

ТЕХНОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ УГРОЗУ, В НОВОЗЕМЕЛЬСКОЙ ВПАДИНЕ

Н. А. Римский-Корсаков¹, Н. Я. Книвель², М. В. Флинт¹, А. Ю. Казеннов²,
О. Е. Кикнадзе², И. М. Анисимов¹, Н. Ф. Тихонова¹

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

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Россия, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1,
e-mail: Knivel_NY@nrcki.ru

Статья посвящена исследованиям акватории Новоземельской впадины Карского моря, где, согласно архивным данным, затоплены радиоактивные отходы. Исследования касались наблюдений состояния окружающей среды и подводных ядерно- и радиационно опасных объектов, а именно затопленных здесь ядерных реакторов атомного флота, плавсредств, груженых твердыми радиоактивными отходами и множеств групп контейнеров. Исследования проводились с использованием технологии маршрутной гидролокационной и видеосъемки, основанной на применении необитаемых подводных буксируемых аппаратов, разрабатываемых в ИО РАН. Контроль радиационной обстановки обеспечивался с помощью подводных гамма-спектрометров серии РЭМ, разработанных в НИЦ «Курчатовский институт». В результате исследований идентифицированы отдельные объекты и уточнены архивные данные об их местоположении. Выполнены наблюдения бентоса и структуры водной толщи в районе захоронений.

Ключевые слова: Карское море, Новоземельская впадина, радиоактивность, отходы, атомный реактор, подводный аппарат, гидролокатор, видеосистема, маршрутная съемка, гамма-спектрометр

Введение

В конце 50-х годов, когда в мире начала широко развиваться атомная энергетика, возникла проблема утилизации радиоактивных отходов (РАО). В то время распространенным вариантом утилизации РАО стало затопление их в океанах и морях. Эта практика затопления в Мировом океане радиоактивных отходов в 60–70-х гг. была общепринятой для стран, которые активно развивали атомную промышленность и энергетику.

СССР, а позднее Российская Федерация, в 1957–1993 гг. осуществляли сброс РАО в Баренцевом, Карском, Японском и Охотском морях, а также в северо-западной части Тихого океана. Источниками РАО, требующих захоронения в море, были, в основном,

организации, эксплуатирующие атомный флот, а именно Военно-Морской Флот и морские пароходства (Сивинцев и др., 2005).

Объектами затопления в Карском море являлись твердые радиоактивные отходы (ТРО), а именно суда, перевозившие ТРО, отходы эксплуатации атомных энергетических установок в контейнерах, атомные реакторы, в том числе с невыгруженными отработавшим и не отработавшим топливом. Затопления осуществлялись в заливах северного и южного островов Новой Земли, а также в Новоземельской впадине.

В Новоземельской впадине были сделаны крупные захоронения РАО, содержащие ТРО, а также ТРО без упаковки. Здесь, по архивным данным из источников (Сивинцев и др., 2005; Саркисов и др., 2015; Реестр, 2019; Айбулатов, 2000), затоплены 12 судов с грузом ТРО, ЖРО (твердые и жидкие РАО), а также объекты, содержащие отработавшее и не отработавшее ядерное топливо.

На рисунке 1 показаны два основных района затопления РАО (1 – «Север» и 2 – «Центр–Юг»), а также участки этих районов со схемами затопления судов по архивным данным.

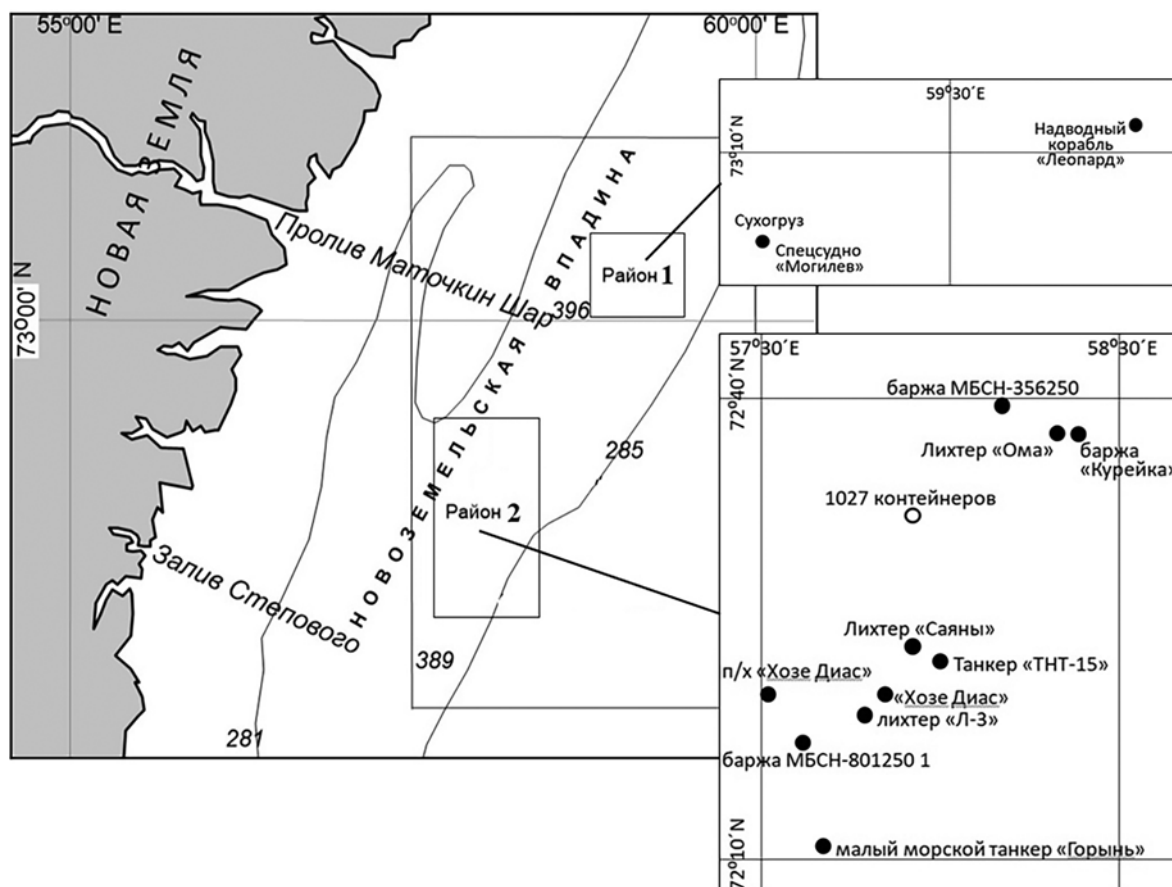


Рис. 1 – Схема затопления РАО в Новоземельской впадине Карского моря, составленная на основе архивных данных из источников (Сивинцев и др., 2005; Саркисов и др., 2015; Реестр, 2019; Айбулатов, 2000)

Результаты

Одним из первых объектов, местоположение которого было подтверждено рядом экспедиций, было судно, первоначально считавшееся самоходной баржей МСБН-801250, затопленной относительно недавно, в 1980 г. (предположительно с достаточно точным определением места затопления). В пользу такой идентификации говорило то, что это затопленное судно является ближайшим к обнаруженному судну по архивным координатам. Похожими являются также его ориентировочные габариты: длина – около 80 м и ширина – 20 м. Место затопления судна было подтверждено в 1993 г. по данным гидролокационных съемок экспедиций ВНИИОкеангеология и ИО РАН на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК), а также в 2013 г. экспедицией ИО РАН на НИС «Профессор Штокман» (126-й рейс). На изображениях (рисунки 2б и 2в) достаточно четко просматриваются детали объекта: кормовая надстройка, труба и носовая мачта. Судно лежит на ровном дне с небольшим креном на правый борт. По данным работы (Синивцев и др., 2005) баржа МСБН-801250 имела на борту 243 м³ радиоактивных отходов, суммарной активностью 118.4 Ки (эквивалент ⁹⁰Sr).

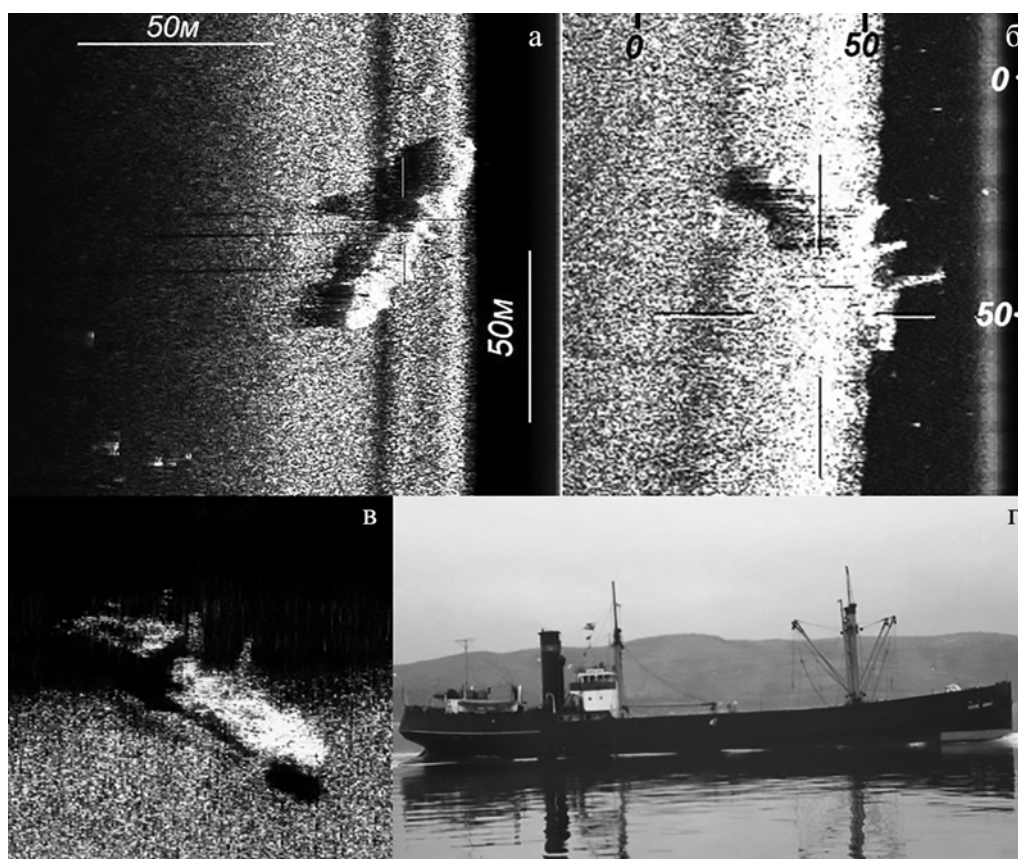


Рис. 2 – Судно на дне Новоземельской впадины в районе затопленной по архивным данным баржи с ТРО – МСБН-801250: а – гидролокационное изображение 2015 г. (63-й рейс НИС «АМК»), б – гидролокационное изображение 2013 г. (126-й рейс НИС «Профессор Штокман»), в – гидролокационное изображение 1993 г. (ВНИИ Океангеология); г – пароход «Хозе Диас». Фотоархив авторов

Еще одна гидролокационная съемка в районе обнаруженного судна была проведена в 2015 г. экспедицией ИО РАН на НИС АМК (63-й рейс). На изображении судна (рисунок 2а) четко прорисованы тени от трубы и *двух* мачт, что вынудило отказаться от первоначальной версии о том, что затопленным судном является баржа МСБН-801250. Под описание гидролокационного изображения больше всего подходил пароход «Хозе Диас» (рисунок 2г), по архивным данным также затопленный неподалеку. На гидролокационном изображении (рисунок 2в) внизу, слева, приблизительно в 25 м от носа судна и рядом с кормой на дне видны несколько мелких целей-объектов неустановленной природы, размером около 2 метров.

Вопрос об идентификации судна, обнаруженного в 1993 г., считался закрытым вплоть до 2023 г. Тогда было принято решение выполнить детальное исследование судна с применением зарекомендовавшей себя к тому времени современной технологии, использующей буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «Видеомодуль». Ранее применение БНПА в режиме синхронной гидролокационной, фото- и видеосъемки позволило получить новые данные при поиске и исследовании в Карском море таких объектов, как реакторный отсек АПЛ «К-19» (Римский-Корсаков и др., 2020), понтон с реакторной сборкой (РС) АЛ «Ленин» (Римский-Корсаков и др., 2023), а также ядерный реактор (ЯР) АПЛ «К-140», затопленный вместе с баржей МБСН-356250 (Римский-Корсаков и др., 2019).

В 2023 г. была выполнена высокоразрешающая гидролокационная и синхронная с ней видеосъемка затопленного судна в экспедиции на НИС «АМК» (92-й рейс). Выполнение съемки планировалось по маршруту, представляющему собой 4 галса, проходящих через заданную точку местоположения затопленного судна в широтном, долготном и двух диагональных направлениях (рисунок 3).

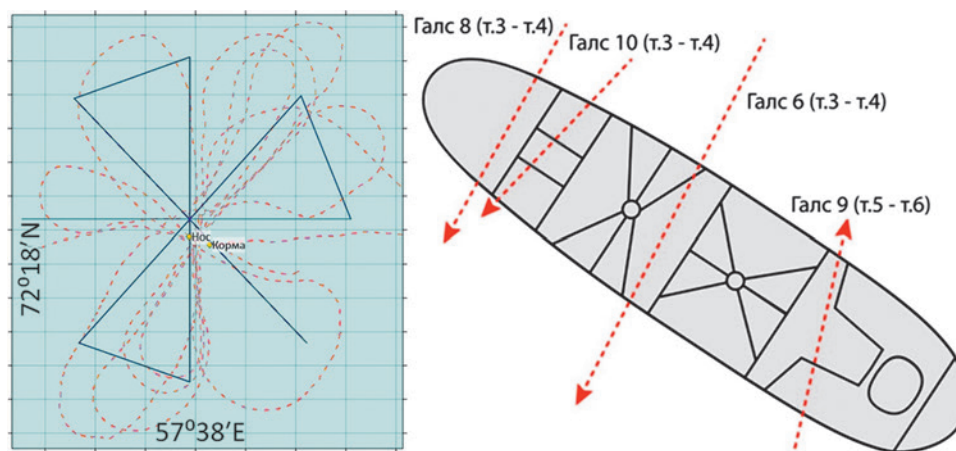


Рис. 3 – Слева: схема движения НИС «АМК» в ходе обследования затопленного судна с помощью БНПА «Видеомодуль». Сплошной синей линией показан запланированный маршрут движения судна, а красной пунктирной линией – путь судна. Двумя точками отмечены положения носа и кормы затопленного судна, определенным по результатам съемки высокочастотным ГБО в составе БНПА «Видеомодуль». Справа: схематическое изображение затопленного судна. Стрелками показаны линии пересечений аппаратом судна, в ходе которых были получены фото- и видеоматериалы

НИС «АМК» прошло маршрут несколько раз, выполнив, таким образом 13 галсов, на 4 из которых удалось пересечь корпус судна (рисунок 3) на расстоянии, позволившем произвести не только гидролокационную съемку корпуса, но также видеозапись и фотографирование объекта. Примеры полученных гидролокационных изображений приведены на рисунке 4.

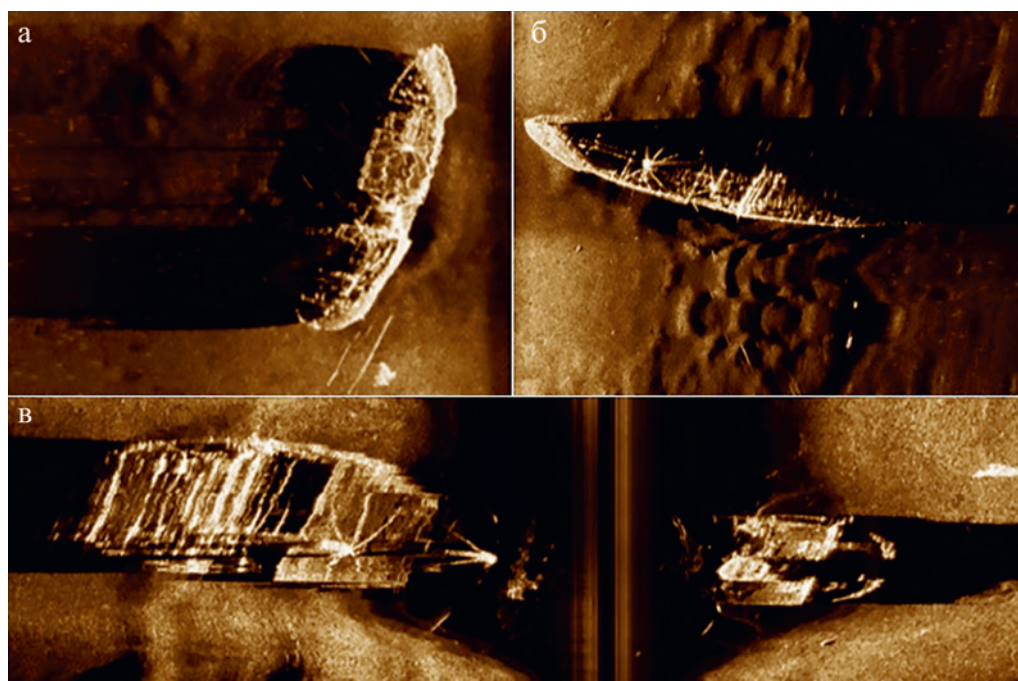


Рис. 4 – Изображения судна, идентифицированного в 2023 г. экспедицией на НИС «АМК» (92-й рейс) как малый морской танкер «Горынь», полученные с использованием ВЧ гидролокатора БНПА «Видеомодуль»: **а** – вид со стороны правого борта, **б** – вид со стороны носовой части, **в** – вид на палубу, корму и нос при проходе с БНПА непосредственно над судном

По результатам гидролокационной съемки были уточнены габаритные размеры судна: длина его составила ~65 м, а ширина ~11 м. Были уточнены координаты местоположения судна и его ориентация в пространстве. Анализ гидролокационных изображений (рисунок 4) и данных подводной видеосъемки (рисунок 5) позволил выявить ряд особенностей конструкции затопленного судна, а сопоставление этих особенностей с фотографиями судов на плаву (рисунок 6) позволило сделать вывод о том, что данное судно не является пароходом «Хосе Диас». Первая особенность – низкий борт в центральной части корпуса (рисунок 6б). На архивных фотографиях парохода «Хосе Диас» (рисунок 2г и 6а) его нет. Вторая особенность – тип мачт. На пароходе «Хосе Диас» обе мачты имеют сдвоенную П-образную конструкцию (рисунок 6а), а на затопленном судне, судя по гидролокационным изображениям, мачты обычные, оборудованные вантами, закрепленными по бортам (рисунок 4). Кроме этого, расстояние от надстройки до уреза кормы и высота трубы различаются, указывая на то, что данное судно не похоже на пароход «Хосе Диас».

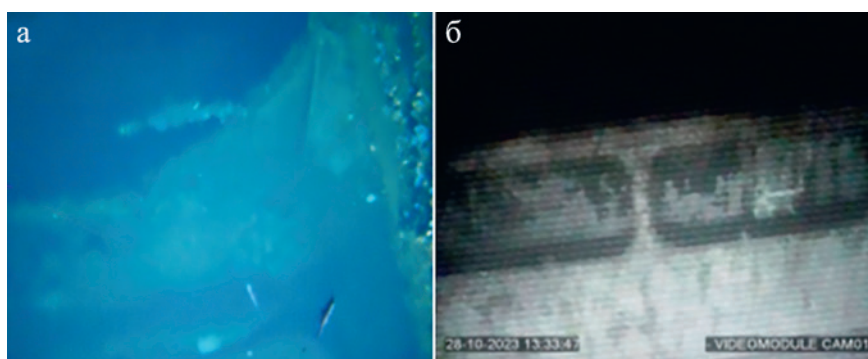


Рис. 5 – Стоп-кадры видеозаписи, полученной при проходе БНПА «Видеомодуль» над ММТ «Горынь». Приведены видеоизображения характерных деталей конструкции корпуса ММТ: **а** – подъем борта в районе палубы бака (см рис. 6б поз. 4), **б** – ограждение шкафута швартовой палубы в кормовой части судна (см. рис. 6б поз. 1)



Рис. 6 – Изображение судов на плаву: **а** – пароход «Хозе Диас» (выделены характерные сдвоенные мачты, также отсутствует вырез в борту); **б** – малый морской танкер проекта 23630 типа «Горынь» (выделены: 1 – ограждение шкафута швартовой палубы в кормовой части судна; 2 – решетчатое ограждение борта главной палубы и выше леера с калиткой; 3 – пешеходный мостик посередине вдоль палубы судна, характерный для танкеров; 4 – плавный подъем борта до уровня палубы бака)

Сравнительный анализ фотографий судов, которые были затоплены в Новоземельской впадине, и их гидролокационных изображений и материалов подводной видеосъемки судна, обследованного в 2023 г., позволяет сделать заключение о том, что это малый морской танкер (ММТ) «Горынь» проекта 23630, затопленный в 1974 г. с грузом жидких радиоактивных отходов. На рисунке 6б представлена фотография ММТ проекта 23630, однотипного с ММТ «Горынь». К характерным идентификационным особенностям конструкции ММТ относятся:

- ограждение шкафута на швартовой палубе под палубой кормовой надстройки;
- форма борта судна и лееров: вдоль низкого борта главной палубы идет ряд пиллерсов, сверху которого находится палуба, огражденная леерами на стойках;
- наличие посередине вдоль палубы пешеходного мостика, характерного для танкеров;
- подъем борта до уровня швартовой палубы в носу судна.

Другая группа объектов была обнаружена в 2015 г. в Новоземельской впадине в экспедиции на НИС «АМК» (63-й рейс). На рисунке 7 приведено гидролокационное изображение этих объектов, полученное с помощью ГБО «Мезоскан». Группа находится в 10 км на северо-восток от рассмотренного выше объекта – ММТ «Горынь». Опираясь на архивные данные, было сделано предположение, что крупными объектами являются транспортный наливной танкер ТНТ-15 (позиция 1 на рисунке 7) и лихтер «Саяны» (позиция 3 на рисунке 7), а остальные мелкие объекты 2 представляют собой россыпь контейнеров с ТРО.

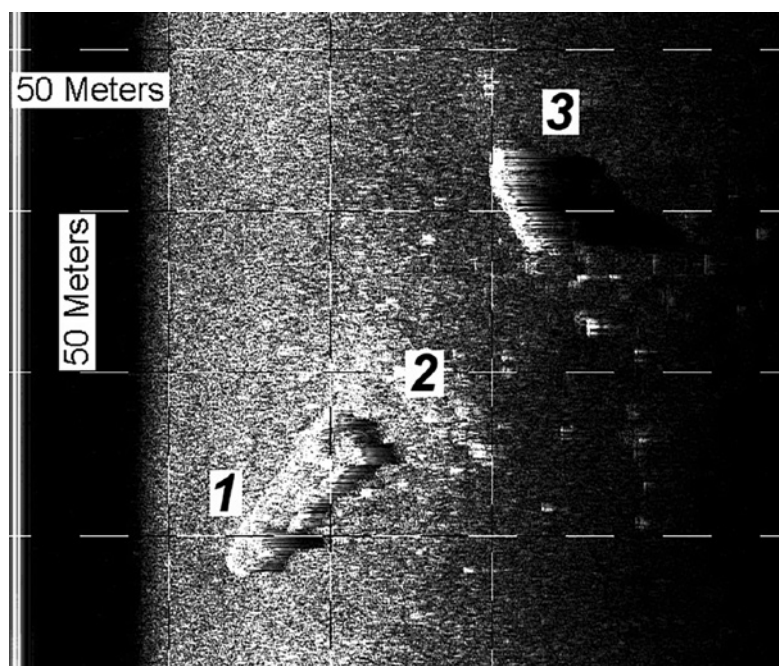


Рис. 7 – Изображение, полученное с помощью гидролокатора «Мезоскан» в Новоземельской впадине в экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» (63-й рейс) в 2015 г. На рисунке обозначено: 1 – предположительно танкер ТНТ-15, 2 – контейнеры с ТРО, 3 – предположительно лихтер «Саяны»

В 2018 г. в 72-м рейсе НИС «АМК» для детального исследования объектов, предположительно считавшихся затопленными танкером ТНТ-15 и лихтером «Саяны», была использована комплексная технология видео и высокоразрешающей гидролокационной съемки на базе БНПА «Видеомодуль». На рисунке 8а представлено гидролокационное изображение объектов, полученное с помощью высокочастотного ГБО с частотно-модулированной посылкой, установленного на БНПА «Видеомодуль». На рисунке 8б – фотография однотипного с ТНТ-15 танкера на плаву. Анализ гидролокационного изображения на рисунке 8а позволяет с большой степенью вероятности утверждать, что при затоплении танкер разломился на две части в районе носовой надстройки, обломок которой находится в 70 м от основной части. Первоначально считалось, что этот обломок есть лихтер «Саяны» (рисунок 7). Между двумя частями корпуса находится россыпь обломков корпуса и внутренних частей судна, которые первоначально были приняты за контейнеры с ТРО. Судно могло разломиться при ударе о грунт, однако более вероятно, что это случилось в результате взрыва, поскольку части судна лежали на значительном расстоянии друг от друга и тонули, по-видимому, по отдельности. Подводные фотографии и видеосъемка в целом подтверждают идентификацию объектов, как двух частей танкера ТНТ-15 проекта 1783, который использовался для транспортировки ЖРО и ТРО в контейнерах и был затоплен, вследствие накопленной остаточной радиоактивности.

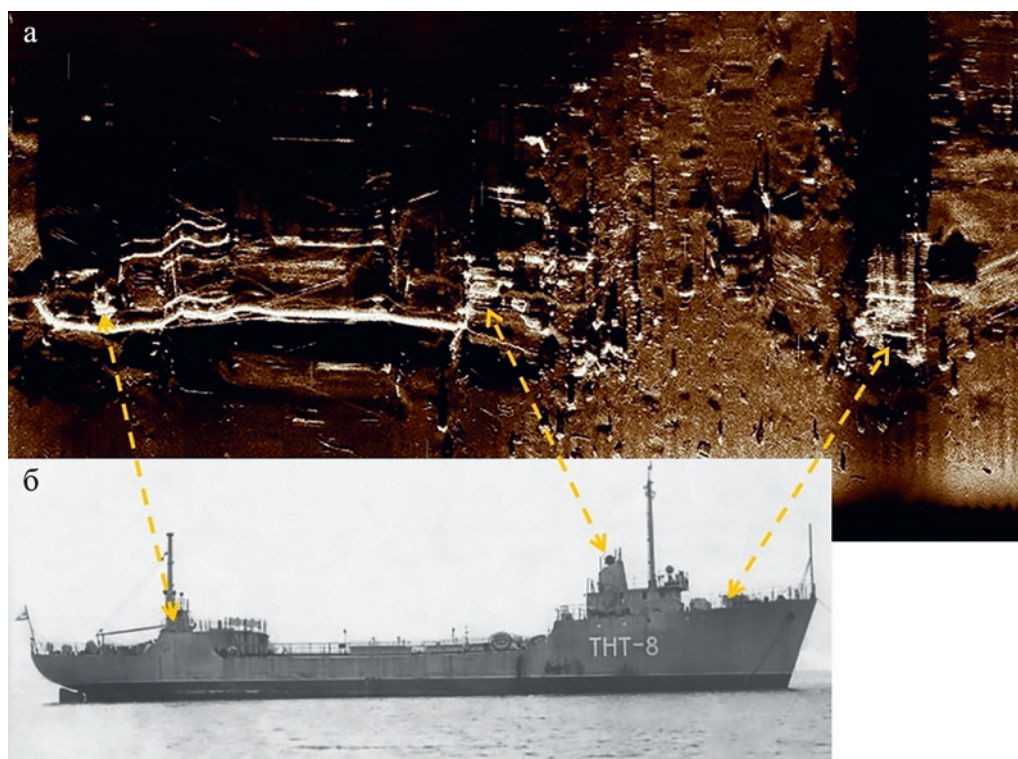


Рис. 8 – Танкер проекта 1783 – аналог танкера ТНТ-15, затопленного в Новоземельской впадине с грузом ТРО : **а** – гидролокационное изображение танкера ТНТ-15, который очевидно при затоплении разломился на две части в районе носовой надстройки – справа изображение части надстройки; **б** – фотография танкера проекта 1783 на плаву

Наиболее опасный объект, который затоплен в Новоземельской впадине, – это ядерный аварийный реактор (ЯР) левого борта АПЛ К-140 (заказ № 421) с невыгруженным ОЯТ. В источнике «Белая книга-2000» (Синивцев и др., 2005) указано на то, что реактор затоплен вместе с баржей типа МБСН-356250 и предварительно помещен в свинцовую оболочку.

Определение точных координат места затопления реактора в Новоземельской впадине ведется с самого начала исследований захоронений РАО в Карском море с 1993 г. С тех пор методом гидролокации бокового обзора были обследованы десятки квадратных километров морского дна в различных экспедициях, в основном ИО РАН, МЧС и НИЦ «Курчатовский институт». Были отобраны многочисленные пробы грунта. Однако до настоящего времени поиски заканчивались безрезультатно.

Положительный результат был достигнут в 2021 г. в 85-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Римский-Корсаков и др., 2022). Тогда было обследовано почти 200 квадратных километров поверхности дна. Непрерывная гидролокационная съемка продолжалась в течение восьми суток. В итоге с помощью гидролокатора бокового обзора (ГБО) «Мезоскан-Г» (Римский-Корсаков, Тронза и др., 2019), был обнаружен новый объект. Изображение объекта однозначно соответствовало затонувшему судну.

Маршрут движения судна с ГБО «Мезоскан-Г» был проложен в виде прямоугольной сетки из 23 долготных галсов, расположенных на расстоянии 2 кабельтовых друг от друга для обеспечения перекрытия полос обзора ГБО при рабочем диапазоне дальности 260 м на один борт. Протяженность одного галса составляла 6 морских миль. Скорость буксировки ГБО – 3 узла.

При движении по галсу № 19 было получено гидролокационное изображение неизвестного объекта (рисунок 9а). Носитель ГБО прошел непосредственно над объектом. При таком режиме гидролокационной съемки, как правило, наблюдаются значительные искажения изображений, которые в данном случае были усилены действием качки судна. В этой связи оперативная интерпретация изображения была затруднена. Полученное изображение приведено на рисунке 9а. Форма объекта вытянутая, длиной 40 м. Для однозначной интерпретации полученного изображения и идентификации зарегистрированного объекта была выполнена его гидролокационная съемка с другого ракурса при проходе по дополнительному широтному галсу, проложенному через место первоначальной регистрации объекта.

На дополнительном галсе по левому борту был повторно зарегистрирован неизвестный объект (рисунок 9б). В этот раз условия съемки были значительно лучше, и по форме объекта на изображении его удалось однозначно идентифицировать как судно, лежащее на ровном киле. Гидролокационное изображение объекта приведено на рисунке 9б. Его размеры были оценены как 40×10×5 м (Дл×Ш×В). Объект ориентирован с севера на юг.

Примерно в 40 м от основного объекта строго под носителем ГБО расположен объект небольшого размера (около 5 м в высоту). Малая детальность съемки не позволила провести его идентификацию. Дальнейшее исследование объектов было продолжено с помощью БНПА «Видеомодуль».

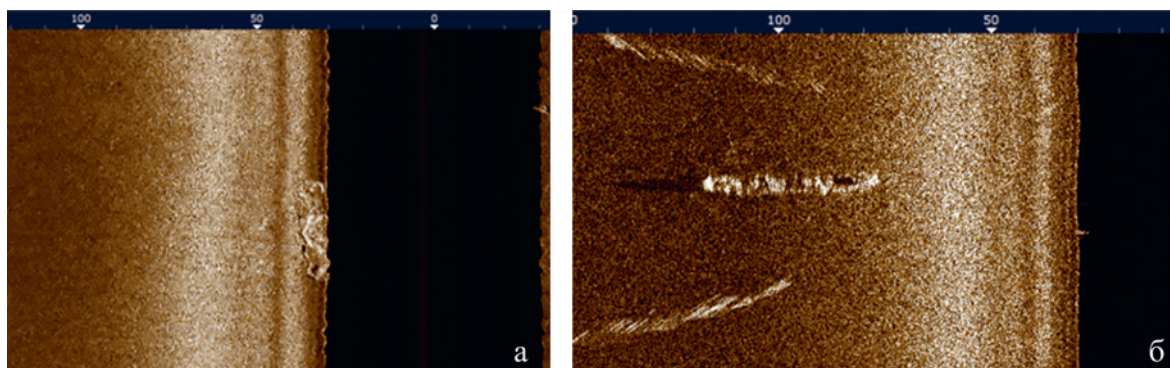


Рис. 9 – Новый объект в районе «Центр–Юг», который был обнаружен экспедицией на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (85-й рейс) в 2021 г. с использованием гидролокатора «Мезоскан-Т»: а – гидролокационное изображение объекта, полученное при первом контакте; б – второе гидролокационное изображение неизвестного подводного объекта, полученное на втором дополнительном широтном галсе; светлые полосы сверху и снизу от изображения судна – помехи, вызванные влиянием боковых лепестков характеристики направленности в горизонтальной плоскости. На границе «вода–грунт» виден некий «пик». Этот «пик» виден также и на первом изображении на рисунке 9а. Последующая высокоразрешающая съемка позволила опознать этот «пик» как обломок носовой части затопленного судна

С помощью БНПА «Видеомодуль» были выполнены видеонаблюдения, высокочастотная гидролокационная съемка и фотосъемка высокого разрешения (Римский-Корсаков, Анисимов, 2019). Целью работ являлась идентификация объекта на основании детальных видео и гидролокационных изображений, а также уточнение координат его местоположения.

Маршрут работы с БНПА был спланирован аналогично маршруту, представленному на рисунке 3, в виде нескольких взаимно перпендикулярных галсов, пересекающихся в точке нахождения исследуемого объекта (маршрут типа «звезда»). Такая схема повышает вероятность попадания объекта в кадр видео- и фотокамер БНПА. Синхронно с видеонаблюдениями велась гидролокационная съемка поверхности дна с помощью ГБО-ВМ с диапазоном дальности 50 м. По результатам гидролокационной съемки уточнялись координаты объекта, после чего конфигурация маршрута корректировалась.

На рисунке 10 представлено гидролокационное изображение обнаруженного судна, полученное с помощью высокоразрешающего ГБО-ВМ БНПА «Видеомодуль», а также стоп-кадр видеозаписи, сделанной при прохождении БНПА над палубой затопленного судна.

С помощью БНПА «Видеомодуль» были получены детальные гидролокационные и видеоизображения судна и элементов его конструкции: палубы, люков, бортов и надстройки. Эти изображения были сопоставлены, во-первых, с информацией о типе и габаритах судна, а во-вторых, с информацией о типе и возможной конструкции ядерного реактора, помещенного на судно и затопленного вместе с ним. В результате сличения этих данных стало очевидным, что экспедиция обнаружила баржу МБСН

с ЯР АПЛ К-140. Серьезным аргументом в пользу этого заключения является наличие на палубе баржи одного большого люка и пяти люков меньшего размера. Это соответствует информации (Синивцев и др., 2005) о затоплении баржи вместе с реактором АПЛ второго поколения заказ № 421, оборудованного 5 парогенераторами.



Рис. 10 – Изображения судна, затопленного на полигоне «Впадина-Юг» в Карском море в Новоземельской впадине: **а** – изображение всего судна, полученное с использованием гидролокатора ГБО-ВМ БНПА «Видеомодуль»; **б** – стоп-кадр видеозаписи, сделанной с помощью БНПА «Видеомодуль» – крышка люка трюма круглой формы с ребрами жесткости – при буксировке над палубой затопленного судна; место съемки показано стрелкой

В процессе работы БНПА «Видеомодуль» непрерывно измерялись параметры радиоактивного фона, для чего на БНПА был установлен гамма-спектрометр, разработанный в НИЦ «Курчатовский институт». Результаты измерений указывают на то, что выход радиоактивности из затопленного судна отсутствует, а следовательно, отсутствуют и нарушения целостности конструкции, отделяющей отработавшее ядерное топливо в реакторе от окружающей среды. По периметру объекта были отобраны пробы грунта. Для их обработки в НИЦ «Курчатовский институт» была использована стационарная высокочувствительная спектрометрическая аппаратура. Значимых концентраций радиоактивных загрязнений не обнаружено.

Заключение

Работы по уточнению архивных данных о местах затопления ЯРОО и РАО в Карском море ведутся более 20 лет. Необходимость проведения этих работ заключается в предупреждении чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть в результате разрушения защитных оболочек или барьеров, отделяющих высокоактивные отходы от окружающей среды. Следовательно, необходим постоянный контроль изменения радиационной обстановки вблизи так называемых подводных потенциально опасных объектов (ППОО), к которым относятся ЯРОО и РАО. Эффективный контроль состояния таких объектов возможен при наличии точной информации об их местоположении, конструкции, прошлом и текущем состоянии. Эта информация содержится в Реестре ППОО, ведение которого (дополнение, корректировка) возложено на МЧС России. Первоначальные работы в Карском море были сосредоточены на обследовании акваторий заливов Новой Земли. В связи с разработкой заглубляемых ГБО и БНПА появилась возможность продолжить поиск и исследования ППОО в Новоземельской впадине, где захоронена существенная доля РАО и ЯРОО. Опыт работ в Новоземельской впадине показал, что только планомерный поиск позволяет обнаружить, подтвердить место затопления и исследовать объекты, известные по архивным данным. К настоящему времени в Новоземельской впадине, где по архивным данным из источников (Синивцев и др., 2005; Саркисов и др., 2015; Реестр, 2019; Айбулатов, 2000) затоплено 12 судов, достоверно обнаружено и идентифицировано только 4 (см. рисунок 11).

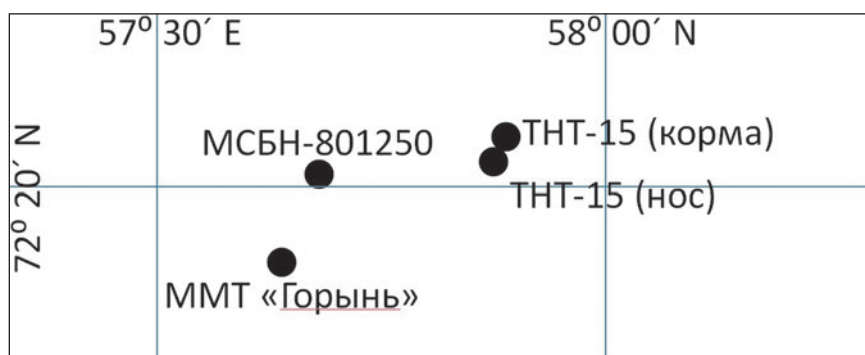


Рис. 11 – Расположение идентифицированных объектов, затопленных в Новоземельской впадине

Опыт работ по исследованию подводных захоронений радиоактивных отходов, включающих ЯРОО и РАО, показал, что основными составляющими технологии таких исследований на глубинах более 60 м являются, во-первых, обзорная или поисковая съемка с использованием судового эхолота и заглубляемого буксируемого гидролокатора бокового обзора геологического класса с рабочей частотой порядка 100 кГц; во-вторых, детальное видео и гидролокационное картирование с использованием высокочастотного ГБО с рабочей частотой до 500 кГц, HD-видеосистемы, фотоустановки и гамма-спектрометра, установленных на БНПА; в-третьих, целенаправленные

синхронные гамма-спектрометрические измерения и видеонаблюдения подводных объектов с использованием аппаратного комплекса ТНПА. Выполненные таким образом исследования позволяют найти или подтвердить место подводного объекта, идентифицировать его и оценить целостность защитных барьеров по распространению радиоактивного загрязнения.

Надо отметить, что для детального видео и гидролокационного картирования с успехом могут использоваться автономные необитаемые подводные аппараты АНПА. Особенно эффективно применение АНПА на больших глубинах более 1000 м, где маневрирование буксируемых систем, например, переход с одного галса на другой, затруднено из-за сложной конфигурации длинной буксирной линии. Также удобно использовать АНПА в качестве носителя исследовательской аппаратуры на мелководье и в стесненных акваториях, где затруднено маневрирование судна-буксировщика. Основным достоинством БНПА является постоянная информационная, энергетическая и механическая связь с судном-носителем, что предполагает, во-первых, получение on-line высококачественных видео и гидролокационных изображений поверхности дна, а также информации от всех прочих сенсоров аппарата, во-вторых, неограниченную энергетическую автономность и, следовательно, неограниченное время работы аппарата вблизи дна, в-третьих, простоту операций по спуску и подъему БНПА на борт судна-носителя благодаря постоянной механической связи в виде буксирного трос-кабеля. Можно перечислить еще множество достоинств и недостатков БНПА и АНПА, связанных, как правило, с конкретными условиями и задачами исследований. По-видимому, оптимально в процессе исследования подводных захоронений ЯРОО и РАО в Карском море использовать как буксируемые, так и автономные средства. В 2013 и 2021–2023 гг. в экспедициях НИС «АМК» в Карское море использовался АНПА «Пилигрим» МЧС России (Поляков и др., 2017; Римский-Корсаков и др., 2019), в частности, в заливах Абросимова, Степового, Цивольки, Благополучия, а также эпизодически в Новоземельской впадине. В дальнейшем планируется применение АНПА для продолжения картирования мест захоронений РАО в Карском море.

Прогрессом в области наблюдений ЯРОО и РАО являются исследования с использованием технологии многолучевого акустического 3D-картирования в экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (85-й рейс) в 2021 г. (Римский-Корсаков и др., 2022). Это еще одна новая технология, которую планируется в дальнейшем использовать для построения 3D-моделей захоронений РАО в северных заливах восточного побережья Новой Земли.

По результатам экспедиционных исследований окружающей среды, а также ЯРОО и РАО, захороненных в Карском море и в Новоземельской впадине, было установлено, что радиационный фон обследованных объектов и в окружающей их акватории находится в пределах нормы. Исследования, выполненные в местах подводных наблюдений и отбора проб, не выявили загрязнения морской среды техногенными радионуклидами выше уровней, характерных для районов выполнения работ. Удельная активность естественных радионуклидов типична для осадочных пород, отобранных в местах работы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания темы № FMWE-2024-0024. Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156).

Список литературы

1. *Айбулатов Н. А.* Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики. М.: ГЕОС, 2000. 307 с.
2. *Поярко 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).
3. 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.
4. *Римский-Корсаков Н. А., Анисимов И. М., Тронза С. Н.* Развитие глубоководных технологий визуальных наблюдений рельефа дна и подводных объектов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2019. № 10. С. 149–153. <https://doi.org/10.17513/mjpf.12883>.
5. *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. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(3\).3](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(3).3).
6. *Римский-Корсаков Н. А., Книпель 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. <https://doi.org/10.31857/S0030157422030091>.
7. *Римский-Корсаков Н. А., Тронза С. Н., Анисимов И. М.* Развитие гидролокационных технологий глубоководных исследований рельефа дна и подводных объектов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2019. № 9. С. 85–90. <https://doi.org/10.17513/mjpf.12856>.
8. *Римский-Корсаков Н. А., Флинт М. В., Казеннов А. Ю., Анисимов И. М., Поярко 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. <https://doi.org/10.31857/S0030157420050214>.
9. *Римский-Корсаков Н. А., Флинт М. В., Поярко С. Г., Анисимов И. М., Белевитнев Я. И., Пронин А. А., Тронза С. Н.* Развитие технологии комплексных инструментальных подводных наблюдений применительно к экосистемам Российской Арктики // *Океанология.* 2019. Т. 59. № 4. С. 679–683.
10. *Саркисов А. А., Сивинцев Ю. В., Высоцкий В. Л., Никитин В. С.* Атомное наследие холодной войны на дне Арктики; радиозоологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей // *Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН.* М., 2015. 699 с.
11. *Сивинцев Ю. В., Вакуловский С. М., Васильев А. П., Васильев А. П., Высоцкий В. Л., Губин А. Т., Данилян В. А., Кобзев В. И., Крышев В. И., Лавковский С. А., Мазокин В. А., Никитин А. И., Петров О. И., Пологих Б. Г., Скорик Ю. И.* Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию («Белая книга – 2000»). Москва: ИздАТ, 2005. 624 с.

Статья поступила в редакцию 18.04.2024, одобрена к печати 06.08.2024.

Для цитирования: 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. № 52 (3). С. 133–148. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR2024.52\(3\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR2024.52(3).8).

POTENTIAL ENVIRONMENTAL THREAT OBJECTS INVESTIGATION AT THE NOVAYA ZEMLYA DEPRESSION

N. A. Rimsky-Korsakov¹, N. Ya. Knivel², M. V. Flint¹, A. Yu. Kazennov²,
O. E. Kiknadze², I. M. Anisimov¹, N. F. Tikhonova¹

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

² National Research Center “Kurchatov Institute”,
1, sq. Academician Kurchatova, Moscow, 123182, Russia,
e-mail: Knivel_NY@nrcki.ru

The article is devoted to the water area research at Novaya Zemlya depression of the Kara Sea, where, according to archival data, radioactive waste was flooded. The research concerned observations of the environment state and underwater nuclear and radiation hazardous facilities, such as the nuclear fleet flooded here reactors, vessels loaded with solid radioactive waste and numerous groups of containers. The research was carried out using the technology of route sonar and video shooting based on the use of towed uninhabited underwater vehicles (BNPA) developed at IO RAS. Objects condition monitoring was provided using underwater gamma-ray REM spectrometers developed at the National Research Center “Kurchatov Institute”. As a result of the research, individual objects have been identified and their location archival data has been clarified. Observations of benthos and the structure of the water column in the burial area were done.

Keywords: Kara Sea, Novaya Zemlya depression, radioactivity, waste, nuclear reactor, underwater vehicle, sonar, video system, route survey, gamma-ray spectrometer

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state assignment topic No. FMWE-2024-0024. Experimental studies were carried out with the support of the Russian Science Foundation (project No. 23-17-00156).

References

1. Ajbulatov, N. A., 2000: *Ekologicheskoe ekho holodnoj vojny v moryah Rossijskoj Arktiki*. Moscow, GEOS, 307 p.
2. Poyarkov, S. G., N. A. Rimsky-Korsakov, and M. V. Flint, 2017: Tekhnicheskiye aspekty issledovaniy okruzhayushchey sredy zapadnoy chasti Karskogo moray. *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).

3. *Reestr podvodnyh potencial'no opasnykh ob'ektov vo vnutrennih vodah i territorial'nom more Rossijskoj Federacii*, 2019, Ministerstvo Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychajnym situaciyam i likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij, FGBOU VO Sankt-Peterburgskij universitet GPS MChS Rossii, 115 p.
4. Rimsky-Korsakov, N. A., I. M. Anisimov, and S. N. Tronza, 2019: Razvitie glubokovodnyh tekhnologij vizual'nyh nablyudenij rel'efa dna i podvodnyh ob'ektov. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, **10**, 149–153, <https://doi.org/10.17513/mjpf.12883>.
5. Rimsky-Korsakov, N. A., A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, A. A. Pronin, I. M. Anisimov, A. V. Lesin, and V. O. Murav'ya, 2023: Issledovanie ob'ektov, predstavlyayushchih ekologicheskuyu ugrozu, v zalive Civol'ki (Novaya zemlya, Karskoe more). *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).
6. Rimsky-Korsakov, N. A., N. Ya. Knivel', A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, A. B. Basin, and A. A. Pronin, 2022: Radiacionno opasnye ob'ekty v Rossijskoj Arktike (85-j rejs nauchno-issledovatel'skogo sudna "Akademik Mstislav Keldysh" v Karskoe more). *Oceanology*, **62** (3), 495–498, <https://doi.org/10.31857/S0030157422030091>.
7. Rimsky-Korsakov, N. A., S. N. Tronza, and I. M. Anisimov, 2019: Razvitie gidrolokacionnyh tekhnologij glubokovodnyh issledovanij rel'efa dna i podvodnyh ob'ektov. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, **9**, 85–90, <https://doi.org/10.17513/mjpf.12856>.
8. Rimsky-Korsakov, N. A., M. V. Flint, A. Yu. Kazennov, I. M. Anisimov, S. G. Poyarkov, A. A. Pronin, and S. N. Tronza, 2020: Rezul'taty issledovaniya ob'ektov, predstavlyayushchih ekologicheskuyu ugrozu, v zalive Abrosimova (Novaya Zemlya, Karskoe more). *Oceanology*, **60** (5), 720–728, <https://doi.org/10.31857/S0030157420050214>.
9. Rimsky-Korsakov, N. A., M. V. Flint, S. G. Poyarkov, I. M. Anisimov, Ya. I. Belevitnev, A. A. Pronin, and S. N. Tronza, 2019: Razvitiye tekhnologii kompleksnykh instrumental'nykh podvodnykh nablyudeniy primenitel'no k ekosistemam Rossiyskoj Arktiki. *Oceanology*, **59** (4), 679–683.
10. Sarkisov, A. A., Yu. V. Sivincev, V. L. Vysockij, and V. S. Nikitin, 2015: *Atomnoe nasledie holodnoj vojny na dne Arktiki; radioekologicheskie i tekhniko-ekonomicheskie problemy radiacionnoj rehabilitacii morej*. In-t problem bezopasnogo razvitiya atomnoj energetiki RAN, Moscow, 699 p.
11. Sivincev, Yu. V., S. M. Vakulovskij, A. P. Vasil'ev, V. L. Vysockij, A. T. Gubin, V. A. Danilyan, V. I. Kobzev, V. I. Kryshev, S. A. Lavkovskij, V. A. Mazokin, A. I. Nikitin, O. I. Petrov, B. G. Pologih, and Yu. I. Skorik, 2005: *Tekhnogennyye radionuklidy v moryah, omyvayushchih Rossiyu («Belaya kniga – 2000»)*. Moscow, IzdAT, 624 p.

Submitted 18.04.2024, accepted 06.08.2024.

For citation: Rimsky-Korsakov, N. A., N. Ya. Knieval, 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).