

Проблема реабилитации арктических акваторий от затопленных и затонувших ядерно и радиационно опасных объектов

д.т.н. Высоцкий В.Л. (ИБРАЭ РАН, г. Москва)

В основах госполитики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности РФ на период до 2025 г. (утв. Президентом РФ 01.03.2012 № Пр-539) отмечено, что возникновение чрезвычайных ситуаций, связанных с ядерно и радиационно опасными объектами (включая ядерное оружие и его компоненты, ядерные энергетические установки (ЯЭУ) военного назначения), ядерными материалами, радиоактивными веществами (РВ) и отходами (РАО), источниками ионизирующих излучений может затрагивать жизненно важные интересы человека, государства и общества и иметь долговременные негативные последствия, представляющие серьезную угрозу национальной безопасности и социально-экономическому развитию РФ.

Целью государственной политики в этой области является последовательное снижение до социально приемлемого уровня риска техногенного воздействия на население и окружающую среду, а также предупреждение чрезвычайных ситуаций и аварий на ядерно и радиационно опасных объектах (ЯРОО).

Ядерная и радиационная безопасность обеспечивается при выполнении условий:

1. Дозы облучения персонала и населения и поступление радиоактивных веществ в окружающую среду не превышают установленных значений при условии, что:

- объекты атомной энергии эксплуатируют в соответствии с условиями выданных лицензий под контролем контрольно-надзорных органов;
- остановленные объекты поддерживаются в безопасном состоянии, своевременно выводятся из эксплуатации и снимаются с регулирующего контроля;
- отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) перерабатывают или размещают на безопасное долговременное хранение;
- образующиеся радиоактивные отходы перерабатывают и захоранивают;
- радиационно загрязненные территории реабилитируют.

2. Создана и функционирует система защиты на случай чрезвычайных ситуаций, вызванных техногенными и природными катастрофами или террористическими актами в отношении ЯРОО, в том числе находящихся на территории сопредельных государств.

Рассматриваемая проблема относится к незавершенности вопроса ликвидации «Ядерного наследия» атомного флота, связанного с обеспечением безопасности длительного хранения (окончательного захоронения) затопленных и затонувших объектов с ОЯТ и РАО на морских акваториях в с-з части Арктического региона.

Состояние вопроса [1]. Определяющей причиной образования РАО послужило создание ядерного оружия и вооружений развернувшееся в XX веке США и СССР. Примкнувшие к ним Великобритания, Франция и Китай так же внесли свой вклад.

На от период времени наиболее простым и недорогим оказался способ захоронения РАО путем их затопления в Мировом океане. Первыми такую операцию провели в 1946 г. США в северо-восточной части Тихого океана, затопив твердые отходы низкой удельной активности (ОНУА) в 80 км от побережья Калифорнии.

Вскоре к такому способу прибегли Великобритания, которая с 1949 г. стала затопливать ОНУА в Северной Атлантике, с 1954 г. Новая Зеландия, с 1955 г. Япония, которая захоранивала отходы вблизи своих берегов в Тихом океане, с 1960 г. Бельгия, избравшая для этой цели пролив Ла-Манш рядом с побережьем Франции, и многие другие страны. В 1959 г. США впервые затопили в Атлантическом океане корпус ядерного реактора, демонтированного с АПЛ «Сивулф».

Соответственно уже в 1957 г. МАГАТЭ начало разрабатывать методологию безопасного удаления РАО в моря. Опасаясь негативных последствий в 1975 г. в силу вступила международная Лондонская конвенция 1972 г., направленная на предотвращение

чрезмерного загрязнения морей при затоплении всех видов отходов. Ее дополнили рекомендациями по обеспечению радиационной безопасности при обращении с ОНУА.

Всего в 1946-82 гг. затопление РАО осуществляли 12 стран в 47 районах Атлантического и Тихого океанов. По данным первой инвентаризации МАГАТЭ 1991 г. [2], за указанные 36 лет в морях Мирового океана было затоплено ~ 46 ПБк твердых радиоактивных отходов (ТРО) без учета вклада СССР. Подавляющая их часть пришлась на Атлантику. Здесь в 25 районах затопили ~ 45 ПБк активности в основном за счет Великобритании (77,5%). В Тихом океане доминировали США - ~ 97 %.

В 1993 г. страны-участницы Лондонской конвенции, ссылаясь на недостаточную изученность радиозэкологических последствий, договорились о запрете затопления любых РАО в морях. С этого времени такого же подхода твердо придерживается и Россия.

Однако, к этому периоду СССР (в 60-80-х годах) осуществляла в с-з части Арктике сбросы отходов военного и ледокольного атомных флотов по различным оценкам активностью от 16 до 26 ПБк и частично на Дальнем Востоке в пределах 0,4-0,7 ПБк. Отличительной особенностью захоронений СССР/России являлось затопление в арктических морях не только ТРО, но и ОЯТ в специально изготовленных для этих целей герметичных конструкциях и объектах (рис. 1, 2. [1, 3, 4]).



Рис. 1. Районы и активность (исходная / в 2010 г.) твердых радиоактивных отходов, затопленных в Атлантике и Тихом океане по данным МАГАТЭ [1] и СССР/России [1, 4]

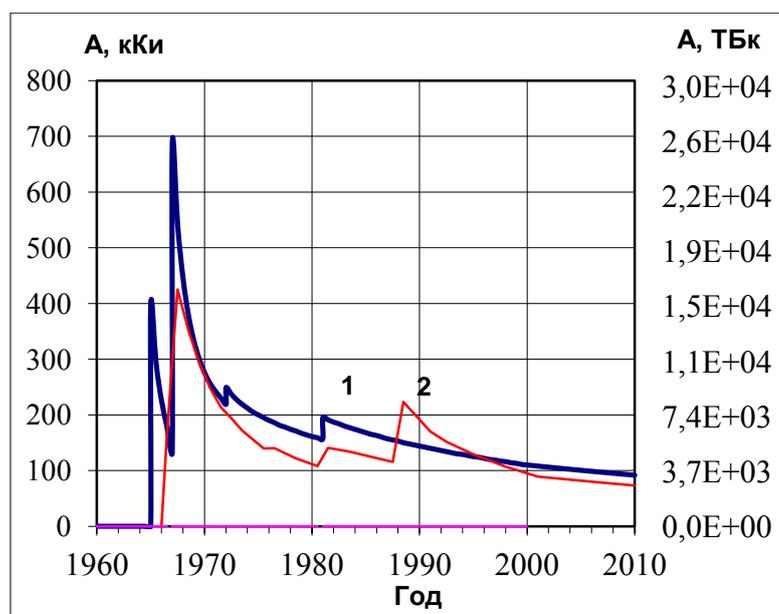


Рис. 2. Уменьшение в результате радиоактивного распада суммарной активности ЯРОО, затопленных в Арктике, по оценкам РНЦ «Курчатовский институт» и международного проекта МНТЦ-101 (1 - с учетом коротко и долгоживущих нуклидов, 2 - с учетом только долгоживущих нуклидов[3])

Из данных, представленных на рис. 1, видно, что вклад СССР/России в морское захоронение ТРО составил ~ 50 % от активности, затопленной зарубежными странами. Из них более 95% приходится на с-з часть Арктики, а именно - Карское море.

Примерно через три года после наиболее интенсивных затоплений ТРО и объектов с ОЯТ (рис. 2) их активность в результате радиоактивного распада снизилась в 2-3 раза и в настоящее время составляет ~ 2,6-3,3 ПБк, а в 2050 г. не будет превышать 1 ПБк.

В интересах обеспечения экологической безопасности Арктического региона захоронение ЯРОО проводили в Карском море, включая внутреннем заливы (> 70 %) архипелага Новая Земля. Такой подход должен был значительно ограничить выход радионуклидов в открытую часть моря. Считается, что Новоземельская впадина (глубины 300-400 м) расположенная на с-з Карского моря, окруженная со всех сторон мелководьем (50-100 м), должна в течение всего времени нахождения на дне ЯРОО выполнять роль подводной «ловушки» для них (табл. 1, рис. 3, 4).

Таблица 1
Затопленные ЯРОО в заливах архипелага Новая Земля и Карском море

Район затопления	Количество контейнеров, шт	Активность ТРО в контейнерах	Количество реакторов, шт	
		ТБк	с ОЯТ	без ОЯТ
Новоземельская впадина	4824	112,1	1	-
Залив Течений	194	15,9	-	2
Залив Благополучия	992	7,7	-	-
Залив Ога	2190	64,0	-	-
Залив Цивольки	5242	53,3	~ 0,5*	3
Залив Степового	1917	28,1	2	-
Залив Абросимова	646	16,7	3	5
Залив Седова	1100	111,8	-	-
Всего:	17105	409,6	6,5	10

Примечание. * - реактор заполнен ОЯТ примерно на половину

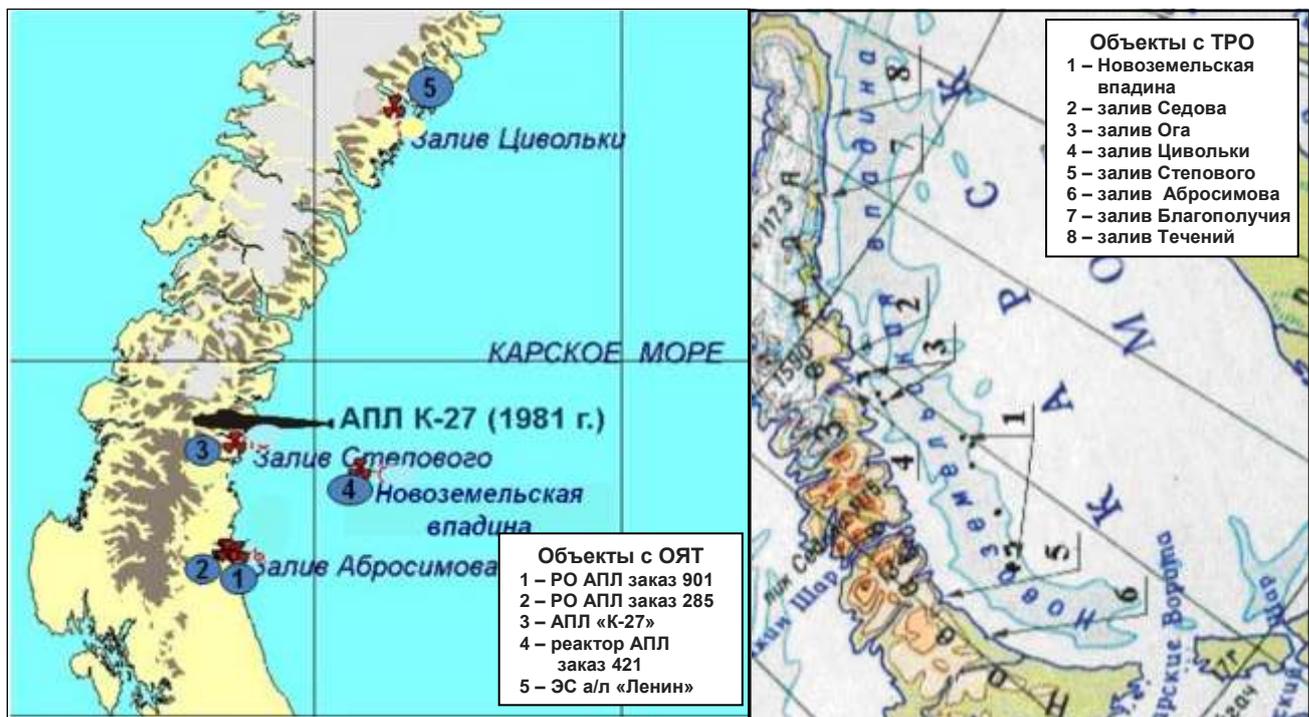


Рис. 3. Районы затопления объектов с ОЯТ и ТРО в Карском море

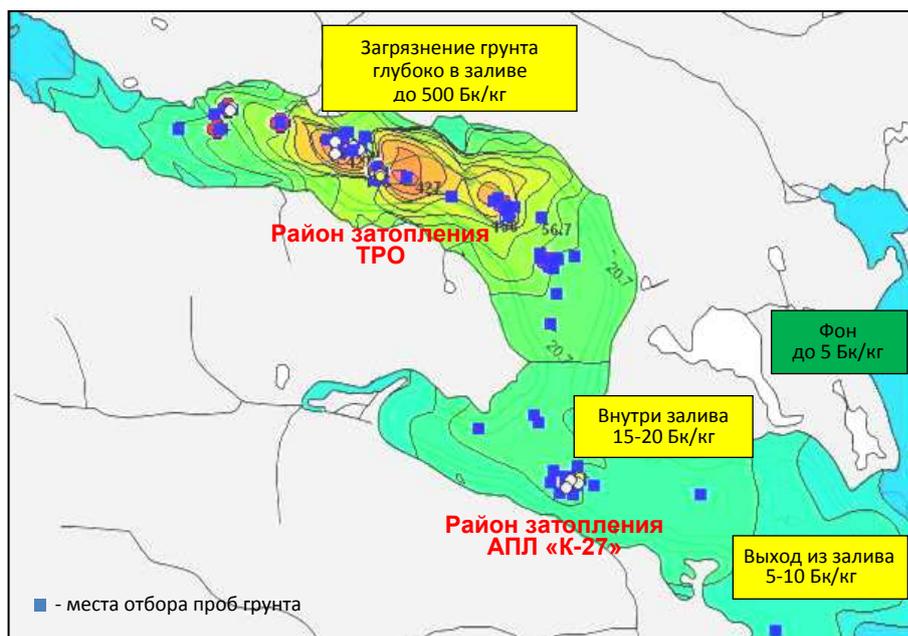


Рис. 4. Локализация техногенных радионуклидов внутри залива Степового (картограмма радиоактивного загрязнения ^{137}Cs поверхностного слоя донных отложений, места отбора проб грунта [5])

Ко второй группе наиболее опасны объектов с ОЯТ в Арктике относят, затонувшие на условно небольших глубинах (до 2000 м) в различные годы, АПЛ «Комсомолец» и «К-159», а на больших глубинах (до 6000 м) в Атлантике - АПЛ «К-8» и «К-219». Они затонули аварийно и их ЯЭУ не были специально, как затопленные объекты с ОЯТ, подготовлены для длительного хранения под водой (рис. 5 [1]).

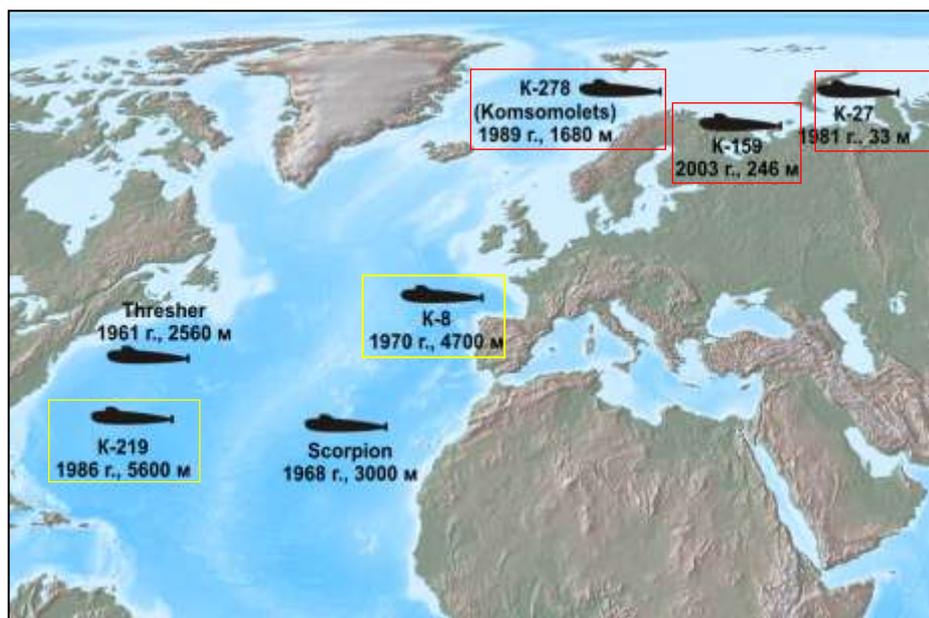


Рис. 5. Районы затопления АПЛ СССР/России и США в Атлантике и Арктике

Всего в с-з части Арктики затонули две и специально затоплена одна АПЛ СССР/России. На дне находятся пять реакторных отсеков с корабельными и судовыми ЯЭУ с ОЯТ и без него, 19 судов с ТРО, 735 конструкций и блоков ЯЭУ, загрязненных радиоактивными веществами, без герметичной упаковки и ~ 17000 контейнеров с ТРО.

Их суммарная радиоактивность по состоянию на 2000 г. оценивалась: с ОЯТ ~ 14 ПБк, с ТРО – ~ 3 ПБк. По активности доминируют АПЛ «К-159», «Комсомолец» и экранная сборка атомного ледокола «Ленин» (табл. 2 [1]).

Таблица 2

Активность затонувших и затопленных объектов с ОЯТ по состоянию на 2000 г.

Объект	Год завершения эксплуатации и затопления	Район затопления	Активность, ПБк	Вклад, %
Атомная подводная лодка:				
- «К-159» (затонула 246 м);	1989/2003	Баренцево море	6,6	47
- «Комсомолец» (затонула 1685 м);	1989/1989	Норвежское море	3,6	25
- «К-27» (затоплена 33 м).	1968/1981	Залив Степового	0,8	6
Реакторный отсек АПЛ:				
- заказ № 901 (затоплен 20 м);	1961/1965	Залив Абросимова	0,8	5
- заказ № 285 (затоплен 20 м).	1964/1966	Залив Абросимова	0,6	4
Реактор АПЛ заказ № 421 (затоплен 300 м).	1968/1972	Новоземельская впадина	0,2	2
Экранная сборка реактора ЯЭУ ледокола «Ленин» (затоплена 50 м).	1966/1967	Залив Цивольки	1,6	11
Всего 7 объектов с ОЯТ:	1965-2003	с-з часть Арктики	14,2	100

По истечении 30-50 лет после затопления не все объекты с отходами являются опасными. Отдельные стали не опасными, а оставшаяся часть относится к реальным (в пределах допустимых норм) и потенциальным источникам радиоактивного загрязнения окружающей среды. По этой причине, с учетом наблюдаемой и ожидаемой интенсивности поступления техногенных радионуклидов в морскую воду все затопленные объекты по степени их опасности можно разделить на следующие группы [1, 6-8]:

1. К не опасным ТРО относятся:

- с 1995 г. 735 конструкций и блоков ЯЭУ затопленных без герметичной упаковки в результате естественной дезактивации их поверхностного радиоактивного загрязнения в течение 3-5 лет после нахождения в морской воде;

- после 2005-2010 гг. ~ 16000 тонкостенных (3 мм) контейнеров с ТРО в результате выхода основной части радиоактивных веществ в морскую воду вследствие сильного их коррозионного разрушения.

2. К практически не опасным ТРО с выходом радионуклидов 1-100 МБк/год и временем воздействия 2100-2600 гг. будут относиться:

- до 2070 г. ТРО, находящиеся в толстостенных (5 мм) контейнерах;

- до 2150 г. затопленные суда, заполненные навалом ТРО;

- до 2200 г. залитые цементом ТРО в контейнерах;

- до 2600 г. крышки реакторов.

3. К относительно опасным объектам локального характера с выходом радионуклидов 100-10000 МБк/год будут относиться:

- в 2700-5000 гг. (при аварийных ситуациях 2300-2400 гг.) ЯЭУ без ОЯТ, находящиеся сейчас в РО.

4. К локально опасным объектам с выходом 10000-100000 МБк/год (10-100 ГБк/год) будут относиться:

- в 2700-3100 гг. (при аварийных ситуациях 2300-2400 гг.) ЯЭУ с ОЯТ;

- после 9000 г. экранная сборка атомного ледокола с ОЯТ.

Однозначно отнести затонувшие и затопленные АПЛ с ОЯТ к одной из приведенных выше групп и тем более получить обоснованный прогноз крайне сложно:

- АПЛ «Комсомолец» с момента затопления (1989 г.) является реальным источником опасности и характеризуется выходом активности на уровне 3,7-370 ГБк/год;

- АПЛ «К-159» затонула в 2003 г. и до настоящего времени относится к потенциальному источнику опасности. Оценить время и интенсивность выхода радиоактивных веществ не представляется возможным в связи с отсутствием данных о техническом состоянии ЯЭУ после заполнения АПЛ водой и ударе о дно;

- АПЛ «К-27» затоплена в 1981 г., ЯЭУ заполнена консервантом, РО омоноличен, выхода радионуклидов из ОЯТ в морскую воду не происходит. Однако специалисты ФЭИ им. А. И. Лейпунского предполагают, что при поступлении в реактор 15-20 л. воды существует вероятность возникновения локальной самопроизвольной цепной реакции, которая при определенных условиях может привести к загрязнению окружающей среды.

Однако было бы не правомерно, характеризуя ожидаемый выход техногенных радионуклидов из относительно и локально опасных объектов (пункты 3, 4) во времени, утверждать, что только в отмеченные выше периоды они поступают в морскую воду. В зависимости от наличия или отсутствия защитных барьеров, а также их эффективности они практически сразу после затопления или с задержкой в несколько десятков лет выходят в окружающую среду, но с разным радионуклидным составом и интенсивностью.

Выделяют три основных периода загрязнения окружающей среды [8]. К наиболее интенсивному относят выход радиоактивных веществ со скоростью 4000-50000 МБк/год из реактора с ОЯТ (продукты деления и пр.). При длительном безаварийном хранении РО под водой его следует ожидать через 700-1100 лет (при аварийном - через 300-400 лет) после затопления. Начальный же и завершающий - характеризуются выходом в воду менее радиоэкологически опасных продуктов активации со скоростью до 100 МБк/год.

Для понимания степени радиоэкологической опасности поступления техногенных радионуклидов из ЯРОО в морскую воду с приведенной выше интенсивностью (относится к условиям длительного безаварийного хранения объектов на дне) следует напомнить, что в соответствии с действовавшими при затоплении ЯРОО отечественными нормами, которые были сопоставимы с рекомендациями МАГАТЭ, выход до 110 ТБк/год радиоактивных веществ не опасен ни для населения, ни для окружающей среды ($1 \text{ ПБк} = 10^3 \text{ ТБк} = 10^6 \text{ ГБк} = 10^9 \text{ МБк} = 10^{12} \text{ кБк} = 10^{15} \text{ Бк}$) [9-11].

Однако не только экологическая сторона вопроса формирует актуальность проблемы. Необходимость обеспечения радиационной и радиоэкологической безопасности в Карском море в большей степени определяет интенсивное освоение нефтегазовых месторождений, где на удалении 10-100 км от с-з границы нефтегазового района находятся объекты с ОЯТ и ТРО, а отдельные из них попадают внутрь (Рис. 6. [12]).

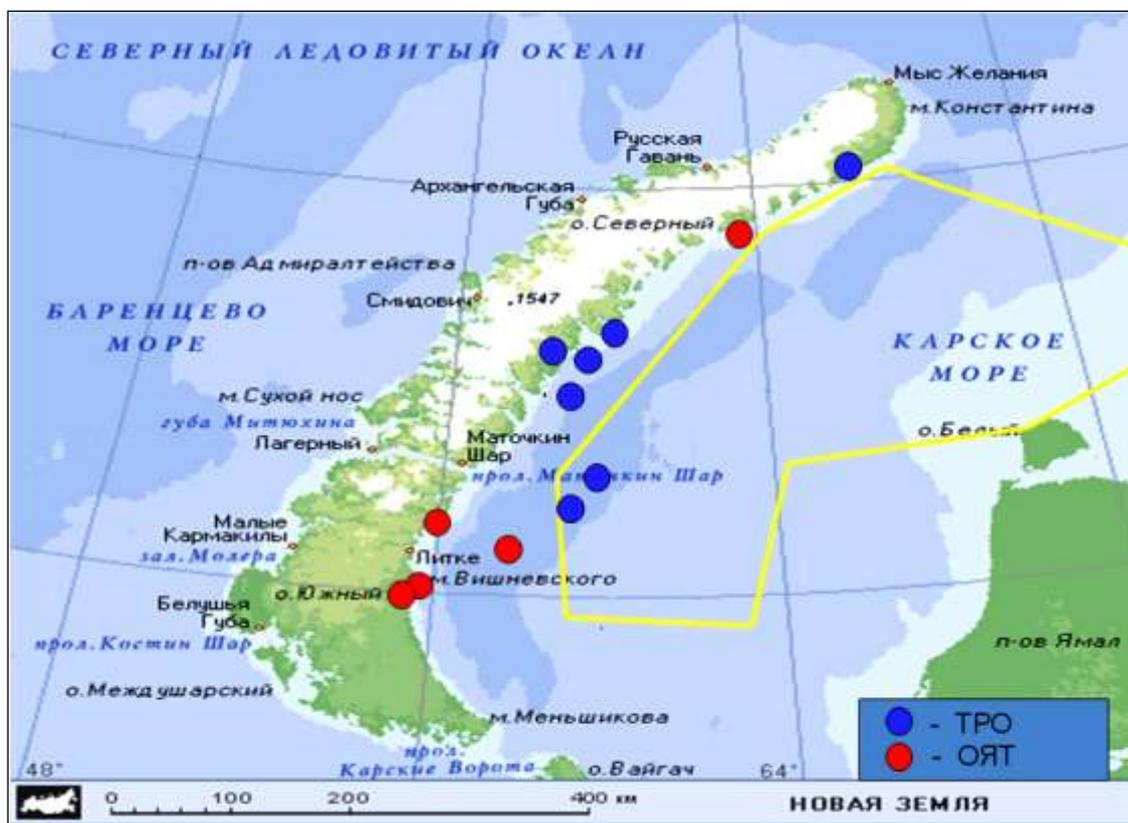


Рис. 6. Границы области потенциальной разработки углеводородов в Карском море и места затоплений объектов с ОЯТ и ТРО

Как известно любая инженерная или подобного рода деятельность не исключает возможности возникновения аварийных ситуаций. Прогноз, выполненный в [13], в интересах обеспечения радиационной безопасности бурения скважин в Карском море на примере единичных затопленных объектов показал, что механическое разрушение контейнера с ТРО будет сопровождаться местным радиоактивным загрязнением морской среды (воды и донных отложений) в пределах нескольких соте-тысяч метров от него, а при разрушении объекта с ОЯТ – десятками и сотнями километров (рис. 7. [13]).

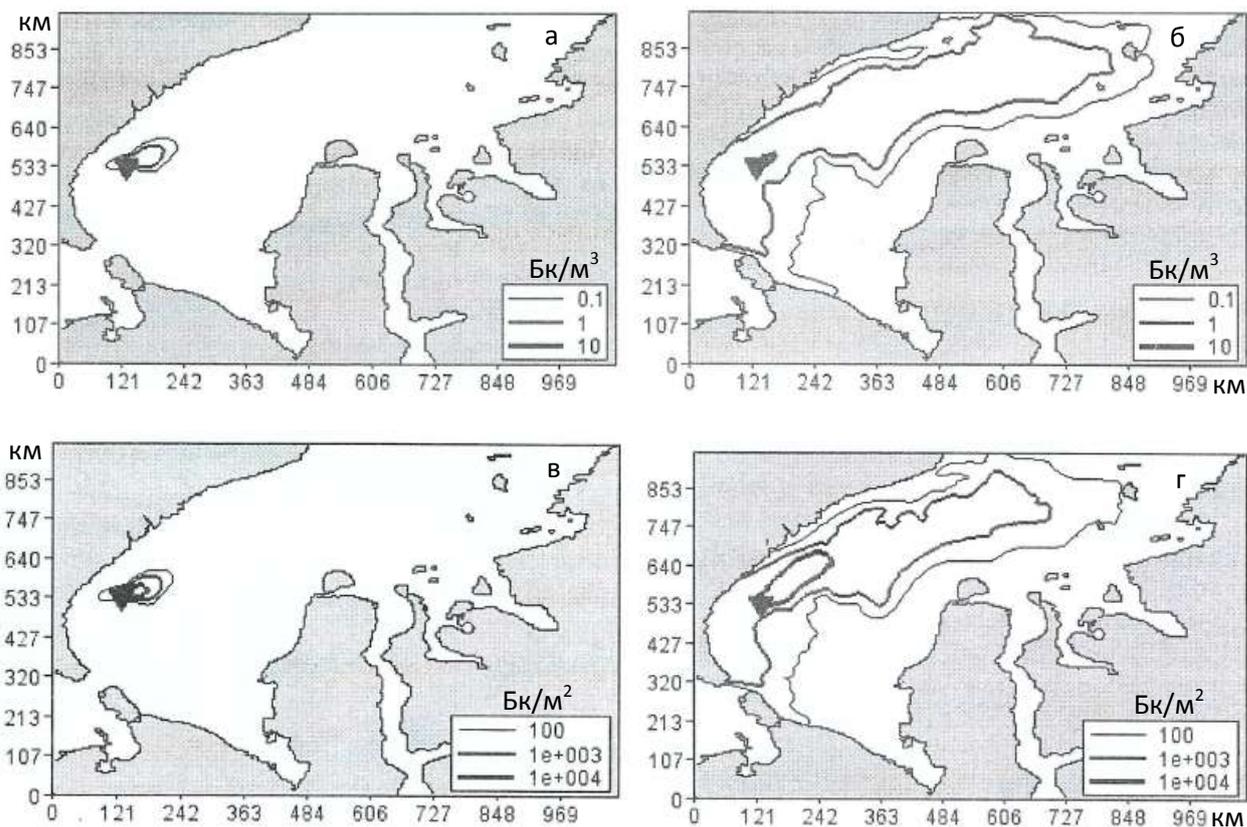


Рис. 7. Прогноз распространения радиоактивных веществ в морской воде (а, б) и загрязнения донных отложений (в, г) в случае разрушения реактора АПЛ с ОЯТ заказа № 421 через 5 и 50 дней (затоплен на 300 м в Новоземельской впадине)

В итоге проблему реабилитации арктических акваторий от затопленных и затонувших ЯРОО можно охарактеризовать следующими видами ожидаемых угроз:

- не исключены претензии со стороны ряда зарубежных стран по радиационному загрязнению морской среды Норвежского моря АПЛ «Комсомолец»;

- существует угроза рыболовству и другим видам деятельности при загрязнении прибрежной зоны Баренцева моря в случае выхода радиоактивных веществ за пределы АПЛ «К-159»;

- на АПЛ «К-27» не исключено возникновение самопроизвольной цепной реакции и загрязнение окружающей среды (Ликвидация в 2018-20 гг. единственного пункта выгрузки ядерного топлива из АПЛ этого класса не позволит при необходимости оперативно обеспечить безопасность региона от потенциальной опасности. Возникнет потребность строительства нового комплекса, что приведет к дополнительному неоправданному экономическому риску и пр.);

- многие опасные объекты находятся вблизи, а отдельные входят в район потенциальной разработки нефтегазового шельфа Карского моря, что в любой момент по экологическому фактору может быть воспринято зарубежными партнерами, как недопустимое;

- ликвидацию «Ядерного наследия» СССР нельзя считать завершенной без реабилитации морских акваторий от наиболее опасных ЯРОО, а для этого необходимо:

- разработать и утвердить Концепцию, Стратегию и Программу реабилитации;
- создать благоприятные условия для привлечения международной помощи;
- запланировать финансирование (в 2005 г. требовалось ~ 300 млн. евро, в 2010 г. ~ 400 млн. евро, а в 2015 г. потребуется до 500 млн. евро);
- разработать, согласовать и утвердить нормативные требования по радиоактивному загрязнению морской среды (воде, грунтам фауне, флоре),

приемлемые на отечественном и международном уровнях. Нерешенность этого вопроса оставляет за собой спорную область правовых международных отношений на завершающей стадии реабилитации районов затопления ЯРОО и в случае возникновения ЧС, расположенных в нейтральных водах или внутрироссийских внутренних водах, относящихся к местам совместного освоения арктического шельфа.

Несмотря на то, что в настоящее время многие ЯРОО не представляют реальной радиозэкологической опасности для населения и окружающей среды, их необходимо рассматривать как источники *потенциальной* опасности. По мнению зарубежных и отечественных специалистов нахождение большого количества объектов с ОЯТ и РАО на дне такого уникального природного региона, как Арктический бассейн, неприемлемо как с экологической, так и этической точек зрения.

Исходя из отмеченного, с учетом экологических, экономических и организационно-технических факторов, учитывающих [6, 14]:

- международную значимость экономического освоения региона;
- экономическую обеспеченность решения реабилитационных вопросов;
- сложность подъема объектов с ОЯТ с больших глубин;
- прогноз технического состояния объектов в случае продолжения длительного их хранения в морской воде на грунте и радиозэкологические последствия;
- организационно-технической готовности к подъему, доставке и утилизации.

порядок реабилитации морских акваторий от наиболее опасных ЯРОО можно представить в следующем виде (подъем и утилизация от наиболее опасных к менее опасным):

1. Объекты с ОЯТ.

1. АПЛ «К-27», «К-159», баржа с реактором АПЛ заказа № 421.
2. Затопленная баржа с экранной сборкой атомного ледокола.
3. Затопленные реакторные отсеки заказов № 285 и № 901.
4. Затонувшая АПЛ «Комсомолец» (Не решен вопрос – поднимать или изолировать на месте, т. к. при разгерметизации ЯЭУ внутри накопилось большое количество РАО, при ударе о дно разрушена носовая часть и пр.).

2. Объекты без ОЯТ.

1. Затопленные «Лихтер-4» с двумя реакторами АПЛ заказа № 538 и реакторный отсек атомного ледокола с тремя реакторами.
2. Реакторные отсеки АПЛ заказ № 254 и № 260.
3. ТРО, затопленные в Новоземельской впадине в судах: «Хосе Диас», «Саяны», «Курейка», «Леопард» и «Могилев» (Не решен вопрос о допустимости оставления на месте при освоении шельфа Карского моря. В случае недопустимости - приоритет изменится и перейдет на одно из первых мест, подобное реактору с ОЯТ заказа 421).

В заключение необходимо отметить, что опыт мирового судоподъема показывает - не все затонувшие объекты могут быть одновременно подняты. Большое количество судов ждут своей очереди, исчисляемой десятилетиями, в надежде на развитие новых технологий и оправданности подъема. Причин достаточно, включая сложность поиска, большие глубины затопления, недопустимое техническое состояние или существенные разрушения, нерентабельность и пр. Применительно к ЯРОО добавляются вопросы ядерной, радиационной и радиозэкологической опасности, которые перед принятием ответственных решений потребуют оценки соответствующих рисков.

Однако имея обоснованные Стратегию и долговременную финансово обеспеченную Программу реабилитации «Ядерного наследия», затопленного и затонувшего в морях Арктического региона, можно на современном научно-техническом уровне добиться положительных результатов.

Литература

1. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря («Белая книга-2000»). М. ИздАТ, 2005. - 624 с.
2. Inventory of Radioactive Material Entering the Marine Environment: Sea Disposal of Low Level Radioactive Waste, IAEA-TECDOC-588, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1991. – 137 p.
3. Лавковский С.А., Кобзев В.Н., Лысцов В.Н. и др. Разработка научно-методологических основ диагностирования и прогнозирования состояния захоронений ядерных отходов на дне Баренцева, Карского и Японского морей. Определение путей предотвращения опасных экологических последствий. Проект МНТЦ-101 (СКБ "Лазурит", Нижний Новгород), 1998. – 317 с.
4. Саркисов А.А., Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В. и др. Проблемы радиационной реабилитации арктических морей, способы и пути их решения. // Арктика. Экология и экономика, № 1, 2011. – с.70-82.
5. Казеннов А.Ю. Технологии радиационного мониторинга затопленных объектов и акваторий. Опыт РНЦ «Курчатовский институт» С.-П.: Материалы Российско-Норвежской рабочей встречи. 2010. - 29 с.
6. Саркисов А.А., Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В., Никитин В.С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. М.: ИБРАЭ РАН, 2006. – 76 с. /2009. – 82 с.
7. Антипов С.В., Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В. и др. Оценка выхода техногенных радионуклидов в морскую воду из затопленных ядерных радиационно-опасных объектов в результате коррозии защитных барьеров в Арктическом и Дальневосточном регионах. М.: ИБРАЭ РАН, 2010. – 342 с.
8. Высоцкий В.Л., Сивинцев Ю.В., Сотников В.А. и др. Выход техногенных радионуклидов в морскую воду из затопленных и затонувших ядерных и радиационно-опасных объектов // Известия Академии наук. Энергетика. № 1, 2014. – сс. 38-54.
9. Временные санитарные требования к сбросу в море с объектов ВМФ жидких отходов, содержащих долгоживущие радиоактивные вещества, ВМФ, Москва, 1960. – 61 с.
10. Временные санитарные требования к захоронению в море радиоактивных отходов (ВСТЗ-66), ВМФ, Москва, 1966. – 87 с.
11. Временные правила сброса ЖРО слабой активности в морские районы. ВМФ, М, 1993. - 92 с.
12. Саркисов А.А., Антипов С.В., Высоцкий В.Л. и др. Научно-технические проблемы радиоэкологической реабилитации потенциальных районов нефтегазового промысла арктических морей. Новосибирск. Вторая всероссийская научно-техническая конференция. Научное и техническое обеспечение исследований и освоения шельфа Северного ледовитого океана, 2012. – сс. 199-205.
13. Архипов Б.В., Солбаков В.В., Соболев И.О. и др. Моделирование рассеивания радиоактивности в морской среде. М.: ВЦ им. А. А. Дородницына РАН. 2012. – 31 с.
14. Саркисов А.А., Антипов С.В., Высоцкий В.Л. Приоритетные проекты программы реабилитации Арктических морей от радиационно-опасных объектов и необходимость международного сотрудничества. Париж. Материалы 26-го пленарного заседания КЭГ МАГАТЭ 18-19 октября 2012. 2012 – 15 с.