

Формулы Фармации. 2022. Т. 4, № 1. С. 52-60

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Обзорная статья

УДК 621.039.58+504.055; 551.46+574.58

DOI: <https://doi.org/10.17816/phf108693>

Подходы к оценке и прогнозированию радиационной обстановки в акватории Балтийского моря

© 2022. Э. А. Савкина¹, Л. В. Склярова¹, А. Г. Подборонова^{1,2}, М. В. Жариков¹,
И. В. Перельгин³

¹Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

²Радиевый институт им. В. Г. Хлопина, Санкт-Петербург, Россия

³Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П. Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Савкина Элина Александровна, elina.savkina@sprcu.ru

АННОТАЦИЯ. Обзор посвящен анализу материалов научных публикаций, а также нормативных правовых актов и документов в сфере радиоэкологии и оценки радиационной обстановки в акватории Балтийского моря. В настоящее время отдельные территории акватории Балтийского моря относятся к числу экологически неблагоприятных по ряду вредных (загрязняющих) веществ, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, в том числе по радиационной обстановке.

В статье рассматриваются два основных аспекта проблем радиоэкологии: международный и региональный российский в рамках акватории Балтийского моря. Проанализированы потенциально опасные объекты и основные радиоэкологические проблемы, которые актуальны в настоящее время и требуют научного и практического решения.

Объектами негативного воздействия в ходе исследования учитывались общепринятые четыре основных компонента с разными концентрациями загрязнителей: вода, организмы и взвешенное органическое вещество, осадки и поверхностная пленка.

Изучив и проанализировав статистические данные научных исследований методами обработки обобщенных данных, систематизации и сравнительного анализа, мы позволили себе сделать общее заключение о современных подходах к оценке и прогнозированию радиационной обстановки в акватории Балтийского моря.

По-нашему мнению, повышение эффективности систем обеспечения радиоэкологической безопасности актуально в настоящее время и требует постоянного и всестороннего анализа их состояния, что может позволить проводить своевременную оценку и прогнозирование радиационной обстановки в акватории Балтийского моря.

Во-вторых, необходимо объединение усилий научного сообщества, общественных организаций и профессионалов-практиков промышленных корпораций всех стран региона, что позволит повысить уровень экологической безопасности акватории Балтийского моря.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: радиационная обстановка; МАГАТЭ; HELCOM; радиоактивные отходы; акватория Балтийского моря; негативное воздействие на окружающую среду; мониторинг окружающей среды; экологическая безопасность

СОКРАЩЕНИЯ:

РАО – радиоактивные отходы;

МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии;

МКРЗ – Международная комиссия по радиационной защите;

АЭС – атомная электростанция;

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка;

ПБДЭ – полибромированные дифениловые эфиры;

НВОС – негативное воздействие на окружающую среду;

СВСС – Council of the Baltic Sea States (Совет государств Балтийского моря);

HELCOM – Helsinki Commission (Хельсинкская комиссия);

WGNRS – Working Group on Nuclear and Radiation Safety (Рабочая группа по ядерной и радиационной безопасности).

ВВЕДЕНИЕ

Мировой океан – это 94,1% всей площади гидросферы, непрерывная, но не сплошная водная оболочка Земли, окружающая материки и острова и отличающаяся общностью солевого состава. Хотя Мировой океан представляет собой единое целое, для удобства исследования отдельным его частям присвоены различные названия:

- Атлантический океан,
- Индийский океан,
- Северный Ледовитый океан,
- Тихий океан,
- Южный океан.

К числу сильнозагрязненных акваторий Мирового океана принято относить:

- Северное,
- Ирландское,
- Японское,
- Средиземное моря,
- Мексиканский,
- Бискайский,
- Токийский заливы,
- Атлантическое побережье США.

В этот перечень не входит Балтийское море. Но наше исследование еще раз показало субъективность составления подобных рейтингов. А анализ научных материалов об акватории Балтийского моря вызывает серьезную озабоченность о негативном воздействии техносферных факторов на этот водный бассейн.

Балтийское море – это внутриматериковая акватория Евразии, которая находится в Северной Европе и относится к Атлантическому бассейну. С Мировым океаном водообмен совершается при помощи проливов Каттегат и Скагеррак. В море впадает более двухсот рек. Именно они и несут грязную воду, которая стекает в акваторию. Загрязнители значительно ухудшили способность моря к самоочищению.

В Балтийское море ежедневно попадает огромное количество самых разнообразных веществ. Они появляются из точечных источников на суше или в море (промышленные предприятия, электростанции, места сброса стоков, очистные сооружения) и из диффузных источников с речным и поверхностным стоком (например, сельскохозяйственные загрязнения, бытовые отходы, транспорт). Кроме того, загрязняющие вещества переносятся по воздуху в Балтийский регион с Британских островов, из Центральной и Восточной Европы и даже из более удаленных районов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучив и проанализировав статистические данные научных исследований, нормативных правовых актов и документов в сфере радиозологии методами обработки обобщенных данных, систематизации и сравнительного анализа, мы позволили себе сделать общее заключение о современных подходах к оценке и прогнозированию радиационной обстановки в акватории Балтийского моря.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В разных частях Балтийского региона специализация промышленности различная. Развитие промышленности определялось наличием природного сырья. В Швеции и Финляндии основными отраслями промышленного производства являются металлообработка и изготовление целлюлозы и бумаги, в Дании, доминирует пищевая индустрия, разнообразные отрасли промышленности развиты в Германии. Все эти страны имеют самые современные предприятия. Передовые технологии позволили заметно снизить эмиссии основных производств за последние 20–25 лет. Однако ввиду крайне больших объемов и разнообразия потребляемой продукции остаются нерешенными проблемы, связанные с диффузным влиянием промышленных изделий. В то же время в России, Эстонии, Латвии, Литве и Польше многие предприятия технически устарели и нуждаются в реконструкции, чтобы удовлетворять современным экологическим нормам. Также существуют проблемы с переработкой отходов. С речным стоком в Балтийское море выносятся огромное количество загрязнений, поскольку сточные воды городов и деревень, а также стоки предприятий очищаются плохо или не очищаются вообще. Существует несколько групп вредных веществ, которые наносят урон Балтике.

В первую очередь, это азот и фосфор, которые являются отходами сельского хозяйства, промышленной индустрии и содержатся в коммунальных сточных водах городов. Данные элементы перерабатываются в воде лишь частично, выделяют сероводород, что приводит к гибели морских животных и растений.

Вторая группа опасных веществ – это тяжелые металлы. Половина этих элементов выпадает вместе с атмосферными осадками, а часть – со сточными водами коммунальными и промышленными. Эти вещества приводят к заболеваниям и смерти многих морских жителей.

Третья группа загрязнителей не чужда многим морям и океанам – это разлив нефтепродуктов. Пленка от нефти образуется на поверхности воды, не пропускает кислород. От этого гибнут все морские растения и животные, находящиеся в радиусе нефтяного пятна. Нефтяные углеводороды поступают в Балтийское море из многих источников, в частности с речным и поверхностным стоком, в результате прямых сбросов из городов, предприятий. Другими важными источниками являются очистка нефтяных танкеров и другие умышленные сбросы с судов, а также разливы нефти при авариях (посадка танкеров на мель, случайные сбросы из береговых нефтехранилищ). Новый источник, который может оказаться очень опасным в Балтийском регионе – потери нефти при разведочных работах и эксплуатации прибрежных платформ.

В водоеме можно обнаружить четыре основных компонента с разными концентрациями загрязнителей: вода, организмы и взвешенное органическое вещество, осадки и поверхностная пленка [1].

В настоящее время отдельные территории акватории Балтийского моря относятся к числу экологически неблагоприятных по ряду вредных (загрязняющих) веществ, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, в том числе по радиационной обстановке.

В нашем исследовании мы стремились выделить следующие источники потенциальной опасности радиоактивного загрязнения окружающей среды в данном регионе [2].

Радиоэкологический мониторинг Балтийского моря осуществляют специалисты всех стран Балтийского региона. Результаты этих исследований регулярно публикует Хельсинская комиссия по охране морской природной среды Балтийского моря (ХЕЛКОМ) [HELCOM, 1995, 2003, 2006, 2009, 2013, 2018]. С российской стороны систематические исследования региона проводятся, в том числе в рамках тематик Росатома, лабораторией мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды Радиового института [Степанов, 2009] и по тематике Росрыболовства – лабораторией радиоэкологических исследований АтлантНИРО [Радиационная..., 1991–2008]. Поступление искусственных радионуклидов в акваторию Балтийского моря связано главным образом с глобальными выпадениями, обусловленными испытаниями ядерного оружия и выпадениями после аварии на Чернобыльской атомной станции как непосредственно на поверхность, так и с береговым стоком. За время существования атомной энергетики произошло более 150 аварий различного типа, среди которых Чернобыльская стала самой крупной экологической катастрофой как по уровню радиоактивных выбросов, так и по площади загрязнения земной поверхности. Последствия этой аварии существенно отразились и на экологии всей экосистемы Балтики. В целом в водную среду поступает до 80% антропогенных радиоактивных загрязнений, превращая её в мощное депо не только естественных, но и искусственных радионуклидов [3].

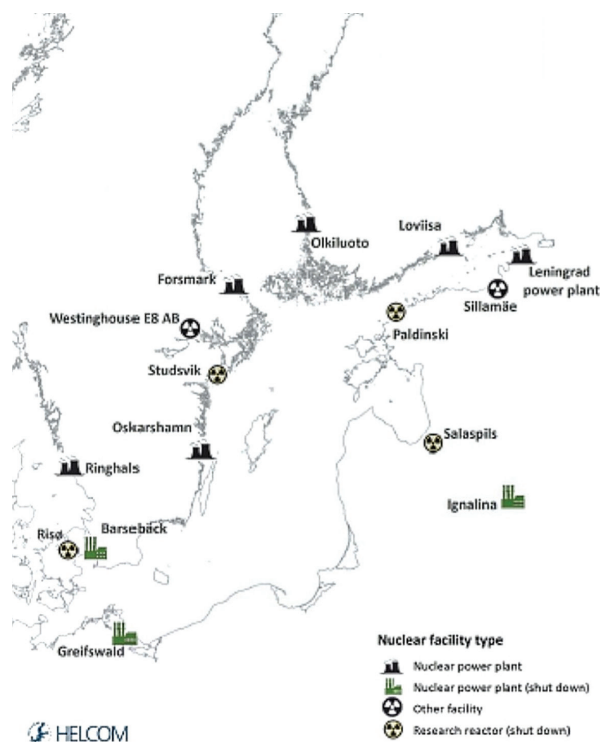


Рис. 1. Расположение ядерных установок в Балтийском регионе
Fig. 1. Location of nuclear facilities in the Baltic region

По-нашему мнению, необходимо основными источниками НВОС определить предприятия, занимающиеся переработкой и утилизацией радиоактивных отходов (РАО) и списанных подводных лодок. Другие радиоактивные материалы, попавшие в морскую среду, считать случайными:

- энергетические ядерные установки (ЯЭУ), в числе которых – Сосново-Борская АЭС;
- атомный флот;
- Балтийский флот, оснащенный подводными и надводными кораблями с ЯЭУ и несущий ядерное оружие;
- судоремонтные и судостроительные заводы как гражданского, так и военного профиля;
- пункты захоронения радиоактивных отходов;
- радиоизотопные термоэлектрические генераторы, используемые в регионе в качестве источников питания навигационного оборудования, знаков и маяков;
- последствия выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС.

Сбросы РАО в море жестко регулируются международным правом. В настоящее время существующая практика удаления и локализации РАО в странах, использующих ядерные технологии, в большинстве случаев соответствует международным правовым требованиям. Большинство государств выступает за запрещение захоронения любых видов РАО в море, учитывая нарастающую в мире и в отдельных странах обеспокоенность относительно загрязнения морской среды РАО. В связи с этим в 1992 г. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро), высказалась за прекращение практики захоронения РАО в море. В 1992 г. также подписаны (с участием России) Конвенции по защите морской среды Балтийского моря и по защите Черного моря от загрязнения. Вышеуказанные Конвенции предлагают решение, отвечающее интересам Российской Федерации [4–7].

К настоящему времени развернуто широкое, гласное и эффективное международное сотрудничество стран Северной, Центральной и Восточной Европы в области мониторинга радиоактивного загрязнения Балтики.

Балтийский регион характеризуется сложной радиационной обстановкой, связанной с наличием и функционированием множества ядерно- и радиационно-опасных предприятий и объектов.

Так, в акватории Балтийского моря размещены 12 шведских, 4 финских и 19 немецких действующих энергоблоков, в Финском заливе – Ленинградская АЭС (рис. 1). В районах расположения АЭС действуют хранилища РАО, в том числе региональные. На побережье создаются, базируются и ремонтируются атомные подлодки и наземные суда, часть которых подлежит утилизации.

Помимо этого, на радиационную ситуацию в регионе серьезно повлияла авария на Чернобыльской АЭС.

Широкомасштабное изучение радиоактивного загрязнения Балтийского моря ведется с начала 70-х годов.

На загрязнение водных экосистем за счет ядерных и химических отходов уже обратили внимание Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) и Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), разработавшие проекты в области оценки рисков радиационного загрязнения среди организмов дикой природы [8–10].

В 1970 году сотрудники лаборатории мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды Радиового института им. В. Г. Хлопина провели экспедиционное обследование юго-восточной части Балтийского моря, включая Финский залив. С тех пор такие исследования стали ежегодными, они проводятся и в настоящее время. Начиная с 1975 года, весь объем экспедиционных морских работ обеспечивается научно-экспедиционным судном института, оснащенным необходимым оборудованием, включая спутниковую навигационную систему, средства связи и отбора проб.

В 1975–1985 годах было отслежено и проанализировано состояние динамического равновесия в поведении ^{137}Cs в водах собственно Балтийского моря. Это равновесие возникло в условиях поступления соленых (обогащенных ^{137}Cs) вод из Северного моря в придонные слои западной части Балтики, а также пресных (обедненных ^{137}Cs) речных вод – в восточную часть. В результате в течении длительного периода времени содержание этого радионуклида непосредственно в водах Балтийского моря удерживалось на одном уровне, снижение которого определялось только радиоактивным распадом ^{137}Cs .

Наиболее пристальное внимание постоянно уделялось и уделяется району расположения Ленинградской АЭС – Копорской губе Финского залива. Ежегодные исследования этого района начались в 1971 году, за два года до пуска первого блока АЭС.

Помимо российских ученых, в 70-х годах радиоэкологический мониторинг Балтийского моря осуществляли также специалисты всех стран Балтийского региона по своим индивидуальным программам.

Международные программы мониторинга Балтийского моря служат примером интенсивного и эффективного взаимодействия европейских стран. Участие России в работе международных организаций Балтийского региона крайне важно для поддержания престижа страны и проведения научно-обоснованной политики в области безопасного использования атомной энергетики.

Так, в 1981–1984 годах был реализован первый крупный международный проект по радиоэкологическим исследованиям Балтики – координационная научно-исследовательская программа МАГАТЭ «Изучение радиоактивных веществ в Балтийском море». В ней приняли участие ученые всех стран, расположенных в акватории Балтийского моря, а также сотрудники Международной лаборатории морской радиоактивности (Монако).

Результатом программы стала оценка источников поступления радионуклидов в бассейн Балтийского моря. Согласно полученным данным, к 1985 году накопление в море ^{137}Cs в результате глобальных выпадений составило 670 ТБк, за счет поступлений с ядерных перерабатывающих заводов Западной Европы (с водами Северного моря) – 150 ТБк, от всех балтийских АЭС – 2 ТБк. Таким образом, работа атомных станций, суммарная мощность которых к 1985 году составляла более 17 000 МВт, практически не повлияла на запас ^{137}Cs в Балтийском море.

В 1980 году вступила в силу Конвенция по охране морской природной среды региона Балтийского моря (Хельсинская Конвенция, HELCOM); в настоящее время

в ней участвуют Германия, Дания, Латвия, Литва, Польша, Россия, Финляндия, Швеция, Эстония. В 1985 году в рамках межправительственного соглашения стран-участниц Хельсинской Конвенции была создана международная рабочая группа экспертов по мониторингу радиоактивных веществ (HELCOM MORS).

Группой разработана программа мониторинга радиоактивных веществ (Рекомендация HELCOM 26/3). Согласно этому документу, мониторинг морской среды Балтики включает в себя контроль содержания радионуклидов в воде, донных отложениях, рыбе, водных растениях и бентосных организмах всей акватории Балтийского моря. Каждое государство региона должно иметь экологические станции в море или на побережье и вести мониторинг в соответствии с техническими возможностями и имеющимся оборудованием. Для получения необходимых данных рекомендовано создать дополнительные станции пробоотбора.

В 1992 году министрами иностранных дел государств региона (Германии, Дании, Исландии, Латвии, Литвы, Норвегии, Польши, России, Финляндии, Швеции, Эстонии) и Европейской комиссии был образован Совет государств Балтийского моря (CBSS).

В рамках CBSS действует рабочая группа по ядерной и радиационной безопасности (WGNRS). Ее цель состоит в объединении усилий государств региона по предотвращению чрезвычайных радиоэкологических ситуаций и повышению уровня готовности к скоординированным действиям в случае ядерных инцидентов.

Основные задачи WGNRS – определение источников радиоактивных материалов, которые несут риск трансграничного распространения радионуклидов в регионе Балтийского моря или могут стать главным фактором, влияющим на состояние природной среды в локальном масштабе, а также подготовка соответствующих рекомендаций.

Опираясь на обширный опыт международного сотрудничества, установленного в области безопасности атомных электростанций, WGNRS уделяет особое внимание другим ядерно- и радиационно-опасным объектам – как гражданским, так и военным.

Начиная с 2000 года, на заседания группы приглашаются наблюдатели CBSS из Франции, Италии, Нидерландов, Словакии, Украины, Великобритании и США.

В рамках этой программы также происходит сбор информации о сбросах и выбросах атомных электростанций, при этом учитываются только данные по радионуклидам с периодом полураспада более одной недели. Полученные данные свидетельствуют, что сбросы и выбросы Ленинградской АЭС на четыре-пять порядков ниже, чем всех остальных станций Балтийского региона (рис. 2, 3) [11].

В июле–августе 2020 г. проведены радиоэкологические исследования среды обитания водных биологических ресурсов Балтийского моря. Пробы поверхностной воды и донных осадков были отобраны в ходе экспедиций НИС «Академик Иоффе» Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН в юго-восточной и центральной частях моря и Финском заливе. Значимых отличий в загрязнении воды ^{137}Cs различных подрайонов Балтики не выявлено. Обнаружены anomalно высокие уровни

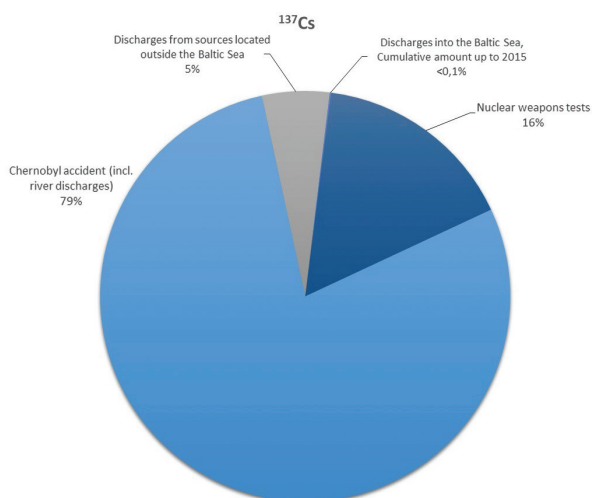


Рис. 2. Общее поступление ¹³⁷Cs из различных источников к 2015 г.
Fig. 2. Total ¹³⁷Cs discharge from various sources by 2015

содержания ²²⁶Ra, предположительно техногенного происхождения, в пробе донных осадков на одной из станций Финского залива. Станции с повышенным содержанием ¹³⁷Cs в донных осадках выявлены в Финском заливе и на глубоководных участках Готландской и Гданьской впадин. При сравнении полученных данных с результатами исследований Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН в 2005 г. отмечено почти двукратное снижение содержания ¹³⁷Cs в донных осадках Финского залива, однако оно остается несоизмеримо высоким по сравнению с другими районами Балтики. Балтийское море по-прежнему является одним из самых загрязненных ¹³⁷Cs морей в мире, но при отсутствии поступления дополнительных источников радиоактивности в акваторию Балтики можно прогнозировать, что радиационно-гигиеническое качество водных биологических объектов сохранится на достигнутом уровне. Акватория Балтийского моря имеет важное значение для населения всех прибалтийских стран, что обусловлено наличием и функционированием большого количества радиационно-опасных объектов в водосборном бассейне, последствиями аварии на Чернобыльской АЭС и крайне низкой способностью этого моря к самоочищению [12–14].

Как для научной, так и для практической работы по охране акватории Балтийского моря остается актуальным мониторинг, от которого напрямую зависит качество оценки и прогноза состояния природной среды от антропогенного воздействия, включающая три основных направления деятельности:

- наблюдение за факторами, воздействующими на окружающую среду, и за состоянием среды;
- оценка фактического состояния природной среды;
- прогноз состояния окружающей природной среды и оценка этого состояния.

Несистематическая, отрывочная информация, получаемая в рамках действующей системы радиационно-гигиенического контроля, недостаточно отвечает современным требованиям, что постоянно требует необходимость разработки и внедрения новых форм и методов радиологического наблюдения за территориями и прибрежными акваториями.

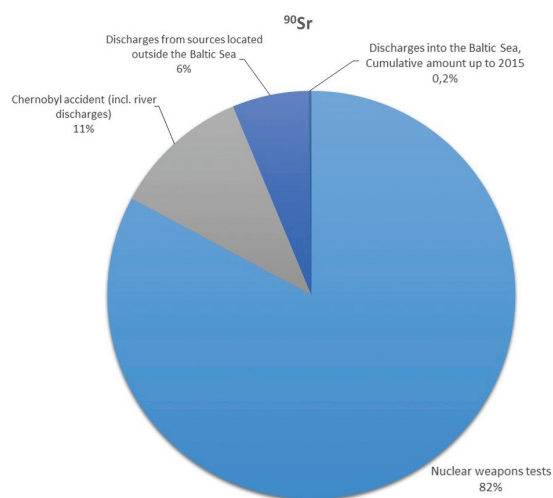


Рис. 3. Общее поступление ⁹⁰Sr из различных источников к 2015 г.
Fig. 3. Total ⁹⁰Sr discharge from various sources by 2015

В рамках решения вышеуказанной проблемы продолжают выполняться работы с целью разработки методов, поиска источников радиоактивного загрязнения окружающей среды, определения структуры и пространственно-временных характеристик радиационных полей на прибрежных территориях и морских акваториях.

Задачи таких исследований включают в себя:

- получение достоверной информации о состоянии радиологической обстановки в местах вероятного ее изменения и оценку эффективности существующих систем наблюдения за радиологической обстановкой в береговых и морских условиях;
- разработку новых методов, поиск источников радиоактивного загрязнения окружающей среды, определение структуры, пространственно-временных характеристик радиационных полей;
- поиск наиболее эффективных методов обработки данных о радиационной обстановке и разработку новых способов компьютерной визуализации;
- развитие алгоритмов пространственно-временной интерполяции с прогнозом изменения состояния радиологической обстановки на основе данных о фактическом загрязнении природной среды;
- разработку требований по созданию системы мониторинга радиологической обстановки морских акваторий и прибрежных территорий [15].

Например, показательными методами и средствами экологического мониторинга водных районов, которые достигаются построением карт радиационных полей с выделением радиационно-опасных зон и указанием мест расположения источников загрязнения, границ и направлений распространения радиоактивных веществ. Этим обеспечивается естественное восприятие информации и акцентируется внимание на главной смысловой нагрузке для принятия эффективных управленческих решений.

Сущность разрабатываемого подхода состоит в построении информационно экологической модели объекта на основе получаемых данных, приближающейся к реальному масштабу времени (часы–сутки в повседневных условиях). Такая система объединяет измерительные приборы, алгоритмы обработки информации и средства визуализации.

Синтез компьютерной картографии с базами данных радиационных измерений для отображения реальной ситуации на дисплее компьютера обеспечивает удобное для оператора средство контроля за состоянием объекта мониторинга и служит эффективным механизмом объединения многофакторной информации об объекте.

На морских акваториях к обязательным видам наблюдений следует отнести контроль за донными отложениями, а также контроль воды на горизонте 2 м от грунта, что позволяет выявить перенос радиоактивных веществ морской водой в придонном слое.

Методы применения донного гамма-спектрометра позволяют начать создание информационно-экологической модели, которая включает картирование природных и техногенных радиационных полей территорий и акваторий, построение карт распределения концентраций основных техногенных радионуклидов, отражение результатов оценки плотности альфа-бета-загрязнения поверхностей и глубинного мониторинга почвы, воды, грунта, указание мест отбора проб объектов природной среды для радионуклидного анализа [16, 17].

20 октября 2021 года в рамках Министерской сессии ХЕЛКОМ был принят обновленный План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю на период до 2030 года. План мероприятий по Балтийскому морю, или ПМБМ, представляет собой стратегическую программу мер и действий ХЕЛКОМ для достижения надлежащего экологического состояния моря, что, в конечном итоге, приведет к оздоровлению Балтийского моря.

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый странами за последние десятилетия, Балтийское море остается сильно подверженным загрязнению и антропогенной нагрузке. Самым серьезным источником давления остается эвтрофикация – чрезмерная концентрация биогенных веществ в море и основная причина вредоносного цветения водорослей, ведущего к истощению запасов кислорода в глубоких водах и нарушающему морское биоразнообразие. Обновленный План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю содержит около 200 конкретных действий и мер, касающихся биоразнообразия, эвтрофикации опасных веществ и морской деятельности, включая судоходство и рыболовство. Кроме того, План касается вопросов изменения климата, морского мусора, фармацевтических препаратов, подводного шума и нарушения морского дна. Как было отмечено на Министерской сессии, План действий ХЕЛКОМ – это не только и не сколько экологический документ, сколько

ко проработанная совместная политическая программа действий для всех стран региона.

Как показали последние оценки ХЕЛКОМ, загрязненное тяжелыми металлами, органическими загрязнителями и радиоактивными веществами Балтийское море по-прежнему находится под сильным воздействием опасных веществ. В частности, уровни ПБДЭ, ртути и цезия-137 по-прежнему высоки во всех частях моря. Кроме того, другие загрязняющие вещества, вызывающие растущую озабоченность, в частности, некоторые фармацевтические препараты, также были обнаружены почти во всех компонентах морской среды. Тем не менее из-за нехватки данных о загрязняющих веществах, вызывающих беспокойство, а также о некоторых других контролируемых веществах, используемых в качестве индикаторов, и их поступлении в морскую среду, в настоящее время ХЕЛКОМ не может получить полную картину масштабов загрязнения Балтийского моря [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для объективной оценки и прогнозирования радиационной обстановки необходимо использование современных средств измерений и сертифицированных методик, основанных на системе обеспечения качества с проведением регулярных межлабораторных испытаний, а также наличие соответствующих международных и национальных стандартов.

Однако даже при соблюдении всех этих условий результаты исследований порой трудно сопоставить из-за погрешностей систематического характера. Иногда это препятствует объединению данных в единый массив, что затрудняет их обработку и может привести к неправильным выводам.

Повышение эффективности систем обеспечения радиозэкологической безопасности требует постоянного и всестороннего анализа их состояния.

По-нашему мнению, объединенными усилиями научного сообщества, общественных организаций и профессионалов-практиков промышленных корпораций всех стран региона можно обеспечить экологическую безопасность акватории Балтийского моря.

В следующей статье мы намерены представить и обсудить материалы нашего исследования об актуальных мероприятиях и методах природопользования и реабилитации акватории Балтийского моря на основе современных разработок в радиозэкологии за рубежом и в России.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Российский журнал биологических инвазий: сайт. – URL: http://www.sevin.ru/invasjour/issues/2010_4.html.

2. Хвостова М. С. Влияние радиационно-опасных объектов военно-морского и гражданского флотов на радиационно-экологическую обстановку Северо-Запада Российской Федерации // Двойные технологии. – 2015. – № 4 (73). – С. 24–29.

3. Степанов А. В. Радиоактивное загрязнение Балтийского моря после аварии на ЧАЭС / А. В. Степанов, В. П. Тишков, Ю. А. Пантелеев [и др.] // Труды Радиового института им. В. Г. Хлопина. – 2009. – Т. XIV. – С. 156–170.

4. Конвенция по защите морской среды района Балтийского моря 1992 года // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциум «Кодекс»: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1900924>.

5. Конвенция по защите Черного моря от загрязнения 1992 года. Рукопись в МИД России, 1992 г.
6. Safety Series No. 41. Objectives and Design of Environmental Monitoring Programmes for Radioactive Contaminants. Vienna: IAEA; 1975. 148 p. URL: https://gnsn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety_Series_041_1975.pdf.
7. Грачев А. П. Исторические аспекты международной проблемы захоронения радиоактивных отходов в морях / А. П. Грачев, Л. С. Баева // Вестник МГТУ. – 2004. – № 3. – С. 478–484.
8. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Ann. ICRP. 1991. Vol. 21, no. 1–3. P. 1–201.
9. The 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103 // Ann. ICRP. 2007. Vol. 37, no. 24. P. 1–332.
10. Anbumani S., Mohankumar M. N. Gamma radiation induced micronuclei and erythrocyte cellular abnormalities in the fish *Catla catla* // Aquat. Toxicol. 2012. Vol. 122–123. P. 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2012.06.001>.
11. Балтийское море: радиационная обстановка // Атомная энергия 2.0: сайт. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2009/11/19/6222>.
12. Радиоактивность Балтийского моря, 1984–1991 годы. Труды ХЕЛКОМ. № 61, Хельсинки, 1995. – Санкт-Петербург: ТОО «БИОНТ», 1996.
13. HELCOM MORS Thematic Assessment 2011–2015 of Radioactive Substances in the Baltic Sea. – URL: <https://portal.helcom.fi/meetings/HOD%2052–2017–405/MeetingDocuments/3–8%20Thematic%20Assessment%20of%20Radioactive%20Substances%20in%20the%20Baltic%20Sea%202011–2015.pdf>.
14. Васюкевич Т. А. Радиоактивность воды и донных осадков Балтийского моря в июле-августе 2020 года / Т. А. Васюкевич, Л. С. Нитиевская // ТРУДЫ АТЛАНТИКО. – 2021. – Т. 5. – № 1 (11). – С. 28–36.
15. Чайковская Э. Л. Закономерности формирования радиационной обстановки на территории Приморского края / Э. Л. Чайковская, В. Л. Высоцкий, Д. В. Гичев // Атомная энергия. – 2001. – Т. 91. – Вып. 3. – С. 223–238.
16. Борисов А. В. Методы применения донного гамма-спектрометра / А. В. Борисов, Д. А. Салко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2006. – Т. 67. – № 12. – С. 55–59.
17. Borisov A. V., Mironenko M. V. Radioecological monitoring of sea water areas and coastal territories // Сб. науч. – техн. ст. – 2003.
18. Проект обновленного Плана Действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю // ХЕЛКОМ: сайт. – URL: http://helcom.ru/media/Draft%20updated%20Baltic%20Sea%20Action%20Plan_RU.pdf

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Савкина Элина Александровна – студентка 1-го курса факультета промышленных технологий лекарств Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, elina.savkina@spcrpu.ru

Склярова Людмила Валерьевна – магистрант Санкт-Петербургского химико-фармацевтического университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, sklyarova.lyudmila@spcrpu.ru

Подборонова Александра Германовна – магистрант Санкт-Петербургского химико-фармацевтического университета Министерства здравоохранения Российской Федерации; инженер 2 категории Лаборатории комплексных технологий по выделению изотопов и продуктов деления Радиевого института им. В. Г. Хлопина, Санкт-Петербург, Россия, podboronova.aleksandra@pharminnotech.com

Жариков Михаил Владимирович – магистрант Санкт-Петербургского химико-фармацевтического университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, zharikov.mihail@pharminnotech.com

Перельгин Иван Владимирович – студент 2-го курса Национального государственного университета физической культуры, спорта и здоровья им. П. Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, Россия, primass@inbox.ru

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.04.2022 г., одобрена после рецензирования 17.04.2022 г., принята к публикации 29.04.2022 г.

Pharmacy Formulas. 2022. Vol. 4, no. 1. P. 52-60

BIOLOGICAL SCIENCES

Review article

Approaches to radiation situation assessment and prediction in the Baltic Sea

© 2022. Elina A. Savkina¹, Lyudmila V. Sklyarova¹, Alexandra G. Podboronova^{1,2}, Mikhail V. Zharikov¹, Ivan V. Pereygin³

¹Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

²V.G. Khlopin Radium Institute, Saint Petersburg, Russia

³Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: Elina A. Savkina, elina.savkina@spcpu.ru

ABSTRACT. The review is devoted to the analysis of scientific publications, as well as regulatory legal acts and documents in the field of radioecology and radiation situation assessment in the Baltic Sea. To date, certain areas of the Baltic Sea are classified as environmentally unfavorable in terms of a number of harmful (polluting) substances that have a negative impact on the environment, including radiation conditions.

The article deals with two main aspects of radioecology problems: international and regional (Russian) within the Baltic Sea. Potentially hazardous objects and the main radioecological problems that are relevant at this time and require scientific and practical solutions have been analyzed.

The objects of negative impact in the course of the study were taken into account generally accepted four main components with different concentrations of pollutants: water, organisms and suspended organic matter, sediments and surface film.

Having studied and analyzed the statistical data of scientific research using the methods of generalized data processing, systematization and comparative analysis, a general conclusion about modern approaches to assessing and predicting the radiation situation in the Baltic Sea has been drawn.

In our opinion, improving the efficiency of systems for ensuring radioecological safety is relevant at the present time and requires a constant and comprehensive analysis of its state, which may allow timely assessment and forecasting of the radiation situation in the Baltic Sea.

Secondly, it is necessary to combine the efforts of the scientific community, public organizations and practicing professionals of industrial corporations from all countries of the region, which will increase the level of environmental safety of the Baltic Sea.

KEYWORDS: radiation situation; IAEA; HELCOM; radioactive waste; the Baltic Sea; negative impact on the environment; environmental monitoring

REFERENCES

1. Russian Journal of Biological Invasions. URL: http://www.sevin.ru/invasjour/issues/2010_4.html /. (In Russ.).
2. Hvastova M. S. Effect of radiation-hazardous facilities of naval and civilian fleets in the radiation-ecological conditions of North-West Russia. *Dvoynye tehnologii = Dual Technology*. 2015;4(73):24–29. (In Russ.).
3. Stepanov A. V., Tishkov V. P., Panteleev Yu. A., et al. Radioaktivnoe zagryaznenie Baltiyskogo morya posle avarii na ChAES. *Trudy Radiyevogo instituta im. V. G. Khlopin*. 2009; XIV:156–170. (In Russ.).
4. Konventsiya po zashchite morskoy sredy rayona Baltiyskogo morya 1992 goda. Elektronnyy fond normativno-tehnicheskoy i normativno-pravovoy informatsii Konsortsium “Kodeks”. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1900924>. (In Russ.).
5. Konventsiya po zashchite Chernogo morya ot zagryazneniya 1992 goda. Rukopis' v MID Rossii, 1992v. (In Russ.).
6. Safety Series No. 41. Objectives and Design of Environmental Monitoring Programmes for Radioactive Contaminants. Vienna: IAEA; 1975. 148 p. URL: https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety_Series_041_1975.pdf.
7. Grachev A. P., Baeva L. S. Istoricheskie aspekty mezh-dunarodnoy problemy zakhoroneniya radioaktivnykh otkhodov v moryakh. *Vestnik MGTU = Scientific Journal of Murmansk State Technical University*. 2004;3:478–484. (In Russ.).

8. The 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP. 1991;21(1-3):1-201.
9. The 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Ann. ICRP. 2007;37(24):1-332.
10. Anbumani S., Mohankumar M. N. Gamma radiation induced micronuclei and erythrocyte cellular abnormalities in the fish *Catla catla*. *Aquat. Toxicol.* 2012;122-123:125-132. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2012.06.001>.
11. Baltiyskoe more: radiatsionnaya obstanovka. Atomnaya energiya 2.0. URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2009/11/19/6222>. (In Russ.).
12. Radioaktivnost' Baltiyskogo morya, 1984-1991 gody. Trudy KhELKOM. № 61, Khel'sinki, 1995. Saint Petersburg: TOO "BIONT", 1996. (In Russ.).
13. HELCOM MORS Thematic Assessment 2011-2015 of Radioactive Substances in the Baltic Sea. – URL: <https://portal.helcom.fi/meetings/HOD%2052-2017-405/Meeting-Documents/3-8%20Thematic%20Assessment%20of%20Radioactive%20Substances%20in%20the%20Baltic%20Sea%202011-2015.pdf>.
14. Vasyukevich T. A., Nitievskaya L. S. Radioactivity of water and bottom sediments of the Baltic Sea in July-August 2020. *TRUDY ATLANTNIRO = AtlantNIRO.* 2021;5(1): 28-36. (In Russ.).
15. Chaykovskaya E. L., Vysotskiy V. L., Gichev D. V. Zakonomernosti formirovaniya radiatsionnoy obstanovki na territorii Primorskogo kraya. *Atomnaya energiya = Atomic energy.* 2001;91(3):223-238. (In Russ.).
16. Borisov A. V., Salko D. A. Metody primeneniya donnogo gamma-spektrometra / A. V. Borisov. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki = IZVESTIYA SFEDU. ENGINEERING SCIENCES.* 2006;67(12):55-59.
17. Borisov A. V., Mironenko M. V. Radioecological monitoring of sea water areas and coastal territories. *Sb. nauch. – tekhn. st.* 2003. (In Russ.).
18. Proekt obnovlennogo Plana Deystviy HELCOM po Baltiyskomu moryu. HELCOM. URL: http://helcom.ru/media/Draft%20updated%20Baltic%20Sea%20Action%20Plan_RU.pdf.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elina A. Savkina – Student, Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia, elina.savkina@spcpu.ru

Lyudmila V. Sklyarova – Master Student, Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia, sklyarova.lyudmila@spcpu.ru

Alexandra G. Podboronova – Master Student, Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University of the Ministry of Health of the Russian Federation; Engineer of the 2nd category, Laboratory of Complex Technologies for the Separation of Isotopes and Fission Products, V. G. Khlopin Radium Institute, Saint Petersburg, Russia, podboronova.aleksandra@pharminnotech.com

Mikhail V. Zharikov – Master Student, Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia, zharikov.mihail@pharminnotech.com

Ivan V. Perelygin – Student, Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, Saint Petersburg, Russia, primass@inbox.ru

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted April 03, 2022; approved after reviewing April 17, 2022; accepted for publication April 29, 2022.