sea). *Oceanology*, **60** (5), 25–632, <https://doi.org/10.1134/S0001437020050203>.
24. Rimsky-Korsakov, N. A., N. Ya. Knievel, M. V. Flint, A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, I. M. Anisimov, and N. F. Tikhonova, 2024: Potential environmental threat objects investigation at the Novaya Zemlya depression. *Journal of Oceanological Research*, **52** (3), 133–148, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR2024.52\(3\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR2024.52(3).8).
25. ROV “Falcon”, <https://www.tetis-pro.ru/article/4412/> (last accessed in 20.03.2025).
26. ROV “RovBuilder”, <https://www.rovbuilder.com/> (last accessed in 20.03.2025).
27. ROV “SuperGNOM”, <https://gnomrov.ru/> (last accessed in 20.03.2025).
28. Sarkisov, A. A., Yu. V. Sivintsev, V. L. Vysotskii, and V. S. Nikitin, 2015: Atomnoe nasledie kholodnoi voyny na dne Arktiki. *Radiologicheskie i tekhniko-ekonomicheskie problemy radiatsionnoi reabilitatsii morei* Moscow, 699 p: ill., ISBN 978-5-9907220-0-2.
29. Sivintsev, Yu. V., S. M. Vakulovskii, and A. P. Vasil'ev, 2005: *Radioekologicheskie posledstviya zatopeniya radioaktivnykh otkhodov v moryakh, omyvayushchikh Rossiyu* (“Belaya kniga-2000”). Moscow, IzdAT.
30. Vatrugin, V., 2013: *Yahtennyj kapitan: uchebno-prakticheskoe posobie dlya vladel'cev parusnykh i motornykh yaht*. Moscow, SmartBook, 202 p.

Submitted 02.04.2025, accepted 30.06.2025.

For citation: Muravya, V. O. and I. M. Anisimov, 2025: The research methodology for studying underwater objects and landscapes in the Kara Sea. *Journal of Oceanological Research*, **53** (3), 190–204, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(3\).11](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(3).11).