

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ПОГРЕБНЯК Елена Владимировна

**РАДИОАКТИВНОСТЬ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ .
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ В 1972-1989 гг.**

(специальность 11.00.08 - океанология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Севастополь, 1997

551.46

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00738130 (M)

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Севастопольском институте энергии и промышленности Министерства энергетики Украины и Морском гидрофизическом институте НАН Украины.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук
Стыро Д.Б.

доктор географических наук
академик НАН Украины
Булгаков Н.П.

Официальные опоненты:

доктор географических наук
Михайлов В.И.

кандидат химических наук
Чудиновских Т.В.

Ведущая организация:

Морское научно-информационное
объединение УкрНИГМИ Госкомгидромета Украины

Защита состоится 26 06 1997 г.

в ___ час. ___ мин. на заседании Специализированного совета Д 011.01.01 при Морском гидрофизическом институте НАН Украины.

Адрес: 335000, Севастополь, ул. Капитанская, 2, Морской гидрофизический институт НАН Украины.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Морского гидрофизического института НАН Украины.

Автореферат разослан 22 05 1997 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета
доктор физико-математических наук

Суворов А.М.

АВ - 38.278 3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ. Одной из наиболее важных проблем, стоящих перед современным человеком, является проблема сохранения и восстановления окружающей среды. Рост промышленного производства во всем мире приводит к постоянно возрастающему выбросу в окружающую среду отходов, содержащих много вредных веществ, в том числе и радиоактивных.

Вблизи Балтийского и Северного морей, омывающих густонаселенные страны Европы, расположено большое число предприятий атомной промышленности, оказывающих, в той или иной мере, неблагоприятное воздействие на окружающую среду. В настоящее время Балтийское море используют как водоем-охладитель 12 атомных электростанций. Это обстоятельство, а также особенности гидрологических структур мелководных бассейнов, привели к тому, что в Балтийском и Северном морях концентрация техногенных радионуклидов на 1-3 порядка выше, чем в водах Мирового океана.

Крайне неблагоприятное воздействие на радиозоологическое состояние бассейна оказала авария на Чернобыльской атомной электростанции. Чернобыльские радионуклиды вызвали существенное повышение радиоактивности морской воды в Балтийском и Северном морях. Содержание в поверхностных водах радионуклидов цезия-137, цезия-134, рутения-103, рутения-106 в июне 1986 г. было во много раз выше, чем в предыдущие годы. Поэтому исследования закономерностей распределения и изменения уровня радиоактивной загрязненности вод Балтийского моря после чернобыльской аварии имеет большое значение для контроля качества морской среды и оценки скорости "самоочищения" бассейна от разового поступления радиоактивных загрязнений.

Изучению поведения радионуклидов в Балтийском море посвящено много работ [Айвариджи М.В. 1974, Богданович А. О.1976, Вайс Д. 1982, 1984, Вакуловский С.И.1983, 1984, Даргене Н.П. 1976, Душаунскене-Дуж Р.Ф. 1884, Гедеонов Л.И. 1972, Каджене Г.И. 1986, Лукинскене М.В.1976, Клейза И.В. 1987, Лазарев Л.Н. 1979, Иванова Л.М. 1984, Сало А.1983, Стыро Д. Б. 1970-1997, Kautsky H. 1975, Raakola O.1965, Nies H.1987 и др.]. Обширная информация о содержании радионуклидов искусственного происхождения в водах Балтийского моря позволила оценить добавочную к естественному фону радиоактивность. Согласно данным длительных непрерывных наблюдений за содержанием радионуклидов в Балтийском море, влияние атомных электростанций, расположенных у его побережья, на радиационную обстановку акватории не было обнаружено. Водоем обладает способностью "самоочищения" от посторонних примесей, однако интенсивность этого процесса зависит от количества и распределения радионуклидов по акватории и естественных физико-химических характеристик водоема. Кроме того, возможны и вариации радиационного "фона" Балтийского моря вследствие гидрологических, динамических и других факторов, а также влияния вод Северного моря.

Содержание радионуклидов до чернобыльской аварии незначительно колебалось относительно некоторых средних значений, установившихся в результате динамического равновесия между поступлением и выводом из моря. Авария на ЧАЭС существенно сказалась на радиационной обстановке в Балтийском море. В

связи с этим требовалось решить следующие задачи: установить влияние аварии на ЧАЭС на радиоактивную загрязненность Балтийского моря, оценить способность водоема к "самоочищению", изучить колебания структуры полей концентрации радионуклидов в водах Балтийского моря в случае разового поступления, отработать математические методы восстановления полей концентрации, дающие наиболее достоверную информацию о структуре полей концентрации радионуклидов в Балтийском море.

Исходя из изложенного, исследование полей распределения искусственных радионуклидов в водах Балтийского моря, выбор, апробация метода восстановления значений концентрации радионуклидов в узлах регулярной сетки - актуальная проблема, которая представляет научный и практический интерес. В настоящей работе делается попытка рассмотреть некоторые из указанных вопросов.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ заключается в изучении радиоактивного загрязнения Балтийского моря в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Для восстановления полей радионуклидов применен предложенный автором диссертации вариант метода Монте-Карло.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ:

1. исследование загрязнения поверхностных вод Балтийского моря радиоактивными продуктами после аварии на ЧАЭС (1986-1989 гг.);
2. изучение распределения и изменчивости концентраций радионуклидов с учетом гидрологического режима Балтийского моря;
3. сравнение радиэкологического состояния Балтийского и Черного морей.

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

1. Фоновое распределение радионуклидов Cs-137, Sr-90, Ce-144 в водах Балтийского моря до аварии на Чернобыльской атомной станции в 1972 - 1985 гг. (карты).
2. Методика восстановления полей концентрации радионуклидов с использованием предложенного автором варианта метода Монте-Карло для построения полей концентрации искусственных радионуклидов в поверхностных водах Балтийского моря.
3. Закономерности распределения и изменчивости концентраций радионуклидов Cs-137, Sr-90 и Ce-144 в поверхностных водах Балтийского моря после аварии на Чернобыльской атомной станции (1986-1989 гг.); влияние гидрологического режима.
4. Результаты сравнения "самоочищения" вод Балтийского и Черного морей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

В настоящее время вблизи моря расположено большое число действующих, а так же строящихся промышленных объектов. Естественно, что не исключена возможность различных аварийных ситуаций и их последствий, поэтому необходима достоверная информация и оценка экологических свойств водоема, на который возможно антропогенное воздействие. В качестве такой ситуации, разовое поступление большого количества загрязняющих веществ, была рассмотрена обстанов-

ка, сложившаяся после аварии на ЧАЭС в Балтийском море и ее последствия. В диссертации представлены структуры полей концентрации радионуклидов Cs-137, Sr-90 и Ce-144 в Балтийском море после аварии на ЧАЭС, основанные на экспериментальных данных, полученных в 5 рейсах судна "Лев Титов" в 1986-1989 гг. Исследована пространственная и временная изменчивость полей распределения радионуклидов. Для восстановления структуры полей концентрации использован предложенный автором диссертации вариант метода Монте-Карло, отработана методика восстановления полей по предложенному алгоритму. Приведены результаты сравнения "самоочистения" вод Балтийского и Черного морей.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА

В процессе выполнения работы автор диссертации принимал непосредственное участие в постановке задачи, выборе и разработке метода восстановления полей концентраций, анализе структуры полей распределения концентрации радионуклидов, сравнении процессов "самоочистения" вод Балтийского и Черного морей от радионуклидов чернобыльского происхождения.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнялась в СВВМИУ (ныне Севастопольский институт ядерной энергии и промышленности) и МГИ НАН Украины по плану соискателя в рамках программ по контролю и прогнозу радиоактивного загрязнения окружающей среды. Для построения и исследования полей концентрации радионуклидов Cs-137, Sr-90 и Ce-144 использовались результаты, полученные при проведении экспедиционных исследований в Балтийском море в 1986-1989 гг. Экспедиции проводились на НИС "Лев Титов". Концентрации Cs-137, Sr-90 и Ce-144 были получены радиохимическим методом выделения из 227 проб морской воды. Для восстановления полей распределения радионуклидов в Балтийском море применялись методы объективного анализа и метод Монте-Карло

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Апробация работы осуществлялась на конференциях и семинар-совещаниях: "Резервы научно-технического прогресса в строительстве республики" (г. Вильнюс, 1987 г.), "Использование вычислительной техники для охраны окружающей среды в теплоэнергетике" (г. Севастополь, 1988 г.), "Изучение современного радиоэкологического состояния южной Балтики" I семинар-совещание (г. Неринга, 1987 г.), "Aktualias gamtosaygous problemas ir ju Spendimo Keliai" (г. Вильнюс, 1988 г.), "Изучение современного радиоэкологического состояния южной Балтики" II и III семинар-совещания (г. Неринга, 1989 г.; 1991 г.), гидрофизическом семинаре МГИ (сентябрь 1996 г.).

Автор считает своей обязанностью и приятным долгом выразить глубокую благодарность научным руководителям: доктору физ.-мат. наук Стыро Д.Б., который инициировал исследования автора в этом направлении и руководил его работой в течение ряда лет и академику НАН Украины Булгакову Н.П. за всестороннюю помощь и консультации при выполнении работы и подготовке текста диссертации. Автор крайне признателен члену корреспонденту НАН Украины, доктору физ.-мат. наук Еремееву В.Н., кандидату хим. наук Чудиновских Т.В.,

прочитавших рукопись и сделавших ряд важных замечаний, учтенных при подготовке окончательного варианта представленной работы, а также сотрудникам МГИ НАН Украины за активное участие в обсуждении результатов исследования.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она содержит 102 страницы машинописного текста (без рисунков, таблиц и списка литературы), рисунки на 67 листах, 9 таблиц на листах. Список литературы включает 224 наименования, в том числе 68 работ иностранных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечается актуальность исследования, формулируются основные результаты и выводы работы, дается краткое ее описание.

В *первой главе* рассмотрены основные физико-географические характеристики Балтийского моря. Первый параграф главы посвящен геоморфологическим характеристикам моря.

Во втором параграфе рассмотрены особенности гидрологического режима Балтийского моря. Главными чертами гидрологического режима являются: 1. плотностное расслоение Балтики, непрерывно создающееся и поддерживаемое под влиянием факторов, формирующих водный баланс, и процессов в переходной области между Северным и Балтийским морями; 2. течения Балтийского моря в основном определяются синоптическими условиями над районом северо-западной Европы и ввиду общей мелководности бассейна носят преобладающий ветровой характер.

В третьем параграфе рассмотрены метеорологические условия над Балтийским морем. Гидрометеорологический режим Балтийского моря формируется в основном под влиянием взаимодействия атмосферных процессов высоких и низких широт Северного полушария, так как Балтийское море находится во фронтальной зоне между океанической атлантической и континентальной евроазиатской системой. Вследствие активной циклонической деятельности изменчивость характеристик ветра очень велика. На Балтике наблюдаются ветры всех направлений. В центральной части моря преобладающими являются направления от южного до западного. Относительно часты здесь и ветры северных румбов. Восточные наблюдаются относительно редко.

Во *второй главе* рассмотрены материалы наблюдений, методики обработки и анализа полей концентрации радионуклидов. В первом параграфе приведена база данных. Для построения полей концентрации радионуклидов Cs-137, Sr-90 и Ce-144 использовались данные, полученные при проведении экспедиционных исследований в Балтийском море в 1986-1989 гг. Экспедиции проводились на НИС "Лев Титов". Данные отбирались с глубины 0-1,5 м. Осенью 1986 г. данные отбирались на 20 станциях, осенью 1987 г. - на 21 станции, зимой 1988 г. - на 18 станциях, осенью 1989 г. - на 19 станциях.

Во втором параграфе приведены методики определения искусственных радионуклидов в морской воде по которым были получены экспериментальные результаты, используемые в работе. Выделение Cs-137, Sr-90, и Ce-144 осуществлялось

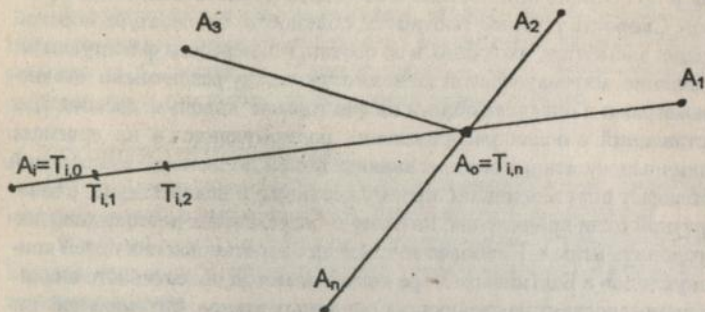
радиохимическим методом. С достоверностью 0,95 погрешность результатов измерения концентрации Cs-137 и Ce-144 - 25%, Sr-90 - 15%.

В третьем параграфе рассмотрено применение метода объективного анализа для восстановления полей распределения концентрации радионуклидов в Балтийском море. Непостоянство гидрологических параметров морской среды как в пространстве, так и во времени обусловлено взаимодействием и наложением различных процессов. Скорость течений, плотность, соленость, температура морской воды и концентрация элементов, входящих в ее состав, подвержены флюктуациям. Поэтому представление математической зависимости между различными океано-логическими параметрами и определяющими их факторами довольно сложно. Для получения представлений о полях распределения радионуклидов и их прогноза применяются различные численные методы анализа полей по данным наблюдений. Каждый метод обладает определенными преимуществами и недостатками в зависимости от конкретной цели применения, поэтому о безусловных достоинствах какой либо схемы говорить нельзя. Наиболее точным для восстановления полей концентрации радионуклидов в Балтийском море является метод объективного анализа. Объективный анализ состоит из следующих основных этапов: оптимальной интерполяции значений концентрации элемента в те точки, где отсутствуют измерения (в узлы регулярной сетки); согласование процесса, предусматривающего установление и использование связей между полем одного и того же элемента в разные моменты времени; выявление и исключение ошибочных данных и, если возможно, их коррекция.

Следует отметить, что мера ошибки оптимальной интерполяции зависит не только от минимальной ошибки, определяемой весами P_i , и ошибки при аппроксимации автокорреляционной функции, но и от количества экспериментальных данных. Так как метод объективного анализа основан на минимизации среднеквадратической ошибки интерполяции, очевидно, что при небольшом количестве экспериментальных данных значение минимальной ошибки будет большим, а это приведет к большим погрешностям в определении значений концентрации. Необходимо так же с осторожностью подходить к выбору метода решения системы на ЭВМ, так как возможна плохая обусловленность системы из-за довольно больших различий в абсолютных значениях концентрации в отдельных точках на небольшом расстоянии. В процессе решения системы происходит накопление погрешностей округления, что тоже увеличивает ошибку при получении значения концентрации. В связи с указанными недостатками некоторые поля концентрации могут быть определены с большими погрешностями. Так, нами в отдельных точках были получены либо слишком большие, либо слишком малые значения концентрации, в том числе и отрицательные. Чтобы избежать указанных недостатков мы предложили иной способ восстановления поля концентрации так же основанный на сведениях о статистической структуре поля, но использующий метод статистических испытаний, позволяющий имитировать на ЭВМ значения поля концентрации с заданной надежностью.

В четвертом параграфе приведен предложенный нами вариант применения метода Монте-Карло для восстановления полей концентрации радионуклидов. В работе предлагается способ воспроизведения на ЭВМ полей распределения концентрации радионуклидов в Балтийском море. Для получения концентрации в за-

данной точке в методе используется небольшой участок автокорреляционной функции хорошо статистически обеспеченной на расстоянии равном радиусу корреляции и исходные экспериментальные данные. Точки с известными концентрациями лежат на расстоянии меньше радиуса корреляции от точки, в которой необходимо найти значение концентрации.



В результате линейного преобразования стационарной последовательности независимых нормальных случайных чисел в последовательность, коррелированную по данному закону, удастся восстановить значение концентрации в искомой точке A_0 так, что концентрация в исходных точках практически не изменится.

$$C(A_0) = \frac{\sum_{i=1}^N \mu(\rho_{0,i}) \cdot C^{(i)}(A_0)}{\sum_{i=1}^N \mu(\rho_{0,i})}$$

где $C(A_0)$ -концентрация в искомой точке, $C^{(i)}(A_0)$ -восстановленное значение концентрации в A_0 по i -му отрезку, $\mu(\rho_{0,i})$ - значение автокорреляционной функции.

Предложенный нами алгоритм для восстановления поля концентрации радионуклида в заранее выбранных точках Балтийского моря -первая попытка применить метод Монте-Карло для этого района.

Результаты тестовой проверки метода Монте-Карло и метода объективного анализа (интерполяция и экстраполяция) показали что восстановленные по методу Монте-Карло значения имеют более низкие погрешности, чем значения, восстановленные по методу объективного анализа. Тестовая проверка методов проводилась по данным о концентрации Cs-137, Sr-90 и Ce-144, полученным в декабре 1988 г. Сравнение полей концентрации радионуклидов Cs-137, Sr-90 и Ce-144, построенных по восстановленным значениям в узлах регулярной сетки методом Монте-Карло и методом объективного анализа с полями построенными по экспериментальным данным показывает, что использованный в работе метод расчета дает более достоверные результаты чем метод объективного анализа.

В третьей главе показано фоновое распределение радионуклидов в Балтийском море до чернобыльской аварии. В первом параграфе рассмотрены источники радиоактивного загрязнения вод Балтийского моря. Основным источником радио-

активного загрязнения окружающей среды до 1963 г. были испытания ядерного оружия. После заключения в Москве договора о запрещении ядерных испытаний в трех средах приток искусственных радиоактивных веществ в биосферу резко снизился, но не был устранен полностью. Во первых, существует до настоящего времени стратосферный резервуар долгоживущих продуктов ядерных взрывов, являющийся источником поступления радионуклидов на поверхность планеты. Безусловно, роль его с каждым годом уменьшается, но по сделанным оценкам, по крайней мере, еще в течение следующих двадцати лет глобальные выпадения будут влиять на формирование уровней концентрации искусственных радионуклидов в водах морей и океанов. Во-вторых, продолжаются испытания ядерного оружия в некоторых странах, что является источником поступления радиоактивности в окружающую среду. Многочисленные исследования плотности выпадений продуктов ядерных взрывов из атмосферы показали, что интенсивность выпадений в Северном полушарии значительно выше, чем в Южном. Это определялось метеорологическими причинами, а также расположением районов испытаний.

Существенное влияние на формирование полей концентрации искусственных радионуклидов в Балтийском море оказывает сброс отходов атомных производств в Ирландское море.

Используя литературные данные, мы провели оценку вклада каждого из источников антропогенных радионуклидов в загрязнение вод Балтийского моря. В среднем за год в Балтийское море поступало из атмосферы 34% Sr-90, 57% Cs-137, с речным стоком 43% Sr-90, 2% Cs-137, с североморскими водами 23% Sr-90, 41% Cs-137. Из полученных нами результатов следует, что основными источниками радиоактивного загрязнения Балтийского моря до аварии на ЧАЭС являлись глобальные выпадения продуктов атомных взрывов от испытаний ядерного и термоядерного оружия и сброс ядерных производств в Ирландское море и поступление загрязненных североморских вод через Датские проливы.

Во втором параграфе рассмотрены геохимические особенности радионуклидов цезия, стронция и церия. Любые исследования, связанные с изучением антропогенного загрязнения морской среды радиоактивными изотопами, окажутся несостоятельными, если предварительно не будут рассмотрены формы нахождения радионуклидов в рассматриваемой химической системе, условия перехода элементов из одного состояния в другое. Попавшие в верхний слой морских вод радионуклиды цезия и стронция быстро распространяются в пределах его активного перемешивания. При этом в течение нескольких суток происходит разбавление нуклидов как водой, так и соответствующими природными носителями. В морской воде цезий способен в заметном количестве поглощаться частицами взвешенного вещества. Вследствие разбавления стабильными изотопными аналогами и элементами, близкими ему по свойствам, Sr-90 в меньшей степени, чем Cs-137, способен поглощаться взвешенным материалом. В отличие от цезия, стронций, наряду с кальцием, активно участвует в биогенных процессах, входя в скелет и раковины многих живых организмов. Последнее обстоятельство может явиться причиной концентрирования стронция-90 в верхнем слое донных отложений за счет донной седиментации.

Результаты исследования межфазного распределения Cs-137 и Sr-90 в системе морская вода - взвесь показали, что они практически полностью находятся в во-

дах Балтики в растворенном состоянии. Многообразие химических форм свойственно изотопам цезия. В соответствии со своими химическими свойствами, они легко гидролизуются в морской воде, давая соответствующие коллоидные частицы, которые не подвержены седиментации. Кроме того, им свойственна высокая сорбируемость на взвеси ($K_d = 10^2 - 10^6 \text{ см}^3 / \text{г}$) и способность накапливаться гидробионтами.

В третьем параграфе проанализировано содержание искусственных радионуклидов в водах Балтийского моря, обусловленное глобальными выпадениями из атмосферы и промышленными сбросами. Анализ результатов показал, что средние значения концентрации Cs-137 изменялись в период с 1972 по 1985 г. незначительно. Исключением являются результаты, полученные зимой 1976 г., весной 1977 г., что по мнению авторов различных работ связано с увеличением атмосферных выпадений после ядерных взрывов, проведенных в КНР. Вторая причина - мощный вток североморских вод, имевший место зимой 1976 г. Типичные значения концентрации Cs-137 в западной части Балтийского моря в 1983-1985 гг. лежат между 20 и 35 Бк/м³ в поверхностном слое и между 25 и 63 Бк/м³ в придонных слоях. По мере удаления от Датских проливов концентрация Cs-137 уменьшается в северном направлении. Sr-90 в Балтийском море был распределен почти однородно по всей глубине. Наиболее характерные значения концентрации - около 20 Бк/м³. Содержание радионуклида цезия в донных отложениях и придонном слое воды более, чем на 2-3 порядка превосходит их содержание в основной массе балтийских вод. В случае интенсивного вертикального перемешивания возможно обратное поступление радионуклидов из придонных слоев в вышележащие. Беспрецедентным источником поступления радионуклидов в Балтийское море была авария на ЧАЭС.

В четвертой главе рассмотрено радиоэкологическое состояние Балтийского моря после чернобыльской катастрофы. В первом параграфе проанализированы выпадения чернобыльских радионуклидов на акваторию Балтийского моря. Балтийское море оказалось в зоне влияния северо-западного следа радиоактивного облака, формирование которого происходило непосредственно в момент взрыва и в первые сутки после него. Именно этим обстоятельством определялся изотопный состав атмосферных выпадений на акваторию Балтийского моря и прилегающих регионов. Первые после чернобыльских выпадений измерения содержания радиоизотопов цезия в водах Балтийского моря были проведены 8-10 мая 1986 г. возле побережья Финляндии, где концентрации составляли около 3100 Бк/м³ для Cs-137 и 1700 Бк/м³ для Cs-134. Измерения содержания радионуклидов в поверхностных водах Датских проливов и прилегающей части Северного моря 14-15 мая 1986 г. провели немецкие исследователи. Максимальная концентрация Cs-137 была отмечена в точке с координатами 54° 40' с. ш., 10° 05' в. д. Наши первые исследования после чернобыльской катастрофы были проведены 11-13 и 17 июня 1986 г. и охватывали только юго-восточную часть Балтийского моря. Анализ полученных результатов показал, что концентрация радиоцезия в поверхностных водах юго-восточной части моря после аварии на ЧАЭС выросла в несколько раз. Максимальное содержание Cs-137 наблюдалось в районе Куршской косы (55° 43,7' с.ш., 20° 51,2' в.д.) - 216 Бк/м³.

Во втором параграфе рассмотрена пространственная и временная изменчивость радионуклидов в водах Балтийского моря. Содержание Cs-137 по акватории исследований изменялось от 17 до 723 Бк/м³. Максимальные значения концентрации цезия-137 были зафиксированы в районе Аландских островов в точке с координатами 59°24' N, 21° 18' E. Распределения Се-144 осенью 1986 г. было столь же неоднородно, как и Cs-137. Максимальное его содержание также отмечено в северной части Балтийского моря. В отличие от распределения радионуклидов цезия и церия, поле концентрации Sr-90 не претерпело столь существенных изменений, обусловленных атмосферными выпадениями чернобыльских радиоизотопов. О пространственно - временной изменчивости полей концентрации рассматриваемых радионуклидов можно судить по изменению содержания Cs-137, Sr-90 и Се-144 в точках, расположенных вдоль меридионального разреза по 20°+0,5 в.д. (рис.1,2,3). Из рисунков видно, насколько значительно снизились и выровнялись концентрации радионуклидов уже в 1988 г. Приведенные результаты свидетельствуют, что основная масса радионуклидов, поступивших с атмосферными выпадениями весной 1986 г. в Балтийском море, в течение уже первых трех лет после катастрофы была выведена из поверхностного слоя за счет процессов перемешивания, сорбции на взвешенном материале, диффузии и др.

Через три года после чернобыльской катастрофы и выпадения искусственных радионуклидов на акваторию Балтийского моря значения концентраций Sr-90 и Се-144 достигли дочернобыльского уровня, а структуры полей концентрации близки к тем, которые наблюдались до 1986 г. Среднее значения концентрации Cs-137 в поверхностных водах в 1989 г. были не намного ниже, чем осенью 1986 г., что указывает на небольшую скорость процесса "самоочищения" моря от этого изотопа. На глубине более 100 м зафиксированы практически одинаковые значения концентрации Cs-137, что свидетельствует о примерно одинаковых скоростях вертикального переноса пассивной примеси в разных регионах моря. Горизонтальное перемещение водных масс привело к размыванию "пятен" повышенного содержания радиоизотопов, наблюдавшихся осенью 1986 г. в поверхностных водах Балтийского моря. Осенью 1989 г. структуры полей концентрации Cs-137, Sr-90 и Се-144 были весьма однородны.

В третьем параграфе проведено сопоставление радиозоологического состояния вод Балтийского и Черного морей. Акватория Балтийского моря и прилегающих районов суши оказались в зоне влияния северо-западного следа радиоактивного облака, акватория Черного моря оказалась в зоне влияние южного следа радиоактивного облака. Диапазон изменения концентрации цезия-137 для Черного моря лежит в пределах от 34 до 720 Бк/м³, для Балтийского - от 17 до 723 Бк/м³. Сопоставление радиозоологического состояния вод Балтийского и Черного морей позволило сделать вывод о том, что процесс самоочищения поверхностных вод Черного моря практически завершился к 1991 г. в то время как уровень загрязненности Cs-137 Балтийского моря остается высоким до настоящего времени, что объясняется особенностями гидрологических структур этих морских бассейнов.

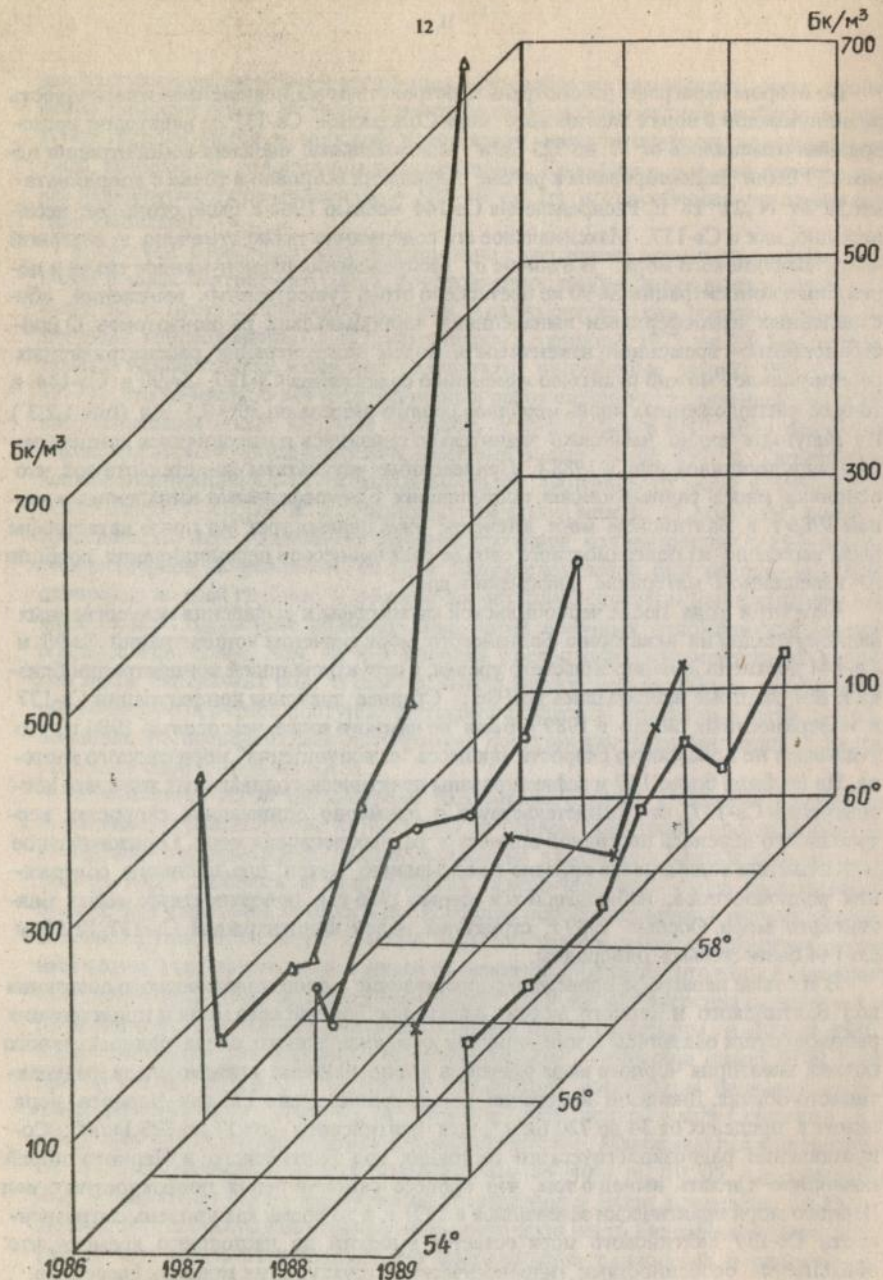


Рис. 1. Динамика изменения концентрации Cs-137 в поверхностных водах Балтийского моря вдоль меридионального разреза по 20° в.д.

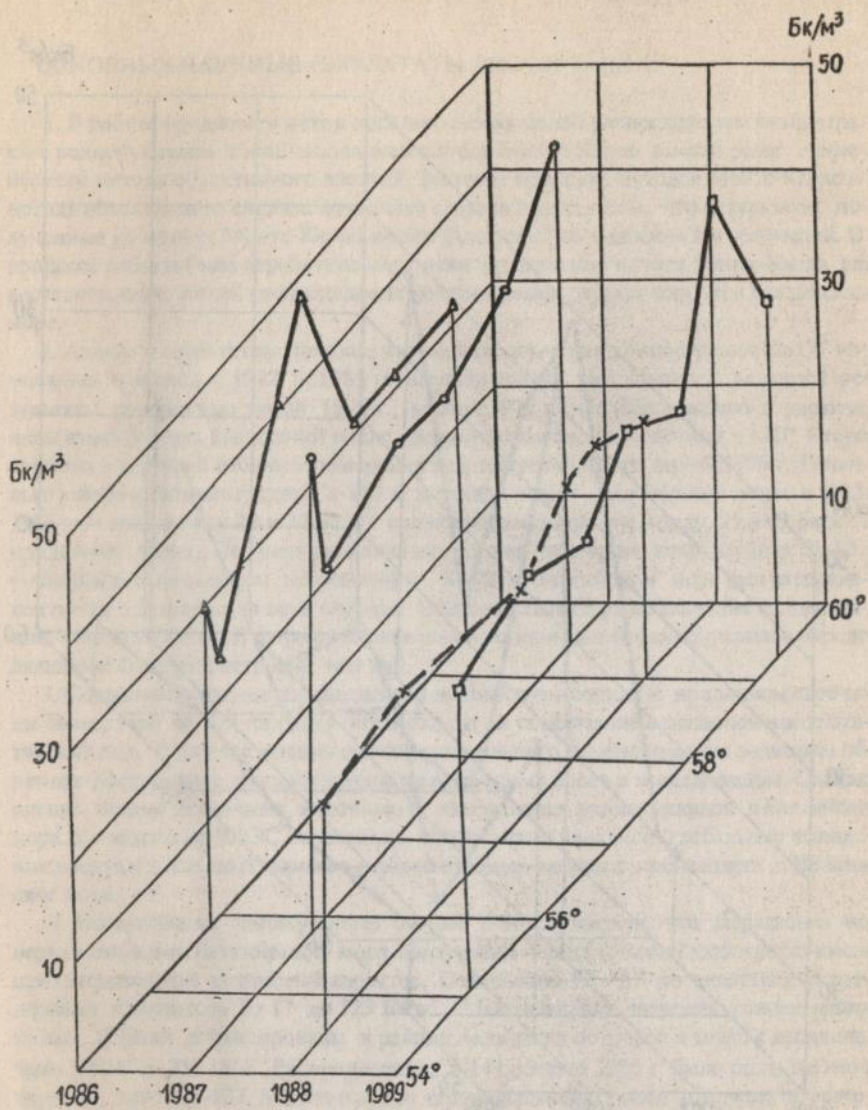


Рис. 2. Динамика изменения концентрации Sr-90 в поверхностных водах Балтийского моря вдоль меридионального разреза по 20° в.д.

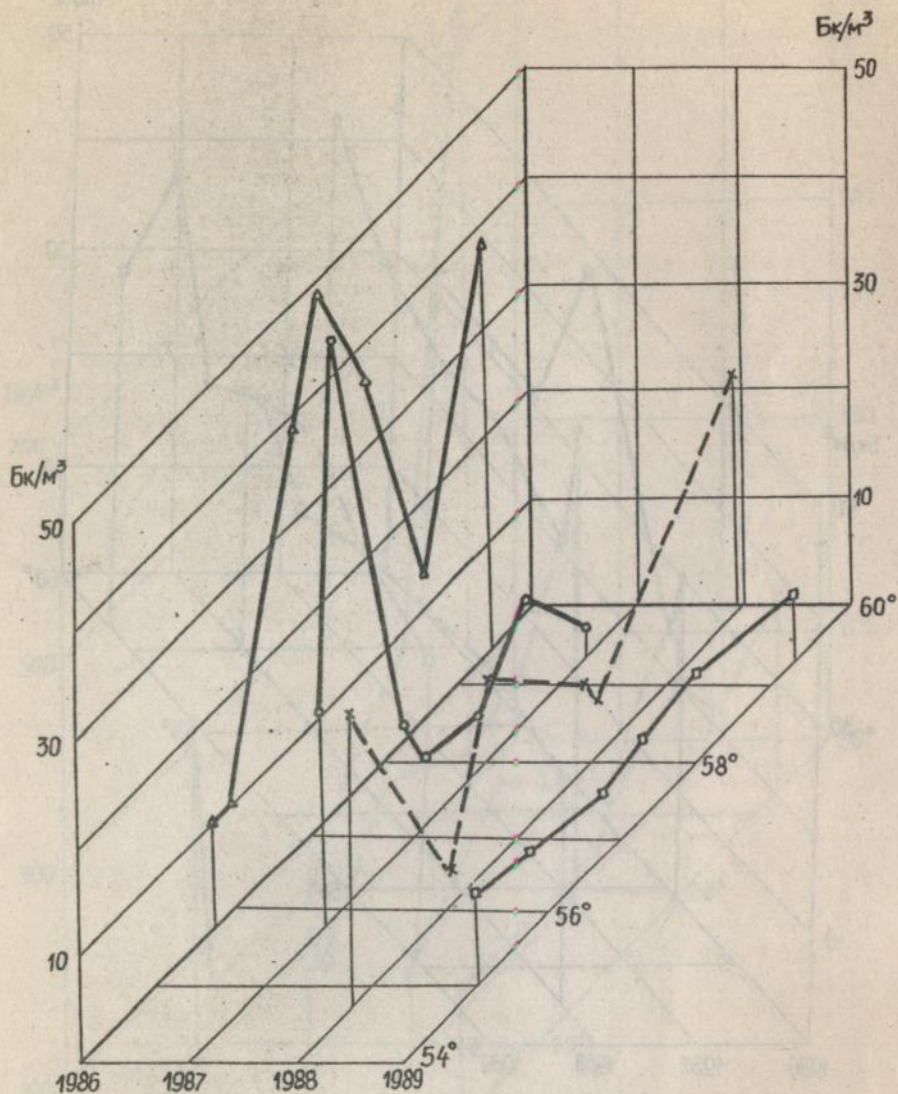


Рис. 3. Динамика изменения концентрации ^{137}Cs в поверхностных водах Балтийского моря вдоль меридионального разреза по 20° в.д.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ:

1. В работе предложен метод восстановления полей распределения концентрации радионуклидов с использованием метода Монте-Карло вместо ранее применяемого метода объективного анализа. Тестовая проверка методов Монте-Карло и метода объективного анализа позволила сделать вывод о том, что результаты, полученные по методу Монте-Карло имеют более низкие значения погрешностей. В процессе работы была отработана методика применения метода Монте-Карло для восстановления полей распределения концентрации радионуклидов в Балтийском море.

2. Анализ результатов показал, что средние значения концентрации Cs-137 изменялись в период с 1972 по 1985 гг. незначительно. Исключением являются результаты, полученные зимой 1976 г., весной 1977 г., что было связано с увеличением атмосферных выпадений после ядерных взрывов, проведенных в КНР. Вторая причина - мощный вток североморских вод, имевший место зимой 1976 г. Типичные значения концентрации Cs-137 в западной части Балтийского моря в 1983-1985 гг. лежат между 20 и 35 Бк/м³ в поверхностном слое и между 25 и 63 Бк/м³ в придонных слоях. По мере удаления от Датских проливов концентрация Cs-137 уменьшается в северном направлении. Sr-90 в Балтийском море был распределен почти однородно по всей глубине. Наиболее характерные значения концентрации - около 20 Бк/м³. В формировании полей концентрации радионуклидов определяющими являются ветровые течения.

3. Содержание радионуклида цезия в донных отложениях и придонном слое воды более, чем на 2-3 порядка превосходит их содержание в основной массе балтийских вод. В случае интенсивного вертикального перемешивания возможно обратное поступление радионуклидов из придонных слоев в вышележащие. Сделана оценка вклада различных источников поступления радионуклидов в Балтийское море. До аварии на ЧАЭС основными источниками являлись - глобальные выпадения продуктов атомных взрывов и сброс отходов ядерных производств в Ирландское море.

4. Исследования, выполненные осенью 1986 г. показали, что загрязнения поверхностных вод Балтийского моря продуктами чернобыльской катастрофы имело ярко выраженный пятнистый характер. Содержание Cs-137 по акватории исследований изменялось от 17 до 723 Бк/м³. Максимальные значения концентрации цезия-137 были зафиксированы в районе Аландских островов в точке с координатами 59°24' N, 21° 18' E. Распределения Ce-144 осенью 1986 г. было столь же неоднородно, как и Cs-137. Максимальное его содержание также отмечено в северной части Балтийского моря. Содержание Sr-90 в атмосферных выпадениях в апреле 1986 г. не превышало 0,5-0,8% от содержания Cs-137. Через три года после чернобыльской катастрофы и выпадения искусственных радионуклидов на акваторию Балтийского моря значения концентраций Sr-90 и Ce-144 достигли дочерно-быльского уровня, а структуры полей концентрации близки к тем, которые наблюдались до 1986 г.

5. Средние значения концентрации Cs-137 в поверхностных водах в 1989 г. были не намного ниже, чем осенью 1986 г., что указывает на небольшую скорость процесса "самоочищения" моря от этого изотопа. На глубине более 100 м зафиксиро-

рованы практически одинаковые значения концентрации Cs-137, что свидетельствует о примерно одинаковых скоростях вертикального переноса пассивной примеси в разных регионах моря. Горизонтальное перемещение водных масс привело к размыванию "пятен" повышенного содержания радиоизотопов, наблюдавшихся осенью 1986 г. в поверхностных водах Балтийского моря. Осенью 1989 г. структура полей концентрации Cs-137, Sr-90 и Ce-144 были весьма однородны.

6. Было проведено сопоставление радиоэкологического состояния вод Балтийского и Черного морей. Акватория Балтийского моря и прилегающих районов суши оказались в зоне влияния северо-западного следа радиоактивного облака, акватория Черного моря оказалась в зоне влияния южного следа радиоактивного облака. Различие соотношений Ru-106/Cs-137, Ce-144-Cs-137 и Sr-90/Cs-137 в выпадениях южного и северо-западного следов объясняются тем, что формирование южного следа радиоактивного облака происходило в тот период, когда состав выброса из реактора обогащался более тугоплавкими материалами за счет повышения температуры в зоне реактора. Общим для Балтийского и Черного морей является то, что первичное загрязнение поверхностных вод радиоактивными продуктами чернобыльского происхождения было обусловлено атмосферными выпадениями и носило ярко выраженный пятнистый характер. Как в Балтийское, так и в Черное море поступили, преимущественно, радионуклиды Cs-137 и Cs-134. Диапазон изменения концентрации цезия-137 для Черного моря лежит в пределах от 34 до 720 Бк/м³, для Балтийского - от 17 до 723 Бк/м³. Сопоставление радиоэкологического состояния вод Балтийского и Черного морей позволило сделать вывод о том, что процесс "самоочистения" поверхностных вод Черного моря практически завершился к 1991 г., в то время как уровень загрязненности Cs-137 Балтийского моря остается высоким до настоящего времени, что объясняется особенностями гидрологических структур этих морских бассейнов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Концентрация цезия-137 в юго-восточной части Балтийского моря в июне 1986 г. // Физика атмосферы. 5. Радионуклиды в водах Балтийского моря. Вильнюс: Моклас. 1987. С. 94-97. (соавторы Стыро Д.Б., Бумелене Г.И.)
2. Структура полей объемной активности радионуклидов искусственного происхождения в поверхностных водах Балтийского моря осенью 1986 и 1987 гг. // Атомная энергия. Т. 68. Вып. 1. 1990. С. 14-18. (соавторы Стыро Д.Б., Бумелене Г.И.)
3. Объемная активность радионуклидов искусственного происхождения в поверхностных водах Балтийского моря в августе-декабре 1988 г. // Атомная энергия. Т. 70. Вып. 6. 1991. С. 405-407. (соавторы Стыро Д.Б., Бумелене Г.И.)
4. Распределение объемной активности радионуклидов искусственного происхождения в поверхностных и глубинных водах Балтийского моря осенью 1989 г. // Атомная энергия. Т. 72. Вып. 4. 1992. С. 397-400. (соавторы Стыро Д.Б., Бумелене Г.И.)
5. Построение поля распределения объемной активности радионуклидов при стационарных процессах методом Монте-Карло // Физика атмосферы. Т. 16. 1994. С. 99-102. (соавторы Стыро Д.Б., Клейза И.В.)

6. Радиоактивное состояние юго-восточной части Балтийского моря в 1971-1995 гг. Его моделирование, прогноз, имитация // Вильнюс: "Technika". 1996. (соавторы Стыро Д., Богданович А.)
7. Радиоактивное состояние вод Балтийского моря после аварии на Чернобыльской АЭС // Тезисы докладов 2-го семинара-совещания по изучению современного радиологического состояния южной Балтики. Неринга. 1989. С. 10-11 (соавторы Стыро Д.Б., Астрадаускаене Н.П.)
8. Расчетная модель эволюции пятен сторонних примесей в Балтийском море // Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Использование вычислительной техники для охраны окружающей среды в теплоэнергетике". Севастополь. 1988. С. 14-16. (соавторы Стыро Д.Б., Клейза В.В.)
9. Математическое моделирование распределения концентрации сторонних примесей и его прогноз в морской воде // Тезисы докладов семинара-совещания по изучению современного радиологического состояния южной Балтики. Неринга. 1987. С. 11-12. (соавторы Клейза И.В., Клейза В.В.)
10. Варианты математического моделирования переноса радиоактивных примесей в Балтийском море // Тезисы 2-го семинара-совещания по изучению современного радиологического состояния южной Балтики. Неринга. 1989. С. 26-27 (соавторы Клейза И.В., Стыро Д.Б.)
11. Численный эксперимент распространения пассивной примеси в юго-восточной части Балтийского моря // Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Использование вычислительной техники для охраны окружающей среды в теплоэнергетике". Севастополь. С. 24-26. (соавторы Стыро Д.Б., Клейза В.В.)
12. Прогноз распределения строительно-промышленных отходов в водосмах // Тезисы докладов "Резервы научно-технического прогресса в строительстве республики" г. Вильнюс 1987 г. С. 26-27 (соавторы Стыро Д.Б., Клейза И.В.)
13. Juros ekosistemos tyrimas ir prognozi radioaktyviu traseriu pagalba // Thesis docladov Respublikines konferencijos "Aktualias gamtosaygous problemas ir ju Spendimo Keliai" Vilnius 1988 p.13-14 (соавторы Styra D., Kleiza J.)

Погребняк Е.В. "Радиоактивность Балтийского моря. Распределение и изменчивость в 1972-1989 гг.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.08-океанология. Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь, 1997 г.

Защищаются результаты научного исследования пространственной и временной изменчивости полей радиоактивных загрязнений Балтийского моря в 1972-1989 гг. Они опубликованы в 14 научных работах. Рассмотрено фоновое распределение радионуклидов Cs-137, Sr-90 и Ce-144 в водах Балтийского моря (до аварии на Чернобыльской атомной станции 1972-1985 гг.). Изучено распределение радионуклидов в водах Балтийского моря в 1986-1989 гг. Проанализированы закономерности распределения и изменчивости концентраций радионуклидов в поверхностных водах Балтийского моря после аварии на ЧАЭС и влияние на них гидрологического режима моря. Для восстановления полей концентраций радионуклидов применен предложенный автором диссертации вариант использующий метод Монте-Карло. Выполнено сравнение "самоочистения" вод Балтийского и Черного морей от радионуклидов чернобыльского происхождения.

Pogrebnyak E.V. "Radioactivity of the Baltic sea. Distribution and variation during the years 1972 to 1989".

Thesis for candidat degree in the field of Geography. Speciality 11.00.08-oceanology. Marine Hydrophysical Institute of Ukrainian National Academy of sciences, Sevastopol, 1997.

The variation of radioactive contamination in the time-dependence and in the water volume in the Baltic sea during the years 1972 to 1989 were investigated. The results of this investigation are defended. They were published in 14 scientific papers. Inventories of radionuclides Cs-137, Sr-90, Ce-144 in the Baltic sea before Chernobyl fallout were considered. An analysis of distribution and transformation concentration by the Chernobyl fallout in surface waters in the Baltic sea, the influence of hydrological conditions were carried out. The reestablishment of the fields of radionuclides concentration were obtained by using the variant of Monte-Karlo method offered in this paper. The comparison of the "self-cleaning" of waters in the Baltic and the Black seas by Chernobyl fallout was made

Key words: variation of radioactive contamination, distribution and transformation concentration of radionuclides by Chernobyl fallout, the "self-cleaning" of waters by Chernobyl fallout.

Ключові слова: мінливість полів радіоактивних забруднень, розподіл і мінливість концентрацій радіонуклідів чернобыльського походження, "самоочищення" вод від чернобыльських осадів.

№ 38.510

Отпечатано НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика»

Зах. 12 тир. 100

Севастополь 335000, ул. Ленина, 28

423040

AB 38.216

Section 2.1. The Commission on the State of the Environment, created by Chapter 1000 of the Statutes of 1972, is hereby reauthorized for the period 1973-1974.

Section 2.2. The Commission on the State of the Environment, created by Chapter 1000 of the Statutes of 1972, is hereby reauthorized for the period 1974-1975.

Section 2.3. The Commission on the State of the Environment, created by Chapter 1000 of the Statutes of 1972, is hereby reauthorized for the period 1975-1976.

Section 2.4. The Commission on the State of the Environment, created by Chapter 1000 of the Statutes of 1972, is hereby reauthorized for the period 1976-1977.

Section 2.5. The Commission on the State of the Environment, created by Chapter 1000 of the Statutes of 1972, is hereby reauthorized for the period 1977-1978.

Section 2.6. The Commission on the State of the Environment, created by Chapter 1000 of the Statutes of 1972, is hereby reauthorized for the period 1978-1979.

Section 2.7. The Commission on the State of the Environment, created by Chapter 1000 of the Statutes of 1972, is hereby reauthorized for the period 1979-1980.

Section 2.8. The Commission on the State of the Environment, created by Chapter 1000 of the Statutes of 1972, is hereby reauthorized for the period 1980-1981.