

Министерство рыбного хозяйства СССР  
БАЛТИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА

"УТВЕРЖДАЮ"

Директор БалтНИИРХ

М.П.Поляков

"21" декабря 1981 г.

Инв. № \_\_\_\_\_

№ гос. регистрации:  
81022989

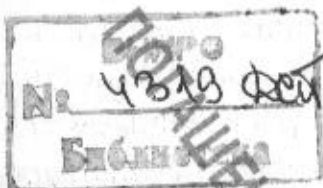
Для служебного пользования

Экз № 3

О Т Ч Е Т  
( промежуточный )

по теме 2  
0.74.01.01.03.Н1.  
0.74.01.05.01.Н1.  
0.74.01.13.07.

Изучение внутригодовых и многолетних закономерностей формирования океанологических основ биопродуктивности Балтийского моря



Зам. директора по  
научной работе, к.б.н.

М.Н.Линев

Зав. лаб. океанографии,  
руководитель темы

М.В.Калейо

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

- Берзины В. - с.н.с. (подраздел 1.2.)
- Калвека Б.Я. - м.н.с. (подразделы 4.1. и 4.3.)
- Калейс М.В. - зав.лаб. (введение, подраздел 1.3., заключение)
- Модре Б.А. - инж. (подразделы 4.2. и 4.4.)
- Пинкуле А.Я. - м.н.с. (раздел 5)
- Дла Э.А. - с.н.с. (подраздел 1.1., раздел 2)
- Юрковский А.К. - зав.сент., к.х.н. (введение, разделы 3 и 6, заключение)

## РЕФЕРАТ

Отчет содержит - 65 страниц, 6 таблиц и 10 рисунков.

Региональная океанология - Балтийское море.

Дана характеристика гидрологических и гидрохимических условий (температура, соленость, содержание кислорода и сероводорода) в 1981 году а также характеристика биогенных условий и развития фитопланктона в 1980-1981 гг. Анализируются многолетняя динамика фосфора, обменные процессы между фазами и коагуляция гуминовых веществ в Балтийском море. Уточняется схема гидрологического районирования моря.

1981 год характеризовался повышенной температурой и тенденцией уменьшения солености верхнего слоя и глубокой стагнацией - острым дефицитом кислорода в глубинном слое моря. У дна всех впадин моря появился сероводород.

1.2.5. Особенности гидрохимических и гидрологических условий Финского залива в 1981 году . . . . .	26
1.3. Гидрологические и гидрохимические условия Ботнического залива в 1981 году . . . . .	28
1.3.1. Зима . . . . .	28
1.3.2. Весна . . . . .	27
1.3.3. Лето . . . . .	27
1.3.4. Осень . . . . .	29
1.3.5. Особенности гидрохимических и гидрологических условий Финского залива . . . . .	30
2. Уточнение районирования южной части Балтийского моря . . . . .	35
3. Характеристика гидрохимических условий Балтийского моря . . . . .	39
3.1. Роль южной впадины в сезонной динамике фосфора в Балтийском море на примере Готландской впадины . . . . .	39
3.2. Характеристика биогенных условий в северной Балтийском море в 1981 году . . . . .	41
3.3. Характеристика биогенных условий в Финском заливе в 1980-1981 гг. . . . .	42
4. Характеристика развития фитопланктона в Финском заливе в 1980-1981 гг. . . . .	45
4.1. Впадина южная, соленость, биомасса . . . . .	45

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	6
1. Характеристика гидрологических и гидрохимических условий в Балтийском море в 1981 году . . . . .	9
1.1. Гидрологические и гидрохимические условия открытой части Балтийского моря . . . . .	9
1.1.1. Гидрологические и гидрохимические условия верхнего слоя моря . . . . .	9
1.1.2. Гидрологические и гидрохимические условия глубинного слоя моря . . . . .	12
1.2. Гидрологические и гидрохимические условия Рижского залива . . . . .	18
1.2.1. Зима . . . . .	18
1.2.2. Весна . . . . .	19
1.2.3. Лето . . . . .	28
1.2.4. Осень . . . . .	24
1.2.5. Основные особенности гидрологических и гидрохимических условий Рижского залива в 1981 году . . . . .	25
1.3. Гидрологические и гидрохимические условия Финского залива в 1981 году . . . . .	25
1.3.1. Зима . . . . .	26
1.3.2. Весна . . . . .	27
1.3.3. Лето . . . . .	27
1.3.4. Осень . . . . .	29
1.3.5. Некоторые тенденции изменений гидрологических и гидрохимических условий Финского залива . . . . .	30
2. Уточнение районирования южной части Балтийского моря . . . . .	33
3. Характеристика биогенных условий Балтийского моря	39
3.1. Результаты анализа многолетней динамики фосфора в Балтийском море на примере Готландской впадины	39
3.2. Характеристика биогенной ситуации в открытой Балтике в 1981 году . . . . .	41
3.3. Характеристика биогенных условий в Рижском заливе в 1980-1981 гг. . . . .	43
4. Характеристика развития фитопланктона в Рижском заливе в 1980-1981 гг. . . . .	46
4.1. Видовой состав, численность, биомасса . . . . .	46



4.2. Пигменты . . . . .	48
4.3. Связь хлорофилла и биомассы . . . . .	51
4.4. Эколого-продукционный аспект динамики фитопланктона в Рижском заливе в период весеннего цветения (1980 г.) . . . . .	52
5. Изучение обмена фосфором, марганцем и железом между взвешенными частицами и водой во впадинах Балтийского моря . . . . .	58
6. Изучение динамики гуминовых веществ в Рижском заливе . . . . .	59
Заклучение . . . . .	61
Литература . . . . .	64

Изучение динамики гидрохимических параметров среды фитопланктона и взаимоотношения их с биомассой в 1978-1981 гг., особенно в период весеннего цветения фитопланктона в Рижском заливе.

Работы по теме посвящены по 3 проектам: "Биопродукция", включающие 2 раздела: Оценка производственно-экологической ситуации в прибрежной зоне моря устьев Рижского и Балтийского морей в 1981 году, установление критериев и допустимых гидрохимических параметров; Анализ влияния изменений условий развития фитопланктона в прибрежной зоне Балтийского моря в 1981 г., разработка методов оценки и прогнозирования этих условий.

"Биопродукция" включает 4 раздела: Изучение взаимодействия фитопланктона гидрохимических параметров воды, температуры и химических элементов питания; Изучение обмена фосфором, марганцем и железом между взвешенными частицами и водой; Изучение динамики гуминовых веществ в Рижском заливе; Изучение обмена между фитопланктоном и фауной в Рижском заливе во время цветения в 1978-1981 гг.

Результаты гидрохимических и гидрохимических исследований (температура, оптические, содержание кислорода и сероводорода) приводятся в разделах 1 и 2, результаты биопродукционных исследований (взаимодействие, фитопланктон, гуминовые вещества) — в разделах 3-6 соответственно.

Результаты работ по проекту "Биопродукция" представлены в разделах 1., 3., 4.1., 4.2 и 4.3, результаты работ по проекту "Биопродукция" — в разделах 2., 4.4, 5- и 6.

## В В Е Д Е Н И Е

В отчете представлены результаты океанологических - Гидрологических, гидрохимических и гидробиологических (фитопланктонных) исследований БалтНИИРХ в Балтийском море за 1981 год.

Основные цели исследований:

-обеспечение рыбохозяйственных исследований характеристиками и прогнозами океанологических факторов, определяющих формирование био- и рыбопродуктивности моря в 1981 году;

-уточнение роли основных гидрофизических факторов, формирующих гидрологический режим моря в целом и его отдельных районах, подготовка исходных данных для моделирования гидрологических процессов;

-изучение динамики гидрохимических параметров среды фитопланктона и выявление ее особенностей в 1980-1981 гг., составление прогнозов гидрохимических условий Балтийского моря.

Работы по теме выполнялись по 2 проектам:

"Биопрогнозы", включающим 2 раздела: Оценка промыслово-океанологической ситуации в открытой части моря, Рижском и Финском заливах в 1981 году, составление краткосрочных и долгосрочных гидрологических прогнозов; Исследование динамики биогенных условий развития фитопланктона и формирования рыбопродуктивности районов Балтийского моря в 1981 г., разработка методов оценки и прогнозирования этих условий.

"Балтика", включающим 4 раздела: Изучение изменчивости неоднородности гидрологических полей, разработка и применение математических моделей гидрологических процессов; Изучение обмена фосфором и марганцем между взвешенными частицами и водой; Изучение коагуляции гуминовых веществ в Рижском заливе; Изучение связей между биогенными веществами и фитопланктоном в Рижском заливе по материалам 1978-1981 гг.

Результаты гидрологических и гидрохимических исследований (температура, соленость, содержание кислорода и сероводорода) приведены в разделах 1 и 2, результаты биогидрохимических исследований (биогенные элементы, фитопланктон, гуминовые вещества) - в разделах 3-6 настоящего отчета.

Результаты работ по проекту "Биопрогнозы" приведены в разделах 1., 3., 4.1., 4.2 и 4.3, результаты работ по проекту "Балтика" - в разделах 2., 4.4, 5. и 6.

Для обеспечения выполнения НИР по теме проведены регулярные экспедиционные работы в Балтийском море. В феврале выполнена зимняя океанографическая съемка открытой части моря на и/с МРТР 0008 "Беспокойный". В мае, августе и в октябре-ноябре на и/с СРТМК 8070 "Звезда Балтики" выполнены весенняя, летняя и осенняя океанографические съемки открытой части моря а также Рижского и Финского заливов. В апреле, июне, июле и сентябре на и/с "Звезда Балтики" выполнены океанографические наблюдения на реперных гидрологических станциях открытой части моря и Рижского залива. Всего материал океанографических наблюдений собран во время 8 научно-исследовательских рейсов. Всего в 1981 году выполнено 221 гидрологическая станция, на которых сделано следующее количество основных определений: температура воды - 2496, солености - 2496, растворенного в воде кислорода - 2487, общего фосфора - 932, фосфатов - 932, солевого азота - 769, органического азота - 369, органического углерода - 484, пигментов фитопланктона - 336, а также собрано 234 пробы для определения биомассы и видового состава фитопланктона.

Гидрологические наблюдения и обработка материалов проводились согласно принятых в системе УГКС СССР стандартным методам на стандартной сетке станции. Наблюдения за температурой и взятие проб для определения солености и содержания кислорода производились на гидрологических станциях кроме стандартных горизонтов также на дополнительных горизонтах (через каждые 5 или 10 м по вертикали в зависимости от района моря).

Химический анализ проб морской воды проводился согласно следующим методам: соленость - титрованием на хлор, содержание растворенного в воде кислорода - методом Винклера; фосфаты определялись фосфорномолибдатным методом: с применением аскорбиновой кислоты и сурьмяновинноокислого калия; фосфор общий - методом Королева; азот аммонийный - индофеноловым методом; азот нитратный (после восстановления омедненным кадмием) и нитратный - реактивом Грисса; азот органический - методом Кильдаля; углерод органический - бихроматным микрометодом; пигменты фитопланктона - согласно методам и уравнениям, рекомендованным ЮНЕСКО, Стрикландом и Парсонсом. Численность фитопланктона, концентрированного методом осаждения по Усачеву, определялась счетным способом; биомасса путем сравнения

форм клеток с определенными геометрическими фигурами, а затем определением средних величин объемов каждого вида.

Пробы для изучения состава взвешенных частиц и обменных процессов собраны батометрами Хидро-Бисс или Нансена. Вода фильтровалась через мембранные фильтры "Синнор" (диаметр пор 0.45 мкм). Спектры отражения снимались на спектрофотометре СФ-18. Характеристика  $D_H = 520$  использовалась для построения зависимости величины оптической плотности от количества частиц, найденного под микроскопом в отраженном свете при 56-кратном увеличении (частицы размером более 2 мкм). Взвесь растворялась в концентрированной соляной кислоте, раствор нейтрализовался и окислялся персульфатом калия. Было определено количества в взвеси общего фосфора (фосфорно-вольфрамным методом), железа (спектрофотометрически с о-фенантролином) и марганца (спектрофотометрически с малахит-зеленым).

Для определения взвешенных гуминовых веществ использовалась взвесь, осажденная на мембранных фильтрах, после экстракции из нее пигментов фитопланктона. Гуминовые вещества растворялись в 0.1 н растворе  $NaOH$ . Раствор центрифугировался и далее спектрофотометрировался при  $\lambda = 400$  нм. Для определения растворенных гуминовых веществ пробы морской воды спектрофотометрировались непосредственно при  $\lambda = 400$  нм, а мутность воды учитывалась по  $D_{750}$ . Спектрофотометрические величины калибровались по  $S_{орг}$  гуминовых веществ, сорбированных из воды Рижского залива на полиамиде. Материал по динамике распределения гуминовых веществ собран в течение океанографических рейсов 1980-1981 гг. в Рижском заливе.



# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ В 1981 ГОДУ

## 1.1. Гидрологические и гидрохимические условия открытой части Балтийского моря

### 1.1.1. Гидрологические и гидрохимические условия верхнего слоя моря

Температура. Зима. Синоптические процессы зимой 1981 г. обусловили теплую погоду над акваторией Балтийского моря. Температура воздуха в Риге в январе-марте 1981 г. была на  $1.4^{\circ}$  выше нормы.

Ледовая ситуация зимой 1980/81 гг. была менее суровой, чем год назад. Ледообразования началось в конце декабря 1980г., а максимальное распространение льда наблюдалось в марте, когда лед заполнил Рижский и Финский заливы.

Средняя температура воды верхнего 20 м слоя Балтийского моря в феврале 1981 г. была  $1.9^{\circ}$ , что на  $0.5^{\circ}$  выше нормы и на  $0.8^{\circ}$  выше, чем зимой 1980 г. Термический режим верхнего слоя воды зимой 1981 г. был умеренным.

Максимальная температура воды на поверхности моря в феврале 1981 г. наблюдалась в районе Лиенаи ( $2.3^{\circ}$ ), минимальная ( $0.4^{\circ}$ ) у Ирбенского пролива. Зимой 1980 г. максимальная температура была  $1.6^{\circ}$ , минимальная  $-0.4^{\circ}$ .

Гомотермический слой в среднем распространился до глубины 42 м (до 32 м зимой 1980 г.).

Весна. В мае 1981 г. сезонная океанографическая съемка не была проведена. Во время икhtiологических работ были выполнены две реперные гидрологические станции - 37 и 27 (рис. 1).

Среднемесечная температура в Риге в апреле была на  $2.0^{\circ}$  ниже, а в мае - на  $2.9^{\circ}$  выше нормы и поэтому хотя таяние льда и началось уже в конце марта, море полностью освободилась от льда только в начале мая.

В мае 1981 г. температура воды в слое 0-20 м была следующей: над Готландской впадиной на ст. 37  $6.4^{\circ}$  ( $5.0^{\circ}$ -норма;  $5.4^{\circ}$  1980 г.) и над Северной впадиной на ст. 27  $5.5^{\circ}$  ( $4.5^{\circ}$

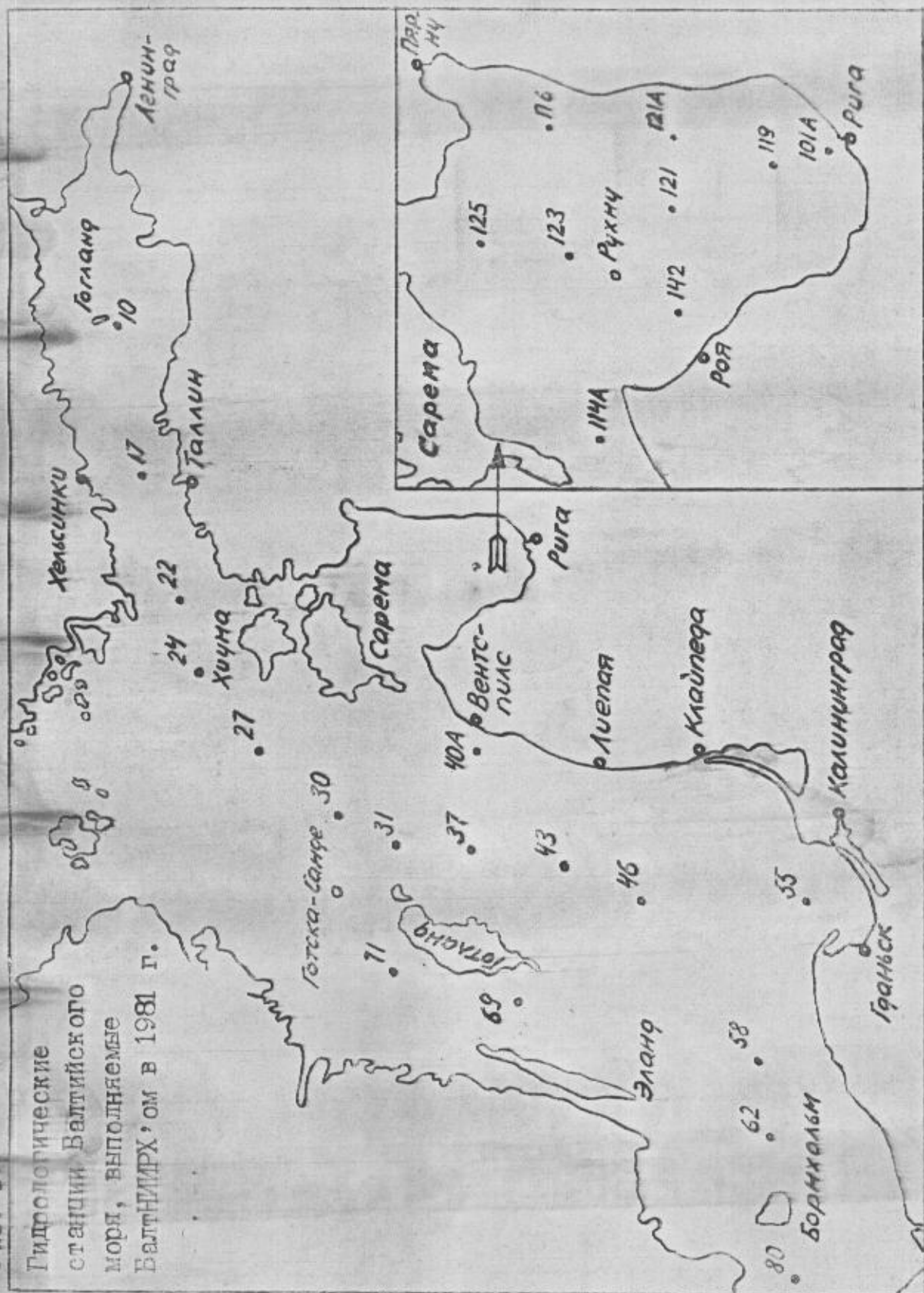


Рис. 1.



норма,  $5.9^{\circ}$  1980 г.). В среднем по морю температура воды в мае в слое 0-20 м была примерно  $6.8^{\circ}$  ( $5.4^{\circ}$  норма,  $6.2^{\circ}$  1980 г.). Термический режим верхнего слоя воды весной 1981 г. был тепловодным.

Гомотермия на обеих станциях наблюдалась до глубины 10 м, а глубина залегания минимума температуры в слое зимней воды (40-60 м) над Готландской впадиной была 60 м ( $2.0^{\circ}$ ), а над Северной впадиной 40 м ( $1.7^{\circ}$ ).

Летом в верхнем слое моря наблюдался сильный вертикальный водообмен. Если среднемесячная температура воздуха в Риге в июне-августе была на  $0.4^{\circ}$  выше нормы, то средняя температура воды Балтийского моря в августе в слое 0-20 м ( $15.4^{\circ}$ ) - на  $0.3^{\circ}$  ниже нормы, но на  $0.2^{\circ}$  выше, чем летом 1980 г. В целом термический режим моря в слое 0-20 м летом с.г. был умеренным.

Максимальная температура воды на поверхности моря в августе была юго-восточнее о.Готланд ( $18.1^{\circ}$ ), минимальная - восточнее о.Готска-Санде ( $14.7^{\circ}$ ) (летом 1980 г. соответственно  $17.9^{\circ}$  и  $16.0^{\circ}$ ). Верхний гомотермический слой в среднем распространялся до глубины 19 м (16 м летом 1980 г.).

Термоклин в среднем находился в слое 24-32 м (20-23 м летом 1980 г.) и его вертикальный градиент был слабым ( $1.0^{\circ}$  на 1 м). Максимальное значение градиента ( $1.6^{\circ}$  на 1 м) наблюдалось на ст. 37 в слое 20-25 м.

Средняя температура воды в слое зимней воды (40-60 м) летом 1981 г. ( $3.8^{\circ}$ ) была на  $0.5^{\circ}$  выше нормы и на  $1.4^{\circ}$  выше, чем летом 1980 г. Минимальная температура ( $2.4^{\circ}$ ) наблюдалась в Готландской впадине и в впадине Форе на глубине 60 м.

Осень. Среднемесячная температура воздуха в сентябре в Риге была на  $1.0^{\circ}$ , а в первой декаде октября на  $4.4^{\circ}$  выше нормы. Средняя температура воды верхнего 20 м слоя моря в октябре с.г. ( $10.0^{\circ}$ ) была на  $0.6^{\circ}$  выше нормы и на  $0.9^{\circ}$  выше, чем осенью 1980 г. Термический режим верхнего слоя моря был тепловодным.

Максимальная температура воды на поверхности моря осенью 1981 г. наблюдалась над Гданьской впадиной ( $11.4^{\circ}$ ), минимальная - восточнее о.Готска-Санде ( $8.7^{\circ}$ ). Осенью 1980 г. максимальная температура была  $11.3^{\circ}$ , минимальная  $7.0^{\circ}$ .

Гомотермия в среднем по морю наблюдалась до глубины 33 м (40 м осенью 1980 г.).

Среднегодовая температура верхнего 20 м слоя воды Балтийского моря в 1981 г. была примерно  $8.5^{\circ}$ , что на  $0.5^{\circ}$  выше нормы, на  $0.6^{\circ}$  выше, чем в 1980 г. и является максимальной за последние 6 лет.

Соленость. В верхнем 20 м слое Балтийского моря в 1981 г. наблюдались обычные сезонные изменения солености. Среднегодовая соленость слоя 0-20 м была довольно высокой - 7.6‰, что на 0.1‰ больше нормы, но на 0.1‰ меньше, чем в 1980 г. Среднесезонная соленость колебалась от 7.5‰ летом (7.8‰ норма, 7.6‰ 1980 г.) до 7.9‰ зимой (7.7‰ норма, 7.9‰ 1980 г.).

Среднегодовая соленость на ст. 80 была 8.3‰, на ст. 37 7.6‰ и на ст. 27 7.3‰ (рис. 1).

Газовый режим. В верхнем слое Балтийского моря в 1981 г. наблюдались обычные сезонные колебания содержания кислорода - зимне-весенний максимум и летний минимум (рис. 2-3). Среднегодовое содержание кислорода в слое 0-20 м было примерно 8.2 мл/л (7.9 мл/л норма, 8.1 мл/л 1980 г.).

Среднесезонное содержание кислорода в слое 0-20 м была от 6.7 мл/л летом (6.6 мл/л норма, 7.0 мл/л 1980 г.) до 9.4 мл/л весной (9.0 мл/л норма и 1980 г.).

### 1.1.2. Гидрологические и гидрохимические условия глубинного слоя моря

Гидрологический режим глубинного слоя Балтийского моря в 1981 г. характеризовался стагнацией, которая особенно усилилась к концу года (рис. 2.3.) и появлением сероводорода во всех глубоководных впадинах моря (рис. 4.).

Гданьская впадина (ст. 55). Гидрологический режим глубинного активного слоя впадины (70-80 м) в 1981 г. менялся под влиянием опускания зимней воды во второй половине года. Средняя температура этого слоя с  $4.4^{\circ}$  (норма  $4.4^{\circ}$ ) в первой половине года понизилась до  $3.3^{\circ}$  (норма  $4.4^{\circ}$ ) во второй половине, соленость с 10.4‰ (норма 10.2‰) уменьшилась до 8.6‰ (норма 9.8‰), а содержание кислорода с 1.7 мл/л (норма 4.2 мл/л) увеличилось до 5.8 мл/л (норма 4.0 мл/л).

В придонном слое впадины (90-100 м) наблюдалась стагнация. Содержание кислорода с 1.0 мл/л в феврале (норма 3.6 мл/л)

уменьшилось до 0.1 мл/л в августе-октябре (норма 1.6 мл/л), соленость с 11.7‰ в феврале (норма 12.0‰) постепенно уменьшилась до 11.2‰ в октябре (норма 11.2‰), а температура воды за тот же период с 5.0° (норма 6.3°) понизилась до 4.7° (норма 5.4°).

В августе у дна впадины появился сероводород, который в октябре наблюдался в северной части впадины в слое 85-95 м (рис. 4.), а изоксигена 1.0 мл/л с мая по октябрь в среднем находилась на глубине 87 м.

Южная часть Готландской котловины (ст. 46). В глубинном активном слое (70-90 м) соленость и содержание кислорода в течение года было достаточно высокими. Содержание кислорода с февраля по середины октября было 2.4 мл/л, что соответствует норме и только в конце октября резко уменьшилось до 1.1 мл/л (норма 2.4 мл/л). Соленость с февраля по октябрь была 10.1‰, что соответствует норме, а температура 4.0° (на 0.4° ниже нормы).

В придонном слое (100-120 м) содержание кислорода зимой и весной было около 1.0 мл/л (норма 1.6 мл/л), но к концу октября уменьшилось до 0.3 мл/л (норма 1.5 мл/л). Соленость с 11.7‰ в феврале постепенно уменьшилась до 11.4‰ в октябре и в течение всего периода была на 0.3‰ меньше нормы, а температура воды с февраля по октябрь была 5.0° (норма 5.2°).

Сероводород у дна ст. 46 наблюдался только в конце октября (рис. 3.), а изоксигена 1.0 мл/л с горизонта 94 м в феврале опустилась до 118 м в июне (влияние адвекции) и снова поднялась до 74 м в октябре (стагнация).

Готландская впадина (ст. 37). В глубинном активном слое (100-130 м) содержание кислорода с февраля по май было около 1.0 мл/л (табл. 1), что соответствует норме, но затем постепенно уменьшилось до 0.3 мл/л в октябре (норма 1.2 мл/л). Соленость с 11.8‰ в феврале уменьшилась до 11.4‰ в октябре, а среднегодовая соленость (11.5‰) соответствует норме. Температура воды (4.9°) соответствует норме.

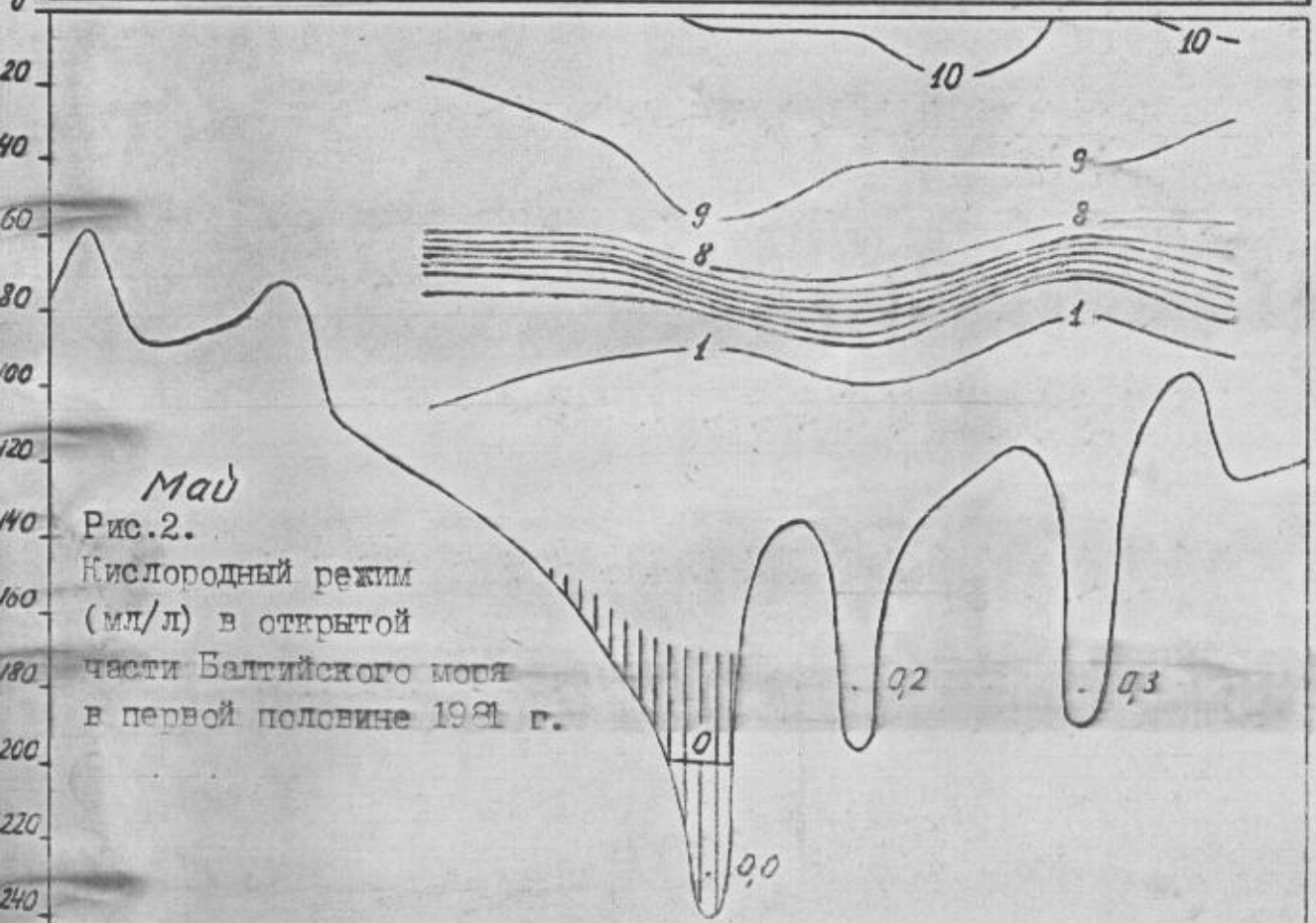
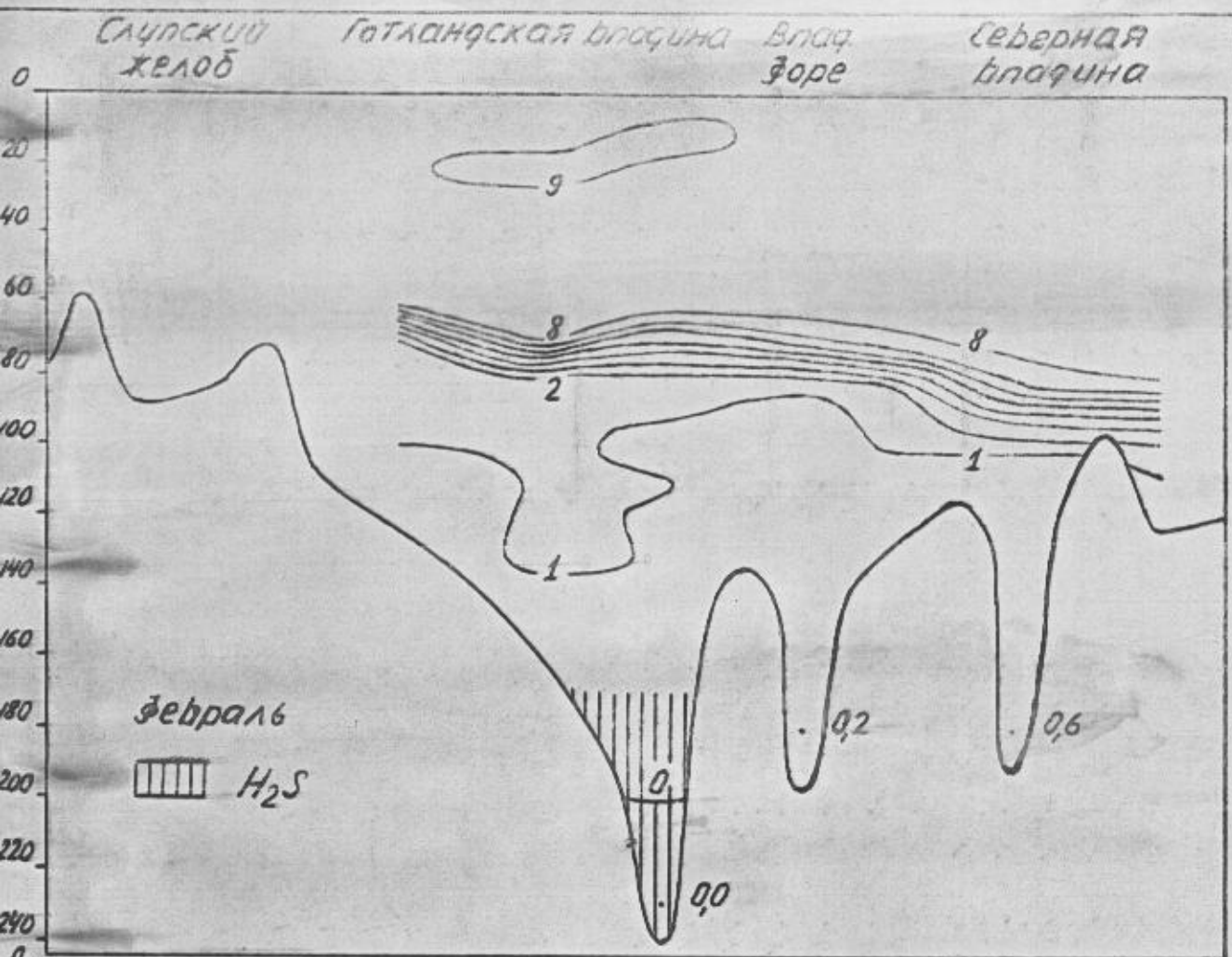
В придонном слое (200-230 м) в течение всего года наблюдалась стагнация. Кислород весь год отсутствовал, соленость (12.5‰) на 0.2‰ меньше нормы, а температура воды соответствовала норме (5.6°, табл. 1). Если в феврале зона полного отсутствия кислорода наблюдалась глубже 200 м, то в октябре

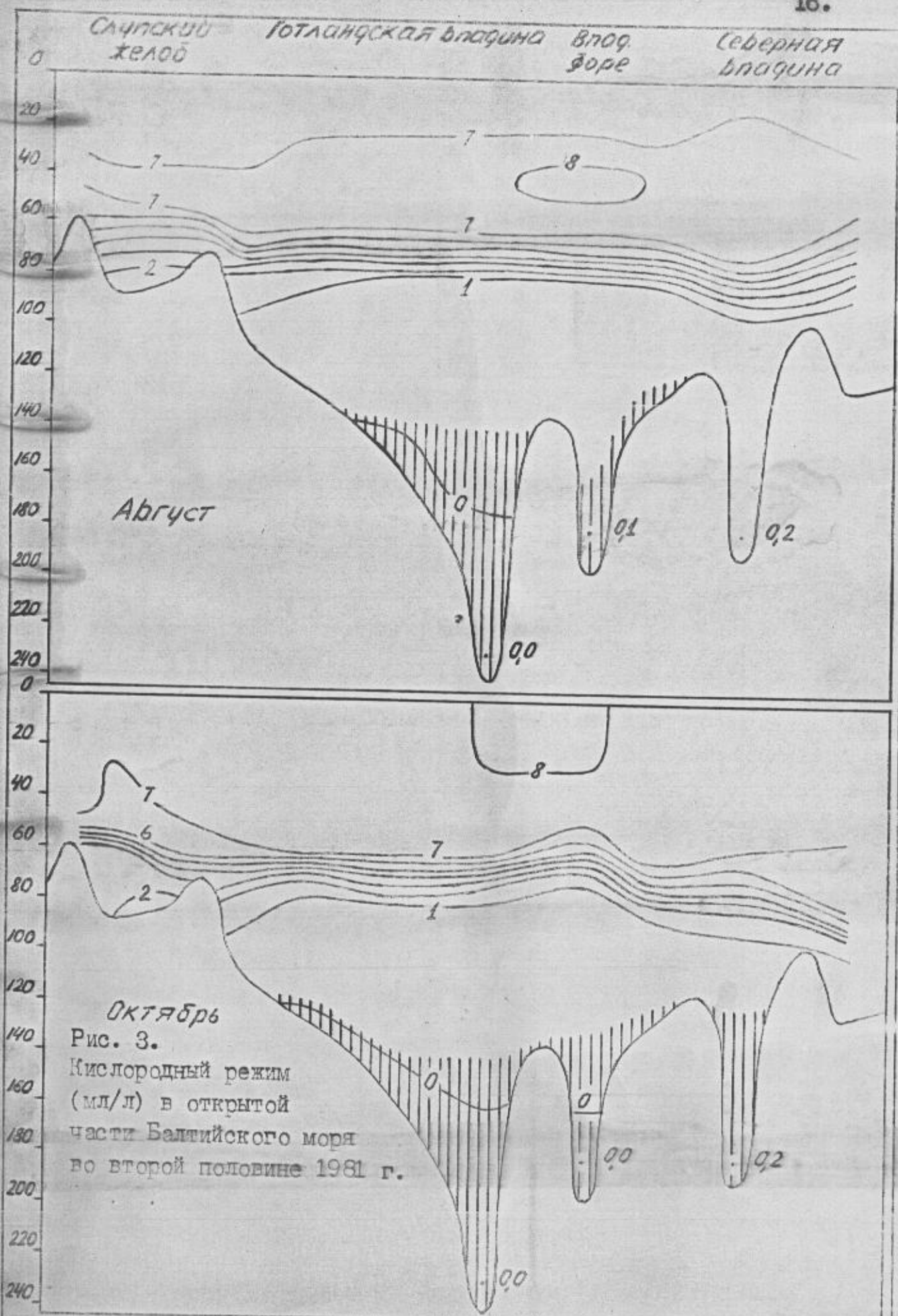


Таблица 1

Температура, соленость и содержание кислорода в центральной части Балтийского моря  
в 1981 г. (ст. 37)

Глубина в м	Температура воды (°C)				Соленость (‰)				Содержание кислорода (O <sub>2</sub> мл/л)			
	Зима 2011	Весна 20У	Лето 25УИ	Осень 29Х	Зима 2011	Весна 20У	Лето 25УИ	Осень 29Х	Зима 2011	Весна 20У	Лето 25УИ	Осень 29Х
0	2.05	7.98	14.98	9.31	7.97	7.61	7.48	7.23	8.60	10.12	6.88	8.27
10	2.05	6.54	14.98	9.32	7.97	7.61	7.48	7.23	9.95	10.26	6.42	8.15
20	2.06	4.61	14.90	9.32	7.97	7.61	7.48	7.23	8.57	9.99	6.84	8.16
30	2.06	2.38	5.56	9.32	7.97	7.79	7.67	7.23	8.58	9.00	7.53	7.80
40	2.06	2.68	3.82	4.07	7.97	7.79	7.76	7.77	8.60	9.05	7.88	7.75
50	2.06	2.46	3.12	3.10	7.97	7.90	7.99	7.97	8.56	8.76	7.74	7.77
60	2.07	2.42	2.43	2.94	7.97	7.90	8.08	7.97	8.56	8.64	7.71	7.06
70	3.45	2.44	3.04	3.46	10.07	8.17	8.82	8.84	4.80	7.36	4.42	2.19
80	4.48	4.14	4.05	4.26	10.72	10.28	10.07	10.14	1.03	1.37	1.02	0.55
90	4.70	4.36	4.38	4.58	11.33	10.37	10.46	10.50	1.05	0.99	0.52	0.56
100	4.82	4.60	4.62	4.81	11.78	10.55	11.09	11.04	0.95	0.96	0.55	0.43
150	5.31	5.26	5.30	5.38	12.41	12.02	12.20	12.25	0.20	0.58	0.11	0.19
200	5.64	5.65	5.57	5.63	12.41	12.47	12.38	12.61	0.00	0.00	0.04	0.00
230	5.66	5.66	5.64	5.68	12.50	12.56	12.47	12.61	0.00	0.00	0.00	0.00
Средняя температура, соленость и содержание кислорода по слоям												
0-20	2.05	6.36	14.95	9.32	7.97	7.61	7.48	7.23	8.84	10.13	6.70	8.19
40-60	2.06	2.39	3.12	3.37	7.97	7.86	7.94	7.90	8.57	8.82	7.78	7.53
100-130	4.95	4.81	4.85	5.01	11.85	11.30	11.44	11.36	0.87	0.88	0.56	0.30
200-230	5.64	5.66	5.62	5.67	12.48	12.52	12.45	12.61	0.00	0.00	0.04	0.00







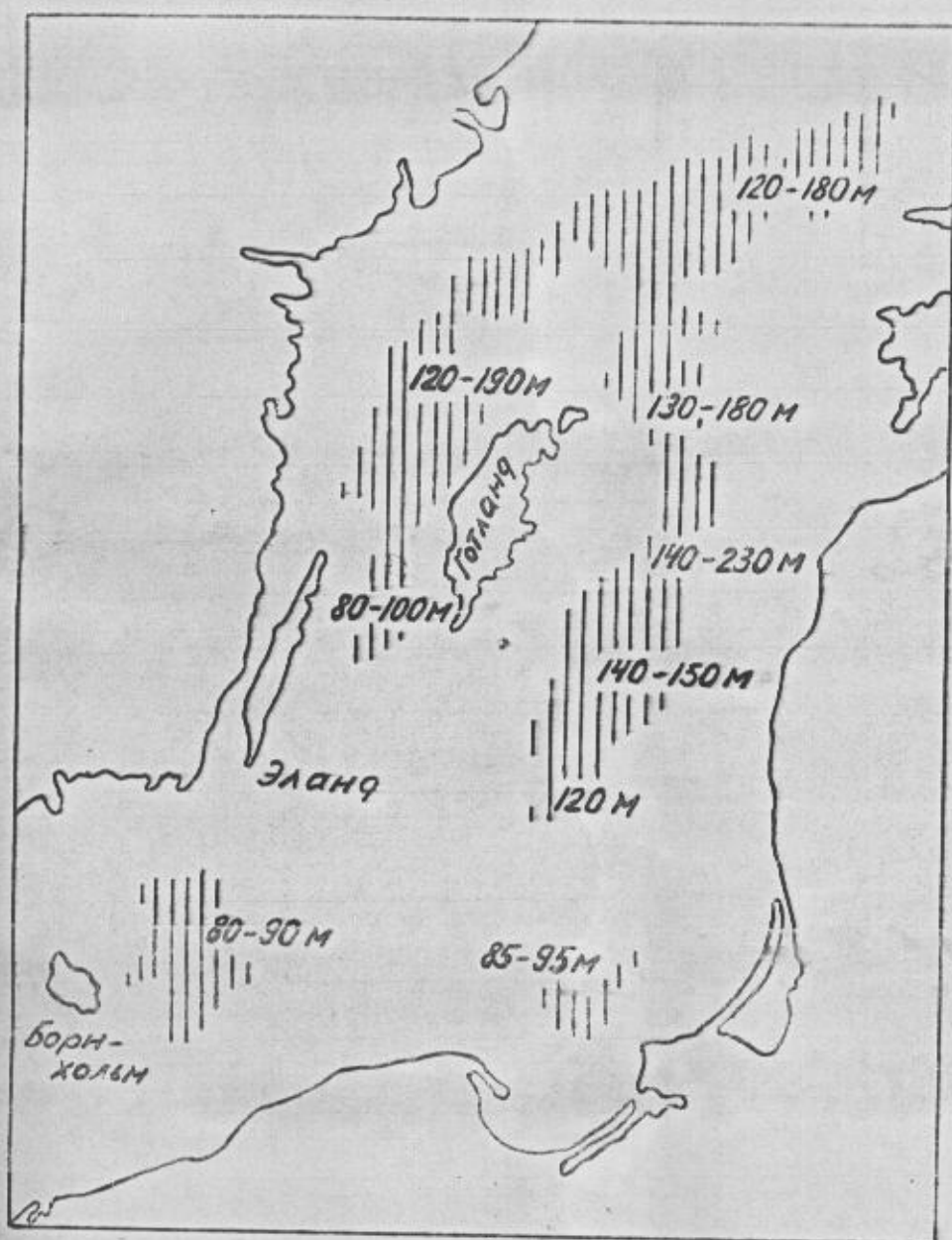


Рис.4. Распространение сероводорода в Балтийском море в октябре 1981 г. и слой воды, в котором наблюдается его присутствие.

глубже 160 м, а в южной части Готландской котловины глубже 120 м (рис. 2, 3).

В течении всего года в впадине наблюдался сероводород. Слой сероводорода с 170-230 м в феврале увеличился до 140-230 м в октябре, а изоксигена 1.0 мл/л с 115 м в феврале-мае поднялась до 78 м в конце октября.

Северная впадина (ст. 27). В глубинном активном (100-130 м) и в придонном (160-180 м) слоях гидрологические элементы менялись мало и их среднегодовые величины практически соответствовали норме, о чем свидетельствуют следующие данные:

	$t^{\circ}$	$S\%$	$O_2^{мл/л}$		$t^{\circ}$	$S\%$	$O_2^{мл/л}$
100-130 м 1981 г	4.6	10.9	0.4	160-180 м 1981 г	4.8	11.3	0.3
норма	4.9	11.0	0.4	норма	5.0	11.3	0.3

В сентябре-октябре в слое 120-180 м появился сероводород (рис. 3), а изоксигена 1.0 мл/л с февраля по октябрь в среднем находилась на глубине 92 м.

Кроме вышеуказанных впадин сероводород в октябре 1981 г. наблюдался в Борнхольмской впадине (ст. 62), во впадинах Карлсе (ст. 69), Норрчепинг (ст. 71) и Форе (ст. 31) (рис. 1, 4).

## 1.2. Гидрологические и гидрохимические условия Рижского залива

Характеристика гидрологических условий Рижского залива дана по температуре, солености и содержанию кислорода, изменения этих параметров рассмотрены на основе сезонных океанографических съемок БалтНИИРХ. Используются также гидрологические наблюдения проводимые в мае, июне и августе УГКС Латвийской ССР.

### 1.2.1. Зима

Температура и ледовый режим. Зима 1980/81 г. была сравнительно теплой, сумма среднесуточных отрицательных температур в Риге была  $-386^{\circ}$  (67% нормы). Охлаждение залива в конце 1980 г. происходило быстрее чем предыдущей осенью, что связано с резким похолоданием в ноябре-начале декабря. Со второй половины декабря охлаждение проходило медленнее и в середине

февраля средняя температура вод залива была близка к норме (табл. 2). В это время температура воды на поверхности была от  $0^{\circ}$  в заливе Пярну до  $0.4^{\circ}$  на юге Рижского залива. У дна глубоководной зоны температура была  $0.4^{\circ}$ - $0.5^{\circ}$ .

Образование льда началось во второй декаде ноября в заливе Пярну и Моонзунде. Интенсивное льдообразование началось в середине февраля и в конце месяца залив покрылся льдом. Наиболее тяжелые ледовые условия были в середине марта, когда весь залив был покрыт дрейфующим льдом толщиной 10-30 см, а в Моонзунде, заливе Пярну и северном районе до изобаты 10 м был припай толщиной 25-50 см. Разрушение льда началось в конце марта и завершилось в середине апреля.

Средняя соленость вод залива под влиянием увеличенного стока рек (170-270% нормы) уменьшилась с 6.19‰ в октябре 1980 г. до 6.12‰ в середине февраля 1981 г. Во второй декаде февраля 1981 г. по всей акватории залива соленость была 6.1‰, за исключением придонного слоя Ирбенского пролива (6.7‰).

Содержание кислорода зимой 1981 г. было повышенным (9.1 мг/л), с равномерным распределением по акватории залива, а также по вертикали.

### 1.2.2. Весна

Температура. Теплосодержание залива весной 1981 г. было несколько ниже нормы из-за холодной погоды в апреле. Прогрев воды начался в конце марта. В результате интенсивного ветрового перемешивания в апреле вся толща воды нагревалась равномерно и медленно. Этому способствовало сохранение гомогальности (особенно в западном и северном районах), обусловленное незначительным притоком балтийских вод в конце зимы - начале весны, а также распространение опресняющего влияния стока рек только в юго-восточном районе. Вертикальное перемешивание обусловило пониженную температуру верхнего и повышенную температуру придонного слоев (табл. 2, рис. 5).

В первой декаде мая 1981 г. температура на поверхности залива была от  $5.6^{\circ}$  напротив устья р. Даугавы до  $1.7^{\circ}$  в центре, а у дна глубоководной зоны от  $0.6^{\circ}$  в южном подрайоне до  $2.2^{\circ}$  между мысом Колка и о. Рухну.



Таблица 2

Средняя температура, соленость и содержание кислорода Рижского залива в 1961 году.

Слой (м)	Зима		Весна		Лето		Осень		Год					
	1961 отклонения	1960 ср. мн.	1961 отклонения	1960 ср. мн.	1961 отклонения	1960 ср. мн.	1961 отклонения	1960 ср. мн.	1961 отклонения	1960 ср. мн.				
Температура (°C)														
0-10	0.3	+0.5	-0.2	-1.1	17.6	-0.6	+0.4	10.0	+0.3	+1.6	7.6	0.0	+0.2	
30-50	0.4	+0.5	-0.3	+0.3	4.1	+1.3	+1.5	7.5	+0.7	0.0	3.3	+0.8	+0.4	
0-50	0.3	+0.5	-0.3	+0.4	-0.3	+0.5	+0.6	9.2	+0.3	+1.1	5.8	+0.4	+0.3	
Соленость (‰)														
0-10	6.08	-0.15	+0.02	5.47	-0.24	-0.18	-0.15	-0.11	5.73	-0.17	-0.30	5.74	-0.17	-0.14
30-50	6.08	-0.33	-0.07	6.07	-0.53	-0.22	-0.48	-0.11	6.02	-0.57	-0.13	6.10	-0.48	-0.13
0-50	6.12	-0.25	-0.01	5.80	-0.32	-0.19	-0.21	-0.05	5.87	-0.32	-0.23	5.94	-0.28	-0.12
Содержание кислорода (O <sub>2</sub> мл/л)														
0-10	9.2	+1.4	+0.3	10.1	-1.1	-0.3	+0.2	+0.1	7.1	+0.5	-0.1	8.2	+0.2	0.0
30-50	9.0	+1.4	+0.2	8.8	+1.0	+0.2	+1.7	-0.1	5.4	+1.3	-0.8	7.2	+1.4	-0.1
0-50	9.1	+1.4	+0.3	9.4	-0.4	-0.2	+0.6	-0.2	6.5	+0.7	-0.4	7.7	+0.5	-0.1

Во второй половине мая, когда температура воздуха была на  $4^{\circ}$ - $5^{\circ}$  выше нормы, наблюдался интенсивный прогрев вод залива.

Соленость. Весной сохранялась тенденция уменьшения солености, обусловленное увеличенным стоком рек в конце 1980 г. и начале 1981 г. Средняя соленость вод Рижского залива была ниже нормы и значительно ниже чем весной 1980 г. (табл. 2, рис. 6).

В первой декаде мая наименьшая соленость на поверхности залива была в мелководной зоне южного подрайона (1.8‰) — минимальной за период наблюдений БалтНИРХ с 1971 г. Зона пониженной солености (5.1-5.4‰) располагалась юго-восточнее линии Энгуре — о. Кижну. Наибольшая соленость на поверхности была в Ирбенском проливе — 6.2‰. Наибольшая соленость у дна была отмечена в Ирбенском проливе (7.0‰), что указывает на наличие притока балтийских вод. Равномерное распределение солености у дна остальной акватории залива (6.0-6.2‰) свидетельствует об отсутствии значительных притоков балтийских вод зимой.

Среднее содержание кислорода в Рижском заливе весной было меньше нормы и меньше чем весной 1980 г., и отличалось равномерным распределением по вертикали. В верхнем слое содержание кислорода было значительно меньше, а в придонном — значительно больше, чем весной 1980 г. (табл. 2, рис. 6). Интенсивное вертикальное перемешивание вод в апреле и начале мая вероятно было причиной слабо выраженного весеннего максимума содержания кислорода в верхнем слое. Среднее содержание кислорода на поверхности юго-восточного района, где верхний слой был сильно опреснен и уже образовалась плотностная стратификация, было 11.1 мг/л (12.8% насыщения), а в остальном заливе, где стратификации еще не было — 9.6 мг/л (109% насыщения). При неустойчивой стратификации и вертикальном перемешивании фотосинтетическая деятельность фитопланктона затормаживается, так как вода верхнего освещенного слоя, где фотосинтез уже начался, через некоторое время погружается в глубинный слой и процесс приостанавливается. Следовательно происходит увеличение содержания кислорода во всей толще воды и особенно в придонном слое. Это подтверждается увеличенным содержанием кислорода придонного слоя весной этого года (табл. 2, рис. 6).

В первой декаде мая содержание кислорода на поверхности залива было от 8.0 мг/л восточнее мыса Колка до 11.8 мг/л на юге центрального подрайона, а у дна от 7.8 мг/л в западном

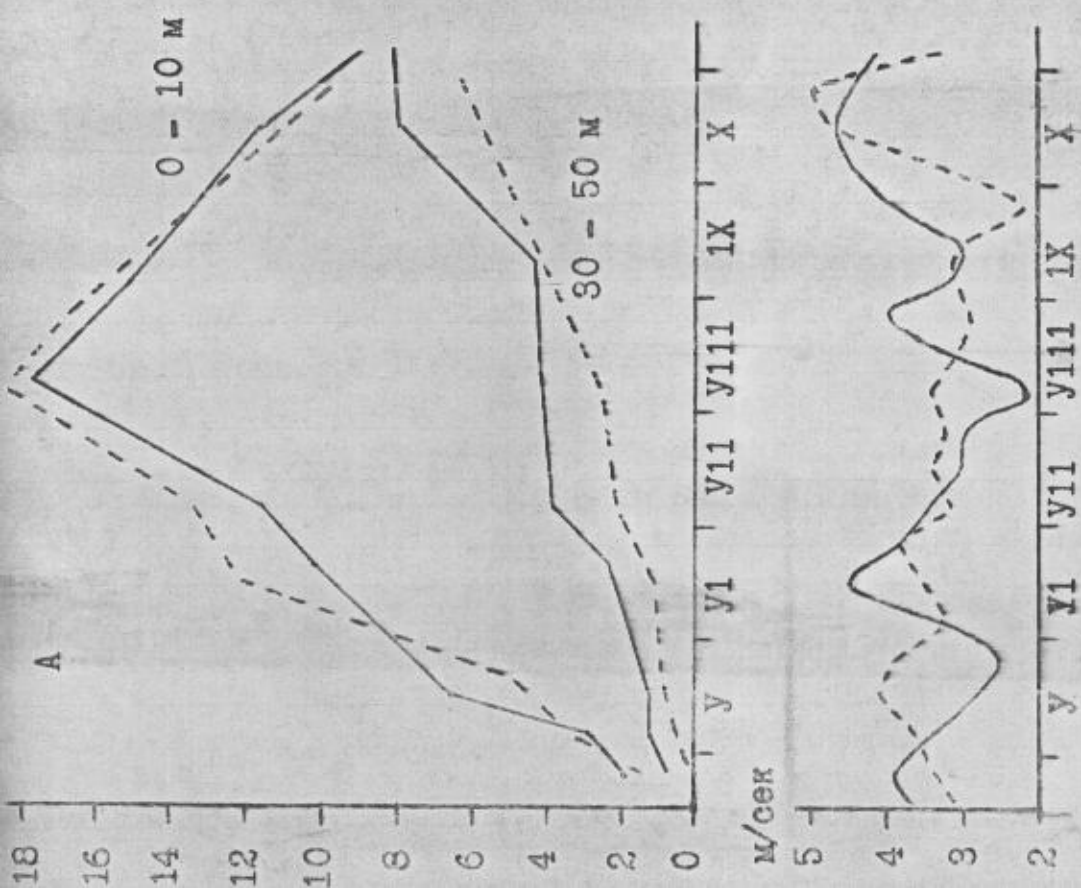


рис. 5. Изменения температуры воды (А) верхнего и придонного слоев Рижского залива и скорости ветра (Б) в 1980 (пунктир) и 1981 гг.

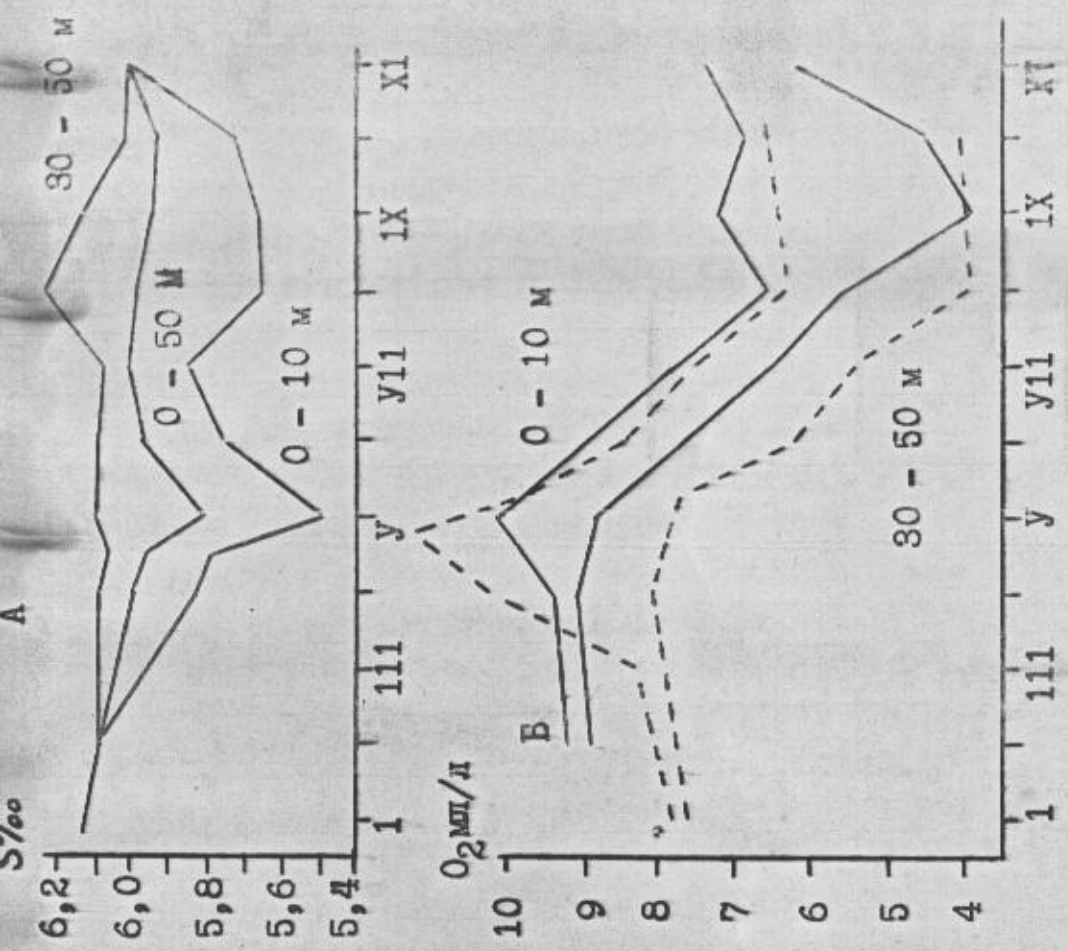


рис. 6. Изменения солёности (А) и содержания кислорода (Б) в различных слоях Рижского залива в 1980 (пунктир) и 1981 гг.



районе до 9.9 м в мелководной зоне северного района.

### 1.2.3. Лето

**Температура.** Прогрев всей толщи вод Рижского залива в начале лета был более интенсивным чем летом 1980 г. и близок к среднепогодному. Однако изменения температуры в верхнем и придонном слоях заметно отличались от обычных. Несмотря на то, что лето было теплым (средняя температура воздуха с мая до июня была на  $1.9^{\circ}$  больше нормы), температура верхнего слоя была минимальной за последние 11 лет - на  $2^{\circ}$ - $2.5^{\circ}$  ниже нормы. Это объясняется интенсивным ветровым перемешиванием в середине июня (рис. 5). Термоклин в конце июня - начале июля находился на глубине 20 м - на 5-10 м глубже чем обычно. Но интенсивное вертикальное перемешивание указывает также повышение температуры воды придонного слоя с  $2.3^{\circ}$  во второй половине июня до  $3.3^{\circ}$  в начале июля и уменьшение вертикального градиента солености в июля (рис. 6).

В первой половине августа температура на поверхности залива была от  $17.2^{\circ}$  в северном районе до  $19.4^{\circ}$  в заливе Пярну, а у дна глубоководной зоны - от  $2.0^{\circ}$  в восточном подрайоне, до  $6.1^{\circ}$  в западном районе. Обусловленная притоком балтийских вод повышенная температура ( $5.3^{\circ}$ - $6.0^{\circ}$ ) наблюдалась также у дна центрального и южного подрайонов.

**Соленость.** Быстрое увеличение солености вод Рижского залива после хорошо выраженного весеннего минимума объясняется уменьшением стока рек летом (40-70% нормы) и распространением по придонному слою значительно притока балтийских вод, проходившего через Ирбенский пролив в конце мая. Этот приток в середине июня достиг западный район, в начале июля - южный подрайон, в начале августа - центральную котловину и восточный подрайон обуславливая увеличение солености придонного слоя (рис. 6).

В начале августа соленость на поверхности была от 5.2‰ в южном подрайоне и заливе Пярну до 6.5‰ в Ирбенском проливе, а у дна от 6.2‰ в северном районе до 7.1‰ в Ирбенском проливе. Средняя соленость была меньше нормы и значительно меньше чем летом 1980 г. (табл. 2).

Уменьшение содержания кислорода в верхнем слое летом 1981 г. происходило примерно также как летом 1980 г. (рис. 6).

В придонном слое, благодаря хорошему вертикальному водообмену весной и в середине июня, содержание кислорода до августа было повышенным и уменьшение его происходило медленно (рис. 6). Среднее содержание кислорода придонного слоя в августе было наибольшим за последние 8 лет.

В начале августа содержание кислорода на поверхности залива было от 6.0 мг/л в южном подрайоне до 7.5 мг/л в северном районе, у дна - от 3.2 мг/л в западном районе до 5.9 мг/л в восточном подрайоне. Среднее содержание кислорода было меньше нормы и значительно больше чем летом 1980 г. (табл. 2).

#### 1.2.4. Осень

Температура. Охлаждение вод залива началось уже в конце августа, но из-за теплой погоды в сентябре и октябре (максимальная за 6 лет) происходило медленно. Средняя температура воды в конце октября была наибольшей за последние 6 лет и значительно выше нормы (табл. 2).

Во второй декаде октября температура на поверхности залива была  $11.3^{\circ}$ - $11.9^{\circ}$  за исключением западного района ( $7.5^{\circ}$ - $10.3^{\circ}$ ). Это объясняется преобладанием в начале октября сильных и устойчивых юго-западных ветров, которые у западного побережья залива обусловили апвеллинг - выход на поверхность холодных глубинных вод. В этот период наблюдалось также перемешивание до дна в северной районе и восточном подрайоне, где температура у дна была  $11.3^{\circ}$ - $11.5^{\circ}$ . В других районах температура у дна глубоководной зоны была  $3.3^{\circ}$ - $4.4^{\circ}$ , а термоклин находился на глубине 30 м. В первой декаде ноября термоклин сохранился в центральном и южном подрайонах.

Соленость. В сентябре и октябре 1981 г. наблюдалось некоторое уменьшение солености вод залива обусловленное ослаблением притока балтийских вод в конце лета (рис. 6). Во второй половине сентября, когда преобладали сегонные ветры, опять очевидно происходил значительный приток балтийских вод. В середине октября воды этого притока были около мыса Колка, а в начале ноября - уже в придонном слое западного района и обусловили увеличение средней солености вод залива.

Во второй декаде октября 1981 г. на поверхности залива соленость была от 5.0‰ напротив устья р. Даугавы до 5.8-5.9‰

в западном и северном районах, а у дна - от 5.8‰ в восточном подрайоне до 6.5‰ восточнее мыса Коика. Средняя соленость была ниже нормы и осени 1980 г. (табл. 2).

Содержание кислорода осенью было меньше нормы и больше, чем осенью 1980 г. (табл. 2). Во второй декаде октября на поверхности залива содержание кислорода было 7.0 мг/л, за исключением западного района (6.4 мг/л). У дна наибольшее содержание кислорода было в восточном подрайоне и северном районе (6.0 мг/л), где уже установилась гомотермия, наименьшее - в центральном и южном подрайонах (2.2-3.4 мг/л), где еще сохранилась устойчивая стратификация вод.

### 1.2.5. Основные особенности гидрологических и гидрохимических условий Рижского залива в 1981 году.

Основными факторами определяющими особенности гидрологического режима Рижского залива в 1981 г. были:

- 1) Повышенная температура воздуха определяющая повышенную температуру вод залива в течение всего года.
- 2) Значительное ветровое перемешивания в апреле и июне, определяющее слабую стратификацию водных масс и малые вертикальные градиенты температуры, солености и кислорода в течение всего лета.
- 3) Увеличенный сток рек в конце 1980 г. и начале 1981 г. определяющий уменьшенную соленость в течение всего года.
- 4) Некоторое усиление притока балтийских вод в конце мая и в конце сентября, которое ослабило общую тенденцию уменьшения солености Рижского залива.

### 1.3. Гидрологические и гидрохимические условия Финского залива

Особенности гидрологических и гидрохимических условий рассмотрены в регионе рыбохозяйственных исследований БалНИИЕХ - в советской рыболовной зоне залива от о. Осмусаар до о. Гогланд. Исследуемая акватория разделена на западный, средний и восточный районы, в которых соответственно расположены реперные гидрологические станции 22, 17 и 10 (рис. 1).



Использованы данные океанографических наблюдений БалтНИИРХ в феврале, мае августе и октябре. Из-за ледовых условий в феврале выполнены наблюдения лишь в западной районе, а в мае по техническим причинам отсутствуют наблюдения в восточном районе. Использованы также данные ледотермических авиасъемок проводимые СЗ УГКС и данные по стоку рек бассейна Финского залива СЗ УГКС и УГКС Эстонской ССР [ 2.3 ] .

### 1.3.1. Зима

Ледовые условия зимой 1980/81 гг были несколько легче средних многолетних. В середине февраля лед был восточнее  $26^{\circ}$  в.д., на поверхности среднего района температура была около  $0.5^{\circ}$ , а в западном районе - до  $1.0^{\circ}$ .

В прилегающем к Финскому заливу районе открытого моря севернее о. Хиумса средняя температура поверхностного 20-метрового слоя в середине февраля была  $1.2^{\circ}$  ( $0.0^{\circ}$  в соответствующий период 1980 года). Зимняя конвекция наблюдалась до глубины 80 м (6 февраля 1980 года - до 65 м).

В западном районе залива в феврале влияние зимней конвекции наблюдалось до дна. Температура поверхностного 10-метрового слоя была  $0.8^{\circ}$ , соленость 7.2‰, содержание кислорода 8.9 мл/л. У дна на глубине 90 м температура была  $2.4^{\circ}$ , соленость 8.6‰, содержание кислорода 6.0 мл/л (осенью 1980 года соответственно  $4.6^{\circ}$ , 10.2‰, 0.4 мл/л). Сравнение вышеуказанных параметров свидетельствует о том, что в период с ноября 1980 г. по февраль 1981 г. произошло интенсивное вертикальное перемешивание всей толщи вод и придонный слой балтийских вод с острым дефицитом кислорода в заливе исчез.

В марте почти вся акватория залива была покрыта дрейфующим льдом. Наиболее легкие ледовые условия наблюдались в юго-западной части залива от о. Осмусаар до Таллина, где лед появился лишь эпизодически. Очищение от льда акватории западнее о. Гогланд наблюдалось в середине апреля, а всего залива в середине мая.

### 1.3.2. Весна

В начале весны прогрев верхнего слоя залива проходил медленно. В конце первой декады мая наименьшая температура на поверхности наблюдалась в среднем районе вдоль южного побережья залива от Таллина до Кууды ( $2.5^{\circ}$ – $3.0^{\circ}$ ). Средняя температура поверхностного 20-метрового слоя в среднем районе была  $2.4^{\circ}$  – на  $1.0^{\circ}$  ниже чем в западном районе. Средняя температура всей толщи вод залива в мае была значительно ниже чем в мае 1980 г. и ниже средней многолетней. Особенно большие отрицательные отклонения температуры наблюдались в верхнем 20-метровом слое (табл. 3). Слой минимума температуры по всему заливу находился на глубине 30 м, наименьшая температура в нем была в среднем районе ( $0.35^{\circ}$ ).

Средняя соленость верхнего слоя залива (0–60 м) весной была несколько больше, среднее содержание кислорода – значительно больше прошлой годней и средней многолетней (табл. 3).

Весной в западной и средней части залива глубже 70 м наблюдалось обычное сезонное вторжение балтийских вод из северной части открытого моря, которое было значительно слабее, чем в предыдущие годы. Температура этих вод была  $3.5$ – $4.5^{\circ}$ , соленость 9.0–10.6‰, содержание кислорода 0.8–2.8 мл/л. Средняя температура и соленость балтийских вод (слой 70–90 м) было меньше, а содержание кислорода значительно больше чем в прошлом году, а также больше средних многолетних значений.

### 1.3.3. Лето

Наибольший прогрев поверхностного слоя залива наблюдался во второй декаде августа – во время проведения летней океанографической съемки. Температура на поверхности залива была больше  $16.0^{\circ}$ , максимум  $17.4^{\circ}$  наблюдался в восточном районе. Средняя температура поверхностного слоя (0–20 м) уменьшилась с востока на запад:  $16.9^{\circ}$  в восточном,  $15.6^{\circ}$  в среднем и  $14.0^{\circ}$  в западном районе – в среднем на  $0.8^{\circ}$  выше прошлой годней и на  $1.1^{\circ}$  выше нормы.

Термоклин в среднем был на глубине 15–25 м и выражен довольно резко, что затрудняло водообмен между поверхностным теплым и холодным промежуточным слоями. Вследствие этого

температура холодного промежуточного слоя (40–60 м) была относительно низкой – ниже прошлой годней и средней многолетней (табл. 3). Минимум температуры ( $2.2^{\circ}$ ) в западном районе был на 60 м, в среднем ( $1.8^{\circ}$ ) – на 50 м, в восточном ( $1.4^{\circ}$ ) – на глубине 40 м.

Средняя соленость верхнего слоя (0–60 м) в западном районе была 7.2‰, в среднем районе – 6.5‰, в восточном районе – 6.0‰ – в среднем меньше прошлой годней, а также нормы (табл. 3).

Среднее содержание кислорода поверхностного теплого слоя в августе было близко к норме, а в холодном промежуточном слое из-за более низкой температуры значительно больше чем летом 1980 г. а также средней многолетней (табл. 3).

Летом в верхнем слое западного района залива наблюдался интенсивный водообмен с открытой частью моря – вынос вдоль северного побережья более теплых вод с меньшей соленостью из залива в море и поступление вдоль южного побережья относительно холодных вод с большей соленостью из моря в залив. Граница этих двух водных масс в середине залива была очень резкой. На это указывают наблюдения на 2-х гидрологических станциях в середине западного района залива, расстояние между которыми 6 миль. На ст. 23 расположенной южнее средняя температура поверхностного слоя (0–20 м) была  $14.0^{\circ}$ , соленость 6.8‰, содержание кислорода 7.1 мл/л, а на ст. 22 расположенной севернее соответственно  $16.6^{\circ}$ , 5.3‰ и 6.4 мл/л. Следовательно на расстоянии 6 миль разность температур была  $2.6^{\circ}$ , соленость 1.5‰, содержания кислорода 0.7 мл/л.

В глубинном слое западного и среднего района залива в отличие от 1978–1980 гг. летом по сравнению с весной не наблюдалось дальнейшего поступления балтийских вод вглубь залива. Температура придонного слоя (80–90 м) в августе по сравнению с маем в западном районе понизилась с  $4.4^{\circ}$  до  $4.2^{\circ}$ , в среднем районе с  $4.1^{\circ}$  до  $3.1^{\circ}$ , соленость соответственно уменьшилась с 10.6‰ до 10.0‰ и с 10.1‰ до 9.0‰. В период с мая по август вертикальный водообмен в среднем районе был значительно сильнее чем в западном. Это обусловило разнонаправленные изменения содержания кислорода в придонном слое этих районов. Среднее содержание кислорода в слое 80–90 м в среднем районе с мая по август увеличилось с 2.0 мл/л до 2.9 мл/л, а в западном



уменьшилось с 1.1 мл/л до 0.4 мл/л. Содержание кислорода у дна западного района на ст. 22 с мая по август уменьшилось с 0.62 мл/л до 0.15 мл/л и у дна появился сероводород. Изоксигена 1 мл/л с глубины 85 м в мае поднялась до 78 м в августе.

#### 1.3.4. Осень

Во второй декаде октября осенняя конвекция на юге западного района залива наблюдалась до глубины 70 м, на севере западного района и в среднем районе - до 40 м, а в восточном районе - до 20 м. Средняя температура поверхностного слоя (0-20 м) в западном районе была 10.4°, в среднем и восточном 10.0°. На юге западного района холодный промежуточный слой исчез, а на севере опустился почти до дна (70-80 м) с минимальной температурой 3.0°. В среднем районе холодный промежуточный слой был расположен на глубине 60-70 м с минимальной температурой 2.9°, а в восточном районе минимальная температура холодного промежуточного слоя (40-60 м) была 2.1°.

Вышеуказанные значительные различия в толщине верхнего гомотермического слоя в южной и северной половине западного района залива обусловили интенсивный водообмен с открытым морем. На расстоянии всего 6 миль (от ст. 23 до ст. 22) толщина верхнего слоя уменьшилась почти вдвое (с 70 до 40 м) - южную половину района занимали поступающие из моря хорошо перемешанные воды, а перемешиванию вод северной половины препятствовал более опресненный поверхностный слой - градиент плотности в слое 0-70 м на севере был 3 раза больше чем на юге. Средняя соленость слоя 0-20 м на ст. 23 была 7.1‰ - на 0.5‰ больше чем на ст. 22 (6.6‰).

Средняя соленость поверхностного слоя (0-20 м) в среднем районе залива была 6.2‰, в восточном 5.1‰. Средняя соленость всего верхнего слоя Финского залива (0-60 м) осенью по сравнению с летом увеличилась на 0.6‰ и была близка к солености осенью 1980 г. а также средней многолетней. По сравнению с летом соленость придонного слоя залива (70-90 м) осенью уменьшилась на 0.8‰. Средняя соленость этого слоя была значительно меньше чем осенью прошлого года, а также меньше нормы (табл. 3).

Присутствие сероводорода у дна западного района залива в 1981 году было непродолжительным - не более 2 месяцев.

Вероятно уже в сентябре сероводород у дна исчез, а в середине октября наименьшее содержание кислорода у дна западного района было 2,8-мл/л. Среднее содержание кислорода в придонном слое западного и среднего района (70-90 м) осенью было значительно больше чем осенью прошлого года, а также больше нормы (табл. 3).

### 1.3.5. Некоторые тенденции изменений гидрологических и гидрохимических условий Финского залива.

Основные особенности гидрологических и гидрохимических условий залива в 1981 году были следующие:

1) Значительный прогрев поверхностного слоя (0-20 м) летом и относительно слабый вертикальный водообмен между поверхностным слоем и остальной водной массой, обуславливающей отрицательные отклонения температуры в слое 40-60 м. Интенсивный водообмен летом и осенью по поверхностному слою между заливом и открытой частью моря. Близкая к норме соленость слоя до глубины 60 м (табл. 3).

2) Значительное ослабление, по сравнению с предыдущими годами (1978-1980), поступления балтийских вод по придонному слою залива, что обусловило уменьшение температуры и солености а также значительное увеличение содержания кислорода в придонном слое (табл. 3).

Основные особенности гидрологических и гидрохимических условий Финского залива кроме термического режима верхнего слоя определяется двумя основными факторами - изменчивостью речного стока а также поступления балтийских вод из открытого моря.

С 1958 по 1978 год наблюдалась общая тенденция уменьшения стока рек бассейна Финского залива. Это в основном обусловило общую тенденцию увеличения солености верхнего 60-метрового слоя в заливе с 1968 по 1978 год (рис. 7). В период с 1978 по 1981 год сток реки Невы был ниже нормы, однако общий приток пресных вод в залив лишь в 1980 году был меньше нормы, а в остальные годы - около нормы. В этот же период наблюдалась тенденция уменьшения притока балтийских вод в Финский залив по придонному слою. Об общем уменьшении подпора балтийских вод свидетельствует то, что в открытой части моря

Таблица 3

Средняя температура, соленость и содержание кислорода Финского залива в 1981 году.

Слой (м)	Весна		Лето		Осень		Среднее					
	1981 отклонения 1980 ср. мн.	1981 отклонения 1980 ср. мн.	1981 отклонения 1980 ср. мн.	1981 отклонения 1980 ср. мн.	1981 отклонения 1980 ср. мн.	1981 отклонения 1980 ср. мн.	1981 отклонения 1980 ср. мн.	1981 отклонения 1980 ср. мн.				
Температура (°C)												
0-20	2.8	-2.5	-1.1	15.5	+0.8	+1.1	10.2	+2.6	+2.0	9.5	+0.3	+0.6
40-60	1.7	-0.8	-0.5	2.4	-0.5	-1.1	5.2	+0.2	-1.2	3.1	-0.6	-0.9
0-60	2.0	-1.8	-0.8	8.2	+0.4	0.0	8.0	+1.2	+0.6	6.1	-0.1	-0.1
70-90	4.0	-0.7	-0.2	3.0	-1.2	-0.7	3.1	-1.0	-1.2	3.5	-0.9	-0.7
80-90	4.3	-0.5	-0.2	3.6	-1.0	-0.4	3.1	-1.1	-1.1	3.6	-0.8	-0.6
Соленость (‰)												
0-20	6.2	+0.7	+0.4	5.8	0.0	-0.1	6.0	0.0	-0.1	6.0	+0.2	0.0
40-60	7.5	-0.5	0.0	7.3	-0.6	-0.1	7.3	0.0	+0.3	7.4	-0.4	+0.1
0-60	6.9	+0.1	+0.2	6.6	-0.4	-0.1	6.6	0.0	+0.1	6.7	-0.1	+0.1
70-90	10.0	-0.6	+0.1	9.2	-0.6	-0.3	8.4	-0.8	-0.4	9.2	-0.7	-0.2
80-90	10.3	-0.3	+0.1	9.5	-0.6	-0.3	8.7	-1.0	-0.5	9.5	-0.6	-0.2
Содержание кислорода (O <sub>2</sub> мл/л)												
0-20	10.2	+1.0	+0.6	6.6	0.0	-0.1	7.3	-0.2	-0.2	8.0	+0.2	+0.1
40-60	8.0	+1.7	+1.5	6.5	+0.7	+0.8	5.9	-0.1	-0.1	6.8	+1.0	+0.8
0-60	9.0	+1.2	+0.9	6.7	+0.3	+0.4	6.6	0.0	-0.1	7.4	+0.5	+0.4
70-90	2.6	+2.3	+0.9	2.9	+2.3	+1.0	4.0	+2.6	+1.2	3.2	+2.4	+1.1
80-90	1.6	+1.4	+0.6	2.0	+1.9	+0.8	3.4	+2.6	+1.4	2.3	+2.0	+0.9



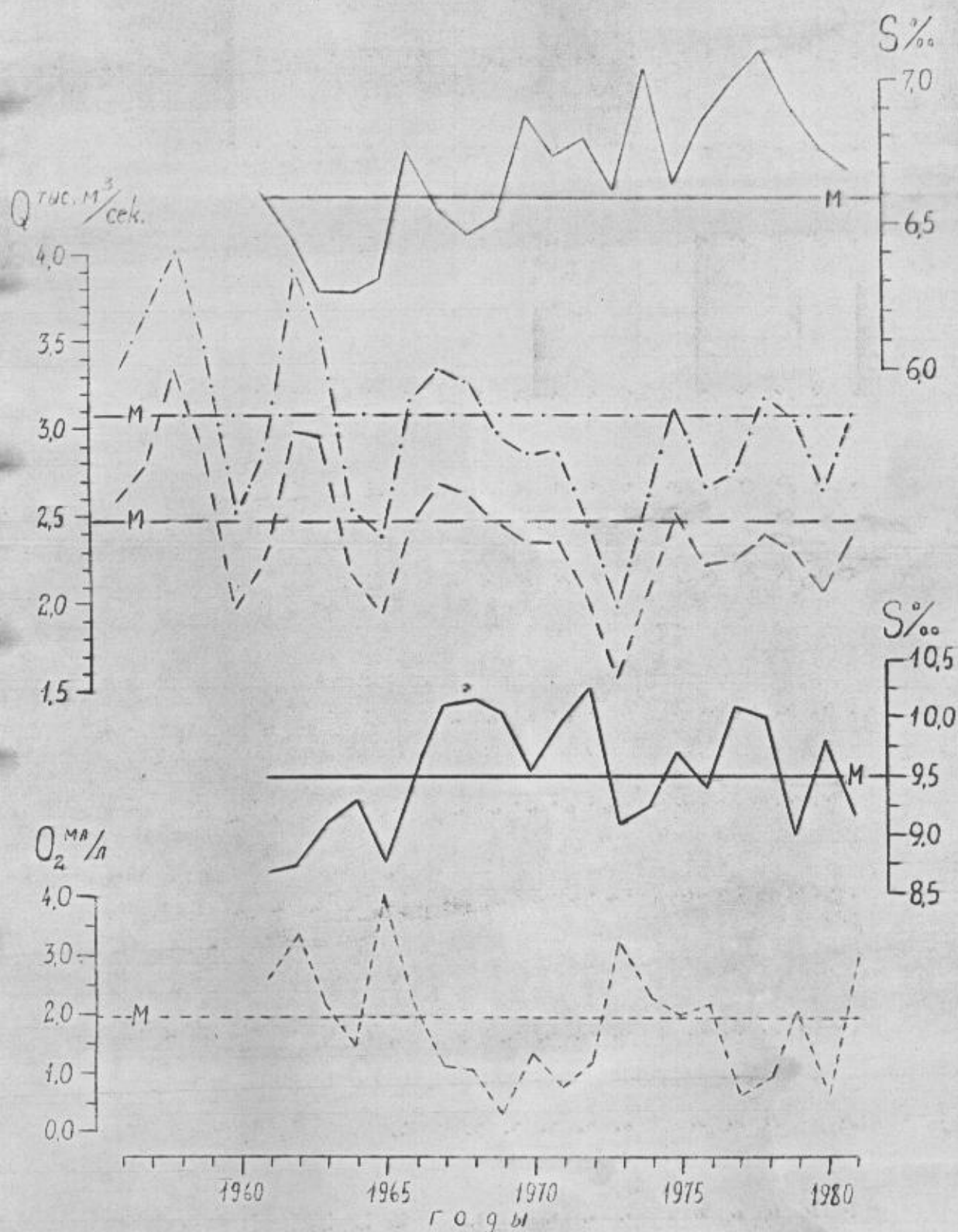


Рис. 7. Изменения солености и содержания кислорода в Финском заливе а также стока рек бассейна залива.

Обозначения:

- 1) --- среднегодовой расход рек в Финский залив с территорий СССР;
- 2) --- среднегодовой расход реки Невы;
- 3) — среднегодовая соленость залива в слое 0-60м (вверху) и средняя соленость летом в слое 70-90м (внизу);
- 4) --- среднее содержание кислорода летом в слое 70-90м;
- 5) М - средние значения параметров: расхода рек за 1961-1975 гг, солености и содержания кислорода за 1961-1975 гг.

севернее о. Хиумаа на ст. 24 (рис. 1) среднегодовое расположение изобалины 10‰ с 1978 по 1981 г. постепенно углубилось на 18 метров - с 78 м в 1978 году до 91 м в 1981 году.

Температуру, но особенно соленость и содержание кислорода в придонном слое Финского залива определяют интенсивность поступления балтийских вод. При вторжении балтийских вод температура и соленость увеличиваются, а содержание кислорода уменьшается, т.к. в придонный слой залива поступают глубинные воды северной части моря с острым дефицитом кислорода. Вышеуказанное подтверждается изменчивостью солености и содержания кислорода в придонном слое залива с 1961- по 1981 г. (рис.7).

Океанографические наблюдения, проведенные в Финском заливе в 1981 году указывает на то, что общее многолетняя тенденция уменьшения речного стока и увеличения солености, имевшее место в шестидесятые и семидесятые годы возможно в настоящее время сменяется на противоположную - увеличение стока рек, уменьшение солености верхнего слоя, а также увеличению содержания кислорода в придонном слое.

## 2. УТОЧНЕНИЕ РАЙОНИРОВАНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Характеристика гидрологического режима районов южной части Балтийского моря фактически была закончена в 1979 г., но в начале этого года в распоряжении лаборатории океанографии поступили материалы сезонных океанографических съемок южной части Балтийского моря, проводимые АтланТИРО [1] наблюдения в этих съемках были проведены почти по всей акваторией южной Балтики <sup>на</sup> 34 гидрологических станциях, что дает возможность подробнее характеризовать режим как верхнего слоя, так и слоя зимней воды. Недостатки проведенных работ - 1) очень редки наблюдения над кислородом, 2) отсутствуют наблюдения в районе о. Борнхольм и 3) ряд наблюдений охватывает всего пять лет (1960-1964 гг.).

Верхний слой (0-20 м). Как было уже сказано выше в полученном материале отсутствуют наблюдения в районе о. Борнхольм. По этой причине при графическом изображении температуры воды верхнего слоя южной Балтики Арконская впадина выглядит

оторванной от остальных районов (рис. 8).

Термический режим верхнего слоя южной Балтики как и всего моря характеризуется сезонными изменениями температуры воды. Так, среднесезонная многолетняя температура воды с 1960 по 1964 гг. в слое 0-20 м было зимой  $2.0^{\circ}$ , весной  $4.7^{\circ}$ , летом  $14.9^{\circ}$  и осенью  $8.3^{\circ}$ .

Минимальная среднесезонная температура во всех сезонах наблюдается у шведского побережья, а максимальная —, за исключением весны, у юго-восточного побережья. В мае максимальная среднесезонная температура наблюдается над Арконской впадиной (рис. 8). Минимальная среднегодовая температура наблюдается восточнее о. Эланд, а максимальная — у. м. Таран (рис. 10). Местонахождение минимальной температуры зимой и максимальной весной (над Арконской впадиной — рис. 8) объясняется мелководностью данного района. Кроме того вдоль шведского побережья выносятся вода с северных районов Балтийского моря (местонахождение минимальных температур), а на термический режим воды у советского и польского побережья влияет сток рек Нямунас, Прегеля и Вислы.

Следует отметить, что минимальная разницá среднесезонных многолетних температур наблюдается зимой ( $1.1^{\circ}$ ), а максимальная летом ( $4.7^{\circ}$ ). Летом пониженная температура воды наблюдается вдоль всего шведского побережья (рис. 8).

Соленостный режим южной части Балтийского моря идентичен режиму всего моря — соленость увеличивается в западном направлении. Минимальная среднесезонная многолетняя соленость во всех сезонах наблюдается восточнее о. Эланд, а весной и летом второй минимум наблюдается в районе Гданьской бухты и м. Таран. Такое расположение минимумов солености объясняется выносом опресненных вод с севера и речным стоком в весенне-летнем периоде (рис. 9). Максимальная соленость во всех сезонах наблюдается над Арконской впадиной. Изогалина  $8.0\%$  зимой и осенью приката к о. Борнхольм (в результате притоков каттегатских вод), а весной и летом находится над западной частью Арконской впадины (отсутствие притоков, рис. 9). Максимальная разницá среднесезонной многолетней солености наблюдается весной ( $0.7\%$ ), максимальная — осенью ( $1.6\%$ ). Следует отметить, что весной минимальная среднесезонная соленость достигает своего максимума ( $7.4\%$ ), а максимальная — своего минимума ( $8.1\%$ ).



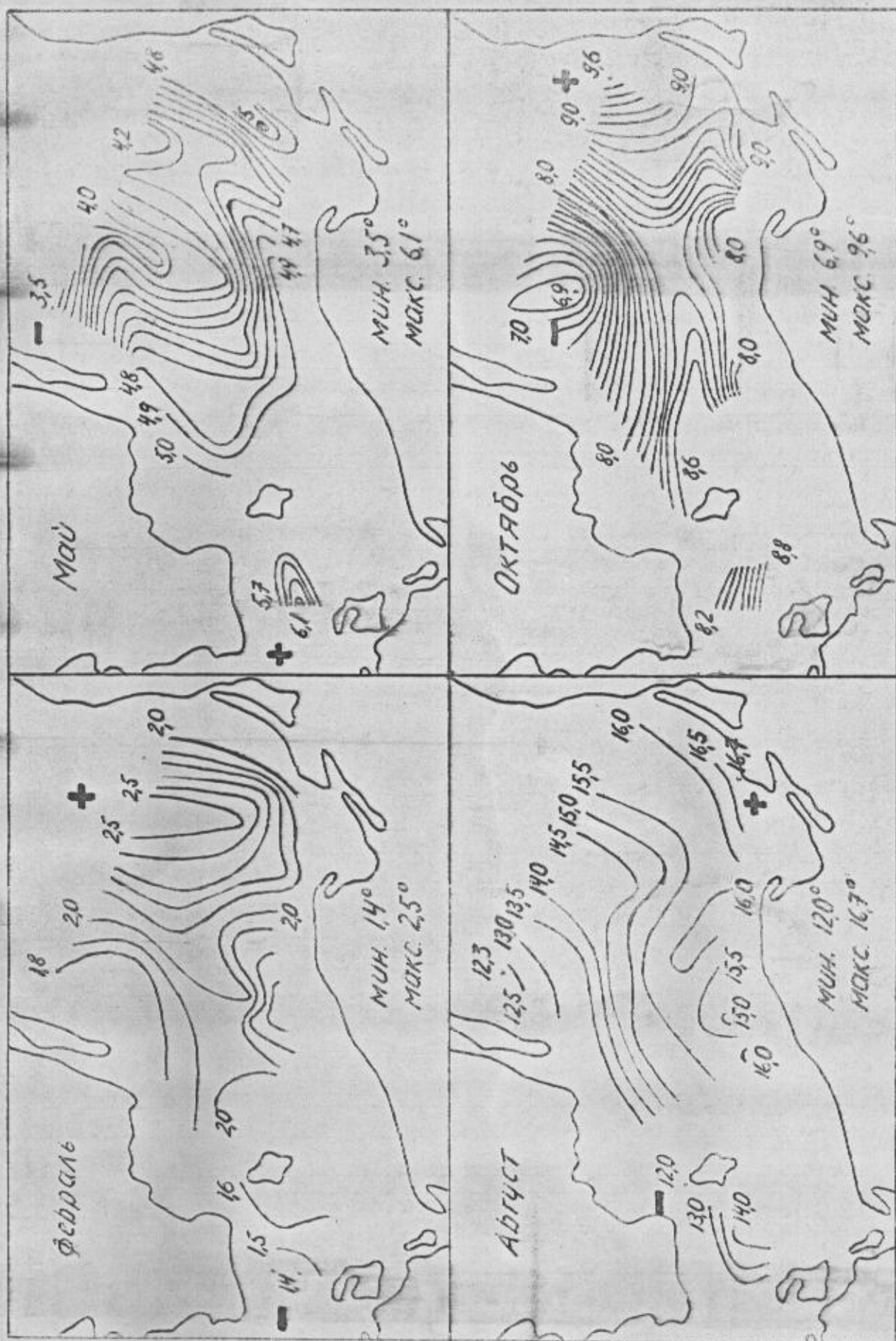


Рис. 8.

Среднесезонная многолетняя температура воды в верхнем слое (0-20 м) южной Балтики.

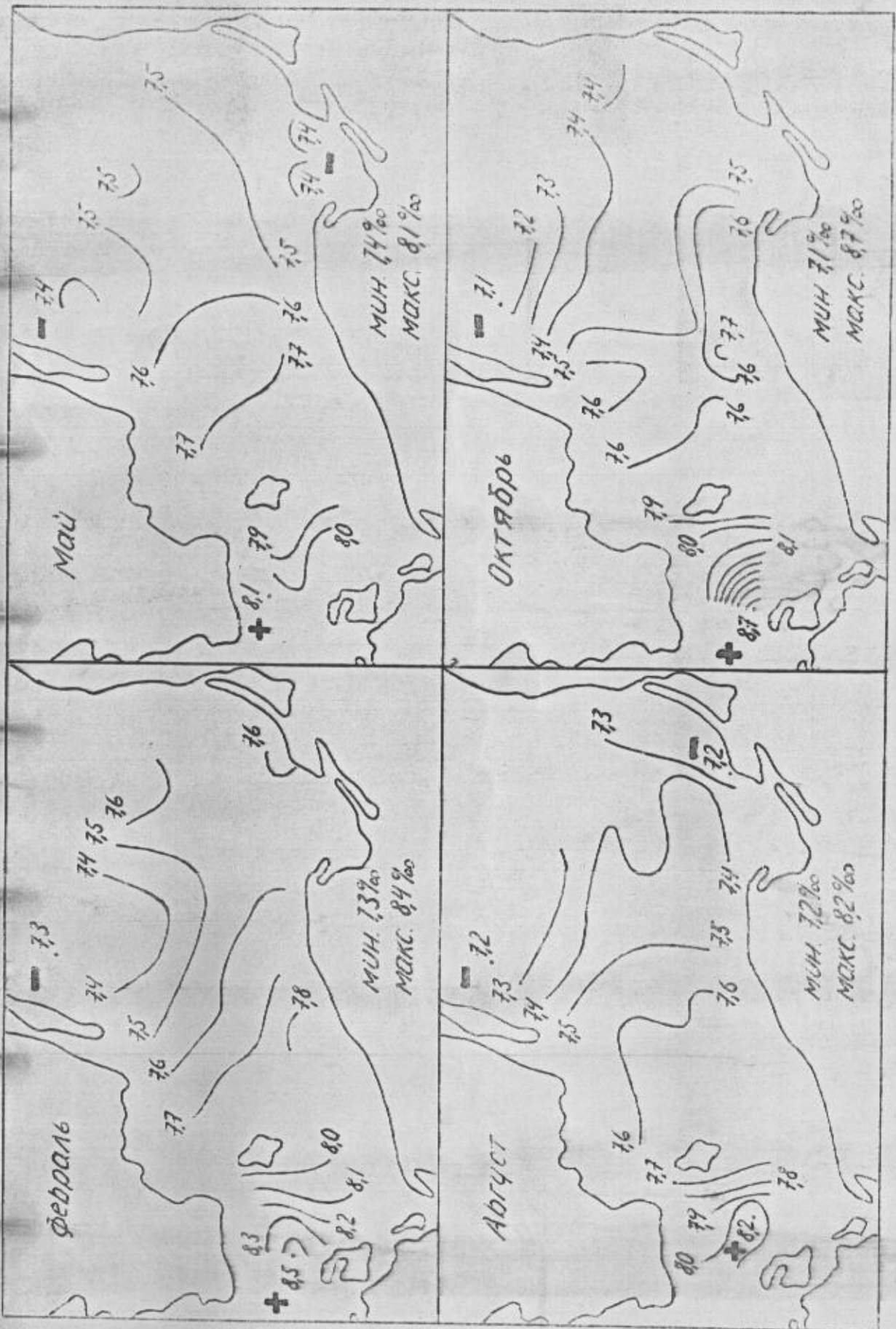


Рис. 9.

Среднесезонная многолетняя соленость в верхнем слое (0-20 м) южной Балтики.

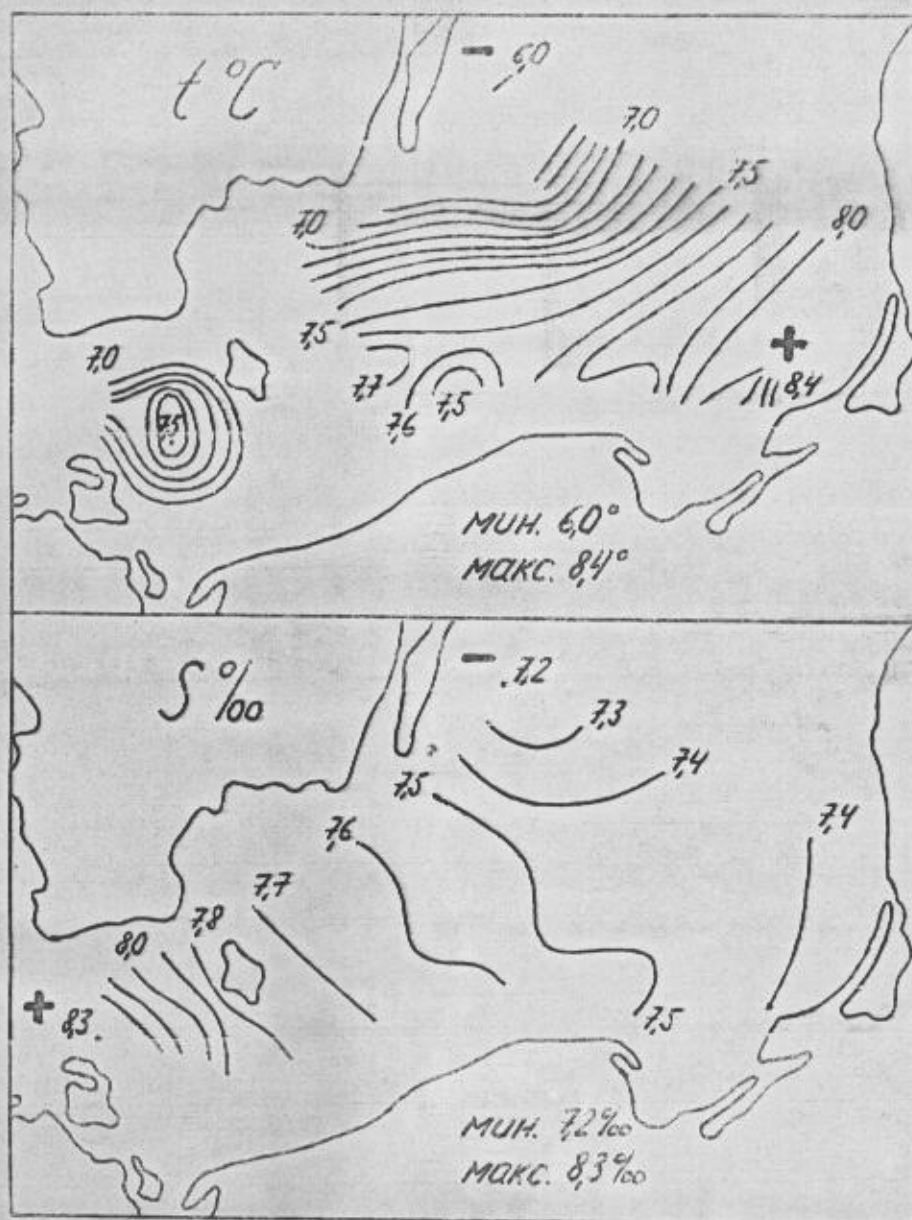


Рис.10.  
Среднегодовая многолетняя температура воды и соленость  
в верхнем слое (0 -20 м) южной Балтики.



Осенью наблюдается противоположное явление — минимальная среднесезонная соленость уменьшается до 7.1‰, а максимальная увеличивается до 8.7‰ (рис. 9). Это свидетельствует о том, что и сток опресненных вод с севера и приток каттегатских вод весной уменьшается, а осенью увеличивается.

Кроме того для солености верхнего слоя южной Балтики характерны и сезонные изменения. Так, среднесезонная многолетняя соленость в слое 0-20 м с 1960 по 1964 гг. была: зимой 7.7‰, весной 7.6‰, летом 7.5‰ и осенью 7.6‰.

Слой зимней воды (40-60 м). Из-за особенностей рельефа дна южной части Балтийского моря изобразить изменения гидрологических элементов графическим способом было невозможно.

Температура воды во всех сезонах увеличивается в западном направлении и в трех из них (за исключением лета) максимальная температура в слое 40-60 м наблюдается в Борнхольмской впадине. Летом максимальная температура наблюдается в Гданьской впадине. На такое распределение максимальной среднесезонной температуры воды влияет как притоки каттегатских вод (зима, весна, осень), так и температура верхнего слоя (лето). Минимальная среднесезонная температура в разных сезонах наблюдается в разных районах, но среднегодовая минимальная температура — восточнее о. Эланд. Минимальная разница среднесезонных многолетних температур наблюдается весной (0.7°), максимальная — осенью (3.3°). Минимум весной объясняется опусканием зимней воды.

Среднесезонная многолетняя температура воды южной Балтики с 1960 по 1964 г. в слое 40-60 м была: зимой 3.0°, весной 2.5° (опускание зимней воды), летом 3.8° и осенью 6.2°.

Соленость, как и температура воды, во всех сезонах увеличивается в западном направлении и максимальное значение солености в течении года наблюдается в Борнхольмской впадине. Минимальная среднесезонная многолетняя соленость в разных сезонах наблюдается в разных районах, но минимальная среднегодовая соленость наблюдается восточнее о. Эланд. и у м. Таран. На распределении минимальной солености влияет как опресненные северные воды, так и речной сток. Разница между минимальной и максимальной среднесезонной солености с 2.2‰ в феврале постепенно увеличивается до 3.7‰ осенью. Кроме того постепенно увеличивается и как минимальная так и максимальная среднесезонная

соденность, особенно сильно максимальная соленость (на 1.4‰). Среднесезонная многолетняя соленость южной Балтики в слое 40-60 м была: зимой 8.3‰, весной 8.3‰, летом 8.4‰, осенью 8.7‰.

Проведенный анализ наблюдений АтлантиНРО подтвердил довольно значительные отличия гидрологических условий в 5 основных регионах южной Балтики -- Арконской, Борнхольмской и Гданьской впадинах, а также в южной части Готландской котловины и в Слупском желобе, выделенных лаб. океанографией в 1979 году.

Подтвердилось также правильность деления открытой части моря в три основных гидрологических района -- юго-западный, восточный и северо-западный (работы 1980 года). Ориентировочно границы всех трех районов сходятся юго-восточнее южной оконечности о. Эланд. На существенные различия гидрологических условий в этих районах указывают значительные различия среднесезонных и среднегодовых значений температуры и солености между акваториями восточнее о. Эланд, северо-западнее мыса Таран и западнее о. Борнхольм (рис. 8, 9, 10).

Работы 1981 года по районированию южной Балтики показали, что следует уточнить схему деления трех основных гидрологических районов в подрайоны. Так, на пример, подрайон восточной мелководной части моря (подрайон-2.7. - схемы 1980 года) целесообразно разделить на несколько подрайонов. Окончательное проведение границ подрайонов будет произведена в 1982 году -- после уточнения гидрологического районирования остальной части открытого моря.

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА БИОГЕННЫХ УСЛОВИЙ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

#### 3.1. Результаты анализа многолетней динамики фосфора в Балтийском море на примере Готландской впадины

Многолетние ряды наблюдений и прогрессе в понимании процессов и закономерностей открывает возможность аппроксимации-зависимостей, обуславливающих динамику фосфора в Балтийском море, систематизации наших знаний в этой области. Анализ многолетней изменчивости фосфора в Балтике выполнен на материалах по Готландской впадине -- одному из наиболее глубинных и застойных

районов моря.

Увеличение глубинного фонда фосфора Балтики в течение последнего двадцатилетия доказано и произошло за счет роста количества "резерв-фосфатов" в условиях усиления биогенного стока в море. Их рост хорошо прослеживаются по изменению общей концентрации  $P-PO_4$ , включающей фосфаты как окислительного происхождения, так и резервные, при содержании  $O_2$  1 (0.85-1.15) мг/л. Если в 1965 г. эта величина составляла в среднем 1.80 мг-ат/л, то уже в 1970 г. - 1.88, 1975 г. - 2.18, 1980 г. - 2.55 мг-ат/л. Выявлена сильная динамичность соотношения  $\Delta AOU : \Delta P-PO_4$  ( $AOU$  2-7 мг/л) по годам, явное его понижение с 1971 г. : 410 (1970 г.) - 360 (1972 г.) - 270 (1974 г.) - 220 (1976 г.). Наблюдаемую тенденцию следует расценивать как подтверждение наличия физико-химического механизма, слагаемого процессами ссаждения - десорбция, обуславливающего характер распределения "резерв-фосфатов" по вертикали в море соответственно преобразованию условий в Балтике.

Рост глубинных запасов фосфора несомненно повлиял на его метаболический цикл. - Сильно возросло количество фосфора в верхнем слое зимой в течение последних 20 лет. Это установлено по данным  $P-PO_4$ , так как материалов по общему фосфору, покрывающих весь указанный отрезок времени, нет. Чтобы более полно охарактеризовать трансформацию сезонных циклов фосфора во многолетнем аспекте, на основе материалов за 1973-1980 гг. были найдены зависимости

$$y = -3.23 + 0.630x_1 + 0.20x_2 - 0.14x_3 \quad (\text{зима}),$$

$$y = -3.59 + 0.666x_1 + 0.19x_2 - 0.103x_3 - 0.011x_4 \quad (\text{лето}),$$

где  $y$  - общий  $P$ , мг-ат/л (средневзвешенный в слое 0-20 м);  $x_1$  -  $S\%$  (0-20 м);  $x_2$  -  $P-PO_4$ , мг-ат/л (40-80 м);  $x_3$  -  $S\%$  (40-80 м);  $x_4$  -  $t^\circ C$  (0-20 м), позволившие расчетным путем восстановить картину динамики фосфора 60-ых годов.  $\chi^2$  для уравнения зимнего максимума - 0.63 ( $n = 26$ ), летнего минимума - 0.58 ( $n = 23$ ). Анализируя ход изменений зимнего фонда фосфора в трофогенном слое Готландской впадины в зависимости от гидрологических условий, можно заключить, что величины минимума его в 1961 и 1965 гг. соответствуют ситуациям с низкой скоростью выноса фосфатов из глубин, а пики концентрации в 1962-1964 и 1966-1968 гг. - периодам интенсивного обновления глубинных вод (адвекции по придонному или активному



глубинному слою). Стабильный рост количества фосфора в зимние периоды начиная с 1971-1972 гг. имеет под собой иную основу: снижения градиента солености в слое 0-120 м и обогащение фосфатами галоклина, обусловившие ускоренное перераспределение фосфора в сторону поверхности моря. На эту тенденцию наслаиваются периоды интенсивной гидродинамичности в глубинных слоях. Таким образом, многолетние изменения содержания фосфора в продуктивной слое впадины в зимней стадии цикла определяются достаточно сложным комплексом режимных влияний и могут быть охарактеризованы в целом наложением краткосрочных влияний на нелинейный (предположительно параболический) тренд. В динамике летнего уровня количества фосфора в слое фотопродуцирования четко выявляются три периода: 1 - до 1970 г. с концентрациями до 0.3 мкг-ат Р/л; 2 - 1971-1975 гг. - до 0.4 мкг-ат Р/л; 3 - с 1976г. - до 0.7 мкг-ат Р/л. Первую ступень роста обеспеченности фотосинтеза фосфором, вероятно, можно отнести за счет вышеуказанной интенсификации диффузионного выноса веществ через галоклин. Однако наличие в верхнем слое термоклина делает эффект этого явления минимальным. Поэтому исключительно существенным для гидрохимических условий поверхностных вод оказалось относительно слабое развитие летней стратификации верхнего слоя во второй половине 70-ых годов, образовавшей вторую ступень на кинетической кривой динамики фосфора. Третий период завершился в 1980г., когда годовой минимум фосфора в слое 0-20 м Готландской впадины соответствовал уровню 1974-1975 гг.

В результате исследований можно представить следующую схему биохимического механизма эвтрофирующего эффекта фосфора в центральной части Балтики: рост стока фосфора с суши ассимиляция, оседание с детритом и соосаждение высвобождение в глубинном слое и возврат со дна "дозированное" гало- и термоклином и "залповое" ускоренное (апвеллинг) перераспределение глубинных фосфатов в трофогенный слой.

### 3.2. Характеристика биогенной ситуации в открытой Балтике в 1981 году

Биогенные условия в Балтийском море имели следующий сезонный ход и особенности:

-Зимой (февраль) в слое 0-20 м концентрация общего фосфора составляла 0.75-1.05 мкг-ат/л, фосфатного фосфора - 0.55-0.80 мкг-ат/л, солевого азота - 7-12 мкг-ат/л, общего азота - до 25 мкг-ат/л. Величины выше 10 мкг-ат/л солевого азота наблюдались в Гданьской заливе, в Вентспилском районе, в Северной Балтике. Максимум солей азота для водной толщи Балтики был в галоклине, характеризовался концентрациями до 15 мкг-ат/л. Денитрификация интенсивно проходила в глубинных районах моря, снизив запас нитратов под галоклином на 30-50%. Концентрация фосфатов в глубинном слое превышала 3 мкг-ат P/л, а в застойной Готландской впадине доходила до 5.5 мкг-ат P/л.

-Начало весны (апрель) характеризовалось высокой концентрацией фосфора в трофогенном слое (до 1.40 мкг-ат/л), превышающей зимний уровень. В мае количество фосфора сильно снизилось, Однако, как правило, превышало 0.6 мкг-ат/л. Фосфаты в слое 0-20 м присутствовали в весьма высоких концентрациях: 0.10-9.60 мкг-ат P/л. Солевой азот также не лимитировал развитие фитопланктона: 1.3-3.7 мкг-ат/л; величины, превышающие 2.0 мкг-ат<sup>N</sup>/л, были отмечены только в средней Балтике. В глубинном слое основных впадин биогенная ситуация осталась без существенных изменений.

-Летом (август) продолжалось наблюдаемое обычно в летний период обеднение трофогенного слоя питательными веществами. Фосфаты практически отсутствовали, солевой азот составлял 1.0-2.0 мкг-ат/л. В то же время общий фосфор в зависимости от района моря был в пределах 0.40-0.70 мкг-ат/л, что много для летнего периода и говорит о сравнительно интенсивном обмене веществами через термоклины в это время. В глубинах моря продолжали существовать биогенные условия, характерные ситуации длительного застоя водных масс, одновременно показывающие, что наступило динамическое равновесие в системе биологических, химических и физико-химических процессов, обуславливающих концентрацию соединений фосфора и азота.

-Осенью (октябрь) количество общего фосфора в верхнем слое составляло около 0.40 мкг-ат/л, что соответствовало годовому минимуму. Фосфаты, как и летом, практически отсутствовали, солевой азот был в пределах 1-3 мкг-ат/л. Тенденция к восстановлению зимнего запаса биогенов в трофогенном слое была заметна

лишь по данным азота. Усиление стагнации в глубинных районах Балтики повлекло за собой расширение зоны денитрификации в море, интенсифицировало выход фосфора из донных осадков в целом по морю.

-Сезонный цикл динамики фосфора в верхнем слое моря характеризовался высокими зимним максимумом и летним минимумом примерно соответствующим уровню 1978-1980 гг. Концентрация фосфора и азота в трофогенном слое соответствовали наивысшей точке развития эвтрофикации в Балтийском море. Глубинные фонды фосфора и азота были стабильными, на уровне 1980 г.

### 3.3. Характеристика биогенных условий в Рижском заливе в 1980-1981 гг.

В октябре 1980 года количество фосфора и азота было максимальным за год, варьировало в зависимости от района в пределах 0.60-2.30 мкг-ат/л и 6-24 мкг-ат/л соответственно. Вследствие усиления речного стока (превышающего норму на 90%), концентрация фосфора в районе ст. 101А возросла до 1.40 мкг-ат/л, количество  $N_{\text{сол}}$  - до 24 мкг-ат/л, а у дна на ст. 119 был отмечен второй максимум фосфора в этом году - 2.30 мкг-ат/л. В открытой части залива фосфор не превышал 0.60 мкг-ат/л, солевой азот варьировал в пределах 6-9 мкг-ат/л. Яркое выраженный максимум биогенов в зависимости от района был отмечен на глубине 30-50 м. Открытая часть залива в октябре явно была обеднена фосфатами (0.10-0.20 мкг-ат P/л). На долю фосфатов приходилось около 35% общего фосфора. Очевидно, глубоко расположенный термоклин (30-40 м) и осенняя активизация жизнедеятельности фитопланктона, сильно снизили количество питательных солей в открытой части залива, что не могло быть компенсировано даже обильным биогенным стоком рек. Данные по количеству фосфатного фосфора в слое 0-20 м и 20-50 м в октябре в среднем соответствуют данным первой половине октября 1979 года, но по общему фосфору были превышены данные 1979 года (15%). Одновременно, количество фосфатного фосфора в слое 0-20 м было на 31% ниже среднееголетних, но по количеству  $N_{\text{сол}}$  на 20% были превышены среднееголетние величины и намного (55%) - среднееголетние величины по аммонийному азоту.



В феврале, согласно материалам трех контрольных станций (119, 121 и 142), наблюдалось восстановление количества фосфора и азота в Рижском заливе. Концентрация общего фосфора колебалась в пределах 0.86–1.00 мкг-ат/л, концентрация фосфатного фосфора: 0.55–0.76 мкг-ат/л. Степень минерализации фосфора  $\approx$  67%. Особых различий в распределении этих величин по акватории залива не отмечалось. Во всей водной толще залива значительно возросло среднее количество  $N_{\text{сол.}}$  по сравнению с имеющимися данными зимой 1977 и 1978 гг.: 14.0 мкг-ат N/л против 7.9 и 5.4 мкг-ат N/л, вертикальное распределение его по заливу было крайне неравномерным. По-видимому, основной причиной повышения количества  $N_{\text{сол.}}$  в заливе являлся повышенный речной сток осенью 1980 года и зимой 1981 года (в январе был на 167% выше нормы).

В мае, по сравнению с зимой, количество P-PO<sub>4</sub> снизилось и содержание их в слое 0–20 м составляло 0.32 мкг-ат/л (не превышая 30% общего фосфора). В то же время заметно возрос запас P<sub>общ.</sub> в зоне фотосинтеза – 1.00 мкг-ат/л. Повышенными концентрациями фосфора отличались поверхностные воды южной и центральной части залива в районе ст. 101А, 120, 121: 1.98–1.61–1.20 мкг-ат/л. 60–70% фосфора было представлено его органической формой. Количество фосфора и содержание его форм в фитическом слое, хорошо согласуются с цветением фитопланктона в мае, максимум которого отмечен в этих районах. В то же время наблюдалась накопление фосфора (седиментация детрита) с глубиной, наиболее выраженное в южной и центральной части залива. Степень минерализации фосфора примерно 50%. В районе ст. 119 и 123 образовался "традиционный" придонный максимум фосфора, который в этом районе сохранился до сентября включительно. В целом по заливу количество фосфатов в слое 0–20 м было на 220% выше, чем в 1980 году и на 10% выше среднего за период 1974–1980 гг.; в слое 20–50 м фосфаты превысили данные за 1980 г. и средние величины за период 1974–1980 гг. на 31% и 11% соответственно. Количество солей азота в мае в зоне фотосинтеза не опускалось ниже 6 мкг-ат/л и менялось по акватории залива в пределах от 6–20 мкг-ат N/л (слой 0–20 м), превысив данные за 1980 год на 60% средние за период 1976–1980 гг. на 55%. Сильно возросло и количество  $N_{\text{сол.}}$  в слое 20–50 м, что на 40% выше, чем в предыдущем году и на 20% выше средних за 1976–1980 гг. Этот уровень поддерживался благодаря устойчивости содержания N-NO<sub>3</sub>

Анализ послойного распределения на примере фосфора и азота по заливу в мае явно указывает на значимость речного стока в обогащении или водной толщи, особенно, в южной части залива. Усиление речного стока осенью и зимой настолько заметно повысило концентрацию  $N_{\text{сол}}$  в водоеме (речной сток в мае 40% ниже нормы), что в мае практически был поддержан уровень азота, достигнутый зимой, а в районе ст. 119 превышен (16.3 мкг-ат<sup>N</sup>/л против 11.4 мкг-ат<sup>N</sup>/л). Исследования по азоту и фосфору выявили, что биогенные возможности в заливе в мае недоиспользовались.

В июле общее количество фосфора в фотическом слое значительно уменьшилось и составило 0.40-0.60 мкг-ат/л. Вовлечение биогенов в биохимические процессы приблизило содержание фосфатов в фотическом слое (0.10-0.19 мкг-ат P/л) к лимитирующему для развития водорослей. В целом количество  $P-PO_4$  было на 15% ниже средних величин за 1974-1980 гг., но намного превысило данные (112%) за 1980 г. Повышенные концентрации фосфора продолжали существовать у дна в районе ст. 119 и 123. Здесь фосфор находился преимущественно (65%) в форме фосфатов. По-видимому, в июле начался возврат биогенов из седиментов, чему определенно способствовали стабилизация термоклина и низкие концентрации кислорода у дна ( $\leq 3$  мг/л).

В августе запас фосфора и азота в заливе стабилизировался. Основная их часть сосредоточилась вблизи дна. Содержание общего фосфора в слое 0-20 м варьировало в зависимости от района в пределах 0.50-0.80 мкг-ат/л, значительно возрастая в южной части залива и к северу от ст. 121 на глубине 0-10-15 м. В то же время центральная часть залива была заметно обеднена фосфатным фосфором. Годовой минимум фосфатов охватил слой 40-20 м в районе станций 119, 120 и 121 (около 0.05 мкг-атP/л). Хорошо прослеживалось и обеднение верхнего слоя соевым азотом, годовой минимум которого был отмечен тоже в центральной (ст. 123) и северных частях залива (ст. 125, 111, 114А) и характеризовался концентрациями  $\approx 0.45$  мкг-ат/л. Таким образом можно констатировать, что по данным фосфора и азота истощение биогенных ресурсов в открытой части залива завершилось в августе. Пространственное распределение  $P-PO_4$ ,  $P_{\text{общ}}$  и  $N_{\text{сол}}$  в августе говорит об усилении продуцирования активности фитопланктона, что подтвердилось данными по фитопигментам. В целом по

заливу количество фосфора в фотическом слое было на уровне <sup>средних</sup> за период 1974-1980 гг., но количество  $P-PO_4$  было (30%) ниже. Сильно возросла в фотическом слое и в слое 20-50 м концентрация солевого азота. По количеству солевого азота в слое 0-20 м в августе значительно были превзойдены данные за 1980 год (300%) и средние многолетние (220%). Заметно в этом слое возросла концентрация  $N-NH_4$ , что на 150% превысило данные за 1980 год и на 100% средние за 1975-1980 гг.

В сентябре стратификация водных масс залива еще не нарушалась, что оказало существенное влияние на послойное распределение фосфора и фосфатов в заливе. В результате под пикноклином был <sup>к</sup>аккумулирован значительный запас питательных веществ. Минерализация органических веществ и <sup>ф</sup>диффузия соединений элемента из донных осадков привело к резкому увеличению фосфора в слое 20-50 м, что составляло максимум общего фосфора (1.63 мкг-ат/л) и фосфатов (1.09 мкг-ат P/л) за год. На долю фосфатов приходилось  $\approx 70\%$  от общего фосфора. В районе ст. 119 был зарегистрирован придонный максимум фосфора за год - 3.23 мкг-ат/л. Общая тенденция повышения концентрации фосфора проявилась и в слое 0-20 м (лишь центральная часть залива по-прежнему была обеднена фосфатами). Последнее можно увязать лишь с интенсификацией выхода питательных солей из донных осадков и относительно интенсивным вертикальным обменом (так как речной сток летом этого года  $\approx 40\%$  ниже нормы).

Итак, увеличенный сток рек осенью 1980 г. и зимой 1981г. способствовал сохранению запаса солей азота и фосфора <sup>в</sup>заливе весной на хорошем уровне, вследствие чего в мае биогенные возможности не были использованы.

Особенность условий в 1980 -1981 гг. - чрезвычайно высокая концентрация солевого азота в Рижском заливе в течение года.

#### 4. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В РИЖСКОМ ЗАЛИВЕ В 1980-1981 ГГ.

##### 4.1. Видовой состав, численность, биомасса

В августе 1980 г. фитопланктон характеризовался низкой общей численностью ( $9.4 \cdot 10^6$  кл/м<sup>3</sup>) и биомассой (74 мг/м<sup>3</sup>),



но большим разнообразием групп и видового состава водорослей. Существенную роль во второй половине лета играли зеленые водоросли, которые, развиваясь в огромном количестве, составляли до 62% численности. В то же время по продуктивности зеленые водоросли значительно уступали диатомовым, что объяснимо различиями в клеточных размерах обеих групп. Две группы — пиррофитовые и диатомовые определяли 17% общего количества и соответственно 34% и 53% общей биомассы водорослей. Выявлено, что распределение численности и биомассы фитопланктона неодинаковое по акватории Рижского залива. Повышенной продуктивностью, как и в предыдущие годы, выделялся юго-восточный район, характеризующийся станциями 119, 120 и 121А.

На распределение водорослей фитопланктона по горизонтам и особенно на их количественное развитие оказывали влияние температура (17–18°C), биогенные элементы (годовой минимум солевого азота), свет (прозрачность воды). Фотосинтезирующая деятельность водорослей, имеющая максимум в дневные часы, приурочена к верхним слоям воды. Наиболее светлюбивыми являлись зеленые и синезеленые водоросли, встречающиеся в августе в поверхностные слои водоема. Диатомовые и перидиниевые обитали глубже, что и определило для большинства станций максимальные биомассы водорослей на горизонте 20 м. На ст. 101А главное скопление фитопланктона отмечено на горизонте 0 м, что обусловлено распространением речных вод по поверхностному слою воды, пониженной прозрачностью воды из-за большого количества взвешенных веществ и наибольшей интенсивностью света на 0 м горизонте.

В октябре количество зеленых, перидиниевых и также малочисленных в августе групп заметно сократилось. Одновременно наблюдалось размножение диатомовых осеннего сезона, образующих в конце месяца 50% общей численности и 98% общей биомассы водорослей. Доминирование в фитопланктоне диатомовых обусловлено понижением температуры воды до 10–8°C и благоприятным режимом питания. Осеннее "цветение" определяли главным образом *Coscinodiscus granii*, *Actinocyclus ehrenbergii*, *Chaetoceros wighamii* виды, составляющие основную часть биомассы диатомовых. Средняя по заливу биомасса в октябре по сравнению с августом повысилась в 11 раз (с 74 до 817 мг/м<sup>3</sup>), но по сравнению с октябрём 1978 г. — в 4 раза. В горизонтальном и вертикальном

распределения фитопланктона четких закономерностей не выявлено, что, вероятно, связано с активным перемешиванием водных масс в конце октября 1980 г.

Наблюдения в феврале 1981 г. выявили ослабление жизненных процессов фитопланктона – снизились численность ( $1.6 \cdot 10^6$  кл/м<sup>3</sup>) и биомасса (87 мг/м<sup>3</sup>), сократился видовой состав водорослей (в среднем 5 вида).

Развитие водорослей весной характеризовала только одна серия проб, собранная в заливе с 5–8 мая 1981 г. В это время среда обитания фитопланктона отличалась несколько пониженной по сравнению с 1980 г. температурой (2–3°C) и значительно повышенной концентрацией фосфатов и солевого азота. Благоприятные температурный, солевой и световой режимы определяли интенсивное развитие фитопланктона, биомасса которого достигла в начале мая огромную величину – 7420 мг/м<sup>3</sup>. Отклонение биомассы от средних многолетних составляло +206%, отклонение от данных за 1980 г. соответственно +190%. По-видимому, повышение биомассы объяснимо изменениями биологического продуцирования некоторых видов доминирующей группы – диатомовых. Так, биомасса крупной водоросли *Thalassiosira baltica* повысилась в мае 1981 г. по сравнению с 1980 г. в 22 раза.

В начале мая наблюдалась неоднородность в распределении фитопланктона по акватории залива. Максимальные биомассы водорослей (8180–14290 мг/м<sup>3</sup>) отмечены в районе станций 119, 120, 121А; там же на горизонте 0 м зарегистрировано и максимальное количество O<sub>2</sub> (11.2–11.8 мг/л). Анализируя данные по вертикальному распределению, выяснилось, что основная масса фитопланктона концентрировалась в мае на горизонтах с оптимальными условиями освещения и питания – 0 м и 10 м. Наблюдалась обратная зависимость между количеством фитопланктона и глубиной.

#### 4.2. Пигменты

В октябре 1980 года, ввиду осеннего размножения диатомовых, возросла концентрация пигментов фитопланктона в Рижском заливе. Концентрация хлорофилла "а" во второй половине октября находилась в пределах 0.6–6.5 мг/л. Наибольшие концентрации пигмента (1.5–6.5 мг/л) были констатированы в слое 0–20 м. По акватории пигменты распределялись неравномерно, возможно,

под влиянием биологического стока рек и особенностей циркуляции водных масс. Самое высокое содержание хлорофилла "а", как в поверхностном слое, так и во всей толще воды под 1 м<sup>2</sup>, наблюдалось в южном и центральном районах залива (табл. 4). Исключением являлась ст. 101А, где, вероятно, терригенные вещества, ухудшая световые условия, отрицательно повлияли на развитие фитопланктона. Доля хлорофилла "а" в суммарном хлорофилле была высокой и составляла в среднем по заливу 72%. Это указывает на высокую фотосинтетическую активность водорослей в октябре. 81% хлорофилла "а" было представлено фео пигментами.

Время максимума весенней вспышки фитопланктона в 1981 году, из-за отсутствия детальных наблюдений, не было установлено. Оценивая по пигментным данным, фитопланктон в начале мая был сильно развит. Количество хлорофилла "а" под 1 м<sup>2</sup> достигло 549 мг (табл. 4). Самые высокие концентрации были отмечены на ст. 119 (549 мг/м<sup>2</sup>), ст. 114А (534 мг/м<sup>2</sup>) и ст. 135 (510 мг/м<sup>2</sup>). Наиболее богат фитопланктоном был слой воды 0-10 м (10.4 - 31.3 мкг/л хл. "а"). Глубины залива в начале мая были сравнительно беднее пигментами (1.2-11.6 мкг/л хл. "а"). Доля хлорофилла "а" в суммарном хлорофилле в среднем по заливу составляла 70%; 31% в хлорофилле "а" представляли фео пигменты.

Установлена линейная зависимость между концентрацией хлорофилла "а" и температурой воды в слое 0-10 м:

$$y = -2.39 + 7.80x \quad (r = 0.90; n = 18; t \pm 8.05),$$

где  $y$  - хл. "а" (мкг/л),  $x$  - температура (°С) на горизонтах 0 и 10 м. Эта зависимость свидетельствует, что 80% неравномерности распределения концентрации хлорофилла "а" в верхнем слое в мае можно объяснить динамикой температуры воды.

Биогены в начале мая не лимитировали жизнедеятельность водорослей, о чем говорит отсутствие значимой корреляции между концентрацией хлорофилла "а" и биогенными элементами ( $P_{\text{общ.}} 0.65-1.96$  мкг-ат/л;  $N_{\text{сол.}} 4.0-17.2$  мкг-ат/л; слой 0-10 м).

Оценивая по пигментным данным, развитие фитопланктона в начале мая 1981 года было на уровне начала мая 1980 года. Однако продуктивность фитопланктона согласно перенасыщению кислородом воды была выше в мае 1980 года. Такое явление можно объяснить следующим:

- в начале мая 1981 года развитие фитопланктона еще не достигло своего максимума, поскольку ресурсы питательных веществ



в воде неизрасходованы;

- в 1980 году фитопланктон достиг пик своего максимального развития раньше, что отразилось в высоких концентрациях кислорода в водном слое.

В августе 1981 года концентрация фитопигментов по всему заливу снизилась. Концентрация хлорофилла "а" под 1 м<sup>2</sup> находилась в пределах 49-90 мг (табл. 4). По сравнению с маем, доля формы "а" в суммарном хлорофилле снизилась (65%); в хлорофилле "а" увеличилась роль феофитовых пигментов (51%), что указывает на снижение физиологической активности сообщества фитопланктона в это время.

Выявлена зависимость между концентрацией хлорофилла "а", суммарным фосфором, солями азота и биомассой зоопланктона:  $y = 1.12 + 6.3x_1 + 0.64x_2 - 0.64x_3 - 0.001x_4$  ( $r = 0.88; n = 10; t = -2.75$ ), где  $y$  - хл. "а" (мкг/л; средневзв. в слое 0-10 м);  $x_1 = P_{\text{общ.}}$  (мкг-ат/л; 0-10 м);  $x_2 = N-NO_2 + N-NO_3$  (мкг-ат/л; 0-10 м);  $x_3 = N-NH_4$  (мкг-ат/л; 0-10 м);  $x_4$  - биомасса зоопланктона (мкг/л; 0-20 м), показывающая, что 77% дисперсии хлорофилла "а" в слое 0-10 м в августе определила совокупность перечисленных факторов. 37% дисперсии можно объяснить динамикой фосфора, 23%, 10%, 7% - динамикой солей аммония, суммы нитратов и нитритов и биомассы зоопланктона соответственно.

Пигментные данные за 1980-1981 гг. позволили выявить, что весенняя вспышка фитопланктона в 1981 году началась позднее, чем в 1980 году. Летом (август) 1981 года фитопланктон был среднеразвит, немного превышал уровень 1980 года.

Таблица 4  
Количество хлорофилла "а" (мг/м<sup>2</sup>) в Рижском заливе

Период	Станции					
	101А <sub>н</sub> (20)	119 (40)	120 (45)	121 (50)	123 (40)	125 (25)
21.X-23.X.80.	77	160	148	151	112	78
5.Y-8.Y.81.	262	549	490	457	448	475
8.YII-10.YII.81.	69	71	49	90	89	79

н - в скобках указана глубина станций в м.

### 4.3. Связь хлорофилла и биомассы

Обобщая материалы о развитии фитопланктона в Рижском заливе весной и летом 1981 и 1980 гг., сделана попытка рассмотреть соотношение пигментов (хлорофилла "а") и биомассы фитопланктона. Выявлено, что биомасса водорослей и содержание хлорофилла снижается по мере снижения концентрации биогенов, как в течение сезона, так и по акватории водоема. Также выявлено, что содержание хлорофилла "а" на единицу биомассы фитопланктона непостоянное. Так, в начале мая 1980 г. содержание хлорофилла "а", отнесенное к биомассе  $100 \text{ мг/м}^3$ , было  $0.60 \text{ мг/м}^3$ , в конце месяца -  $0.66 \text{ мг/м}^3$ , а в июне -  $1.60 \text{ мг/м}^3$ . Следовательно, в июне при относительно низких биомассах фитопланктона количество хлорофилла гораздо больше, чем в мае, что возможно, обусловлено фактическими различиями в содержании специфического хлорофилла у различных видов и экологических типов. Действительно, в июне в Рижском заливе наблюдалась смена видов весеннего аспекта на летний. Возможно также, что повышение содержания хлорофилла у водорослей определено их лучшим физиологическим состоянием летом или изменениями интенсивности света. Важным обстоятельством является и способность некоторых организмов фитопланктона питаться готовыми органическими веществами. Иначе невозможно объяснить то, что одному и тому же количеству хлорофилла "а" соответствовала повышенная биомасса водорослей на ст. 101А, где в июне и в июле при предельно низких концентрациях минеральных веществ, массой развивалась диатомовая *Skeletonema costatum*.

Между биомассой фитопланктона и хлорофиллом получена прямолинейная положительная корреляция. В начале мая 1981 г. связь слабая ( $r = 0.29$ ). В начале и в конце мая 1980 г. корреляционная связь достоверна с вероятностью почти 95% ( $r_1 = 0.61$ ;  $r_2 = 0.64$ ). Связь достоверная с вероятностью почти 99.9% получена в июне и в июле 1980 г. На основе математической обработки результатов летнего сезона, вычислены уравнения регрессии: для июня  $y = 0.75 + 0.01x$  ( $r = 0.97$ ), для июля  $y = 0.65 + 0.01x$  ( $r = 0.89$ ), где  $x$  - биомасса фитопланктона  $\text{мг/м}^3$ ,  $y$  - хлорофилл "а"  $\text{мг/м}^3$ . Достоверная зависимость между этими показателями продуктивности фитопланктона может быть выведена только на основе математической обработки результатов сезонных наблюдений

в Рижском заливе за несколько лет.

Из вышесказанного следует, что оценка хлорофилла не может быть точным мерилем изменения биомассы фитопланктона, так как относительное содержание хлорофилла "а" в биомассе фитопланктона зависит от ряда факторов:

- 1) от видового состава фитопланктона. Действительные соотношения форм фитопланктона, принадлежащих к различным систематическим категориям, в планктоне будут в большей или меньшей степени иными, чем в экстракте хлорофилла;
- 2) от интенсивности и качества света;
- 3) от физиологического состояния клеток, от количества питательных веществ и возраста водорослей и др.

#### 4.4. Эколого-продукционный аспект динамики пигментов фитопланктона в Рижском заливе в период весеннего цветения (1980 г.)

Фотосинтез органического вещества в освещенном слое — основа для биопродуцирования в море. Сезонный ход изменчивости факторов среды предопределяет внутригодовой ритм функционирования сообщества фитопланктона с максимумом продукции весной. Информацию о количественном развитии и биохимико-физиологической активности фитопланктона содержит его пигментная система. Однако расшифровка пигментных данных — процесс сложный и весьма деликатный. Основываясь на результатах экологических исследований ряда авторов, нами была предпринята попытка рассмотреть жизнедеятельность фитопланктона в высокопродуктивном Рижском заливе в непосредственной зависимости от условий среды. Анализ выполнен на материалах по пигментному составу и охватывает относительно узкий, но биологически исключительно важный период — весну.

Исследования количества пигментов и их состава получили широкое применение при характеристике биомассы, продукции и физиологического состояния фитопланктона и также при оценках экологического плана [16, 22]. В то же время сложное наслаивание влияний факторов среды и видового состава водорослей не позволяет рассматривать пигментный анализ как универсальный инструмент для изучения жизнедеятельности фитопланктона, а лишь как один из способов характеристики развития фитопланктона и раскрытия его биохимико-физиологической и экологической основе.



Изучая весеннее цветение фитопланктона в Рижском заливе первоначально важно выявить основные факторы, обуславливающие ход и количественный уровень развития водорослей. Как физиологический индекс фитопланктона можно применить отношение хлорофилла "а":  $\Sigma$  пигментов, так как в стареющих, теряющих фотическую активность клетках хлорофилл "а" распадается быстрее, чем хлорофилл "в" и каротиноиды [12, 16, 22]. Соотношение активного и общего хлорофилла "а", вероятно, в значительной мере характеризует интенсивность распада - образование производных хлорофилла "а" в клетках, подверженных лисису [12, 14]. Эти данные свидетельствуют о весьма небольших различиях в биохимико-физиологической активности фитопланктона в конце апреля и в мае, но значительном ослаблении ее в июне, когда происходила смена весеннего комплекса водорослей на летний аспект. Чем же объясняется резкое сокращение фитоценоза в заливе во второй половине мая, когда не произошли существенные сдвиги в абиотических условиях среды? По-видимому, основная причина - это выедание водорослей зоопланктоном, увеличившим свою биомассу в слое 0-20 м за май примерно в шесть раз.

Первичная продукция в заливе явно ограничивалась двумя факторами - пониженной прозрачностью водного слоя за счет присутствия аллохтонных веществ и дефицитом фосфора. Установлена связь между хлорофиллом "а" и общим фосфором в мае:

$$y = 4.87 + 15.92x \quad (6-10 \text{ мая}; r = 0.91; t = 9.25; n = 19),$$

$$y = -5.14 + 23.28x \quad (21-23 \text{ мая}; r = 0.86; t = 6.21; n = 16),$$

где  $y$  - мкг хл. "а"/л,  $x$  - мкг-ат P/л.

Включение в уравнение солевого азота не улучшает связь, так как в целом по заливу азота в это время достаточно. Таким образом продуцирование в Рижском заливе находится в непосредственной зависимости от зимних накоплений фосфатов, практически целиком ассимилируемых уже в начальном этапе весенней вспышки и далее вовлекаемых в биохимические процессы из клеточного резерва при одновременном, вероятно, использовании фосфора растворенной фазы органических соединений. Зависимость концентрации хлорофилла "а" и фотосинтеза от общего фосфора в водоемах с дефицитом фосфатов известна [10, 11, 17], однако она выявлена для летнего периода. К тому же указывается [10], что фосфор лучше коррелирует с сестоном и биомассой водорослей, чем с хлорофиллом.

Для Рижского залива связь  $P_{\text{общ.}}$  с биомассой фитопланктона, наоборот, гораздо слабее. *Status* питательных веществ в клетке определяет продуцирующую активность, соотношение  $C_{\text{орг.взв.}}$ : хл. "а" в популяции [21]. Для Рижского залива установлена хорошая связь между этими параметрами ( $r = 0.94$ ;  $t = 11.48$ ;  $n = 20$ ), описываемая уравнением

$$y = 0.09 + 0.07x,$$

где  $y$  - мгС/л,  $x$  - мкг хл. "а"/л. Общая для мая зависимость подтверждает, что снижение обилия фитопланктона во второй половине месяца не является результатом изменений в физиологическом состоянии сообщества, наступления фазы спада в цветении диатомовых. Вышеуказанное соотношение в мае в среднем было около 75, что значительно выше соответствующих величин для пика весенней вспышки, например, в Северном море: 23 [20] и в Кильской бухте: 30 [19]. Поэтому напрашивается вывод, что или весеннее цветение проходило в неблагоприятных для фитопланктона условиях или значения  $C_{\text{орг.взв.}}$  завышены за счет фона флоккул аллохтонных веществ.

**Заключение.** Весенний ход развития фитопланктона в Рижском заливе определялся комплексом абиотических условий и прессом зоопланктона. Применение физиологических индексов выявило высокую активность фитопланктона в течение всего мая. Снижение количества и продукции фитопланктона в конце мая, создающее впечатление завершающей фазы в развитии фитоценоза, являлось результатом усиления внедания зоопланктоном. Продуцирование фитопланктоном лимитировалось фосфором. Судя по характеристике  $C_{\text{орг.взв.}}$ : хл. "а", биохимико-физиологическая активность водорослей в период вспышки не была высокой.

## 5. ИЗУЧЕНИЕ ОБМЕНА ФОСФОРОМ, МАРГАНЦЕМ И ЖЕЛЕЗОМ МЕЖДУ ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ И ВОДОЙ ВО ВПАДИНАХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Гуминовые вещества неоспоримо влияют на химические и биологические процессы в Балтийском море. Один из механизмов влияния - это коагуляция, сосаждение веществ обменные процессы на поверхности флоккул [4, 5, 6, 7, 8, 13]. Нами были изучены изменения состава гуминовых веществ и физико-химические условия, определяющие их формирование, метаморфизицию и распределение.

Результаты исследований. Для характеристики динамики состава взвешенных частиц изучались их спектры светопоглощения. Соотношение  $D_{\lambda=400}$  и  $D_{\lambda=600}$  показывает ход спектральной кривой: относительно сильное увеличение абсорбции в синей и фиолетовой областях спектра определяется коричневым цветом спектроскопируемого вещества взвешенных частиц промежуточных и глубинных слоев Балтийского моря [9]. В гетерогалинном слое Балтики в отличие от Рижского залива и верхней части галоклина моря взвешенная субстанция имеет почти линейный спектр светопоглощения. Величина  $D_{400} : D_{600}$  была сопоставлена с кислородными условиями, чтобы характеризовать преобразование флоккул в водной толще Балтики (табл. 5). Здесь можно выделить два типа зависимостей: уменьшении коэффициента  $D_{400} : D_{600}$  при снижении концентрации  $O_2$  до 0.3-0.2 мл/л, и роста этого же коэффициента при дальнейшем уменьшении содержания  $O_2$  и появления сероводорода ( $H_2S$ ). Чтобы объяснить указанные изменения был изучен состав взвешенных частиц на фильтрах. Взвесь растворялась в концентрированной соляной кислоте, раствор нейтрализовался, окислялся персульфатом калия и в нем определялось содержание общего фосфора, железа и марганца. Относительное содержание железа  $Fe : (Fe + Mn)$  хорошо коррелирует с отношением  $D_{400} : D_{600}$ , что подтверждает основополагающее значение величины количественного соотношения железа ( $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$  в комплексе с гуминовыми веществами; бурый цвет) и марганца ( $MnO_2$ ; серый цвет) при формировании спектров светопоглощения флоккулами в видимой области. С ростом количества частиц увеличивается и содержание фосфора во взвешенной фазе и может достичь 0.4 мкг-ат/л. Относительное содержание фосфора (P: количество частиц) меняется прямо пропорционально изменениям содержания железа в частицах. Изменения P: кол. частиц и  $Fe$ : кол. частиц от содержания кислорода совпадает с изменениями коэффициента  $D_{400} : D_{600}$  (минимум при  $O_2$  0.2-0.3 мл/л). Иная картина наблюдается для содержания марганца в частицах (M: кол. частиц). При 0.8-0.4 мл  $O_2$ /л марганец осаждается (вероятно в виде двуокиси марганца  $MnO_2 \cdot nH_2O$ ), появляется четкий максимум относительного содержания марганца (соответственно и резкий рост количества частиц). При  $O_2 < 0.2$  мл/л  $Mn$ : кол. частиц снижается, явно происходит растворение  $MnO_2$  в восстановительных условиях.



Обсуждение результатов. Произведенный анализ взвешенного вещества на фильтрах дает возможность приблизительно судить о процессах при образовании и метаморфизации флоккул аллохтонных веществ и факторах, регулирующих их распределение по глубинам Балтийского моря. Взвешенные частицы являются хорошей адсорбционной поверхностью для фосфатов, которые вместе с ними оседают на дно моря. Предполагается, что фосфор тесно связан с соединениями железа - включен в мицелле коллоидной частицы или адсорбирован на поверхности железо-гуматного комплекса.

В галоклине, где резко повышается концентрация электролита, происходит (подобно зоне смешивания речных и морских вод) дестабилизация железо-гуматной коллоидной системы, что характеризуется увеличением количества взвешенных частиц [9, 18]. В процессе оседания флоккулы из аморфных (8-13 мкм) становятся более компактными (4.5-5.5 мкм). Снижение концентрации  $O_2$  (0.8-0.2 мл/л) изменяет окислительно-восстановительный потенциал ( $E_h$ ) среды и происходит сдвиг равновесия в системе ионов марганца в растворе воды в сторону образования гидрата двуокиси (почти нерастворим в воде), в результате чего увеличивается количество взвешенного вещества. Частично наверно происходит и обрастание частиц гуматов железа  $M_nO_2$  [9]. Увеличивается величина характеристики  $M$  : кол. частиц, уменьшается относительные показатели  $D_{400} : D_{600}$ ,  $Fe$  : кол. частиц и  $P$  : кол. частиц.

Во время стагнации впадин концентрация  $O_2$  в глубинном слое становится  $< 0.2$  мл/л, появляется сероводород. В этих условиях двуокись марганца растворяется ( $M O_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons M^{2+} + 2H_2O$ ), снижается величина характеристики  $M$  : кол. частиц, растет соответственно  $D_{400} : D_{600}$ ,  $Fe$  : кол. частиц и  $P$  : кол. частиц. На количество частиц вероятно влияют две противоположные тенденции: 1) увеличение их числа за счет накопления у дна в процессе седиментации и удержания в суспензии в придонном слое при наличии турбулентной диффузии [15] и 2) растворение при восстановлении в  $H_2S$ -среде гидрата двуокиси марганца и, в намного меньшей мере, трехвалентного железа. Имеет место и значительное высвобождение фосфатов из взвешенных частиц, возможно, ввиду обмена ионами фосфатов и ионами гидрокарбонатов ( $HCO_3^-$ ) или с ионами гидросульфида ( $HS^-$ ) в реакциях с сероводородом [6.8]. В условиях, когда содержания кислорода во впадинах было выше 0.3 мл/л и сероводород не появлялся, не наблюдалась

Таблица 5

Характеристика соотношения Р, Fe и Mn во взвешенной фазе в Готландской впадине Балтийского моря (станция 37).

Дата Гориз. М	Р мкг- ат/л	Fe мкг- ат/л	Mn мкг- ат/л	O <sub>2</sub> мл/л	H <sub>2</sub> S мл/л	Кол.ч. л	D <sub>400</sub> D <sub>600</sub>	Fe + Mn %	Fe ат.10 ат.10 ат/10 <sup>3</sup>	Mn мкг- ат.10 ат.10 ат/10 <sup>3</sup>	S%				
											11	12	13	14	15
1979г.	0.125	0.04	0.06	0.85	-	164	4.69	40.0	2.39	3.66	7.62	10.86	8.65		
120	0.028	0.06	0.10	0.62	-	314	2.60	37.5	1.91	3.18	0.73	11.60	9.22		
140	0.067	0.16	0.24	0.17	-	429	2.13	40.0	3.64	5.59	1.56	12.21	9.67		
150	0.177	0.13	0.05	0.19	-	207	5.36	72.2	6.33	2.42	8.55	12.30	9.73		
160	0.108	0.11	0.06	0.05	0.096	214	3.79	64.7	5.00	2.80	5.05	12.34	9.76		
170	0.110	0.16	0.23	0.09	0.154	266	5.10	41.0	5.59	3.04	3.85	12.59	9.94		
180	0.145	0.35	0.00	0.00	0.172	436	3.24	100.0	8.00	0.00	3.33	12.59	9.94		
200	0.156	0.17	0.06	0.04	0.141	314	6.15	73.9	5.32	1.91	4.97	12.72	10.03		
220	0.152	0.21	0.14	0.03	0.195	400	5.57	60.0	5.20	3.50	3.80	12.79	10.07		
230	0.232	0.39	0.09	0.00	0.227	557	4.88	81.3	6.93	1.62	4.17	12.86	10.12		
1980г.	0.024	0.09	0.07	0.68	-	400	3.19	30.0	0.88	1.75	0.60	11.29	8.98		
120	0.068	0.17	0.21	0.53	-	748	2.87	44.7	2.34	2.89	0.92	11.94	9.48		
140	0.014	0.00	0.06	0.70	-	186	3.00	0.0	3.08	3.23	0.35	11.42	9.07		
150	0.088	0.08	0.05	0.30	0.002	329	3.80	61.5	2.40	1.52	2.67	12.59	9.80		
160	0.091	0.19	0.23	0.22	0.089	350	3.70	30.3	2.86	6.57	2.60	12.39	9.80		
170	0.019	0.01	0.04	0.20	0.219	143	3.78	20.0	0.77	2.80	1.33	12.57	9.93		
180	0.094	0.17	0.09	0.07	0.224	496	3.61	65.4	3.83	2.06	2.16	12.57	9.93		
200	0.087	0.11	0.09	0.33	0.288	571	3.27	55.0	2.88	2.43	2.35	12.57	9.93		
220	0.067	0.08	0.02	0.19	0.341	571	3.31	80.0	2.24	0.54	1.81	12.77	10.07		
230	0.085	0.14	0.10	0.00	0.402	436	3.95	58.3	3.12	2.29	1.95	12.83	10.12		

Таблица 5  
(продолжение)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1980г.	80	0.065	0.28	0.09	1.02	740	2.57	75.7	3.78	1.22	0.74	10.48	8.37		
	100	0.047	0.17	0.21	0.53	470	1.84	47.2	3.51	4.47	1.00	11.19	8.87		
апр-	120	0.063	0.24	0.39	0.47	950	2.55	98.1	2.59	4.11	0.66	11.55	9.16		
рель	150	0.045	0.10	0.08	0.32	250	3.13	55.6	4.00	3.20	1.80	12.11	9.57		
	180	0.145	0.29	0.13	0.10	440	3.58	69.0	6.64	2.95	3.30	12.47	9.84		
	200	-	-	-	0.00	800	4.25	-	-	-	-	12.65	9.97		
	230	0.432	2.453	1.50	0.00	2560	2.20	62.0	9.58	5.86	1.69	12.74	10.12		
1980г.	80	0.104	0.90	0.10	2.51	860	3.40	90.0	10.47	1.16	1.21	10.25	8.20		
	100	0.123	1.12	0.17	0.72	1090	3.00	86.8	10.28	1.56	1.13	11.13	8.55		
май	120	0.058	0.29	0.21	0.56	598	3.74	58.0	5.41	3.90	1.08	11.58	9.19		
	150	0.156	0.73	0.08	0.30	525	4.61	90.1	13.92	1.52	2.97	12.34	9.76		
	180	0.379	1.64	0.34	0.00	1058	4.40	82.8	15.47	3.21	3.58	12.52	9.87		
	200	0.380	0.90	0.20	0.00	840	5.55	81.8	10.67	2.38	4.52	12.61	9.95		
	230	0.279	1.55	0.37	0.00	900	4.02	80.7	17.24	4.11	3.10	12.70	10.02		



тенденция уменьшения количества взвешенного вещества в придонный слой [9].

Наряду с изложенными выше общими закономерностями процессов имеют место и их сезонные изменения (в основном — количественные).

Для понимания и уточнения в экосистемных моделях обмена фосфором, железом и марганцем между фазами требуются дальнейшие наблюдения в море и эксперименты в лабораторных условиях.

## 6. ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В РИЖСКОМ ЗАЛИВЕ

Относительно высокая концентрация растворенных гуминовых веществ — характерная черта гидрохимического режима Балтийского моря. Гуминовые вещества, вымываемые из почв, поступают в море с речными водами. Ввиду агрегативной неустойчивости почвенных коллоидов происходит их частичная коагуляция под влиянием катионов морской соли. В зоне интенсивной флокуляции сильно видоизменяются циклы динамики веществ, создаются условия, отрицательно влияющие на биологические процессы. Учитывая широкий спектр непосредственных или косвенных воздействий гуминовых веществ на биоту моря, необходимо определить их концентрацию в море, изучить закономерности их физико-химической и биохимической трансформации в море и влияния на химические и биологические системы. Такие исследования целесообразно провести в продуктивном водоеме, каким является Рижский залив. Целью исследований в отчетном периоде являлось определение концентрации гуминовых веществ, выявление зависимостей, определяющих динамику их распределения по акватории и глубинам залива.

Установлено, что концентрация гуминовых веществ в Рижском заливе в 1980–1981 гг. колебалась в пределах 0,010–0,180 мгС/л и 0,70–5,40 мгС/л во взвешенной и растворенной формах соответственно (табл. 6). Максимальные величины растворенных гуминовых веществ обнаружены в прибрежной зоне залива, в непосредственной близости от эстуариев рек. По мере удаления от берега их концентрация падает, опускаясь до минимальной для залива в проливах — в водных массах собственно Балтики. Концентрация взвешенных гуминовых веществ также наибольшая в прибрежных районах, она снижается в сторону открытой части залива и с глубиной.

Таблица 6

Концентрация гуминовых веществ (мг С/л) - растворенных (РГВ) и взвешенных (ВГВ)  
в водах Рижского залива в мае 1980 г.

Дата, горизонт (м)	С Т А Н Ц И И															
	101А		119		120		135		121		121А		142		114А	
	РГВ	ВГВ	РГВ	ВГВ	РГВ	ВГВ	РГВ	ВГВ	РГВ	ВГВ	РГВ	ВГВ	РГВ	ВГВ	РГВ	ВГВ
6-16.05																
0.5	5.40	0.172	2.16	-	1.54	0.052	3.20	0.163	1.59	0.057	1.60	0.070	1.40	0.035	1.33	0.028
10	2.36	0.145	1.69	0.066	1.73	0.053	2.26	0.157	1.40	0.036	1.57	0.065	1.30	0.030	1.19	0.030
20	2:10	0.050	1.60	0.033	1.47	0.059	2.13	0.034	1.30	0.020	1.42	0.049	1.30	0.024	0.96	0.023
30			1.40	0.025	1.40	0.029	1.64	0.020	1.22	0.029	1.20	0.030	1.17	0.022	1.16	-
40			1.15	0.036	1.24	0.028	4.42	0.098	1.02	0.028	1.12	0.023	0.89	0.028		
45					0.045				1.06	-						
50									1.00	0.030						
21-24.05																
0.5	6.30	0.100	3.05	0.045	1.88	0.022	1.37	0.043	1.47	0.030	2.00	0.020	1.50	0.030	1.30	0.025
10	2.06	0.044	2.06	0.036	1.85	0.019	1.59	0.017	1.69	-	1.80	0.017	1.90	0.022	1.42	-
20	2.00	0.153	1.40	0.014	1.52	0.023	1.36	0.020	1.75	0.010	1.30	0.014	1.40	0.020	1.70	-
30			1.40	0.016	1.57	0.016	1.26	0.018	1.53	0.010	1.24	0.015	2.19	0.013	1.00	0.020
40			0.017	1.77	0.017	1.57	0.040	1.26	0.016	1.36	0.034	1.45	0.026			
45					1.42	0.040			-	-						
50									1.40	0.016						

Однако в отдельных случаях для растворенных гуминовых веществ и почти как правило для взвешенных гуминовых веществ констатированы придонные максимумы.

Количество растворенных гуминовых веществ в Рижском заливе тесно связано с величиной ‰ (обратная зависимость). Наиболее резкое его снижение имеет место в узкой прибрежной зоне с содержанием солей менее 5‰. Для интервала ‰ 5–8‰, охватываемым и верхний слой открытой Балтики, снижение более плавное, связь почти линейна. Характер зависимости обуславливается коагуляцией гуминовых веществ в процессе разбавления – осолонения речных вод. В зоне смешения речных и морских вод устанавливается уровень концентрации гуминовых веществ, дальнейшие изменения которого происходит путем постепенной флокуляции и, по-видимому, деградации под влиянием солнечных лучей и микробиологических агентов. Расчеты согласно геохимической модели Боила показали, что в Рижском заливе коагулируют около 70% терригенного органического вещества, поступающего с суши. Основная масса их оседает в прибрежной зоне, унося с собой биогенные элементы, тяжелые металлы, и.т.д.

Гуминовые вещества составляют около 30% растворенного органического вещества в Рижском заливе. На долю гуминовых веществ во взвеси приходится не более 10% органического углерода.

Дальнейшие исследования гуминовых веществ будут направлены на изучение роли их динамики в геохимии фосфора и азота в Рижском заливе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулярные океанографические исследования, проводимые БалтНИИРХом с 1960 года позволили определить главные особенности гидрологических и гидрохимических условий Балтийского моря в 1981 году а также некоторые основные тенденции изменений этих условий.

Теплозапас верхнего слоя моря в 1981 году был на  $0.5^{\circ}$  выше среднего многолетнего и наибольший за последние 6 лет. В верхнем слое открытого моря и в заливах продолжалась тенденция уменьшения солености после экстремного увеличения во второй половине 70-их годов. В глубинном слое моря поступления



каттегатских вод было наименьшими за последние 22 года, что обусловило уменьшение температуры, солености и содержание кислорода, а также увеличение сероводорода. За весь период океанографических наблюдений с начала XX века впервые отмечена столь обширная зона глубинных вод содержащих сероводород — в конце 1981 года придонный слой всех впадин моря кроме Аронской был заражен сероводородом. В центре моря — в Готландской впадине слой воды содержащий сероводород в конце года был около 110 м — с 135 м до дна (249 м). К концу года практически весь глубинный слой открытого моря ниже галоклина был непригоден для обитания гидробионтов.

В открытой части Балтийского моря вследствие продолжения стагнации в 1981 году сохранился высокий глубинный фонд фосфора, однако резерв солей азота под галоклином был небольшим — около 50% наблюдаемого в условиях хорошей аэрации глубинных вод. Концентрация фосфора и азота в трофогенном слое в открытой части моря и в Рижском заливе соответствовали наивысшей точке развития эвтрофикации в Балтийском море.

В 1981 году подтвердилось уже ранее высказанное предположение, что тенденция увеличения солености моря, обусловленная тенденцией уменьшения стока рек балтийского бассейна, наблюдавшимися со середины 50-их годов в настоящее время сменяется на противоположную. Ожидается, что в 80-е годы речной сток в среднем будет больше, а средняя соленость моря меньше нормы, а среднее содержание кислорода в глубинном слое меньше чем в предыдущие 20-летие.

В течение 1981 года регулярно составлялись квартальные прогнозы гидрологических и гидрохимических условий Балтийского моря. Оценка оправдаемости этих прогнозов показала, что из всех указанных тенденций изменений гидрологических условий не оправдался только прогноз температуры на зимний период по верхнему слою моря — из-за неоправданности метеорологического прогноза. Из всех указанных в прогнозах количественных показателей гидрологических и гидрохимических элементов оправдалось около 80%.

Были продолжены исследования неоднородности гидрологических полей Балтийского моря. Уточнена схема гидрологического районирования южной части моря. Уточнение разработанной в 1980г. схемы гидрологического районирования и более подробное обоснование выделенных на акватории всего моря гидрологических районов

будет закончено в 1982 году.

Начато обобщение данных, характеризующих суммарный речной сток рек балтийского бассейна, которые необходимы для задания граничных условий при разработке и эксплуатации моделей гидрологических условий Балтийского моря. За отчетный период собран и обобщен материал за 1946–1975 гг. по стоку больших и средних рек (площадью бассейна более  $2000\text{ км}^2$ ), расположенных на территории СССР и Финляндии. Среднегодовой суммарный сток этих рек  $215\text{ км}^3/\text{год}$  (около 50% всего стока балтийского бассейна). Обобщение данных по речному стоку будет продолжено в 1982 году. В итоге работ предполагается получить уточненные данные о величине и колебаниях суммарного речного стока балтийского бассейна – основном факторе, определяющим состояние и изменчивость гидрологических условий моря.

Изучение многолетней динамики фосфора в Готландской впадине позволило установить этапы изменения режима фосфора в море как на примере летнего минимума, так и зимнего максимума и раскрыть процессы, трансформировавшие среду. Дана схема биогеохимического механизма эвтрофицирующего эффекта фосфора в центральной части Балтийского моря.

Комплексные исследования системы: биогенные вещества – фитопланктон – зоопланктон, включающие многофакторной статистической анализ, выявили основные параметры среды, обуславливающие весенне-летнюю динамику развития фитопланктона в Рижском заливе.

Определена концентрация гуминовых веществ в Рижском заливе как в растворенной, так и взвешенной фазе. Получена характеристическая кривая для расчета равновесные концентраций гуминовых веществ в конкретных условиях содержания электролитов. Найдено, что в Рижском заливе коагулируют около 70% гуминовых веществ, поступающих с речным стоком.

Изучение динамики фосфора, железа марганца в глубинных водах Балтийского моря позволяет сделать вывод об исключительно важной роли коагуляции гуминовых веществ и обменных процессов в системе взвесь– вода под галоклином в перераспределении веществ в водном слое, т.е. для биопродуцирования в море.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. АтлантНИРО. 1960-1964 гг. Сводные журналы сезонных океанографических съемок Балтийского моря.
2. СЗ УГКС. 1981. Авиа-съемки температуры поверхности воды Балтийского моря.
3. СЗ УГКС. 1981. Среднемесячные расходы рек Невы и Луги. Январь-октябрь.
4. Скопинцев Б.А. 1947. О коагуляции гуминовых веществ речного стока в морской воде. Изв. АН СССР, серия географ. и геофизич., 11, № 1.
5. Брковский А.К. 1968. О причинах высокого содержания фосфатов в глубинных водах Балтийского моря. Кн: Методы рыбохимико-океаногр. исследов., т. 2, ОНТИ ВНИРО, М, стр. 191-203.
6. Брковский А.К. 1972. О роли железогуматных коагулятов в накоплении фосфатов в глубинах стагнированных впадин Балтийского моря. Кн: Исслед. по теорет. и прикладной химии моря. Изд. "Наука", М, стр. 51-56.
7. Брковский А.К. 1974. О значении некоторых химических процессов в придонном слое глубоководных впадин в динамике запасов минерального фосфора Балтийского моря, № 10, Рига, "Звайгоне", стр. 3-16.
8. Брковский А.К. 1975. О кинетике некоторых химических процессов во впадинах Балтийского моря. Кн: Химико океаногр. исслед. морей и океанов. Изд. "Наука", М, стр. 124-129.
9. Брковский А.К., Пинкуле А.Я. 1980. Об образовании метаморфизации и распределении флюккул аллохтонных веществ в Балтийском море. Океанология, т. XX, № 6, 14, стр. 1045-1053.
10. Bergmann M., Peters R.H. 1980. A simple reflectance method for the measurement of particulate pigment in lake water and its application to phosphorus - chlorophyll - seston relationships. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37, III-III6.



11. Brydges I.G. 1971. An intensive biochemical survey in western Lake Erie. Proc. 14 th Conf. Great Lakes Res., Toronto, 1971. Ann. Arbor. Mich., 191-197.
12. Daley R.J., Brown S.R. 1973. Experimental characterization of lacustrine chlorophyll diogenesis. I. Physiological and environmental effects. Arch. Hydrobiol., 72 (3), 277-304.
13. Golterman H.L. 1967. Influence of the mud on the chemistry of water in relation to productivity. Chem. Environm. in the Aquatic Habitat. Amsterdam, 297-313.
14. Hakumat R. 1975. Pigment cycle in a north German lake. Verh. Int. Ver. theoret. und angew. Limnol. 19 (2) 1220-1228.
15. Kranck K. 1980. Sedimentation processes in the sea. Reactions and processes, Canada, 61-65.
16. Margalef R. 1968. Perspectives in ecological theory. Chicago-London, III p.
17. Megard R.O. 1972. Phytoplankton, photosynthesis and phosphorus in Lake Minnetonka, Minnesota. Limnol. Oceanogr., 17 (1), 68-87.
18. Sholkowitz E.R. 1979. Chemical and Physical Processes Controlling the chemical composition of Suspended material in River Tay. Estuarine and Coastal Marine Science, 8, 523-545.
19. Smetscek V., Hendrikson P. 1979. Composition of particulate organic matter in Kiel Bight in relation to phytoplankton succession. Oceanologica Acta, 2 (3), 287-298.
20. Steele J.H., Baird I.E. 1961. Further relations between primary production, chlorophyll and particulate carbon. Limnol. Oceanogr., 6, 68-78.
21. Steele J.H., Baird I.E. 1962. Carbon - chlorophyll relations in cultures. Limnol. Oceanogr., 7, 101-102.
22. Yentsch G. 1967. The measurement of chloroplastic pigments - thirty years of progress. Chemical environment in the aquatic habitat, Amsterdam, 255-270.