

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БАССЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

УДК 502.1 (474)

**О. В. Мосин**

## ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Балтийское море — уникальная экологическая система, составная часть глобальной экологической системы планеты, остро нуждающаяся в защите от разрушительной антропогенной деятельности человека, связанной с производством и потреблением атомной энергии и техногенных радионуклидов, сельским хозяйством, транспортировкой нефти и нефтепродуктов, обработкой сточных вод и промышленно-бытовых отходов. Приведен обзор основных экологических проблем Балтийского моря и путей их решения.*

*The Baltic Sea is a unique ecological system, an integral part of the global ecological system, which is in urgent need of protection from destructive anthropogenic impact stemming from the production and consumption of nuclear energy and artificial radionuclides, agriculture, oil and oil product transportation, and sewage and solid waste treatment. The article outlines the main environmental problems of the Baltic Seas and the ways to solve them.*

**Ключевые слова:** Балтийское море, экология, эвтрофикация, техногенные радионуклиды ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$ ), тяжелые металлы (Cu, Cd, Hg, Pb), нефть.

**Key words:** Baltic Sea, ecology, eutrophication, anthropogenic radionuclides ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^3\text{H}$ ), heavy metals (Cu, Cd, Hg, Pb), oil.

В настоящее время геохимия Балтийского моря и гидрологические процессы, протекающие в его водах, достаточно хорошо изучены [1, p. 120]. Географическое расположение Балтийского моря, мелководность, низкая соленость морской воды и затрудненный водообмен с Северным морем — главные факторы, играющие важную роль в формировании природных особенностей Балтийского моря и обуславливающие его чрезвычайно низкую способность к самоочищению при среднем времени полной замены воды около 30—50 лет и высокую чувствительность к антропогенному воздействию со стороны примыкающих промышленно- и сельскохозяйственно развитых регионов [2]. Последний факт существенно замедляет скорость протекания природных самоочищающих процессов, происходящих в его загрязненных водах, оказывая существенное влияние на экологическую ситуацию в регионе. За последние 50 лет экологическая ситуация на Балтийском море сильно ухудшилась, и по прогнозам экологов, при сохранении таких же темпов загрязнения уже через 10 лет балтийскую воду нельзя будет использовать в бытовых целях, а морская фауна может исчезнуть навсегда [3].

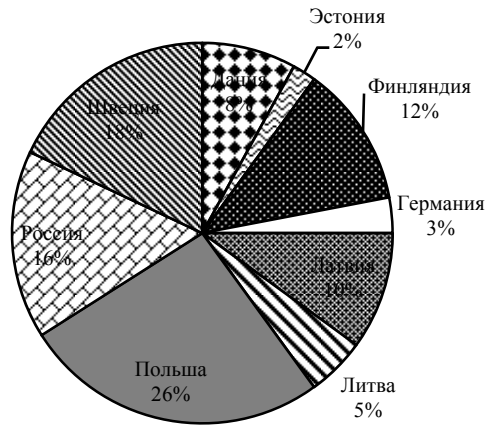
Вследствие этих причин экологические проблемы в Балтийском регионе, в который входят Россия, Швеция, Финляндия, Эстония, Латвия, Литва, Польша, Германия и Дания, имеют первостепенное социальное, экономическое и общественно-политическое значение. Эти проблемы носят комплексный характер и обусловлены антропогенными факторами и промышленно-хозяйственными сферами деятельности человека — производством и потреблением атомной энергии, промышленностью, сельским хозяйством, транспортом, рыболовством, обработкой сточных вод [4]. Экологическая ситуация обостряется тем, что в прибрежной зоне Балтийского моря расположено множество промышленно-индустриальных городов, подверженных сильному загрязнению, которое распространяется на морскую воду, почву и воздух. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), основную причину для беспокойства составляет высокий процент регистрируемых в этом регионе онкологических и аллергических заболеваний [5].

Основную часть загрязнения вод Балтийского моря составляют промышленно-бытовые отходы и отходы сельского хозяйства (азотно-фосфорные удобрения), нефть и нефтепродукты, отходы военного производства, техногенные радионуклиды (полоний  $^{210}\text{Po}$ , уран  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ , плутоний  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$ , стронций  $^{90}\text{Sr}$ , цезий  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ), тяжелые металлы (медь (Cu), кадмий (Cd), ртуть

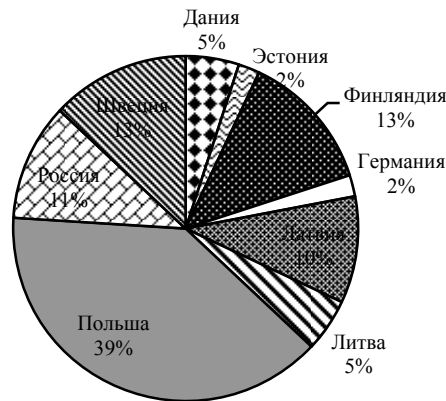
(Hg), свинец (Pb)) [6]. При этом около 50% общего количества тяжелых металлов Cu, Cd, Hg, Pb попадают в воды Балтийского моря с атмосферными осадками, основная часть — при сбросе в акваторию или с речным стоком бытовых и промышленных отходов [7]. Вышеназванные факторы приводят к существенному загрязнению вод Балтийского моря, уничтожению морской экосистемы и деградации окружающей среды. Это в свою очередь негативно влияет на другие сферы промышленно-хозяйственной деятельности человека, прежде всего на рыболовство и туризм [8]. Многие виды промысловых рыб сельдевых, лососевых и тресковых, обитающих в Балтийском море, подвергаются сильному загрязнению. В результате этого в выловленной в Балтийском море сельди и треске содержание цезия (Cs) и стронция (Sr), а также тяжелых металлов — цинка (Zn), кадмия (Cd), свинца (Pb) и ртути (Hg) — в 5 раз превышает предельно допустимую норму [9], а в прибрежном зоопланктоне — в 3 раза [10].

Постоянным серьезным источником экологической опасности Балтийского моря являются отходы военного производства и химическое оружие. После окончания Второй мировой войны в Балтийское море было сброшено около 3 млн тонн химического оружия, содержащего 14 ядовитых веществ, среди которых высокотоксичные иприт (1-хлор-2-(2'-хлорэтилтио)-этан)  $S(CH_2CH_2Cl)_2$  и фосген  $COCl_2$  [11]. По данным экологов в Балтийском море, и на прибрежной территории расположено около 50 потенциально опасных мест локализации токсических отходов военного производства [12]. На дне Балтийского моря находится 267 тыс. тонн бомб, снарядов и мин, затопленных после окончания Второй мировой войны, внутри которых находится более 50 тыс. тонн боевых отравляющих веществ [13]. Из-за недостаточной способности самоочищения вод Балтийского моря яды опасных веществ со свалок и сточных бассейнов проникают в море. По оценкам военных специалистов, скорость сквозной коррозии оболочек боеприпасов составляет 15—80 лет, артиллерийских снарядов — 20—140 лет [14].

Существенный вклад в ухудшение экологии Балтийского моря также вносят находящиеся рядом с Балтийским побережьем индустриально развитые районы и густонаселенные страны с интенсивно развитым сельским хозяйством в виде удобрений, главными компонентами которых являются азот (в виде аммонийного азота ( $NH_3$ ) и нитратов ( $NO_3^-$ )) и фосфор (фосфаты ( $PO_4^{3-}$ )). Второй важный фактор, способствующий деградации Балтийского моря, — разрушение природных ландшафтов, особенно в западной части региона. Важные сельскохозяйственные районы, расположенные на территории России, Эстонии, Латвии, Литве и Польше, составляют 40% сельскохозяйственных угодий акватории Балтийского моря [15]. В результате интенсивного сельского хозяйства количество азотно-фосфорных удобрений, поступающих в воды Балтийского моря, за последние 50 лет увеличилось в 7 раз. Ежегодно с коммунальными стоками городов и отходами промышленно-бытовых предприятий, а также со смывом удобрений с полей попадает 600 тыс. тонн азота и 25 тыс. тонн фосфора; за счет антропогенной деятельности человека — 86 тыс. тонн азота и 2 тыс. тонны фосфора соответственно (данные 2006 г.) [16]. Причем 50% от общего количества азота и фосфора поступает из сельскохозяйственных стран и районов, расположенных на Балтийском побережье от Санкт-Петербурга до Шлезвиг-Гольштейна (ФРГ), в то время как 40% азота — непосредственно из атмосферы за счет азотной фиксации, осуществляемой планктоном и водорослями. И лишь 10% фосфора — из атмосферы [17]. Выбросы в Балтийское море азота и фосфора и распределение по различным отраслям промышленности в 2006 г. показаны на рисунках 1 и 2 соответственно. При этом на долю Польши приходится 26 и 39% от общего выброса азота и фосфора, России — 16 и 11%, Швеции — 18 и 13%, Финляндии — 12 и 13%, Латвии — 10 и 10%, Литвы — 5 и 5%, Германии — 3 и 2%, Эстонии — 2 и 2% (рис. 1). Наибольшие количества фосфора и азота поставляет сельское хозяйство (44% азота и 45% фосфора), сточные воды (24% азота и 20% фосфора) и промышленность (6% азота и 17% фосфора). Лесное хозяйство дает 4% азота и 1% фосфора, штормовые воды — 1% азота и 5% фосфора, в то время как с внутренними водами поступает 19% азота (рис. 2).



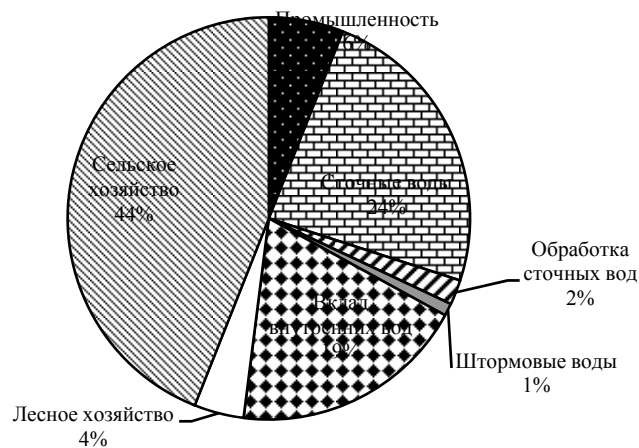
а



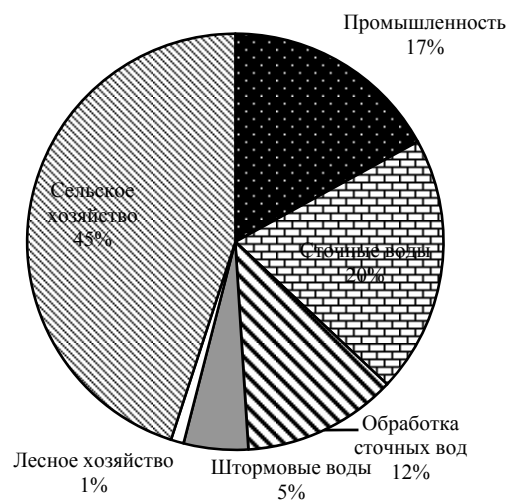
б

Рис. 1. Выбросы в Балтийское море азота (а) и фосфора (б) в 2006 г.  
Общее количество фосфора 600 тыс. тонн, азота 25 тыс. тонн [16]

Высокие суммарные концентрации экзогенного азота и фосфора в водах Балтийского моря вызывают эвтрофикацию — спонтанный неконтролируемый рост простейших сине-зеленых водорослей *Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* и *Dinophysis dinoflagellates*, способных получать энергию за счет фотосинтеза [18]. Зона обширной эвтрофикации в Балтийском море длиной 1,6 тыс. км и шириной 190 км отчетливо видна из космоса (рис. 3). Эвтрофикация приводит к поступлению в морскую воду токсинов, выделяемых сине-зелеными водорослями, которые в процессе своего роста потребляют большое количество кислорода, в результате чего в морской воде со временем его становится все меньше.



a



b

Рис. 2. Выбросы азота (a) и фосфора (b) в Балтийское море за счет различных отраслей промышленности в 2006 г. Общее количество фосфора 86 тыс. тонн, азота 2 100 тонн (Источник: Международное агентство по защите окружающей среды Environmental Protection Agency [17]).

По подсчетам, одна третья часть дна Балтийского моря страдает от недостатка кислорода [19]. Нехватка кислорода в свою очередь лимитирует рост и развитие других морских организмов, что уничтожает пищевые ресурсы для развития зоопланктона и рыб [20]. Из-за дефицита кислорода биогенные органические вещества биоассимилируются не полностью и разлагаются в воде, выделяя губительный для морских обитателей сероводород ( $H_2S$ ) [21]. В настоящее время концентрация  $H_2S$  в сероводородных зонах на дне крупнейших впадин Балтийского моря — Борнхольмской, Готландской и Гданьской — настолько велика, что там не могут существовать живые организмы.



Рис. 3. Эвтрофикация Балтийского моря  
(снимок сделан с космического спутника Европейского космического агентства (European Space Agency) 29 июля 2005 г.)

Другая экологическая проблема Балтийского моря связана с переработкой сточных вод и промышленно-бытовых отходов. В воды Балтийского моря через речную сеть попадают промышленно-бытовые отходы девяти промышленно развитых стран — России, Финляндии, Швеции, Эстонии, Латвии, Литвы, Польши, Германии и Дании. Так, ежегодно в Балтийское море со сточными водами в результате индустриальной, бытовой и промышленной деятельности попадают 600 тыс. тонн нефти, 4 тыс. тонн меди (Cu), 4 тыс. тонн свинца (Pb), 50 тонн кадмия (Cd) и 33 тонны ртути (Hg) [22]. Ладожское озеро, река Нева и ее притоки в районе Санкт-Петербурга испытывают значительное загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами со стороны городской системы канализации, через которую в акваторию реки Невы и Невской губы ежегодно сбрасывается около 1500 млн м<sup>3</sup> сточных вод [23]. Серьезными источниками загрязнения акватории Балтийского моря также являются предприятия и организации, занимающиеся транспортировкой и утилизацией газа, нефти и нефтепродуктов. Сейчас через Балтийское море осуществляется 15% всех мировых перевозок. При этом интенсивность движения судов грузоподъемностью до 5 тыс. тонн, перевозящих нефтепродукты, составляет 8—10 судов в сутки, а годовой грузооборот нефтепродуктов в 2010 г. достигает 160 млн тонн [24]. В настоящее время реализуется подписанный Россией в 2005 г. международный проект «Северный поток» (Nord Stream) по транспортировке российского газа в страны Западной Европы с суммарной мощностью 55 млрд м<sup>3</sup> газа в год. Ожидается, что это будет один из самых протяженных подводных газопроводов в мире, по которому в Европу в 2025 г. будет импортировано 80% российского природного газа из Южно-Русского нефтегазового месторождения, расположенного в Ямало-Ненецком автономном округе. По оценкам экологов, этот проект может нанести существенный ущерб экологии Балтийского моря [25].

Другими высокотоксичными органическими соединениями, детектируемыми в водах Балтийского моря, являются ДДТ (1,1,1-трихлор-2,2-ди(п-хлорфенил)этан), хлорированные углеводороды, парафины, пестициды, обладающие способностью биоаккумуляции в морских организмах [26]. Запрет использования ДДТ и пестицидов в сельском хозяйстве и промышленности привел к уменьшению их концентраций в водах Балтийского моря, но некоторые прилегающие к акватории Балтики районы по-прежнему загрязнены этими высокотоксичными веществами.

Неблагополучная экологическая ситуация на Балтике также связана с расположенными на Балтийском побережье объектами развитой атомной энергетики. Выработка электроэнергии АЭС и мощности ядерных реакторов стран Балтийского региона и сопредельных стран в 1990—2010 гг. показаны в таблицах 1 и 2 соответственно. Из этих данных видно, что на долю Германии и России приходится 30,3 и 13,1% от общей выработки электроэнергии в Балтийском регионе при увеличении мощностей действующих реакторов в 2010 г.

Таблица 1

**Выработка электроэнергии АЭС  
в странах Балтийского региона в 2000 г. [27]**

Государство	Выработка, ТВт · ч	% от общей выработки
<i>Западная Европа</i>		
Швеция	71,4	52,4
Германия	152,8	30,3
Финляндия	18,7	28,1
<i>Восточная Европа</i>		
Литва	12,7	83,4
Украина	79,6	43,8
Россия	108,8	13,1

Таблица 2

**Мощности ядерных реакторов  
стран Балтийского региона в 1990—2010 гг., МВт [28]**

Страна	2000	2005	2010
Беларусь	0	0	900
Германия	21320	21320	20980
Литва	2500	1250	0
Россия	19840	24540	28190
Украина	12150	15040	16940
Финляндия	2540	2650	4150
Швеция	9440	8840	8840
<i>Итого</i>	67790	73640	80000

По данным HELCOM, на побережье Балтийского моря размещены шесть действующих энергоблоков АЭС: три шведских АЭС Форсмарк (Forsmark) на восточном побережье Упланда, Оскарсхам (Oskarshamn) в Кальмарском проливе и Рингхалс (Ringhals) на полуострове Варо, две финских АЭС Ловииса (Loviisa) в южной части Финляндии и Олкилуото (Olkiluoto) на побережье Ботнического залива и одна российская АЭС в Финском заливе — Ленинградская АЭС [29]. В феврале 2010 г. Россия начала строительство Балтийской атомной электростанции (Калининградская АЭС) в Неманском районе Калининградской области, которая будет состоять из двух энергоблоков общей мощностью 2,3 ГВт. Планируется, что после ее постройки область из энергодефицитного региона превратится в крупного экспортера электроэнергии. Россия в настоящее время также разрабатывает планы реконструкции и проектирования Карельской АЭС в Суоярви (Карелия).

Предельно допустимые уровни радиации в районах расположения АЭС детектируются лишь в некоторых случаях (Дания, Эстония, Латвия, Норвегия и Польша не имеют действующих АЭС). На прилегающих к АЭС территориях действуют хранилища высокотоксичных радиоактивных отходов, в том числе региональные, — на территории России, Швеции (Форсмарк) на Северо-Востоке Эстонии, в Латвии в районе р. Даугавы и в Литве в районе закрытой в 2009 г. Игналинской АЭС. Загрязнение почвы и воды в этих районах вызвано обладающими высокими уровнями радиотоксичности ураном  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ , плутонием  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$ , цезием  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$ , стронцием  $^{90}\text{Sr}$ , радиоактивными отходами атомной энергетики и продуктами побочного распада ядерного топлива, в том числе тритием ( $^3\text{H}$ ), который образуется как продукт деления ядер урана  $^{235}\text{U}$  (на 1 ГВт мощности в реакторе образуется  $1,15 \cdot 10^{11}$  Бк/сут трития, ПДК трития  $1,9 \cdot 10^{-8}$  мг/м<sup>3</sup>) [30]. В реакторах на тяжелой воде тритий образуется в результате захвата дейтерием нейтрона. В воде  $^3\text{H}$  связывается с гидроксильными радикалами (ОН $\cdot$ ) с последующим образованием тритиевой воды (Н<sup>3</sup>НО). Тритий может попадать в окружающую среду с газообразными или жидкими отходами как непосредственно на АЭС, так и при дальнейшей переработке облученного ядерного топлива. Согласно данным о количественной оценке поступления трития в окружающую среду с газообразными и жидкими отходами АЭС, реакторы ВВЭР (водно-водяной энергетический реактор) генерируют в атмосферу 7,4—33, в гидросферу 33 ГБк/МВт(электрич.)/год трития; графитовые реакторы РБМК (реактор большой мощности канальный) — 22 и 1,5 ГБк/МВт (электрич.)/год трития [31]. Более высокие выбросы трития наблюдаются на АЭС с тяжеловодными реакторами [32]. Так, концентрации трития ( $^3\text{H}$ ) в прибрежной зоне возле закрытой в 2009 г. Игналинской АЭС в Литве в тысячи раз превышает предельно допустимые нормы [33]. Аналогичная ситуация наблюдается и с дейтерием ( $^2\text{H}$ ) в составе отработанной реакторами тяжелой

воды ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ). Тяжелая вода находит широкое применение в атомной энергетике в качестве замедлителя тепловых нейтронов при ядерной реакции деления урана  $^{235}\text{U}$  и как теплоноситель [34]. Соотношение между тяжелой и обычной водой в природных водах составляет 1:5500 [35]. Хотя тяжелая вода не является радиоактивной, она ингибирует жизненно важные процессы и метаболизм и в высокой концентрации токсична для организма [36]. По этой причине дальнейшее производство, потребление и использование тяжелой воды в атомной энергетике должно находиться под строгим международным контролем.

Самым существенным источником поступления радионуклидов в Балтийское море стали выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г., когда в атмосферу выделилось множество радиоактивных элементов и продуктов их распада, среди которых доминирующее положение занимают радиоактивные изотопы стронция  $^{90}\text{Sr}$  и цезия  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  [37], концентрации которых увеличились в десятки раз (рис. 4). Так, в Швеции плотность выпадения  $^{137}\text{Cs}$  составила 60—80 кБк/м<sup>2</sup>, в Финляндии — 30—60 кБк/м<sup>2</sup>. Участки с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  до 80—90 кБк/м<sup>2</sup> обнаружены в Греции, Румынии, Швейцарии, Австрии и Германии при средней плотности радиоактивных выпадений в Европе от 20 (Португалия) до 90 кБк/м<sup>2</sup> (Австрия).

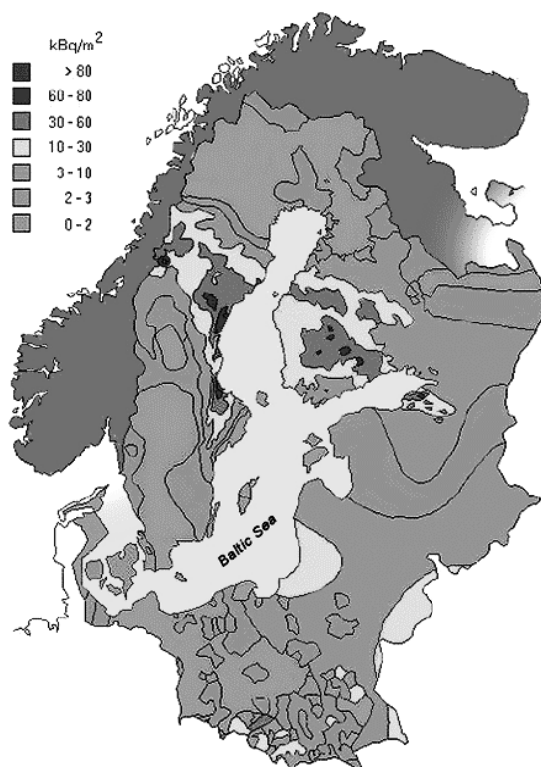


Рис. 4. Плотность распространения радиоактивного облака после аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. [38]

Одним из наиболее загрязненных регионов Балтики является район центральной части Финского залива. Динамика накопления изотопов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в водах Финского залива на периоды 1970—2007 гг. (рис. 5) изучена специалистами Финского центра радиоактивной и ядерной безопасности [38]. По этим данным уровень содержания изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в водах Финского залива в июне 1986 г. повысился в 60 раз по сравнению с 1985 г., но к 1991 г. уменьшился наполовину за счет речных стоков Невы и гидрологических процессов осаждения и выноса радионуклидов за пределы региона [39]. Наряду с  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в южных регионах Балтийского моря также обнаружены концентрации изотопов железа  $^{55}\text{Fe}$ , никеля  $^{63}\text{Ni}$ , полония  $^{210}\text{Po}$ , урана  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ , плутония  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$ , которые обладают способностью биоаккумулироваться в морских организмах [40]. Последний факт свидетельствует о широком спектре радиоактивного загрязнения.

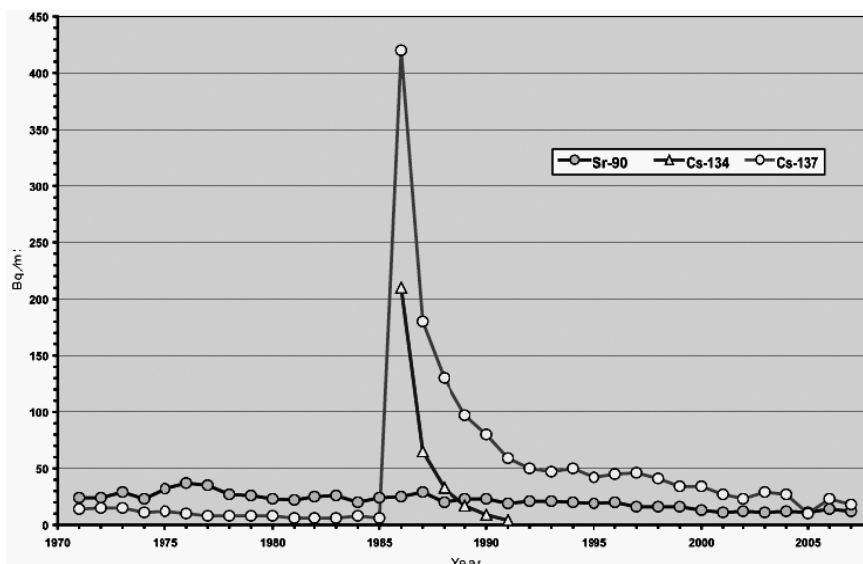


Рис. 5. Динамика распределения изотопов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в водах Финского залива в 1970 и 2007 гг. [38]

Учитывая данные о радиоактивности Балтики за 1970—2007 гг., специалисты HELCOM [41] рассчитали дозы облучения населения, проживающего в регионе Балтийского моря, на 100-летний период (до 2050 г.). Максимальная коллективная доза, обусловленная воздействием изотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , — 160 чел.-Зв/год — зарегистрирована в 1986 г. Эта величина сопоставима с годовой дозой, полученной за счет естественных радионуклидов, содержащихся в морепродуктах Балтики (200 чел.-Зв). Полная коллективная доза, полученная за счет воздействия искусственных радионуклидов, оценивается в 2600 чел.-Зв. При этом 66% этой дозы обусловлено чернобыльскими выпадениями, 25% — глобальными выпадениями, 8% — вкладом европейских заводов по переработке отходов ядерного производства и только 0,04% приходится на долю ядерных объектов, расположенных в регионе Балтийского моря. В то же время коллективная доза, обусловленная естественной радиоактивностью морепродуктов, рассчитанная на тот же период, в десять раз выше — около 20 тыс. чел.-Зв. [41]. Полученные тревожные данные диктуют скорейшую реализацию мер, направленных на оздоровление экологической ситуации в Балтийском регионе.

Важный этап в этом направлении — международная программа созданной в 1992 г. при участии России и стран Балтийского региона Хельсинкской Комиссии (*The Helsinki Commission, HELCOM*), которая направлена на улучшение экологии Балтийского моря, развитие комплексного управления территориями, побережьями и акваториями Балтийского бассейна, предупреждение негативного воздействия на окружающую среду; учет экологических требований при планировании и принятии решений; запрет природопользования, приводящего к значительному нарушению экологического баланса; выработку международных стратегий по охране окружающей среды и на расширение возможностей самих людей по разумному использованию ресурсов Балтийского моря [42].

Россия также осуществляет активное двухстороннее международное сотрудничество по охране экологии Балтийского моря на межправительственном и межведомственном уровнях. Так, на сегодняшний день действуют более 20 соглашений, в том числе подписаны соглашения с Австрией, Испанией, Нидерландами, Румынией, Японией. Развитие международных связей России с Балтийскими странами направлено прежде всего на улучшение экологической обстановки в акватории Балтийского моря и приграничных районах Финляндии, Республики Карелия и России, проведение совместных работ в международных заповедниках и национальных парках.

Главной задачей по улучшению экологии Балтийского моря становятся совместные действия России и стран Балтийского региона по уменьшению количеств поступающих в воды Балтийского моря нефти и нефтепродуктов, а также тяжелых металлов — кадмия (Cd) и ртути (Hg) [43]. К 2020 г. запланирована совместная программа по снижению концентраций в водах Балтийского моря азота и фосфора. Результатом реализации этой программы стало обнаружение в 2005 г. в некоторых пораженных регионах Балтийского моря мигрировавших из вод Атлантики полихет — разновидностей морских многощетинковых червей *Marenzelleria neglecta*, *Monoporeia affinis Lindstrom* и *Hediste diversicolor*, способных осуществлять ферментативное окисление сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$  при концентрациях 50 ммоль [44].



Факт существования полихет на дне Балтийского моря — это хорошая новость для экологов и подтверждает улучшение экологии Балтики за счет реализации комплексных международных мер. Это свидетельствует о том, что мертвые бескислородные участки Балтийского моря начинают постепенно оживать, поскольку в воде начал образовываться необходимый для развития морских организмов кислород. Таким образом, присутствие донных форм морских организмов в Балтийском море является первым обнадеживающим индикатором, позволяющим надеяться, что сложная экологическая ситуация на Балтике улучшится в обозримом будущем.

#### Список литературы

1. *Emelyanov E. M.* Baltic Sea: geology, geochemistry, paleoceanography, pollution. P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Atlantic Branch. Kaliningrad: Yantarny Skaz, 1995.
2. *Lass H. U., Matthäus W.* General oceanography of the Baltic Sea // Feistel R., Nausch G., Wasmund N., ed. State and evolution of the Baltic Sea 1952—2005. Hoboken, N. J.: John Wiley & Sons, Inc. 2008. P. 5—44.
3. *Ducrotoy J. P., Elliott M.* The science and management of the North Sea and the Baltic Sea: Natural history, present threats and future challenges. Mar Pollut Bull. 2008. Vol. 57. P. 8—21.
4. *Pawlak J.* Land-based inputs of some major pollutants to the Baltic Sea. Ambio Special issue on the Baltic, 1980. P. 163—167.
5. *Herrmann J.* Levels of radioactivity // The Radiological Exposure of the Population of the European Community to Radioactivity in the Baltic Sea. Maria-Balt Project, 2d S. P. Nielsen. Proceedings of a Seminar held at Hasseludden Conference Centre, Stockholm, 9—11 June 1998. P. 77—129.
6. *Brugmann L.* Heavy metals in the Baltic Sea. In The State of the Baltic / ed. by G. Kullenberg, Mar. Pollut. Bull. 1981. Vol. 12 (6). P. 214—218.
7. *HELCOM.* Baltic Sea Environmental Proceedings. 2004. N 108. Heavy Metal Pollution to the Baltic Sea in 2004. Helsinki Commission. Baltic Marine Environmental Protection Commission. N 108. P. 33.
8. *Ojaveer H., MacKenzie B. R.* Historical development of fisheries in northern Europe-Reconstructing chronology of interaction between nature and man. Fish Res. 2007. Vol. 87. P. 102—105.
9. *Perttälä M., Tervo V., Parmanne R.* Heavy metals in Baltic herring and cod. Marine Pollution Bulletin. 1982. Vol. 13. Is. 11. P. 391—393.
10. *Brugmann L., Hennings U.* Metals in Zooplankton from the Baltic Sea, 1980—1984. Chemistry and Ecology. 1994. Vol. 9. Is. 2.
11. *Донсков Н.* Балтийское море — море смерти // Новая газета. 2002. 18 апр.
12. *Long-Lived Radionuclides in the Seabed of the Baltic Sea.* Report of the Sediment Baseline Study of HELCOM MORS-PRO in 2000—2005. Baltic Sea Environment Proc.: Publ. HELCOM. 2006. N 110.
13. *Сороколетов С.* Балтийское море в опасности // Экология и жизнь. 9 февр. 2009.
14. *Калинин В. А.* Химическое оружие и экология Балтийского моря // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2006. № 6.
15. *Schiewer U.* Ecology of Baltic Coastal Waters. Berlin. Heidelberg: Springer-Verlag. 2008.
16. *HELCOM.* Proportion of sources contributing to water borne nitrogen and phosphorus input into the Baltic Sea. 2006. N 102. HELCOM.
17. *Environmental Protection Agency.* 2006. Report 5815.
18. *Bianchi T. S., Westman P., Andren T., Rolff C., Elmgren R.* Cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: natural or human induced? Limnol. Oceanogr. 2000. Vol. 45. P. 716—726.
19. *HELCOM.* Eutrophication in the Baltic Sea — An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. Balt Sea Environ Proc No 115. Helsinki: HELCOM, 2009. P. 148.
20. *Flinkman J., Aro E., Vuorinen I., Viitasalo M.* Changes in northern Baltic zooplankton and herring nutrition from 1980s to 1990s: top-down and bottom-up processes at work. Mar. Ecol. Prog. Ser. 1998. Vol. 165. P. 127—136.
21. *Bonsdorff E., Blomqvist E., Mattila J., Norkko A.* Coastal eutrophication-causes, consequences and perspectives in the archipelago areas of the Northern Baltic Sea. Estuar. Coastal Shelf Sci. 1997. Vol. 44. P. 63—72.
22. *Rheinheimer G.* Pollution in the Baltic Sea. Naturwissenschaften. 1998. Vol. 85(7). P. 318—329.
23. *WWF.* Special issue on oil in the Baltic Sea. World Wide Fund for Nature. 1995. Baltic Bull. 2—3.
24. *Викторов С. В., Коровин Л. К., Устинов Б. П.* Улучшение экологического состояния Балтийского моря // Государство и транспорт. 2006. № 6.
25. *Экологическая безопасность проекта «Северный поток»* // Нефть и газ Евразия. 2009. № 6.
26. *Wuff F., Rahn L. et al.* A mass balance model of chlorinated organic matter for the Baltic Sea — a challenge to ecotoxicology. Ambio. 1993. Vol. 22. P. 27—31.
27. *Крышев И. И., Рязанцев Е. П.* Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. М., 2000. С. 384.
28. *Бюллетень по атомной энергии.* Атоминформ. М., 2008. С. 20—44.
29. *Radioactivity of the Baltic Sea, 1999—2006.* HELCOM Thematic Assessment. Baltic Sea Environment Proc.: Publ. HELCOM. 2009. N 117.

30. Андреев Б. М., Зельвенский Я. Д., Кательников С. Г. Тяжелые изотопы водорода в ядерной технике. М., 1987.
31. Wilson P. D. The Nuclear Fuel Cycle. Oxford University Press. 1996. P. 1—17.
32. Sinha R. K., Kakodkar A. Advanced Heavy Water Reactor. INS News. 2003. Vol. 16. P. 15.
33. Ignalina Nuclear Power Plant (6 June 2009). NNP preventive maintenance. Press release. Retrieved 31 December 2009.
34. Maloney J. O. Production of Heavy Water. McGraw-Hill. New York, 1955.
35. Шатеништейн А. И. Изотопный анализ воды. 2-е изд. М., 1957.
36. Мосин О. В. Исследование методов биотехнологического получения аминокислот, белков и нуклеозидом, меченных стабильными изотопами  $^2\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  с высокими уровнями изотопного обогащения: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1996.
37. Агапов А. М., Тишков В. П. и др. Безопасность окружающей среды // Радиационный мониторинг. 2008. №2.
38. Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety. Evaluation of population doses in the vicinity of a nuclear power plant. 23 Jan. 1997 (in Finnish).
39. Степанов А. В., Тишков В. П. и др. Радиоактивное загрязнение после аварии на ЧАЭС // Труды радиевого института им. В. Г. Хлопонина. 2009. Т. 14. С. 154—162.
40. Skwarzec B., Struminska D. I., Boryto A. Radionuclides of iron ( $^{55}\text{Fe}$ ), nickel ( $^{63}\text{Ni}$ ), polonium ( $^{210}\text{Po}$ ), uranium ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) and plutonium ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ) in Poland and Baltic Sea environment. Nukleonika. 2006. Vol. 51. P. 45—51.
41. Radioactivity in the Baltic Sea 2000—2005. Baltic Sea Environment Proc.: Publ. HELCOM 2008. N 85.
42. The Baltic Sea Joint Comprehensive Environmental Action Programme. HELCOM. Helsinki, 1993. (Balt. Sea Environ. Proc. No. 48). P. 3—20.
43. HELCOM. Baltic Sea Action Plan. Helsinki: HELCOM. 2007. P. 10.
44. Bastrop R., Blank M. Multiple Invasions — a Polychaete Genus Enters the Baltic Sea. Biological Invasions. 2005. Vol. 8. N. 5. P. 1195—1200.

#### **Об авторе**

Мосин Олег Викторович, кандидат химических наук, научный сотрудник, Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова.  
E-mail: mosin-oleg@yandex.ru

#### **About author**

Dr. Oleg Mosin, Research fellow, Moscow State Academy of Fine Chemical Technology.  
E-mail: mosin-oleg@yandex.ru