

# Исследования - Исследования в области обеспечения радиационной и экологической безопасности морских акваторий и арктического региона - Разработка подходов к решению проблемы реабилитации Арктических и Дальневосточных морей от радиационно опасных объектов

 [ibrae.ac.ru/contents/464](http://ibrae.ac.ru/contents/464)

Русский / [English](#)



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

[ИНСТИТУТ](#) [ИССЛЕДОВАНИЯ](#) [ПРОЕКТЫ](#) [НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ](#) [НОВОСТИ](#) [КОНТАКТЫ](#)

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ И ИНЦИДЕНТОВ НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОГО ФЛОТА

Техногенные радионуклиды попадают в морскую среду прежде всего вследствие осуществлявшегося ранее сброса и захоронения жидких (ЖРО) и твердых (ТРО) отходов радиационно опасных производств, а также в результате аварий и катастроф на объектах атомного флота. В связи с этим в ИБРАЭ РАН большое внимание уделяется проблематике задач, связанных с обеспечением радиационной безопасности объектов атомного флота России, а также затопленных судов, радиоактивных отходов и других ЯРОО. Наряду с решением проблем комплексной утилизации ядерного наследия холодной войны и экологической реабилитации загрязненных территорий и акваторий, «морская» тематика включает в себя исследования в области обоснования безопасности плавучих и мобильных атомных теплоэлектростанций малой мощности (ПАТЭС и АСММ). В перспективе эти электростанции, проектирование которых осуществляется с учетом опыта создания корабельных ЯЭУ, должны составить основу энергетической системы российского Севера, Сибири и Дальнего Востока.

В рамках данного научного направления ИБРАЭ РАН проводит работы по моделированию процессов распространения радионуклидов и токсичных химических веществ в морской среде, оценке экологических рисков, связанных с радиационным загрязнением морских акваторий, по повышению эффективности мероприятий по обращению с ОЯТ и РАО и экологической реабилитации загрязненных территорий. Результаты этих исследований составляют научную основу разработки стратегий обеспечения радиационной и экологической безопасности населения и окружающей среды в масштабах как отдельных регионов (Северо-Западный, Арктический, Дальневосточный), так и России в целом.

### Моделирование последствий тяжелых радиационных аварий в морской среде

#### Актуальность задачи

Одна из первоочередных задач обеспечения экологической безопасности предприятий, деятельность которых может сопровождаться сбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, мест временного хранения и захоронения РАО, объектов атомного флота и других ЯРОО

состоит в радиоэкологической оценке последствий попадания радионуклидов в моря и океаны и компьютерном моделировании процессов их распространения в морской среде.

Исследования по моделированию последствий радиационных аварий на объектах атомного флота проводились в ИБРАЭ РАН в рамках международных проектов по линии Россия — НАТО. Рассматривались как аварии на АПЛ (в частности, при выгрузке ОЯТ), так и возможность затопления в результате терактов судов с ОЯТ и радиоактивными отходами. Разработанные сценарии событий и модели распространения радиоактивных веществ в воздушной и водной среде использовались в дальнейшем при оценке угроз, радиационных и экологических рисков для населения прилегающих к району аварии регионов.

Совместно с ИВМ РАН было проведено моделирование глобального переноса радионуклидов на акватории северо-западной части Тихого океана в случае террористических актов при транспортировке ОЯТ и РАО специальным судном с Камчатки в Приморский край. Аналогичные расчеты проведены также для оценки последствий гипотетической аварии в акватории Белого моря судна технологического обеспечения с ОЯТ и РАО на борту.

*Последствия гипотетической тяжелой радиационной аварии при выгрузке ОЯТ из АПЛ в Авачинской бухте.*

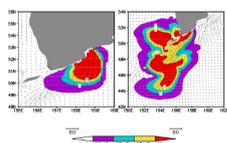
### Программные ресурсы

Моделирование процессов распространения радионуклидов в водной среде осуществлялось с использованием разработанных в ИБРАЭ РАН совместно с ИВМ РАН расчетных кодов «Нептун» и «Кассандра», которые интегрированы на уровне обмена входными данными с расчетным кодом «Нострадамус», предназначенным для моделирования атмосферного переноса радиоактивных веществ. Эти расчетные коды входят в состав программно-технического комплекса, который в настоящее время широко используется в ТКЦ ИБРАЭ РАН при решении практических задач по оценке и прогнозированию радиационной обстановки в районах сброса в море РАО, затопления АПЛ, а также в случае чрезвычайных ситуаций на ЯРОО.



### Примеры моделирования

Результаты моделирования показывают, что в случае аварийного затопления судна с радиоактивными отходами и ОЯТ суммарной активностью 10 ПБк (что примерно соответствует количеству ОЯТ на затонувшей АПЛ «К-159») и при полном выходе активности в окружающую среду велика вероятность широкомасштабного загрязнения морской среды с распространением радиоактивных веществ на расстояния в сотни и даже тысячи километров от места затопления и на глубины до 500 м.



*Прогноз распространения радионуклидов на поверхности океана и на глубине 500 м от точечного источника 10 ПБк спустя 5 и 45 суток после его затопления выходе из Авачинской бухты на Камчатке:*

*1 — граница области 1 Бк/м<sup>3</sup> (объемная активность, соответствующая концентрации <sup>90</sup>Sr, на 30% превышающей фоновую);  
2 — граница области 370 Бк/м<sup>3</sup> (соответствует установленной МАГАТЭ предельно допустимой концентрации источника радиоактивного загрязнения морской воды с неизвестным радионуклидным составом).*

## Оценка радиационной обстановки в местах затопления ЯРОО в Северо-Западном и Арктическом регионах России

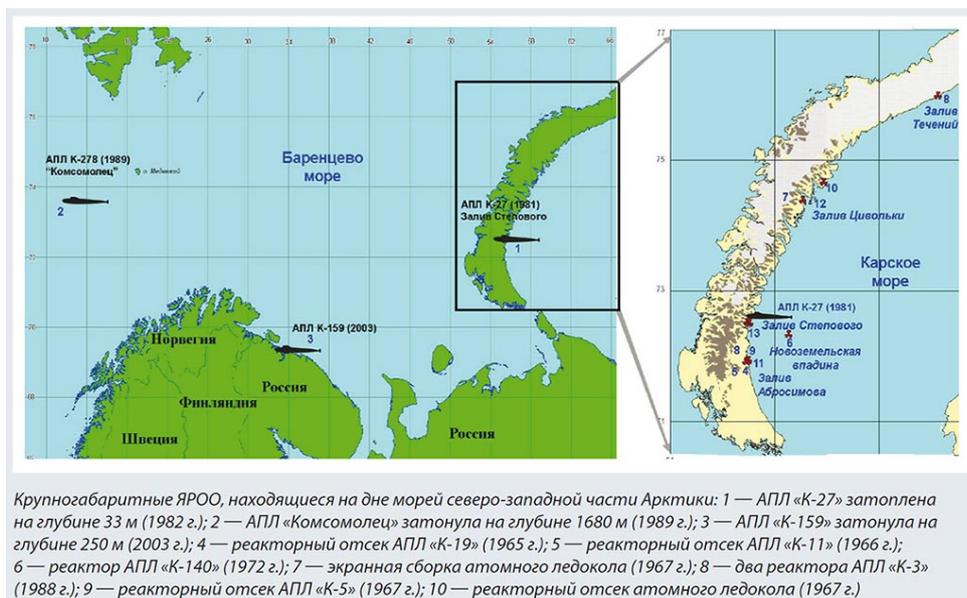
### Затопление радиоактивных отходов в морях: история проблемы

Результаты многолетнего мониторинга и натурных измерений содержания техногенных радионуклидов в окружающей среде Арктики показывают, что в настоящее время существует три реальных источника радиоактивного загрязнения морей Арктического региона: глобальные выпадения продуктов атмосферных ядерных испытаний, сбросы жидких радиоактивных отходов

(ЖРО) западноевропейских радиохимических заводов по переработке ОЯТ и проведенные в 1957—1992 гг. СССР и Россией на акваториях Карского и Баренцева морей захоронения твердых радиоактивных отходов (ТРО), реакторных отсеков АПЛ с ОЯТ и без, оказавшиеся на морском дне в результате аварий и катастроф.

До настоящего времени в арктических морях в совокупности было затоплено около 18 тыс. ЯРОО, которые в основном составляют наследие холодной войны и содержат радиоактивные отходы, образовавшиеся при эксплуатации кораблей Северного флота и судов атомного ледокольного флота.

Семь из этих объектов содержат делящиеся вещества в составе ОЯТ на основе обогащенного урана и относятся к классу ядерно опасных. Это АПЛ «К-27», затопленная в 1982 г. в заливе Степового восточного побережья Новой Земли, «К-278» («Комсомолец»), погибшая в 1989 г. в Норвежском море, и «К-159», аварийно затонувшая в 2003 г. в Баренцевом море. Кроме того, в 60-х годах прошлого века в бухтах восточного побережья Новой Земли были затоплены пять реакторных отсеков с корабельными и судовыми ЯЭУ и специальный контейнер с экранной сборкой и частью ОЯТ одного из реакторов атомного ледокола «Ленин».



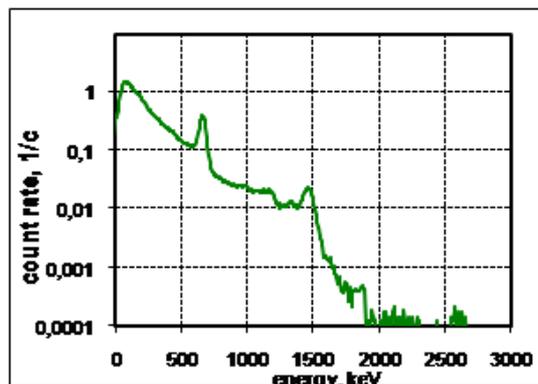
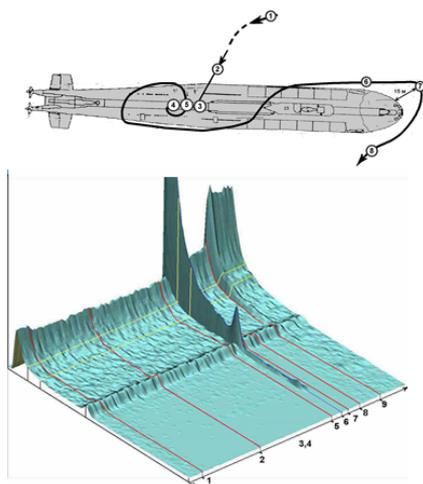
Сброс радиоактивных отходов (РАО) в моря и океаны регулируется на основе положений Лондонской конвенции 1972 г. (ратифицирована СССР в 1976 г.), к которой на конец 2000 г. присоединилось 78 государств. Суммарная активность российских РАО, затопленных в Карском и Баренцевом морях (с учетом активности ОЯТ, находящегося на аварийно затонувших АПЛ), практически равна активности ЖРО, сброшенных в Ирландское море с одного лишь английского объекта Селлафилд (АЭС и заводы по выработке оружейного плутония и переработке ОЯТ) в период его наиболее интенсивной деятельности (1971—1987 гг.). Россия в 1993 г. установила односторонний мораторий на захоронение РАО в Карском море, в то время как сбросы с западноевропейских заводов, хотя и с меньшей интенсивностью, продолжают и сегодня.

Затопление твердых радиоактивных отходов в СССР проводилось как со специальных судов (плавбаз «Лепсе», «Володарский» и др.), так и вместе со списанными судами (было затоплено 19 списанных судов с ТРО). Следует подчеркнуть, что суммарная активность затопленных ТРО на 2—3 порядка ниже, чем активность объектов, затопленных с ОЯТ.

### Радиоэкологическая обстановка в районах затопления ТРО и ОЯТ

Результаты российских и международных морских экспедиций, проведенных в районах гибели АПЛ и затопления ТРО и ОЯТ, показали, что реальная радиоэкологическая обстановка там близка к фоновой. По состоянию на 2012 г. определяющий вклад в загрязнение донных отложений в районах затопления ТРО продолжает вносить  $^{137}\text{Cs}$ , содержание которого в грунтах на удалении более 10 м от контейнеров с ТРО сопоставимо с фоновым уровнем.

Та же картина наблюдается и в районах аварийного затопления АПЛ. Измерения, проведенные после гибели в 2001 г. АПЛ К-141 «Курск» и в ходе операции по ее подъему на поверхность, продемонстрировали, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  в морской воде в районе нахождения корпуса АПЛ в целом соответствовало фону (1.9—2.8 Бк/м<sup>3</sup>); в 2003 г. были проведены исследования аварии АПЛ К-159, которые показали, что радиозоологическая обстановка в районе затопления АПЛ осталась неизменной и не отличалась от фона. Это послужило основанием для принятия решения, что не произошло нарушения герметичности ЯЭУ при ударе АПЛ о дно. По результатам выполненных в 2007 г. оценок радиационной обстановки в районе гибели АПЛ К-278 «Комсомолец» было показано, что значения объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  на поверхности корпуса АПЛ не превышают указанных в НРБ-99/2009 допустимых величин и соответствуют содержанию природных радионуклидов в морской воде. Все эти исследования были выполнены с использованием глубоководных высокочувствительных сцинтилляционных гамма-детекторов, разработанных НИЦ «Курчатовский институт» и ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (ЦНИИ им. А. Н. Крылова).



Мониторинг радиационной обстановки на АПЛ «Курск» в 2001 г.

Гамма-спектр фона в трубе вентиляции АПЛ «Комсомолец».



Глубоководные высокочувствительные сцинтилляционные детекторы гамма-излучения:

серии РЭМ разработки НИЦ «Курчатовский институт»;

серии ЭКО разработки ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова.

### Рекомендации МАГАТЭ по обращению с затопленными ТРО и ОЯТ

На основании результатов независимых радиозоологических исследований и оценок воздействия затопленных в Арктике ТРО и АПЛ на окружающую среду, эксперты МАГАТЭ в 2008 г. пришли к выводу, что это воздействие незначительно и не способно негативно повлиять на здоровье населения прибрежных районов и состояние гидробионтов. Было рекомендовано оставить ТРО на дне моря, периодически проводя мониторинг радиозоологической обстановки.

В отличие от опасности ТРО, активность которых постепенно падает, опасность разрушения защитных барьеров содержащих ОЯТ реакторных отсеков затопленных АПЛ со временем лишь возрастает. Почти 75% суммарной активности техногенных радионуклидов в составе ОЯТ, находящегося на дне арктических морей, обусловлено тремя объектами — АПЛ «Комсомолец», «К-159» и экранной сборкой с частью ОЯТ (125 отработавших ТВС) реактора № 2 ЯЭУ атомного ледокола «Ленин», затопленной в 1967 г. Последняя содержит лишь 11% суммарной активности с ОЯТ, затопленного в Арктике, но по итогам исследований, проведенных в рамках международных проектов IASAP и «Карское море», после прогнозируемого разрушения (через несколько десятков лет) защитных барьеров именно она может стать самым опасным источником техногенных радионуклидов. Таким образом, задача устранения с морского дна затонувших и затопленных ядерно опасных объектов является актуальной уже сегодня и будет сохранять свою актуальность в дальнейшем.

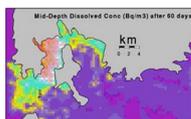
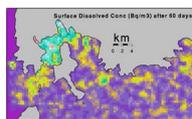
### Исследования радиационной и экологической безопасности морей дальневосточного региона

Научной основой разработки стратегических концепций комплексной утилизации объектов Тихоокеанского флота (ТОФ) и экологической реабилитации морских акваторий являются выполненные с участием специалистов ИБРАЭ РАН натурные радиологические исследования в районах размещения ЯРОО и результаты численного моделирования процессов распространения радиоактивных загрязнений в окружающую среду при авариях и инцидентах на объектах ТОФ.

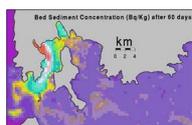
В течение 15 лет проводилось изучение радиоэкологической обстановки в бухте Чажма (Приморский край), где 10 августа 1985 г. произошла тяжелая авария реактора АПЛ с утечкой радиоактивных веществ. Были изучены динамика развития радиоактивного загрязнения на прилегающей территории и морских акваториях, миграция техногенных радионуклидов по растительным и пищевым цепочкам, оценены радиационные риски для населения. Проведено ретроспективное восстановление начальной стадии аварии и моделирование основных процессов, сопровождавших перенос радиоактивных веществ в атмосфере и водной среде.

Исследованы состояние и возможности производственной инфраструктуры по обращению с ЯЭУ, ОЯТ и РАО на примере изучения последствий радиационных аварий хранилищ ОЯТ и РАО в бухте Сысоева на территории береговой технической базы ТОФ, аварий при выгрузке дефектного ОЯТ с аварийных плавучих мастерских ПМ-80 и ПМ-32 и последствий длительного хранения АПЛ с аварийными ЯЭУ в бухте Павловского.

ИБРАЭ РАН проведено численное моделирование процессов трансграничного переноса радионуклидов на большие расстояния по воздуху и воде при возможных авариях с ЯЭУ и ОЯТ в Дальневосточном регионе с использованием адаптированных к условиям северо-западной части Тихого океана математических моделей. Результаты моделирования показывают, что при аварии практически на любом участке маршрута транспортировки ОЯТ с Камчатки в Приморье радиоактивные вещества достигнут побережья США, Канады и Японии в концентрациях, на 10—30% превышающих их фоновое содержание в морской воде, а при аварии в проливе Лаперуза — превышающих допустимые нормы. Радиоэкологические последствия для США, Канады при аварии в районе Камчатки и для Японии и Кореи при аварии в районе Владивостока будут незначительны, но вполне регистрируемы и могут вызвать отрицательную реакцию этих стран.



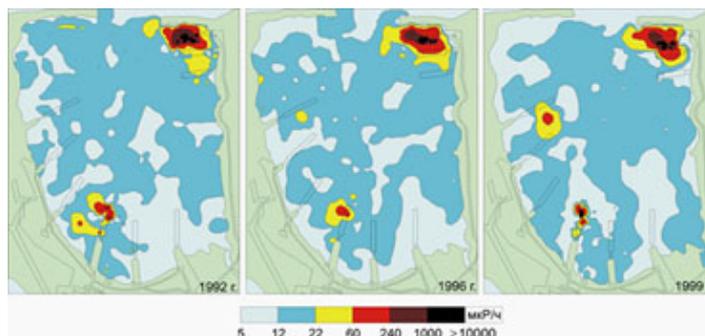
*Прогноз распространения через 60 дней после аварии радиоактивных веществ морским путем из бухты Чажмы в залив Стрелок и далее в открытую часть Японского моря.*



*Данные фактического загрязнения донных отложений <sup>60</sup>Со.*

Состояние и возможности производственной инфраструктуры по обращению с ЯЭУ, ОЯТ и РАО, а также радиоэкологические проблемы, связанные с эксплуатацией и утилизацией выведенных из эксплуатации ядерно- и радиационно опасных объектов ТОФ исследовались на примере

изучения последствий радиационных аварий хранилищ ОЯТ и РАО в бухте Сыроева на территории береговой технической базы Тихоокеанского флота, аварий при выгрузке дефектного ОЯТ с аварийных плавучих мастерских ПМ-80 и ПМ-32 и последствий длительного хранения АПЛ с аварийными ЯЭУ в бухте Павловского.



*Радиоактивное загрязнение донных отложений при хранении АПЛ с аварийными ЯЭУ в бухте Павловского.*

Численное моделирование процессов трансграничного переноса радионуклидов на большие расстояния по воздуху и воде при возможных авариях с ЯЭУ и ОЯТ в Дальневосточном регионе проводилось в ИБРАЭ РАН с использованием адаптированных к условиям северо-западной части Тихого океана математических моделей. Результаты моделирования показывают, что при аварии практически на любом участке маршрута транспортировки ОЯТ с Камчатки в Приморье радиоактивные вещества достигнут побережья США, Канады и Японии в концентрациях, на 10–30% превышающих их фоновое содержание в морской воде, а при аварии в проливе Лаперуза — превышающих допустимые нормы. Радиоэкологические последствия для США, Канады при аварии в районе Камчатки и для Японии и Кореи при аварии в районе Владивостока будут незначительны, но вполне регистрируемы и могут вызвать отрицательную реакцию этих стран.

*Моделирование возможных последствий взрыва спецсудна, перевозящего ОЯТ и РАО, в проливе Лаперуза.*

### Основные результаты

В результате проведения научных исследований ИБРАЭ РАН выявлены проблемы, осложняющие проведение работ по комплексной утилизации АПЛ и реабилитации загрязненных территорий в Дальневосточном регионе России. Намечены основные пути решения этих проблем с учетом приоритетов действий. Составлен перечень актуальных мероприятий и проектов по обращению с утилизируемыми объектами. Показана необходимость разработки Стратегического Мастер-плана утилизации и экологической реабилитации объектов атомного флота и обеспечивающей инфраструктуры в Дальневосточном регионе.

