
МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РЕСУРСОВ МОРЯ - ВАЖНЫЙ ВКЛАД В РЕАЛИЗАЦИЮ ПРОДО-
ВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ"

4556-85 *Вм.*

УДК 551.464.679:551.465.41

Д.Б.Стыро

РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОД БАЛТИЙСКОГО МОРЯ КАК ИНДИКАТОР
РАСПРОСТРАНЕНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Конец пятидесятих и начало шестидесятих годов двадца-
того столетия ознаменовался интенсивным развитием ядерного
и термоядерного оружия, его совершенствованием и испытания-
ми. Испытания ядерного оружия (в основном атмосферные) спо-
собствовали поступлению в окружающую среду огромных коли-
честв радионуклидов. Радионуклиды проникли в атмосферу, во-
ду, почву, стали накапливаться в морях, океанах, донных от-
ложениях, биологических элементах и т.д. Влияние вредных
воздействий на флору и фауну стало угрожающим. Это привело
к заключению соглашения в 1963 году между основными ядерны-
ми державами - СССР, США и Великобританией о запрещении ис-
пытаний ядерного оружия в атмосфере, космосе и под водой.

По мере развития этих событий появились новые научные
направления в геофизике - ядерная метеорология и ядерная
гидрофизика [1,2]. Поступившие в атмосферу и гидросферу ра-
дионуклиды оказались хорошими трассерами в изучении природ-
ных объектов, в частности, глобальной циркуляции атмосферы
[3], процессов распространения воздушных и водных масс [1-
4], характеристик турбулентной диффузии [5,6], накопления
их биологическими элементами [7] и т.д. Поведение радионук-
лидов в атмосфере и морской воде стало предметом тщательных
исследований.

Однако, с прекращением испытаний ядерного и термоядер-

ного оружия интерес к изучению радиоактивности окружающей среды несколько спал.

Но к концу семидесятых и началу восьмидесятых годов наступает новый подъем в исследовании радиоактивной загрязненности окружающей среды. Это вызвано бурным ростом ядерной энергетики. По подсчетам специалистов к 2000 году 20-27 % /8/ всей энергии будет вырабатываться атомными электростанциями.

Как известно, многие из них расположены вблизи водоемов, поэтому не исключена возможность попадания туда загрязняющих веществ, а также выбросов в атмосферу радиоактивных газов.

Не застрахованы предприятия атомной промышленности и от аварийных ситуаций, например, как это имело место на атомной электростанции в Великобритании или в США на АЭС "Три-Майл-Айленд" /8/.

По сей день продолжают непрерывные сбросы отходов атомной промышленности в Ирландское море /9/, в районе Пентленда (Северная Шотландия) /10/, близ Шербура - в Ла-Манш /9, 11/ и т.д., что в сумме представляют собой огромные количества радиоактивных загрязнений, поступающих в гидросферу.

Сбросы контейнеров с радиоактивными отходами в океаны не гарантируют нежелательных последствий, поэтому необходимым стал непрерывный контроль за радиоактивным состоянием вод Мирового океана. Довольно серьезной проблемой в настоящее время является удаление и захоронение трития, огромные запасы которого концентрируются в районах предприятий атомной промышленности.

Помимо трития, в окружающую среду поступают и прочие радионуклиды, в частности, цезий-137, стронций-90, являющиеся одними из наиболее долгоживущих элементов среди продуктов расщепления ядерного горючего, отрицательно влияющие на биологические объекты.

Для того, чтобы иметь полное представление о степени чистоты работы предприятий атомной промышленности, необходим тщательный контроль за радиоактивным загрязнением

окружающей среды, т.е. необходимо обладать достоверной информацией об имеющемся радиоактивном фоне (и его колебаниях), образованном вследствие глобальных выпадений.

С течением времени между атмосферой и Мировым океаном установилось радиоактивное равновесие, поэтому задачей контроля является обнаружение той добавочной радиоактивности, которая образуется над этим "фоном".

Подробные исследования радиоактивного "фона" показали, что его абсолютные значения могут быть различными в различных водоемах. Это, в первую очередь, зависит от размеров самого водоема, поэтому в мелководных озерах, заливах, морях концентрация радионуклидов значительно превосходит ее значения в Мировом океане.

В водоемах кроме радиоактивных веществ поступают большие количества прочих загрязнений; каждый водоем обладает способностью самоочищения и каждый водоем может принять лишь определенное количество сторонних веществ. В случае попадания туда загрязнений сверх допустимой нормы ему угрожает экологическая гибель.

Наиболее эффективными мерами борьбы с загрязнениями было бы полное запрещение сбросов загрязняющих веществ в водоемы, однако в настоящее время такая задача практически не может быть решенной.

Поэтому единственным выходом из создавшегося положения является подробное исследование физико-химических свойств водоемов и их отдельных районов для определения их "чувствительности" к различным загрязнениям. Следовательно, каждому водному бассейну (и его районам) должна быть определена норма и промежутки времени для сбросов промышленных отходов, для того, чтобы флоре и фауне наносился минимальный ущерб. Последнее приводит к необходимости изучения основных законов переноса различных субстанций в водоемах, которые связаны с гидрометеорологическими условиями и явлением турбулентной диффузии.

Наиболее удобной субстанцией для таких целей оказались радиоактивные нуклиды искусственного происхождения, присутствующие во всем объеме водных масс, в частности, в ис-

следующем в настоящей работе Балтийском море. Кроме того радионуклиды являются и единственным индикатором для изучения крупномасштабных процессов распространения примесей, поскольку ни один из естественных гидрологических элементов (например, соленость, температура и т.д.) не пригодны для этой цели из-за относительно небольших колебаний абсолютных величин (исключение составляет лишь вторжение североморских вод в Балтийское море). Непригодными являются и красители (уранин, родамин), вводимые в море, вследствие пространственной ограниченности исследуемых явлений, а также из-за большой чувствительности результатов измерений к изменениям метеорологических условий.

Изучение поведения радионуклидов в морях средней глубины позволило установить непостоянство их "фоновой" концентрации и "пятнистость" структуры их полей с ограниченным временем существования. Перестройка структур полей концентрации радионуклидов, например, в Балтийском море происходит в течение 1-2 месяцев [12], которая прежде всего связана с гидрометеорологическими условиями.

Кроме того вариации поля концентрации радионуклидов могут происходить и по другим причинам, в частности, при попадании осколков продуктов атмосферных ядерных взрывов до сих пор проводимых в Китае, при вторжении в Балтийское море североморских вод, загрязненных радионуклидом ^{137}Cs , при сбросах отходов предприятиями атомной промышленности (характерно для Северного моря) и т.д. Однако все эти факторы, вызывающие колебания структур полей концентрации радионуклидов, сравнительно редки, но легко контролируемы. Следовательно, основным фактором, определяющим их естественную структуру, являются гидрометеорологические условия. Поэтому структура поля концентрации радионуклидов может служить исходными данными для прогноза этих же структур в пространственных масштабах, ограниченных размерами самого водоема и синоптическим временным масштабом.

Так как в водную среду поступают различного рода загрязнения, но в сравнительно ограниченных участках водоемов, то прогнозируемые крупномасштабные структуры полей на

на основе данных о содержании радионуклидов могут имитировать распространение любой сторонней примеси и быть универсальными для прогноза пространственно-временного распределения любых консервативных загрязнений.

Для этой цели необходимо создание прогностических схем на основе экспериментальной информации с применением методов математического моделирования и отработанных программ для электронно-вычислительных машин, требующих лишь исходных данных о состоянии загрязнений и прогностической информации о гидрометеорологических условиях.

Естественно, что контроль, предупреждение и прогноз распространения загрязнений имеет большое практическое и народно-хозяйственное значение. Это, в любом случае, сводится к принятию срочных мер по их предотвращению, уменьшению или полной ликвидации. Такая задача в некоторой степени сходна с проблемой прогноза погоды при изучении атмосферных процессов.

Следовательно, наличие неоднородностей в полях концентрации радионуклидов и их вариаций в морях средней глубины в данной ситуации играет "положительную" роль, способствуя созданию прогностических схем пространственно-временного распределения любых пассивных примесей. Решение этой задачи проводится для двух наиболее характерных случаев. Во-первых, для прогноза видоизменения структуры поля под воздействием гидрометеорологических условий, а также для распространения примесей от "мгновенного точечного" источника, случайно появившегося в открытой части моря (например, аварийные ситуации). Во-вторых, для прогноза распространения загрязнений в море при наличии непрерывно действующего источника, расположенного в прибрежной зоне. Опыты показали, что за счет разностей абсолютных значений концентрации радионуклидов в Балтийском море и впадающих в него мелководных заливах, последние могут имитировать источники "загрязнения" морской воды.

Основой для изучения ядерно-гидродинамической структуры морей средней глубины является большая экспериментальная информация. Результаты измерений концентрации радионуклидов в открытой части Балтийского моря были получены в рейсах судов "Океанограф" и "Лев Титов" в 1973-1982 гг. Измерения

проводились в различные сезоны года, в любую погоду на различных глубинах.

За этот период наблюдались существенные колебания средних значений концентрации радионуклидов [13-16]. Оказалось, что наиболее существенное возрастание концентрации радионуклидов в Балтийском море связано с проведениями атмосферных испытаний ядерного оружия [17].

В настоящей работе исследовалось загрязнение Балтийского моря радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{144}Ce (рис.1). На рис.2 приводится пример их вертикального распределения в некоторых точках [18]. Центральной и северной частям Балтийского моря характерно небольшое уменьшение концентраций цезия-137 на глубине 50 м и ее возрастание в придонных слоях (рис.2в). В южной части наблюдается рост концентрации цезия-137 с глубиной (рис.2а,б). Концентрация стронция-90, как правило, уменьшается в более глубоких слоях, однако наблюдаются и отклонения от этой закономерности. Наименьшие абсолютные значения характерны концентрации церия-144, которые также уменьшаются с глубиной.

Исследование частоты повторяемости различных концентраций радионуклидов в водах Балтийского моря на основании данных, полученных в 1973-1980 гг [13-16] показали, что наиболее характерными концентрациями цезия-137 в поверхностных водах были 15-20 Бк/м³, а в более глубоких слоях - 20-25 Бк/м³ (рис.3).

Аналогичные данные для концентрации радионуклида стронция-90 в поверхностных водах относятся к интервалу 20-25 Бк/м³, а для глубины 50 м - 15-20 Бк/м³ (рис.4).

Часто результаты измерений относятся к произвольно расположенным местам на поверхности моря, либо отстоящим друг от друга на значительных расстояниях. Поэтому для восстановления поля концентрации радионуклидов во всех интересующих точках применялся метод оптимальной интерполяции [2, 19].

Расчет и анализ структур полей концентрации радионуклидов, полученных в различное время года на различных глубинах Балтийского моря, проводился практически по данным каждого рейса. Полученные карты полей концентрации радио-

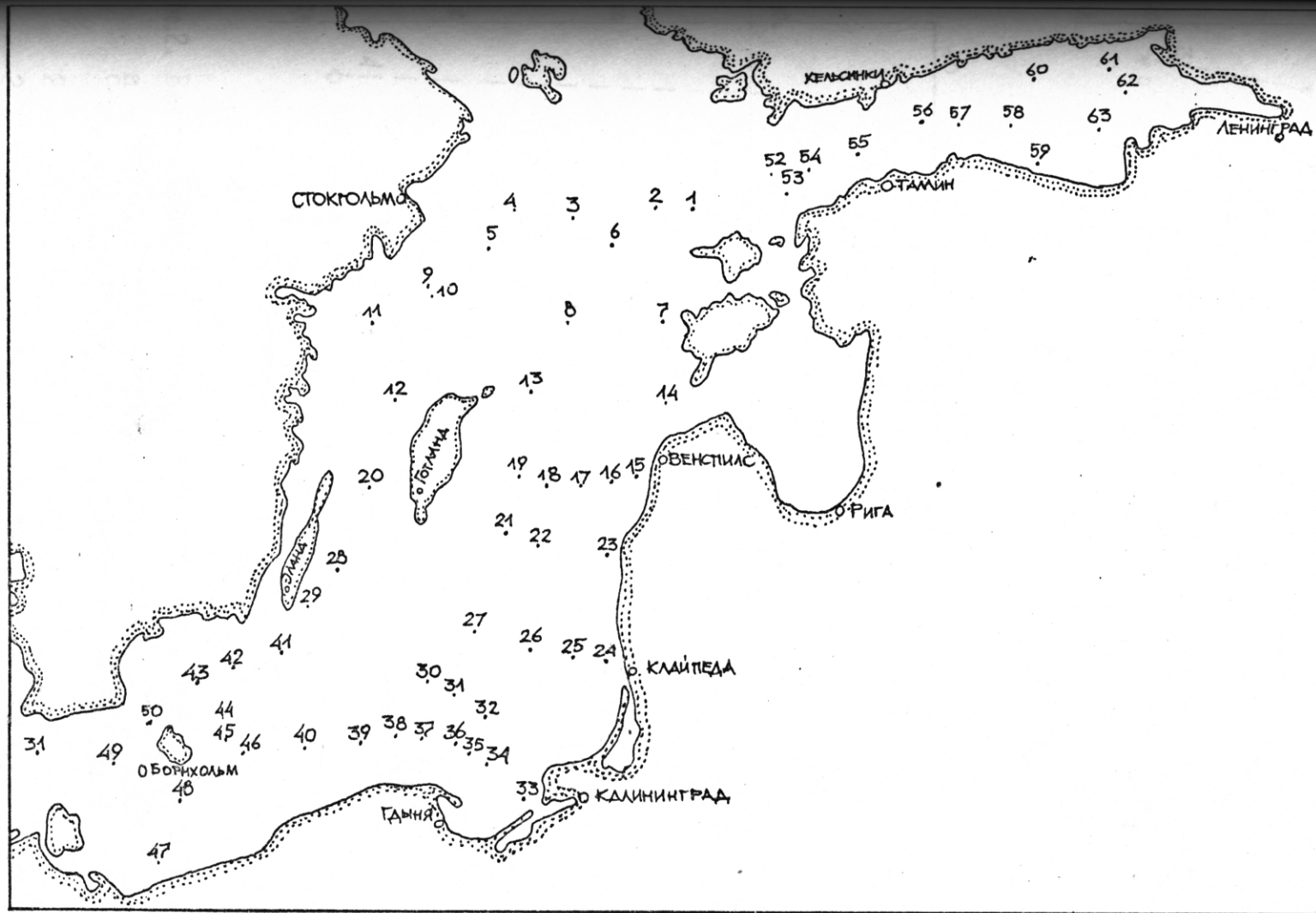
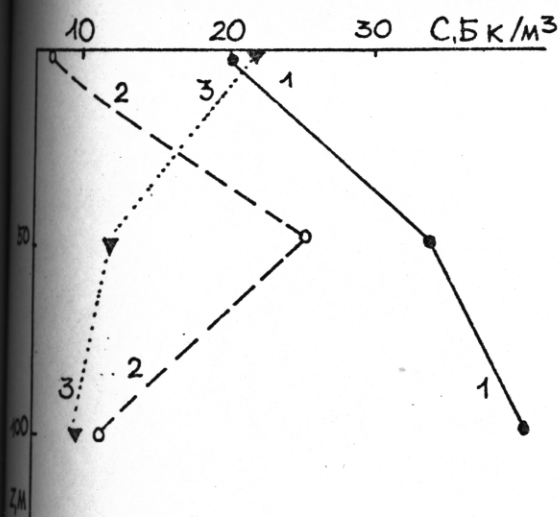
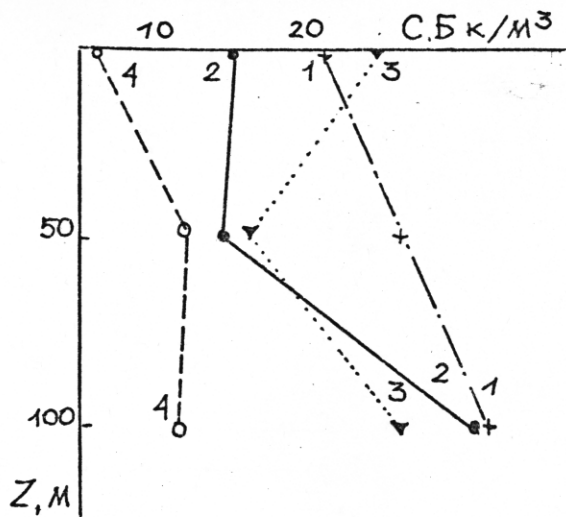


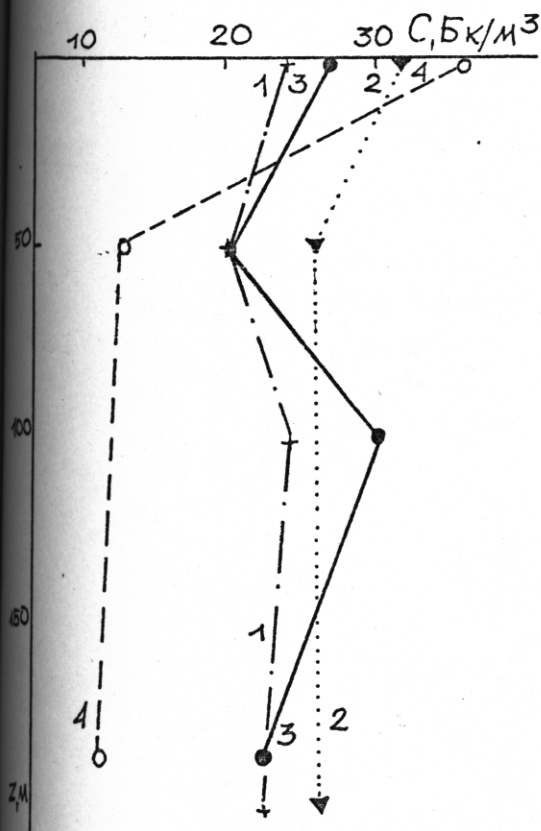
Рис. I. Расположение точек отбора проб воды в Балтийском море.



а.



б.



б.

Рис.2. Вертикальное распределение концентрации радионуклидов:
 а - точка 34: 1 - ^{137}Cs (23.08.79), 2 - ^{137}Cs ; 3 - ^{90}Sr ; 4 - ^{144}Ce (13.10.80); б - точка 27: 1 - ^{137}Cs ; 2 - ^{90}Sr ; 3 - ^{144}Ce (1.10.80); в - точка 13: 1 - ^{137}Cs 2 - ^{90}Sr ; точка 18: 3 - ^{137}Cs ; 4 - ^{90}Sr (17.08.79).

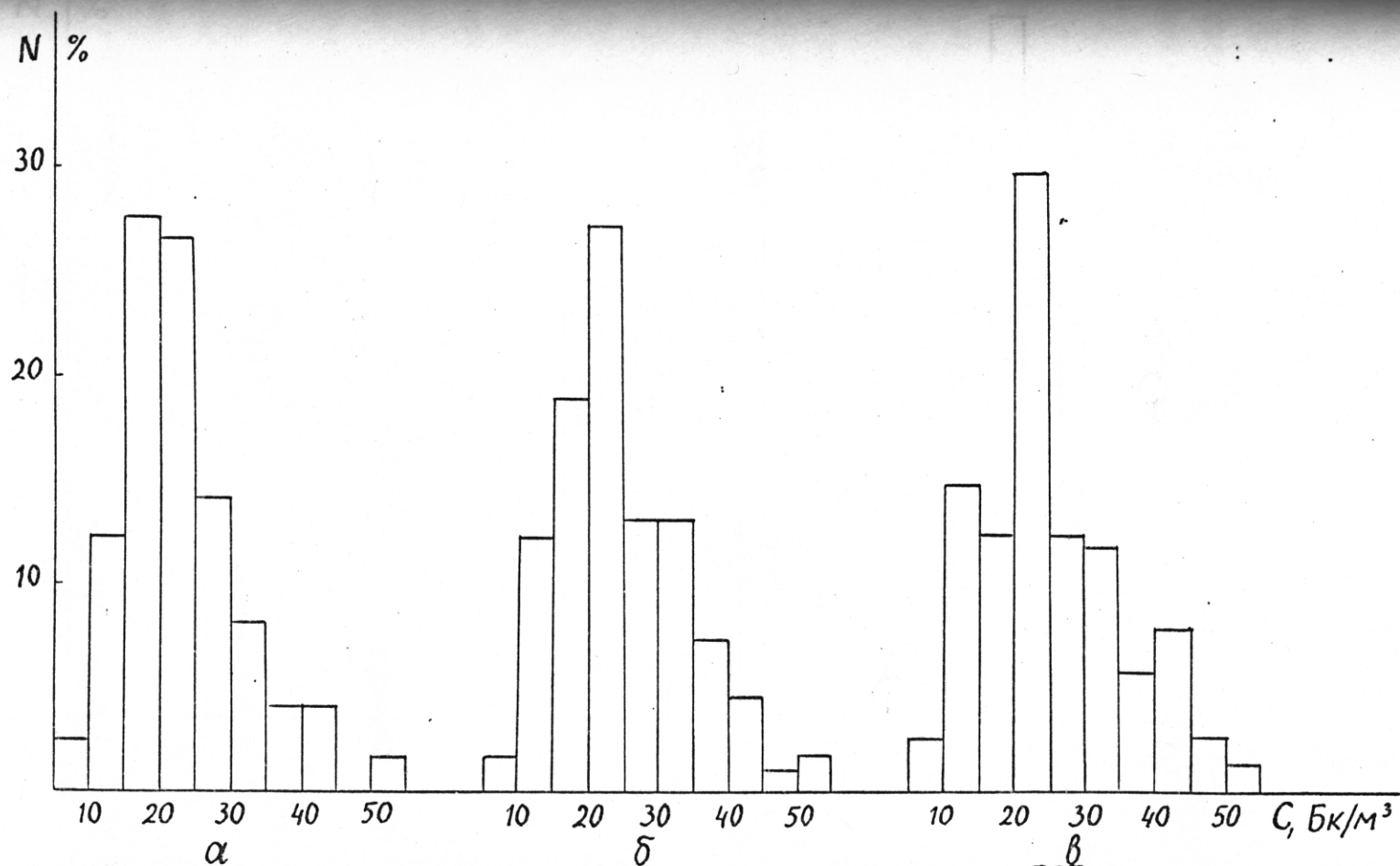


Рис.3. Относительное распределение концентрации радионуклида ^{137}Cs в 1973-1980 гг в водах Балтийского моря: а - на поверхности, б - на глубине 50 м, в - глубже 50 м.

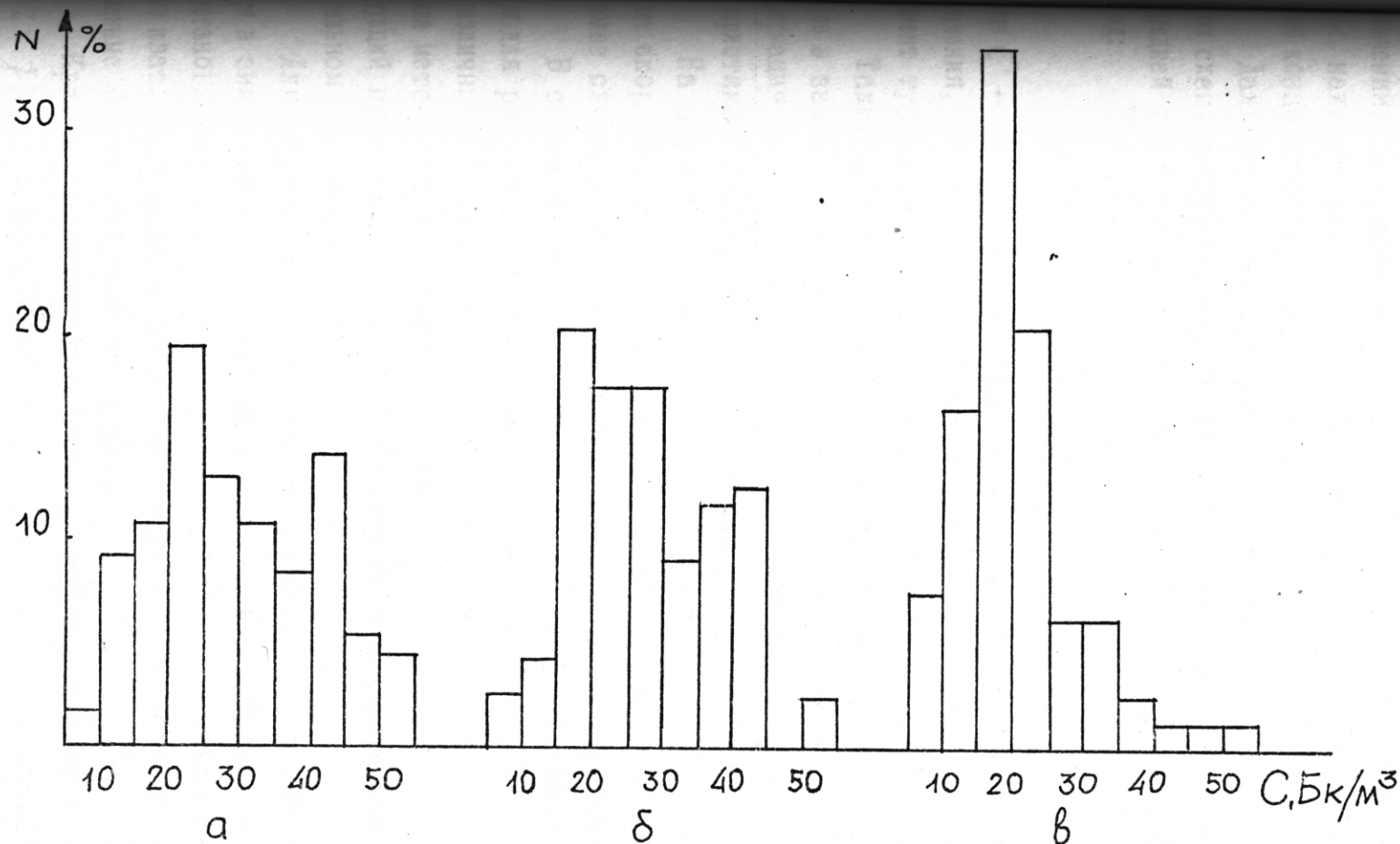


Рис.4. Относительное распределение концентрации радионуклида ^{90}Sr в водах Балтийского моря: а - на поверхности, б - на глубине 50 м, в - глубже 50 м.

нуклидов можно разделить на три типа: 1 - ячеистый, т.е. с образованием "пятен" повышенной либо пониженной концентрации радионуклидов, 2 - непрерывных горизонтальных и меридиональных изолиний с постепенным ростом или уменьшением абсолютных значений, 3 - промежуточный вариант первого и второго типов, т.е. наличие радиоактивных "пятен" и продолжительных изолиний концентрации радионуклидов (рис.5-7).

Дальнейшая задача сводилась к построению прогностических схем распространения радиоактивных примесей в морях средней глубины на основании уравнения переноса, имеющего вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{U} \nabla C = \nabla (K \nabla C) - \lambda C \quad (I),$$

где C - концентрация радионуклида, $\vec{U}$ - вектор скорости течения, ∇ - оператор Гамильтона, t - время, K - коэффициент турбулентной диффузии, λ - постоянная распада.

Таким образом, для определения концентрации радионуклидов в заданной точке к определенному времени необходима информация о скорости и направлении течений, а также о характеристиках турбулентной диффузии.

На первой стадии решения уравнения (I) проводился расчет скорости течений вод Балтийского моря, как одного из наиболее сложных этапов математического моделирования.

В связи со специфической структурой вод Балтийского моря для расчетов поля скоростей течений могут использоваться различные математические модели, связанные с сезоном года или метеорологическими условиями. Поэтому для конкретных ситуаций применялись наиболее простые и экономичные в вычислительном отношении модели.

Для изучения динамической структуры вод Балтийского моря в зимне-весенний период выбиралась баротропная модель установившихся течений с учетом того, что объем поверхностного квазиоднородного слоя значительно превосходит нижерасположенные более плотные слои [20].

Краевые условия задаются на невозмущенной поверхности $Z = \zeta(x, y)$ и на дне моря $Z = H$. Тогда для описания установившихся течений в небароклинном море краевая задача имеет вид [21]:

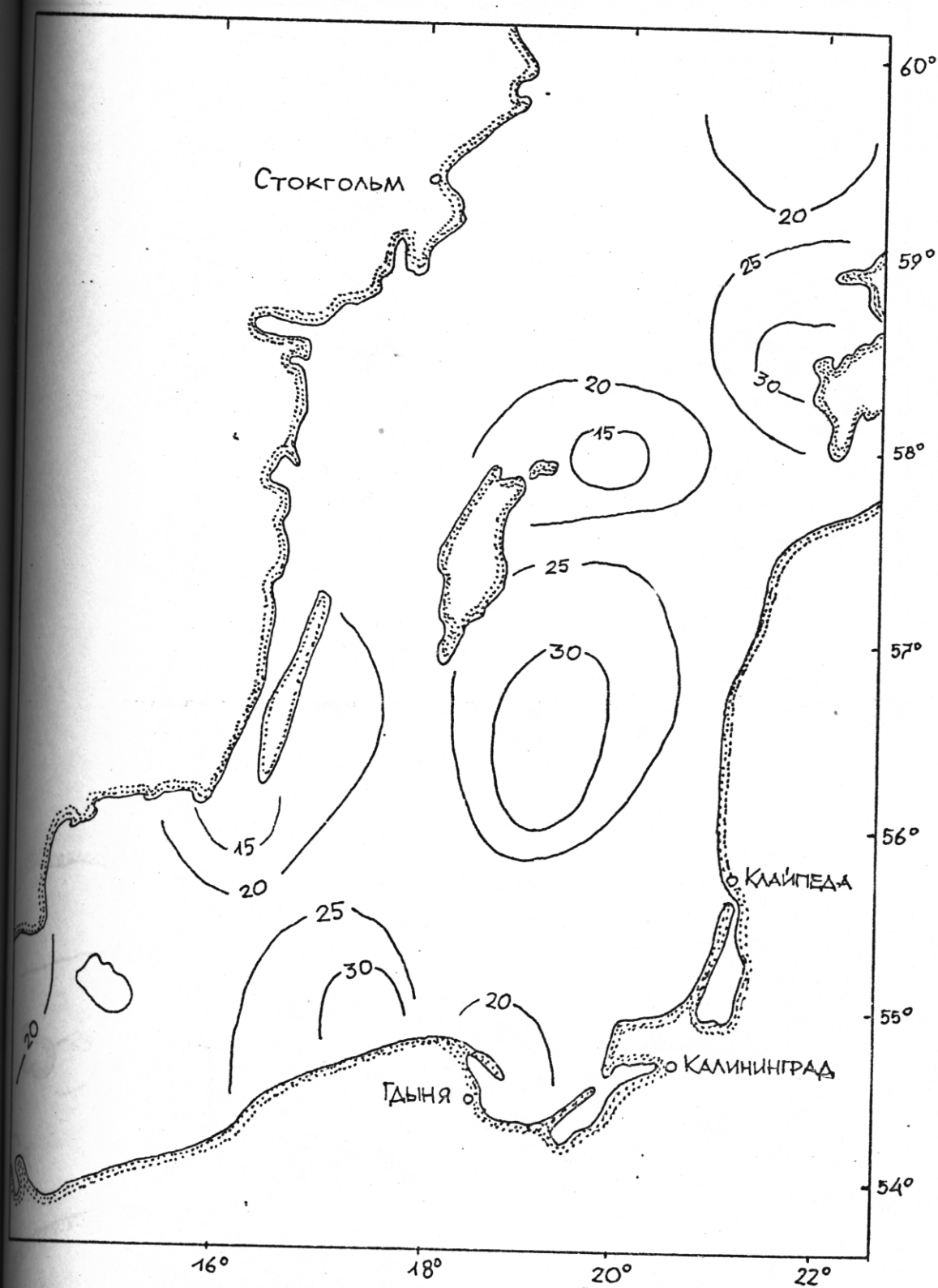


Рис.5. Поле концентрации цезия-137 в Бк/м³ в поверхностных водах Балтийского моря летом 1974 г.

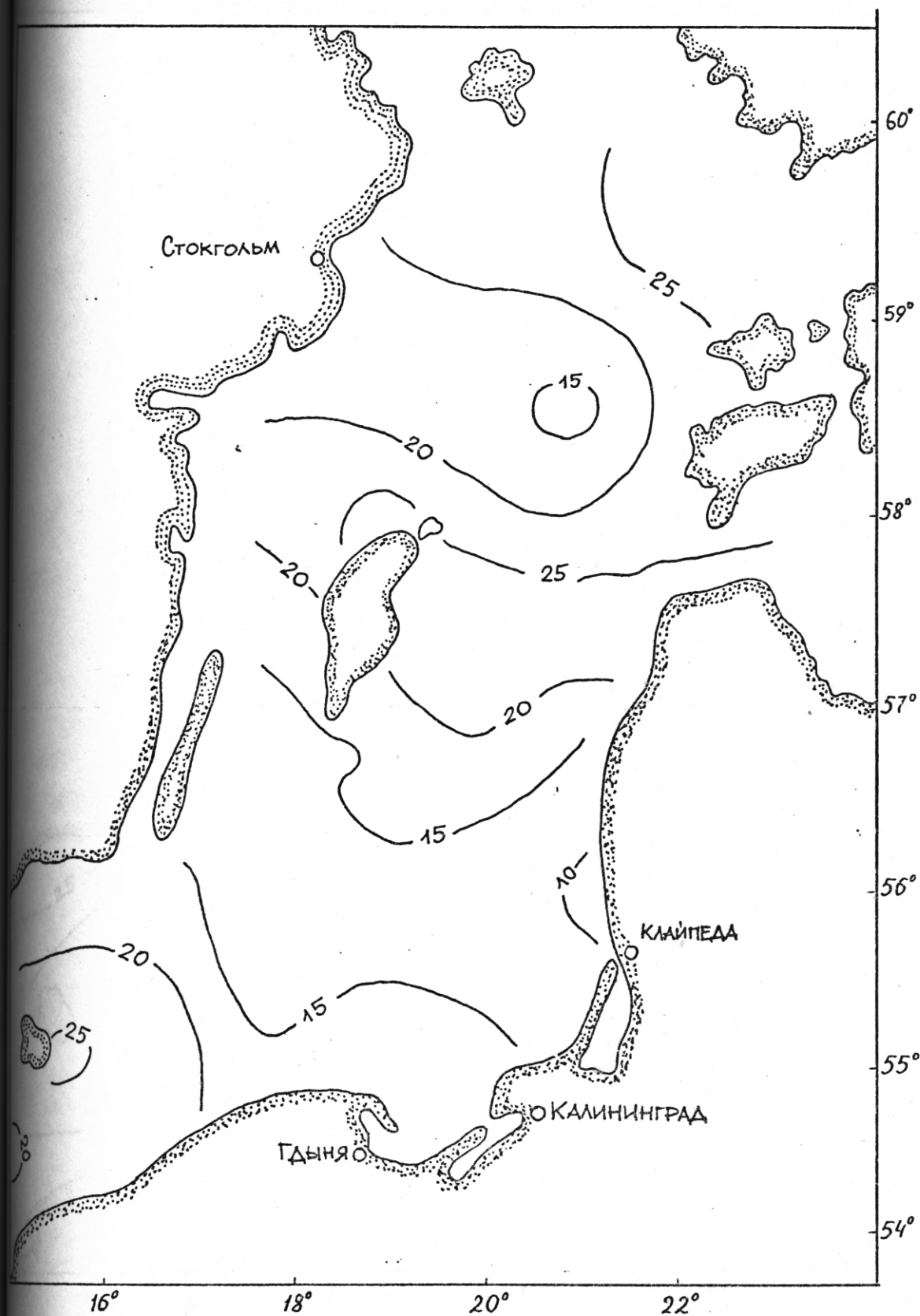


Рис.6. Поле концентрации цезия-137 в Бк/м³ в поверхностных водах Балтийского моря летом 1979 г.

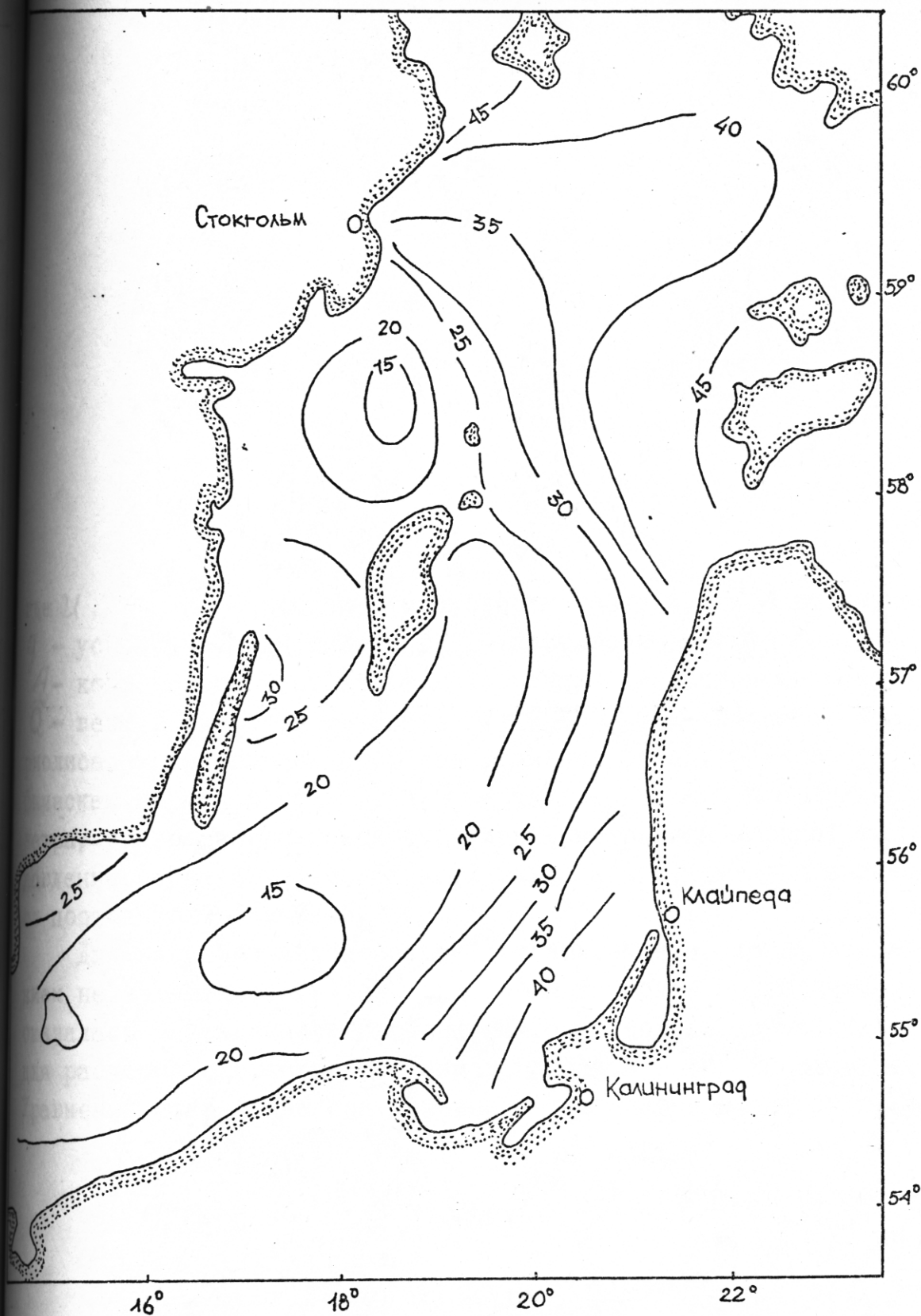


Рис.7. Поле концентрации радионуклида стронция-90 в Бк/м³ в поверхностных водах Балтийского моря весной 1980 г.

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \Omega \rho v = \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$A \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - \Omega \rho u = \frac{\partial P}{\partial y}$$

$$\rho g = \frac{\partial P}{\partial z}; \quad \text{div } \vec{Q} = 0; \quad \vec{Q} = \{u, v, w\}$$

(2)

$$A \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=\delta} = -T_x, \quad A \frac{\partial v}{\partial z} \Big|_{z=\delta} = -T_y$$

$$w \Big|_{z=\delta} = u \frac{\partial \delta}{\partial x} + v \frac{\partial \delta}{\partial y}$$

$$u \Big|_{z=H} = v \Big|_{z=H} = w \Big|_{z=H} = 0$$

где u, v, w - компоненты скорости течения, P - давление, g - ускорение силы тяжести, ρ - плотность морской воды, A - коэффициент вертикального обмена количеством движения, $\vec{Q}$ - вектор скорости течения, $\Omega = 2\omega \sin \varphi$ - параметр Кориолиса, ω - угловая скорость вращения Земли, φ - географическая широта места. T_x и T_y - тангенциальное напряжение ветра, уравновешивающееся турбулентным трением морской воды, давление P на поверхности моря равно атмосферному и является постоянной величиной.

Для расчетов летне-осенней стратификации, когда движением не захватывается вся толща воды наиболее подходящей оказалась бароклинная гидродинамическая модель, применяемая для расчетов скоростей течений в глубоком бароклинном море. Уравнения установившихся течений в таком море имеют вид [24]:

$$A_e \Delta u + A \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \Omega \rho v = \frac{\partial P}{\partial x}$$

$$A_e \Delta v + A \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - \Omega \rho u = \frac{\partial P}{\partial y}$$

(3)

$$\rho g = \frac{\partial P}{\partial z}; \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,$$

A_i - коэффициент горизонтального обмена количеством движением. Ниже бароклинного слоя движение жидкости отсутствует.

Поставленная задача сводится к решению уравнения:

$$A_i \Delta^2 \psi = \frac{\partial T_x}{\partial y} - \frac{\partial T_y}{\partial x} \quad (4).$$

ψ - функция полного потока.

В летне-осенний период при сильном ветровом воздействии, когда движением захватывается вся толща водных масс, для расчетов скоростей течений необходимо использовать следующее уравнение [22]:

$$\begin{aligned} & \underbrace{\frac{1}{2\alpha} \Delta^2 \psi}_{\text{III}} + \underbrace{\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial \psi}{\partial y} - \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial \psi}{\partial x}}_{\text{II}} + \underbrace{\frac{H\beta}{\Omega} \frac{\partial \psi}{\partial x}}_{\text{I}} = \\ & = \underbrace{\frac{H}{\rho_0 \Omega} \left(\frac{\partial T_y}{\partial x} - \frac{\partial T_x}{\partial y} \right)}_{\text{IV}} - \underbrace{\frac{g}{2\rho_0 \alpha \Omega} \int_0^H z \Delta \rho dz}_{\text{III}} - \\ & - \underbrace{\frac{g}{\rho_0 \Omega} \int_0^H z \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) dz}_{\text{II}} \end{aligned} \quad (5)$$

учитывающее совместный эффект бароклинности и рельефа дна (группа членов II), эффект трения о дно (III), β -эффект (I), а также вихрь, образованный касательным трением ветра (IV). Здесь $\rho(x, y, z)$ - отклонение от среднего значения плотности, ρ_0 - среднее значение плотности, $\beta = \frac{\partial \rho}{\partial y}$, $z = H(x, y)$ - уравнение поверхности дна моря, $\alpha = \sqrt{\frac{\Omega}{2\nu}}$, ν - коэффициент вертикальной турбулентной вязкости. По найденному полю $\psi(x, y)$ определялись скорости течений. Для всех трех случаев учитывалась двухсвязность области, т.е. влияние острова Готланд на общую циркуляцию вод Балтийского моря [23].

Далее на основании уравнения (I) проводится построение прогностических схем распространения примесей. Как известно, процесс переноса примесей в морской воде связан с изменением динамических характеристик, а также параметров турбулентного обмена и турбулентной диффузии. В качестве основной субстанции переноса здесь рассматривается концентрация радионуклида. Дело в том, что радионуклидный метод имеет преимущество перед модельными опытами с искусственно вносимыми индикаторами в

по той причине, что законы переноса примесей и гидрологические особенности вод могут изучаться одновременно во всем водоеме в любое время, не ограничиваясь локализованными областями.

Образующиеся неоднородности в полях концентрации радионуклидов и являются экспериментальной основой при построении прогностических схем в Балтийском море.

Для расчета формирования структуры радиоактивных "пятен" в течение времени рассматривается некоторая область, в которой протекает процесс переноса и диффузии без наличия источника. Из-за сравнительно большого периода полураспада радионуклидов - около 30 лет, уравнение (I) упрощается и приводится к виду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Поскольку это уравнение параболического типа, то для существования единственного решения необходимо выполнение следующих условий:

$$\begin{aligned} C(0, x, y, z) = f_0(x, y, z); \quad (x, y, z) \in B \\ C(t, x, y, z) = f(x, y, z); \quad (x, y, z) \in \partial B \end{aligned} \quad (7)$$

B - трехмерная область, в которой исследуется распространение примесей, ∂B - контур области, f_0 и f - известные функции.

Следовательно, уравнение (6) с учетом условий (7) может быть сведено к следующей системе разностных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij, l, t} - C_{ij, l}}{t} + u \frac{C_{i+1, j, l} - C_{ij, l}}{h_x} + v \frac{C_{ij, l+1} - C_{ij, l}}{h_y} + \\ + w \frac{C_{ij, l+1} - C_{ij, l}}{h_z} = K_x \frac{C_{i+1, j, l} + C_{i-1, j, l} - 2C_{ij, l}}{h_x^2} + \end{aligned} \quad (8)$$

$$+ K_y \frac{C_{i,j,l,t+1} + C_{i,j,l,t-1} - 2C_{i,j,l}}{h_y^2} + K_z \frac{C_{i,j,l,t+1} + C_{i,j,l,t-1} - 2C_{i,j,l}}{h_z^2}$$

$$C_{i,j,l} = f_0(x_i, y_j, z_l); \quad (x_i, y_j, z_l) \in B_{i,j,l} \quad (9)$$

$$C_{i,j,l,t} = f(x_i, y_j, z_l); \quad (x_i, y_j, z_l) \in \partial B_{i,j,l}$$

где $C_{i,j,l}$ и $C_{i,j,l,t}$ - концентрация радионуклида в начальный и конечный момент времени, соответственно, h_x, h_y, h_z - расстояния между узлами сетки, (x_i, y_j, z_l) - узлы сетки, $B_{i,j,l}$ - сеточная область. Эти узлы совпадают с узлами сетки для решения задачи о скорости течений в Балтийском море.

В качестве примера на рис. 8, 9 приводится сопоставление исходных, измеренных и рассчитанных полей концентрации радионуклида ^{137}Cs в водах Балтийского моря. Совпадение результатов следует считать удовлетворительным, поскольку они удовлетворяют выбранному критерию, которым служит погрешность опыта, т.е. для рассматриваемой области моря с вероятностью 0,95 полученные величины должны находиться в пределах 25 %.

Если некоторые точки границы ∂B области B являются источниками радиоактивного вещества, то условия (7) заменяются условием для нормальной производной

$$\frac{\partial C(t, x, y, z)}{\partial y} = - \frac{W'}{K} \quad (10)$$

где W' - плотность диффузионного потока, равная массе радиоактивного вещества, проходящего через единицу площади за единицу времени, K - коэффициент турбулентной диффузии.

Для численной реализации решения, уравнение (6) заменяется разностным аналогом (8).

Источниками "загрязнения" Балтийского моря радионуклидом ^{90}Sr служат Куршский и Вислинский заливы (рис. 10, 11). Совпадение измеренных и рассчитанных результатов оказалось удовлетворительным, т.к. они соответствовали выбранному критерию.

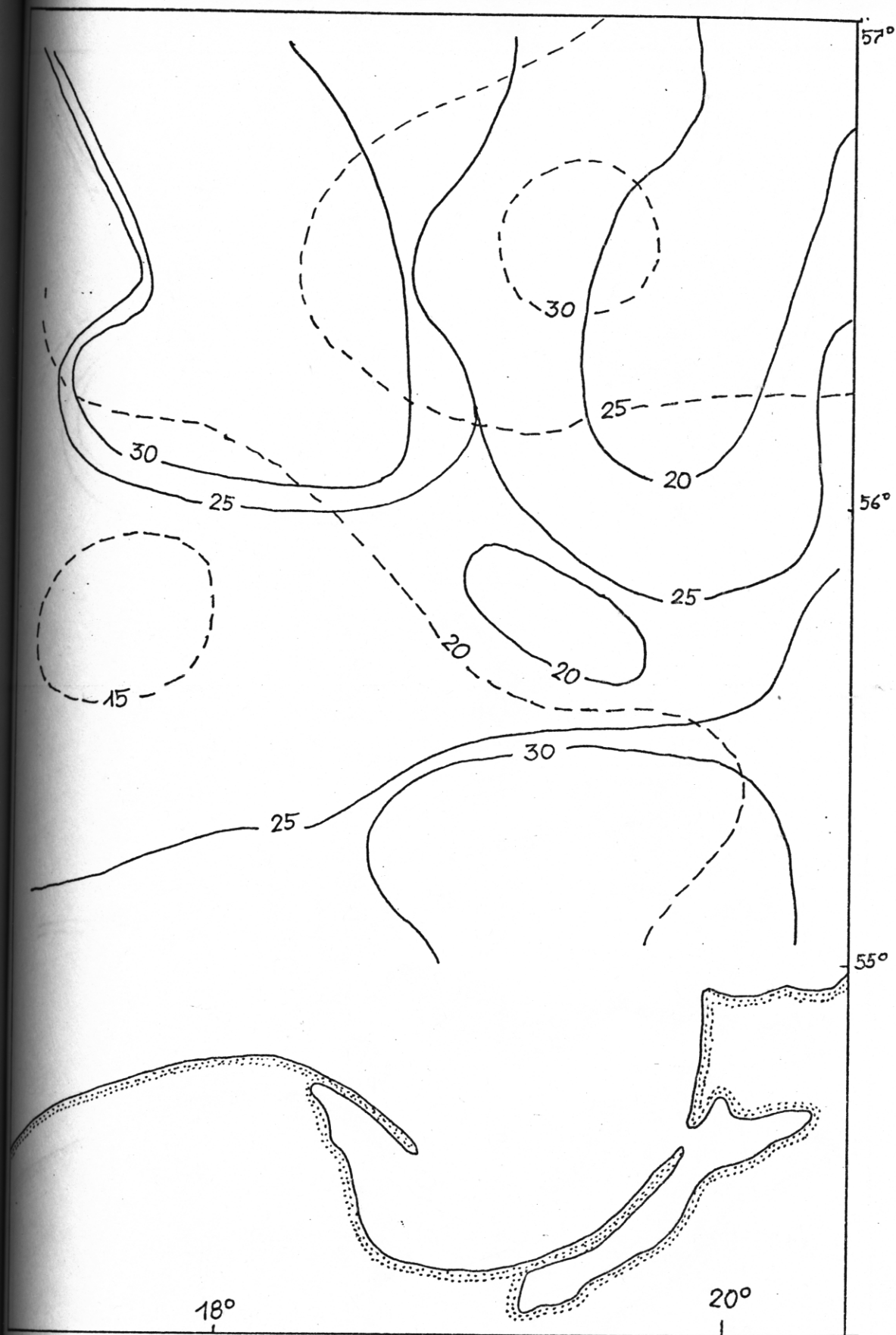


Рис.8. Поля концентрации цезия-137 в поверхностных водах 8-12.IX (- - исходное) и 19-31.X.77 (—расчетное).

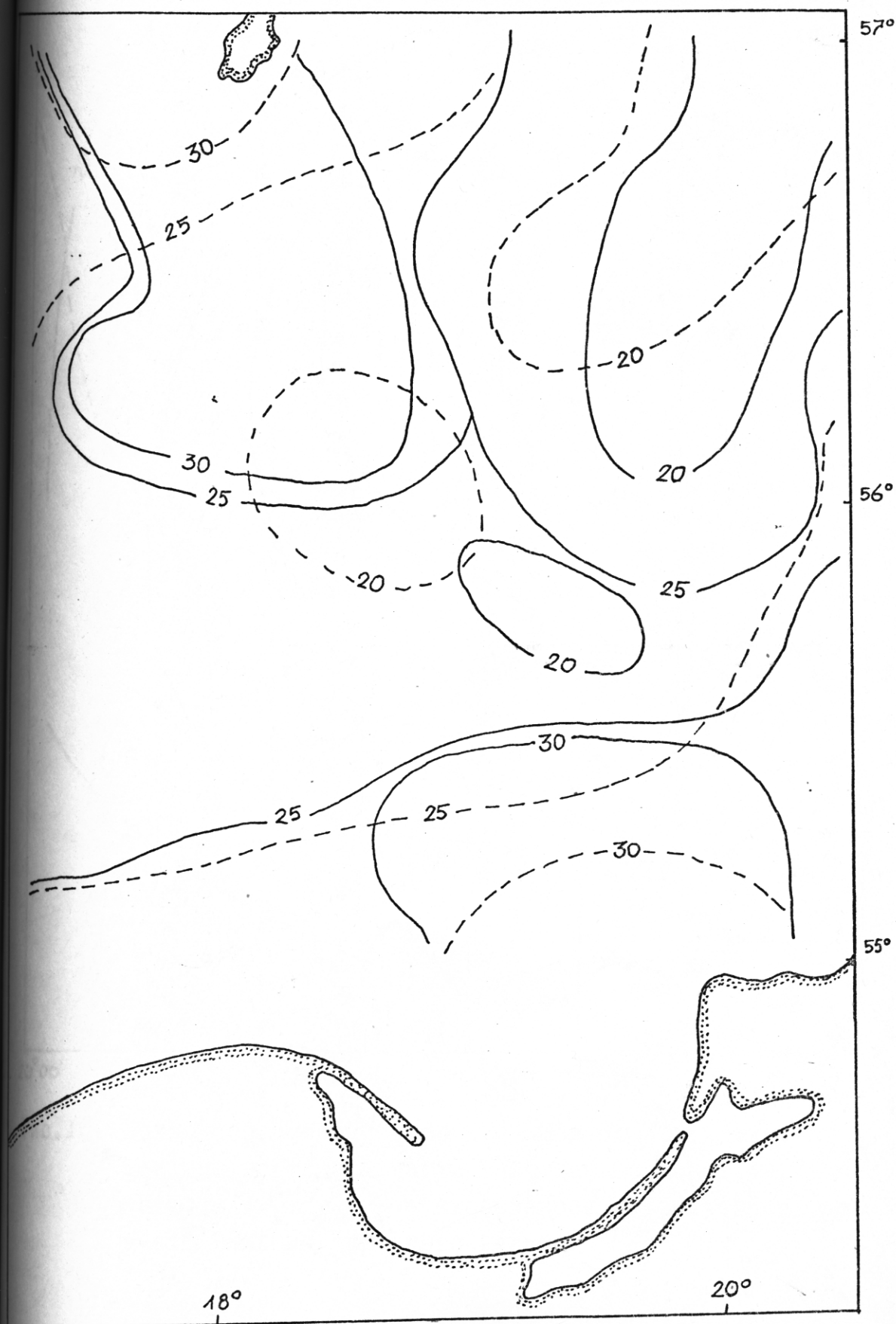


рис.9. То же рис.8: 19-31.х.77:---измеренное, — расчетное.

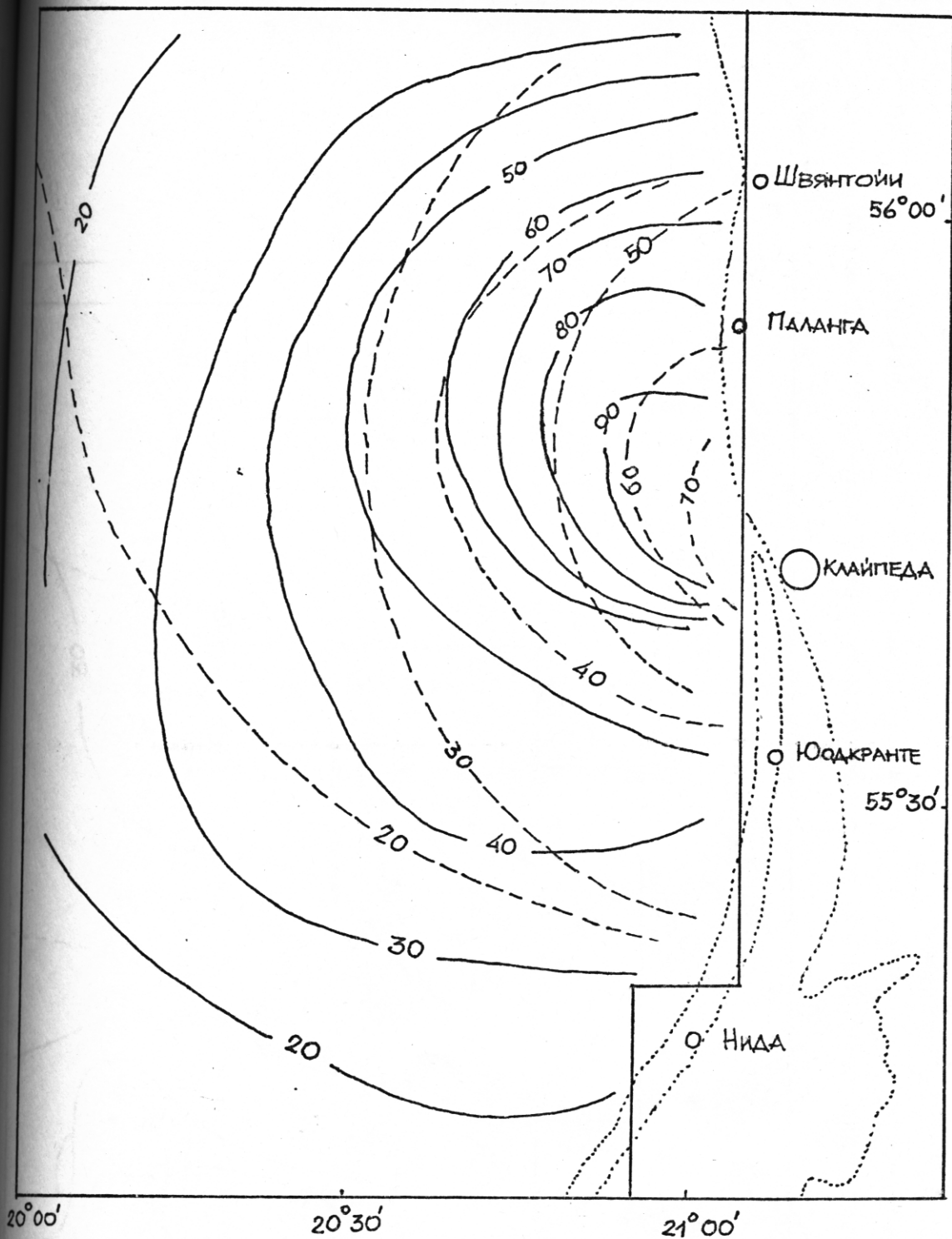


Рис.10. Поля концентрации стронция-90 в поверхностных водах юго-восточной части Балтийского моря 14-17 августа 1973 г (- - измеренное, — расчетное) при учете влияния Куршского залива.

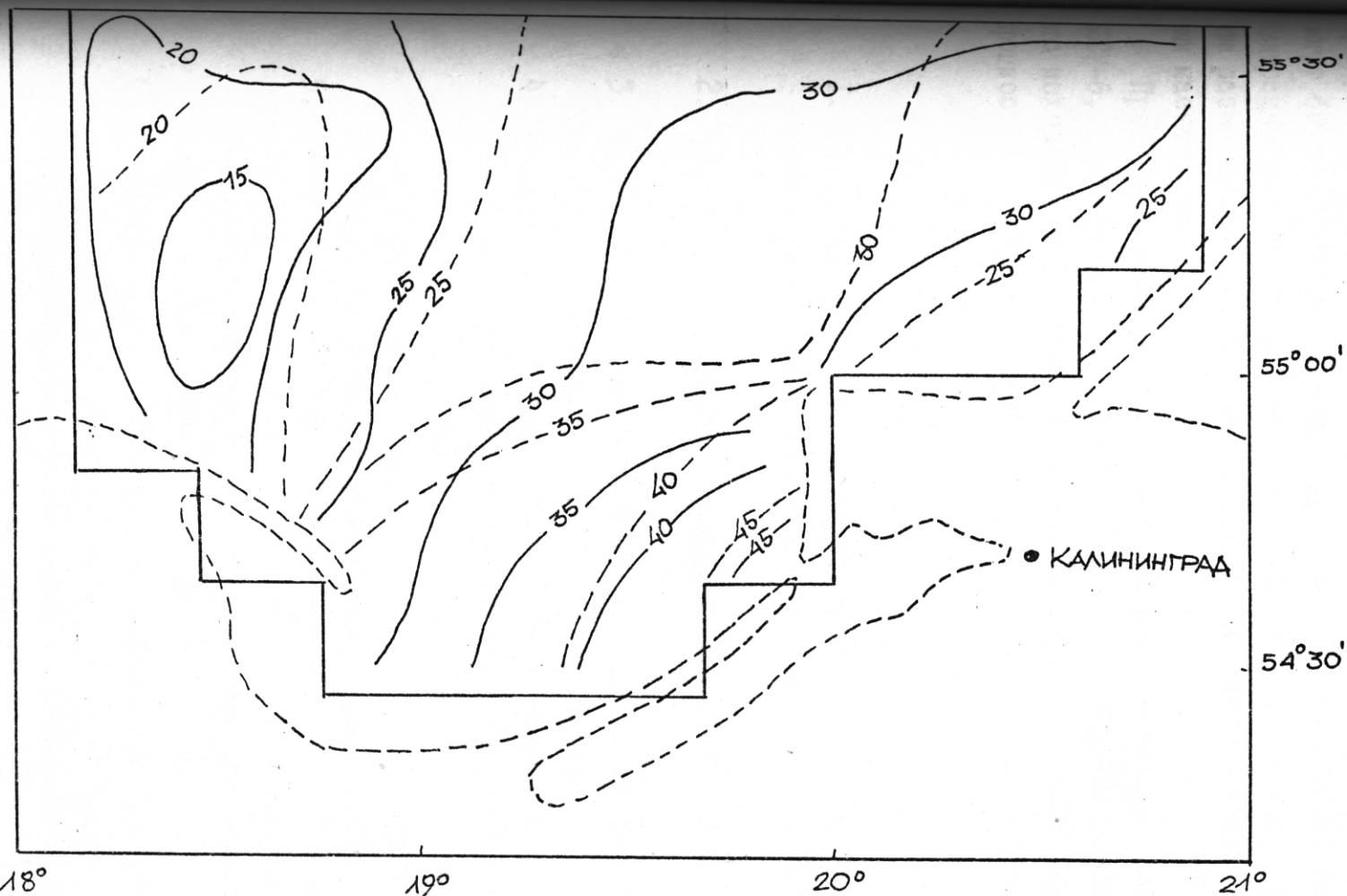


Рис. II. Поля концентрации стронция-90 в поверхностных водах юго-восточной части Балтийского моря 3I.УШ-3.IX. 1972 г (— — измеренное, — расчетное) при учете влияния Вислинского залива.

В заключении следует отметить, что на основе изложенных экспериментальных и теоретических работ построены универсальные прогностические схемы, описывающие распределение и распространение пассивных примесей в морях средней глубины. Они могут быть использованы для прогноза формирования полей концентрации любых сторонних примесей, ограниченных в пространстве размерами исследуемых бассейнов и синоптическим временным масштабом.

Программы написаны для расчетов на вычислительной машине БЭСМ-6. Для прогноза структуры поля необходимы сведения об его исходном состоянии, мощности источника (если имеется) и прогностической информации о метеорологических параметрах.

Литература

1. Стиро Б.И. Вопросы ядерной метеорологии. - Вильнюс, из-во ин-та Геологии и Географии АН Лит.ССР, 1959, 418 с.
2. Нелепо Б.А. Ядерная гидрофизика. - М., Атомиздат, 1970, 224 с.
3. Кароль И.Л. Радиоактивные изотопы и глобальный перенос в атмосфере. - Л., Гидрометеиздат, 1972, 366 с.
4. Шведов В.П., Иванова Л.М., Максимова А.М., Степанов А.В. Содержание и распределение радиоактивных веществ в морской воде. - В кн.: Радиоактивные загрязнения внешней среды. М., Гос.из-во литературы в области атомной науки и техники, 1962, с.233-236.
5. Ozmidov R.V., Popov N.I. Some results of soluble admixture distribution in ocean. - In: Disposal of radioactive wastes into seas, oceans and surface waters. Vienna, IAEA, 1966, p. 451-460.
6. Стиро Д.Б. Исследование вертикальной турбулентной диффузии в Балтийском море. - В кн.: Физика атмосферы I. Кругооборот примесей в атмосфере. Вильнюс, из-во ин-та Физики и Математики АН Лит.ССР, 1973, с.163-166.
7. Поликарпов Г.Г. Радиоэкология морских организмов. - М., Атомиздат, 1964, 196 с.

8. Бабаев Н.С., Дёмин В.Ф., Ильин Л.А., Книжников В.А., Кузьмин И.И., Легасов В.А., Сивинцев Ю.В. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. - М., Энергоиздат, 1981, 296 с.
9. Kautsky H. The distribution of the radionuclide caesium-137 as an indicator for North sea watermass transport. - Deutsche Hydrographisches Zeitschrift, 1973, v.6, p.241-246.
10. Kautsky H., Jefferies D.F., Steele A.K. Results of the Radiological North sea Program RANOSP 1974 to 1976. - Deutsche Hydrographisches Zeitschrift, 1980, v.33, N 4, p. 152-157.
11. Kautsky H. The caesium-137 content in the water of the North sea during the years 1969 to 1975. - Deutsche Hydrographisches Zeitschrift, 1977, N7, p.217-221.
12. Стыро Д.Б., Клейза И.В. Структура поля концентрации искусственных радионуклидов в морях средней глубины. В кн.: Физика атмосферы 7. Проблемы исследования атмосферы, Вильнюс, Мокслас, 1981, с. 119-128.
13. Стыро Д.Б., Каджене Г.И., Лукинскене М.В., Неманис А.П. О колебаниях концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в водах Балтийского моря в 1973-1975 гг. - Атомная энергия, 1978, т.45, вып.3, с. 201-204.
14. Стыро Д.Б., Каджене Г.И., Лукинскене М.В., Неманис А.П., Айваржи М.В. Экспериментальное исследование концентрации ^{137}Cs в водах Балтийского моря в 1977-1979 гг. - Атомная энергия, 1980, т.49, вып.1, с.43-45.
15. Стыро Д.Б., Каджене Г.И., Лукинскене М.В., Неманис А.П. Концентрация ^{137}Cs и ^{90}Sr летом-осенью 1979 г в Балтийском море и проливе Скагеррак. - Атомная энергия, 1981, т.51, вып.2, с. 116-119.
16. Стыро Д.Б., Каджене Г.И., Клейза И.В., Лукинскене М.В. Структура полей концентрации радионуклидов искусственного происхождения в Балтийском и Северном морях весной 1981 г. - Атомная энергия, 1983, т.55, вып.4, с. 238-240.

17. Reiter E.R. Atmospheric Transport Processes. Part 4: Radioactive Tracers. - Technical information center. U.S. department of energy, 1978, 608 p.
18. Стыро Д.Б., Каджене Г.И., Лукинскене М.В., Неманис А.П. Концентрация радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{144}Ce в Балтийском море. - В кн.4: Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации АЭС. М., Энергоатомиздат, 1984, с. 121-126.
19. Зудин О.С., Нелепо Б.А. Статистический анализ информации о радиоактивном загрязнении океана. - Л., Гидрометеиздат, 1975, 112 с.
20. Путырский В.Е., Михайлов Ю.Д. Циркуляция вод Балтийского моря при продолжительном воздействии юго-западных ветров. - Метеорология и гидрология, 1977, № 10, с. 47-54.
21. Фельзенбаум А.И. Теоретические основы и методы расчета установившихся течений. - М., Из-во АН СССР, 1960, 127 с.
22. Саркисян А.С. Численный анализ и прогноз морских течений. - Л., Гидрометеиздат, 1977, 182 с.
23. Каменкович В.М. Об интегрировании уравнений теории морских течений в неодносвязных областях. - Доклады АН СССР, 1961, т.318, № 5, с. 1076-1080.

Вильнюсский инженерно-строительный
институт, Минвуз Лит.ССР
г.Вильнюс