

IV. Экология

Проблемы радиационной реабилитации арктических морей, способы и пути их решения

А.А. Саркисов, академик,

В.Л. Высоцкий, доктор технических наук,

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,

Ю.В. Сивинцев, доктор физико-математических наук,

РНЦ «Курчатовский институт»,

В.С. Никитин, доктор технических наук,

Центр судостроения ОАО «Звездочка»

В проблеме устойчивого развития человечества и защиты окружающей природной среды важнейшее место занимают особо ранимые полярные области нашей планеты, в частности Арктика. В отличие от бережно хранимой Антарктики, Арктика подвергается интенсивному освоению. Техногенное воздействие на Арктику резко возросло в последние десятилетия из-за поисков и освоения новых месторождений газа и нефти на континентальном шельфе, а так же из-за явно обострившегося интереса к ее минеральным ресурсам.

С конца 70-х годов прошлого века мировая общественность стала уделять повышенное внимание сохранению арктической природной среды. В 1991 г. по инициативе Финляндии восемь стран, входящих в арктический регион (Дания вместе с суверенной Гренландией, Исландия, Канада, Норвегия, Россия, США, Финляндия и Швеция), подписали в Рованиemi стратегию защиты окружающей природной среды Арктики. Целями этой стратеги провозглашены защита арктических экосистем, в том числе и людей, обеспечение охраны и восстановление качества природной среды, применение установленных правил использования природных ресурсов, а также признание традиций и культурных нужд коренных народов Севера [1].

Соответственно повышение экономической и политической роли Арктики стало сопровождаться естественным ростом озабоченности, связанной с экологическими проблемами, одна из которых обусловлена подводными потенциально опасными объектами, долгие годы находящимися на дне арктических морей. Это в первую очередь относится к отравляющим химическим веществам, боеприпасам и взрывчатым веществам, затопленным во время и после Второй мировой войны, а также к загрязнению акваторий радиоактивными веществами.

В последние 15–20 лет особую озабоченность мировой общественности вызывают события, связанные с последствиями гонки ядерных вооружений, которые нанесли определенный урон экологии Арктики. Это - радиоактивное загрязнение отдельных ее районов и нахождение до настоящего времени на дне потенциально радиоэкологически опасных твердых радиоактивных отходов, включая затопленные и затонувшие атомные подводные лодки (АПЛ).

Практика затопления радиоактивных отходов (РАО) в Мировом океане была общепринятой в 60-х–70-х гг. в странах, развивающих мирное и военное использование ядерной энергии. Первую такую операцию провели США в 1946 г. в северо-

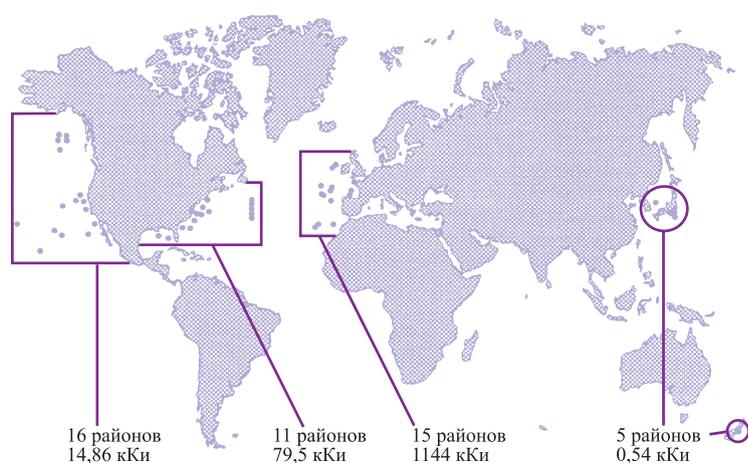


Рис. 1
Районы затопления
и активность
радиоактивных отходов
в Мировом океане
по данным первой
инвентаризации МАГАТЭ
(без учета вклада СССР) [2]

восточной части Тихого океана, затопив твердые радиоактивные отходы (ТРО) в 80 км от побережья Калифорнии. Убеждение в безопасности этих операций было настолько большим, что даже не были надежно зафиксированы данные ни об активности, ни об их радионуклидном составе.

Вскоре к такой же практике захоронения радиоактивных отходов прибегли и другие государства: Великобритания, затопивавшая их в Северной Атлантике с 1949 г., а затем с 1960 г. Бельгия, избравшая для этой цели пролив Ла-Манш рядом с побережьем Франции, и многие другие страны. Новая Зеландия и Япония осуществляли такие работы вблизи своих берегов в Тихом океане, начиная с 1954 г. В 1959 г. США впервые затопили в Атлантическом океане корпус корабельного ядерного реактора, демонтированного с АПЛ «Seawolf» [2].

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) с 1957 г. стало разрабатывать методологию безопасного удаления радиоактивных отходов в морях. В 1975 г. вступила в силу международная Лондонская конвенция 1972 г. по дампингу (затоплению), направленная на предотвращение чрезмерного загрязнения морей при затоплении отходов, которую дополняли рекомендации МАГАТЭ по обеспечению радиационной безопасности при проведении таких операций с РАО.

Всего в 1946–1982 гг. (в основном во время действия Лондонской конвенции) затопление радиоактивных отходов осуществляли 14 стран в 47 районах Атлантического и Тихого океанов (рис. 1). По обобщенным данным первой инвентаризации, выполненной экспертами МАГАТЭ в 1991 г., за 36 лет в морях Мирового океана было затоплено 1,24 МКи/46 ПБк радиоактивных отходов без учета вклада СССР. Подавляющая их часть (~98%) приходится на северную часть Атлантики. Здесь в 15 районах было затоплено 1,22 МКи / 45,31 ПБк РАО, главным образом за счет ТРО, удаленных Великобританией (~78%). В Тихом океане доминирует доля отходов США (~97%).

В Дальневосточном регионе, кроме упомянутых выше Новой Зеландии и Японии, затопление радиоактивных отходов проводила Южная Корея вблизи своего побережья в Японском море [3].

В 1983 г. страны-участницы Лондонской конвенции, в основном под давлением «зеленого» движения, приняли решение о моратории – добровольной приостановке удаления РАО в моря. Одновременно эта конвенция, разрешающая и регулирующая дампинг отходов, в том числе и радиоактивных, была переименована в конвенцию по предотвращению загрязнения морей сбросами отходов и других материалов. В 1993 г. страны-участницы Лондонской конвенции, ссылаясь на недостаточную изученность радиоэкологических последствий операций по удалению отходов в Мировой океан, запретили затопление любых РАО в морях.

В 1957–1992 гг. в Арктике (в Баренцевом и Карском морях) слив жидких и затопление твердых радиоактивных отходов (ЖРО, ТРО) осуществляли СССР/Россия. Впервые сведения об удалении РАО в омывающие нашу страну моря были опубликованы в 1993 г. в материалах Правительственной комиссии, более известных как «Белая книга» 1993 г.» [4].

Боле подробная и обоснованная информация по этой проблеме, включая оценки радиоэкологических последствий, представлена в 2005 г. в монографии [5] («Белая книга – 2000»), подготовленной ведущими российскими специалистами, которая была существенно дополнена новыми данными с устранением неточностей, допущенных в [4].

Наша страна удаляла в моря жидкие и твердые радиоактивные отходы, образующиеся только при эксплуатации АПЛ и атомных ледоколов, лишь в специально выбранных районах вне интенсивного судоходства и рыболовного промысла (рис. 2).

Многолетний мониторинг распределения техногенных радионуклидов в окружающей среде, регулярно проводимый отечественными и зарубежными специалистами, позволил выделить следующие источники радиоактивного загрязнения Арктики:

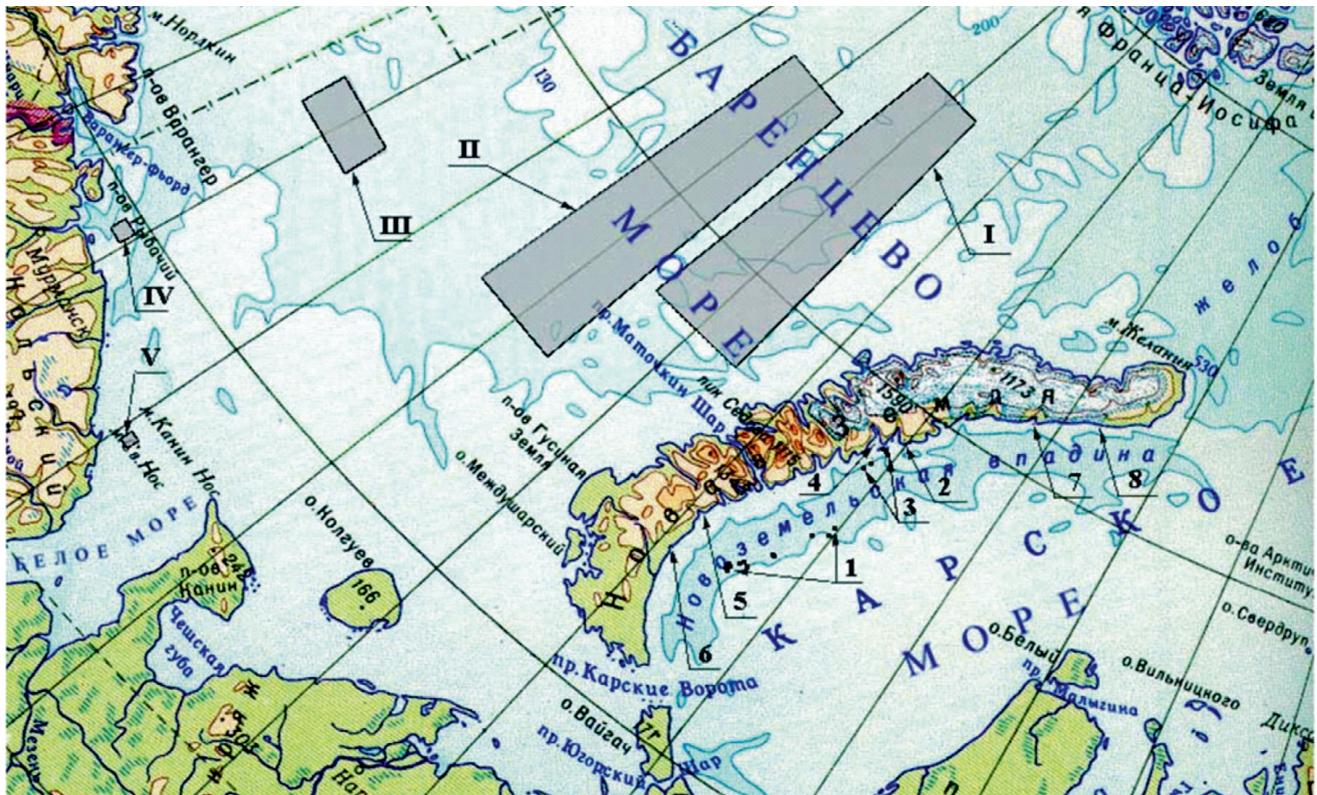


Рис. 2

Карта районов, выделенных для удаления РАО в Арктике

Районы затопления твердых радиоактивных отходов в Карском море:

1 – Новоземельская впадина; 2 – залив Седова;
3 – залив Ога; 4 – залив Цивольки; 5 – залив Степового;
6 – залив Абросимова; 7 – залив Благополучия;
8 – залив Течений.

Районы слива жидких радиоактивных отходов в Баренцевом море обозначены римскими цифрами.

- глобальные выпадения продуктов атмосферных ядерных испытаний;
- атмосферные выпадения продуктов аварии 1986 г. на Чернобыльской АЭС;
- речной вынос техногенных радионуклидов в моря с территорий водосбора;
- перенос РАО, сбрасываемых в моря западноевропейскими радиохимическими заводами по переработке отработавшего ядерного топлива;
- сбросы радиоактивных отходов атомного флота, проведенные СССР/Россией на акваториях Карского и Баренцева морей;
- последствия аварий при эксплуатации кораблей с ядерными энергетическими установками.

Не все перечисленные источники равнозначны и требуют пристального внимания. В частности, прекращение атмосферных ядерных испытаний привело к снижению радиоактивного загрязнения окружаю-

щей среды в десятки раз, что само по себе позитивно. На этом фоне в настоящее время уже практически не проявляются и последствия аварии 1986 г. на Чернобыльской АЭС. Вынос искусственных радионуклидов в моря с водами рек в основном сокращается во взаимосвязи с постепенной очисткой атмосферы от продуктов ядерных испытаний.

Особо отметим, что техногенные радионуклиды, обусловленные сбросами из отечественных ядерных центров ПО «Маяк», Сибирский химкомбинат и Красноярск-26, практически не оказали влияния на радиоактивность арктических морей. Из-за огромной протяженности Енисея, Иртыша и Оби техногенные радионуклиды в основном осели в поймах этих великих рек Арктики и в донных отложениях эстуария (так называемого маргинального фильтра океана), где происходит смешение морской и пресных вод и лавинообразное выпадение взвесей. Не представляют опасности и последствия сброса жидких радиоактив-

ных отходов, которые были прекращены Россией в Арктике в 1992 г. (в Японском море – в 1993 г.).

В тоже время к постоянно действующим источникам, кроме глобальных выпадений, следует отнести вынос радиоактивных отходов с западноевропейских радиохимических заводов по переработке отработавшего ядерного топлива.

Сброс радиоактивных отходов с заводов Англии и Франции

Поступление РАО с западноевропейских радиохимических заводов (в основном, в Ирландское море с английского завода Селлафилд и в пролив Ла-Манш с французского радиохимического завода на мысе Аг) оказало заметное влияние на техногенную радиоактивность южных частей Баренцева и Карского морей. Максимальные объемы сброса отходов имели место в 1974–1978 гг. Время переноса водных масс от Ирландского до Баренцева и Карского морей составляет 5–6 лет. Поэтому повышенное содержание техногенных радионуклидов в арктических морях наблюдалось в начале 80-х гг. В этот период концентрация ^{137}Cs в южной части Баренцева моря достигла 30 Бк/м³, что в 5–6 раз превысило фоновый уровень, обусловленный глобальными радиоактивными выпадениями. Влияние слива жидких радиоактивных отходов Селлафилда было выявлено также в водах Белого моря и в Северном Ледовитом океане [6–8].

С момента ввода в эксплуатацию (1957 г.) по настоящее время заводом Селлафилд в Ирландское море сброшено более 1 МКи / 37 ПБк ^{137}Cs и 150 кКи/5,5 ПБк ^{90}Sr . В результате водообмена к 1985 г. в Баренцево море поступило около 200 кКи/7,4 ПБк ^{137}Cs и 45 кКи/1,7 ПБк ^{90}Sr (выполненные в 1995 г. оценки показали, что поступление ^{137}Cs превысило рассчитанное в 1985 г. значение на 23% и составило ~246 кКи). Из них около 2% техногенных радионуклидов (до 4 кКи ^{137}Cs и 0,9 кКи ^{90}Sr) оказалось в Карском море [5].

В результате мер по дополнительной очистке, внедренных на заводе Селлафилд, сброс радиоактивно-загрязненных вод в Ирландское море к 2000 г. уменьшился на два порядка по сравнению с серединой 70-х годов. Фактическое их поступление за 1995–99 гг. составило 546 ТБк/14,7 кКи ^{99}Tc , 130 ТБк/3,5 кКи ^{90}Sr и 46 ТБк/1,2 кКи ^{137}Cs .

Если снижение интенсивности сбросов отходов с радиохимических заводов приводит к реальному уменьшению техногенной нагрузки на арктический регион, то нахождение затопленных/затонувших АПЛ и ТРО СССР/России в северо-западной части Арктики представляет собой потенциальную опасность, которая для отдельных объектов с каждым годом возрастает и может существовать десятки и сотни лет.

Затопленные радиоактивные отходы СССР/России

В настоящее время на дне морей северо-западной Арктики находятся около 18 тысяч объектов различной степени радиационной опасности, которые в основном были затоплены в период «холодной войны» и содержат РАО от эксплуатации АПЛ Северного и ледокольного флотов. Семь из объектов радиационного «наследия» содержат делящиеся вещества, входящие в отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) на основе обогащенного урана, и относятся к классу ядерно-опасных. Прежде всего, это три АПЛ, одна из которых («К-27» с двумя корабельными ядерными жидкометаллическими реакторами) была затоплена в 1981 г. в заливе Степового восточного побережья Новой Земли. Две другие АПЛ аварийно затонули – «К-278» («Комсомолец») в 1989 г. в Норвежском море, «К-159» в 2003 г. в Баренцевом море.

Кроме того, в 60-х годах в бухтах восточного побережья Новой Земли были затоплены пять реакторных отсеков с корабельными и судовыми ядерными энергетическими установками, две из которых содержат ОЯТ, и специальный контейнер с экранной сборкой, содержащей часть ОЯТ одного из реакторов атомного ледокола «Ленин». В Новоземельской впадине Карского моря затоплена баржа с содержащим ОЯТ аварийным реактором, выгруженным из АПЛ заказ № 421 (табл. 1, рис. 3).

Суммарная активность затоплений российских РАО в Баренцевом и Карском морях составляет 38,8 ПБк/~1,05 МКи, что практически равно активности жидких радиоактивных отходов, которые были разрешены контрольными органами Великобритании для сбросов завода Селлафилд в период его наиболее интенсивной деятельности в 1971–1987 годах (37 ПБк/1,0 МКи). Такие сливы, хотя и в меньшей интенсивности, продолжают по настоящее время.

Таблица 1

Находящиеся на дне морей Арктики ядерные и радиационно-опасные объекты СССР/Россией, затопленные/затонувшие в 1957–92 гг. и 2003 г.

3 атомные подводные лодки	с ОЯТ
5 реакторных отсеков	два с ОЯТ
1 ядерный реактор с АПЛ заказ № 421	с ОЯТ
1 контейнер с экранной сборкой атомного ледокола	с ОЯТ
19 судов с твердыми радиоактивными отходами на борту	–
735 радиоактивных конструкций и блоков	–
Более 17 тыс. контейнеров с радиоактивными отходами	–

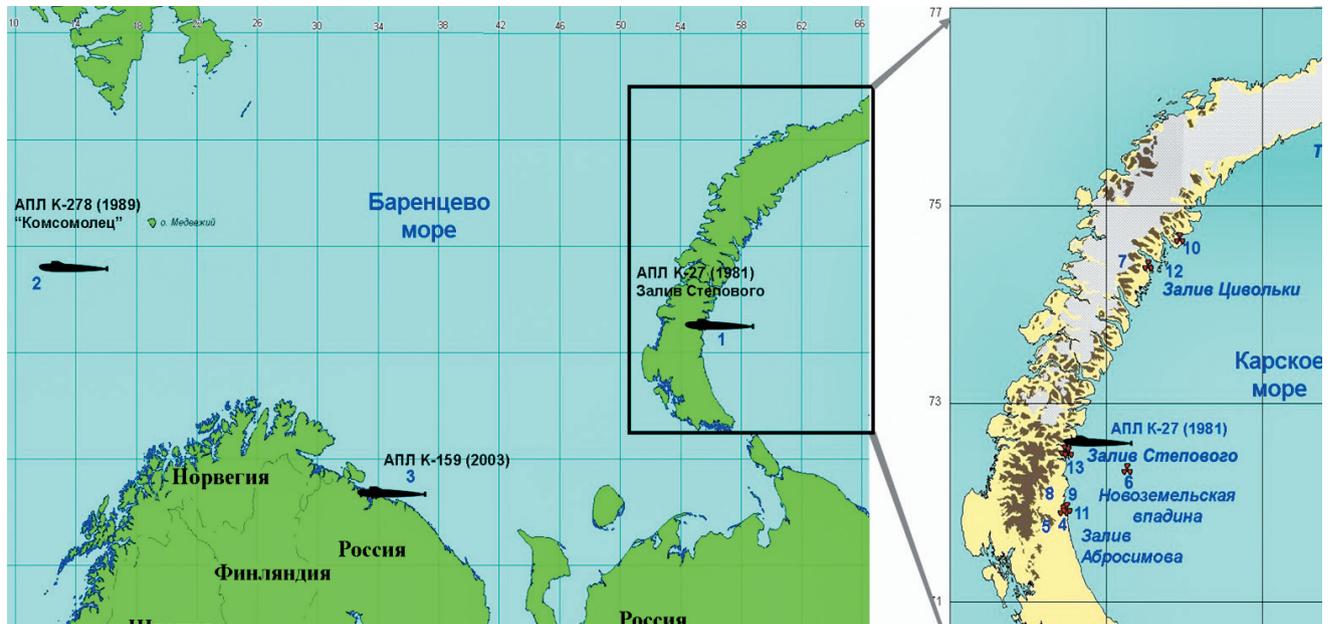


Рис. 3

Крупногабаритные ядерные и радиационно-опасные объекты, находящиеся на дне морей северо-западной Арктики

1. АПЛ К-27 затоплена на глубине 20 м,
2. АПЛ «Комсомолец» затонула на глубине 1680 м,
3. АПЛ К-159 затонула на глубине 250 м,
- 4 – реакторный отсек АПЛ К-19 (1965),
- 5 – реакторный отсек АПЛ К-11 (1966),
- 6 – реактор АПЛ К-140 (1972),
- 7 – экранная сборка атомного ледокола (1967),
- 8 – два реактора АПЛ К-3 (1988),
- 9 – реакторный отсек АПЛ К-5 (1967),
- 10 – реакторный отсек атомного ледокола (1967),
- 11 – корпус реактора, 12 – крышки четырех реакторов

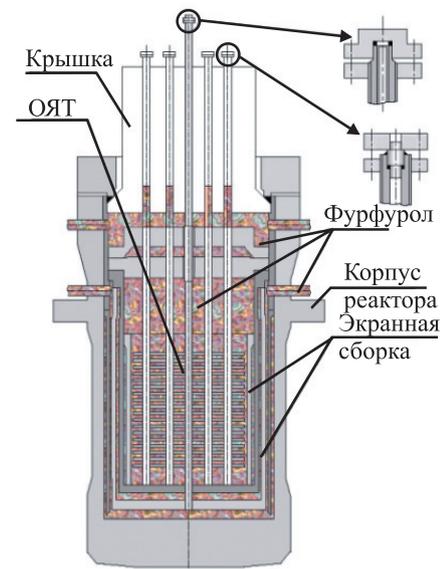
Тем не менее до настоящего времени не выявлено региональное влияние погибших российских АПЛ и других затопленных объектов с ОЯТ и РАО на радиоэкологическую обстановку в арктическом регионе. Причина состоит в том, что затопленные объекты, особенно с ОЯТ, имеют специальную многослойную защиту, предотвращающую непосредственный контакт ядерного топлива с морской водой в течение сотен лет (рис. 4).

Однако даже при таких условиях, в результате деградации защитных барьеров наступит период постепенного выхода долгоживущих техногенных радионуклидов в морскую воду, т. е. ныне потенциально опасные источники со временем превратятся в реальные. Такие источники в дальнейшем будет крайне сложно поднять со дна, т. к., к примеру (см. рис. 4), через 10–20 лет в результате коррозии разрушатся були и легкий корпус реакторного отсека, через 60–80 лет – торцевые переборки этого отсека (вода попадет в реакторный отсек), а через 200–250

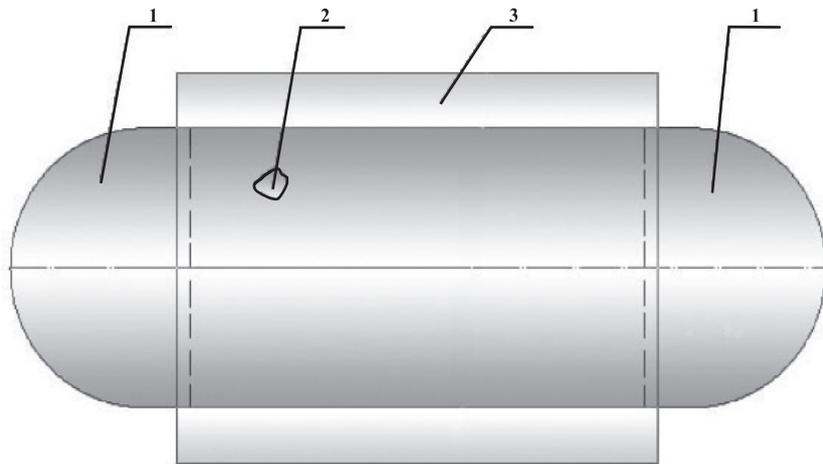
разрушится прочный корпус (реакторы и реакторное оборудование окажутся на дне без внешней оболочки) и т.д. Гораздо быстрее окажутся на дне затопленные реакторы с ОЯТ АПЛ и реакторная сборка с ОЯТ ледокола «Ленин», установленные перед затоплением на барже и понтоне. Наступит это примерно через 70–90 лет [9].

Состояние радиэкологической обстановки в арктических морях

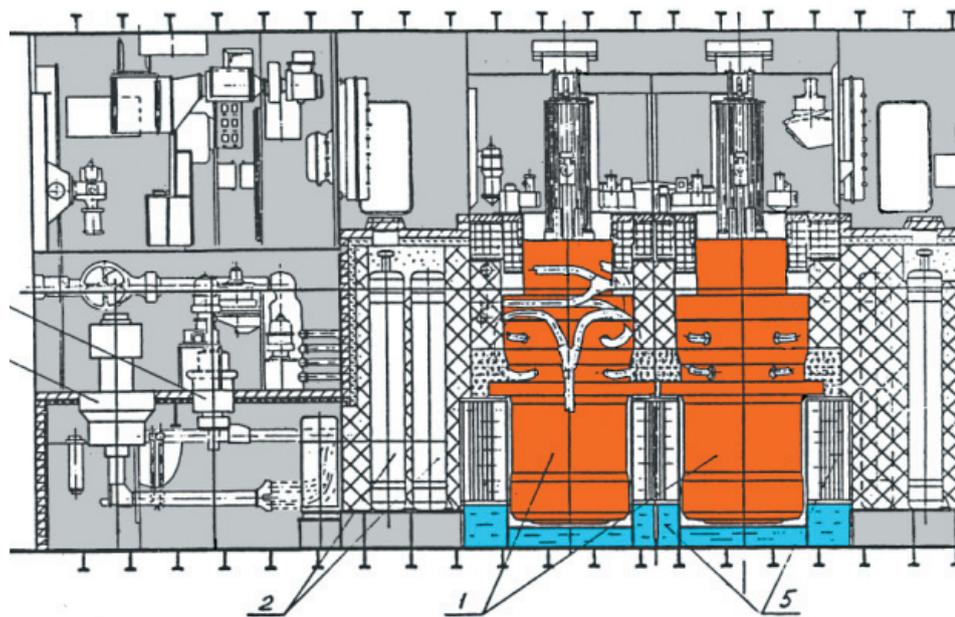
Несмотря на неблагоприятную отдаленную перспективу, в настоящее время концентрации долгоживущих радионуклидов в морской воде в морях Арктики остаются сравнимыми с характерными для Средиземного моря и Тихого океана и в несколько раз ниже, чем в Черном, Балтийском и Ирландском морях, где затопление ОЯТ и ТРО не проводилось [5, 10].



Консервация реакторов АПЛ с ОЯТ



Герметизированный реакторный отсек АПЛ:
1 - були плавучести, 2 - реакторный отсек. 3 - легкий корпус



Расположение оборудования в реакторном отсеке АПЛ
(1 – реакторы, 2 – компенсаторы объема, 3 – главный насос, 5 – ...)

Рис. 4
Подготовка реакторов с ОЯТ
и реакторного отсека к затоплению

Таблица 2

Вариации концентраций ^{137}Cs и ^{60}Co в поверхностном слое донных отложений
в местах захоронения ТРО
в различные годы, Бк/кг сухого веса [11]

Места отбора проб	1992–1994 гг.		2002–2004 гг.	
	^{137}Cs	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co
Залив Абросимова	200–8400	1–70	5–44	1–5
Залив Степового	26–5450	30–3150	20–1800	1–26

Таблица 3

Средние концентрации ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{238}Pu в поверхностном слое донных отложений
в 2004 г. в местах захоронения ТРО в заливах и Карском море,
Бк/кг сухого веса [12]

Места отбора проб	^{137}Cs	$^{239,240}\text{Pu}$	^{238}Pu
Залив Цивольки	6,2±3,5	0,18±0,11	<0,04
Залив Абросимова	18,6±3,6	0,63±0,28	0,063±0,044
Залив Степового	54,7±78	0,62±0,28	0,105±0,140
Новоземельская впадина (Карское море)	11,0±3,5	0,44±0,28	<0,02

Таблица 4

Средние концентрации ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{238}Pu в поверхностном слое донных отложений
в 2004 г. в местах захоронения ТРО в заливах и Карском море,
Бк/кг сухого веса [12]

Места отбора проб	Донные отложения (2004 г.)	Бентос (2005–2006 гг.)		
		Бурые водоросли	Двустворчатые моллюски	Иглокожие
Залив Цивольки	1 - 12	–	0,1 – 0,5	<0,1 – 0,2
Новоземельская впадина	~10	–	–	0,1 – 0,6
Залив Абросимова	13 - 22	0,4 – 1,2	0,5 – 1,1	3,0 – 3,2
Залив Степового	4 - 268	1,8 – 2,4	1,2 – 1,6	0,9 – 1,1

В то же время установлено, что в заливах Абросимова и Степового (архипелаг Новая Земля) в донных отложениях присутствуют техногенные радионуклиды, обусловленные затопленными ТРО, которые сосредоточены в непосредственной близости к этим объектам (табл. 2, 3).

Сопоставление данных, полученных в начале 90-х годов и новом столетии, свидетельствует о существенном снижении концентраций ^{137}Cs и ^{60}Co в поверхностном слое донных отложений вблизи мест захоронения ТРО в заливах Абросимова и Степового (см. табл. 2). Тем не менее, в них наблю-

дается линейная корреляция между загрязнением донных отложений и содержанием ^{137}Cs в морском бентосе. Однако концентрация ^{137}Cs в них невелика (табл. 4) и в несколько раз ниже допустимых норм для пищевых продуктов.

Также установлено, что в коммерческих видах рыбы Баренцева моря удельная активность ^{90}Sr составляет от 0,01 до 0,03 Бк/кг, ^{137}Cs – от 0,14 до 4,2 Бк/кг, $^{239,240}\text{Pu}$ – от 0,0007 до 0,002 Бк/кг, а в рыбе Карского моря ^{90}Sr – от 0,02 до 0,04 Бк/кг, ^{137}Cs – от 0,1 до 1,1 Бк/кг сырого веса. По своей величине она не отличается от концентраций, обусловленных глобальными

Таблица 5

Оценки мощности дозы облучения биоты
Карского моря [14–18]

Параметр	Техногенные радионуклиды	Природные радионуклиды (фон)
Внутреннее облучение, нЗв/сут		
Фитопланктон	0,03–0,3	500–2000
Зоопланктон	0,09–4	600–4000
Ракообразные	0,6–5	2000–5000
Моллюски	2–9	2000–4000
Макрофиты	2–10	1000–3000
Рыба	10–40	600–1000
Водоплавающие птицы	9–40	500–1500
Внешнее облучение, нГр/сут		
От воды	0,3–0,9	20–100
От седиментов	100–600	700–9000
От седиментов (зал. Абросимова, у ТРО)	100–8500	700–9000

Примечание: В связи с различным временем жизни гидробионтов приведены значения мощности дозы, отнесенные к суткам.

Таблица 6

Оценки коллективной дозы (чел-Зв/год) и вклада (%) в нее
различных радионуклидов
за счет потребления морепродуктов
из Баренцева моря [17]

Морепродукт	Доза	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	Pu
Рыба	2.5 – 4.2	94	3	3
Ракообразные	0.11 – 0.16	62	5	33
Моллюски	0.04 – 0.07	51	3	46
Водоросли	0.05 – 0.08	24	52	24
Млекопитающие	0.009	64	22	14
Всего	2.7 – 4.5	90	5	5

выпадениями, на многие порядки ниже активности природного ⁴⁰K, и в тысячи раз ниже допустимых по отечественным нормативам и по международным рекомендациям. Соответственно дозовые техногенные нагрузки остаются невысокими (табл.5).

Из данных, приведенных в табл.5, видно, что дозы внутреннего облучения морских организмов не превышают 40 нЗв/сут, основной вклад в них дают ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs. Такие дозы в 10 и более раз ниже природного внутреннего облучения. Дозы внешнего техногенного облучения за счет воды составляют в Карском море 0,3–0,9 нГр/сут, от донных отложений (седиментов) –

100–600 нГр/сут. Это также в 10–100 раз меньше доз за счет природного радиационного фона.

Более высокие уровни внешнего облучения бентосных организмов имеют место в заливах Карского моря вблизи контейнеров с ТРО. В этих локальных биотопах размером в несколько десятков метров уровни облучения от донных отложений могут достигать 8500 нГр/сут, что сопоставимо с природным радиационным фоном (до 9000 нГр/сут).

Для оценок дозы внутреннего облучения населения от потребления арктических морепродуктов в качестве исходной информации были использованы обоб-

шенные результаты наблюдений за содержанием техногенных радионуклидов в промысловых видах гидробионтов Баренцева и Карского морей, а также данные о промысловых уловах морепродуктов. Расчеты выполнены в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [5].

Полная коллективная доза от потребления морепродуктов из Баренцева моря составляет 3–5 чел-Зв/год, наибольший вклад в нее (93%) дает потребление рыбы. Доля других морепродуктов много меньше: ракообразных – около 4%, морских водорослей ~1,7%, моллюсков ~1,4%, морских млекопитающих ~0,3%. Из радионуклидов наибольший вклад в дозу от потребления морепродуктов вносит ^{137}Cs (табл. 6). По сравнению с Баренцевым морем, коллективная доза от потребления морепродуктов из Карского моря на порядок ниже в силу его более низкой продуктивности и значительно меньшей численности критических групп населения и составляет около 0,03 чел-Зв/год

Для критических групп населения наряду с потреблением рыбы учитывали использование и других морепродуктов – ракообразных, моллюсков и морских водорослей. В настоящее время индивидуальная доза облучения представителей таких групп населения, проживающих на побережье Баренцева и Карского морей, оценена в пределах 3–4 мкЗв/год. Это в сотни раз ниже современных допустимых дозовых нормативов для населения как по российским Нормам радиационной безопасности [19], так и по рекомендациям МАГАТЭ [20].

Результаты наблюдений за содержанием радионуклидов в воде и донных отложениях Белого, Баренцева и Карского морей, проведенные в 60-х и 70-х годах, показывают, что даже в период наиболее интенсивных атмосферных ядерных испытаний и радиоактивных выпадений содержание ^{90}Sr в морской воде в среднем составляло 37 Бк/м³ (1 пКи/л). Такие концентрации радионуклидов существенно меньше допустимых для человека и для гидробионтов и не представляют опасности ни для населения, ни для обитателей моря.

В течение всего периода наблюдений (1960–2009 гг.) техногенная радиоактивность воды в контролируемых районах была существенно ниже действующих в России нормативов и международных рекомендаций. В настоящее время в открытых районах Карского и Баренцева морей регистрируются концентрации техногенных радионуклидов в морской воде, наиболее низкие за весь период и в десятки раз меньшие, чем в других морях Мирового океана, где не проводился дампинг РАО.

В целом, имеющиеся данные позволили сделать вывод, что уровни техногенного облучения арктических гидробионтов, в том числе за счет затопленных ТРО, весьма малы и не могут являться значимым источником радиоэкологического риска.

На основании результатов многолетнего радиационного мониторинга, норвежско-российская группа экспертов и эксперты МАГАТЭ провели оценку воздействия радиоактивных загрязнений на окружающую среду. Они пришли к выводу, что сброшенные радиоактивные отходы должны оставаться на дне моря, но необходимо периодическое проведение мониторинга для обнаружения возможных изменений обстановки [21].

В итоговом обзоре, представленном на последней международной конференции по радиоэкологии, которая состоялась в июне 2008 г. в г. Берген (Норвегия), норвежские и российские ученые, обобщив результаты совместных исследований, особо отметили, что нет признаков выхода продуктов деления из затопленных реакторов.

В то же время необходимо особенно четко выделить принципиально важное различие между ОЯТ и ТРО. Активность затопленных ТРО снижается из года в год из-за радиоактивного распада, вследствие чего их реальная и потенциальная опасность, в конце концов, станет пренебрежимо малой. В противоположность этому, для ОЯТ такое время крайне продолжительное (сотни-тысячи лет), т. к. одновременно кроме радиоактивного распада одних радионуклидов в нем происходит образование и накопление других.

Поскольку постепенная деградация конструктивных элементов затонувших и затопленных реакторов с ОЯТ (АПЛ, реакторных отсеков, реакторов) сопровождается увеличением потенциальной опасности, которая в конечном итоге перейдет в реальную, нам или нашим потомкам придется заняться подъемом и утилизацией этих ядерно-опасных объектов, что делает особо актуальной задачу очистки (реабилитации) морей от затонувших и затопленных потенциально опасных ядерных объектов.

Ярким примером позитивного подхода к решению этой проблемы является подъем затонувшей аварийной АПЛ «Курск», осуществленный голландской компанией «Маммут» в 2002 г. [22, 23]. Используемые при этом современные технологии подъема тяжелых затопленных объектов большого объема [24] вселяют уверенность в возможность реабилитации морских акваторий, загрязненных РАО в результате эксплуатации российских корабельных и судовых реакторов. Такой же подход может быть в последующем использован для подъема и других затонувших АПЛ России и США.

К сожалению, это направление международной деятельности крайне трудоемко, требует больших финансовых вложений, доброй воли правительств экономически развитых стран Европы и Америки, поддержки общественности для снижения угроз, обусловленных ядерными и радиационно-опасными объектами в Мировом океане, формирования новых этических и экологических норм и правил взаимоотношений человека и биосферы.

Таблица 7

Рассчитанная на 2000 г. активность* объектов, затопленных с ОЯТ, по данным трех независимых международных проектов, кКи(ТБк) [5]

№ п/п	Наименование объекта	ЕС [26]	МАГАТЭ[25]	МНТЦ-101 [28]
1	Экранная сборка ОК-150	13,8 (512)	13,5 (500)	10,4 (385)
2	АПЛ зав. № 601	7,6 (279)	6,0 (218)	5,8 (215)
3	РО АПЛ зав. № 901	4,6 (169)	5,1 (188)	4,9 (181)
4	РО АПЛ зав. № 285	4,0 (148)	4,3 (160)	4,0 (148)
5	Реактор АПЛ зав. № 421	2,2 (82,6)	1,9 (69)	1,6 (59)
	Всего:	32,2 (1190,6)	30,8 (1135)	26,7 (988)

*Примечание: на основе суммы только пяти долгоживущих радионуклидов: ^{55}Fe (период полураспада 2,7 года), ^{60}Co (5,27 года), ^{99}Tc (213 тыс. лет), ^{137}Cs (30,2 года), ^{239}Pu (24,1 тыс. лет). По состоянию на 2010 г., приведенные в табл.7 значения меньше на ~10%.

Оценка полноты и достоверности имеющейся информации

Полученная к настоящему времени информация о затопленных объектах является очень «пестрой» и во всех случаях отличается неполнотой, в некоторых аспектах она достоверна, в ряде других – противоречива.

Неполнота этой информации обусловлена, в основном, отсутствием сведений об активных зонах затопленных транспортных реакторов, которыми обусловлена большая часть активности и радиационной опасности объектов, находящихся на дне арктических морей. Неизвестны также режимы их эксплуатации, и мало вероятно, что они могут быть опубликованы в ближайшем будущем. Поэтому при всех выполненных оценках радионуклидного состава и активности эксперты использовали различные модели: в одних случаях (МАГАТЭ и ЕС) это были судовые реакторы ледокола «Ленин» и лихтеровоза «Севморпуть» [25, 26], в других (МНТЦ, МИФИ) – энергетические реакторы ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 [27, 28]. Неизвестны также схемы конструктивных барьеров, окружающих активную зону реактора, что делает относительно мало достоверными оценки скорости их разрушения и выхода радионуклидов в окружающую морскую среду.

Условно достоверной является информация, полученная экспертами, которые участвовали в выполнении трех независимых проектов по оценке активности радионуклидов, содержащихся в затопленных объектах с ОЯТ – это проекты IASAP (МАГАТЭ) и 101 (МНТЦ), а также «Карское море» (ЕС). Об этом свидетельствует близость оценок российских и иностранных ученых, что видно из сопоставления данных прогнозов разных авторов на 2000 г., приведенных в табл. 7, которые одновременно подтверждают приемлемость использования для этих целей имеющихся моделей и методов расчета.

Однако следует подчеркнуть, что численные оценки, приведенные в табл. 7, относятся только к пяти основным долгоживущим радионуклидам. В действительности необходимо учитывать более десятка радионуклидов [5]. По этой причине по данным [25, 26] активность объектов с ОЯТ на 2000 г. в сумме составляет ~31–32 кКи, тогда как по данным [28, 5] – ~110 кКи.

Недостоверной оказалась информация, приведенная в [4] о сроке службы твердеющего радиационно-стойкого консерванта на основе фурфурола, использованного при затоплении объектов с ОЯТ: вместо указанной величины 500 лет совместными американско-российскими экспериментами показано, что она порядка 100 лет [29].

Кроме этого неизвестно реальное местоположение отдельных объектов с ОЯТ. Нет данных о фактическом состоянии контейнеров с ТРО, их прочностных характеристиках, равно как и для других затопленных объектов и пр.

Объекты, рекомендуемые к рассмотрению в интересах реабилитации морских акваторий.

Несмотря на сложность проблемы, постановка вопроса о формировании перечня объектов, подлежащих первостепенной утилизации, является определенной – необходимо удаление объектов с ОЯТ. Такой подход кажется тривиальным, если не принимать во внимание необходимости его обоснования, а в последующем учета экономических затрат и целесообразности реализации всего проекта в целом.

Решение данной задачи в первую очередь должно затрагивать выявление возможных нарушений международных соглашений по проблеме захоронений РАО в арктических морях, а также национальных (российских) норм и правил. При наличии

нарушений выявление и ранжирование объектов по их реальной и потенциальной опасностям приобретает смысл. В противном случае эта процедура будет носить чисто условный рекомендательный характер.

Такой анализ был проведен в работах [5, 30], что позволило прийти к следующему заключению:

1. Анализ основных международных соглашений, национальных норм и правил свидетельствует об отсутствии со стороны СССР/России нарушений, связанных с проходившим до 1991 г. затоплением РАО кораблей и судов атомного флота в арктическом регионе.

2. Количество затопленных РАО СССР/России меньше сбросов радиоактивных отходов, продолжающих поступать до настоящего времени с радиохимических заводов Англии и Франции, которые являются основными постоянными источниками радиоактивного загрязнения западных арктических морей.

3. Ни одним из международных соглашений, национальных норм и правил не предусмотрена реабилитация морских акваторий и не сформулированы предъявляемые к ней требования. Однако в случае расширенного толкования основных положений этих документов не исключается возможность реализации подобной процедуры по взаимной договоренности заинтересованных сторон.

4. Затонувшие и затопленные на северо-западе арктического региона российские объекты, содержащие отработавшее ядерное топливо и радиоактивные отходы, являются масштабным проявлением последствий «холодной войны».

5. Выполненные натурные исследования свидетельствуют, что в настоящее время эти объекты не представляют реальной радиологической опасности для населения и окружающей природной среды. Вместе с тем часть из них, в особенности содержащие ОЯТ, следует рассматривать, как источники потенциальной опасности, масштабы и последствия которой будут зависеть от состояния защитных барьеров, отделяющих радиоактивные вещества от морской среды, механизмов их дальнейшего переноса (не исключен трансграничный перенос) в воде, воздействия на биоту и человека.

6. Нахождение большого числа объектов с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами на дне такого уникального природного региона, как арктический бассейн, без комплексной Программы дальнейшего обращения с ними и систематического радиологического контроля является неприемлемым как с экологической, так и с этической точек зрения.

7. Наличие ядерных материалов, находящихся в практически неконтролируемых условиях в мелководных районах на морских акваториях, делает данную проблему еще более актуальной из-за террористической опасности.

8. Для обоснования основных направлений дальнейшей деятельности необходима всесторонняя

разработка и анализ различных сценариев развития процессов, влияющих на радиологическую обстановку в морях северо-западной части арктического региона, включая расширение значимости международных морских экспедиции, направленных на проведение комплексных инженерно-радиологических исследований и рассмотрение различных вариантов обращения с затонувшими/затопленными объектами, а также получение реальных данных о возможности их подъема, с учетом радиологических, экономических, социально-политических, нравственно-этических и других факторов.

9. Полная реабилитация морских акваторий от всех затопленных объектов и тем более перезахоронение ядерных и радиационно-опасных объектов с радиологической точки зрения нецелесообразна и экономически невыгодна, а для последнего варианта недопустима в соответствии с принятыми Россией международными обязательствами.

10. В сложившихся условиях в интересах практического решения вопроса о снижении потенциальной экологической угрозы, исходящей от затопленных/затонувших в период «холодной войны» в арктических морях объектов СССР/России, необходима разработка комплексной Программы подъема всех объектов с ОЯТ, включая АПЛ.

Список литературы

1. Андреев А.О., Дукальская М.В., Фролов С.В. Международный полярный год (История и перспективы) СПб, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ), 2007. (136 с).
2. Inventory of Radioactive Material Entering the Marine Environment: Sea Disposal of Radioactive Waste. IAEA - TECDOC - 588, 1991 (173 p).
3. International Meeting on Assessment of Actual and Potential Consequences of Radioactive Waste into Arctic Seas (Oslo, Norway, 01 – 05 February 1993) Working Materials of the International Atomic Energy Agency, Vienna, 1993 (194 p).
4. Факты и проблемы, связанные с захоронением радиоактивных отходов в морях, омывающих территорию Российской Федерации (Материалы доклада Правительственной комиссии по вопросам, связанным с захоронением в море радиоактивных отходов, созданной распоряжением Президента РФ от 24.10.1992 г. за № 613-рп). Администрация Президента РФ, М., 1993 (108 с).
5. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л., Губин А.Т., Данилян В.А., Кобзев В.И., Крышев И.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. Радиологические последствия удаления радиоактивных отходов в

- арктические и дальневосточные моря («Белая книга-2000»). М. ИздАТ, 2005 (624 с).
6. Вакуловский С. М., Тертышник Э. Г., Чумичев В. Б., Шкуро В. Н. Радиоактивное загрязнение Карского моря. Труды ИЭМ, вып. 2, Обнинск, 1974, сс. 173 – 179.
 7. Вакуловский С. М., Никитин А. И., Чумичев В. Б. О загрязнении арктических морей радиоактивными отходами западноевропейских радиохимических заводов. - Атомная энергия, 1985, т. 58, вып. 6, сс. 445–449.
 8. Вакуловский С. М., Никитин А. И., Чумичев В. Б. Загрязнение Белого моря радиоактивными отходами западноевропейских стран. Атомная энергия, 1988, том 65, вып. 1, сс. 66–67.
 9. Антипов С. В., Высоцкий В. Л., Сивинцев Ю. В. и др. Оценка рисков выхода радионуклидов для затопленных РАО с учетом коррозионного износа защитных барьеров. М.: ИБРАЭ РАН, 2010 (178 с).
 10. Nielsen S., Joensen H. Recent trends of environmental radioactivity in Greenland and the Faroe Islands. In: Radioecology and Environmental Radioactivity (Proc. of the Intern. Conf., 15-20 June 2008. Bergen, Norway). In 4 Parts. Osteras, Norway, 2008. Part 1, pp. 436-439. .
 11. Stepanets O., Borisov A., Ligaev A., Vladimirov M. Radiological investigations in Shallow Bays of Novaya Zemlya Archipelago in 2002 – 2004. In: Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic (The 6st International Conference, Nice, France, 02-06 October 2005). Ed. by P. Strand, P. Borretzen and T. Jolle, Osteras, 2005, pp. 118–121.
 12. Никитин А. И., Чумичев В. Б., Валетова Н. К. и др. Современное содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239-240}\text{Pu}$ и ^3H в воде речной системы р. Иртыш. Известия вузов Серия Ядерная энергетика, вып. 3, 2005, сс. 26 -34.
 13. Кобылянский В. В., Рогачева А. В., Доманов М. М., Полунина Ю. Ю. Содержание и накопление Cs-137 в бентосных организмах в районах захоронения твердых радиоактивных отходов в Карском море. Подводные технологии, 2007, № 2, сс. 60 – 71.
 14. Крышев И. И., Сазыкина Т. Г. Оценка экологического риска радиоактивного загрязнения Карского и Баренцева морей// Известия вузов. Ядерная энергетика, N 2, 1993, сс. 81 - 89.
 15. Крышев И. И., Сазыкина Т. Г. Оценка радиэкологических последствий захоронения радиоактивных отходов в арктических морях. Известия Академии Промышленной Экологии. N 2, 1999, сс. 99–102.
 16. Крышев И. И., Странд П., Браун Дж. Е. Факторы концентрации радионуклидов в морской арктической биоте. Сборник аннотаций Международной конференции «Радиационное наследие XX века и восстановление окружающей среды (Радлег-2000)». 30 октября – 2 ноября 2000. Москва. – С. 55.
 17. Sazykina T., Kryshev I. Current and potential doses from Arctic seafood consumption.- Science of the Total Environment, Vol. 202, 1997, pp. 57–65.
 18. Sazykina, T. G., Kryshev, I. I. and Kryshev, A. I. Doses to marine biota from radioactive waste dumping in the fjords of Novaya Zemlya. Radiation Protection Dosimetry. 1998. Vol. 75, No.1–4, pp. 253–256.
 19. Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Издание официальное, Минздрав России, 2009 (93 с).
 20. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996 (116 p).
 21. Ядерная безопасность на северо-западе России. Министерство иностранных дел Норвегии, 2005 г. (22 с.)
 22. Offrings H. Raising the Kursk. Plantijn Casparie. Utrecht. 2003. (ISBN 90-5179-108-9) 186 p.
 23. Черняев А. М., Гапонов И. А., Казеннов А. Ю., Денскевич А. В. Радиационное обследование атомной подводной лодки «Курск». Атомная энергия, том 93, вып. 3, 2002, сс. 37-41.
 24. Пашин В. М. Развитие судоподъемных технологий. В сб. Флагман корабельной науки. Том 5. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. (Сб. статей. Периодическое издание). СПб, 2008, сс. 95 – 106.
 25. Predicted Radionuclide Release from Marine Reactors Dumped in the Kara Sea. IAEA-TECDOC - 938, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1997 (123 p).
 26. Ali S. M., Beaumont H. M., Dutton L. M. et al. Evolution of the radiological situation around the nuclear reactors with spent fuel which have been scuttled in the Kara Sea. Report EUR-17634 EN, 1997(126 pp).
 27. Рубцов П. М., Ружанский П. А. Оценка радиационных характеристик отработавшего ядерного топлива реакторов атомных подводных лодок и ледокола «Ленин», затопленных в районе архипелага Новая Земля. Атомная энергия, т. 81, вып. 3, 1996, сс. 212 – 219.
 28. Международный Научно-технический Центр, Проект 101. Лавковский С. А., Кобзев В. Н., Лысцов В. Н. и др. «Разработка научно-методических основ диагностирования и прогнозирования состояния захоронений ядерных отходов на дне Баренцева, Карского и Японского морей. Определение путей предотвращения опасных экологических последствий. Проект 101 МНТЦ. (СКБ «Лазурит», Нижний Новгород), 1998 (268 с).
 29. Heiser J. H., Sivintsev Ju., Alexandrov V. P., Dyer R. S. Leaching of Radionuclides from Furfurol-based Polimers Used to Solidify Reactor Compartment and Components Disposed in the Arctic Kara Sea. In: Environmental Radioactivity in the Arctic (Proc. of the 4-th Intern. Conf, Edinburgh, Scotland, 20-23 September 1999). Ed. by P. Strand and T. Jolle. Osteras, Norway, 1999, pp. 298 – 300.
 30. Саркисов А. А., Высоцкий В. Л., Сивинцев Ю. В., Никитин В. С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. М.: ИБРАЭ РАН, 2009 (82 с).