

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ЗАТОПЛЕННОЙ В АРКТИКЕ АПЛ К-27 С ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ В РЕАКТОРАХ ПОСЛЕ ЕЕ ВОЗМОЖНОГО ПОДЪЕМА

С. В. Антипов, М. Н. Кобринский, П. А. Шведов

ФГБУН Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН
(Москва, Российская Федерация)

К. Н. Куликов, Р. А. Низамутдинов, С. В. Лодочников

АО «Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега»
(Северодвинск, Архангельская область, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 16 октября 2019 г.

Курс на опережающее развитие Арктической зоны Российской Федерации предполагает осуществление мер по приведению в безопасное состояние затопленных и затонувших в Арктике ядерно и радиационно опасных объектов. В случае принятия решения о подъеме и утилизации некоторых из них потребуется использование промышленной инфраструктуры и различного специального оборудования в зависимости от типа объекта и выбранного варианта обращения с ним. На примере атомной подводной лодки (АПЛ) К-27, требующей по многим причинам подъема в первую очередь, рассмотрены особенности обращения с указанными объектами после их подъема. Описаны различные варианты утилизации АПЛ К-27, обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами. Выполнена детализация операций, которые необходимо провести, проанализированы состав и наличие необходимой для этого инфраструктуры и специального оборудования, а также потребность в дополнительном оборудовании, если оно отсутствует в настоящее время.

Ключевые слова: затопленные ядерно и радиационно опасные объекты, утилизация, производственная деятельность, отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), радиоактивные отходы (РАО), радиозэкологическая реабилитация.

Введение

В связи с предстоящим активным освоением Арктики все большую остроту приобретают вопросы экологии, очистки арктических территорий и акваторий от различных загрязнений. Поэтому реабилитация акватории северных морей от затопленных радиационно опасных объектов с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО) — это не только проблема безопасности, но и актуальнейшая экологическая проблема. Выполненные в разное время экспедиционные обследования затопленных ядерных и радиационно опасных объектов свидетельствуют, что в настоящее время

они не представляют реальной радиозэкологической опасности для населения и окружающей природной среды. Но вместе с тем некоторые из них, особенно содержащие ОЯТ, следует рассматривать как источники потенциальной опасности, которая может стать реальной, если не предпринять соответствующих мер. Определение их дальнейшей судьбы требует повышенного внимания и принятия безотлагательных решений. В этой связи первостепенной задачей обеспечения радиационной безопасности и экологической реабилитации арктического региона России является подъем и утилизация затопленных атомных подводных лодок (АПЛ) К-27 и Б-159, лежащих на дне в заливе Степового архипелага Новая Земля в Карском море и у острова Кильдин в Баренцевом море соответственно.

Рассмотрение вопросов приоритетности решения проблем этих двух затопленных объектов приводит к выводу о необходимости начинать с АПЛ К-27, что определяется несколькими факторами [1]:

- в реакторном отсеке АПЛ находятся два реактора с жидкометаллическим теплоносителем, содержащие отработавшее ядерное топливо в активных зонах;
- ОЯТ, находящееся в активных зонах реакторов, имеет высокий уровень обогащения по ^{235}U , что создает риск возникновения самопроизвольной цепной реакции в случае проникновения воды в активную зону;
- глубина затопления АПЛ К-27 невелика (около 30 м), что повышает возможность несанкционированного доступа к ней;
- ресурс производственной инфраструктуры, необходимой для извлечения ОЯТ из реакторов, близок к исчерпанию, что накладывает определенные ограничения на предельные сроки осуществления подъема корабля и его транспортировку к пункту дальнейшего обращения.

Кроме того, в ходе разборки в 2011 г. реактора АПЛ класса «Альфа», подготовленного к затоплению аналогично реакторам АПЛ К-27, было обнаружено, что состав на основе фурфурола, применявшийся при консервации таких реакторов, частично утратил адгезию с элементами конструкции активной зоны. При этом стало возможно образование щелей между консервантом и стенками конструкций, по которым в активную зону может проникать вода.

Все это позволяет надеяться на принятие безотлагательного решения о подъеме и утилизации К-27 и приведении в безопасное состояние ядерных материалов и радиоактивных конструкций, которые останутся после завершения этого процесса.

В зависимости от выбранного из нескольких возможных варианта обращения с указанной АПЛ после ее подъема для реализации этого варианта необходима определенная производственная инфраструктура.

Рассмотрим, какая инфраструктура имеется, какую необходимо иметь и чего не хватает для выполнения задачи.

Созданная в связи с массовым выводом из эксплуатации в конце прошлого века АПЛ инфраструктура позволила успешно решать задачи комплексной утилизации АПЛ любых проектов как в штатных, так и в нестандартных ситуациях.

В течение последних двадцати лет в этом направлении был выполнен большой объем масштабных работ:

- Утилизировано и выгружено ОЯТ из 120 АПЛ, все ОЯТ, выгруженное из реакторов АПЛ, вывезено на переработку на ПО «Маяк».
- Создан в губе Сайда Мурманской области береговой пункт долговременного хранения (ПДХ) реакторных отсеков (РО) утилизированных АПЛ, в котором установлено 119 сформированных и под-

готовленных к долговременному хранению блоков реакторных отсеков.

- Полностью вывезено ОЯТ водо-водяных реакторов АПЛ из пункта временного хранения (ПВХ) Гремиха: 663 кондиционных и 235 дефектных отработавших тепловыделяющих сборок.
- Выгружен аварийный реактор из реакторного блока (РБ) АПЛ класса «Альфа», ранее подготовленного к затоплению, и с использованием специально созданного оборудования разобрана активная зона. На основании опыта работ, полученного на этом блоке, принято решение о разборке отработавших выемных частей (ОВЧ) в ПВХ Гремиха с последующим вывозом ОЯТ на ПО «Маяк». На созданной производственной базе по извлечению высокообогащенного ОЯТ разобраны пять ОВЧ, ранее выгруженных из реакторов АПЛ класса «Альфа», высокообогащенное уран-бериллиевое ОЯТ отправлено на переработку.
- Построен и введен в эксплуатацию Региональный центр переработки и долговременного хранения твердых радиоактивных отходов (ТРО) в губе Сайда.

Поскольку основная часть затопленных ядерно и радиационно опасных объектов является элементами АПЛ и атомных ледоколов либо радиоактивными отходами от обращения с ними, упакованными в контейнеры или трюмы судов, которые впоследствии были затоплены, для обращения с ними на берегу (в случае их подъема) необходимы специальное оборудование и соответствующая производственная инфраструктура. По сути это та же инфраструктура, которая используется для комплексной утилизации АПЛ, но с некоторыми дополнительными элементами.

Формирование плавучего реакторного блока из АПЛ К-27

После подъема АПЛ К-27 [2] выгрузка ОЯТ из реакторов может производиться только в сухом доне СД-10 в поселке Гремиха. Поэтому для обеспечения постановления в сухой док целесообразно выполнить формирование плавучего блока РО.

Формирование плавучего блока РО производится на твердом основании (в плавучем доке или на открытой стапельной плите), эту операцию возможно выполнить на одном из судоремонтных заводов (СРЗ), имеющих богатый опыт таких работ.

При формировании плавучего блока РО производятся [3; 4]:

- разрезка АПЛ на блоки отсеков: носовой блок (1-й, 2-й отсеки), четырехотсечный реакторный блок (3—6-й отсеки), кормовой блок (7—9-й отсеки);
- раздвижка блоков;
- подготовка плавучего блока РО к хранению на плаву и буксировке;
- разрезка носового и кормового блоков на крупные секции и далее доведение их до размеров, позволяющих отправить металлломом на переплавку;



Рис. 1. Схема формирования плавучего блока реакторного отсека
 Fig. 1. Shaper for a floating unit of the reactor compartment (RC)

- обращение с отходами, ломом и вторичными материалами.

Формирование плавучего блока РО осуществляется по схеме, приведенной на рис. 1.

По завершении формирования РБ он готов к транспортировке (буксировке) к месту выгрузки ОЯТ.

Обращение с ОЯТ АПЛ К-27

Поскольку ранее на реакторной установке левого борта произошла авария с частичным разрушением тепловыделяющих элементов и резким ухудшением радиационной обстановки в отсеках АПЛ по гамма-излучению, реактор правого борта стало возможно эксплуатировать только на энергетических уровнях мощности до 40% номинальной. В результате было признано нецелесообразным продолжение эксплуатации АПЛ с паропроизводящей установкой (ППУ) одного борта, и в связи с имевшимися неполадками и высокими трудозатратами, необходимыми для ремонтно-восстановительных работ, было решено законсервировать реакторную установку и захоронить АПЛ в море путем затопления.

ППУ и реакторный отсек были законсервированы для захоронения АПЛ в море с целью исключить при захоронении АПЛ под водой радиоактивное загрязнение окружающей акватории и препятствовать проникновению воды в свободные объемы реактора и к прилегающему к нему оборудованию. В таком состоянии АПЛ К-27 была затоплена в заливе Степового архипелага Новая Земля [5].

В случае подъема АПЛ К-27 и формирования плавучего блока РО на судоремонтном заводе для

последующего осуществления выгрузки ОЯТ из реакторов будет необходимо выполнить следующую последовательность операций [6]:

- буксировку плавучего РБ АПЛ К-27 в поселок Гремиха;
- постановку РБ в док СД-10 (рис. 2);
- подготовку инфраструктуры, технологического оборудования и персонала к выгрузке и разборке реактора;
- выполнение сопутствующих работ, удаление битума из отсека;
- выгрузку реактора из отсека и установку его в помещение для разборки;
- разогрев реактора и слив теплоносителя;
- демонтаж днища реактора;
- разборку активной зоны для выгрузки кассет с ОЯТ;
- выгрузку кассет с ОЯТ, загрузку их в специально подготовленных пеналах в контейнеры тип 6;
- сборку реактора после выгрузки ОЯТ;
- установку выгруженного реактора на штатное место в РБ, подготовку РБ к транспортировке;
- передачу РБ в ПД «Итарус» для транспортировки до предприятия — исполнителя работ по утилизации;
- перегрузку кассет с ОЯТ из контейнеров тип 6 в контейнеры ТУК-108/1 на борту судна АТО «Серебрянка»;
- транспортировку ТУК-108/1 с ОЯТ на судне АТО «Серебрянка» во ФГУП «Атомфлот»;
- отправку ОЯТ для переработки на ПО «Маяк».

Богатый опыт выполнения приведенной последовательности работ накоплен специалистами Северо-Западного центра по обращению с радиоактив-



Рис. 2. Постановка блока реакторного отсека в док СД-10
 Fig. 2. Placing the RC floating unit in the 'SD-10' dry dock

ными отходами (СЗЦ «СевРАО») в результате обращения с реакторными установками, аналогичными установкам АПЛ К-27, в том числе при выгрузке ОВЧ из реакторов АПЛ с жидкометаллическим теплоносителем и их разборке. В частности, такие работы были выполнены на РБ № 900, реакторный отсек которого был подготовлен к затоплению по схеме, примененной для АПЛ К-27.

Окончательное решение о судьбе К-27 может быть принято только по результатам дополнительных исследований. Если выгрузка ОЯТ из аварийного реактора окажется невозможной или нецелесообразной, предлагается следующий вариант обеспечения безопасного длительного хранения:

- выгрузка из АПЛ аварийного реактора с ОЯТ в поселке Гремиха в специально подготовленное помещение;
- разработка и изготовление транспортного контейнера с возможностью использования его для длительного хранения аварийного реактора АПЛ К-27.
- транспортировка контейнера с загруженным реактором с ОЯТ на теплоходе «Россита» в пункт изоляции аварийных АПЛ в Приморском крае;



Рис. 3. Пункт изоляции реакторных отсеков аварийных АПЛ в Приморском крае
 Fig. 3. The disposal site for reactor compartments of damaged nuclear submarines in Primorskiy Krai

- размещение контейнера в пункте изоляции на длительное хранение.

Целесообразность такого варианта обращения с аварийным реактором АПЛ К-27 определяется возможностью избежать создания дополнительного ядерно опасного объекта на территории Северо-Запада России.

В случае невозможности проведения работ в реакторном отсеке из-за высокого уровня радиации блок реакторного отсека АПЛ К-27 с не выгруженным ОЯТ может быть соответственно подготовлен и размещен в пункте изоляции аварийных АПЛ в Приморском крае, который был создан в 2012 г. как береговое укрытие для фрагментов аварийных АПЛ и рассчитан на три единицы хранения (рис. 3). В настоящее время в нем размещены два трехотсечных РБ аварийных АПЛ [7].

Восстановленные и вновь созданные элементы инфраструктуры выгрузки и обращения с ОЯТ реакторов с жидкометаллическим теплоносителем имеют достаточно ограниченный во времени ресурс работоспособности. По оценкам специалистов ГК «Росатом», использовать эту инфраструктуру можно максимум до 2020—2022 гг. Затем потребуются серьезная и дорогостоящая модернизация с заменой значительной части оборудования (грузоподъемных механизмов, систем сухого дока, оборудования разборки ОВЧ, систем разогрева теплоносителя и т. д.). Поскольку многие необходимые для замены элементы уже не выпускаются, можно столкнуться с непредсказуемыми трудностями.

Кроме того, необходимо учитывать, что работы по разборке ОВЧ и выгрузке кассет с ОЯТ проводятся высококвалифицированным персоналом. Длительный простой инфраструктуры выгрузки создает риск утраты такого персонала. Поэтому для решения проблемы выгрузки ОЯТ из реакторов АПЛ К-27 остается весьма ограниченное время.

Формирование блока РО АПЛ К-27

После выгрузки ОЯТ из реакторов АПЛ и доставки плавучего реакторного блока на предприятие — исполнитель работ по утилизации для обеспечения долговременного хранения РО последний вырезается из состава плавучего РБ с сохранением штатных переборок и формируется так называемый одноотсечный блок по требованиям документации, разработанной проектантом АПЛ. Вырезка одноотсечного блока РО из состава плавучего блока АПЛ выполняется в эллинге (на стапеле).

Формирование одноотсечного блока РО заключается в выполнении комплекса работ, предусматривающих его долговременное хранение на твердом основании с целью обеспечения естественного снижения радиоактивности оборудования и корпусных конструкций до уровня, позволяющего производить его утилизацию с приемлемыми коллективными дозами облучения задействованного персонала.

Подготовка блока РО к хранению выполняется в соответствии с конструкторской и технологической документацией по утилизации АПЛ, а также с эксплуатационной и сопроводительной документацией на блок РО.

Для уменьшения количества твердых радиоактивных отходов разрешается их размещение в РО с учетом весовых и дозовых нагрузок. Схемы размещения и раскрепления ТРО разрабатывают инженерные службы предприятия и согласовывают их с проектантом АПЛ. Перечень ТРО, загружаемых в РО, должен быть согласован с органами Госсанэпиднадзора. Передача ТРО оформляется составлением акта.

Для защиты корпусных конструкций блока РО от внешнего атмосферного воздействия в условиях долговременного хранения производятся очистка, подготовка поверхности к окраске и нанесение антикоррозионного защитного покрытия.



Рис. 4. Общий вид пункта долговременного хранения реакторных отсеков в губе Сайда
Fig. 4. General view of the LSF RC (long-term storage facility for reactor compartments) in Sayda Bay

Подготовка систем и оборудования ППУ, находящихся в РО, к длительному хранению выполняется в соответствии с документацией, разработанной проектантом АПЛ.

После окончания работ по формированию и подготовке блока РО к длительному хранению на твердом основании предприятие оформляет паспорт на РО и осуществляет транспортировку блока РО с помощью ПД-42 или ПД «Итарус» в ПДХ РО «Сайда» (рис. 4).

Запланированный срок хранения блока РО на твердом основании составляет примерно 70 лет с момента остановки реактора, что обеспечивается выполнением мероприятий по защите от коррозии.

Транспортные операции

В процессе утилизации АПЛ К-27 возникает необходимость в проведении ряда межбазовых транспортных операций:

- транспортировки плавучего РБ АПЛ К-27 от предприятия — исполнителя работ по утилизации в поселок Гремиха и обратно;
- транспортировки (при необходимости) контейнера с аварийным реактором АПЛ К-27 из посёлка Гремиха в бухну Разбойник Приморского края;
- вывоза выгруженного из реакторов АПЛ К-27 ОЯТ из поселка Гремиха на ФГУП «Атомфлот».

Для выполнения этих операций имеются следующие суда [3].

Док-понтон «Итарус» (рис. 5), построенный на итальянской верфи Финкантьери и переданный СЗЦ «СевРАО», предназначен для выполнения следующих функций:

- поднимать плавучие РБ утилизированных АПЛ с ПВХ РО «Сайда», где они находятся на плаву, транспортировать и передавать их в ПДХ РО на утилизацию;
- транспортировать в ПДХ РО из СРЗ «Нерпа» сформированные одноотсечные блоки РО, выгружать блоки РО с платформы судна на пирс;
- доковать плавучие РБ утилизированных АПЛ с ПВХ РО «Сайда», где они находятся на плаву;
- транспортировать реакторные блоки, блок-упаковки судов АТО.

С использованием дока-понтон «Итарус» возможно осуществление перевода плавучего РБ АПЛ К-27 от предприятия — исполнителя работ по утилизации в поселке Гремиха и обратно для проведения выгрузки ОЯТ.



Рис. 5. Док-понтон «Итарус»
Fig. 5. Dock-pontoon "Itarus"

Судно-контейнеровоз «Россита» (рис. 6), построенное на итальянской верфи, предназначено для перевозки контейнеров с ОЯТ и РАО различных типов. Оно может быть использовано для доставки контейнера с аварийным реактором АПЛ К-27 из поселка Гремиха в бухту Разбойник Приморского края.

Теплоход «Серебрянка», предназначенный для обслуживания атомных ледоколов, был дооборудован для погрузки/разгрузки отработавших тепловыделяющих сборок в контейнеры. В настоящее время осуществляет вывоз ОЯТ из поселка Гремиха и СРЗ «Нерпа» на ФГУП «Атомфлот».

Заключение

1. Имеющаяся производственная инфраструктура позволяет выполнить все операции по утилизации АПЛ К-27 после ее подъема, включая выгрузку ОЯТ и отправку его на ПО «Маяк». Однако инфраструктура для выгрузки ОЯТ из реакторов с жидкометаллическим теплоносителем имеет достаточно ограниченный ресурс работоспособности по времени. По оценкам специалистов «Росатома», использовать эту инфраструктуру можно максимум до 2020—2022 гг. После этого потребуется серьезная и дорогостоящая модернизация с заменой значительной части оборудования. Поэтому для решения проблемы выгруз-



Рис. 6. Судно-контейнеровоз «Россита»
Fig. 6. Container-ship "Rossita"

ки ОЯТ из реакторов АПЛ К-27 остается весьма ограниченное время.

2. В случае невозможности или нецелесообразности выгрузки ОЯТ из аварийного реактора АПЛ К-27 существуют варианты его долговременного хранения в пункте изоляции РО аварийных АПЛ в Приморском крае: либо в виде подготовленного для хранения одноотсечного реакторного блока, либо в виде специально изготовленного контейнера для аварийного реактора АПЛ К-27, предназначенного для транспортировки и долговременного хранения реактора.

3. Таким образом, при любых обстоятельствах безопасность ОЯТ АПЛ К-27 после ее подъема будет обеспечена: либо путем переработки на ПО «Маяк», либо размещением в пункте изоляции РО аварийных АПЛ в Приморском крае.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, грант № 17-19-01674 «Разработка методических подходов и математических моделей для прогнозирования воздействия на окружающую среду в случае аварий на атомных плавучих объектах, моделирование распространения радиации в Арктической акватории при аварийных ситуациях».

Литература

1. Саркисов А. А., Антипов С. В., Биляшенко В. П. и др. Оценка выхода радионуклидов в окружающую среду при потенциальной аварии в ходе подъема и транспортировки затопленной атомной подводной лодки «К-27» // Изв. Акад. наук. Энергетика. — 2015. — № 2. — С. 16—29.
2. Краморенко А. В., Асмнин В. В., Чумаров Р. И. и др. Технология подъема затопленных в Арктике ядерно и радиационно опасных объектов, основанная на применении гидравлических тросовых домкратов // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 1 (29). — С. 116—124.
3. Биляшенко В. П., Шведов П. А., Куликов К. Н. и др. Инфраструктура комплексной утилизации

АПЛ, НК с ЯЭУ и судов АТО в Северо-Западном регионе России. — М., 2016. — (Препринт ИБРАЭ; № ИБРАЭ-2016-03).

4. Горбунов А. В., Рымденко Р. Е. Утилизация на СРЗ «Нерпа» // *Вопр. утилизации АПЛ*. — 2009. — № 1 (17).

5. Сомов И. Е. О подъеме АПЛ К-27 для снижения ядерного и радиационного риска в Северо-Западном регионе. — Осло, 2011. — (Материалы КЭГ МАГАТЭ).

6. Пантелеев В. Н. Выгрузка топлива из реактора АПЛ класса «Альфа» и разборка активной

зоны. — Хельсинки, 2012. — (Материалы КЭГ МАГАТЭ).

7. Лобанов Н. Ф., Лопатин П. В., Камнев Е. Н. и др. Пункт изоляции аварийных АПЛ в Приморском крае: состояние дел, проблемы, перспективы // 1-я Международная научно-практическая конференция «Вывод из эксплуатации ядерных и радиационно-опасных объектов. Концептуальные аспекты и практический опыт» (Вывод-2009). — М., 2009.

Информация об авторах

Антипов Сергей Викторович, доктор технических наук, заместитель директора, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: santipov@ibrae.ac.ru.

Кобринский Михаил Натанович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: mnk@ibrae.ac.ru.

Шведов Павел Алексеевич, заместитель заведующего отделом, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Россия, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: spa@ibrae.ac.ru.

Куликов Константин Николаевич, кандидат технических наук, генеральный директор, Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега» (164509, Россия, Архангельская область, Северодвинск, пр. Машиностроителей, д. 12), e-mail: kkulikov@onegastar.ru.

Низамутдинов Ринат Айратович, заместитель главного инженера по устойчивому развитию, Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега» (164509, Россия, Архангельская область, Северодвинск, пр. Машиностроителей, д. 12), e-mail: rinat@onegastar.ru.

Лодочников Сергей Витальевич, начальник отдела, Научно-исследовательское проектно-технологическое бюро «Онега» (164509, Россия, Архангельская область, Северодвинск, пр. Машиностроителей, д. 12), e-mail: lodserg@onegastar.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Антипов С. В., Кобринский М. Н., Шведов П. А. и др. Особенности обращения с затопленной в Арктике АПЛ К-27 с ядерным топливом в реакторах после ее возможного подъема // *Арктика: экология и экономика*. — 2020. — № 1 (37). — С. 37—44. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-37-44.

SPECIAL FEATURES OF HANDLING NON-DEFUELED K-27 NUCLEAR SUBMARINE DUMPED IN THE ARCTIC FOLLOWING ITS PROSPECTIVE LIFTING

Antipov S. V., Kobrinский M. N., Shvedov P. A.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation),

Kulikov K. N., Nizamutdinov R. A., Lodochnikov S. V.

JSC Research Design and Engineering Bureau "Onega" (Severodvinsk, Arkhangelsk region, Russian Federation)

The article was received on October 16, 2019

Abstract

Efforts focused on accelerated development of the Russian Arctic involve the implementation of measures aimed at bringing dumped and sunken nuclear- and radiation-hazardous facilities to a safe state. If the decision about lifting and disposal of some of them is made, the use of industrial infrastructure and various special equipment will be required, depending on the facility type and the chosen handling option. Using as an example the nuclear submarine K-27 that requires lifting for many reasons, the authors primarily consider special features of handling such objects after their lifting. Various options for the NS K-27 dismantlement and the management of its spent nuclear fuel and radioactive waste are addressed. Specific operations to be carried out are detailed, the outline and availability of the necessary infrastructure and special equipment are analyzed, and the need for additional equipment that is not currently available is identified.

Keywords: *dumped nuclear- and radiation-hazardous facilities; dismantling and disposal; production activities; Spent Nuclear Fuel (SNF); radioactive waste (radwaste, RW); radio-ecological rehabilitation.*

The research was supported by the Russian Science Foundation (Grant No. 17-19-01674) “Development of methodological approaches and mathematical models for predicting environmental impact in the event of accidents at nuclear floating objects, modeling the spread of radiation in the Arctic during emergency situations”.

References

1. Sarkisov A. A., Antipov S. V., Bilashenko V. P. et al. Otsenka vykhoda radionuklidov v okruzhayushchuyu sredu pri potentsial'noi avarii v khode pod'ema i transportirovki zatoplennoi atomnoi podvodnoi lodki “K-27”. [Evaluation of radionuclide release into the environment in the event of a potential accident during lifting and transportation of the dumped K-27 nuclear submarine]. *Izv. Akad. nauk. Energetika*, 2015, no. 2, pp. 16—29. (In Russian).
2. Kramorenko A. V., Asminin V. V., Chumarov R. I., Antipov S. V., Bilashenko V. P., Shvedov P. A. Tekhnologiya pod'ema zatoplennykh v Arktike yadernogo i radiatsionno opasnykh ob'ektov, osnovannaya na primeneni givralicheskikh trosovykh domkratov. [Technology for lifting nuclear- and radiation-hazardous facilities dumped in the Arctic based on the use of hydraulic cable jacks]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2018, no. 1 (29), pp. 116—124. (In Russian).
3. Bilashenko V. P., Shvedov P. A., Kulikov K. N., Nizamutdinov R. A., Varnavin A. P., Knivel' N. Ya. Infrastruktura kompleksnoi utilizatsii APL, NK s YaEU i sudov ATO v Severo-Zapadnom regione Rossii. [Infrastructure for Complex Decommissioning of Nuclear-Submarines, Nuclear-Powered Surface Ships and Nuclear Maintenance Ships in Northwest Russia.]. Moscow, 2016. (Preprint no. IBRAE-2016-03). (In Russian).
4. Gorbunov A. V., Rymdenok R. E. Utilizatsiya na SRZ “Nerpa”. [Dismantling and disposal operations at ‘Nerpa’ Shipyard]. *Vopr. utilizatsii APL*, 2009, no. 1 (17). (In Russian).
5. Somov I. E. O pod'eme APL K-27 dlya snizheniya yadernogo i radiatsionnogo riska v Severo-Zapadnom regione. [On Lifting of the K-27 Nuclear Submarine to Reduce Nuclear and Radiation Risk in Northwest Russia]. Oslo, 2011. (Materials of Contact Expert Group). (In Russian).
6. Panteleev V. N. Vygruzka topliva iz reaktora APL klasa “Al'fa” i razborka aktivnoi zony. [Defueling Reactors of Alpha-class Nuclear Submarines and Dismantling Their Cores]. Helsinki, 2012. (Materials of Contact Expert Group). (In Russian).
7. Lobanov N. F., Lopatin P. V., Kamnev E. N., Pimenov A. O., Cherneev V. I., Lysenko N. I. Punkt izolyatsii avariinykh APL v Primorskom krae: sostoyanie del, problemy, perspektivy. [Disposal site for damaged nuclear submarines in Primorskiy Krai: state of affairs, problems and prospects]. 1-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya “Vyvod iz ekspluatatsii yadernykh i radiatsionno-opasnykh ob'ektov. Kontseptual'nye aspekty i prakticheskii opyt” (Vyvod-2009). Moscow, 2009. (In Russian).

Information about the authors

Antipov Sergey Viktorovich, Doctor of Engineering Science, Deputy Director, Nuclear Safety Institute of the RAS (52, Bolshaya Tulskaaya str., Moscow, Russia, 115191), e-mail: santipov@ibrae.ac.ru.

Kobrin'skiy Mikhail Natanovich, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Nuclear Safety Institute of the RAS (52, Bolshaya Tulskaaya str., Moscow, Russia, 115191), e-mail: mnk@ibrae.ac.ru.

Shvedov Pavel Alekseevich, Deputy Head of Department, Nuclear Safety Institute of the RAS (52, Bolshaya Tulskaaya str., Moscow, Russia, 115191), e-mail: spa@ibrae.ac.ru.

Kulikov Konstantin Nikolaevich, PhD of Engineering Science, Director General, JSC Research Design and Engineering Bureau “Onega” (NIPTB “Onega”) (12, Mashinostroiteley pr., Severodvinsk, Arkhangelsk region, Russia, 164509), e-mail: kkulikov@onegastar.ru.

Nizamutdinov Rinat Ayratovich, Deputy Chief Engineer for Sustainable Development, JSC Research Design and Engineering Bureau “Onega” (NIPTB “Onega”) (12, Mashinostroiteley pr., Severodvinsk, Arkhangelsk region, Russia, 164509), e-mail: rinat@onegastar.ru.

Lodochnikov Sergey Vitalievich, Head of Department, JSC Research Design and Engineering Bureau “Onega” (NIPTB “Onega”) (12, Mashinostroiteley pr., Severodvinsk, Arkhangelsk region, Russia, 164509), e-mail: lodserg@onegastar.ru.

Bibliographic description of the article

Antipov S. V., Kobrin'skiy M. N., Shvedov P. A., Kulikov K. N., Nizamutdinov R. A., Lodochnikov S. V. Special Features of Handling Non-defueled K-27 Nuclear Submarine Dumped in the Arctic Following Its Prospective Lifting. *The Arctic: Ecology and Economy*, 2020, no. 1 (37), pp. 37—44. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-1-37-44. (In Russian).

© Antipov S. V., Kobrin'skiy M. N., Shvedov P. A., Kulikov K. N., Nizamutdinov R. A., Lodochnikov S. V., 2020