

А.Е.АНТОНОВ

Настоящее и будущее БАЛТИКИ

ДОЛГОСРОЧНЫЙ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
ПРОГНОЗ



Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат 1984

примеч

УДК (551.46.03 + 551.465.71) (261.24)

к 2

Книга посвящена разработке сверхдолгосрочных морских гидрометеорологических прогнозов. Дана критическая оценка существующего долгосрочного прогнозирования Балтийского моря. Описаны методы разработки морских гидролого-гидрохимических прогнозов. Приведены данные о качестве, эффективности предложенных методов и их оправдываемости. На основе этого предложен сценарий длительной эволюции гидролого-гидрохимического режима моря под влиянием как естественных, так и некоторых антропогенных факторов, вплоть до 2030 г.

Представлен прогноз долгопериодной составляющей невыходов наводнений, позволяющий определить вероятные сроки очередного мощного наводнения в вершине Финского залива.

The book is devoted to the elaboration of superlong-term sea hydrometeorological forecasts. The critical appreciation of long-term forecasting present experience for the Baltic sea is given. The author's methods for elaborating sea hydrologo-hydrochemical forecasts have been described in details. The information about quality, effectiveness of these forecasts is given. Taking it as a basis the scenario of long evolution of sea hydrologo-hydrochemical regime under the influence of both natural and some anthropogenic factors has been suggested up to 2030.

Submitted the Neva floods long-period component forecast which gives possibility to determine the Gulf of Finland upper part vigorous flood date.

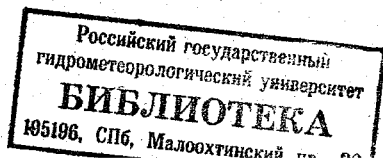
507973

Настоящая книга издана при финансовой поддержке
Петродворцового ТОО фирмы ПШР, строительно-монтажного
управления „Ленгидроэнергоспецстрой“, Арктического
и антарктического научно-исследовательского института,
управления „Ленморзащиты“, кооператива „Марс“,
Ленгидропроекта, Ленморшипроекта,
за что автор с глубокой признательностью благодарит
специалистов и руководителей этих организаций.

А 1805040600-051 Без объявл.
069 (02)-94

ISBN 5-286-01148-9

© А. Е. Антонов, 1994 г.



Введение

Как-то великий французский ученый Доминик Араго сказал: „При любых успехах науки ученый, который дорожит своей репутацией, не будет заниматься прогнозом погоды. Тяжелое это дело. Так стоит ли рисковать репутацией!“. Видимо, стоит, если число прогностических разработок неуклонно растет, а их спектр неудержимо расширяется. Да и как же может быть иначе, когда прогнозирование в настоящее время приобрело черты практической деятельности не только в метеорологии и гидрологии, но и стало неотъемлемой частью любой науки на всех стадиях ее развития. Потому что, как отмечено, например, в работе [72], „Географическое прогнозирование как научное направление углубляет тенденции развития нашей науки — от описания к объяснению, от объяснения к предсказанию и управлению поведением изучаемых процессов“.

Оценивая исследования, связанные с разработкой прогнозов, стоит сослаться на мнение нашего великого соотечественника Д. И. Менделеева: „В науке нет более важной задачи, чем предвидение и польза“. А польза от прогнозов (в первую очередь от сверх- и долгосрочных) очевидна.

В последнюю четверть XX столетия наблюдалось множество стихийных бедствий, происшедших в связи с экстремальным проявлением геофизических процессов на нашей планете. По мнению многих исследователей, эти события обусловлены резкими климатическими изменениями, которые отмечались, в частности, и в климате Балтийского моря.

В середине 80-х годов в Северной Америке за все время инструментальных наблюдений был зафиксирован максимальный уровень Великих озер, а размеры озера Чад, наоборот, резко сократились и стала складываться ситуация, схожая с ситуацией начала века, когда озеро почти высохло. В 1977 г. началось повышение уровня Каспийского моря, продолжающееся по настоящее время, уровень Мирового океана стал заметно повышаться; стало сильно „холодать“ и т. д.

Для решения народнохозяйственных задач очень важно знать, как и в какой мере изменяются гидрометеорологические и гидролого-гидрохимические условия в конкретных регионах Земли. А этого можно достичь, только имея „на руках“ сверх- и долгосрочные гидрометеорологические, а для Балтийского и других морей — морские гидролого-гидрохимические прогнозы. Поэтому

автор надеется, что более чем 35-летний стаж работы по морскому гидрометеорологическому и рыбопромысловому прогнозированию позволил ему дать довольно точные оценки ожидаемых изменений в режиме моря. В 1965 г. известный исследователь-океанолог И. В. Максимов писал: „Первый опыт обоснования сверхдолгосрочных фоновых прогнозов форм атмосферной циркуляции в Северном полушарии и гидрометеорологических характеристик Балтийского моря был сделан А. Е. Антоновым. А. Е. Антонов также использовал для этой цели компонентно-гармонический метод, положил в основу его применения данные периодов рамманализа исследуемых гидрометеорологических рядов. Таким образом, приоритет в использовании этого метода долгосрочного прогнозирования климатических характеристик и первое осуществление сверхдолгосрочного прогнозирования форм атмосферной циркуляции принадлежит А. Е. Антонову” (Тр. ААНИИ. — 1965. — Т. 262).

Глава 1

О МЕТОДОЛОГИИ СВЕРХ- И ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КЛИМАТА И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА МОРЕЙ

Общепризнанно, что проблема климатического прогнозирования, а также прогнозирование эволюции гидрометеорологических режимов морей относятся к числу наиболее сложных. До сих пор еще не создана теория климата, нет четких представлений, что принимать за изменение климата. В книге Е. С. Рубинштейн и Л. Г. Полозовой [73], например, дается определение дифференциации климатических процессов. К. Бруксом (1952) выполнена достаточно исчерпывающая классификация внезапных и земных процессов изменений климата. К ним автор относит космические факторы и солнечную радиацию, астрономические (изменение наклона эклиптики), земные (количество теплоты, образующейся при радиационных процессах и разложении органических веществ в толще осадковых пород, перемещение полюсов и дрейфовое движение земной коры, океанические течения, изменения состояния и циркуляции атмосферы. Аналогичный подход используют авторы работ отечественной и зарубежной литературы [44, 53, 61, 63, 71, 75]).

По мнению ряда ученых, проблема долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов климата (тем более гидрометеорологического режима конкретных морей), и особенно погоды, может быть решена только на региональной основе. Однако большинство придерживается иной точки зрения, полагая, что эта задача выполняется только путем изучения физической природы и создания теории общей атмосферной циркуляции и климата. Автор же считает, что истина находится где-то посередине.

Рассматривая предпосылки создания методов долго- и сверхдолгосрочного морского прогнозирования и прогнозирования изменения климата, следует отметить, что наука еще не располагает объективными методами оценки ожидаемых длительных климатических изменений или эволюции гидрометеорологического режима различных районов Мирового океана. Даже современные методы численного моделирования общей циркуляции атмосферы не решают обсуждаемой проблемы, а дают лишь возможность использовать их для оценки чувствительности климата к воздействию будущих изменений климата. В настоящее время, по мнению Е. П. Борисенкова [47], математическое моделирование, принимаемое при климатическом прогнозировании, пока еще на-

ходится на „самом крайнем левом фланге”, а Ю. А. Израэль и другие (1980) свидетельствуют, что „в настоящее время в теории климатического моделирования достигнуты существенные успехи. В то же время практический выход остается низким”. Академик К. Е. Кондратьев также сделал вывод о том, что „численное моделирование климата позволило сравнительно успешно воспроизвести современный климат, но, несмотря на значительные успехи, оказалось пока неспособным прогнозировать климат. ...при существующем уровне знаний о климате нельзя игнорировать космогеодинамические воздействия только потому, что недостаточно ясен механизм их воздействия”.

Все это говорит о том, что, несмотря на очевидную предпочтительность модельного подхода, на практике в большинстве случаев вынуждены обращаться к эмпирико-статистическим методам, более простым, „обкатанным” и полнее обеспеченным исходной (обычно малочисленной) информацией. В этих условиях сохраняют свое значение эмпирические прогностические модели линейной множественной корреляции. Результаты, полученные с их помощью, очень надежны, а сами методы просты не только при разработке, но и при реализации. Более того, такие прогнозы позволяют учесть региональные особенности исследуемого объекта, каким является, например, Балтийское море.

Поэтому в настоящее время при современном уровне научных знаний нельзя оставлять в стороне такие методы и приемы морского сверх- и долгосрочного прогнозирования, какими являются, в частности, методика регрессионного и корреляционного анализа и соответствующее ей эмпирическое прогнозирование.

Как показала практика морского прогнозирования, к общим методологическим принципам, используемым при любом методе решения проблемы морского сверх- и долгосрочного прогнозирования, необходимо отнести следующие аспекты.

1. Принцип системности, требующий рассматривать объект прогнозирования как систему взаимосвязанных характеристик объекта и прогнозируемого фона в соответствии с целями и задачами исследования [67].

2. Специфика океанологического и метеорологического режимов конкретных морей и их районов.

3. Принцип оптимальной степени формализации подразумевает использование формализованных моделей в таких соотношениях с интуитивными способами прогнозирования, которые при выполнении требований задания прогноза обеспечило бы ее решение с минимальными затратами. Этот принцип не требует 100 % формализации процесса прогноза, а позволяет более полно использовать аппарат эвристических, интуитивных, творческих, неформализуемых методов решения проблемы [67].

4. Важное значение имеет также принцип непрерывно скользящего прогнозирования, который проистекает из взаимосвязи, взаимообусловленности и преемственности гидрометеорологических, океанологических и сопряженных с ними гидролого-гидрохимических и других природных процессов различных пространственно-временных масштабов. Следовательно, преемственность должна быть обеспечена и в прогнозировании, т. е. речь идет о соответствующей корректировке показателей с определенной дискретностью и соответствующим сдвигом его вперед. Иначе говоря, прогноз не „рождается“ из ничего. Прогнозируемая ситуация представляет собой эволюцию, развитие современных условий под влиянием как внешних, так и внутренних режимообразующих факторов. Из этого принципа следует также и то, что каждому сверхдолгосрочному (долгосрочному прогнозу) должен предшествовать тщательный анализ „предпрогнозируемой“ морской гидрометеорологической ситуации.

В рассматриваемом плане весьма важным условием является правильный выбор срока упреждения. Автор, в частности, определял его исходя из анализа совмещенных графиков сглаженных предикторов и предиктантов, а также результатов взаимно корреляционного анализа этих рядов.

В последних разработках приоритетное место в прогностических схемах было уделено показателям, характеризующим не только и не столько локальные гидрометеорологические процессы и явления, сколько показателям важнейших звеньев структуры и динамики атмосферной и океанической циркуляции в Атлантическом секторе Северного полушария. Практически все крупномасштабные изменения, например, изменение экосистемы Балтики, невозможно объяснить, даже с позиций многофакторного анализа, если рассматриваются только местные условия и их динамика. Но как только при анализе учитываются внешние воздействия (интегральные показатели структуры и динамики атмосферной и океанической циркуляции), то сразу же улучшается расшифровка закономерностей крупномасштабных длительных тенденций, происходящих в той или иной экологической морской системе.

Однако Балтика, находящаяся в пограничной зоне двух обширных и полярно противоположных макросистем — Североатлантической — океанической и Евразийской — континентальной, представляет собой сильно изменчивый природный объект, четко оттеняющий своим состоянием и динамикой намечающиеся, а тем более уже происходящие крупные климатические изменения. И это имеет свой самостоятельный непреходящий смысл.

Используемый в работе исходный материал (как по предикторам, так и по предиктантам), сглаженный 10-летним скользящим осреднением, применим в основном для мониторинга климата (включая и гидрологический климат Балтики) и его прогнозирования.

Поскольку используемая нами в качестве предиктанта соленость моря определяет все основные черты режима моря и его жизни, его многолетняя и внутривековая изменчивость отражают собой изменчивость коренных черт этой морской экологической системы, то разработанные нами схемы оценки ее (солености) длительных изменений в различных слоях и районах бассейна имеет не только важное научно-познавательное, но и большое практическое значение.

Опыт работы в области прогнозирования межгодовой и особенно многолетней изменчивости компонентов экосистемы Балтики убеждает, что в основу долгосрочного морского прогнозирования должно быть положено системное представление о физике процессов и явлений, происходящих в море, и смежных с ним акваториях океана, т. е. анализ совокупности процессов, определяющих условия формирования и многолетней изменчивости гидрометеорологического режима исследуемого района. Другими словами, прогнозирование зиждется на широком представлении о режиме моря, о тесной взаимосвязи и взаимообусловленности гидрометеорологических, гидролого-гидрохимических и биологических процессов, определяемых (обусловливаемых) конкретными физико-географическими условиями исследуемого бассейна моря под влиянием крупных изменений атмосферной и океанической циркуляций.

В работе использовались различные методические приемы анализа и разработки прогностических схем (компонентно-гармонический метод, метод аналогии, асинхронные связи между различными компонентами экосистемы моря). Однако в основу выявления и синтеза абиотических и биотических процессов и определения их места в единой природной системе причинно-следственных связей был положен так называемый экосистемный подход, который позволил рассмотреть Балтику как единый природный объект, где гидрометеорологические, гидролого-гидрохимические и промыслово-биологические явления есть выражение различных сторон одного общего процесса — естественной эволюции всего бассейна. При этом генетические и статистические приемы и методы использовались как дополняющие друг друга.

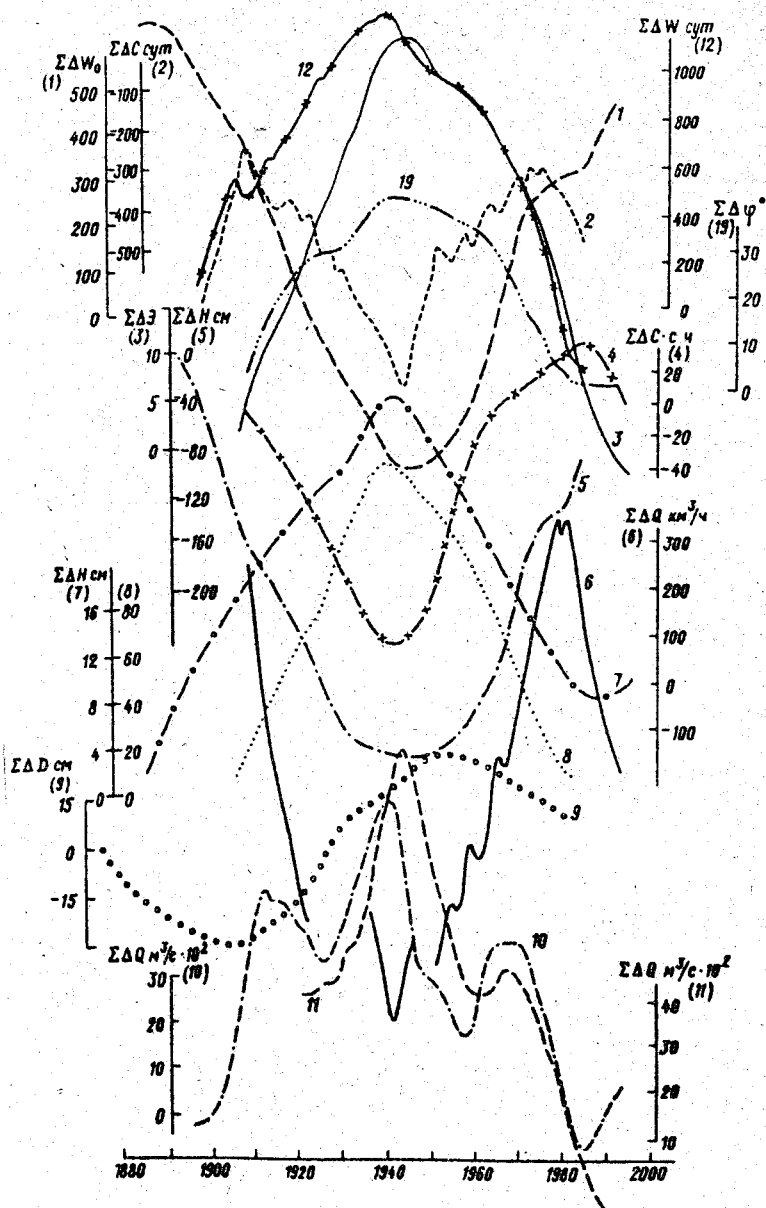
Наши исследования [6, 7, 9, 10, 12, 13, 19, 23, 33, 37, 38, 42] свидетельствуют, что в основе большой изменчивости среды и биопродуктивности вод Балтийского моря лежат преимущественно природные процессы внутривековых изменений режима бассейна.

1.1. Гипотезы, положенные в основу работы

В текущем столетии гидролого-гидрохимический режим Балтийского моря претерпел две противоположные фазы своего развития. В 1900—1940 гг. режим моря формировался под влиянием преобладания зонального переноса воздушных масс в Северном полушарии и соответствующего ослабления океанической циркуляции в Северной Атлантике, отличалась выраженная тенденция к опреснению вод моря. В последние десятилетия (1940—1980 гг.) режим моря определялся резким ослаблением зонального переноса воздушных масс, небывало большим развитием меридионального процесса в Северном полушарии и возрастанием интенсификации океанической циркуляции в Северо-Восточной Атлантике. Эти факторы обусловили формирование так называемой океанической фазы развития Балтийского моря с довольно существенным осолонением вод.

Итак, противоборствующее воздействие океана и материка, полярных и тропических широт через глобальные атмосферные процессы и океаническую циркуляцию в Атлантическом секторе Северного полушария порождает две характерные типовые стадии в ходе естественного развития экосистемы Балтийского моря в масштабе векового цикла: стадию опреснения и стадию осолонения.

Налицо четкая крупномасштабная стадийность естественного развития экосистемы Балтийского моря, в частности, его солевого режима, обусловленная вековыми изменениями климатических условий, изменением интенсивности и характера глобальных атмосферных процессов и океанической циркуляции в северной части Атлантического океана, происходящих на фоне продолжительного иссушения континентов в связи с длительным планетарным потеплением. Изменения векового фона атмосферного давления и динамики зональных и меридиональных атмосферных процессов в Северной Атлантике и в районе Балтийского моря, с одной стороны, хорошо согласуются с вековым ходом солнечной активности (например, числа Вольфа), с другой — с режимом притока соленых североморских и речных вод в Балтику, т. е. с процессами осолонения и опреснения. Поэтому, используя закономерности чередования стадий опреснения и осолонения Балтики, прогноз солнечной активности [62, 67, 79], атмосферных и других климатологических [57, 62, 79] процессов на ближайшие десятилетия, можно составить достаточно полное представление о предстоящих длительных изменениях гидролого-гидрохимических условий моря, следовательно, и тенденциях естественного развития всей его экосистемы. В работах показано, что экосистема



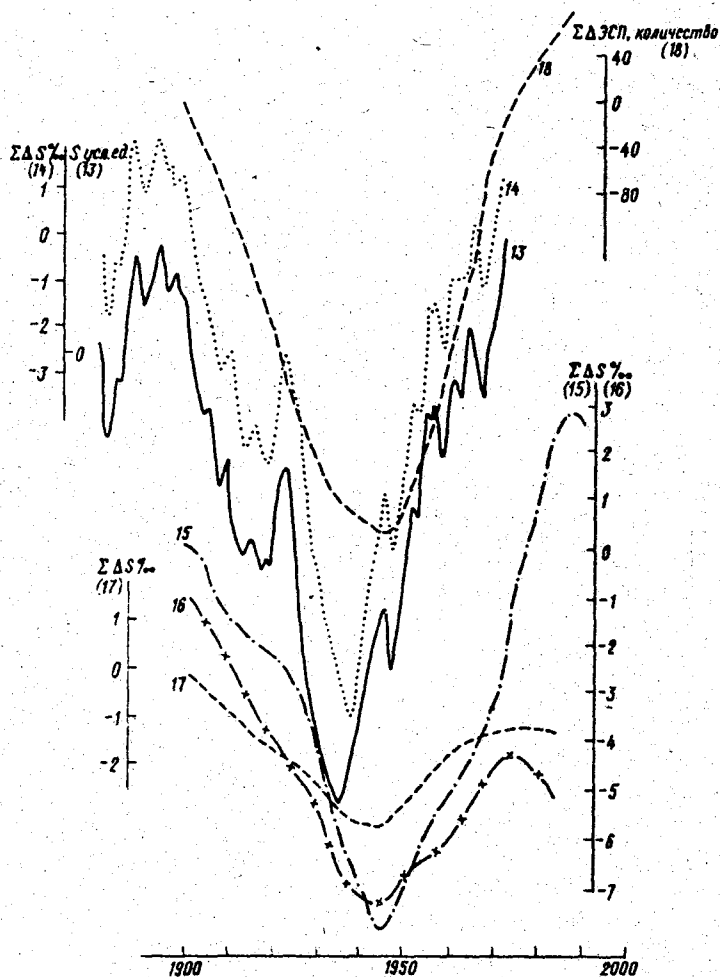


Рис. 1.1. Интегральные кривые годовых аномалий гидрометеорологических и атмосферно-океанических характеристик, сглаженных скользящим осреднением по десятилетиям.

1 — солнечная активность по Вольфу (W0); 2 — число дней с С-формой циркуляции; 3 — число месяцев с W-формой циркуляции с ее повторяемостью более чем в 16 сут; 4 — солнечное сияние в Санкт-Петербурге в среднем за месяц в вегетационный период; 5 — уровень Балтийского моря; 6 — расходы Северо-Атлантического течения на север в Фареро-Шетландском проливе [80]; 7 — уровень Каспийского моря с исключением безвозвратного забора воды из р. Волги; 8 — разность уровней между Свиноустье и Фредериксхавн; 9 — прирост деревьев в Кокчетавской области; 10 — расход р. Невы; 11 — расход р. Северная Двина; 12 — число дней с W-формой циркуляции; соленость воды у п/м Свеенска-Бьёри (13) и Анхольт-Кноб (14), в центре Готландской впадины в слоях 0—30 м (15), 0—230 м (16), 100—200 м (17), 18 — число естественных (элементарных) синоптических периодов [56]; 19 — широта Исландской депрессии.

Балтики в своем поступательном развитии проходит через сменяющиеся друг друга фазы осолонения и опреснения, каждая из которых длится около 40—50 лет и сопряжена с соответствующей ветвью векового хода солнечной активности. На основе большого фактического материала сделан вывод о том, что соленость среди прочих абиотических факторов, воздействующих на характер жизни водоема, играет ведущую роль. Изменчивость солевого режима, происходящая при переходе Балтики из стадии опреснения (осолонения) к стадии осолонения (опреснения), вызывает коренные изменения в формировании биологической продуктивности моря.

Поскольку фундаментальным механизмом долговременной (внутривековой) изменчивости экосистемы Балтийского моря является естественная смена стадий опреснения и осолонения (основная роль коренных особенностей этой изменчивости принадлежит вертикальным градиентам солености), то при изучении эволюции этой морской системы основное внимание надо уделить соответствующим флюктуациям солеформирующих процессов. При этом исходить следует из того, что долговременная естественная изменчивость среды моря преобладает над изменениями, обусловленными антропогенным влиянием. Это значит [2, 6, 7, 9, 10, 19, 36], что в основе изменчивости основных черт гидролого-гидрохимического режима Балтики лежит пока еще не зависящий от человека процесс опреснения — осолонения его вод.

Из рис. 1.1 следует, что переходам Балтики из стадии опреснения в стадию осолонения (1935—1945 гг.) и наоборот (1895—1905; 1975—1985 гг.) предшествовали соответствующие изменения в вековом ходе всех характеристик атмосферной и океанической циркуляции. Более того, все эти кардинальные изменения в гидрометеорологическом режиме Балтийского моря, обусловленные изменениями в режиме формирующих атмосферных и океанических процессов, удивительным образом совпадают с геоэффективными моментами, т. е. с переходом кривой векового хода солнечной активности (W_0) через среднее значение. Отмеченное упреждение, фазовое отставание показателей гидрометеорологического режима Балтики относительно режимформирующих факторов и характерных изломов в вековом ходе W_0 , имеет важное прогностическое значение.

Известны факты асинхронных связей геофизических процессов с довольно длительным запаздыванием фаз развития причин и следствия. Так, И. В. Максимов [67] установил сдвиги фаз в вековом развитии гелиофизических и геофизических, атмосферных и океанических процессов порядка 30 — 18 — 7 лет, а

отставание фаз векового хода стока океанских вод через Фареро-Шетландский пролив почти на 30 лет относительно соответствующей фазы векового хода солнечной активности аргументировал постулатами деформационной гипотезы.

По данным Р. К. Клиге [61], вековой ход уровня Мирового океана отстает от соответствующих изменений температуры воды на 19 лет. М. Х. Байдал [45, 46] отметил тесную асинхронную связь между радиусом-вектором и повторяемостью зональной циркуляции на полушарии при сдвиге 12—14 лет. Что касается Балтики, то отмечено отставание показателей гидро-режима моря от длинных (непосредственных, прямых) и дальних (часто опосредованных) режимоформирующих факторов на 5—27 лет.

Здесь проявляется физическая закономерность в длительной инерции и преемственности геофизических процессов. Отмечено, что каждому определенному эпохальному состоянию (развитию) атмосферных процессов соответствуют некоторые установившиеся состояния океанологических и гидролого-гидрохимических условий в том или ином районе Мирового океана. На развитие и формирование нового состояния (новой стадии), т. е. на адаптацию океанологических полей к изменившейся атмосферной циркуляции (соответственно гидрометеорологический режим Балтики к изменениям океанологических условий Северной Атлантики), требуется определенное время, зависящее от масштаба и глубины процесса, от степени инерционности того или иного гидролого-гидрохимического явления.

При этом сопряженность этих асинхронных процессов в регионе очень высока. Например, зональный индекс J_3 , W -форма циркуляции и первый индекс разложения поля температуры в квадратах характеризуются связью, оцениваемой коэффициентом корреляции 0,92 и —0,94 соответственно [46]. В этой же работе отмечена асинхронная связь фоновых изменений ледового-термических характеристик в Северной Атлантике с циркуляцией атмосферы. Все тенденции в вековом ходе температуры воды присущи Северному и Балтийскому морям.

Исходя из изложенного и учитывая аксиому об адекватности крупномасштабных эпохальных преобразований атмосферной циркуляции и климатических изменений, с полным основанием можно использовать информативные показатели динамики и структуры атмосферных и океанологических факторов в Атлантическом секторе Северного полушария в качестве основополагающих предикторов относительно крупномасштабных изменений Балтийского моря.

В качестве основного предиктанта состояния гидрометеорологических условий Балтики взята соленость воды, поскольку она является не только основным показателем абиотической среды, но и объективным индикатором состояния его экологии. При этом использованы средневзвешенные значения солености¹ в различных слоях и районах моря, в частности, в слое 0—30 и 0—230 м на станции 37 в Готландской и в слое 60—90 м в Борнхольмской впадинах, а также на поверхности моря у плавмаяков Анхольт-Кноб и Свенска-Бьёрн.

В качестве фундаментальных информативных предикторов в наших прогностических схемах использованы:

по атмосферной циркуляции в Северной Атлантике

- 1) число дней в году с С-формой циркуляции;
- 2) число месяцев с W-формой циркуляции с числом дней более 17;
- 3) число месяцев с меридиональной циркуляцией с числом дней более 17;
- 4) среднегодовое значение широты Исландской депрессии;

по океаническому воздействию

- 1) разность между годовыми значениями уровня в Балтийском и Северном морях (уровенные посты Свиноуйсьце и Эйсберг);
- 2) разность между годовыми значениями уровня в Свиноуйсьце и Корсёр;
- 3) разность между годовыми значениями уровня моря в Свиноуйсьце и Фредериксхавн;
- 4) разность между годовыми значениями уровня в Корсёр и Эйсберг, в Фредериксхавн и Эйсберг;

по речному стоку в Балтийское море

- 1) среднегодовые расходы р. Невы в пгт Новосаратовка.

1.2. О правомерности использования отобранных предикторов

В дополнение к гипотезе о климатической обусловленности чередования стадий опреснения и осолонения Балтийских вод с кардинальными изменениями коренных черт гидролого-гидрохимических и экологических условий моря, положенной в основу оценки предстоящих изменений солевого режима, отметим следующее.

Наряду с зависимостью W-формы циркуляции от широты исландского минимума ($r = 0,83$) А. А. Кубаревой [63] была установлена асинхронная связь исландского минимума с соленостью

¹ Средневзвешенное значение солености рассчитывается по данным на стандартных горизонтах.

Балтийского моря. Н. Д. Виноградов [51] показал, что при *W*-форме циркуляции наблюдается повышенный приток вод в Восточную Атлантику, а при меридиональной циркуляции преобладающие юго-западные ветры способствуют усилению Северо-Атлантического течения, которое приносит в Фареро-Шетландский пролив, к берегам Англии, Норвегии, проливы Скагеррак и Каттегат более теплые и соленые океанические воды.

Показатель экстремальности атмосферных процессов зависит от длительности воздействия *W*-формы циркуляции. Например, если *W*-форма циркуляции наблюдается 15—16 сут и менее, то эффект будет один, а если 17—30 сут, то совсем другой.

„Напор” атлантических (или североморских) вод на воды Балтики мы связываем с разностью стояния уровня моря в зоне проливов, на северной и южной границах пролива Каттегат (в Северном и Балтийском морях соответственно). Чем больше динамическое воздействие со стороны Каттегата, тем большее количество соли поступает в Балтику. К. Strigrov (1982) показал, что на долю небольшого увеличения поперечного сечения проливов за последние 100 лет приходится до 20 % абсолютного прироста солености вод Балтийского моря. А между тем хорошо известно, что крупномасштабная динамика уровня Балтийского моря определяется в основном состоянием уровня Мирового океана, в частности Северной Атлантики.

В качестве одного из предикторов можно использовать речной сток, так как, учитывая опыт исследователей идентичной проблемы для южных морей, было принято во внимание важное положение, сводящееся к тому, что „... расчет солености по величине речного стока, несмотря на приближенный характер получаемых соотношений, имеет практическое значение и может быть рекомендован для определения солености как самих морей, так и отдельных его районов” [50, 76]. Расчет солености по стоку дает удовлетворительные результаты и в том случае, если сток в море рассчитывается как среднее значение некоторого числа лет, равное отношению среднего объема моря к среднему многолетнему стоку. Хотя этот метод ведет к некоторому увеличению погрешности по сравнению с расчетом солености по уравнению баланса солей (применение которого для Балтийского моря пока что затруднено из-за отсутствия систематических данных о суммарном стоке и элементам водообмена), но в случае, когда неизвестны составляющие уравнения баланса солей, такое вычисление является пока что единственно возможным [50, 76].

Наиболее существенная часть общей дисперсии в изменчивости солености на глубинных и придонных горизонтах принадлежит низкочастотной составляющей спектра: квазидвухлетним, 4—5, 9—11 и 18—24-летним циклам, обусловленным соответствующи-

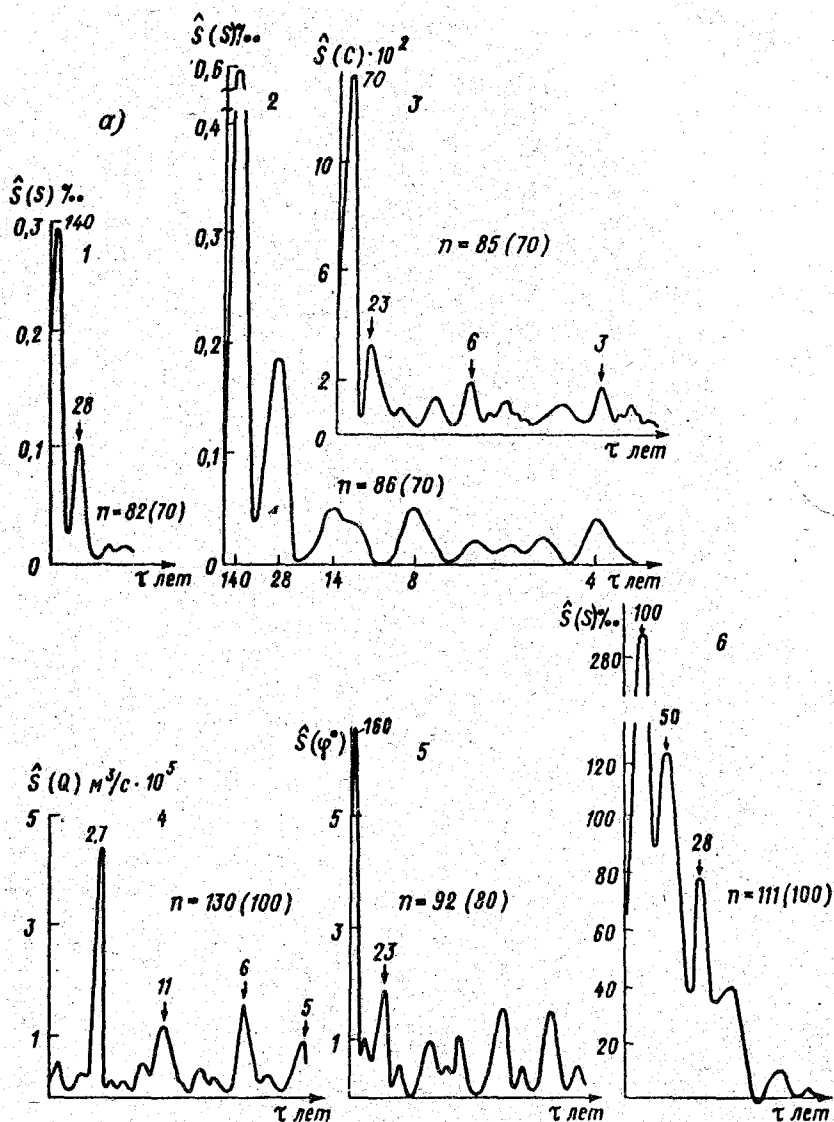
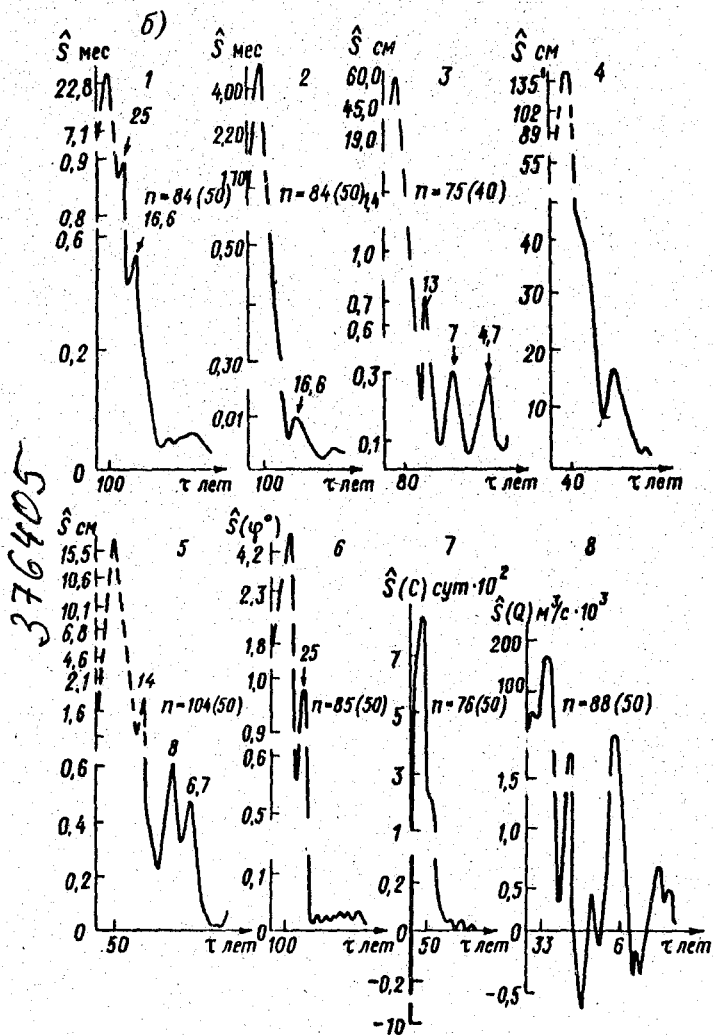


Рис. 1.2. Оценки спектров гидрометеорологических характеристик по σ : соленость воды в центре Готландской впадины в слое 0—30 м (1) и 0—230 м (2); воды у п/м Свенска-Бьерн; 6: 1 — разность между экстремальными значениями W- и меридиональных форм циркуляции Корсёр и Эйсберг (4); 3 — уровень Балтийского моря; 6 — широта Исландской депрессии;



натуральным (а) и сглаженным (б) рядам.

3 — С-форма циркуляции; 4 — сток р. Невы; 5 — широта Исландской депрессии; 6 — соленость

ции; 2 — экстремальность W-формы циркуляции; разность уровня между Свиноуйсье и Фридериксхавн (3)

7 — С-форма циркуляции; 8 — расход р. Невы.

ми гелиофизическими и планетарными факторами [7, 11, 15, 45, 65, 67, 78]. Отсюда следует, что при разработке долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов солености в придонном и глубинном слоях моря первостепенное внимание нужно уделять именно долгопериодной, многолетней изменчивости этой характеристики, определяющей общий фон солевого режима моря и позволяющей судить — идет процесс осолонения или опреснения вод этого моря. По данным работы [55], более 52 % дисперсии изменения солености в толще вод центральной части Балтийского моря приходится на низкочастотную (30 лет) квазицикличность.

В результате тщательного анализа многолетней изменчивости речного стока в Балтийское море и соотношения расходов р. Невы с расходами рек восточного побережья моря следует, что сток р. Невы является репрезентативным для характеристики крупномасштабной — межгодовой и многолетней изменчивости материкового стока не только с европейской территории России, но и со значительной части Скандинавии. В частности, связь между среднегодовыми расходами р. Невы и суммарным среднегодовым речным стоком с европейской территории России в Балтийское море с 1950 по 1976 г. оценивается коэффициентом корреляции, равным $0,93 \pm 0,01$ [6]. Все это позволяет использовать сток р. Невы как показатель суммарного речного стока в Балтийское море при установлении эмпирических прогностических связей с соленостью моря.

В работах [7, 9, 27] изложен метод расчета стока р. Невы с 1980 по 2000 г. в целях использования его в качестве одного из основных предикторов в прогнозе солености придонного слоя в Борнхольмской впадине. В данной монографии этот предиктор применяется в разработанных прогностических схемах наряду с показателями динамики ислендской депрессии, форм циркуляции и их экстремальности и разности уровня между Балтийским и Северным морями.

Упомянутые выше асинхронные связи с длительной инерцией передачи свойств изменившихся атмосферно-океанических процессов гидрометеорологическому и гидрохимическому (а тем более экологическому) режиму Балтийского моря обусловлены тем, что для адаптации этих физических полей в сильно изолированном от Мирового океана бассейне потребуется достаточно длительное время. Так, для полного обновления вод Балтики необходимо более 20 лет, или, например, разность фаз в 18-летнем деклинационном цикле в Северном и Балтийском морях составляет половину этого цикла и т. д.

Приоритетность исследований и прогнозирования крупных долгопериодных изменений среды моря обусловлены тем, что во время инструментальных наблюдений за соленостью, измеряемого

примерно 129 годами, наиболее масштабными являются вековые и полuveковые циклы, которыми мы оперируем. Во многих работах [7, 9, 11, 15, 45—48, 58, 61—63, 65—67, 77—79] отмечается, что 80—90- и 43—47-летние циклы являются наиболее существенными в гелиофизических, атмосферно-океанических и других изменениях земных процессов, включая сейсмичность планеты, общую биопродуктивность, рыбопродуктивность и т. д.

Значимость этих циклов в атмосферно-океанической циркуляции в Атлантическом секторе Северного полушария (показатели которой взяты нами в качестве предикторов в прогностических связях) и в солевом режиме моря (отдельные, наиболее репрезентативные показатели в этих связях использованы в качестве предиктантов) проиллюстрирована на рис. 1.2. Данные рисунка не требуют особой интерпретации, поскольку вес оговоренных выше цикличностей в общей дисперсии перечисленных природных процессов явно преобладает над более высокочастотными составляющими спектров.

Глава 2

АВТОРСКИЙ МЕТОД СВЕРХДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ГИДРОМЕТЕОРО- ЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА МОРЯ

2.1. Результаты взаимно корреляционного и регрессионного анализа. Характеристика базовых линейных эмпирических моделей множественной регрессии

При поиске прогностических связей между показателями солевого режима Балтики и солнечной активностью, тремя формами атмосферной циркуляции по Вангенгейму—Гирсу и речному стоку по рядам, сглаженным скользящим осреднением по 30-летиям, были обнаружены тесные прогностические связи, характеризующиеся коэффициентом корреляции 0,89—0,98, с фазовым сдвигом 1—16 лет.

В настоящей работе, взяв за основу результаты прошлых исследований [7, 9, 20, 24, 35, 43, 53, 62], был осуществлен направленный поиск наилучших предикторов и наиболее убедительных и обеспеченных связей при сглаживании исходных рядов предикторов и предиктантов скользящим осреднением по 10-летиям. При этом приоритетное место в прогностических схемах было уделено не столько показателям, характеризующим собой локальные гидрометеорологические процессы и явления, сколько индикаторам важнейших звеньев структуры и динамики как атмосферной, так и океанической циркуляции в Атлантическом секторе Северного полушария.

Сопоставление многолетних изменений солёности основного гидролого-гидрохимического (и экологического) показателя динамики экосистемы Балтики в его поверхностной и глубинной зонах с изменениями индикаторов глобальных атмосферных процессов, состояния динамики океанических течений и положения уровня в Северной Атлантике выявило определенную специфику их взаимодействия. Так, изменения солёности придонных вод южной части Балтийского моря в многолетнем аспекте хорошо связаны с соответствующими колебаниями речного стока и восточной формы циркуляции. При скользящем осреднении по 10-летиям и сдвиге соответственно 6 и 19 лет коэффициенты корреляции для этих рядов (при $n = 46$) равны 0,86 и $0,80 \pm 0,02$. Идентичные изменения солёности поверхностной 30-метровой толщи наиболее тесно связаны с показателем экстремальности меридиональных

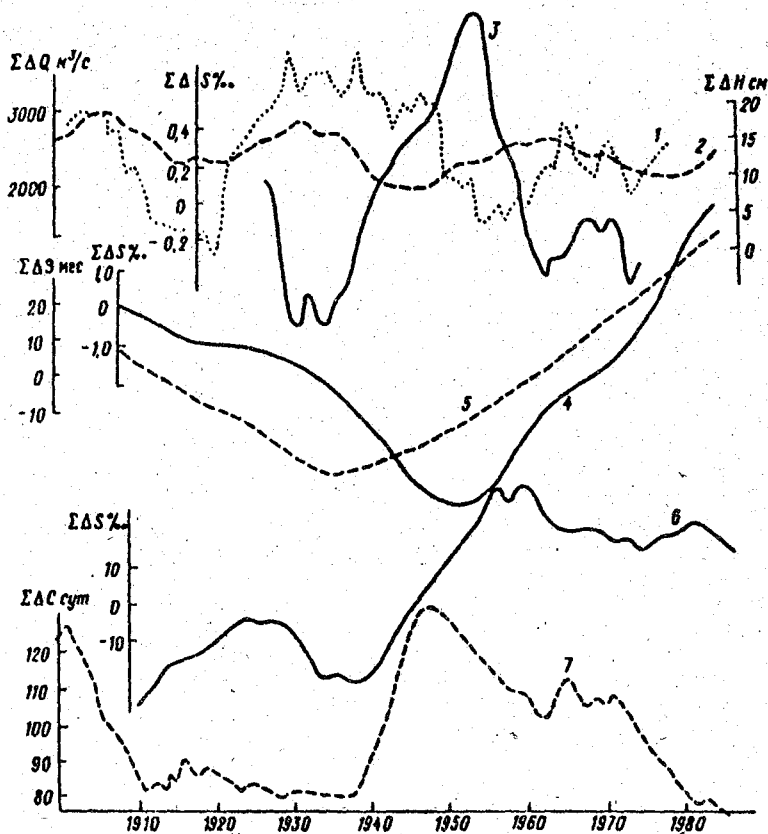


Рис. 2. 1. Графики временного хода солёности в Балтике и гидрометеорологических характеристик в Атлантическом секторе Атлантического океана.

1 — разность между значениями уровня в пунктах Корсёр и Фредериксхавн; 2 — сток р. Невы; 3 — солёность в придонном слое Борнхольмской впадины; солёность в слое 0—30 (4) и 0—230 м (6) в Готландской впадине; 5 — экстремальность меридиональной циркуляции; 7 — число дней с С-формой циркуляции.

Таблица 2.1

Максимальные коэффициенты корреляции между атмосферно-метеорологическими и океаническими процессами в Северной Атлантике и солёности в Балтийском море

Слой, м	1	2	3	4	5	6	7	8
Готландская впадина								
0—30		$\frac{0,92}{11-12}$	$\frac{-0,89}{11-12}$	$\frac{0,91}{14}$	$\frac{-0,93}{9}$	$\frac{-0,87}{25}$	$\frac{-0,61}{30}$	$\frac{-}{-}$
0—230	$\frac{-0,72}{7-11}$	$\frac{0,87}{9-10}$	$\frac{-0,72}{7-10}$	$\frac{0,67}{23}$	$\frac{-0,86}{0}$	$\frac{-0,98}{24}$	$\frac{-0,73}{29}$	$\frac{-0,58}{9}$
Борнхольмская впадина								
60—90	$\frac{0,88}{19}$	$\frac{0,72}{23}$	$\frac{0,82}{2}$	$\frac{0,93}{23}$	$\frac{0,87}{19-20}$	$\frac{0,67}{7}$	$\frac{0,73}{7}$	$\frac{-0,82}{5-6}$
Анхольт—Кноб								
0	$\frac{0,64}{3}$	$\frac{0,65}{6}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{0,87}{1}$	$\frac{-0,66}{2-3}$	$\frac{-0,92}{25-26}$	$\frac{0,90}{26}$	$\frac{-0,74}{3}$
Свенска—Бьерн								
0	$\frac{-0,78}{3-4}$	$\frac{0,91}{1}$	$\frac{-0,81}{4-7}$	$\frac{0,86}{7}$	$\frac{0,90}{0}$	$\frac{0,9}{21}$	$\frac{-0,96}{23-24}$	$\frac{-0,87}{3-4}$

Примечания: 1. Числитель — коэффициент корреляции, знаменатель — слой, годы.

2. 1 — широта Исландской депрессии; 2 — С-форма циркуляции; 3 — экстремальность W-формы циркуляции; 4 — экстремальность меридиональных форм циркуляции; 5 — разность уровня между Сантоуэйсе и Фредериксхавн; 6 — Фредериксхавн—Корсёр; 7 — Корсёр—Эйсберг; 8 — сток р. Невы.

атмосферных процессов в Атлантическом секторе Северного полушария. При сдвиге 17 лет коэффициент корреляции равен $0,91 \pm 0,01$. Коэффициент корреляции с исключением эффекта океанического влияния имеет значение 0,83, что свидетельствует о приоритетности учета экстремальности атмосферных процессов при изучении изменений солёности поверхностной толщи вод. Изменение солёности всей толщи моря наиболее зависит от формы и структуры атмосферных процессов, в частности, от повторяемости С-формы циркуляции. При том же порядке осреднения и сдвиге степень связи характеризуется коэффициентом корреляции, равном $0,88 \pm 0,02$, $n = 64$ [23].

Поскольку подавляющая часть водных масс Балтики (65 %) приходится на 50-метровую толщу вод, то существенные изменения солевого режима моря определяются преимущественно ее изменениями. Это имеет прямое отношение к определению сроков перехода экосистемы Балтики из стадии осолонения в стадию опреснения и обратно, а тем более к проблеме сверхдолгосрочного морского гидрометеорологического прогнозирования в этом бассейне). Сказанное можно подтвердить данными рис. 2.1 и табл. 2.1.

2.2. Результаты расчета линейных эмпирических моделей множественной регрессии

Составление схем линейных эмпирических моделей множественной регрессии для предсказания ожидаемых тенденций в изменении солёности в различных слоях и районах Балтийского моря основывается на положениях авторской научной гипотезы о фундаментальности естественного процесса опреснения — осолонения Балтики в рамках векового цикла солнечной активности (определяющего кардинальные изменения как абиотической среды, так и экологии моря), на общих классических представлениях об атмосферно-океаническом влиянии Северной Атлантики на климат европейской территории России (следовательно, и климат Балтики), а также на результатах взаимно корреляционного анализа многолетних рядов по избранным предиктантам и предикторам (табл. 2.2). Для получения коэффициентов множественной регрессии и постоянных коэффициентов прогностических уравнений были использованы программы, разработанные в ЛО ГОИН.

На ЭВМ СМ-1700 и ЕС-1033 (по полученным средним значениям предикторов и предиктантов, по их стандартным отклонениям, по коэффициентам множественной регрессии и по коэффициентам уравнений регрессии) были проведены расчеты прогностических уравнений регрессии для определения ожидаемых тенденций в изменении солёности в упомянутых районах и слоях Балтийского моря. Эти результаты приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Прогностические уравнения, их качество и эффективность

№ п.п.	Уравнение	R	Обеспеченность, %		Эффективность, %		Устойчивость		S/σ	n
			δ=σ	δ=0,5σ	δ=σ	δ=0,5σ	$ R_1 - R_2 \leq$	$\leq E_1 + E_2$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Слой 0—230 м ст. 37										
1	$S = 6,36 - 0,169 \Delta_{\text{ш}}^{10} + 0,012 C^{10} + 0,045 \varphi^{10}$	0,96	0,09	100	96	47	83	0,04	0,27	64
2	$S = 9,53 + 0,112 \Delta_{\text{ш}}^{23} - 35^5 Q^9 + 11^3 C^9 - 5^4 \Delta C^{20}$	0,97	0,08	100	95	47	85	0,03	0,26	64
3	$S = 9,39 + 36^4 \Delta K^{22} + 16^3 C^9 - 2^4 Q^9$	0,89	0,14	—	—	—	—	0,013	0,31	62
4	$S = 7,76 + 115^3 \Delta_{\text{ш}}^{23} + 15^3 C^9 - 2^4 Q^9$	0,95	0,09	—	—	—	—	—	—	—
5	$S = 16,05 - 5^4 Q^8 + 0,018 C^9 - 2^4 Q^9$	0,95	0,01	100	82	50	67	0,11	0,33	64
6	$S = 9,19 - 0,13 \Delta \Delta_{\text{ш}}^{10} + 118^4 C^{11}$	0,96	0,01	100	96	50	80	0	0,28	64
7	$S = 14,41 - 0,014 C^{11} - 0,086 \varphi^{11}$	0,89	0,02	100	75	47	56	0	0,37	64
8	$S = 23,12 + 0,206 \varphi^{11}$	0,75	0,1	—	—	—	—	—	—	75
9	$S = 8,58 + 0,019 C^{10}$	0,88	—	96	57	31	44	—	—	64
10	$S^* = 9,66 - 0,585 \Delta \Delta_{\text{ш}}^{10} + 137^4 C^{11}$	0,89	—	100	76	51	73	—	0,48	18
Слой 0—30 м ст. 37										
11	$S = 7,11 + 0,094 C^{12} - 0,11 \Delta_{\text{ш}}^{12} - 0,02 C \Phi^9$	0,96	0,07	100	100	47	82	0,03	0,29	59
12	$S = 6 + 0,0128 C^{12}$	0,82	0,14	88	68	28	48	—	0,56	—
13	$S = 6,321 - 0,181 \Delta_{\text{ш}}^{20}$	0,91	0,1	96	83	34	63	—	0,30	59
14	$S = 14,78 + 1,93 \Delta_{\text{ш}}^{20} - 0,0003 Q^9$	0,96	0,07	100	92	47	70	0,08	0,31	60

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		п/м Анхольт—Кноб								
28	$S = 0,59 - 0,0176\Phi, Э^{25}$	16	0,85	0,2	—	—	—	—	—	—
29	$S = 0,34 - 0,031Э^{25}$	—	0,83	0,2	—	—	—	—	—	—
		п/м Свенска—Бьерн**								
30	$S = 29,86 - 0,0122Q^4 - 5,76 Э^{14}$	54	0,93	—	—	—	—	—	—	—
31	$S = 1,612 - 0,0352 \Phi, Э - 9,04Э^{14}$	37	0,98	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Здесь и в других таблицах — индекс сверху у предиктора — время упреждения, годы; С — С-форма циркуляции; Э_м — количество месяцев с W-формой циркуляции более чем в 16 сут; Э_н — количество месяцев с меридиональной формой циркуляции более чем в 16 сут; Φ — среднегодовая широта Исландской депрессии; Q — годовой сток р. Невы, м³/с; Δh — разность уровней между Корсёр и Фредериксхавн; Э.С — между Савиноуйсье — Эйсберг; Ф.Э — между Фредериксхавн—Эйсберг.

2. Звездочкой (*) обозначен расчет тенденций для эпохи преобладания W-формы циркуляции.

3. Две звездочки (**) означают, что солёность дана в условных единицах.

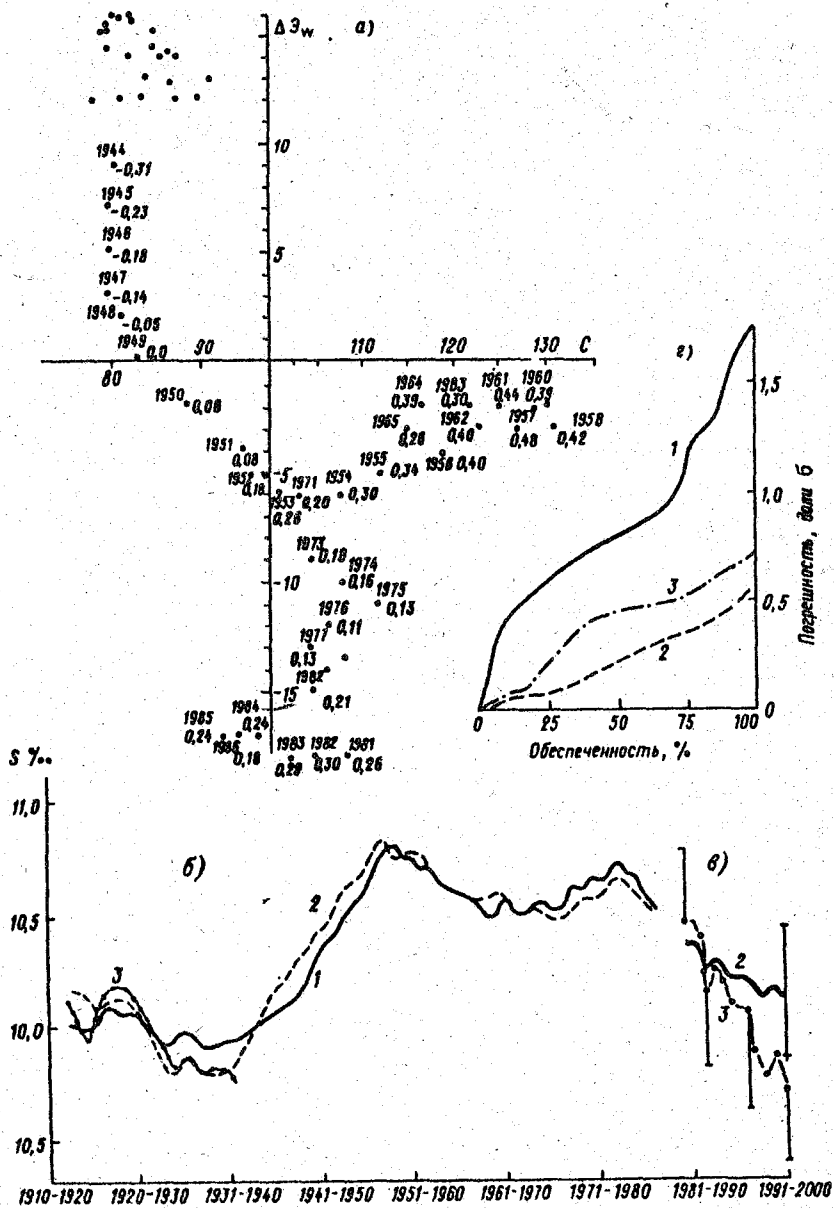
Приведенные на рис. 2.2 данные наглядно характеризуют тесную зависимость солёности двухсотметровой толщи моря в центре Готландской впадины от экстремальности W -формы и числа дней с S -формой циркуляции, а также дают представление о характере и интенсивности ожидаемых изменений солевого режима моря в предстоящее десятилетие. Здесь же наглядно представлены преимущества авторского метода сверхдолгосрочного прогноза по сравнению с прогнозом, составленным по среднемноголетним значениям солёности и ее среднеквадратическому отклонению.

Наглядное представление о многомерных линейных эмпирических моделях прогнозирования тенденций изменения солёности в поверхностной толще и в придонном слое Готландской и Борнхольмской впадин, об их качестве и эффективности можно получить из рис. 2.3, 2.4. Как и на рис. 2.2, здесь четко иллюстрируются высокое качество и солидная эффективность методов долгосрочного прогнозирования многолетних изменений солевого режима в Балтийском море.

Кроме того, все рисунки дают наглядное представление о глубине происходящих изменений в солевом режиме моря в последнем десятилетии XX в.

Обратим внимание на необходимость постоянной корректировки сверхдолгосрочных прогнозов с учетом того или иного гелиофизического фона. И. П. Дружинин (1974) справедливо обращает внимание на то, что при характеристике эволюции солнечной активности и ее климатических последствий следует ориентироваться не на последние или долгопериодные нормы, а на те десятилетия, которые характерны для эпохи 1878—1932 и 1798—1832 гг., т. е. для эпох спада векового хода W_0 . В рассмотренной методике и методах морского прогнозирования регрессионные связи, относящиеся к какому-либо гелиофизическому циклу, использованные для такого же нового гелиофизического цикла, дают более достоверные результаты. Кстати, к пониманию этой необходимости автор пришел еще в первых своих прогностических разработках, когда при использовании гармонического анализа для прогнозирования многолетних изменений трех основных форм циркуляции по Вангенгейму и солёности, ледовитости и речного стока в Балтийском море была осуществлена корректировка временных графиков этих характеристик и их сверхдолгосрочный прогноз по ходу вековых ветвей солнечной активности [11, 15, 20, 40, 41].

Здесь же отмеченного выше принципа мы придерживались путем дополнительного расчета ожидаемой эволюции не только по генеральным совокупностям предикторов и предиктантов, но и по их рядам, приходящимся на период предыдущей стадии распределения Балтийского моря, т. е. по рядам 1903—1941 гг.



2.3. Оценка обеспеченности и эффективности эмпирических связей

Оценка эффективности и оправдываемости прогнозов, как следует из Инструкции по оценке качества методов и оправдываемости морских и гидрометеорологических прогнозов [60], а также из работы [48] устанавливается сопоставлением погрешностей прогноза с допустимой. Прогноз считается оправдавшимся, если его погрешность меньше или равна допустимой. Для сверхдолгосрочных прогнозов таковым является стандартное отклонение (σ) прогнозируемого явления [48, 60], а критерием применимости и качества методики — соотношение S/σ , т. е. отношение средней квадратической погрешности проверочных прогнозов к квадратическому отклонению предсказываемой величины.

Для приведенных в табл. 2.2 уравнений это соотношение в среднем для 18 связей составляет 0,40 и колеблется от 0,55 до 0,27 при допустимом значении 0,80.

Из приведенных данных уже можно сделать вывод о качестве, эффективности и практической целесообразности применения предложенных эмпирических прогностических уравнений, тем не менее используем и другие методы оценки обеспеченности и эффективности предложенной методики прогнозирования, в частности, графики с кривыми обеспеченности, которые позволяют наглядно оценить обеспеченность и эффективность предлагаемых методов при различных уровнях допустимой погрешности (см. рис. 2.2, 2.3).

Из рис. 2.2, 2.3 видно, что предлагаемые приемы обладают довольно большой обеспеченностью (примерно 98—100 % при $\delta = \sigma$). Что касается меньших погрешностей, то при $\delta = 0,5 \sigma$ обеспеченность составляет 60—65 %. Природная обеспеченность в данном случае равна 70 и 65 %, 45 и 15 % соответственно. Следовательно, можно рассчитать и эффективность предлагаемого метода: при $\delta = \sigma$ она составила 25—31 %, а при $\delta = 0,5 \sigma$ — 20—80 %. Данные рис. 2.2, 2.3 показывают (особенно во втором случае), что чем больше принимаемая погрешность ($0,5\text{--}1,0 \sigma$),

Рис. 2.2. Связь солёности в слое 0—230 м с определяющими предикторами.

a — экстремальность ΔW -формы циркуляции и число дней с С-формой циркуляции (см. табл. 2.2, формула (6)); *b* — временной ход фактических (1) и рассчитанных (2, 3) (см. табл. 2.2, формулы (6) и (10) соответственно) значений солёности; *в* — прогноз солёности в слое 0—230 м с доверительным интервалом по формулам (6) и (10) из табл. 2.2; *г* — характеристика метода: 1 — природная обеспеченность, 2, 3 — обеспеченность прогностической зависимости по формулам (6) и (10) из табл. 2.2 соответственно.

Цифры у точек: вверх — год, вниз — аномалия.

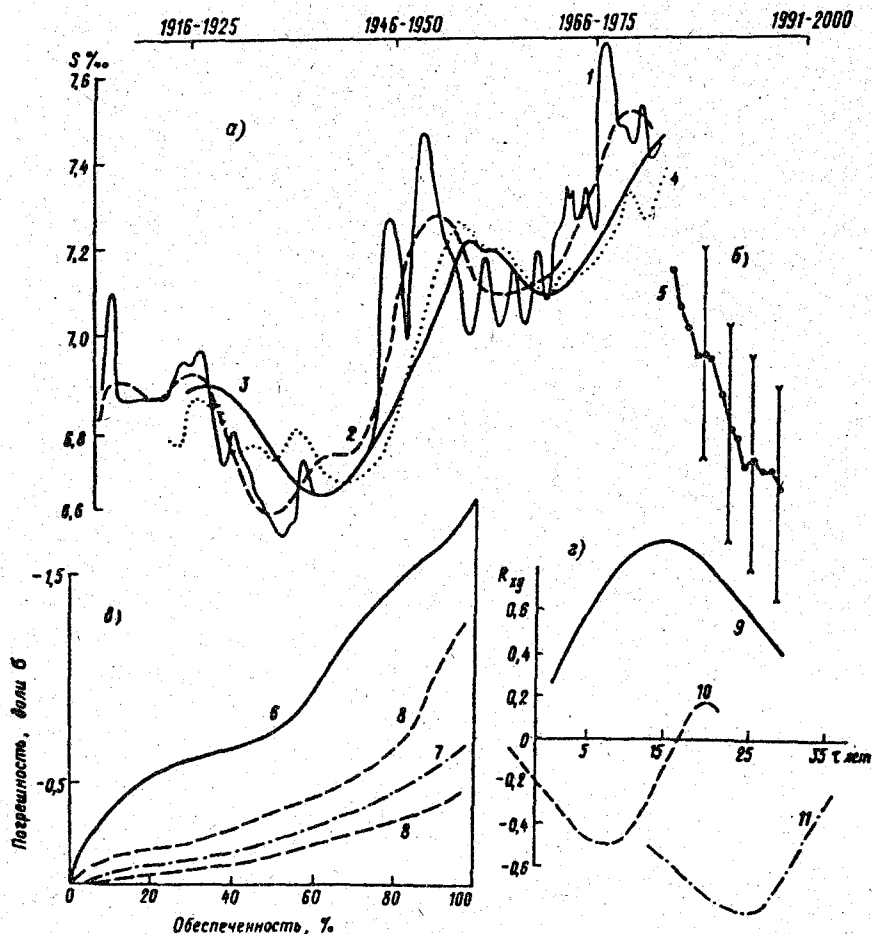


Рис. 2.3. Связь солёности в слое 0—30 м Готландской впадины со стоком р. Невы и экстремальностью W-формы циркуляции.

а — временной ход фактической (1) и сглаженной скользящим 10-летним осреднением солёности (2), рассчитанной по формулам (17) (3) и (16) (4) из табл. 2.2; б — прогноз по формуле (16) с доверительными интервалами (5); в — обеспеченность: природная (6), метода (по формуле (16) из табл. 2.2) (7) и пределы обеспеченности прогнозов по формулам (10) — (20) из табл. 2.2; г — взаимно корреляционные функции между солёностью и экстремальностью W-формы циркуляции (9), речным стоком (10) и разностью уровней между Эйсбергом и Свинойсье (11) (см. формулу (15) из табл. 2.2).

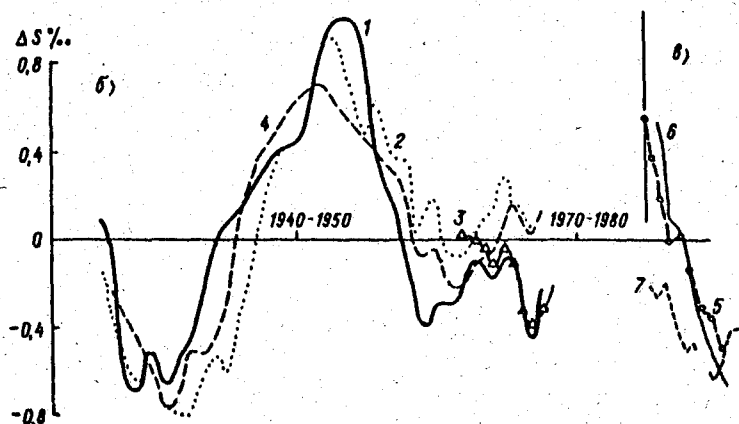
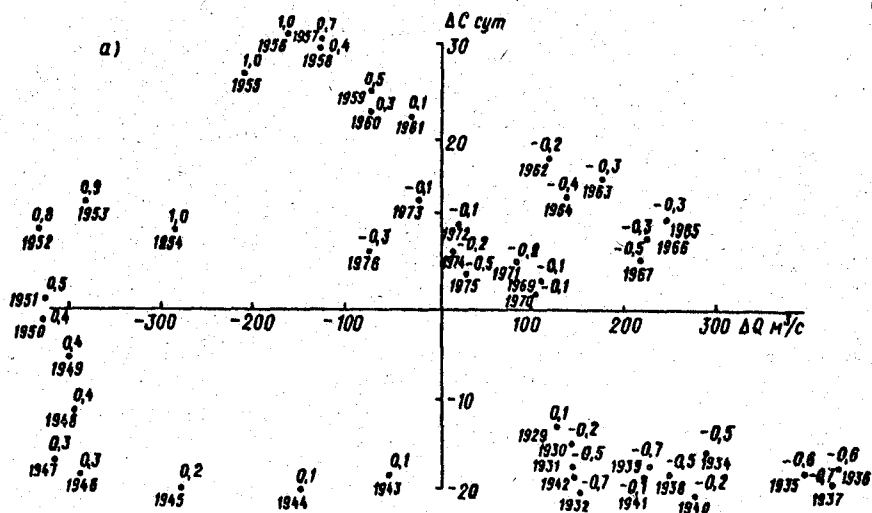


Рис. 2.4. Связь солености в слое 60—90 м Борнхольмской впадины с определяющими предикторами.

а — аномалии повторяемости С-формы циркуляции и стока р. Невы; б — временная изменчивость солености по фактическим сглаженным (1) и рассчитанным по формулам (24) (2), (25) (3), (26) (4) из табл. 2.2; в — прогноз по формулам (23) (5), (27) (6) и (21) (7) с доверительным интервалом.

Цифры у точек: вверху — год, внизу — аномалия.

тем достовернее выглядит авторский метод. Действительно, при этом быстро растет площадь между кривыми природной обеспеченности и кривыми обеспеченности, построенными по этому методу. А чем ближе к оси абсцисс расположена кривая, тем точнее методика прогнозирования, так как погрешность метода меньше (% от амплитуды), а эффективность больше, так как больше площадь, разделяющая кривую обеспеченности метода от кривой природной обеспеченности. Общая характеристика обеспеченности всего ансамбля предлагаемых методов представлена в табл. 2.2, из которой видно, что природная обеспеченность для допустимых ($\delta = \sigma$; $\delta = 0,5\sigma$) погрешностей равна 69 и 10 % (слой 0—230 м), 65 и 14 % (слой 0—30 м), 75 и 50 % (слой 60—90 м), а значения обеспеченности, полученной с помощью авторского метода, составляют не менее 100 и 75 %; 89 и 68 %; 97 и 57 % соответственно.

Для использования прогностической связи на практике кроме соотношения S/σ применяется отношение $|R_1 - R_2| \leq E_1 + E_2$ (см. табл. 2.2), характеризующее устойчивость рассматриваемой связи. О реальности связи говорят высокие значения R при соответствующей длине рядов.

Эффективность предложенных эмпирических прогностических связей во всех случаях при $\delta = \sigma$ колеблется в пределах 50—21 %, а при $\delta = 0,5\sigma$ — 85—41 %, составляя в среднем для слоев 0—230, 0—30, 60—90 м — 49 и 79 %; 42 и 67 %; 27 и 18 % соответственно.

Глава 3

ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИИ В ИЗМЕНЕНИИ СОЛЕВОГО РЕЖИМА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ДО 2000 Г. И В НАЧАЛЕ XXI В.

3.1. Современное состояние и наметившиеся тенденции крупномасштабной изменчивости гидрометеорологического режима моря, в частности, солевого

В работах [6—10, 12, 16, 17, 21, 24, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 42] показано, что в основе долговременных крупномасштабных изменений гидролого-гидрохимического режима Балтийского моря, наблюдавшихся в течение последних десятилетий, лежат природные процессы опреснения и осолонения, обусловленные соответствующими флюктуациями атмосферной и океанической циркуляции в Атлантическом секторе Северного полушария. При этом была вскрыта определяющая роль солёности и особенно ее вертикальных градиентов в эпизодической смене периодов, стагнаций придонных вод и периодов усиленной их вентиляции, определяющих формирование коренных особенностей функционирования экосистемы моря в двух ее противоположных стадиях развития — осолонения и опреснения [7, 8—10, 17, 24, 35]. Исходя из этого, была обоснована обратимость негативных изменений среды в глубинной зоне моря, происшедших в течение 50—70-х годов XX столетия. Более того, по совокупности прогностических сведений автором был составлен „экспертный” прогноз развития всей экосистемы Балтики, вплоть до 2000 г. [8, 16], подкрепленный позднее [7, 25, 35, 39] численными прогнозами ожидаемых тенденций в изменениях основополагающего формирующего фактора — солёности воды.

После первоначального опубликования „экспертной” оценки ожидаемых тенденций в изменениях солёности и экосистемы Балтийского моря на период до 2000 г. прошло порядка 15 лет. Поэтому вполне целесообразно проанализировать современное состояние гидролого-гидрохимических условий, сопоставить фактические и прогностические данные. Приближенная оценка оправываемости положений свердолгосрочного прогноза имеет значение не только для оценки гипотезы и закономерностей, положенных в его основу, но и для уточнения наших оценок ожидаемой эволюции экосистемы Балтики до конца столетия.

В соответствии с прогнозом, составленным автором [8, 16, 35, 39], ожидалось, что Балтийское море вступит в новую стадию своего развития (в стадию опреснения) на рубеже 70—80-х годов.

Таблица 3.1

Средние за пятилетие значения солености в слое 100—200 м и глубины залегания изогалины 10 ‰ в центре Готландской впадины в 1902—1991 гг.

Пятилетие	Соленость в слое 100—200 м	Положение изогалины 10 ‰	Пятилетие	Соленость в слое 100—200 м	Положение изогалины 10 ‰
1902—1905	—	95	1971—1975	12,1	78
1906—1910	11,4	98	1976—1980	12,0	84
1911—1915	—	94	1981—1985	11,8	90
1916—1920	—	—	1986—1990	10,5	124
1921—1925	11,5	93	1986	11,4	101
1926—1930	11,5	90	1987	11,3	100
1931—1935	11,2	99	1988	11,0	101
1936—1940	11,4	95	1989	10,6	125
1941—1945	11,7	—	1990	10,5	124
1946—1950	12,0	83	1991	10,1	136
1951—1955	12,4	78			
1956—1960	12,3	82			
1961—1965	12,2	79			
1966—1970	12,0	84	Среднее	11,9	85

А как обстоит дело на самом деле? Рассмотрим табл. 3.1 и рис. 3.1, из которых хорошо видно, что в 1981—1985 гг., т. е. в годы начальной фазы формирующейся стадии опреснения Балтики, важнейшие показатели солевого режима — средневзвешенная соленость всей толщи моря и слоя 100—200 м, а также глубина залегания изогалины 10 ‰ (следовательно, и всего галоклина) — четко фиксируют начавшееся распреснение моря и вступление его в очередную стадию опреснения. Действительно, если в 1981—1985 гг. соленость в слое 100—200 м была ниже „нормы” только на 0,04 ‰, то в 1985—1990 гг. — уже на 0,90 ‰. Средневзвешенная соленость от поверхности до дна в центре Готландской впадины в 1981—1985 гг. была на 0,16 ‰ выше „нормы”, а в 1985—1987 гг. — на 0,20 ‰ ниже. В отмечаемое пятилетие глубина залегания изогалины 10 ‰, хорошо фиксирующая границу между солеными и распресненными балтийскими водами, была заглублена, по сравнению с „нормой”, на 5 м, а в последние 5 лет это отклонение составило уже 20—25 м, в 1991 г. — почти 40 м. Это на 30—32 м глубже, чем во время апогея стадии осолонения, иными словами, на столько увеличилась толщина распресненных собственно балтийских вод. Объем соленых трансформированных североморских вод сократился, по сравне-

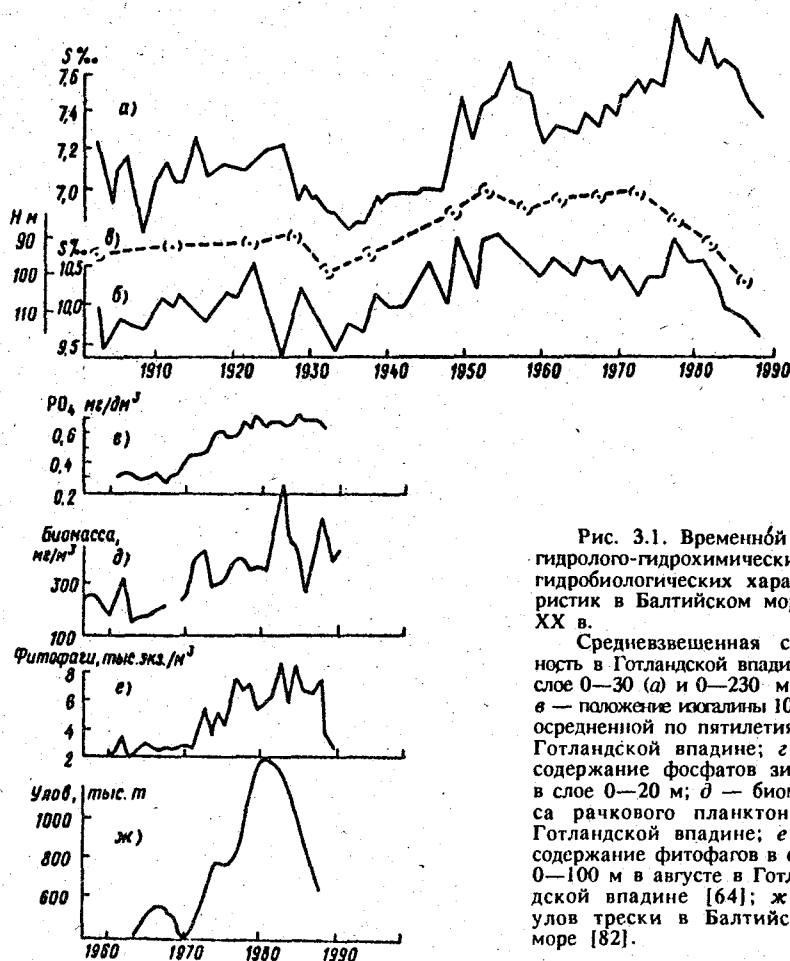


Рис. 3.1. Временной ход гидролого-гидрохимических и гидробиологических характеристик в Балтийском море в XX в.

Средневзвешенная соленость в Готландской впадине в слое 0—30 (а) и 0—230 м (б); в — положение изогалины 10 ‰, осредненной по пятилетиям в Готландской впадине; г — содержание фосфатов зимой в слое 0—20 м; д — биомасса рачкового планктона в Готландской впадине; е — содержание фитопланктона в слое 0—100 м в августе в Готландской впадине [64]; ж — улов трески в Балтийском море [82].

нию с 50-ми годами, более чем в 2 раза. Это очень существенный факт, сказавшийся и на экологии моря.

Из данных табл. 3.2 следует, что из всей толщи воды только в поверхностном слое сохраняются высокие значения солености¹,

¹ В течение 1988—1991 гг. в поверхностном слое значение солености существенно снизилось и стало меньше среднего многолетнего.

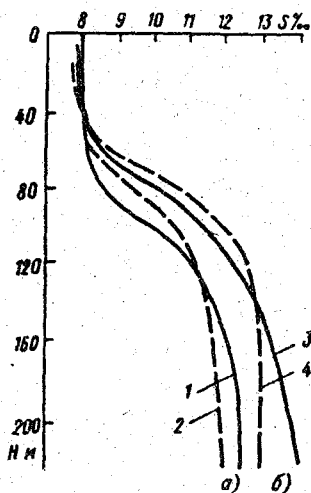


Рис. 3.2. Вертикальное распределение солености в центре Готландской впадины, а — смежные 1985 (1) и 1987 (2) годы, б — характерные годы смежных периодов: 1957 г. (3) и 1974 г. (4).

что связано с усиленной „перекачкой” соли с придонных и глубинных слоев в деятельный слой моря, откуда она интенсивно выносится в Северное море через Датские проливы в связи с увеличивающимся поступлением пресных вод в Балтику. Это характерные процессы для заключительной стадии осолонения и перехода моря в стадию опреснения.

Факт „перекачки” соли с глубин в поверхностный деятельный слой, подверженный в последние годы интенсивному конвективному перемешиванию (суровые зимы 70—80-х годов) можно проиллюстрировать данными рис. 3.2. Как видно из этого рисунка, в эти годы происходило выравнивание значений по вертикали, что способствовало уменьшению вертикальных градиентов. Существенное увеличение материкового стока в последние годы способствовало ускорению транспорта соли в связи с усилением выходных течений в проливной зоне. Об усилении выноса соли из Балтийского моря свидетельствует и тот факт, что в конце 70-х — начале 80-х годов наблюдалось быстрое уменьшение значений средневзвешенной солености в наиболее глубоководных и „водоемких” районах моря. Еще нагляднее процесс распреснения Балтики иллюстрируется временным ходом глубины залегания изогалины 10 ‰ в последнее десятилетие (см. рис. 3.1).

На рис. 3.3 хорошо видно, что кривая вертикального распределения солености, начиная с глубины 50—60 м, во всех глубоководных впадинах (Ландсортской, Готландской, Борнхольмской

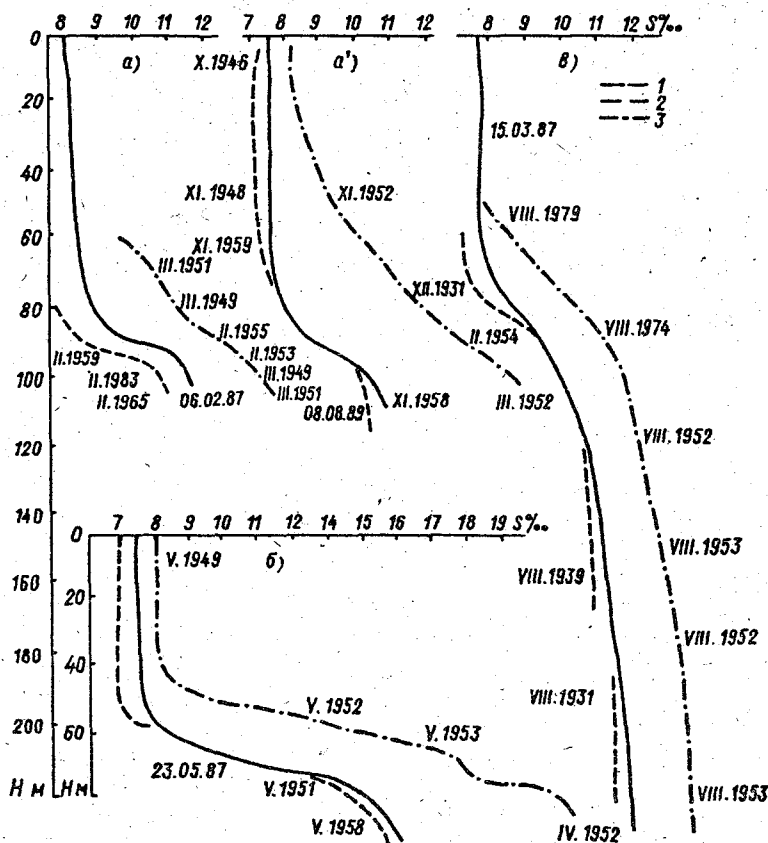


Рис. 3.3. Вертикальное распределение солёности в Гданьской (зимой *a* и летом *a'*), Борнхольмской (*б*) и Готландской впадинах (*в*).

1 — в 1987 г., экстремальные значения в 1903—1987 гг.: минимальные (2) и максимальные (3).

и Гданьской) приблизилась к ходу, отмеченному в годы экстремальных минимальных значений. Еще более значимы изменения, зафиксированные в 1988—1991 гг., когда значения солёности в глубинной зоне моря были минимальными за все время инструментальных наблюдений. Это в очередной раз говорит о том, что Балтика находится в „объятиях” стадии опреснения. Однако апо-

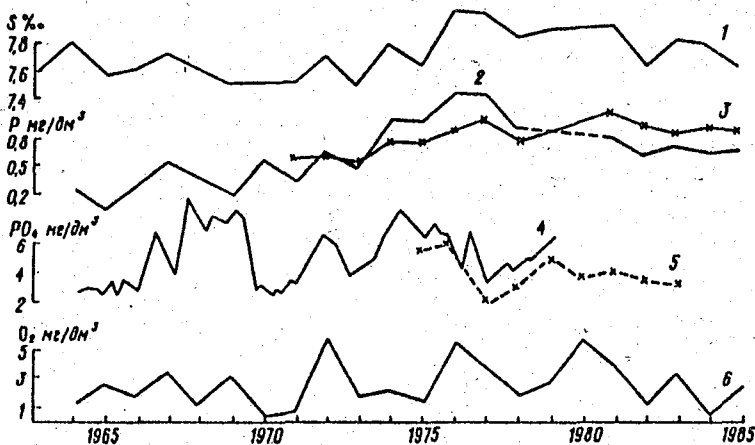
гей этой стадии развития моря, по-видимому, еще впереди — в середине 90-х годов.

Интересно отметить, что факт вступления Балтийского моря в очередную стадию опреснения подтверждается и другими данными. В течение завершившейся стадии осолонения Балтики уменьшение содержания растворенного кислорода происходило не только за счет усиления застойности придонных вод, но и за счет повышения температуры и солености этих вод: примерно на $0,2\text{--}0,4\text{ мг/дм}^3$. Объем соленых вод в этот период увеличился в 2 раза (по сравнению с первым сорокалетием), что, естественно, значительно уменьшило эффективность обычного адвективного „проектирования” этих вод. На деградацию органических соединений в период осолонения, как показал И. М. Соскин (1981), кислорода расходовалось в 2 раза больше. Эти данные соответствуют данным о фитопланктоне. Если в первой половине XX столетия концентрация фитопланктона составляла примерно $0,1\text{--}0,2\text{ мг/м}^3$, то во второй $0,3\text{--}0,5\text{ мг/м}^3$. Заметим, что в конце прошлой стадии осолонения (конец XIX века) в пределах Балтийского моря фиксировались ситуации с аналогичным содержанием растворенного кислорода. Более того, как признается в работе [64], период так называемой атлантизации Балтики завершился, и она вступила в период распреснения.

Рассмотрев рис. 3.4, отметим, что в последние годы в придонных слоях почти всех районов Балтики отмечается улучшение газового режима и уменьшение содержания фосфора. При этом позитивные сдвиги в газовом режиме наметились раньше (вторая половина 70-х годов), чем изменение концентрации фосфатов. Эти сведения подтверждаются результатами исследований польских, финских [70], латвийских [64, 82] и шведских¹ ученых.

В заключение отметим, что вступление Балтийского моря в очередную стадию опреснения на рубеже 70—80-х годов косвенно подтверждается и современным естественным ходом уровня Каспийского моря. Как известно, несмотря на большой негативный антропогенный пресс на водный баланс этого моря, начиная с 1978 г. уровень Каспия неуклонно поднимается. Здесь, как и в отношении Балтики, основную роль сыграли климатические изменения, характерные для Атлантического сектора Северного полушария, „ростки” которых проявились, например, в видоизменениях атмосферных процессов еще в 70-х годах.

¹ В газете „Известия” за 6 августа 1991 г. была дана информация о том, что шведские ученые пришли к выводу, что Балтика с 1977 г. вступила в фазу опреснения.



3.4. Временной ход гидрохимических характеристик в Балтийском море.

1 — соленость на поверхности моря зимой; концентрация минерального (2) и общего (3) фосфора в слое 0—20 м зимой; сезонные (4) и годовые (5) концентрации фосфатов в придонном слое Готландской впадины; 6 — концентрация растворенного кислорода в придонном слое Борнхольмской впадины.

Характер происходящих изменений климата не мог не сказаться через соответствующие изменения абиотической среды Балтийского моря на его обитателей. Биоценоз Балтики уже „откликнулся” на зов природы. В настоящее время здесь происходят резкое уменьшение биопродуктивности вод и снижение урожайности запасов промысловых рыб морского фаунистического комплекса, в связи с чем Россия уже неоднократно выступала за резкое сокращение уловов балтийской трески, вплоть до полного их прекращения.

В работе Е. М. Костричкиной, А. Н. Юрковского и М. В. Калейса [64] четко зафиксировано существенное „... понижение продуктивности зоопланктона, уменьшение роли наиболее массовых морских организмов...”, т. е. снижение биопродуктивности водоема.

3.2. Расчет ожидаемых значений солености в разных слоях и районах моря

Данные о предстоящих изменениях солености в слоях 60—90 м в Борнхольмской и 0—30, 0—230 м в Готландской впадинах и на п/м Анхольт-Кноб и Свенска-Бьерн в конце XX и начале XXI вв. приведены в табл. 3.3—3.5.

Наряду с цифровыми сведениями, рассчитанными по отдельным прогностическим уравнениям, даются значения ожидаемой солености, полученные путем осреднения по нескольким формулам. Последнее действие позволяет учесть влияние на соленость возможно большего числа факторов.

Из рассмотренных данных табл. 3.3 следует, что рассчитанный ход осредненной солености по всем формулам свидетельствует о дальнейшем постепенном уменьшении ее значений вплоть до десятилетия 1991—2000 гг. Ожидается, что осредненные абсолютные значения солености в слое 0—230 м на ст. 37 от 1981—1990 до 1991—2000 гг. изменяются от $10,33 \pm 0,07 \text{ ‰}$ до $10,01 \pm 0,07 \text{ ‰}$. Здесь значение $\pm 0,07$ — осредненная квадратическая погрешность прогностических уравнений, а допустимая погрешность δ , равная σ , равна $0,34 \text{ ‰}$. Заметим, что значение $\delta = \sigma$ определено по сглаженному 10-летним скользящим осреднением ряду. Фактически же в натуральном ряде значений солености стандартное отклонение σ равно $0,5 \text{ ‰}$.

Обращает на себя внимание большая сходимость всех вычислений. Так, суммарный расчет по основным прогностическим формулам (Σ^1) отличается от суммарного расчета по формулам, дающим приближенный фоновый результат (Σ^2), всего лишь на $0,01—0,12 \text{ ‰}$.

Полученная оценка ожидаемых тенденций в изменении солености в толще воды центральной Балтики может быть скорректирована при помощи расчета по формуле (10) из табл. 2.2, полученной по ряду лет, который приходится на предыдущую (начало XX в.) стадию опреснения. Поскольку ближайшие годы по характеру развития глобальных атмосферных процессов [47, 51, 64] будут характеризоваться нарастающей ролью W-формы циркуляции, т. е. усилением западно-восточного переноса воздушных масс, то в конце последнего десятилетия XX в. и в начале XXI в. ожидаемые значения солености с большей вероятностью будут находиться в интервале $S_{\text{пр}} - \sigma$, а не в интервале $S_{\text{пр}} + \sigma$.

В слое 0—30 м на ст. 37 (см. табл. 3.4) разброс спрогнозированных значений солености, вычисленных по разным формулам, несколько больше, чем для всей толщи моря. И тем не менее и здесь четко прослеживается общая тенденция к снижению ее значений не только в конце XX в., но и в начале XXI в. По базисным уравнениям среднedesятилетние значения солености будут уменьшаться от 1981—1990 к 1988—1997 гг. от $7,41$ до $7,08 \text{ ‰} \pm 0,24 \text{ ‰}$ (по Σ^1). Из расчетов по уравнениям с ограниченным числом предикторов (формулы (12), (13), (19) из

Таблица 3.2

Вертикальное распределение солености в Готландской впадине в различные стадии развития гидролого-гидрохимического режима Балтийского моря с 1889 по 1987 г., ‰

Дата	Стадия	Горизонт, м								Слой 0—200 м
		0	25	50	75	100	150	175	190	
1 июля 1889 г.	Заключительная фаза осолонения	7,2	7,4	7,7	9,4	10,4	11,7	12,3	12,1	10,0
11 июля 1932 г.	Апогей опреснения	6,8	6,9	7,2	7,8	9,6	11,3	11,5	11,6	9,2
17 августа 1966 г.	Апогей осолонения	7,2	7,6	7,7	10,0	11,1	12,3	12,5	12,6	10,4
20 августа 1987 г.	Начальная фаза опреснения	7,5	7,5	7,8	8,3	9,8	11,9	12,1	12,1	10,0
Август 1991 г.	Начальная фаза апогея опреснения	7,3	7,3	7,4	7,6	9,1	10,6	10,9	11,1	9,0

Таблица 3.3

Расчетные значения солёности в слое 0—230 м в центре Готландской впадины (ст. 37)
по прогностическим уравнениям, представленным в табл. 2.2, ‰

Деся- тиле- тие	1	2	3	4	Σ^1	6	7	Σ^2	8	9	Σ^3	10^*	$(\Sigma^1 + \Sigma^2)/2$	σ
1981— —1990	10,40± ±0,09	10,44± ±0,08	10,15± ±0,14	10,44± ±0,08	10,36± ±0,1	10,34± ±0,01	10,18± ±0,02	10,26± ±0,02	10,33± ±0,2	10,06± ±0,2	10,20± ±0,2	10,46± ±0,06	10,33± ±0,07	±0,34
1982— —1991	10,27	10,44	10,07	10,33	10,28	10,23	10,16	10,20	10,24	8,95	10,10	10,13	10,22	±0,34
1983— —1992	10,34	10,33	9,85	10,33	10,21	10,28	10,20	10,24	10,27	10,00	10,14	10,23	10,22	±0,34
1984— —1993	10,30	10,33	10,00	10,27	10,22	10,26	10,12	10,18	10,26	9,96	10,12	10,20	10,21	±0,34
1985— —1994	10,27	10,27	9,95	10,26	10,19	10,20	10,00	10,10	10,27	9,96	10,12	10,08	10,16	±0,34
1986— —1995	10,18	10,26	10,02	10,27	10,18	10,20	10,11	10,15	10,30	9,93	10,11	10,05	10,17	±0,34
1987— —1996	10,12	10,27	9,93	10,13	10,11	10,14	20,01	10,11	10,33	9,91	10,12	9,85	10,11	±0,34
1988— —1997	—	10,13	9,89	10,24	10,09*	10,11	10,07	10,09	10,44	9,81	10,12	9,76	10,09	±0,34
1989— —1998	—	10,24	—	10,12	10,08*	10,16	—	—	—	9,86	—	9,85	10,08*	±0,34
1990— —1999	—	10,12	—	10,16	—	10,11	—	—	—	9,82	—	9,69	—	±0,34
1991— —2000	—	10,16	—	—	—	—	—	—	—	9,82	—	—	—	±0,34

Примечание. Σ^1 — среднее из формул (1)—(4); Σ^2 — среднее из формул (6), (7); Σ^3 — среднее из формул (8), (9); звездочкой (*) обозначено, что расчет выполнен по формуле, отражающей связь аргументов с функцией в предыдущую стадию опреснения.

Таблица 3.4

Расчетные значения солёности в слое 0—30 м в центре Голландской впадины (ст. 37)
по прогностическим уравнениям, представленным в табл. 2.2, ‰

Десятилетие	14	16	17	Σ^1	12	13	15	Σ^2	20*	$(\Sigma^1 + \Sigma^2)/2$	σ
1981–1990	7,10 ± 0,07	7,53 ± 0,01	7,60 ± 0,08	7,41 ± 0,05	7,07 ± 0,14	7,60 ± 0,1	7,50 ± 0,09	7,39 ± 0,08	7,42 ± 0,03	7,40 ± 0,06	±0,24
1982–1991	7,02	7,42	7,60	7,35	7,01	7,65	7,49	7,38	7,38	7,36	±0,24
1983–1992	7,00	7,36	7,61	7,38	7,01	7,64	7,50	7,38	7,36	7,43	±0,24
1984–1993	6,93	7,36	7,65	7,31	6,93	7,60	7,51	7,35	7,21	7,33	±0,24
1985–1994	6,95	7,36	7,67	7,33	6,97	7,64	7,48	7,36	7,28	7,34	±0,24
1986–1995	6,92	7,32	7,33	7,20	6,94	7,86	7,43	7,36	7,27	7,27	±0,24
1987–1996	6,92	7,31	—	7,11	6,91	7,68	7,29	7,30	—	7,20	±0,24
1988–1997	6,87	7,28	—	7,08	6,91	7,68	7,17	7,25	—	7,16	±0,24
1989–1998	—	—	—	—	6,89	7,64	7,08	7,20	—	—	±0,24
1990–1994	—	—	—	—	6,91	7,64	7,06	7,20	—	—	±0,24
1991–2000	—	—	—	—	6,88	7,68	—	7,28	—	—	±0,24
1992–2001	—	—	—	—	6,84	7,64	—	7,24	—	—	±0,24
1993–2002	—	—	—	—	—	7,64	—	—	—	—	±0,24
1994–2003	—	—	—	—	—	7,64	—	—	—	—	±0,24
1995–2004	—	—	—	—	—	7,50	—	—	—	—	±0,24
1996–2005	—	—	—	—	—	7,50	—	—	—	—	±0,24
1997–2006	—	—	—	—	—	7,52	—	—	—	—	±0,24
						7,48	—	—	—	—	±0,24

Примечание. Σ^1 — среднее из формул (14), (16), (17); Σ^2 — среднее из формул (12), (13), (15); звездочкой (*) обозначено, что формула учитывает влияние развития *W*-формы циркуляции.

Таблица 3.5

Расчетные значения солёности в слое 60—90 м в центре Борнхольмской впадины (ст. 62)
по прогностическим уравнениям, представленным в табл. 2.2, %

Десятилетие	21	22	24	Σ^1	23	25	Σ^2	27*	$\Sigma^1 + \Sigma^2 / 2$	σ
1981—1990	14,9 ± ±0,17	15,16 ± ±0,16	15,7 ± ±0,34	15,43 ± ±0,22	14,98 ± ±0,01	15,02 ± ±0,04	15,05 ± ±0,02	15,08 ± ±0,02	15,22 ± ±0,13	±0,46
1982—1991	14,8	15,20	16,2	15,61	15,02	15,12	15,11	15,06	15,36	±0,46
1983—1992	14,6	15,11	16,3	15,70	14,00	15,07	15,03	14,46	15,36	±0,46
1984—1993	14,6	14,03	15,7	15,26	14,71	15,05	14,86	14,66	15,06	±0,46
1985—1994	14,5	14,82	15,5	15,11	14,67	15,13	14,91	14,56	15,06	±0,46
1986—1995	14,4	15,00	15,3	15,15	14,52	14,95	14,82	14,33	14,98	±0,46
1987—1996	14,6	15,06	15,5	15,28	—	—	—	—	—	±0,46
1988—1992	14,7	15,15	15,5	15,32	—	—	—	—	—	±0,46
1989—1998	14,7	—	15,4	—	—	—	—	—	—	±0,46
1990—1999	14,7	—	15,3	—	—	—	—	—	—	±0,46
1991—2000	14,9	—	15,2	—	—	—	—	—	—	±0,46
1992—2001	—	—	15,0	—	—	—	—	—	—	±0,46
1993—2002	—	—	15,1	—	—	—	—	—	—	±0,46
1994—2003	—	—	15,2	—	—	—	—	—	—	±0,46
1995—2004	—	—	15,3	—	—	—	—	—	—	±0,46

Примечание. Σ^1 — среднее из формул (21), (22), (24); Σ^2 — среднее из формул (23), (25); звездочкой (*) обозначено, что формула учитывает экстремальность влияния W-формы циркуляции в предыдущую стадию распределения.

табл. 2.2) следует, что ее значения будут изменяться от 1981—1990 к 1990—1999 гг. от 7,39 до 7,24 ‰ ± 0,24 ‰. Наиболее низкие значения солености (формула (13)) в этом слое следует ожидать в первом десятилетии XXI в., а затем последует постепенное повышение.

Как и в предыдущем прогнозе, расчеты по базисным уравнениям (Σ^1) и по формулам ориентировочных фоновых прогнозов (Σ^2) разнятся друг от друга всего лишь на 0,02—0,12 ‰.

Для уточнения сверхдолгосрочного прогноза, как и в первом случае, воспользуемся прогностической формулой, рассчитанной для предыдущей стадии опреснения. Характер хода тенденции в изменении солености по всем базисным и фоновым расчетам, а также по формуле (20) из табл. 2.2, полученной по исходному ряду в стадию предыдущего опреснения, позволяет предположить, что наиболее вероятные значения предсказываемой солености более вероятны в интервале $S_{пр} - \sigma$, чем в интервале $S_{пр} + \sigma$.

Анализ данных табл. 3.5 дает основание предположить, что в целом в конце XX в. в Балтике будет господствовать процесс распреснения ее вод. Среднедесятилетнее значение солености уменьшится с 1981—1990 к 1987—1996 гг. примерно на 0,1—0,2 ‰ и будет составлять (по базисным и фоновым расчетам) 14,8—15,2 ‰ ± 0,46 ‰. Исходя из расчета по приближенной связи (см. табл. 2.2, формула (24)), можно предположить, что на рубеже XX и XXI вв. придонная соленость станет понемногу увеличиваться.

Используя формулу (23), полученную по исходному 12-летнему ряду, приходящемуся на предыдущий период опреснения моря, можно сказать, что в конце XX в. значения придонной солености на ст. 62 предпочтительнее ожидать в интервале $S_{пр} - \sigma$, чем в интервале $S_{пр} + \sigma$. В отношении характера развития тенденции в изменении солености в юго-западной части Балтийского моря следует отметить, что в 1982—1991 гг. по сравнению с 1981—1990 и 1983—1992 гг. фиксируется некоторое увеличение значений средней придонной солености ($\Delta = 0,1—0,2$ ‰). Однако этот факт не оказывает влияния на общий характер развития тенденции к уменьшению солености во всех слоях Балтийского моря.

В заключение рассмотрим результаты расчета ожидаемой тенденции в изменениях солености на поверхности моря в районе плавающих Анхольт-Кноб и Свенска-Бьёрн по формулам (28) — (31) из табл. 2.2 (табл. 3.6).

Приведенные аномалии значений солености на отмеченных плавающих в общем подтверждают выводы относительно харак-

Таблица 3.6

Расчетные значения аномалий солёности на поверхности моря у плавмаяков Анхольт-Кноб и Свенска-Бьёрн по формулам (28) — (31) из табл. 2.2

Десятилетие	$S \text{ ‰}$ Анхольт-Кноб	S усл. ед. Свенска-Бьёрн
1976—1985	$0,53 \pm 0,38$	13,0
1977—1986	$0,43 \pm 0,38$	10,6
1978—1987	$0,31 \pm 0,38$	9,2
1979—1988	$0,35 \pm 0,38$	7,0
1980—1989	$0,31 \pm 0,38$	7,6
1981—1990	$0,26 \pm 0,38$	7,2
1982—1991	$0,13 \pm 0,38$	5,7
1983—1992	$0,28 \pm 0,38$	4,3
1984—1993	$0,51 \pm 0,38$	8,8
1985—1994	$0,51 \pm 0,38$	—
1986—1995	$0,51 \pm 0,38$	—

тера развития тенденции в изменении солевого режима моря в начале 90-х годов XX в.

В связи с отсутствием данных по ряду предикторов за последние годы (иногда и десятилетия) при разработке сверхдолгосрочных прогнозов для различных слоев и районов Балтики автору приходилось использовать не самые лучшие и наиболее физически обоснованные регрессионные связи, а связи с более низкими коэффициентами (от 0,87 до 0,68), но которые опирались бы на достаточно длительные ряды соответствующих предикторов.

Каждому прогнозисту хочется заглянуть как можно дальше вперед. И иногда для этого приходится поступиться качеством и точностью составляемого сверхдолгосрочного прогноза. Нами с этой целью была использована прогностическая формула (19) из табл. 2.2, которая позволила (в первом приближении) проследить общую эволюцию солевого режима Балтийского моря почти на 50 лет вперед. Расчеты с применением этой формулы показывают, что в поверхностном слое центральной части Балтийского моря минимум солёности ожидается в первом десятилетии XXI в., после чего будет наблюдаться медленное, но неуклонное увеличение ее значений. Однако средние значения будут отмечаться в конце 20-х годов XXI в. Поэтому можно сделать вывод о том, что начавшаяся стадия опреснения Балтики продлится еще примерно 40 лет, и в этот период как в среде моря, так и в его экологии будут развиваться процессы, наблюдавшиеся здесь в первое сорокалетие XX в.

Таблица 3.7

Расчетные значения солёности в слое 0—30 м в центре Готландской впадины
в конце XX — начале XXI вв. по формуле (19) из табл. 2.2

Десятилетие	S ‰	Десятилетие	S ‰	Десятилетие	S ‰
1981–1990	7,50	1991–2000	6,70	2001–2010	6,64
1982–1991	7,49	1992–2001	6,81	2002–2011	6,68
1983–1992	7,50	1993–2002	6,61	2003–2012	6,71
1984–1993	7,51	1994–2003	6,47	2004–2013	6,74
1985–1994	7,48	1995–2004	6,33	2005–2014	6,88
1986–1995	7,43	1996–2005	6,39	2006–2015	6,79
1987–1996	7,29	1997–2006	6,40	2007–2016	6,86
1988–1997	7,17	1998–2007	6,47	2008–2017	6,94
1989–1998	7,08	1999–2008	6,49	2009–2018	6,99
1990–1999	7,06	2000–2009	6,59	2010–2019	6,92
				2020–2029	7,02
				2021–2030	7,15
				2022–2031	7,24

Примечание. За доверительный интервал в начальный период расчета берется $\pm \sigma = 0,3 \text{ ‰}$, далее ее значения будут увеличиваться.

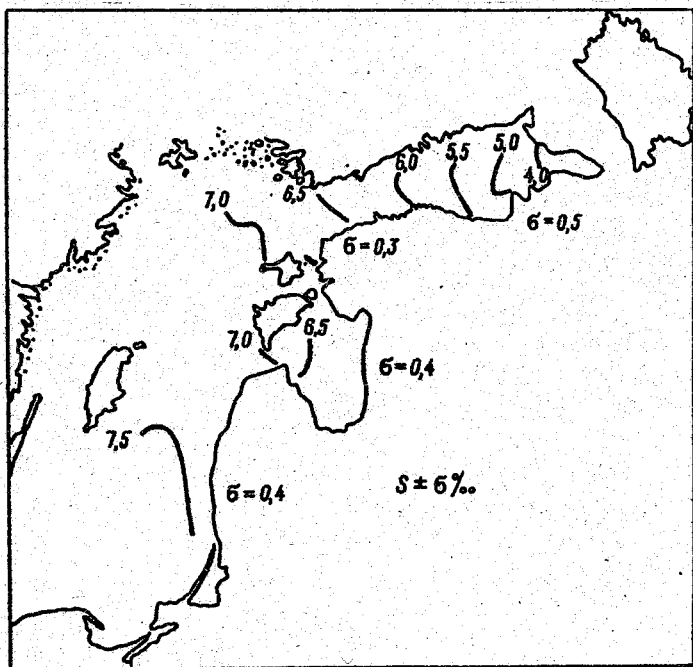


Рис. 3.5. Карта-схема распределения солёности на поверхности Балтики в 2000 г. с учетом естественных изменений речного стока и безвозвратного изъятия стока р. Невы, составляющего $15 \text{ км}^3/\text{год}$. Данные о солёности осреднены по 5-летиям и отнесены к последнему году периода осреднения.

Цифровые значения солёности поверхностного слоя в центре Готландской впадины, рассчитанные по формуле (19) из табл. 2.2, представлены в табл. 3.7.

Приведенные данные расчета ожидаемых изменений солёности в поверхностном слое моря весьма приближенные, но тем не менее они дают возможность более точно ориентироваться в фоновом сверхдолгосрочном, качественном прогнозе.

Отметим, что характер изменения значений солёности хорошо согласуется со сверхдолгосрочным прогнозом солнечной активности, составленным В. Ф. Чистяковым в 1981 г. Глубокий минимум солёности, приходящийся на начало следующего века, полностью совпадает с центральной частью ложбины векового хода

солнечной активности по Вольфу. К тому же по прогнозам состояния увлажненности на европейской части России ее увеличение также ожидается в конце текущего и начале будущего столетия, когда превалярующее положение займет W-форма циркуляции.

Заметим, что И. М. Соскин (1963) также пришел к выводу, что минимум солености на поверхности у г. Хельсинки совпадает с минимумом солнечной активности в их вековом ходе.

Также был составлен прогноз пространственного распределения солености в Балтийском море для 1980, 1985, 1990 и 2000 гг. (рис. 3.5).

Если расчет будущих среднегодовых значений солености поверхностных вод восточной части открытой Балтики, Финского и Рижского заливов проводился по эмпирическим связям с речным стоком, то соленость в районах отдельных глубоководных станций (78 станций) рассчитывалась на ЭВМ ЕС-10-22 по линейным эмпирическим связям между средней соленостью района и соленостью на конкретной станции.

3.3. Оценка оправдываемости сверхдолгосрочных морских прогнозов

Наиболее объективной оценкой оправдываемости сверхдолгосрочных морских прогнозов является сверка прогнозируемых значений с фактическими, полученными по независимым годам используемых рядов или при проверке результатов прогнозирования.

В оперативном режиме проверена ранее сконструированная связь (см. табл. 2.2, формула (21)). В частности, в первый период (1975—1976 гг.) погрешность составила 0,1—0,15 ‰, а в целом за прошедший период (с 1975 по 1988 г.) она составляла примерно 0,3—0,4 ‰. Это при $\sigma = 0,5$ ‰, а для осредненного 10-летним скользящим осреднением ряда $\sigma = 0,45$ ‰.

По предлагаемым схемам выборочно сделана следующая процедура. Из имеющихся рядов предиктантов были опущены 10—30 последних членов ряда. По оставшимся рядам были получены уравнения, идентичные базисным уравнениям (1) — (31), представленным в табл. 2.2, по которым проверялась „работа” наших прогностических моделей.

Прототип формулы (6) из табл. 2.2

$$S = 9,46 - 0,24 \Delta \Xi_{\text{W}}^{10} + 0,01 C^{10}, R = 0,95; \quad (1)$$

прототип формулы $S = 14,57 - 0,00026 Q^8 + 0,00119 C^{12} -$

$$- 0,0075 \varphi^{12}$$

$$S = 18,35 - 0,00005 Q^8 + 0,0011 C^{12} - 0,125 \varphi^{12}, R = 0,94; (2)$$

прототип формулы (16) из табл. 2.2

$$S = 6,79 - 0,00012 Q^8 + 0,074 C^{12} - 0,084 \Delta \Xi_W^{12}, R = 0,97; (3)$$

прототип формулы (11)

$$S = 6,76 - 0,0058 C^{12} - 0,063 \Delta \Xi_W^{12} - 0,016 C \Phi^9, R = 0,98; (4)$$

прототип формулы (25)

$$S = 18,58 - 0,00015 Q^6 - 0,158 \Delta \Xi_W^{23}, R = 0,87. (5)$$

Данные табл. 3.8 свидетельствуют о точности прогностических моделей, использованных автором для расчета тенденции в изменении солености воды в Балтийском море в конце XX — начале XXI вв. Средние погрешности прогноза для 1964—1974, 1974—1983 гг. (для первого примера с 1946—1955 по 1977—1986 гг.) намного ниже значений σ , рассчитанных для рядов, сглаженных 10-летним скользящим осреднением, а они, как известно, значительно меньше значений σ , вычисленных по натуральному ряду.

Все это наряду с данными, приведенными в разд. 2.1, 2.3, свидетельствует о правомерности использования их в аспекте решаемой задачи.

И тем не менее важнейшим инструментом оценки оправданности прогнозов является практика. Поэтому можно сослаться на сведения, помещенные в работах [12, 37, 38, 42, 64, 82], включая данные натуральных исследований БалтНИИРХ, свидетельствующие о высокой оправданности сверхдолгосрочных гидрометеорологических морских прогнозов, составленных автором в 70-х годах по аналогичной методике.

Следует отметить, что физический механизм некоторых из обнаруженных связей между океаном и атмосферой, состоянием атмосферы, океана и погодой на континенте до сих пор еще не до конца понят. Но, как справедливо отмечал академик Н. И. Вавилов, „... правильности и закономерности в явлениях, если они повторяются, притом с такой регулярностью, что могут быть использованы и фактически используются в практике, не может отрицать никто“. Здесь действительно стоит руководствоваться здравым смыслом и понять, как утверждал Лаплас, что „... недостойно ... отрицать явления только потому, что они необъяснимы при современном состоянии наших знаний. Мы только обя-

Таблица 3.8

Погрешности расчета значений солености по приведенным поверочным схемам — прототипам выбранных базисных прогностических уравнений, ‰

Десятилетие	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1946—1955	0,12	—	—	—	—
1947—1956	0,14	—	—	—	—
1948—1957	0,22	—	—	—	—
1949—1958	0,05	—	—	—	—
1950—1959	—0,03	—	—	—	—
1951—1960	—0,07	—	—	—	—
1952—1961	—0,02	—	—	—	—
1953—1962	—0,03	—	—	—	—
1954—1963	—0,08	—	—	—	—
1955—1964	—0,09	—	—	—	—
1956—1965	—0,09	—	—	—	—
1957—1966	—0,14	—	—	—	—
1958—1967	—0,13	—	—	—	—
1959—1968	—0,18	—	—	—	—0,24
1960—1969	—0,15	—	—	—	—0,10
1961—1970	—0,13	—	—	—	—0,12
1962—1971	—0,12	—	—	—	—0,13
1963—1972	—0,16	—	—	—	—0,06
1964—1973	—0,14	—0,11	0,08	0,07	—0,02
1965—1974	—0,21	—0,03	0,14	0,10	—0,12
1966—1975	—0,20	—0,13	0,14	0,04	0,07
1967—1976	—0,31	—0,16	0,03	0,14	0,05
1968—1977	—0,27	—0,10	0,18	0,17	0,16
1969—1978	—0,31	—0,03	0,14	0,18	0,20
1970—1979	—0,35	0,10	0,22	0,25	—
1971—1980	—0,32	0,02	0,30	0,28	—
1972—1981	—0,33	0,0	0,27	0,23	—
1973—1982	—0,33	—0,03	0,26	0,28	—
1974—1983	—0,30	—0,05	0,27	0,30	—
1975—1984	—0,22	—0,11	—	—	—
1976—1985	—0,18	0,02	—	—	—
1977—1986	—0,22	0,09	—	—	—
Средняя δ	$\pm 0,19$	$\pm 0,07$	$\pm 0,18$	$\pm 0,19$	$\pm 0,16$
Средняя σ по все- му исходному ря- ду, сглаженному по десятилетиям	$\pm 0,32$	$\pm 0,32$	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$	$\pm 0,46$

заны исследовать явления с тем большим вниманием, чем труднее признать их существование" (цитируется по работе [46]).

Наша оценка тенденции в изменении солевого режима Балтики приближена к объективности тем, что она подкреплена сверхдолгосрочными прогнозами солнечной активности, атмосферной циркуляции, общих климатических изменений, ожидаемых изменений отдельных гидрометеорологических характеристик, которые так или иначе подтверждают авторский прогноз.

3.4. Ожидаемые тенденции изменений гидролого-гидрохимических условий до 2000 г. и в начале XXI в.

Наряду с перечисленными выше принципиальными положениями, приемами и моделями при составлении сверхдолгосрочных прогнозов развития гидрометеорологического режима моря широко использовались и сверхдолгосрочные прогнозы различных климатических характеристик для Северного полушария, опубликованные в ряде работ [46—48, 57, 74, 79].

Все это обеспечило максимально возможную основу и широкую комплексность при разработке прогноза природных долговременных изменений гидрометеорологических, гидролого-гидрохимических и гидробиологических явлений в бассейне Балтийского моря до 2000 г. и далее. При этом было учтено возможное влияние антропогенного воздействия (безвозвратное изъятие части речного стока в море) на состояние важнейшего фактора режима моря — солёности его вод.

В основу морского фонового сверхдолгосрочного прогноза гидролого-гидрохимических условий Балтийского моря до конца XX столетия и в начале XXI в. был положен широкий прогностический комплекс закономерностей, различных приемов и методов:

- расчет тенденций изменения солёности по авторским прогностическим схемам (см. разд. 2, 3.1—3.3);

- всковая цикличность солнечной активности и эпохальные преобразования атмосферной циркуляции и обусловленная ими стадийность природной эволюции экосистемы Балтийского моря и противофазности океанологических явлений в открытом море и восточных заливах;

- ярко выраженная детерминированность гидролого-гидрохимических процессов и инерция водных масс, особенно существование длительной инерции запаздывания в таких основополагающих процессах моря, как распреснение — осолонение и полное обновление его вод;

— взаимосвязь крупномасштабной изменчивости гидрометеорологических, гидролого-гидрохимических и промыслово-экологических явлений и процессов в бассейне Балтики;

— учет суммарного результата всех сверхдолгосрочных прогнозов различных составляющих экосистемы моря и ближайших регионов.

Использование стадийности природной эволюции экосистемы для прогнозирования ее предстоящих изменений

Рассмотренная в предыдущих разделах общая направленность климатических изменений в Атлантическом секторе Северного полушария в течение XX в., которая определяла формирование тенденций развития гидрометеорологического режима Балтийского моря в целом, позволяет понять закономерности крупномасштабной изменчивости гидролого-гидрохимических условий, поскольку только долговременное и комплексное исследование позволяет составить представление о функциональном назначении естественных процессов изучаемого водоема.

Как следует из вышеизложенного, а также из работ о характере изменчивости гидрометеорологических явлений, тесно взаимосвязанных с гелиогеофизическими и климатическими характеристиками в Северном полушарии, за последние 80—90 лет можно довольно четко выделить два противоположных по характеру аномалий периода: первое 40-летие и 40—70-е годы XX столетия (см. рис. 1.1, табл. 3.9).

Если в течение первого периода гидрометеорологические условия Балтики развивались под воздействием преобладающей роли зональной циркуляции и ослабленного суммарного расхода воды через Фареро-Шетландский пролив, то с конца 30-х — начала 40-х годов формирование режима моря осуществлялось при резком преобладании меридиональных процессов атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой и усиленном расходе океанических вод между Фарерскими и Шетландскими островами. Первые процессы, как известно, протекали на фоне нисходящей ветви векового цикла солнечной активности, вторые — на фоне восходящей ветви. В первый период Балтика опреснялась, а во второй — осолонялась.

Учитывая четкую соразмерность крупномасштабных изменений различных элементов экосистемы в разные стадии естественной эволюции моря, можно по данным сверхдолгосрочного прогноза солнечной активности довольно объективно судить о характере предстоящих изменений важнейших показателей экосистемы Балтийского моря в целом, в частности, что оно вступило в стадию очередного распреснения.

Таблица 3.9

Осредненные по 5-летиям аномалии атмосферных, океанических гидролого-гидрохимических характеристик в Атлантическом секторе Северного полушария в Балтийском море за последние 100 лет

Характеристика	1891—1895	1896—1900	1901—1905	1906—1910	1911—1915	1916—1920	1921—1925	1926—1930	1931—1935	1936—1940	1941—1945
Показатель количества естественных синоптических процессов, усл. ед.	-11*	-12	-5	-9	-9	-9	-9	-7	-4	-1	0
S-форма циркуляции, сут	35	25	5	-19	-11	-12	-11	-21	-15	-5	34
Разность между Э _м и Э _н , мес.	5	2,7	0,7	3,0	3,1	1,1	3,9	1,7	0,5	-1,7	-0,8
Продолжительность солнечного сияния, ч/мес.	—	—	-24	-7	-20	-9	-8	-7	11	29	14
Перенос вод на север Северо-Атлантическим течением, км ² /ч	—	—	-0,8*	-1,1	-1,3	—	—	-0,8*	-0,8*	0,7	—
Соленость в Готландской впадине в слое, ‰	—	0,1*	-0,55	-0,55	-0,19*	-0,22*	-0,01*	-0,28	-0,58	-0,29	0,08*
0—230 м	—	0,5*	—	-0,5	—	—	-0,4	-0,4	-0,7	-0,5	-0,2*
100—200 м	—	0,08*	-0,16	-0,24	-0,09*	-0,12*	-0,08	-0,18	-0,37	-0,33	-0,26
0—30 м	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Глубина залегания изогаляны 10 ‰, м	—	-5*	11	13	9	—	8	5	14	10	—

Характеристика	1946—1950	1951—1955	1956—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1976—1980	1981—1985	1986—1990	Среднее за 1891—1990 гг.
Показатель количества естественных синоптических процессов, усл. ед.	8	12	16	21	6	9	4	4	-10	114
С-форма циркуляции, сут	25	6	10	13	3	-11	-21	-21	-21*	94
Разность между Э _ш и Э _м , мес.	-0,7	-2,5	-2,4	-2,4	-3,9	-3,6	-3,9	-1,1	0,7	2,9
Продолжительность солнечного сияния, ч/мес.	16	3	15	19	-2*	20	-5	-8	-7	207
Перенос вод на север Северо-Атлантическим течением, км ³ /ч	0,6	0,5	0,8	0,9	1,3	0,6	-0,9	-0,6	-0,6**	15,5
Соленость в Готландской впадине в слое, ‰										
0—230 м	0,30	0,61	0,39	0,36	0,38	0,22	0,54	0,20	-0,50	10,22
100—200 м	0,1	0,5	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1	-0,1	-0,9*	11,9
0—30 м	0,02	0,26	0,12	0,14	0,18	0,39	0,48	0,26*	—	7,22
Глубина застегания изогалины 10 ‰, м	-2	-7	-3	-6	-7	-7	-1	5	20*	85

Примечания: 1. Звездочкой (*) обозначены приближенные данные.

2. Э_ш и Э_м — числа месяцев с зональной и меридиональной формами циркуляции соответственно более чем в 16 случаях.

Косвенное подтверждение справедливости этого суждения мы нашли в последних исследованиях В. Н. Купецкого [65], который свел воедино основные морфометрические параметры солнечной активности и выявил, в частности, „44-летний цикл с четким чередованием низких и высоких значений в средних максимумах при линейном возрастании и в средних минимумах при линейном снижении. Из этого чередования следует вывод о низкой активности солнца до конца текущего столетия и отсутствии катастрофического возрастания активности в следующем веке. Верификация современных изменений водноледовых ландшафтов показала, что за последнюю четверть века — с 1964 г. значение 20-го и 21-го циклов укладываются между предшествующими, что свидетельствует об естественности происходящих процессов. Подтверждением этому служат наблюдающийся рост уровня Каспия и увеличение ледовитости арктических морей”.

Дополнением к этому высказыванию может служить табл. 3.9.

Фоновый (экспертный) сверхдолгосрочный прогноз изменения среды моря

Несмотря на то, что режим Балтийского моря имеет весьма специфические особенности, оно представляет собой составную часть Атлантического океана. Поэтому все крупномасштабные изменения климата, происходящие в Северном полушарии или в его Атлантическом секторе, в большей или меньшей степени проявляются и в бассейне Балтийского моря. С этих позиций мы и будем рассматривать ближайшие перспективы эволюции гидрометеорологического режима Балтики. Такой подход, хотя и схематизирует выводы о предстоящих климатических изменениях в этом море, но зато значительно упрощает поставленную задачу — позволяет использовать имеющиеся долгосрочные и сверхдолгосрочные прогнозы климатологических характеристик всех смежных районов Атлантического сектора Северного полушария.

Как показано в ряде работ [45, 47, 62, 65, 79, 81], на границе 50—60-х годов вековой ход солнечной активности достиг своего максимума, и 70-е — 80-е годы характеризовались ее быстрым уменьшением. Идентичные изменения следует ожидать до 2000—2016 гг. [79]. В частности, такой ход солнечной активности должен существенно изменить характер общей атмосферной циркуляции: на смену эпохе с преобладанием восточных и особенно меридиональных процессов придет эпоха преобладающего господства западных типов циркуляции.

По М. Х. Байдалу [46—48], 90-е годы характеризуются центральноарктическим положением полюса циркуляции атмосферы, благоприятствующим развитию зонального переноса воздушных масс в средних широтах Северного полушария, в конце XX — начале XXI вв. будет господствовать W-форма циркуляции.

Возрастание роли западного переноса в общей атмосферной циркуляции в конце 90-х — начале XXI в., естественно, приведет к значительному увлажнению. Так, М. В. Фролов (1958) полагал, что в последние десятилетия в Центральной Европе количество осадков будет возрастать.

Л. А. Вительс [52], на основании анализа дальнейшего хода вековой солнечной активности пришел к выводу, что в последние три десятилетия XX и в начале XXI в. вследствие резкого ослабления солнечной активности произойдет существенное ослабление Северо-Атлантического течения, а смещение путей циклонов к югу приведет к повышению континентальности климата европейской территории России и к повышению количества осадков в бассейне Балтийского моря.

Все это, как полагал И. В. Максимов, приведет к тому, что климат многих районов северной части Атлантического океана, вероятнее всего, станет таким, каким он был в 1890—1900 гг. Резко возрастут континентальность климата Европы, ледовитость морей западной части Арктики и, бесспорно, Балтики.

В. Адаменко, проанализировав темп роста хвойных деревьев на севере Урала и сопоставив его с климатическими изменениями в последние пять веков, пришел к выводу, что в начале следующего тысячелетия ожидается наступление периода роста ледников, а климат Скандинавии в конце текущего столетия будет напоминать климат начала XIX в.

Многие исследователи констатируют, что эпоха так называемого потепления Арктики уже закончилась. Об этом можно судить по данным П. В. Клименко (1963) (ход интегральных кривых температуры воздуха в январе и в июле в Москве и их разность показывают, что в этом районе происходит усиление континентальности климата). Из работы М. Родевальда (1956) следует, что в последний период значительно возросла континентальность климата, выразившаяся в увеличении экстремального значения температуры воздуха во все сезоны; признаки понижения температуры воздуха прослеживаются и на о-ве Шпицберген. Данные наблюдений судов погоды свидетельствуют, что температура воды северной части Атлантического океана заметно понижается, а А. П. Алексеев, А. И. Мухин, Л. Р. Солоницин (1974) указывают на прогрессивное снижение теплозапаса деятельного слоя Норвежского моря, начавшееся в 1953 г.

Н. И. Тябин (1958), составив долгосрочный прогноз векового хода ледовитости Баренцева моря на основании сопряженности вековых изменений гелиогеофизических и климатологических характеристик, пришел к выводу, что ледовитость этого моря в последние четыре десятилетия XX столетия будет характеризоваться устойчивой тенденцией к ее увеличению.

В работах [59, 65] указывается, что в 70-е годы происходило существенное увеличение площади льда в бассейне Северного Ледовитого океана и наблюдались другие климатические изменения в Атлантическом секторе Северного полушария.

Еще более убедительные факты в пользу естественной крупномасштабной изменчивости климата и гидрометеорологического режима в Северном полушарии приведены в работе В. Л. Купецкого [65].

Анализ многолетнего хода продолжительности ледостава на реках восточного побережья Балтийского моря свидетельствует о появлении в 60-е — 80-е годы тенденции к некоторому ее увеличению. Это подтверждается тем, что с начала XIX в. (в среднем по 50-летиям) до середины XX столетия число повторяемости мягких зим постоянно возрастало и одновременно снижалась повторяемость суровых зим, а в первую половину второго 50-летия XX в., наоборот, стало прослеживаться увеличение повторяемости суровых зим и уменьшение мягких.

Постепенное повышение уровня Каспийского моря [74], начавшееся в 1977 г. и продолжающееся по настоящее время, также указывает, что происходит изменение климата.

Нам представляется, что наличие устойчивой тенденции к понижению температуры воды и воздуха и повышению ледовитости морей Северо-Восточной Атлантики не вызывает сомнения.

Анализ гидролого-гидрохимических условий, сложившихся в Балтийском море в последние годы, четкая соразмерность аномалий рассмотренных элементов экосистемы в период стадий опреснения (с начала XX в. до 1935—1940 гг.) и осолонения (с 1935—1940 до начала 80-х годов), свидетельствует о завершении последней стадии осолонения моря, позволяет сделать однозначный вывод о вступлении этого моря в очередную фазу его естественного развития — относительного опреснения. Более того, изучение современного состояния гидрометеорологических, гидролого-гидрохимических условий и их изменений в противоположных стадиях развития моря, прогнозируемые солнечная деятельность и атмосферные процессы, позволяют не только определить тенденцию предстоящих изменений климата Балтийского моря, но и дать их количественную оценку.

Происходящие изменения климата приведут к изменению условий жизни в море. Сначала сократятся, а в начале XXI в. совсем должны исчезнуть зоны, зараженные сероводородом, конечно, если будет отсутствовать антропогенное загрязнение. Улучшатся условия воспроизводства для рыб полупроходных и приустьевых видов и значительно ухудшатся условия воспроизводства рыб морских видов, что уже происходит [12, 23, 33, 37, 38, 42, 64, 82].

Глава 4

МЕТОД ЕЖЕГОДНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ СВЕРХДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ СОЛЕВОГО РЕЖИМА МОРЯ

При современном состоянии долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования, когда многие его аспекты находятся в стадии затянувшегося становления, наиболее оправданным и оптимальным вариантом может стать совмещение данных оценки длительных тенденций того или иного геофизического процесса с конкретными данными более обеспеченных прогнозов межгодовой изменчивости этих процессов.

Эта схема использована нами и в настоящей работе, т. е. сверхдолгосрочный прогноз тенденции в изменении солевого режима на 10—15 лет дополняется межгодовыми прогнозами изменений солёности Балтийского моря.

Результаты исследований закономерностей внутригодового хода водообмена, а следовательно, и изменений солёности, обстоятельно изложены в работах И. М. Соскина [77], В. К. Виртки (1954) и других, поэтому здесь мы только заметим, что, по-видимому, ведущую роль играет разность уровней между Каттегатом и Балтикой во второй половине года, в период максимального стояния уровня в бассейне Северного моря. В результате того, что осенью в Северном море, Скагерраке и Каттегате отмечается высокое стояние уровня, а в Балтийском море в этот же сезон — низкое стояние, создаются условия для повышенного притока солёных североморских вод в Балтийское море. Если же обуславливается аномально низкое стояние уровня, то тогда будут наблюдаться мощные поступления североморских вод в Балтийское море. Срабатывает так называемый гидравлический эффект.

Таким образом, увеличение разницы между уровнем Каттегата и Балтийского моря при прочих равных условиях является одной из основных причин, благоприятствующих более интенсивному проникновению солёных североморских вод в Балтику. В связи с этим при отыскании закономерностей механизма „влива” североморских вод в Балтийское море основное внимание было обращено на уровень моря во вторую половину года. За индикатор уровня был взят средний уровень для Венгспилса и Колки, а за показатель интенсивности влива североморских вод — глубина залегания изогалины 10 ‰ в южной Балтике. По нашему мнению, глубина залегания изогалины 10 ‰ — довольно хороший показатель степени интенсивности поступ-

ления соленых североморских вод в Балтийское море. Действительно, каждый новый приток этих водных масс вызывает определенное увеличение объема придонных вод, поднятие их верхней границы, следовательно, и изогалины 10 ‰. Чем больше в Балтику влилось соленой воды, тем выше должна подняться изогалина 10 ‰, и наоборот, чем длительнее стагнация придонных вод, тем глубже залегание изогалины 10 ‰. Глубина ее залегания является своего рода интегральным показателем интенсивности подтока соленых североморских вод в бассейн Балтийского моря.

С другой стороны, некоторые исследователи отмечали, что сам уровень Балтийского моря является как бы показателем водообмена в Датских проливах, точнее, индикатором притока североморских вод. Так, И. Хела (Hela) [86] показал, что колебания уровня вызывают соответствующие изменения солености в придонном слое моря.

Уровень моря — это один из важнейших показателей большинства гидрологических процессов, протекающих в море. Он как бы интегрирует в себе последствия таких явлений, как материковый сток, атмосферное давление, осадки и испарения с поверхности моря, ветровой и термический режим, которые так или иначе влияют на водообмен в проливной зоне, а следовательно, и на соленость вод моря.

Сопоставление данных динамики уровня моря и показателей интенсивности подтока соленых североморских вод позволило установить хорошую связь между уровнем моря в июле—декабре и последующим приращением толщины слоя придонных вод (см. рис. 3.6). При построении этой связи были использованы все имеющиеся у нас данные глубоководных наблюдений в Гданьской и Борнхольмской впадинах, а именно: за 1902—1907, 1928—1930, 1936—1938 и 1946—1965 гг.

Высокий коэффициент корреляции приведенной связи свидетельствует, что здесь „схвачена” одна из основных закономерностей механизма межгодовой изменчивости подтоков североморских вод в Балтийское море, которая успешно может быть использована для составления долгосрочных прогнозов колебания относительного объема солености придонных вод в южной части Балтийского моря, т. е. степени интенсивности „влива” североморских вод в море.

Уравнение регрессии между показателями динамики уровня моря и положением изогалины 10 ‰ имеет вид

$$y = 0,14 - 0,486 x, \quad (6)$$

где y — приращение средней глубины залегания изогалины 10 ‰ данного года по сравнению с ее положением в мае—августе в Борнхольмской и Гданьской впадинах прошлого года; x — от-

клонение среднего уровня в Колге и Вентспилсе и июле—декабре от среднего значения за 1946—1965 гг.¹ (по данным за 1947—1982 гг. уравнение этой связи стало иметь следующий вид: $y = 0,34 \pm 0,461 x$).

Оценка оправдываемости морских долгосрочных прогнозов по прогностическим связям также была осуществлена по независимым данным за 1967—1984 гг. Оказалось, что при допустимой погрешности δ , равной стандартному отклонению $\sigma = 5$ (размах глубины залегания изогалины 10 ‰ в южной Балтике за более чем 30-летний зависимый ряд), среднеквадратическая погрешность 18 прогнозов (за 1967—1984 гг.) составила всего 4 м. При исключении из опытных прогнозов сомнительных данных за 1982 и 1983 гг. уровень среднеквадратической погрешности прогнозов снижается до 3 м.

Исследование устойчивости прогностической связи показало, что при сопоставлении значений коэффициента корреляции и его вероятного отклонения по двум рядам ($n_1 = 26$ и $n_2 = 35$ с 1947 по 1982 г.) выполняется главное условие устойчивости $|R_1 - R_2| \leq E_1 + E_2$; $|0,815 - 0,723| < 0,052 \div 0,054$.

Отсюда следует, что предлагаемый метод долгосрочного морского прогноза межгодовой изменчивости относительного объема „влива” соленых североморских вод отвечает высоким требованиям практики прогнозирования, и его можно рекомендовать для использования в целях корректировки сверхдолгосрочного прогноза солености моря. Здесь же отметим, что для этого можно применять и другие прогностические связи, разработанные автором ранее [40]. Отношение среднеквадратической погрешности прогноза (S) к среднеквадратическому отклонению (σ) составило 0,57 при максимально допустимом значении 0,80. Это отношение является основным критерием применимости метода в оперативной практике. При $\delta = \sigma \pm 5$ м обеспеченность данного метода прогноза составляет 92 %, а его эффективность — 24 %. Графическое изображение этой связи представлено на рис. 4.1.

Оценка возможностей использования уравнения (6) для предсказания межгодовой изменчивости приращения толщины слоя североморских соленых вод в южной части Балтийского моря произведена по данным работ [48, 60].

Наряду с вышеизложенным следует отметить, что определенную корректировку сверхдолгосрочного морского гидрометеорологического прогноза для Балтики можно получить и при последовательном включении в расчет прогностической модели материалов по предикторам и предиктантам, например спустя 3, 5, 10

¹ Идентичная связь была установлена и для Кронштадта.

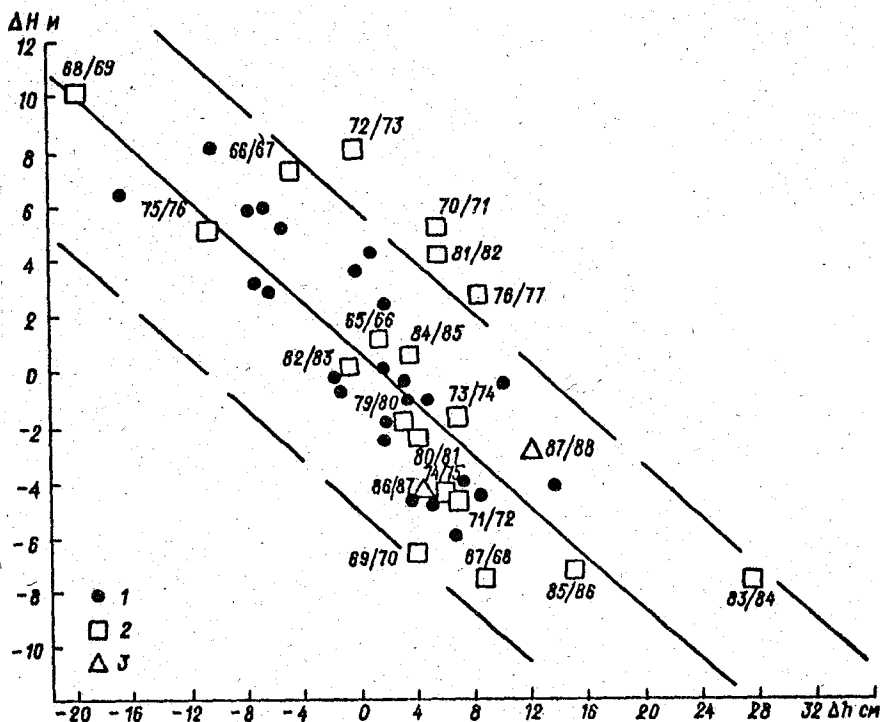


Рис. 4.1. Связь приращения толщины слоя североморских вод в Борнхольмской и Гданьской впадинах в мае и августе прогнозируемого года с аномалией среднего уровня в Вентспилсе и Колке во второе полугодие исходного года.

1 — данные, используемые для расчета прогностического уравнения; 2 — расчетные данные на независимом материале; 3 — оперативный прогноз.

Цифры у точек: числитель — исходный год; знаменатель — прогнозируемый год.

лет после первоначального составления прогноза, а также при помощи приемов, изложенных в работах [7, 9, 17, 32].

Для корректировки сверхдолгосрочных прогнозов, составленных автором, можно использовать регрессионные связи, приведенные в работе [32], позволяющие идентифицировать характер подтока свежих североморских вод не только по приращению мощности этого слоя в южной Балтике, но и по рассчитанным абсолютным значениям солености этих вод и содержания в них растворенного кислорода.

Глава 5

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОСЛЕДНИЕ 2000 ЛЕТ

В современный климатический период (субатлантический — холодный и влажный) свой вид Балтийское море, его берега и в значительной мере его гидролого-гидрохимический режим приобрели в последние 2—3 тыс. лет.

Для наглядности на рис. 5.1 приведено пространственное распределение солёности поверхностного слоя в Литориновом и Балтийском морях. Хорошо видно, что в ту не так далекую стадию развития этого морского бассейна поверхностная солёность была в 2 раза выше, чем солёность настоящего времени, например, в средней части моря ее значение составляло 13 ‰, а сейчас — 7 ‰. В целом солёность воды в период Литоринового моря по сравнению с современной стадией была на 5—6 ‰ выше. Стадия повышенной солёности и несколько повышенной температуры воды (температура воздуха в южной Швеции была на 2,2 °C выше) продолжалась примерно 4 тыс. лет. В результате этого в бассейне появились новые фауна и флора. В связи с началом нового поднятия дна в районе Датских проливов степень связанности Литоринового моря с Атлантикой стала уменьшаться, приток соленых океанических вод в Балтийское море ослабел и значения солёности стали близки к современным. Это произошло примерно 2 тыс. лет до н. э.

Современное население Балтийского моря сформировалось уже в послеледниковое время, и его состав весьма разнороден. Оно включает в себя три основных компонента: морской, пресноводный и солоноватоводный. Существенное место в современном населении моря занимают морские реликты прежних геологических периодов, а также древние солоноватоводные арктические реликты, сформировавшиеся в ледниковое время в опресненных частях Полярного бассейна (Л. А. Зенкевич, 1963).

А как в дальнейшем будет развиваться геологическая судьба Балтийского моря, как это будет соотноситься с его гидролого-гидрохимическим и экологическим режимами? Если допустить, что характер и интенсивность движения земной коры и подъем уровня воды в Балтийском море сохранятся, то можно представить, что через 6—7 тыс. лет... „Взглянем на карту Балтийского моря будущего. В теперешнем Ботническом заливе раскинулось большое, почти закрытое пресноводное озеро. Его отделяет перемычка, связывающая Швецию и Финляндию. Финский залив зна-

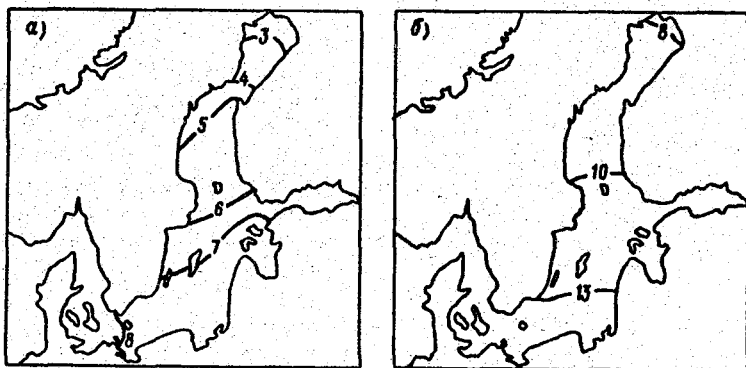


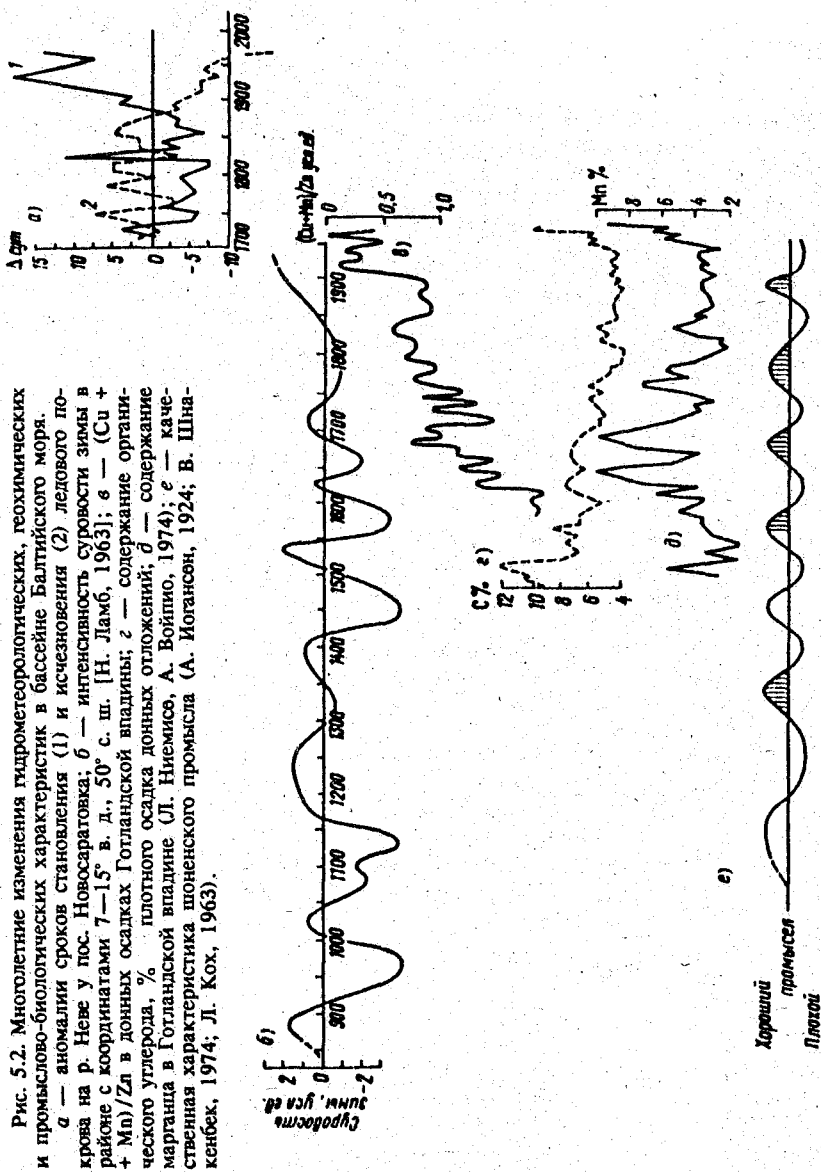
Рис. 5.1. Соленость поверхностного слоя (‰) в Балтийском (а) и Лигурийском (б) морях [по Петтерсону].

чительно сузился. На месте Рижского залива — полузакрытое озеро, а эстонские острова соединились с сушей... На этом месте (на месте Куршского залива) мы увидим прибрежную низменность с отдельными озерами, и ни следа больших дюн. Это карту будущего Балтийского бассейна можно представить только при условии, что все изменения будут происходить сами по себе, без вмешательства человека. Но так, безусловно, не будет...” (А. Гуделис, 1973).

Это о далеком будущем, а что же будет в ближайшие, если не столетия, то десятилетия? И как будет соизмеряться с этим современная гидролого-гидрохимическая (и экологическая, бесспорно) ситуация. Для этого необходимо сопоставить характер климатических изменений современной Балтики с изменениями сравнительно недалекого прошлого с меньшим временным шагом, в частности, соленость вод моря.

Данные рис. 5.2 свидетельствуют о том, что на протяжении последнего тысячелетия в рассматриваемом регионе Мирового океана прослеживались весьма существенные внутривековые, и особенно межвековые, изменения метеорологических, гидрологических, геологических характеристик и характеристики биосферы моря.

Вероятно, что и в первые 600 лет н. э. могли наблюдаться такие же большие (если не больше) изменения показателей среды моря и его жизни. Подтверждением этому могут служить данные о суровости зим в регионе, а также сведения о структуре и геохимическом составе осадков в эти столетия [7, 9].



Наличие существенной межгодовой и многолетней изменчивости абиотических условий среды наряду с четко выраженной долгопериодной (как внутривековой, так и межвековой) крупномасштабной стабильностью эволюции моря как единого природного объекта предопределяет существование соответствующих флюктуаций рыбных запасов и уловов (А. Е. Антонов, 1987). С большим основанием можно использовать сведения об истории какого-либо промысла для индексации соответствующих флюктуаций гидрометеорологического режима моря, следовательно, о крупномасштабных изменениях его солевого режима. История балтийского рыбного промысла знает немало примеров больших колебаний уловов и запасов тех или иных промысловых рыб. Известны примеры катастрофических снижений численности некоторых видов рыб, а некогда здесь было много таких ценных рыб, как осетр. Сейчас в Балтике его практически нет. Неоднократно то исчезали, то вновь появлялись килечные, сельдевые, тресковые и иные промыслы. Но наиболее известен так называемый шоненский промысел сельди.

Более 12 столетий славился шоненский промысел, центром которого были западные районы Балтики, проливы Каттегат и Скагеррак. На протяжении 900-лет период расцвета промысла сменялся периодом сильного упадка, и наоборот. В характере развития этого промысла прослеживается определенная цикличность длительностью 80—100 лет (см. рис. 5.2 е). Естественно предположить, что динамика этого процесса связана в первую очередь с изменчивостью запасов объекта промысла (сельди) и зависит от колебаний климата. Сопоставление кривой развития этого промысла с кривой, оттеняющей характер межвековой изменчивости ледовитости в регионе, подтверждает это. Следовательно, существуют подвижки солевого режима моря, тем более что различные изменения (крупномасштабные и долговременные) среды и жизни моря — единый процесс эволюции экосистемы моря, обусловливаемый соответствующими изменениями климата [7, 9]. В связи с тем, что крупномасштабные изменения солёности в шельфовых морях Северной Европы и в Балтике идентичны, то можно с определенной степенью достоверности судить о наличии связи между сопоставляемыми кривыми (рис. 5.3).

Более цельное представление о солёности на поверхности моря в течение последних 150 лет дает рис. 5.4, заимствованный из работы А. Свенсона (1975). Он свидетельствует о весьма существенном изменении солёности на поверхности моря за последние 150 лет с циклом 45—55 лет.

По данным, собранным русскими исследователями К. М. Бэром (1860) и С. О. Макаровым (1884) летом 1852, 1854 и 1892 гг., на поверхности моря были зафиксированы следующие значения

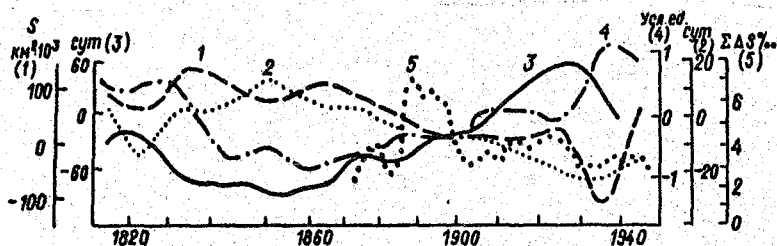


Рис. 5.3. Временной ход гидрометеорологических характеристик, осредненных по десятилетиям.

1 — аномалии значений максимальной площади ледового покрова на Балтике; 2 — продолжительность ледостава на р. Неве; 3 — повторяемость западной формы циркуляции; 4 — модульный коэффициент стока р. Неман; 5 — соленость у плавмаяка Хельголанд-Рид [Е. Гедке].

солености: в восточной части Рижского залива 5,7 и 6,2 ‰; вокруг Моонзундского архипелага от 5,9 до 8,8 ‰ (к западу от архипелага); в западной части Финского залива 6,7 — 6,8 ‰; к северо-востоку от о-ва Борнхольм 7,4—7,6 ‰; в районе Кильской бухты 15,7 — 17,5 ‰. Эти данные в какой-то мере дополняют сведения рис. 5.4 и свидетельствуют о том, что, например, в Рижском заливе, в западной части Финского залива и к западу

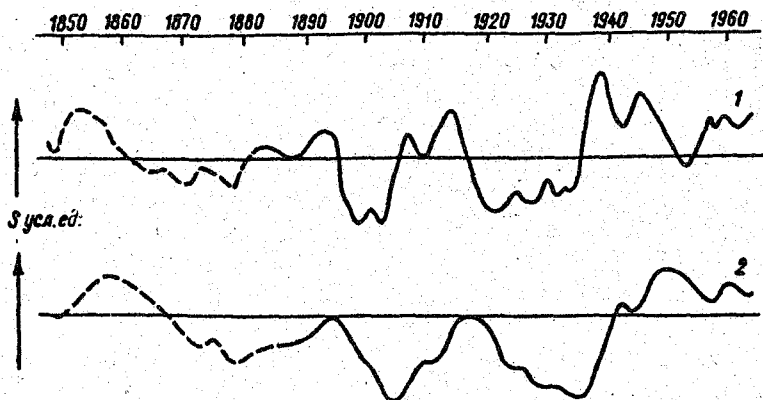


Рис. 5.4. Годовые значения солености на поверхности Балтийского моря у плавмаяков Шульц-Грунд (1) и Свенска-Бьёрн (2).

от Моонзундского архипелага в те далекие годы соленость на поверхности моря была выше современной на 0,5—1,0 ‰.

Еще в 1922 г. М. Рундо отмечал, что значения солености глубинных вод в начале XX в. были намного ниже отмеченных здесь в 1877—1887 гг.

5.1. Изменения солености Балтики в XX в.

В результате проведения в Балтийском море регулярных инструментальных наблюдений за соленостью ее изменения в различных районах и слоях Балтики в течение XX в. хорошо изучены. Данные этих исследований приведены во многих работах и монографиях [7, 9, 15, 40, 77, 81, 86]. Здесь же рассмотрим два рисунка, отражающих многолетний ход значений солености в разных слоях и районах, в том числе в интегральной форме, которая хорошо показывает крупномасштабную изменчивость этого важнейшего гидролого-гидрохимического и экологического элемента экосистем Балтийского моря (рис. 5.5). Данные этого рисунка свидетельствуют о том, что изменения солевого режима Балтийского моря на протяжении последних 100 лет привели к кардинальным изменениям не только среды, геолого-химических процессов, но и всей экосистемы.

В первое сорокалетие XX столетия соленость Балтийского моря характеризовалась малыми значениями. Балтика пребывала в так называемой стадии относительного распреснения со всеми вытекающими из этого последствиями. В конце 30-х — 40-х годах, как показывает резкий обратный излом интегральных кривых, солевой режим вновь резко изменился (см. рис. 5.5). С этого времени до конца 70-х годов преобладали высокие значения солености воды Балтийского моря (в отдельных слоях значения составляли 0,5 ‰ и более), наступила (по мнению некоторых исследователей) стадия атлантизации.

Закончившаяся стадия осолонения моря, развивавшаяся на фоне роста солнечной активности при полном преобладании меридиональных атмосферных процессов и усиленной „перекачке” теплых и соленых океанических вод на север через Фареро-Шетландский пролив, характеризовалась довольно высокими аномалиями солености воды. Поэтому переход Балтики в новую стадию своего развития на рубеже 70-х — 80-х годов не вызывает сомнения. Однако в силу определенной дифференциации изменений гидролого-гидрохимических условий в разных слоях и районах моря и в силу наличия противофазности развития океанологических процессов в открытой части Балтики и ее восточных заливах сроки и характер самого перехода в стадию распреснения в различных слоях и районах моря существенно различны. Так, в

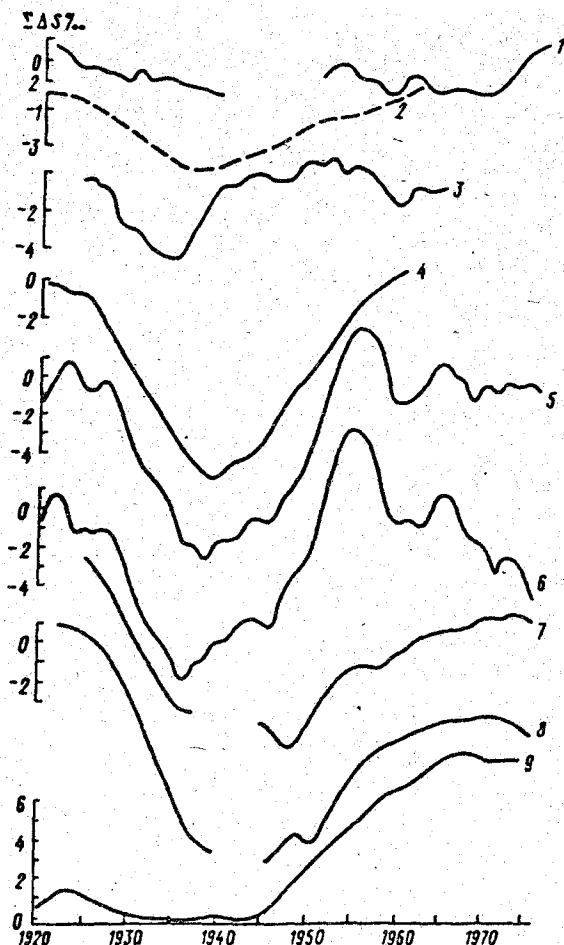


Рис. 5.5. Разностно-интегральные кривые значений солености в различных районах Балтики.

1 — оз. Озерки, 0 м; 2 — Финский залив, 0—30 м; 3 — Рижский залив, 0 — дно; 4 — плавмаяк Уте, 0—90 м; Борнхольмская впадина, 0—90 м (5) и 60—90 м (6); Готландская впадина, 0—230 м (7) и 100—200 м (8), 9 — о-в Христиансо, 0 м.

придонных слоях юго-западной части моря в связи с резким снижением „напора” североморских вод (расходы Северо-Атлантического течения на север уменьшились, по сравнению с 50-ми — 60-ми годами, на 30 %) относительное распределение началось в 70-х годах. В столбе воды от поверхности до дна в Готландской впадине время перехода в стадию опреснения можно отнести к 1981—1983 гг., когда средневзвешенная соленость всей толщи моря достигла среднееголетних значений. Что касается поверхно-

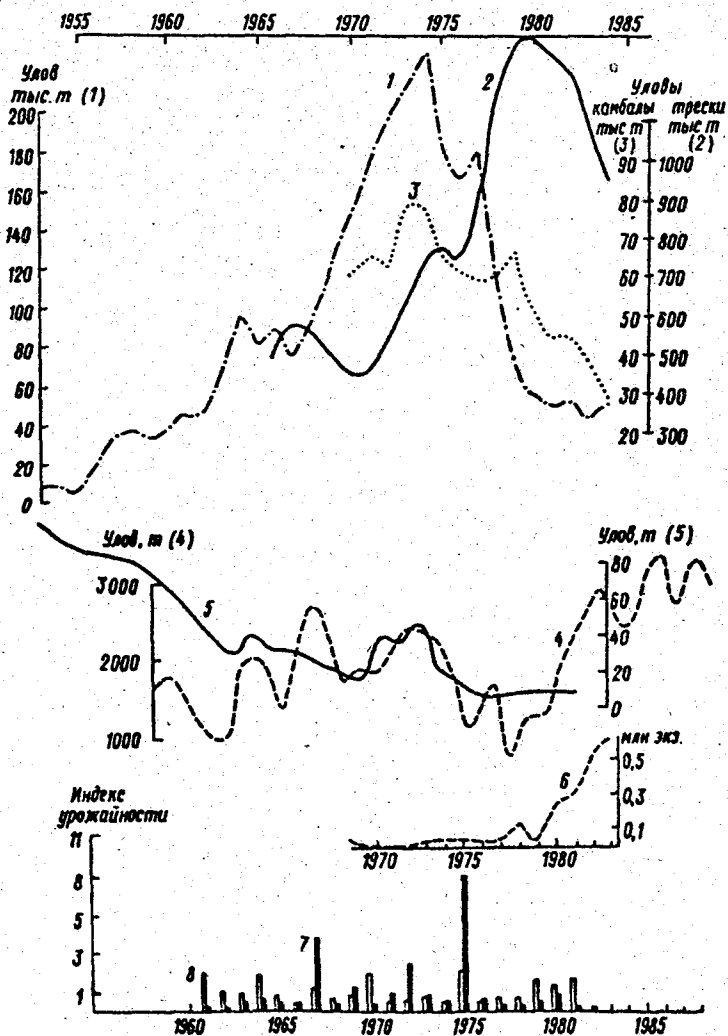


Рис. 5.6. Многолетние изменения уловов и запасов промысловых рыб.
 1 — улов шпрота; 2 — уловы трески; 3 — уловы речной камбалы [Оявеер, Калейс, 1988]; 4 — „ленинградские“ уловы корюшки в Финском заливе; 5 — уловы сига в Финском заливе; 6 — количество сеголеток сига [Fin. Fisch Report. — 1985 — № 6]; 7 — индекс урожайности шпрота, 8 — индекс урожайности салаки.

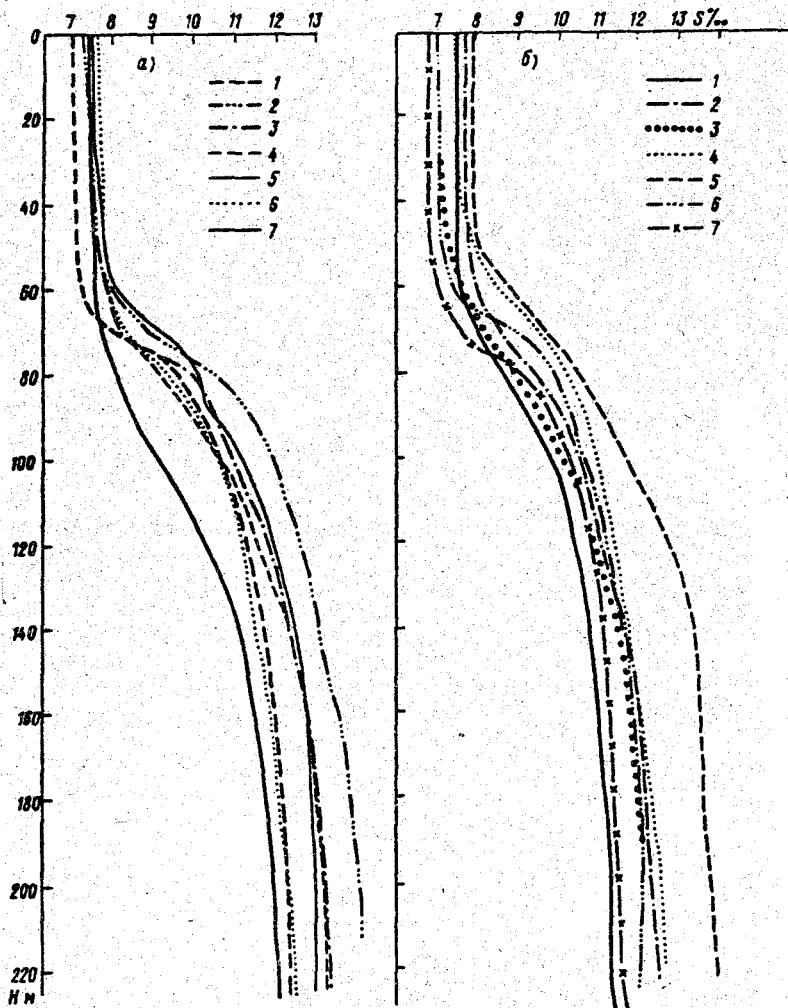


Рис. 5.7. Вертикальное распределение солёности в центре Готландской впадины зимой (а) и весной (б) 1991 г. в сопоставлении с ее распределением в другие характерные годы.

а: 1 — 23.02.30 г., 2 — 23.02.53 г., 3 — 02.03.59 г., 4 — 22.02.63 г., 5 — 22.02.75 г., 6 — 19.03.85 г., 7 — 17.02.91 г.;
 б: 1 — 13.07.05 г., 2 — 03.06.34 г., 3 — 28.04.36 г., 4 — 25.05.53 г., 5 — 28.03.60 г., 6 — 20.05.76 г., 7 — 20.05.83 г.

стной солености в центральной части моря, то здесь стадия опреснения, судя по всему, оформилась лишь в 1987—1988 гг. Очевидно, это годы можно принять за время окончательного вступления Балтики в стадию очередного эволюционного опреснения.

Подтверждением факта устойчивого перехода Балтики из стадии осолонения в стадию опреснения могут служить данные, приведенные на рис. 5.6, из которого видно, что воспроизводство рыб морских видов сокращается, условия жизни у представителей пресноводной фауны улучшаются. Например, условия раннего онтогенеза трески ухудшились настолько, что она перешла на нерестилища в юго-западную часть моря.

В 1987—1991 гг. произошло значительное углубление и ускорение процессов, переводящих Балтику в очередную стадию распреснения, в первую очередь, существенное уменьшение солености во всех слоях моря. Знаменательным в этом отношении фактом является то, что в придонных слоях, а частично в глубинных и промежуточных (70—80 м), значения солености снизились до абсолютного минимума. В Готландской впадине на глубине 80—240 м зимой и весной 1991 г., по данным БалтНИИРХ, были зафиксированы абсолютные минимальные значения солености за все время инструментальных наблюдений, которые были на 0,2—1,1 ‰ ниже отмеченных в 1933—1935 гг., т. е. в годы максимального распреснения предыдущей стадии опреснения (см. табл. 3.9, рис. 5.7).

5.2. Гелиофизический и климатический фон предстоящих изменений в солевом режиме моря

Современное состояние и предстоящие крупномасштабные изменения главного гелиофизического процесса солнечной активности рассмотрим на примере рис. 5.8, заимствованного из работы [79], на котором представлен график временного хода чисел Вольфа в течение XVII—XX вв. и прогноз на XXI в. Из рис. 5.8 хорошо видно, что последние десятилетия XX в. и первые десятилетия XXI столетия приходятся на ниспадающую ветвь векового цикла солнечной активности с вековым минимумом примерно в 2016 г. После этого ожидается возрастание чисел W_0 с первым максимумом приблизительно в 2069 г. ± 10 . Второй максимум в вековом цикле ожидается около 2092 г. ± 10 лет. Отметим, что В. И. Купецкий в работе [65] писал о том, что в конце XX столетия будут наблюдаться низкие значения солнечной активности и что в XXI в. не следует ожидать „катастрофического возрастания активности солнца“.



Рис. 5.8. Временной ход значений солнечной активности в XVII—XXI вв.

По мнению абсолютного большинства ученых, предстоящие 25—35 лет будут приходиться на „подошву” вековой волны.

Результаты исследований убедительно показали, что такой ход солнечной активности обусловит снижение меридиональности в атмосферных процессах и развитие зональных процессов. Н. Д. Виноградов в работе [51] отмечал, что в последние полтора десятилетия резко возросла повторяемость второй группы Е-формы циркуляции с более активными составляющими зонального переноса, обусловившая еще при низких значениях W -формы циркуляции заметное „притеснение” меридиональных процессов и заметную перестройку глобального поля давления. В частности, сократились размеры северного отрога Азорского максимума, постепенно все более и более опускающегося к югу.

М. Х. Байдал, А. Г. Ханжина [47] на основе глубокого анализа развития широтной циркуляции пришли к выводу, что, начиная с 70-х годов, широтная циркуляция, не будучи господствующей, будет отличаться все чаще и чаще и станет господствующей в 2001—2013 гг. Ранее об этом говорил А. А. Гирс, полагавший, что в конце XX в. должна наступить эпоха усиления зональной циркуляции в определенных сочетаниях с С- и Е-формами. Как известно, при сильном развитии W -формы циркуляции несколько видоизменяются поле давления и взаимное расположение атмосферных центров действия в регионе, в частности, уменьшающих силу и направление юго-западных переносов. Барические образования при этом быстро перемещаются с запада на восток, усиливаются межширотные градиенты, циклоны следуют на Европу по более южным траекториям, усиливается об-

лачность и т. д. Все это способствует росту увлажненности на европейской части России, что мы и наблюдаем в настоящее время. Например, в последние полтора десятилетия XX в. резко сократилась продолжительность солнечного сияния в регионе (см. табл. 6.6).

Увеличение облачности, увлажненности и резкое сокращение продолжительности солнечного сияния не замедлили сказаться на характере развития других гидрометеорологических процессов, в частности, в бассейне Ладоги стал подниматься уровень грунтовых вод. Сильно возросли расходы многих рек европейской части России, например, Невы, Северной Двины. И, что наиболее примечательно, внушительно вырос сброс вод Волги. Действительно, ни что иное не могло вызвать возрастание расходов этих рек, как перечисленные климатические изменения. Увеличение расходов р. Волги при существующем огромном безвозвратном антропогенном отъеме ее вод является одной из основных причин неуклонного подъема уровня Каспийского моря, начавшегося еще в 1978 г. (год, когда началось распреснение Балтийского моря).

Налицо последствия глобального процесса, охватившего собой огромные акватории Атлантического океана и не менее значительные территории Евразии, который будет развиваться и далее. Как следует из ряда прогностических разработок, к 2000 г. количество осадков увеличится на 5—8 %, сток рек превысит норму на 10—15 %. Е. А. Леонов (1987) полагает, что сток на европейской части России будет весьма высоким, вплоть до 1997 г. П. Ф. Галет и Н. В. Мякишева (1992) сделали вывод, что уровень Ладожского озера, а следовательно, и речной сток в его бассейне будут повышенными до 1995 г.

Непосредственными причинами повышения солёности на 1—2 % было сокращение осадков в регионе на 7—10 %, стока — на 10 % и увеличение поступления солёных вод примерно на 60 %. При средней глубине моря 51 м толщина слоя солёных вод североморского происхождения стала на 25—30 м больше, чем в 30-е годы. Возросшая стратификация способствовала мощному высвобождению фосфатов из грунтовых растворов и вовлечению их в продукционные процессы. Увеличение содержания фосфатов, а также продолжительности солнечного сияния на 20 %, повышение температуры воды более чем на 10 % обусловили ускоренную оборачиваемость питательных солей. Все это в конечном итоге способствовало созданию во второй половине только что закончившейся стадии осолонения (60-е—70-е годы) наиболее благоприятнейших условий для продуцирования органических веществ и мощного увеличения общей биологической продуктивности бассейна. По результатам рыбопромысловых исследований такое развитие природных процессов было основной причиной роста чис-

ленности популяций рыб морских видов, частным проявлением чего явилось увеличение общего вылова рыбы с 1949 к 1950—1980 гг.

Отмеченное современное понижение уровня солнечной активности уже привело к снижению атмосферного давления в рассматриваемом регионе и весьма заметному усилению зональной циркуляции, которая соответствовала ослаблению Северо-Атлантического течения. Эти изменения атмосферно-океанической циркуляции вызвали значительное сокращение стока соленых североморских вод в Балтийское море, обусловили существенное увеличение увлаженности на европейской части России и соответствующее повышение количества осадков и речного стока. А вследствие увеличения облачности, понижения температуры воздуха и воды уменьшилось испарение, что, в свою очередь, способствовало еще большему увлажнению, следовательно, и большему увеличению стока рек. В итоге происходит значительное распреснение вод моря, небывало интенсивное падение вертикальных градиентов солености, в результате чего, естественно, улучшается обеспечение глубинных вод растворенным кислородом. Зимой 1991 г. большая часть северной Балтики „избавилась” от заражения сероводородом. Толщина слоя североморских вод уменьшилась на 15—20 м, восстановительная среда стала постепенно уступать место окислительной. Интенсивность воспроизводства органического вещества резко упала, катастрофически ухудшились условия раннего онтогенеза у рыб морских видов, например, трески, заметно сократилась рыбопродуктивность моря, упали уловы морских рыб.

Другими словами, прямое и косвенное влияние всех этих климатических проявлений будет и впредь оказывать распресняющее воздействие на Балтийское море. Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что происшедший переход Балтики из стадии осолонения в стадию опреснения — не изолированный процесс, он определен всем ходом эволюции климата в Атлантическом секторе Северного полушария. Отражением этого климатического процесса могут служить многолетние изменения важнейших атмосферных и океанических циркуляционных механизмов климата.

Данные рис. 5.9 показывают, что такой показатель характера изменений и структуры атмосферной циркуляции, как число естественных синоптических периодов в году в Северном полушарии, убедительно свидетельствует о коренных преобразованиях в циркуляции атмосферы, происшедших в 60-е годы и еще более углубившихся во второй половине 80-х годов. Также на рисунке наглядно проиллюстрированы глубокие изменения в океанической циркуляции Северной Атлантики в течение 70-х — 80-х годов.

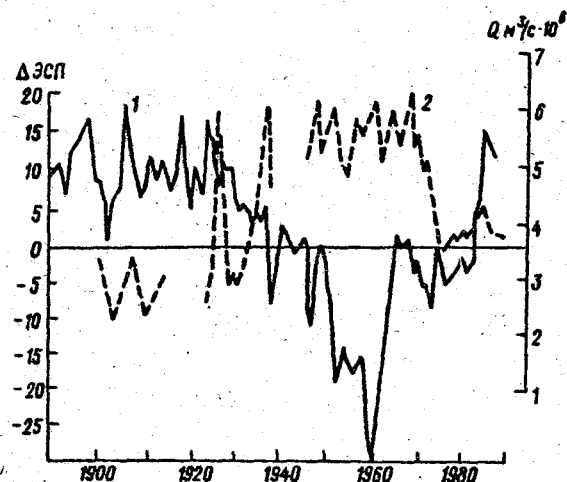


Рис. 5.9. Изменение продолжительности элементарных синоптических периодов (1) [56] и временной ход переноса Северо-Атлантического течения через Фареро-Шетландский пролив (2) [80].

Завершая анализ геофизического и общеклиматического фона, фактически обусловившего современное состояние, ближайшую и отдаленную перспективу гидрометеорологического режима Балтийского моря, еще раз отметим, что свершившиеся и ожидаемые преобразования в среде Балтийского моря являются результатом глобальных, планетарных климатических флуктуаций.

В заключение отметим, что уточненная оценка предстоящей длительной природной эволюции солевого режима Балтийского моря, определяющего, по существу, все развитие балтийской экосистемы, основана на использовании длительных асинхронных связей солёности с репрезентативными показателями структуры и характера развития атмосферно-океанической циркуляции в Северной Атлантике с большим упреждением (от 5 до 25 лет и более), представленных в виде линейных моделей множественной корреляции. Использование фундаментальной закономерности квазистационарного чередования противоположных стадий эволюции режима позволяет, в соответствии с вековыми ветвями солнечной активности, увеличить шаг прогнозирования и его заблаговременность на 4 десятилетия, что дает возможность с большей достоверностью судить о предстоящих долгосрочных изменениях солёности, сделанных на основании расчета, например, по формуле (19) из табл. 2.2.

Глава 6

СВЕРХДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ПРЕДСТОЯЩИХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В ЕСТЕСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА БАЛТИКИ И ВЕРШИНЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

6.1. О непосредственных причинах катастрофических наводнений в Невской губе

Исследования последних лет (А. Е. Антонов, 1992, 1993) показали, что авторские прогностические разработки имеют прямое отношение к проблеме предупреждения катастрофических наводнений в вершине Финского залива и, естественно, в С.-Петербурге. Выяснилось, что стадия распреснения, в которую Балтика вступила на рубеже 70-х — 80-х годов, представляет собой одно из немаловажных условий экстремального подъема уровня в Невской губе во время соответствующей наводненческой ситуации. В течение этой стадии эволюции климата моря за счет резкого увеличения объема поверхностных распресненных вод существенно возрастает кинематическая мощь водных масс, вовлекаемых „наводненческим” циклоном в формирование и перемещение к вершине Финского залива основной материальной силы наводнений — длинной волны. К 90-м годам объем этих вод возрос примерно на 4 тыс. км³.

Основной компонентой любого катастрофического неевского наводнения действительно является длинная волна, порождаемая свободным растеканием водных масс из района „приподнятой” водной поверхности, создаваемой глубоким циклоном (рис. 6.1). В это образование вовлекаются огромные водные массы Балтики, которые в виде длинной волны растекаются по сторонам, в том числе и в Финский залив.

Движущаяся на восток длинная волна на своем пути находит все время уменьшающееся живое сечение Финского залива (рис. 6.2) и, начиная от устья залива, высота волны все время растет. Повышению уровня способствуют и сейшевые колебания. Особенно велика их роль, когда скорость движущегося над Балтикой циклона составляет 40—60 км/ч, а циклоны следуют один за другим с интервалом 24—28 ч. Раскачивающиеся водные массы способствуют наложению предыдущих колебаний на последующие.

Другими, более длительными, компонентами катастрофических наводнений являются сизигийные приливы. Если катастро-

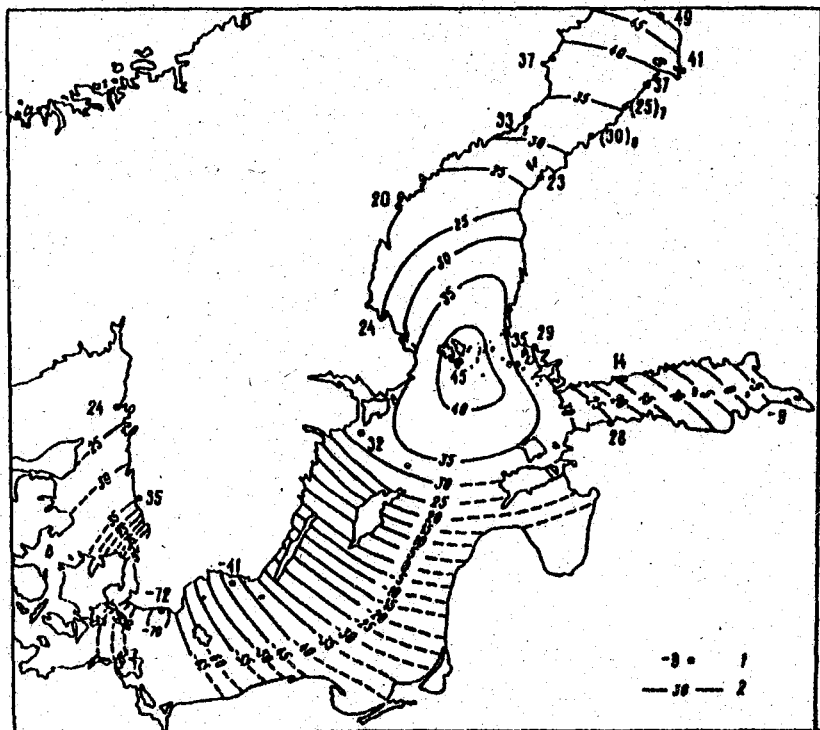


Рис. 6.1. Топография уровенной поверхности Балтийского моря в 06 ч 23 сентября 1924 г. (Н. Н. Лазаренко).

1 — местоположение уровенного поста; 2 — линии равных высот уровня, см. Цифры у точек — высота уровня моря, см.

фическое наводнение приходится на максимальное развитие колебания — сизигию, то высота наводненческой волны увеличится на 20—23 см.

Для полноты картины катастрофического наводнения и сил, его порождающих, приведем количественные значения водных масс, участвующих в движении в виде длинной волны. Например, в створе Таллинн — Хельсинки за 6 ч в сторону Невской губы с запада на восток проходит 27—30 км³ морской воды. При этом максимальный расход, например, в створе Кройштадта составляет 100—120 тыс.м³/с. И вся эта громадная масса воды, двигаясь на восток, как бы вталкивается в узкое горлышко огромной бутылки (см. рис. 6.2).

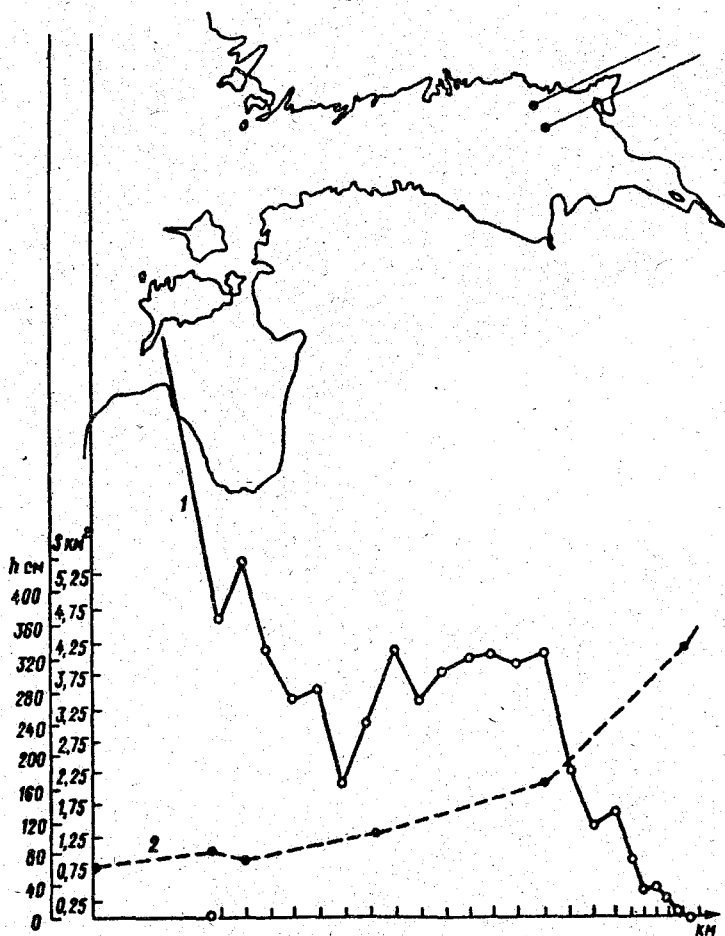


Рис. 6.2. Изменение живого сечения Финского залива (1) и график нарастания гребня волны наводнения 23 сентября 1924 г. (2).

Приведем некоторые статистические данные невских наводнений. За 290 лет существования города (1703—1993 гг.) было зафиксировано около 290 наводнений с подъемом уровня более 150 см над ординаром у Горного института. Наводнений с повышением

уровня более 350 см было 2; 300—350 см — 1; 252—300 см — 13; 201—250 см — 62; 161—200 см — 168.

Только за последние 90 лет наблюдалось 67 подъемов уровня более чем на 200 см выше ординара.

6.2. Об экстремальных подъемах уровня в р. Неве

Исторические, летописные данные свидетельствуют о том, что подъем уровня во время наводнений может быть больше, чем в 1824 и 1924 гг. Так, по летописным сведениям в 1300 г. свершилось невероятное — р. Волков потекла „вспять“, несмотря на большой перепад уровня оз. Ильмень по отношению к Ладоге. Данное событие ученые склонны объяснять небывало высоким подъемом уровня в вершине Финского залива (около 5 м), что обусловило „перелив“ этих вод через Ивановские пороги. Сверхэкстремальное наводнение (уровень над ординаром 4,5 м) наблюдалось и в более близкое историческое время — 1691 г., когда была залита шведская крепость, расположенная в устье р. Охты. Очевидно, были и другие, ведь недаром новгородцы, владевшие этими землями на протяжении более 6 веков, не решались возводить крепости в устье р. Невы.

Как показали палеоклиматические исследования (рис. 6.3), эти „сверхнаводнения“ происходили примерно при тех же атмосферно-синоптических условиях, которые складываются в настоящее время. В те отделенные годы либо ускоренно развивались, либо уже полностью господствовали процессы *W*-формы атмосферной циркуляции.

Длительные многократные попытки с помощью математических моделей подтвердить возможность таких сверхмощных наводнений дали положительный результат. Расчеты, выполненные в ЛОГОИН и ИГСОАН на гидродинамических моделях, моделирование аналогичной наводненческой ситуации на гидравлических

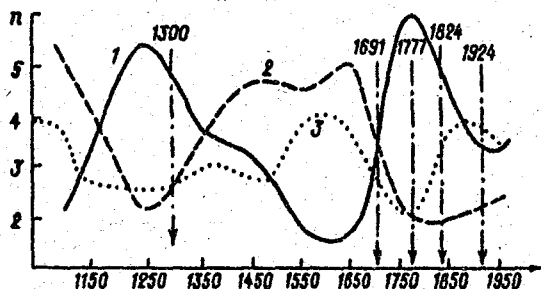


Рис. 6.3. Палеоклиматические данные о количестве эпох с *W*-формой (1), *C*-формой (2) и *E*-формой (3) атмосферной циркуляции в последние семь веков (В. Боков).

моделях ГГИ, а также эмпирический комбинационный метод, применяемый Р. Е. Нежиховским, однозначно показали, что экстраординарный подъем уровня с отметкой выше ординара на 5,0—5,5 м возможен. Вероятность таких наводнений определена в 0,01, или 1 раз в 10000 лет.

Отметим, что это не означает, что такой подъем уровня невозможен в ближайшем будущем. Анализ всех планетарно-космических, гелиофизических, атмосферно-океанических, синоптико-метеорологических, гидрометеорологических и чисто гидрологических условий, складывающихся в данное время, свидетельствует о том, что подобное наводнение может произойти в любой указанный год.

К такому неутешительному выводу автор пришел исходя из того, что в настоящее время все внешние факторы долгопериодного действия вступают в такие фазы своего развития, когда суммарный эффект их воздействия может сфокусировать благоприятный долгопериодный исходный уровеньный фон для максимального возможного подъема уровня в Невской губе (табл. 6.1).

В 60-х годах И. В. Максимов писал, что если бы наводнение 1924 г. пришлось на период максимальных импульсов всех приливных и деформационных сил, то уровень подъема воды при наводнении был бы на 65—70 см выше, чем наблюдался.

6.3. Синоптико-метеорологические аспекты катастрофических наводнений

В последние годы в структуре и характере атмосферной циркуляции происходят кардинальные изменения. А палеоклиматические данные о числе циркуляционных эпох в атмосфере Атлантического сектора Северного полушария за последние 7 веков показывают, что все экстремальные наводнения происходили в эпоху явного господства зональной циркуляции (*W*-форма циркуляции) или при существенном ее вкладе (см. рис. 6.3, табл. 6.1). Во время же меридиональных форм циркуляции заметные (≥ 215 см БС) наводнения наблюдались лишь при внушительном межгодовом росте западно-восточного переноса воздушных масс (например, 1937, 1938, 1973—1977 гг.).

К началу XXI в. ожидается превращение *W*-формы циркуляции в господствующую, и на фоне ее неуклонного роста ближайшие двадцать лет будут отмечаться дополнительные всплески (1995/96 и 2003/05 гг.).

Обращает на себя внимание неуклонное повышение среднего уровня моря в вершине Финского залива в последние годы. Начиная с 50-х годов его приращение к 90-м составило 15—16 см. Если темп роста сохранится до XXI в., то уровень

может подняться еще на 5—7 см, что приведет к росту повторяемости уровней, например, с отметкой 257 см, почти на порядок. По кривой обеспеченности максимальных уровней такой подъем приходится на 20 лет, а к началу XXI в. его следует ожидать уже каждые 5—7 лет. И как бы в подтверждение к сказанному в последние 15 лет такие наводнения отмечались уже дважды — в 1975 г. (270 см) и 1986 г. (260 см).

Такое поведение уровня связано с продолжающимся эвстатическим подъемом уровня Мирового океана, следовательно, и Балтийского моря с его заливами. С конца XIX в. к 60-м годам XX в. глобальный уровень океана — среднегодовой и осредненный по 5-летиям — повысился на 9 и 7 см соответственно, а к середине 80-х годов — еще на 7 и 4 см. В частности, это привело к тому, что в настоящее время уровень Балтики выше его положения в 1924 г. на 12 см, а осенью — на 20 см. Последнее обусловлено тем, что наряду с эвстатическим ростом уровня в конце 80-х — начале 90-х годов повышение вызывается постоянно усиливающимися процессами западной формы атмосферной циркуляции, способствующими интенсивному нагону вод Атлантики к берегам Европы и, естественно, в Балтику. В то же время резко возросла продолжительность элементарного синоптического периода: от 2—4 сут в 40-х—70-х годах до 5—8 сут и более в 90-х годах (см. рис. 5.9). Это существенно снизило частоту смены стадий атмосферных процессов. Происшедшие глубокие структурные изменения в атмосферной циркуляции приблизили ее к состоянию эпохи предыдущего катастрофического наводнения.

На рубеже 80-х—90-х годов внушительно увеличились значения градиента температуры воздуха в Северном полушарии (70—40° с. ш.) ($\geq 2,5^\circ$). По данным ВМО¹, в настоящее время четко прослеживается тенденция смещения отрицательных аномалий температуры воздуха в полярные области и усиление положительных ее аномалий в низких широтах полушария. Такое же явление отмечалось накануне наводнений 1824 и 1924 гг. (в 1813—1822 гг. и в начале XX в.). Это наряду с усилением циркумполярного вихря и приполюсным его расположением в ближайшее время будет способствовать дальнейшей перестройке термобарического поля в регионе, обусловит смещение полярного и арктического фронтов к югу. Сместятся к югу и траектории генерального перемещения атлантических циклонов, а это, в свою очередь, повысит вероятность того, что очередные серии мощных циклонов будут перемещаться на восток по траекториям.

¹ Бюллетень ВМО. — 1990. — № 1, т. 39.

Даты невских наводнений (≥ 215 см БС) и аномалии геофизических, геофизических процессов, способствующих или сопутствующих

Уровень подъема воды у Горного института, см	Год	Ме-сяц	Числа Вольфа			Солнечное сияние в С.-Петербурге, ч	Повторяемость W-формы циркуляции	Эпоха атмосферной циркуляции
			средне-годовое значение	$W_{0\text{ мин}}$	фаза 90-летнего цикла W_0			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
260	1986	XII	-40	0	с	4	-9	E + W
220	1977	VII	40	2	п	-14	-58	E
270	1975	IX	-40	0	п	31	-61	E
231	1974	XI	-38	-1	п	—	-69	E
229	1973	XII	-19	-2	п	—	-34	E
234	1967	X	52	5	п	31	-64	E
282	1955	X	-15	1	м	7	-11	E + W + C
222	1938	IX	57	5	р	22	6	E + W
226	1937	IX	61	4	р	40	-64	E + W
228	1935	X	-17	2	р	0	-21	E + W
248	1932	I	-42	-1	р	20	38	E + W
247	1929	II	12	6	н	14	5	E + W
369	1924	IX	-36	1	н	-7	24	W + E
217	1922	XI	-39	-1	н	-11	-4	W + E
233	1917	XI	51	-4	н	-7	43	W + E
258	1903	XII	-29	2	н	-21	48	W + E
241	1890	VIII	-46	1	с	—	91	W + C
241	1874	XI	-8	3	с	—	—	E + W
226	1874	XII	-8	3	с	—	—	E + W
231	1873	XI	13	6	с	—	—	E + W
420	1824	XI	-45	1	н	—	—	W
243	1822	II	-49	0	н	—	—	W
310	1777	VII	39	2	п	—	—	W
233	1764	XII	-17	-2	п	—	—	W
233	1764	XI	-17	-2	п	—	—	W
250	1752	II	-5	-3	р	—	—	W
231	1750	X	30	6	р	—	—	W
223	1744	VIII	-48	0	р	—	—	W
269	1744	XI	-48	0	р	—	—	W
223	1744	XI	-48	0	р	—	—	W
223	1744	XII	-48	0	р	—	—	W
250	1736	IX	-5	3	р	—	—	W + C

Таблица 6.1

планетарно-космических, атмосферно-океанических и региональных
эпохам экстремальных проявлений этих наводнений

Число ЭСП	Ледови- тость, тыс. км ²	Перепад уровня, см	Уро- вень Ладож- ского озера, см	Расход р. Не- вы, м ³ /с	Продол- жительность тро- пического го- да, усл. ед.	Фаза долгопе- риодных приливов	Стадия эволю- ции моря
10	11	12	13	14	15	16	17
-16	140/120	13/7	+	170	-1,6	П/Р	0
1	-50/-10	5/0,1	-44	-170	-0,3	р/р	С
12	-110/-140	10/13	-13	110	-2,1	м/р	С
6	-40/-110	-8/16	-84	-710	1,6	с/р	С
7	-/-108	15/14	-107	-820	0	с/р	С
-3	160/-20	14/19	-2	280	-2	П/р	С
17	110/-30	10/14	50	590	0,2	р/р	С
5	-50/-150	25/0	-71	340	1,5	м/р	0
-4	-60/-50	-11/-11	-54	-260	-2,0	с/р	0
-5	-110/-130	1/7,5	-85	180	-0,3	с/р	0
-3	-40/60	9/11,5	14	280	-1,6	П/р	0
-9	-40/180	-1/17	89	860	-2,3	П/р	0
-4	120/70	-10/-9,8	136	1270	-1,1	р/р	0
-10	-90/50	-9/10	1	-60	1,7	р/р	0
-9	120/190	4/15	12	50	2,5	р/м	0
-5	150/-120	13/18	103	400	—	м/с	0
—	130/-130	4/5	-9	-150	—	П/с	С
—	-130/-130	9/13	57	470	—	П/с	С
—	-130/-130	9/13	57	470	—	П/с	С
—	-60/-110	16/22	53	170	—	П/с	С
—	20/-130	-/25	+	+	—	П/р	0
—	50/-130	-/-	—	—	—	П/П	0
—	0/130	-/-	—	—	—	П/р	—
—	-80/-120	-/-	—	—	—	П/Р	—
—	-80/-120	-/-	—	—	—	П/р	—
—	100/-130	-/-	—	—	—	-/-	—
—	-140/-170	-/-	—	—	—	-/-	—
—	-120/-100	-/-	—	—	—	-/-	—
—	-120/-100	-/-	—	—	—	-/-	—
—	-120/-100	-/-	—	—	—	-/-	—
—	-120/-100	-/-	—	—	—	-/-	—
—	-130/0	-/-	—	—	—	-/-	—

Уровень подъема воды у Горного институ- та, см	Год	Ме- сяц	Числа Вольфа			Солнеч- ное сия- ние в С.-Пе- тербур- ге, ч	Повторяе- мость W- формы циркуля- ции	Эпоха ат- мосфер- ной цир- куляции
			сред- негодо- вое значе- ние	$W_{0\text{ мин}}$	фаза 90- летнего цикла W_0			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
259	1726	XI	11	3	p	—	—	W + C
261	1723	X	-43	0	n	—	—	W
261	1721	XI	-9	-2	n	—	—	W
251	1706	IX	-27	-5	n	—	—	W + C
200	1703	VIII	-33	3	n	—	—	W + C + E
>400	1691	—	—	2	n	—	—	C + E
>500	1300	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. В графе 5 приведено отставание очередного наводнения от дожитость в предыдущую, знаменатель — в последующую зимы; в графе 12 числитель тийскому морю в целом; в графе 16 числитель — 19-летний прилив, знаменатель 2. с — спад, п — провал между вершинами векового максимума, м — макс С — осолонение.

Важнейшим условием экстремального проявления невских наводнений является соответствующая общеклиматическая обстановка в северо-восточной Европе. Прошлые катастрофические наводнения приходились на периоды высокой увлажненности континента. Например, в 1924 г. расходы р. Невы были на 50 % выше нормы; уровень Ладожского озера превышал его положение в годы с наименьшими отметками в 1940, 1973-1975 гг. на 2 м. Солнечное сияние было на 10 % ниже нормы. Аналогичная ситуация складывается сейчас.

В данной ситуации важно отметить, что если в 60-х годах, в апогей стадии осолонения, уровень поднимался выше ординара на 200 см только 2 раза, то в 70-х годах (завершающая стадия осолонения) — уже в 5 раз, а в 80-х годах (начальная фаза стадии опреснения) — уже в 8 раз. Аналогичная ситуация, свойственная стадии опреснения, отмечалась накануне двух последних катастрофических наводнений (1824, 1924 гг.), а также после них (1836—1866, 1927—1936 гг.). Характерно, что во все стадии осолонения Балтийского моря наблюдалась серия лет без наводнений. Так, уровень не поднимался выше 200 см в 1965—1966, 1959—1960, 1951—1953, 1945—1947, 1906—1908, 1900—1902 и

Число ЭСП	Ледовитость, тыс. км ²	Перепад уровня, см	Уровень Ладожского озера, см	Расход р. Невы, м ³ /с	Продолжительность тропического года, усл. ед.	Фаза долгопериодных приливов	Стадия эволюции моря
10	11	12	13	14	15	16	17
—	-130/150	—/—	—	—	—	—/—	—
—	-130/15	—/—	—	—	—	—/—	—
—	-80/-90	—/—	—	—	—	—/—	—
—	-80/40	—/—	—	—	—	—/—	—
—	—	—/—	—	—	—	—/—	—
—	—/—	—/—	—	—	—	—/—	—
—	—/—	—/—	—	—	—	—/—	—

соответствующего минимума 11-летнего цикла W_0 ; в графе 11 числитель — ле-
— Кронштадт в июле—декабре, знаменатель — среднегодовое значение по Бал-
— многолетняя амплитуда полюсного прилива.
симум, р — рост, н — подошва волны, П — пик, О — опреснение,

1881—1894 гг. Последняя серия лет без существенных наводнений (40-е—60-е годы XX в.) особенно характерна, так как она приходилась на период глобального повышения уровня фонов. И тем не менее отмеченная закономерность не была нарушена.

Формирование длительного долгопериодного исходно-базисного наводненческого фона этим не ограничивается.

6.4. Гелиофизические аспекты катастрофических наводнений

Силы притяжения Луны и Солнца, обуславливающие 19-летний цикл колебаний уровня с 1997 по 2005 г., будут способствовать росту высоты этой волны и соответствующему к концу периода приращению на 1/3 кинематических сил у всех сопутствующих гидрологических явлений. Будет нарастать амплитуда многолетних колебаний полусного прилива. Вместе эти деформационные процессы уровня океана к середине первого десятилетия XXI в. повысят уровень Балтики на 7—10 см. Начавшееся в 1972 г. ускорение вращения Земли, вероятнее всего, продлится до 2010 г.; разброс планет-гигантов в середине 90-х годов XX в. и в 10-х годах

XXI столетия, отрицательные аномалии продолжительности тропического года будут способствовать приполюсному местоположению циркумполярного вихря и существенному росту интегральной повторяемости W -формы атмосферной циркуляции, т. е. такой же, как и в эпоху катастрофических наводнений прошлого.

Все наблюдавшиеся катастрофические наводнения приходились на „подшвы” вековой волны W_0 (1691, 1824, 1924 гг.) или на провал между двумя вершинами векового максимума (1777 г.) и возникали, как правило, через 1—2 года после минимума 11-летнего цикла солнечной активности, находящегося в пределах этой „подшвы” W_0 . В 73 % наводнений (уровень ≥ 215 см) отмечались существенные отрицательные аномалии солнечной деятельности. И это неудивительно, так как в последние 300 лет приоритетное место в изменении климата принадлежит вековому циклу W_0 . И. В. Максимов указывал, что установленные среднегодовые, среднемесячные и среднесуточные аномалии W_0 ($\pm 139, 203, 261$) могут обусловить на 70° с. ш. предельные аномалии уровня соответственно $\pm 46,8; 67,8$ и $87,2$ см. Поэтому пристальное внимание должно быть уделено тому, что очередной минимум „вековой” солнечной деятельности наступит в начале XXI в., и ее значения в рамках 22- и 44-летних циклов будут самыми низкими за последние 300 лет. Минимумы 23-го и 24-го 11-летних циклов W_0 , примерно приходящихся на 1996—1997 и 2006—2008 гг. и совпадающих с соответствующими фазами других долгопериодных составляющих невисских наводнений, могут быть с полным основанием приняты за примерные сроки возникновения экстраординарных подъемов уровня в вершине Финского залива.

Опираясь на вскрытые в ходе долговременных и долгопериодных составляющих катастрофических наводнений закономерности и на аналогию в характере формирования наводненческой ситуации в прошлое и настоящее время, можно прийти к однозначному выводу — мы в преддверии эпохи очередного экстремального наводнения. Наиболее опасными, с точки зрения формирования оптимального долгопериодного наводненческого фона, следует считать 1996—1997 и особенно 2004—2008 гг. ($\pm 1—2$ года).

По мнению же автора, катастрофическое наводнение наиболее возможно в середине 10-х годов XXI в., поскольку в то время будут проявляться 22-летние солнечно-обусловленные сейши, вскрытые Б. А. Слепцовым-Шевлевиным (1984), которые способ-

ны вызвать поднятие уровня в восточной части Балтийского моря, включая Невскую губу, на 20—25 см выше ординара.

В заключение обратим внимание на то, что наши прогностические данные относительно ожидаемых сроков очередного разрушительного наводнения на берегах Невы полностью совпадают с долгосрочным прогнозом предстоящей активизации опасных геологических процессов в Европейском субрегионе, представленным в работе Ю. Г. Баландина¹.

По его прогнозу в этом субрегионе в 1996—1997 гг. ожидается существенная активизация обвально-оползневых процессов, т. е. в те же годы, в которые происходит очередное катастрофическое наводнение в вершине Финского залива. Эти, казалось бы, мало связанные между собой процессы имеют общие геофизические причины, в частности, специфическую общеклиматическую обстановку — очень большую увлажненность восточной части континента. Более того, все заметные невые наводнения (превышение уровня более 215 см: 1824 г.—410 см, 1924 г.—369 см, 1955 г.—282 см) сопровождались резкой активизацией опасных геологических процессов в Европейском субрегионе.

Приведенные сведения, как нельзя кстати, подтверждают наш климатологический прогноз наиболее вероятных сроков очередного катастрофического наводнения на р. Неве. Правда, указанный геологический прогноз составлен лишь до конца текущего столетия и не распространяется на 2004—2008 гг. (наиболее опасные с точки зрения проявления экстраординарного „невского” феномена).

Подчеркнем, что неоднократно наблюдавшееся сочетание экстремальных наводнений с совокупностью вышеупомянутых долгопериодного действия внешних факторов и сопутствующей резкой активизацией опасных геологических процессов не может вдруг исчезнуть. Законы природы неумолимы, и закономерности экстремальных ее проявлений требуют особого к себе отношения и учета в практической деятельности человека.

¹ Баландин Ю. Г. Цикловременные аналоги обвально-оползневого процесса // Циклы природных процессов, опасных явлений и экологическое прогнозирование. — Вып. 2. — М. — 1992. — С. 169—173.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Р. В. О многолетней динамике оландской депрессии//Известия ВГО. — 1986. — Т. 98, № 4.
2. Антонов А. Е. Балтика, 2000-й год//Человек и стихия. — 1986.
3. Антонов А. Е. Влияние гидрологических условий на сроки нереста и урожайности балтийской трески//Тр. БалтНИРО. — 1960. — Вып. 6.
4. Антонов А. Е. Гидрологические условия в Южной Балтике в 1959 и 1960 гг. и прогноз нереста салаки и трески//Тр. БалтНИРО. — 1961. — Вып. 7.
5. Антонов А. Е. К вопросу предсказания сроков захода и нереста салаки в Вислинский залив//Вопросы ихтиологии. — 1960. — Вып. 16.
6. Антонов А. Е. Климатоокеанологические основы формирования биологической продуктивности Балтийского моря//Тез. докл. Всесоюз. конф. „Природная среда и биологические ресурсы морей и океанов“. — М., 1984.
7. Антонов А. Е. Крупномасштабная изменчивость гидрометеорологического режима Балтийского моря и ее влияние на промысел. — Л.: Гидрометеиздат, 1987.
8. Антонов А. Е. Крупномасштабная изменчивость океанологических условий в Балтийском море и их прогнозирование//Вопросы промысловой океанологии Мирового океана.—Калининград, 1979.
9. Антонов А. Е. Крупномасштабная изменчивость элементов экосистемы Балтийского моря и ее прогнозирование. — Автореф. дис. на соиск. уч. степ. д-ра геогр. наук. — Л. — ААНИИ. — 1982.
10. Антонов А. Е. Крупномасштабная изменчивость элементов экосистемы Балтийского моря и их прогнозирование//Тез. докл. II Всесоюз. съезда океанологов. Вып. 5. — Севастополь, 1982.
11. Антонов А. Е. Многолетние изменения гидрологических условий в южной части Балтийского моря и их влияние на промысел. — Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. — М.: ИО АН СССР. — 1962.
12. Антонов А. Е. Начавшееся распреснение Балтийского моря и его химико-биологические последствия//Сб. работ ЛенГМО. — 1990.
13. Антонов А. Е. Об опыте составления долгосрочных рыбопромысловых прогнозов и оценок долговременных тенденций в эволюции морских экосистем (на примере Балтийского моря)//Тез. докл. IV Всесоюз. науч. конф. по проблемам промыслового прогнозирования (долгосрочные аспекты). Мурманск, 1989.
14. Антонов А. Е. Общие принципы разработки рыбопромысловых прогнозов, основанных на учете абиотических факторов среды//Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. — 1968. — № 4.
15. Антонов А. Е. Океанологические основы рыбопромысловых прогнозов в южной части Балтийского моря. — Калининград: Калининградское кн. изд-во, 1964.
16. Антонов А. Е. Океанологические предпосылки рационального хозяйствования в Балтийском море//Шельф: природа и ресурсы. — М., 1976.
17. Антонов А. Е. О комплексном прогнозировании межгодовой изменчивости притока североморских вод в Балтику по данным береговых наблюдений//Метеорология и гидрология. — 1981. — № 3.
18. Антонов А. Е. О морских рыбопромысловых прогнозах, основанных на учете океанологических факторов//Тез. докл. на конф. по методике оценки сырьевой базы и прогнозов уловов. — Керчь, 1967.
19. Антонов А. Е. Опыт определения тенденций естественного развития экосистемы Балтийского моря//Тез. докл. III Всесоюз. науч. конф. по проблемам морского прогнозирования (долгосрочные аспекты). — Мурманск, 1986.

20. Антонов А. Е. Опыт применения периодограммного анализа к предсказанию некоторых гидрометеорологических элементов (на примере Балтийского моря)//Мат-лы II конференции по проблеме „Взаимодействие атмосферы и гидросферы в северной части Атлантического океана“. — Л., 1964.
21. Антонов А. Е. О связи ледовитости Балтийского моря с режимом теплоотдачи вод в системе Гольфстрима стратосферных экваториальных ветров и центра циркуляции атмосферы//Сб. работ Ленинградской и Петрозаводской ГМО. — 1974. — Вып. 8.
22. Антонов А. Е. О связи теплозапаса воды в Гданьском заливе с подходами и началом нереста салаки в Вислинском заливе//Бюл. по обмену опытом и новой техн. — 1958. — № 4.
23. Антонов А. Е. О специфике атмосферно-метеорологического и океанического взаимодействия на поверхностные и глубинные воды Балтийского моря и его продуктивность//География Мирового океана на службе рационального использования морских ресурсов. — Л., 1989.
24. Антонов А. Е. Приемы сверхдолгосрочного прогнозирования придонной солености в Балтийском море//Тр. ГОИН. — 1981. — Вып. 157. — С. 67—71.
25. Антонов А. Е. Прогнозирование относительной урожайности балтийской трески и банковой сельди Северного моря //Рыбное хозяйство. — 1965. — № 4; № 5.
26. Антонов А. Е. Прогнозирование сроков захода салаки в Вислинский залив и начала ее нереста//Тр. БалтНИРО. — 1960. — Вып. 6.
27. Антонов А. Е. Прогноз многолетних изменений солености вод собственно Балтийского моря//Сб. работ ЛГМЦ. — 1985. — Вып. 2 (15).
28. Антонов А. Е. Прогноз периодов многолетних колебаний относительной урожайности трески, кильки и салаки в южной Балтике на 1961—1980 гг//Тр. АтлантНИРО. — 1964. — Вып. 10.
29. Антонов А. Е. Прогноз солености и динамических условий для региональной схемы охраны комплекса природных условий и рационального использования естественных ресурсов Балтийского моря//Комплексные проблемы охраны окружающей среды регионов. — М., 1984.
30. Антонов А. Е. Прогноз сроков начала нерестовых заходов салаки в Вислинский залив и сроков разгара нереста трески в юго-восточной Балтике//Бюл. науч.-техн. информ. БалтНИРО. — 1961. — № 3.
31. Антонов А. Е. Прогноз урожайности рыб Балтийского моря//Промышленно-экон. бюл. Калининградского совнархоза. — 1962. — № 3.
32. Антонов А. Е. Прогностические связи между гидрометеорологическими характеристиками в прибрежной зоне и открытых районах Балтийского моря//Тр. ГОИН. — 1972. — Вып. 114.
33. Антонов А. Е. Промысловый эффект перехода Балтики в стадию распреснения//География Мирового океана на службе рационального использования морских ресурсов. — Л., 1989.
34. Антонов А. Е. Расчет придонной солености в южной части Балтийского моря и приемы его корректировки//Сб. работ. ЛГМЦ. — 1985. — Вып. 2 (15).
35. Антонов А. Е. Сверхдолгосрочный прогноз солености вод Балтийского моря и ожидаемые тенденции в естественной эволюции его экосистемы до 2000 г. // Докл. XII конф. балтийских океанографов. — Л., 1981.
36. Антонов А. Е. Современное состояние и тенденции изменения экосистемы Балтийского моря//Тез. докл. Всесоюз. конф. „Природная среда и биологические ресурсы морей и океана“. М., 1984.
37. Антонов А. Е. Современное состояние и тенденции развития среды и биопродуктивности Балтийского моря//Биологические ресурсы окраинных морей. — М., 1990.

38. Антонов А. Е. Современные климатические изменения в Северной Атлантике и их влияние на режим Балтийского моря и других морей ЕТС//Пленарные доклады VIII Всесоюз. конфер. по промысловой океанологии. Л., 1990.
39. Антонов А. Е. Современные тенденции изменений гидролого-гидрохимических условий Балтийского моря//Тр. ГОИН. — 1978. — Вып. 147.
40. Антонов А. Е. Фоновый прогноз некоторых гидрометеорологических характеристик в бассейне Балтийского моря на 1960—1980 гг.//Тр. БалтНИРО. — 1962. — Вып. 8.
41. Антонов А. Е. Фоновый прогноз относительной урожайности некоторых промысловых рыб Балтийского моря//Рыбное хозяйство. — 1962. — № 11.
42. Антонов А. Е. Эволюция экосистемы Балтийского моря//Рыбное хозяйство. — 1989. — № 6.
43. Антонов А. Е., Кубарева А. А., Сергеев Ю. Н. Взаимно-спектральный и взаимокорреляционный анализ температуры и солености воды в Балтийском море (станции Уте и Гедсер-Рев)//Тр. ГОИН. — 1974. — Вып. 122.
44. Антонов А. Е., Лишев М. Н., Лаблайка И. А. Некоторые закономерности в динамике глубинных вод Балтийского моря//Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. — 1967. — № 3.
45. Байдал М. Х. Колебания климата Кустанайской области в XX столетии. — Л.: Гидрометеиздат, 1971.
46. Байдал М. Х. О временной сопряженности некоторых климатических характеристик с внешними факторами// Тр. ВНИИГМИ—МЦД. — 1987. — Вып. 141.
47. Байдал М. Х., Ханджина Д. Г. Многолетняя изменчивость макроциркуляционных факторов климата. — М.: Гидрометеиздат, 1986.
48. Бефани Н. Ф., Калинин Г. П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. — Л.: Гидрометеиздат, 1965.
49. Борисенков Е. П., Полозов М. М. Экспертная оценка изменений климата до конца XX — начала XXI в. / Человек и стихия. — 1986.
50. Бронфман А. М. Соленость Азовского моря и ее предстоящие изменения. — Изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы, № 1, серия естественных наук. 1973.
51. Виноградов Н. О. Связь между формами атмосферной циркуляции и температурой поверхностных вод в Северной Атлантике//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1967. — Вып. 25.
52. Вительс Л. А. Синоптическая метеорология и гелиофизика: Избранные труды. — Л. Гидрометеиздат, 1977.
53. Гирс А. А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. — Л.: Гидрометеиздат, 1974.
54. Гирс А. А. Разработка способа учета фона стадий циркуляционных эпох как одного из этапов развития макроциркуляционного метода//Тр. ААНИИ. — 1984. — Т. 397.
55. Давидан И. Н., Смирнова А. И., Михайлов А. Е. Долгопериодные изменения гидрологических условий в центральной части Балтийского моря и их связь с атмосферными процессами // Метеорология и гидрология. — 1989. — № 8.
56. Дмитриев А. А. Колебания циркуляции атмосферы в Северном полушарии//Человек и стихия. — 1989.
57. Дроздов О. А. Каким будет климат к 2000 г. // Человек и стихия. — 1987.
58. Дружинин И. П. Долгосрочные прогнозы и информация. — Новосибирск, Наука, 1987.
59. Захаров В. Д. Арктика становится более суровой// Человек и стихия. — 1977.
60. Инструкция по оценке качества методов и оправдываемости морских гидрологических прогнозов.—Л.: Гидрометеиздат, 1965.

61. Клиге Р. К., Дзюба А. В., Добровольский С. Г. О влиянии глобальных гидрометеорологических изменений на уровенный и термический режимы Мирового океана и Балтийского моря// Тез. докл. XII конфер. балтийских океанографов. — Л., 1980.
62. Кондратович П. В. Долгосрочные гидрометеорологические прогнозы погоды в Северной Атлантике. — Л.: Гидрометеиздат, 1977.
63. Кубарева А. А. Долгопериодная изменчивость термохалинных характеристик вод Балтийского моря// Сб. работ Ленинградской и Петрозаводской ГМО. — 1974. — Вып. 8.
64. Костричкина Н. М., Юрковский А. Н., Колита М. З. Динамика зоопланктона в Балтийском море за последнее 40-летие в связи с изменением водного режима (1949—1989 гг.)//Пленарные доклады VIII Всесоюз. конфер. по промысловой океанологии. — Л., 1990.
65. Купецкий В. И. Ландшафты замерзающих морей. — Автореф. на соиск. уч. ст. д-ра геогр. наук. — Л., ЛГУ, 1989.
66. Лыкова В. В., Лыков А. А. Климатические изменения уровня моря, температуры воды и ледовитости//Обзорная океанология. — Обнинск, 1977.
67. Максимов И. В. Геофизические силы и воды океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1970.
68. Морские прогнозы/ З. Х. Абузаров, К. И. Кудрявая, Е. Н. Серяков и др. — Л.: Гидрометеиздат, 1988.
69. О возможных изменениях солёности в восточной части Балтийского моря при безвозвратном изъятии речного стока/ А. Е. Антонов, С. М. Микулинская, В. А. Рожков и др.// Тр. ГОИН. — 1981. — Вып. 157.
70. Пертила М., Кольонен Ю., Тулике П. Средние значения и тенденции изменения гидрологических и химических параметров в открытой части Балтийского моря в 1962—1978 гг.// Тез. докл. XII конфер. балтийских океанографов. — Л., 1980.
71. Проблемы регионального географического прогноза. Состояние. Теория. Методы. — М.: Наука, 1987.
72. Промысловая океанография/ Под ред. Д. Е. Гершановича. — М.: Агропромиздат, 1986.
73. Рабочая книга по прогнозированию. — М.: Мысль, 1987.
74. Родионов С. И. Долгопериодные тенденции в изменении уровня Каспийского моря// Рыбное хозяйство. — 1989. — № 6.
75. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1960.
76. Симонов А. И., Родионов Н. А., Затучная В. М. Расчет будущей солёности Азовского моря и Северного Каспия //Метеорология и гидрология. — 1966. — № 4.
77. Соскин И. М. Многолетние колебания гидрологических характеристик Балтийского моря. — Л.: Гидрометеиздат, 1963.
78. Трешников А. Ф., Баранов Г. И., Саруханян Э. И., Смирнов Н. П., Тимохов Л. А. Полярный эксперимент/Докл. на Втором межд. совещ. экспертов по программе ПОЛЭКС. — Л., 1974.
79. Чистяков В. Ф. О двойных максимумах вековых циклов и долгосрочном прогнозе солнечной активности//Солнечные данные. — 1981.
80. Янес А. А. Об изменении интенсивности Атлантического течения в районе Фареро-Шетландского пролива//Проблемы Арктики и Антарктики. — 1971. — Т. 306.
81. Dickson R. R. The prediction of major Baltic inflows//Deutsche Hydr. — 1973. — N 3, vol. 23.
82. Kalels M. Long-term periods of fluctuation of environmental conditions and commercial fish stocks in the Baltic//Sec. ICES.—1988. — N 42.
83. Lamb H. The effect of climatic anomalies in the oceans on Longterm Atmospheric Circulation Behaviour and Currents in the North Sea and surrounding

Regions (North Sea science//NATO North Sea Science Conference Aviemere, Scool.— Coldberg, 1971.

84. Lemuelä R. R. Kuusista E. Seasonal and lon-term variation of groundwater level//Geophysical. — 1986.— N 1—2, vol. 22.

85. Main results of the USSR national project "The Baltic Sea"/I. Davidan, A. Altsam, O. Andrejev e. t. // Programme and abstracts 17-th Confer. of the Baltic ocean. — Norrköping, 1990.

86. Matthäus W. Climatic and seasonal variability of oceanological parameters in the Baltic Sea // Beltrage sur Meeresk. — 1984. — Heft 51.

87. Heia I. Beculer changes in the salinity of the upper waters of the Northern Baltic Sea // Institute of Marine Research. — 1966. — N 14, vol. 31.

88. Omstedt A. Forecasting water cooling in the Kattegat, the Oresund, the Belt sea, and Arkona Basin // Nordic. Hydrology. — 1987. — N 18.

89. Omstedt A. Rea-few modelling and of temperatures in the Baltic sea // SMHI reports oceanography. — 1990. — N 12.

90. Welhony Q. Relationships between chougues of long-range weather and fluctuation of the Earth retational rath // Acta geographical sineca. — 1988. — Vol. 43.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
ГЛАВА 1. О методологии сверх- и долгосрочного прогнозирования климата и гидрометеорологического режима морей	5
1.1. Гипотезы, положенные в основу работы	9
1.2. О правомерности использования отобранных предикторов	14
ГЛАВА 2. Авторский метод сверхдолгосрочного прогнозирования эволюции гидрометеорологического режима моря	20
2.1. Результаты взаимно корреляционного и регрессионного анализа. Характеристика базовых линейных эмпирических моделей множественной регрессии	20
2.2. Результаты расчета линейных эмпирических моделей множественной регрессии	23
2.3. Оценка обеспеченности и эффективности эмпирических связей	29
ГЛАВА 3. Оценка тенденции в изменении солевого режима Балтийского моря до 2000 г. и в начале XXI в.	33
3.1. Современное состояние и наметившиеся тенденции крупномасштабной изменчивости гидрометеорологического режима моря, в частности, солевого	33
3.2. Расчет ожидаемых значений солёности в разных слоях и районах моря	39
3.3. Оценка оправдываемости сверхдолгосрочных морских прогнозов	49
3.4. Ожидаемые тенденции изменений гидролого-гидрохимических условий до 2000 г. и в начале XXI в.	52
ГЛАВА 4. Метод ежегодной корректировки сверхдолгосрочного прогноза тенденций изменения солевого режима моря	60
ГЛАВА 5. Климатические изменения в последние 2000 лет	64
5.1. Изменения солёности Балтики в XX в.	69
5.2. Гелиофизический и климатический фон предстоящих изменений в солевом режиме моря	73
ГЛАВА 6. Сверхдолгосрочный прогноз предстоящих длительных тенденций в естественной изменчивости уровня режима Балтики и вершины Финского залива	78
6.1. О непосредственных причинах катастрофических наводнений в Невской губе	78
6.2. Об экстремальных подъемах уровня в р. Неве	81
6.3. Синоптико-метеорологические аспекты катастрофических наводнений	82
6.4. Гелиофизические аспекты катастрофических наводнений	87
Список литературы	90

29200
—

МОНОГРАФИЯ

Антонов Аркадий Евгеньевич

НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ БАЛТИКИ

(долгосрочный гидрометеорологический прогноз)

Редактор Л. Л. Лентовская

Художественный редактор Л. А. Унрод.

Технический редактор Е. Я. Заводько. Корректор Г. Н. Римант.

ЛР № 020228 от 08.10.91 г.

Подписано в печать 31.10.94. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. 5,58 л. Усл. кр.-отт. 5,81. Уч.-изд. 6,18 л. Тираж 1000 экз. Индекс ОЛ-11. Заказ 1004

**Гидрометеониздат, 199397, Санкт-Петербург, В. О., ул. Беринга, д. 38.
ФОП, 249020, Обнинск, ул. Королева, д. 6.**