

УДК 551.46.07

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЛЕДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЪЕКТЫ, ЗАТОПЛЕННЫЕ В КАРСКОМ МОРЕ

^{1,2}Римский-Корсаков Н.А., ¹Пронин А.А., ³Казеннов А.Ю.,
³Кикнадзе О.Е., ¹Анисимов И.М., ¹Лесин А.В., ¹Муравья В.О.

¹ФГБУН Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»,
Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;

³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва, e-mail: Kazennov_AY@nrcki.ru

В статье приведены результаты натурных исследований и наблюдений окружающей водной среды Карского моря в связи с захороненными в заливах восточного побережья Новой Земли и в Новоземельской впадине радиоактивными отходами (РАО) эксплуатации атомного подводного и ледокольного флота, а также затопленными ядерно и радиационно опасными объектами (ЯРОО). Объекты затоплены в Карском море в районах с различными географическими и гидрометеорологическими характеристиками на разных глубинах. В этой связи интерес представляет процесс воздействия плавающего и сплошного льда на объекты, затопленные в разных районах моря, учитывая, что воздействие льда (торосы, айсберги) на морское дно арктических морей зарегистрировано по наличию следов ледовой экзарации до глубин 120 м. Крупными (десятки метров) объектами РАО и ЯРОО являются реакторные отсеки аварийных АПЛ и судов с твердыми радиоактивными отходами (ТРО), а также отработавшим и неотработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Повреждение РАО и ЯРОО ледовым покровом может привести к разрушению защитных барьеров, отделяющих ядерное топливо и РАО от окружающей среды, с последующим ее загрязнением в различных масштабах. В статье приводятся результаты наблюдений объектов РАО и ЯРОО в некоторых характерных районах Карского моря.

Ключевые слова: Карское море, Новая Земля, заливы, Новоземельская впадина, лед, айсберги, торосы, экзарация, захоронения РАО, ядерно и радиационно опасные объекты

Исследования проведены в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2021-0010. Аналитическая часть выполнена за счет средств проекта РФФ № 23-17-00156.

OBSERVATION OF ICE IMPACT RESULTS ON FLOODED OBJECTS AT KARA SEA

^{1,2}Rimskiy-Korsakov N.A., ¹Pronin A.A., ³Kazennov A.Yu.,
³Kiknadze O.E., ¹Anisimov I.M., ¹Lesin A.V., ¹Muravya V.O.

¹Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Science, Moscow;

²Bauman State Technical University, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;

³Kurchatov Institute National Research Center, Moscow, e-mail: Kazennov_AY@nrcki.ru

The article presents field studies and observations results of the surrounding underwater environment of the Kara Sea in connection with radioactive operation waste (RW) of nuclear submarine and icebreaker fleets buried in the bays of the eastern coast of Novaya Zemlya and in the Novaya Zemlya Depression, as well as submerged nuclear and radiation hazardous objects (NRHO). The objects were flooded in the Kara Sea in areas with different geographical and weather conditions at different depths. That is why, the impact process of floating and cohesive ice on flooded objects at different sea areas is of interest. It is also known that the ice registered impact (hummocks, icebergs) on the Arctic ocean seabed (presence of traces of ice exaration) distributes up to 120m depths. Large (tens of meters) objects of RW and NRHO are emergency nuclear submarines reactor compartments and vessels with solid radioactive waste (SRW), as well as spent and non-spent nuclear fuel (SNF). Damage to RW and NRHO by the ice cover can lead to the destruction of protective barriers separating nuclear fuel and RW from the environment, followed by its pollution on various scales. The article presents data from observations of RW and NRHO objects in some special areas of the Kara Sea.

Keywords: Kara Sea, Novaya Zemlya, gulfs, Novaya Zemlya depression, ice, icebergs, hummocks, exaration, RW disposal, nuclear and radiation hazardous objects

The research was carried out within the framework of the State assignment of the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences on topic No. FMWE-2021-0010. The analytical part was carried out with funds from the Russian Science Foundation project No. 23-17-00156.

С началом широкого развития атомной энергетики в конце 1950-х гг. в мире остро встала проблема утилизации радиоактивных отходов (РАО). Одним из распространенных вариантов утилизации стал сброс

РАО в открытое море. В 1960-х – 1970-х гг. практика затопления радиоактивных отходов в Мировом океане была общепринятой для стран, развивающих использование ядерной энергии.

Советский Союз, а позднее Российская Федерация в 1957–1993 гг. осуществляли сброс РАО в арктических (Баренцево и Карское) и дальневосточных (Японское, Охотское и северо-западная часть Тихого океана) морях. Необходимость захоронения РАО в море была связана в основном с деятельностью Военно-морского флота и морских пароходств, имеющих атомный флот [1, 2].

В Карском море затопливались твердые радиоактивные отходы (ТРО), ядерные реакторы (ЯР), в том числе с невыгруженным отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) – 4 реакторных отсека (РО) атомных подводных лодок (АПЛ) и экранная сборка атомного ледокола (АЛ) «Ленин», а также АПЛ К-27 [2]. Затопления осуществлялись в заливах северного и южного островов Новой Земли, а также в Новоземельской впадине.

Карское море почти весь год покрыто льдами местного происхождения. Ледообразование начинается в сентябре. Встречаются значительные пространства многолетних льдов толщиной до 4 м. Вдоль берегов образуется припай, в центре моря – плавающие льды. Летом льды распадаются на отдельные массивы.

Длительное нахождение затопленных объектов в морской коррозионно-агрессивной среде может привести к частичному разрушению металлических контейнеров и нарушению их герметичности. Дополнительную угрозу может составлять разгерметизация затопленных объектов вследствие истирающей деятельности льда, в том числе в мелководных фьордах. Как известно, современное вспахивание морского дна льдом в Карском море отмечено до глубин 25–35 м [3, 4].

Воздействие ледовых образований (ЛО) на берега, дно и техногенные объекты, затопленные в морях Российской Арктики, являются существенным фактором, влияющим на экологию региона в целом и непосредственно мест захоронения ТРО. Еще в самом начале широкого изучения проблемы затопленных ТРО Н.А. Айбулатовым [1] была отмечена большая роль морских льдов в процессе переноса и отложения техногенных радионуклидов в осадочной толще.

Воздействие ледовых образований на дно и берега разделяют на две группы: прямое и косвенное [1, 3]. Прямое воздействие включает в себя такое опасное явление, как экзарация (выпахивание), захват и перенос наносов льдом, формирование мерзлых пород в местах контакта лед – дно, местный размыв дна, обусловленный наличием припая. Косвенное влияние выражается прежде всего в защитной роли льда

от разрушающего воздействия волнения и приливов. Прямое воздействие ЛО на дно приводит к образованию характерных форм подводного микро рельефа – борозд ледовой экзарации, гряд и ям выдавливания (застамушивания), воронок размыва (сверления) и воронок вытаивания [3–5].

На рис. 1 приведено типичное гидролокационное изображение участка дна со следами ледовой экзарации, полученное в заливе Течений.

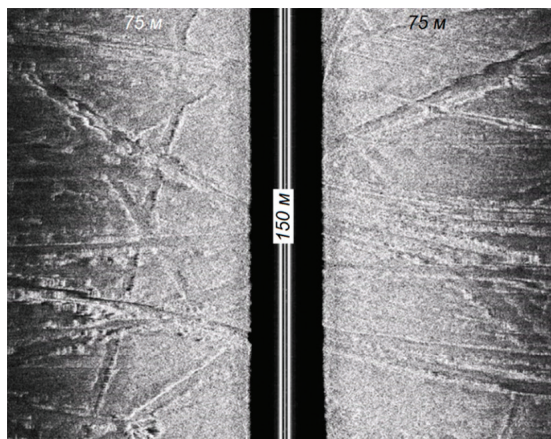


Рис. 1. Гидролокационное изображение поверхности дна с бороздами ледовой экзарации, полученное вблизи залива Течений (Новая Земля, Карское море) в 54-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК) с помощью ГБО «Микросонд» (240 кГц) разработки ИО РАН

В прибрежье Новой Земли в шести районах из восьми фактически захоронения ТРО осуществлены на глубинах меньше 25–35 м. В связи с этим проблема контроля состояния затопленных объектов с радиоактивными отходами и оценка уровней радиоактивного загрязнения водной акватории в местах нахождения ППО в Карском море в настоящее время является весьма актуальной.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с источником [2] в Карском море известны следующие основные захоронения ТРО, включающие крупные объекты и свалки контейнеров с ТРО.

В заливе Абросимова затоплены аварийные реакторные отсеки (РО) АПЛ К-3 и К-5 с выгруженным ядерным топливом, а также РО АПЛ К-11 с невыгруженным ядерным топливом из реактора левого борта. Эти РО АПЛ затоплены в кутовой части залива на глубине 13 м (позиция «а» на рис. 2).

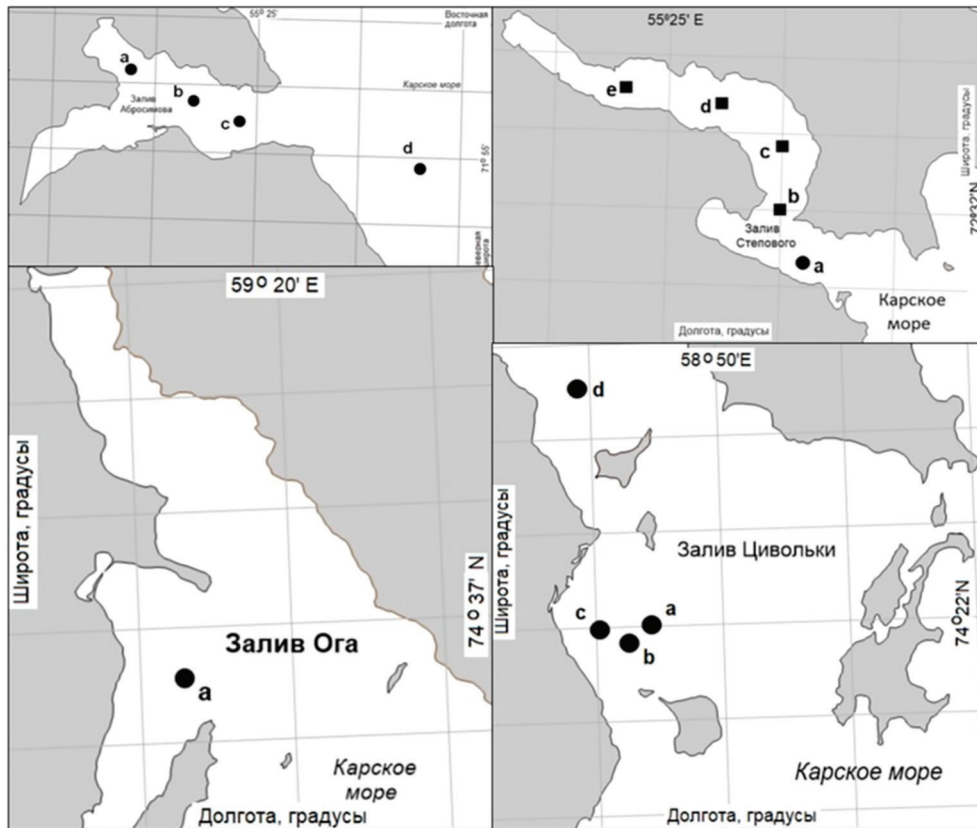


Рис. 2. Схемы затопления ТРО в заливах Новой Земли
 На схеме залива Абросимова обозначено: а – место затопления РО АПЛ К-3, К-5 и К-11, б – место затопления судов и контейнеров с ТРО; с – локальная свалка контейнеров с ТРО, d – РО АПЛ К-19.
 На схеме залива Степанового обозначено: а – АПЛ К-27, б, с, d, e – места захоронений ТРО в контейнерах.
 На схеме залива Ога обозначено: а – захоронение ТРО в контейнерах.
 На схеме залива Цивольки обозначено: а – экранная сборка АЛ «Ленин», б, с – суда с ТРО; d – реакторная сборка ППУ ОК-150 АЛ «Ленин»

В силу небольших размеров акватории места затопления РО и окружающего гористого рельефа, ледовое покрытие не испытывает воздействие ветра, течений и давления окружающих ледяных полей и торосов. Изображения РО на кадрах видеосъемки, полученных в разное время с помощью различных ТНПА, свидетельствуют о небольших повреждениях легкого корпуса РО в верхней части и наличии сильного обрастания водорослями – ламинарией [6].

В море южнее входа в залив Абросимова на глубине 48 м затоплен РО АПЛ К-19. Местоположение отсека показано на рис. 2 (позиция «d»). Отсек затоплен в 1965 г. Невыгруженное ОЯТ находится в двух реакторах. РО обнаружен в 2004 г. в ходе общей гидролокационной съемки залива Абросимова в экспедиции на научно-исследовательском судне (НИС) «Профессор Штокман», организованной по заказу МЧС России в 2004 г. Однако окончательно

объект был идентифицирован как РО АПЛ К-19 в 2019 г. в экспедиции Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН) на НИС «Академик Мстислав Келдыш» («АМК») [6]. Отсек находится в открытом море в зоне постоянного движения плавающего льда, торосов и айсбергов и лежит на каменистом дне. Палуба отсека находится на глубине около 35 м (!).

РО имеет значительные повреждения верхней части легкого корпуса, фактически сохранились только силовые элементы продольного и поперечного набора (штангоуты и стрингеры), а значительные элементы обшивки полностью отсутствуют. Наиболее вероятной причиной данных повреждений является ледовое воздействие айсбергов и торошение льдов Карского моря. На рис. 3 приведен кадр видеозаписи, полученный с помощью ТНПА «Аргус» Центра подводных исследований Русского географического общества (ЦПИ РГО).



Рис. 3. Кадр видеозаписи, полученной с помощью видеокamеры ТНПА «Аргус» ЦПИ РГО. На изображении представлена верхняя часть (палуба) ПО АПЛ К-27, затопленного в Карском море южнее входа в залив Абросимова (Новая Земля)

В заливе Степового на глубине 30 м затоплена атомная подводная лодка (АПЛ) К-27 (зав. № 601) [2]. Место затопления показано на рис. 2 (позиция «а»). Глубина места 30 м. АПЛ имеет водоизмещение 4400 т, длину 110 м, затоплена после аварии в 1968 г. с двумя ядерными реакторами с невыгруженным ОЯТ. После аварии в 1968 г. оба реактора были заморожены. Ядерные реакторы заглушены всеми штатными плотителями. Реакторный отсек и полости реакторов заполнены фурфуролом и битумом. Регулярные обследования состояния АПЛ, в том числе последнее в 2021 г., показали, что в непосредственной близости от объекта уровень радиоактивности не превышает фоновых значений, что свидетельствует о герметичности АПЛ и целостности защитных барьеров.

В северо-восточной части залива на глубинах от 18 до 40 м также затоплены группы контейнеров с ТРО.

Видеоизображения перечисленных объектов, сделанные в основном с помощью ТНПА «ГНОМ», показывают на отсутствие следов взаимодействия объектов с сезонным ледовым покровом: на контейнерах с ТРО видны массивные «шапки» осадочного покрова, а на поверхности легкого корпуса АПЛ отсутствуют характерные повреждения.

В заливе Цивольки по архивным данным, а также по данным экспедиций МЧС России и ИО РАН в 2004–2013 гг. в средней части залива в 1960-х – 1970-х гг. были захоронены различные объекты. Глубины моря в этом месте залива составляют в основном более 50 м. Схема захоронения приведена на рис. 2.

Помимо объектов (контейнеров), содержащих в основном низко активные ТРО, в заливе Цивольки на глубине 49 м затоплена

экранный сборка (ЭС) реактора паро-производящей установки (ППУ) ОК-150 атомного ледокола (АЛ) «Ленин» (рис. 2, позиция «а») с остатком отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). По сведениям источника [2] ЭС размещена в специальном контейнере из нержавеющей стали, сваренном в центральную часть цилиндрического понтона (цистерны) размером 5х3 м из углеродистой стали. Свободные объемы контейнера заполнены твердеющей смесью на основе фурфурола, а на контейнер наварена крышка. Свободный объем центральной части понтона заполнен бетоном. ЭС содержит ~40% всей активности объектов с ОЯТ, затопленных в Карском море.

В непосредственной близости от места затопления экранной сборки АЛ «Ленин» на глубинах 60–140 м находится комплексное захоронение ТРО. Здесь захоронены 5242 металлических контейнера размером 1х1х1 м, отдельные крупногабаритные предметы, 2 плавсредства с грузом ТРО (пароход «Н. Бауман» – позиция «с» и спецлихтер «Колежма» – позиция «б»), а также 166 крупногабаритных предметов, в том числе корпус реактора ППУ ОК-150 АЛ «Ленин» (позиция «d»).

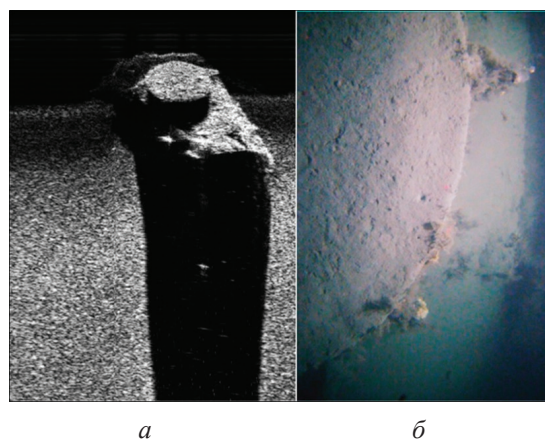


Рис. 4. Понтон с контейнером с ЭС АЛ «Ленин» в заливе Цивольки:

а – гидролокационное изображение, полученное с помощью ГБО ВМ разработки ИО РАН (диаметр крышки 2,5 м); б – кадр видеозаписи, полученной с помощью видеосистемы БНПА «Видеомодуль», с изображением фрагмента крышки контейнера. Очевидно отсутствие следов ледового воздействия на понтон и окружающий грунт

Несмотря на открытость и значительные размеры залива, которые могут способствовать образованию торосов, а также наличие ледника «Серп и Молот» в кутовой части залива, следов ледового воздей-

ствия на затопленные объекты в процессе подводных видеосъемок не обнаружено, что связано, по-видимому, со сравнительно большой глубиной захоронения. На рис. 4 представлены видео- и гидролокационное изображения понтона с ЭС АЛ «Ленин» полученные в 81-м рейсе НИС «АМК» с помощью БНПА «Видеомодуль» [7]. На понтоне и крышке контейнера следы ледового воздействия отсутствуют. На поверхности дна вблизи ЭС также не обнаружено следов ледовой экзарации.

В *заливе Ога* (рис. 2) в разное время на дне на глубине 57–60 м захоронены различные ТРО – отходы эксплуатации и ремонта атомного флота, преимущественно в металлических контейнерах размером 1х1х1 м, а также ТРО без упаковки. Здесь затоплены отходы судоремонта СФ и СРЗ «Нерпа», парогенераторы, помпы, а также баржа с ТРО [2]. Видеонаблюдения объектов в заливе Ога с использованием БНПА «Видеомодуль», а также ТНПА «Мираж» были выполнены в 63-м рейсе НИС «АМК». Результаты наблюдений показывают на отсутствие следов взаимодействия объектов с сезонным ледовым покровом.

В *заливе Седова* (рис. 5) по архивным данным [2] в разное время были захоронены

металлические контейнеры с ТРО, размером 1х1х1 м, а также ТРО без упаковки (фильтры активности, насосы, парогенераторы и т.п.) размером до 5 м. Глубины при входе в залив неровные. Среди глубин 100–150 м имеются банки с глубинами 13,8–17,2 м, во внешней части залива рельеф дна ровный, здесь расположена широкая ложбина с глубинами до 223 м. Внутренняя, узкая часть залива отделена от внешней порогом с глубинами 90–95 м. На рис. 5 представлена схема расположения мест затопления объектов ТРО в заливе Седова. В 63-м рейсе НИС «АМК» по результатам гидролокационной съемки с помощью ГБО было подтверждено захоронение в центральной части залива (позиция «а»). Следов ледовой экзарации на поверхности дна вблизи группы контейнеров не зарегистрировано.

В *заливе Благополучия* находится комплексное захоронение ТРО. Глубина моря в центральной внутренней части залива достигает 170 м. В заливе затоплены твердые радиоактивные отходы атомного ледокола «Ленин» – 992 контейнера и 2 крупногабаритных предмета. Активность – 305 Ки (эквивалент по стронцию-90) [2]. Глубина места в районе захоронения на западном берегу залива составляет 20–60 м (рис. 5).

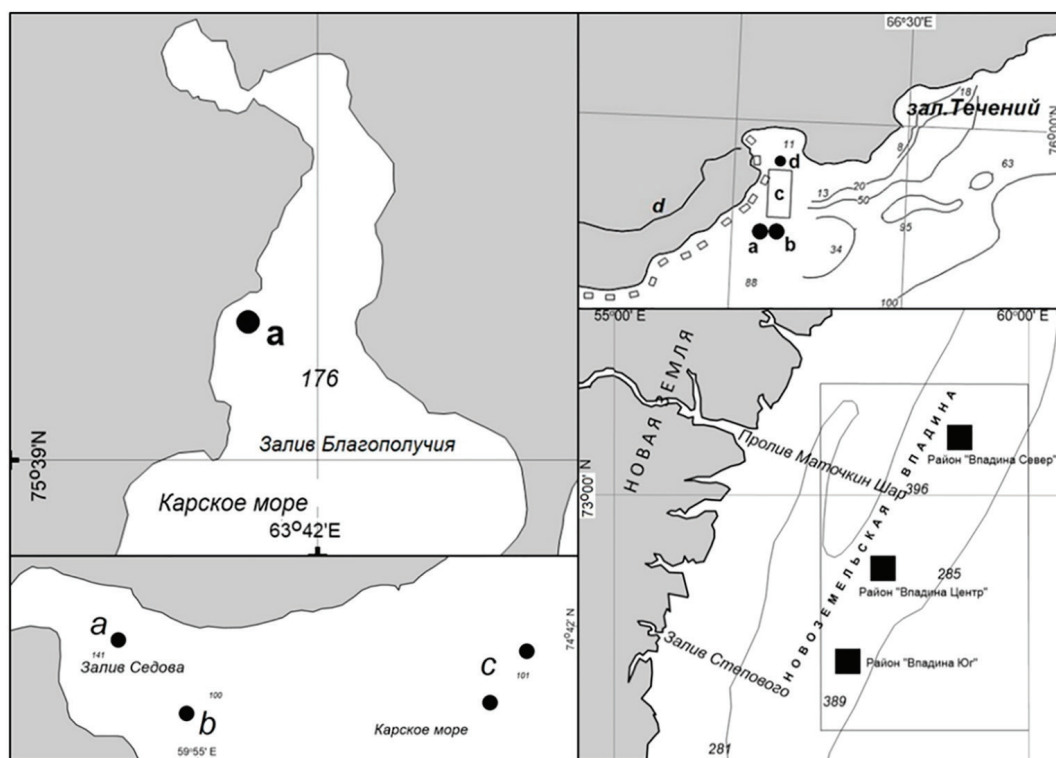


Рис. 5. Схемы затопления ТРО в заливах Благополучия, Седова, Течений и в Новоземельской впадине Карского моря. На схемах обозначено: а, b и d – места захоронений, с – районы захоронений, сплошные линии – изобаты

Архивные сведения о захоронении подтверждены неоднократными наблюдениями с использованием гидролокационных средств (буксируемых ГБО, а также ГБО, установленных на БНПА «Видеомодуль» и АНПА «Пилигрим») и видеосистем ТНПА «ГНОМ» и «Фалькон» [8, 9]. Результаты наблюдений поверхности дна и объектов в районе захоронения ТРО с использованием гидролокационной и видеотехники показывают на отсутствие следов ледового воздействия.

В заливе Течений по архивным данным [2] на глубине 35–50 м находится комплексное захоронение ТРО (прямоугольник на схеме залива на рис. 5). В период с 1982 по 1988 г. в заливе затоплено 194 металлических контейнера (1x1x1 м), 31 крупногабаритный предмет без упаковки и 1 плавсредство (лихтер № 4). Суммарная активность – 1900 Ки (эквивалент по стронцию-90). Также в заливе Течений затоплены два реактора АПЛ с выгруженным ОЯТ (отметки «а» и «б» на схеме на рис. 5). Активность захоронения реакторов составляла 0,2 кКи.

Последнее исследование места захоронения ТРО в заливе Течений было предпринято в 2007 г. экспедицией ИО РАН и МЧС России на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (54-й рейс). Были проведены наблюдения дна с помощью ТНПА «ГНОМ» в четырех из пяти точек, определенных по данным гидролокационной съемки. В районе точки «а» обнаружен цилиндрический предмет, часть которого на одну треть диаметра выступает из грунта. Обрастание можно определить как среднее, можно видеть металлическую поверхность объекта. Рядом с помощью ГБО была обнаружена россыпь объектов с размерами около одного метра. Однако по данным видеосъемки ТНПА установлено, что дно в данном месте имеет нарушения, вызванные ледовой экзарацией. Техногенных предметов не обнаружено. В районе точки «д» с помощью ГБО был обнаружен объект, который предварительно был классифицирован как лихтер. Мутность воды в данном районе, обусловленная наличием сильного волнового наката на скальной гряде, перегораживающей вход в бухту, не позволила провести эффективный поиск. Гидрометеорологические условия во время работ были неблагоприятными. Отсутствие навигационных карт, сильный туман, волнение и наличие плавающих обломков ледника мешали работе. Обнаруженный объект не был идентифицирован. В исследованном районе зарегистрированы следы ледовой экзарации

(рис. 1) на глубинах 15–20 м. Исследования в заливе Течений планируется продолжить в 92-м рейсе НИС «АМК» в 2023 г.

В Новоземельской впадине находятся три основные группы захоронений ТРО (рис. 5). Глубины моря здесь составляют 300–350 м. По архивным данным в 1970-х гг. здесь было затоплено: металлические контейнеры с ТРО (1x1x1 м) – 4834 шт., 306 отдельных крупногабаритных предметов (корпуса реакторов, парогенераторы и т.п.), 9 плавсредств с ТРО (2 лихтера, в том числе «Саяны», 2 танкера ТНТ, 3 баржи МБСН, пароход «Хосе Диас», спецсудно «Могилов» и др.). Вместе с баржей МБСН затоплен ЯР АПЛ с невыгруженным ОЯТ. В настоящее время из известных по архивным данным затоплений подтверждены места парохода «Хосе Диас», ТНТ «Саяны» и баржи МБСН-365250 с ЯР АПЛ.

Вследствие больших глубин (до 400 м) объекты, затопленные в Новоземельской впадине, не подвержены воздействию плавающего льда, торосов и айсбергов.

Заключение

Наиболее опасными с точки зрения механического воздействия ледового покрова, в том числе торосов и айсбергов, на затопленные техногенные объекты являются участки открытого моря (шельфа) с глубинами до 40 м. Здесь образуются торосы и встречаются айсберги, которые могут перемещаться (дрейфовать) под действием сильного ветра и течений.

В тесных заливах льды менее подвижны ввиду отсутствия сильных регулярных течений и пространств для формирования серьезного ветрового нагона. Поэтому здесь нет интенсивного движения и торошения льда, и даже на небольших глубинах (10–15 м) ледовое воздействие на затопленные объекты отсутствует.

В этой связи наиболее подверженным разрушительному воздействию плавающего льда объектом можно считать РО АПЛ К-19, затопленный на шельфе в открытом море вблизи залива Абросимова.

Список литературы

1. Айбулатов Н.А. Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики. М.: ГЕОС, 2000. 307 с.
2. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., 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»). М.: ИздАТ, 2005. 624 с.
3. Мазнев С.В., Огородов С.А. Воздействие ледяных образований на берега и дно мелководных морей и круп-

ных озер умеренных широт // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 4. С. 578–591.

4. Наумов Н.А., Онищенко Д.А. Требования к исходным данным, необходимым для моделирования воздействия ледовой экзарации на заглубленные трубопроводы // Арктика: экология и экономика. 2013. № 2 (10). С. 4–17.

5. Богоявленский В.И., Кишанков А.В., Казанин А.В. Неоднородности верхней части разреза осадочной толщи Восточно-Сибирского моря: залежи газа и следы ледовой экзарации // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Е. 505. № 1. С. 5–10.

6. 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 экологи-

ческую угрозу, в заливе Абросимова (Новая Земля, Карское море) // Океанология. 2020. Т. 60, № 5. С. 720–728.

7. 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. 70–92.

8. Елкин А.В., Комаров В.С., Розман Б.Я. Телеуправляемые подводные аппараты-роботы «ГНОМ» // Освоение морских глубин. М.: Оружие и технологии, 2018. С. 332–336.

9. Войтов Д.В. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат «Марлин-350» // Освоение морских глубин. М.: Оружие и технологии, 2018. С. 327–331.