



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления
прибрежными зонами**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему Влияние затoka вод в Балтийском море на геохимические условия у
дна и в водной толще

Исполнитель

Кутынцев Дмитрий Романович

(фамилия, имя, отчество)

Руководить

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Волощук Екатерина Васильевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

« 04 » 06 . 2024г.

Санкт-Петербург

2024

Оглавление

Введение.....	2
1.Глава 1. Физико-географическое описание района исследования	4
1.1 Морфометрия и климатические особенности.	4
1.2 Водообмен с Северным морем и соленость вод	4
1.3Механизм возникновения затоков.	7
Глава 2. Исследование формирования термо-халинной структуры вод и геохимических условий в период прохождения затоки 2014 г.	10
2.1 Отслеживание механизма формирования затоков в Балтийском море.....	10
2.2 Влияние затоков на геохимические условия у дна и в водной толще.....	21
2.2.1 Прямая стратификация	22
2.2.2 Обратная стратификация.....	23
Глава 3. Влияние затоков на геохимические условия в водной толще глубоководной части центральной Балтики.	30
3.1 Влияние затока вод на кислородный режим глубоких вод центральной части Балтийского моря.	30
3.2 Влияние затоков на содержание биогенных соединений в водной толще и развитие водорослей.	33
Заключение.....	39

Введение

Исследования и мониторинг Балтийского моря проводятся уже более двух веков. В России первые исследования начались в восемнадцатом веке, за это время собрано большое количество данных.

Балтийское море – уникальный водоем, характеризующийся сложной гидрологической. Одной из ключевых особенностей Балтийского моря является проникновение более соленых вод из Северного моря – явление, называемое затоком. Затоки играют важную роль в формировании физических, химических и биологических условий как в водной толще, так и у дна Балтийского моря.

Актуальность исследования влияния затоков на геохимические условия Балтийского моря обусловлена несколькими факторами. Во-первых, проникновение в Балтийское море более соленых и теплых вод оказывает существенное влияние на термохалинные условия моря в результате разрушения устойчивой вертикальной стратификации. Кроме этого, влияние затоки сказывается на геохимических условиях, изменяется содержание растворенных газов (кислорода, углекислого газа), биогенов (азота, фосфора, кремния) и других соединений. Во-вторых, за счет разрушения вертикальной стратификации и поднятия со дна большого количества биогенных соединений затоки могут стимулировать развитие фитопланктона и влиять на продукцию морской экосистемы. В-третьих, понимание механизмов влияния затоков на геохимические условия необходимо для разработки эффективных стратегий управления экологическим состоянием Балтийского моря.

Небольшие по объему затоки происходят практически каждый год, но они не способны существенно повлиять на экосистему Балтийского моря, в то время как мощные затоки способствуют обновлению вод в глубоководных впадинах центральной Балтики доходя даже до Финского залива. Однако с середины 1980-х годов частота возникновения этих явлений снизилась, то есть обновление вод Балтийского моря замедлилось, что привело к ухудшению

кислородного режима в придонном слое, развитию гипоксийно-аноксийных явлений.

Целью настоящей работы является исследование влияния затoka 2014 г. в Балтийское море на геохимические условия у дна и в водной толще

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- изучение механизма формирования Балтийских заток;
- исследование термохалинной изменчивости вод Балтийского моря в период наблюдения заток 2014 г;
- изучение изменчивости кислородного режима в придонных водах в следствии заток вод;
- оценки геохимических условий (содержание фосфатов, нитратов, кремниевых соединений) в водах моря в период прохождения заток и до него.

1. Глава 1. Физико-географическое описание района исследования

1.1 Морфометрия и климатические особенности.

Район моего исследования – Балтийское море. Это внутреннее море, оно расположено в северо-западной части материка Евразии. Море достаточно сильно вытянуто вдоль меридиана на 1350 километров, южная крайняя точка в Щецинском заливе, а северная у полярного круга на 65-й широте. Море неглубокое, средняя глубина 51 метр. Основные глубоководные зоны – Ботнический залив и Готландская котловина с максимальными глубинами 293 и 249 метров соответственно. Площадь бассейна 419000 км², объём бассейна 21500 км³. Большая широтная протяженность формирует отдельные районы, находящиеся в разных климатических зонах. Климатические особенности, такие как солнечная радиация, температура атмосферы, осадки, стоки рек, ледовый режим оказывают наибольшее влияние на соленосный и температурный режимы моря [1].

1.2 Водообмен с Северным морем и соленость вод

Водообмен с океаном осуществляется через узкие датские проливы, а именно Зунд, большой и малый Бельты, далее по направлению залива североатлантических вод проливы Скагеррак и Каттегат. Такой тип водообмена с мировым океаном определяет уменьшение солености акватории с юго-запада на северо-востока (рисунок 1), это происходит по причине узости и мелководности соединяющих их проливов, а также топографии дна и постоянной вертикальной стратификации вод. Глубинные воды Балтийского моря формируются за счет притока соленой воды из Северного моря через Датские проливы. Эта вода поступает в основном в верхние слои (до 10–15 метров глубины), но ввиду более высокой плотности, она постепенно

опускается вниз, формируя глубинное течение. Это течение перемещает глубинные воды сначала на восток, а затем на север Балтийского моря[6].

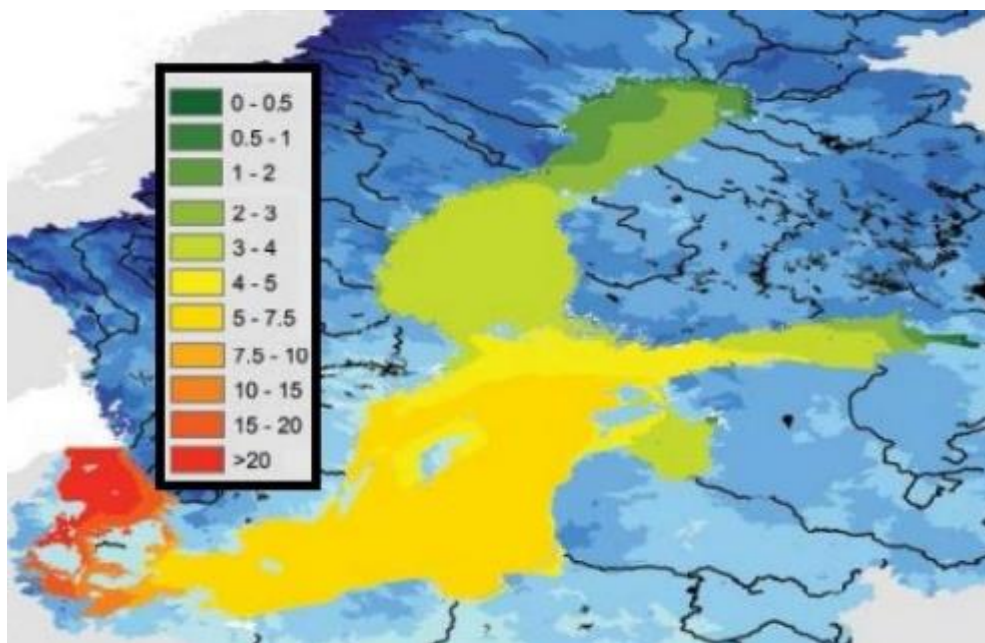


Рисунок 1.1 – Соленость (‰) поверхностного слоя вод в Балтийском море [2]

Все эти факторы затрудняют поступление североморских вод. В районе датских проливов средняя соленость равна 20 ‰, в Ботническом заливе 0–3‰. По районам Балтийского моря сток распространяется неравномерно. Самый крупный сток в Ботническом заливе, он равен 181 км³/год, далее меньше в Финском — 110, в Рижском — 37, в центральной части Балтики — 112 км³/год. Осадки также оказывают сильное опресняющее воздействие. За год на территории всего Балтийского Моря выпадает около 450 км³/год осадков. Из-за ранее упомянутого деления на разные климатические зоны, для северной части моря характерно большое количество выпадающих осадков и низкое испарение, для юга — наоборот, малое количество осадков и высокое испарение [2, 7].

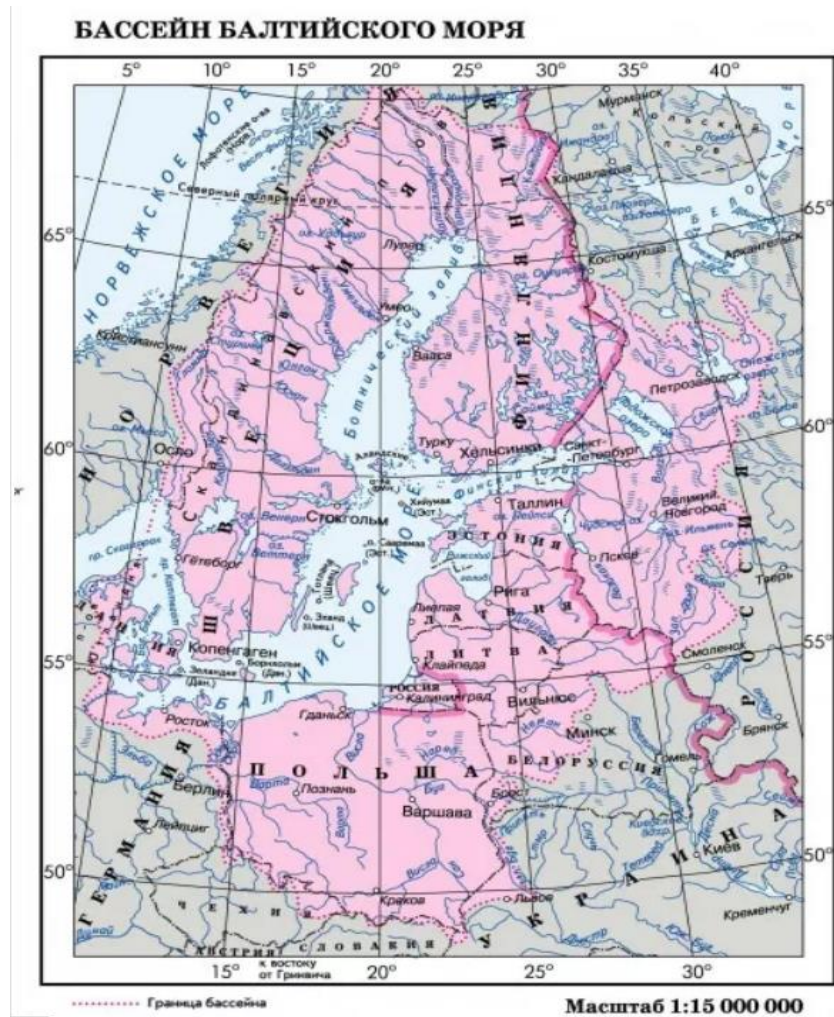


Рисунок 1.2 – Площадь водосборного бассейна [6]

Для анализа в научной работе следует учитывать тот факт, что Балтийское море за счет стока рек очень сильно опресняется, а также химический состав рек сильно различается с составом североатлантических. Объем вытекающих вод только из Невы составляет $77 \text{ км}^3/\text{год}$. Площадь водосборного бассейна в 4 раза больше площади самого бассейна $1,74 \text{ млн. км}^2$ (Рисунок 2). Основные стоковые реки — это Нева, Висла, Даугава, Неман, Одер, Гета-Эльв, Кемийоки, Онегерма-Эльвен, Луле-Эльвен, Индальс-Эльвен. Сток этих рек составляет 55 % от всего стока в исследуемое море [1].

1.3 Механизм возникновения затоков.

Для формирования больших балтийских затоков должны быть соблюдены определенные условия. На этапе формирования затокана территории Балтийского моря должны отмечаться восточные ветра и воздушные переносы того же направления. При продолжительном воздействии ветра одного направления формируется ветровое течение, способствующее перемещению водным масс и одного района в другой. Данный процесс является сгонно-нагонным явлением. Далее направление должно измениться на противоположное, из-за которых возникает большой нагон вод Атлантики сначала в Северное море, а потом в Балтийское под видом соленой стелющейся по дну водной массы [3].

Необходимо взять во внимание особенность Балтийского моря. Поступление океанических вод затруднено по причине морфометрии проливов, соединяющих море с открытым океаном. Поэтому кроме сгонно-нагонных явлений важно соблюдения разницы давлений в районе формирования затока. Должны возникнуть и значительное время продолжаться высокий уровень моря над Балтикой, а именно в районе Каттегата, и падения уровня моря в Арконском бассейне. Североатлантическое колебание частично оказывает влияние на характер перемещения водных масс в Балтийское море. При положительном изменении индекса, то есть высокого уровня Северного моря, возможны условия, при наличии прочих условий (ветра, течения), для формирования большого балтийского затока [4].

Направление ветров и, соответственно, сгонно-нагонные явления в Балтике находятся под влиянием крупномасштабной атмосферной циркуляции, выраженной индексом NAO (англ. North Atlantic Oscillation – NAO). Индекс NAO представляет собой разность приземных давлений над Азорским максимумом и Исландским минимумом. При положительных значениях индекса преобладают сильные западные ветры, несущие теплый и влажный атлантический воздух на север Европейского континента. В результате зимы становятся мягче, а количество осадков увеличивается. Наоборот, в периоды

отрицательных значений наблюдается похолодание и уменьшение количества осадков и повторяемости западных ветров. Изменение индекса NAO способствует затакам североморских вод в Балтийское море. В периоды отрицательной фазы NAO ветра восточных направлений сгоняют на запад поверхностные опресненные воды. Вследствие этого увеличивается придонный компенсационный приток вод в самую восточную часть Финского залива.

Важно сказать, что хоть Балтийское море и является одним из самых изучаемых морей в мире, мониторинг состояния акватории проводят регулярно, данных для исследования много. Механизм затака понятен, но ситуации, по должному приводящие к формированию затаков, не всегда означают сто процентное появление затака. В районе формирования затаков атмосферные процессы неустойчивы, из-за непериодических благоприятных условий частота затаков с середины 1970-х годов снизилась. Затаки классифицируются как слабые, если рассчитанный индекс не превышает значение 10, умеренные при Q_{96} от 10 до 20, сильные – Q_{96} от 20 до 30 и очень сильные при значениях индекса более 30 [17]. С 1880-х по начало 1980-х годов большие балтийские затаки наблюдались сравнительно часто – случаи их появления варьировались в основном от одного-двух раз в год до одного раза в 3-4 года. После 1983 года частота больших балтийских затаков сократилась в 5 раз по сравнению с предыдущим тридцатилетием; интервал между ними, который еще называют периодом стагнации, стал составлять 10-11 лет [3]. Один из самых сильных затаков произошел в декабре 2014 (рисунок 1.3). Как известно, затаки, в том числе этот, формируются преимущественно в зимнее время года. В Балтийское море поступило примерно 198 км^3 воды и $2,04 \times 10^6 \text{ т}$ кислорода [2].

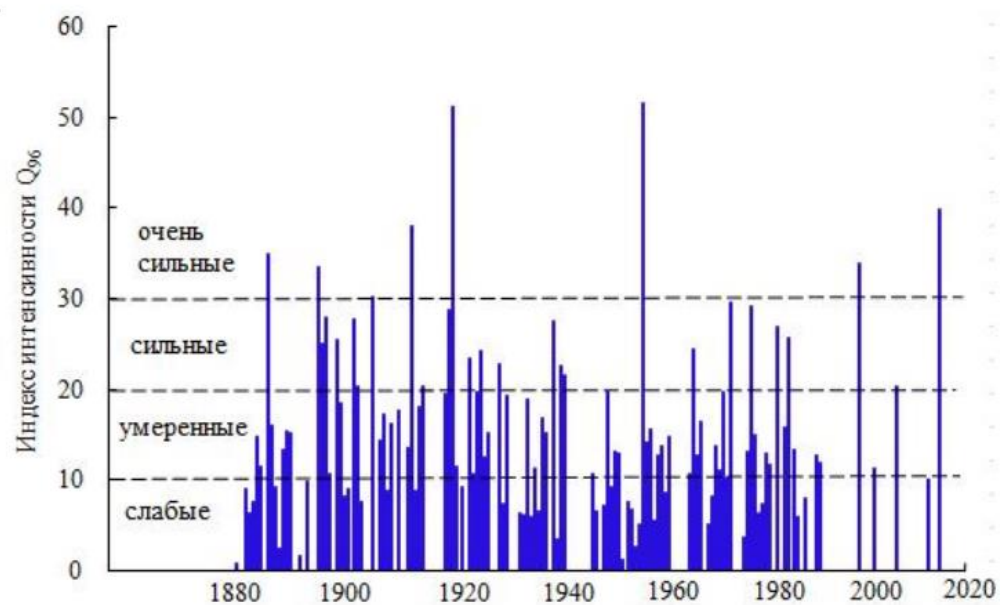


Рисунок 1.3 – Интенсивность заток вод в Балтийское море с 1883 по 2014 гг. [2]

Глава 2. Исследование формирования термо-халинной структуры вод и геохимических условий в период прохождения затоки 2014 г.

2.1 Отслеживание механизма формирования затоков в Балтийском море

Целесообразно визуально изобразить процесс поступления вод в Балтийское море, для рассмотрения динамики в период, когда было зафиксированно поступление большого количества североатлантической воды. После 10-летнего отсутствия исключительно сильный приток в декабре 2014 года достиг бассейна Готланд в начале марта 2015 года [13].

Для такого исследования были построены горизонтальные разрезы по солености и температуре (рисунок 2.1). Используются данные натурных наблюдений системы DataAssimilationSystem (DAS) [8]. В работе представлены:

Разрез № 1: в начале Датских проливов (рисунок 2.2), за период ноябрь 2014 – январь 2015;

Разрез № 2: на выходе с Датских проливов (Рисунок 2.5), за период ноябрь 2014 – январь 2015;

Разрез № 3: в центральной части Балтийского моря (Рисунок 2.9), за период февраль 2015 – июнь 2015.

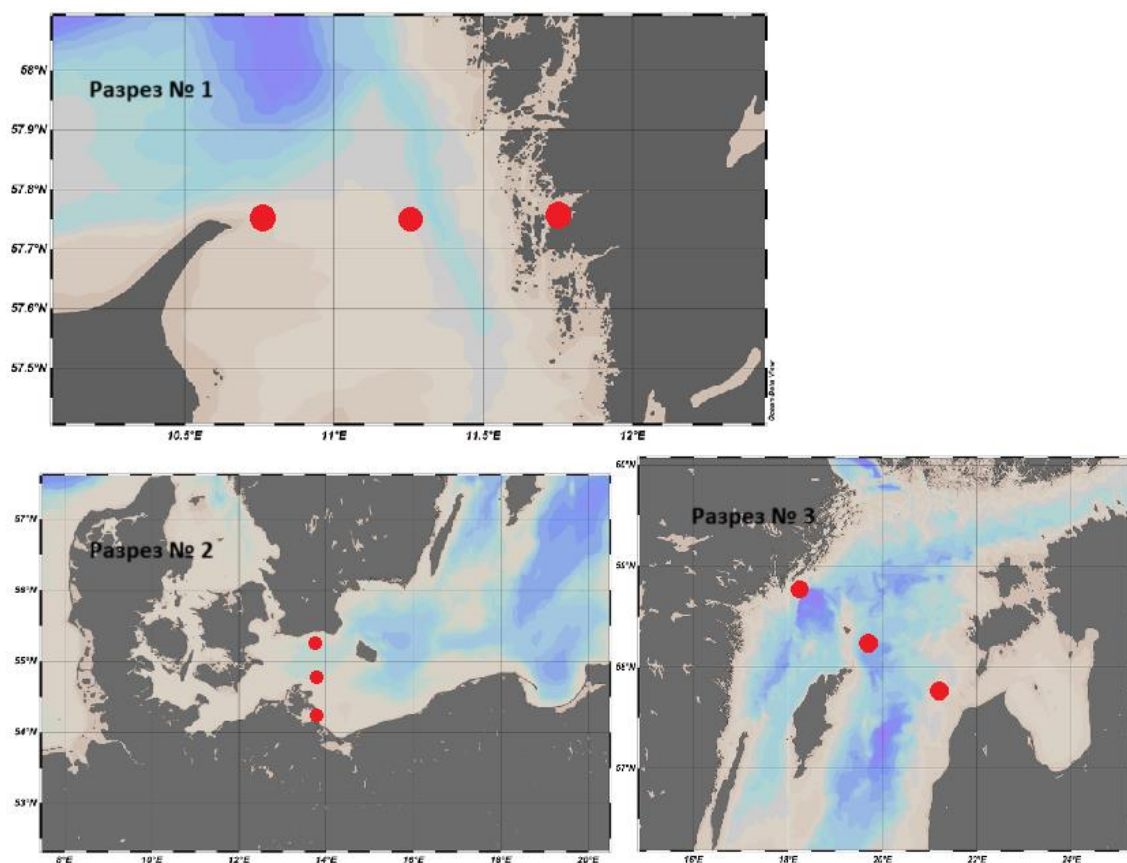


Рисунок 2.1 – Карта исследуемых разрезов в Балтийском море

Первый разрез по натурным данным [8] построен по трем точкам на одной широте. Западная точка находится вблизи мысы Скаген, восточная точка находится вблизи устья реки Нордр (Рисунок 2.1).

Для видимости динамики залива разрез построен за ноябрь, декабрь и январь.

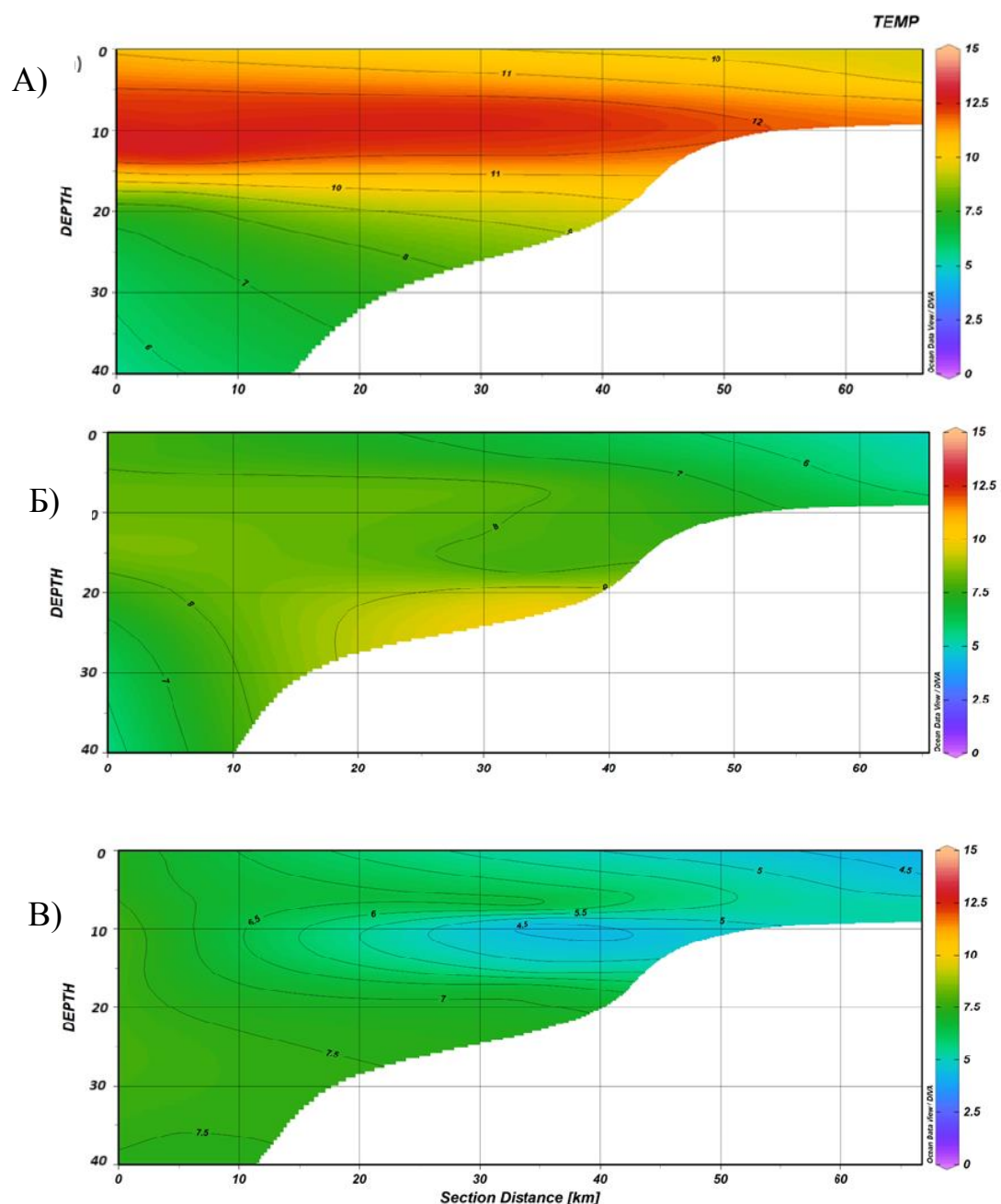


Рисунок 2.2 – Температура на разрезе №1. Ноябрь – рис. А, декабрь – рис. Б, январь – рис. В, 2014 – 2015 г.

На рисунке 2.2 видно, что на разрезе № 1 наблюдается хорошо выраженная температурная стратификация водной толщи. Так же следует отметить, что в ноябре (рисунок 2.2а) солнечная радиация и речной сток формируют достаточно теплые верхние слои водной толщи. Амплитуда температур в декабре(рисунок 2.2б) меньше, теплой воды на поверхности нет, конвективное перемешивание слабеет. Рассмотрим дальнейшее изменение

исследуемом участке. В январе (рисунок 2.2в) очень хорошо видно, что вода Северного Атлантического океана, прошедшая по проливу Скагеррак намного теплее воды на востоке разреза, так же максимальная соленость падает, значит заток прекращается.

Следующий разрез построен по тем же самым точкам (Рисунок 2.1) за ноябрь-январь 2014-2015 г. Соленость в разрезе выглядит следующим образом в рассмотрении изменений за три месяца.

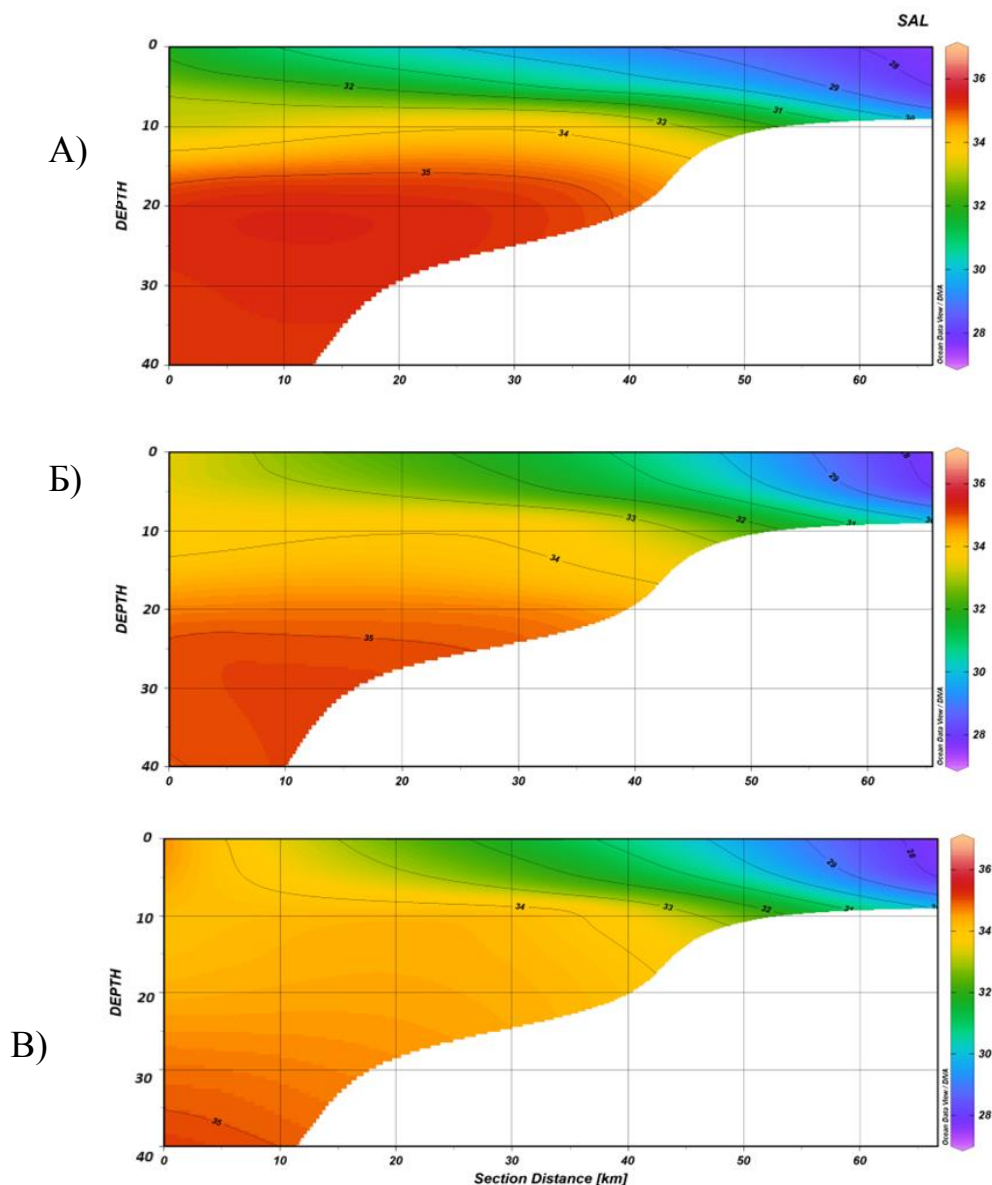


Рисунок 2.3 – Соленость разрезе № 1. Ноябрь – рис. А, декабрь – рис. Б, январь – рис. В, 2014 – 2015 г.

Из-за речных стоков на поверхности затоки в теплое время года сильнее опресняются, поэтому на рисунке 2,3а, ноябрь отличается от зимних месяцев сравнительно низкой соленостью на поверхности так как североатлантические воды достаточно теплые и конвективное перемешивание вносит больший, чем в зимнее время года, вклад в перемешивание водных масс. Либо заток набирает свою максимальную интенсивность только в декабре. По литературным данным известно, что в районе Арконского бассейна пик затока был 13-26 декабря. Из-за стратификации соленая вода, слабо перемешиваясь, занимает место на глубине от 75 до 200 метров. На декабрьском разрезе (рисунок 2.3б) видно, что вклад в водную массу сильносоленой океанической воды уже намного больше, вода хуже перемешивается. К январю сильносоленая водная масса занимает почти всю площадь горизонтального разреза (рисунок 2.3в), также у дна она сохранила свою максимальную соленость 35 ‰. Такая ситуация хорошо объясняет большой заток в конце декабря 2014 года.

Рассмотрим распределение температуры за ноябрь-январь 2014-2015 г.

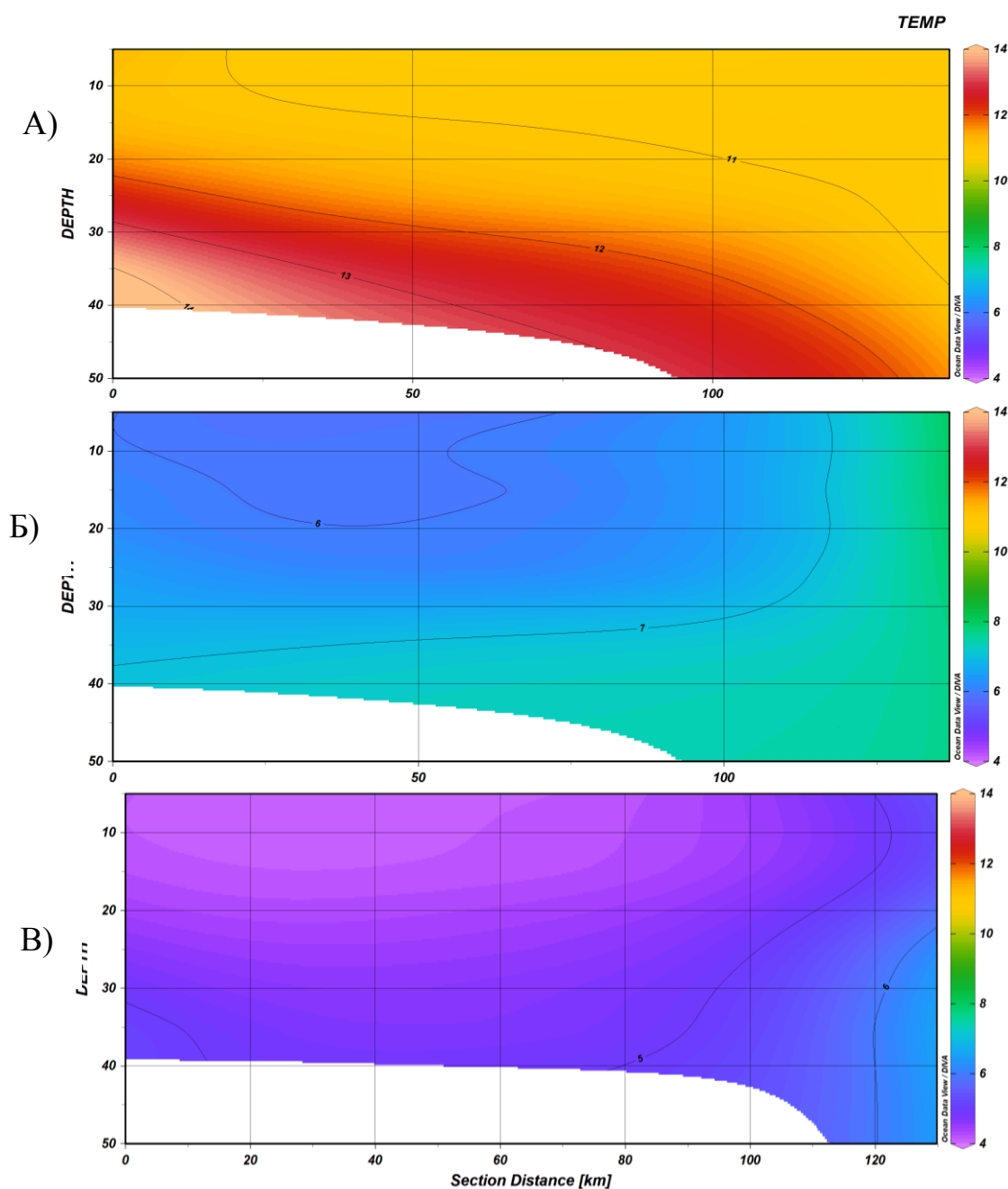


Рисунок 2.4 – Температура на разрезе № 2. Ноябрь – рис. А, декабрь – рис. Б, январь – рис. В, 2014 – 2015 г.

Температура воды выше, чем в зимние месяцы, из-за присутствия большого количества атлантических вод на разрезе. Происходит нагрев поверхности водной массы в ноябре (рисунок 2.4а). Далее в январе температура по всему разрезу уменьшилась с 10-14°C до 6-10°C. Нет такой ярко выраженной стратификации (рисунок 2.4б). Далее к январю температура стала

еще ниже, чем в ноябре и декабре, минимальная температура отмечается на поверхности 4°C. На глубине из-за влияния залива вода теплее 6-7°C.

Рассмотрим изменение солености за тот же период.

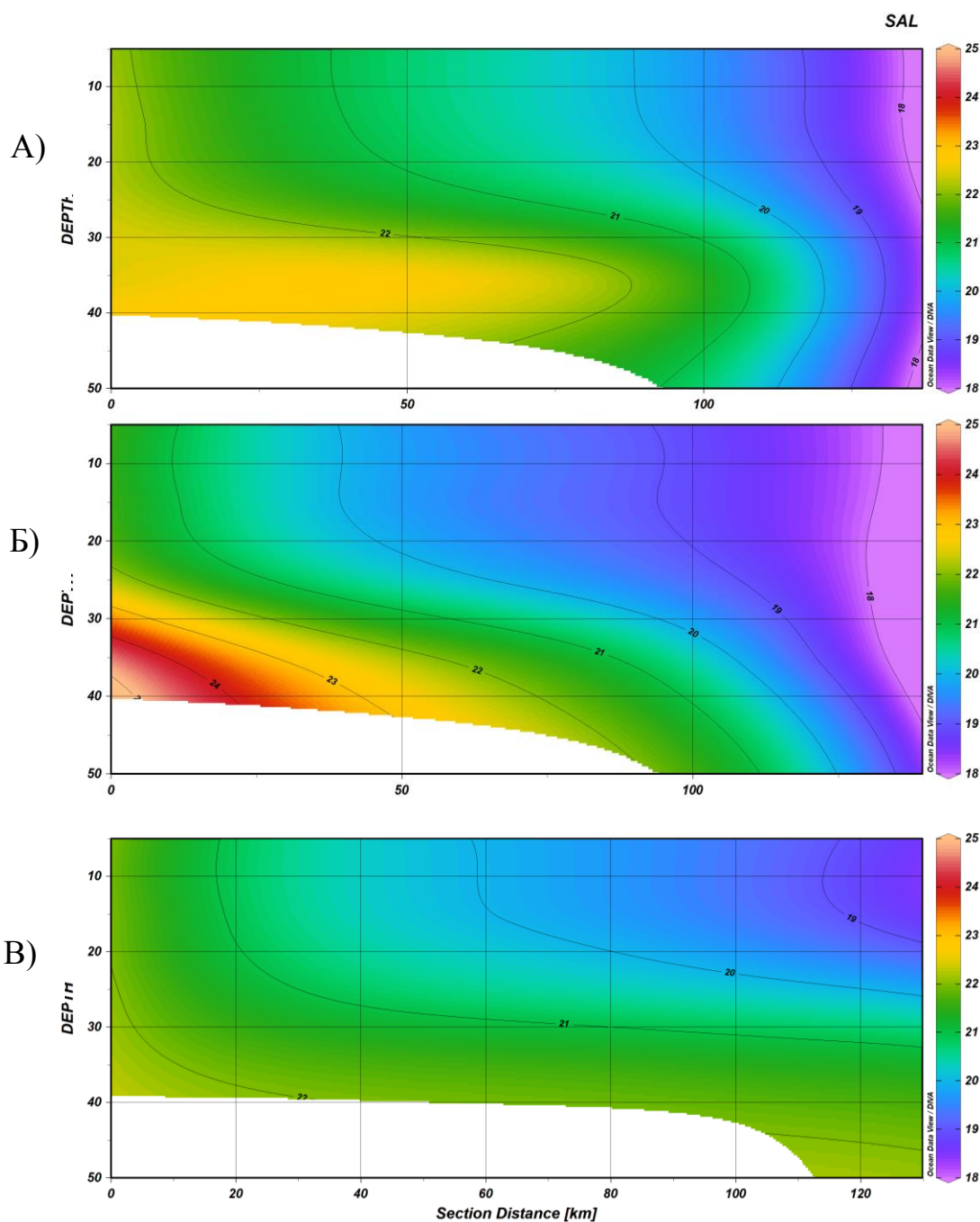


Рисунок 2.5 –соленость на разрезе № 2. Ноябрь – рис. А, декабрь – рис. Б, январь – рис. В, 2014-2015 г.

В ноябре исходя из данных разреза (рисунок 2.5а), сложившаяся к первому числу месяца ситуация не подразумевает наличие максимального

количества атлантических вод, заток в этом месяце не сформировался большом размере, что отмечается по солености. Максимальная соленость 22-23‰. В декабре (рисунок 2.5б) максимальная соленость 25‰ и хорошо видно, как атлантические водные массы стратифицируются, отличаясь от поверхностных вод Балтийского моря по солености. Слой североморских вод, находящийся в придонной части разреза порядка пяти – десяти метров. В следующий месяц ситуация визуально представляется следующим образом. К первому января площадь и распределение атлантических вод поменяли свои свойства (рисунок 2.5в). Сильносоленая вода так же примыкая к южному берегу Балтийского моря стелется по дну, занимая меньшую, в сравнении с декабрем площадь и стратифицируется не по всей площади. Адвекция сильно замедляется к середине разреза. Исходя из этих данных можно сделать вывод, что самая крупная часть залива прошла через Датские проливы в ноябре -декабре.

Сильный заток в конце 2014 года был визуально отображен с помощью горизонтальных разрезов. Важно отследить движение атлантических вод далее по Балтике. Целесообразно сформировать разрез по трем точкам, как в первом и во втором случае. Точки проложены с северо-запада на юго-восток. Места снятия данных были выбраны таким образом, чтобы разрез был построен примерно посередине, в наиболее глубоких местах Балтийского моря. Крайняя северо-западная точка располагается вблизи порта Нюнесхамн, юго-восточная точка вблизи побережья города Вентспилс (рисунок 2.1).

Для того чтобы увидеть динамику движения вод следует оценить наличие разных водных масс за последующие месяцы залива начиная с февраля. К этому времени затекшая вода должна дойти до этих широт. Для того, чтобы оценить динамику, необходимо проанализировать и сравнить разрезы за февраль, март, апрель и май. Рассмотрим отдельно каждую ситуацию по температуре в разные месяца.

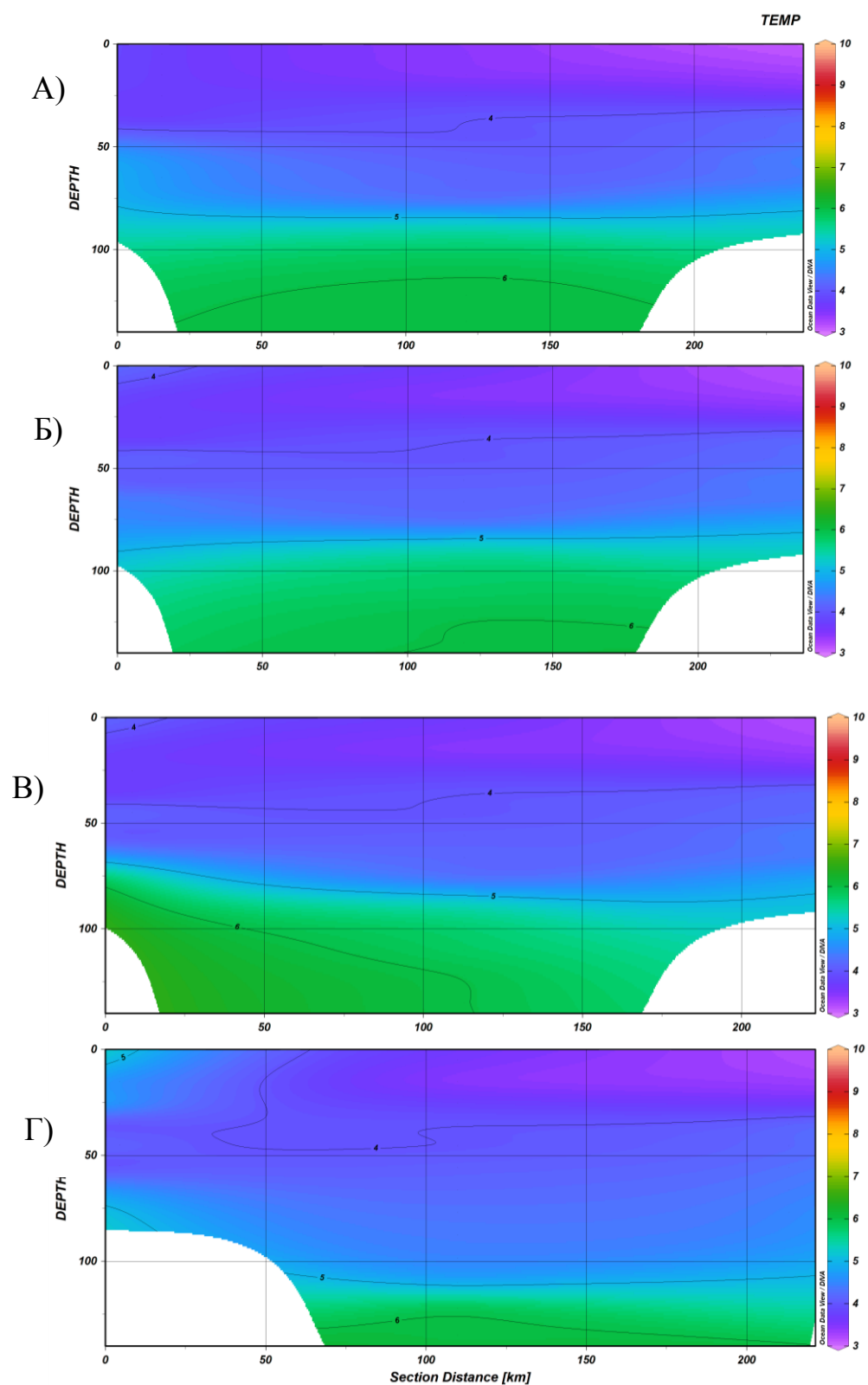


Рисунок 2.6– Температура на разрезе № 3. Февраль – рис. А, март – рис. Б, апрель – рис. В, май – рис. Г, 2015 г.

Построен аналогично и разрез по распределению солёности за февраль - май 2015.

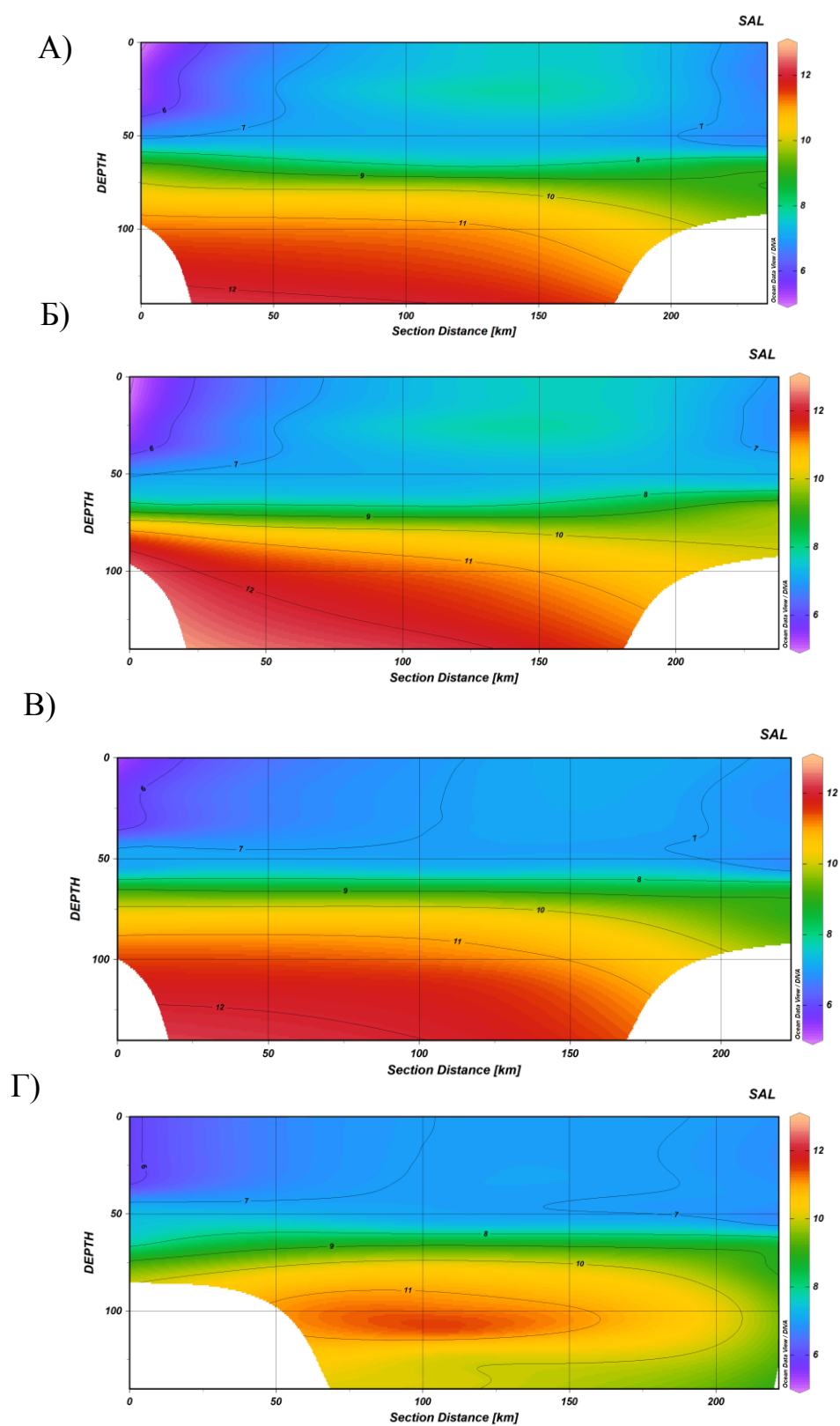


Рисунок 2.7– Солёность на разрезе № 3. Февраль – рис. А, март – рис. Б, апрель – рис. В, май – рис. Г, 2015 г.

На разрезам по температуре и солёности в феврале хорошо прослеживается стратификация водных масс (рисунок 2.6а, рисунок 2.7а). Температура поверхностного слоя достаточно холодная и составляет $4 - 3^{\circ}\text{C}$, на глубине теплее (примерно $5-6^{\circ}\text{C}$) и солёнее, чем на поверхности. Пришедшая из Атлантического океана водная масса отличается и температурой, и солёностью

Ситуация в марте (рисунок 2.6б, рисунок 2.7б) сильно схожа с февралем. Сильной динамики изменения и влияние залива не прослеживается, потому что изменение площади более солёной воды в большую или меньшую сторону не наблюдается. Наблюдается незначительное опускание изолинии 12 ‰. Это может указывать на снижение интенсивности. Рассмотрим ситуацию в апреле.

В апреле (рисунок 2.6в, рисунок 2.7в) не происходит существенного изменения на разрезе. Площади сечения с максимальными значениями температуры и солёности (6°C и 12 ‰) стали больше. Этот факт указывает на продолжения залива, который рассматриваем. Рассмотрим ситуацию дальше.

В мае (рисунок 2.6г, рисунок 2.7г) солнечные лучи и тёплый сток рек продолжают прогревать поверхность Балтийского моря. Максимальная температура на поверхности – 8°C . Хорошо видно, что площадь сечения тёплой и солёной воды начинает уменьшаться, что означает снижение силы влияния залива. Вода перестаёт обновляться и остывает, перемешиваясь с водными массами Балтийского моря.

В общих чертах, перемещение затекающих североатлантических водных масс выглядит следующим образом.

В декабре отмечается большое количество водных масс на выходе с датских проливов. Вся вертикаль занята солёными водами, где все значения выше 20 ‰. Одно из самых глубокое место на пути залива – Готландская впадина. Она накапливает в себе солёную воду, которая длительное время может не обновляться.

Североморские водные массы из-за своих физических свойств при затоках замещают воды Готландской впадины, а бескислородные воды из впадины перемещаются далее вплоть до Финского залива [2].

2.2 Влияние затоков на геохимические условия у дна и в водной толще

В Балтийском море формируется и является устойчивой плотностная стратификация, которая формирует определённые геохимические структуры. В рамках данной научной работы будут рассмотрены следующие параметры: фосфаты, нитраты, температура, кислород и солёность, а также силикаты [2].

Структурно геохимические параметры представляются в виде двух зон. Первая структурная зона — это «деятельный слой» — верхний слой океана или моря в котором отмечаются колебания характеристик водных масс с годовой дискретностью, за счёт солнечной радиации и взаимодействия с атмосферой. Вторая зона — глубинная. Суть вертикального разделения несколько неоднозначна, поскольку глубину деятельного слоя обычно определяют по температуре, а сезонная и годовая изменчивость для каждого интересующего меня параметра различна [5].

Однозначно описываются типы вертикального распределения гидрологических и гидрохимических параметров. Первый из них — тип с прямой стратификацией, значения с глубиной уменьшаются, например кислород. Вторым типом — обратная стратификация, значения с глубиной увеличиваются, например солёность, азот и фосфор. К третьему типу вертикального распределения относят температуру воды, которая падает до середины холодного промежуточного слоя, а затем растёт [5].

Дальнейший анализ данных будет произведён отдельно для каждого типа основных параметров. Суть анализа заключается в визуальном сравнении вертикального распределения геохимического параметра в периоды интенсивного стока североморских вод и до него.

Данные о вертикальном распределении концентрации растворенного кислорода, солености, содержания фосфатов, органического фосфора, нитратов, нитритов, аммония органического азота на глубоководных станциях взяты из базы данных DAS[8]. Использовались 2 близкорасположенные точки Готландской впадины с координатами 58,07с.ш., 18,4в.д. и 58,27 с.ш., 20,1 в.д. за ноябрь 2014 года и июнь 2015 года, соответственно.

2.2.1 Прямая стратификация

На рисунке 2.8приведено вертикальное распределение концентрации растворенного кислорода.

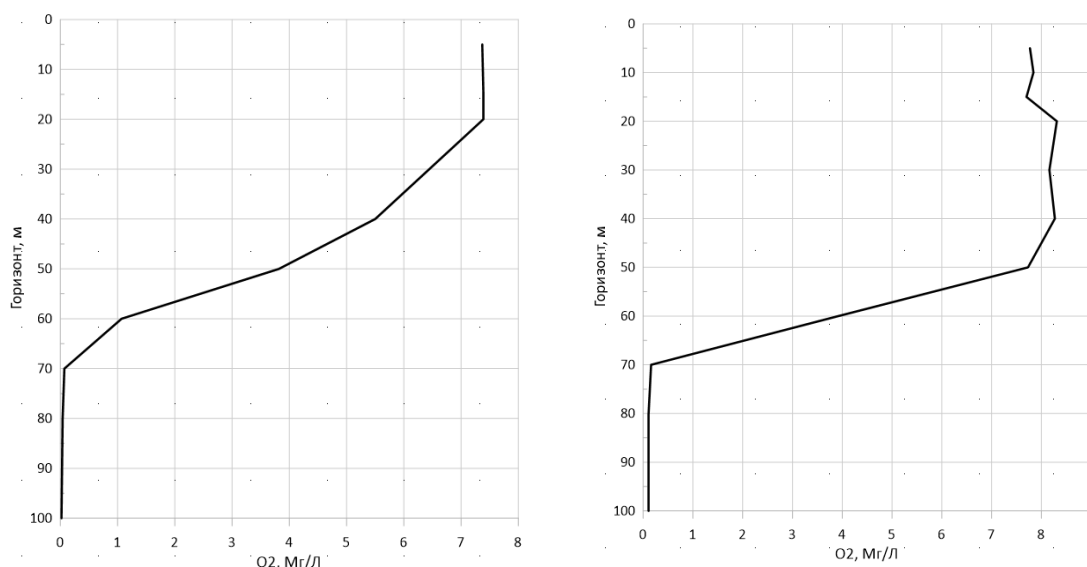


Рисунок 2.8 – вертикальное распределение концентрации растворенного кислорода в мг/л в период, предшествующий затоку (слева) и в период затока (справа) [8].

Данные показывают параметр прямой стратификации, значения с глубиной прямо уменьшается. Значения концентрации формируется при воздействии заточков.

Видно, что концентрация растворенного кислорода в поверхностном слое на 0,5–1 мг/л выше в периоды затoka. Заметно резкое снижение O_2 в слое 50-70 м и практически полное его отсутствие ниже 70 м. Тем не менее, в июне 2015 г. можно наблюдать незначительное присутствие O_2 в придонных водах, что свидетельствует об улучшении вентиляции вод в период прохождения затoka.

2.2.2 Обратная стратификация

К данному типу параметров относятся солёность, содержание азота и фосфора. Необходимо исследовать поведение параметров данного типа стратификации.

Рассмотрим, как ведет себя солёность в период перед затокom и в момент затoka (рисунок 2.9).

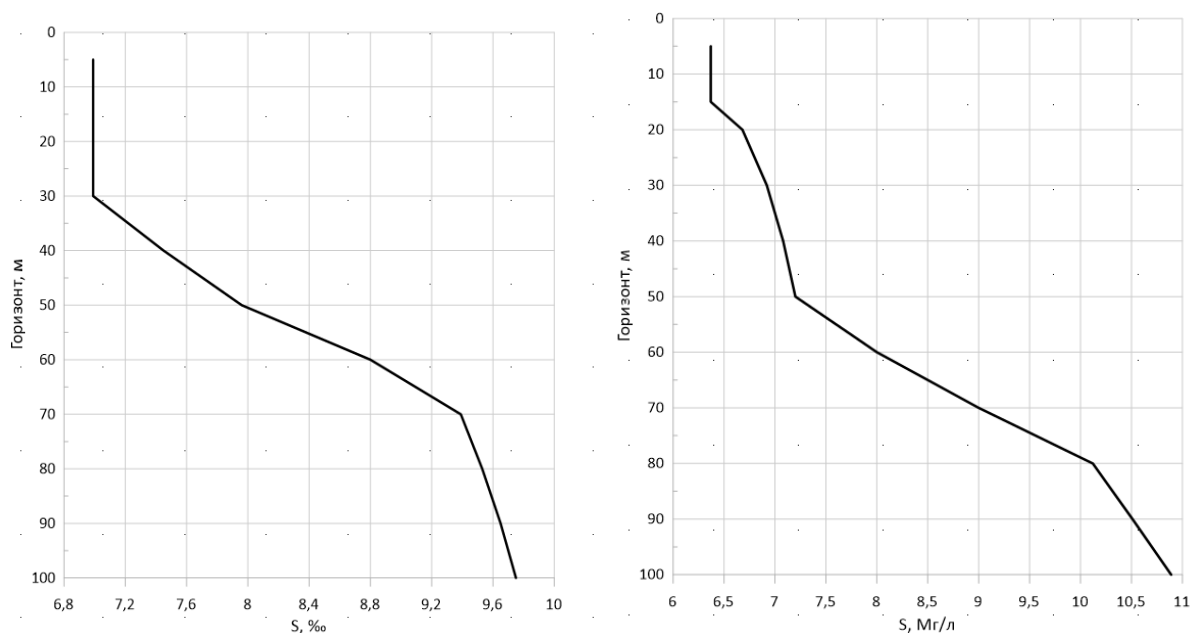


Рисунок 2.9 – вертикальное распределение солёности ‰ в период, предшествующий затокu (слева) и в период затoka (справа) [8].

Видно, что в точке вблизи Готланской впадины во время затoka солёность в придонных слоях выше, что указывает на присутствие североморских вод.

Максимальная соленость на глубине 100 метров равна 10,7 ‰, (рисунок 2.9). На правом рисунке вертикальный градиент солености меньше, что говорит о более перемешанном состоянии. Более одного процента разницы в придонных слоях моря

По типу обратной стратификации также изменяется концентрация фосфатов.

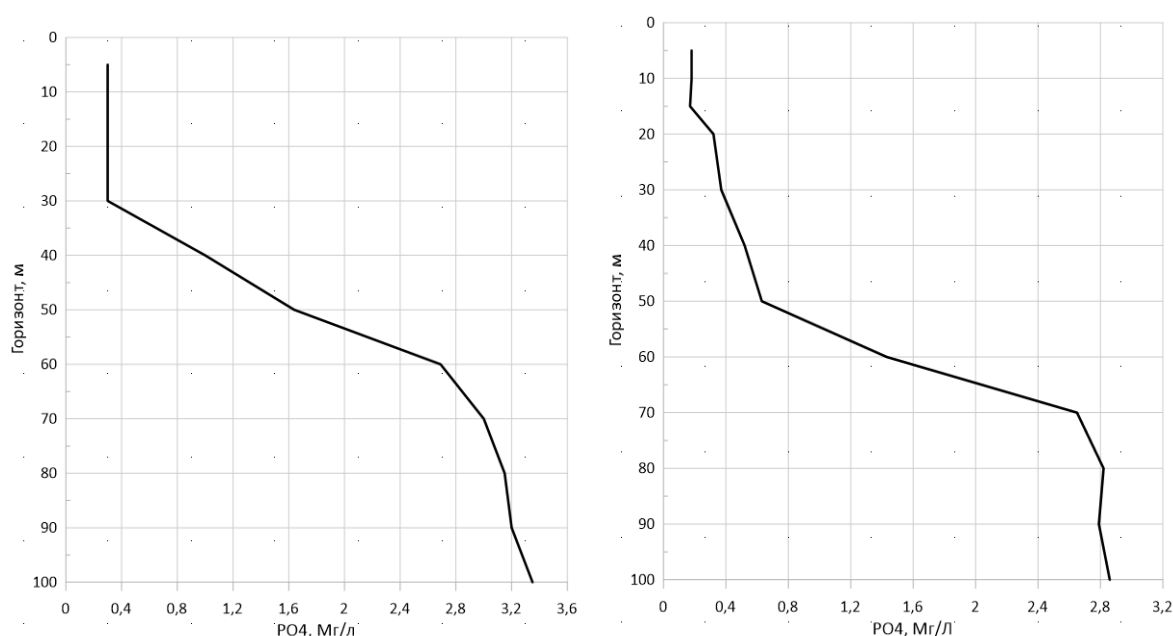


Рисунок 2.10– вертикальное распределение растворенного PO₄ в Мг/л в период, предшествующий затоку (слева) и в период затока (справа) [8].

Отметим, что на рисунке 2.10 придонная концентрация фосфатов меньше во время интенсивного затока. Это объясняется тем, что основным источником фосфатов в Балтийском море является речной сток. При определенных условиях затоки, представляющие собой приток более соленой и плотной воды из Северного моря, вытесняет менее соленую воду из Балтийского моря, которая содержит большое количество фосфатов. Возможно, именно этот процесс и происходил при исследовании.

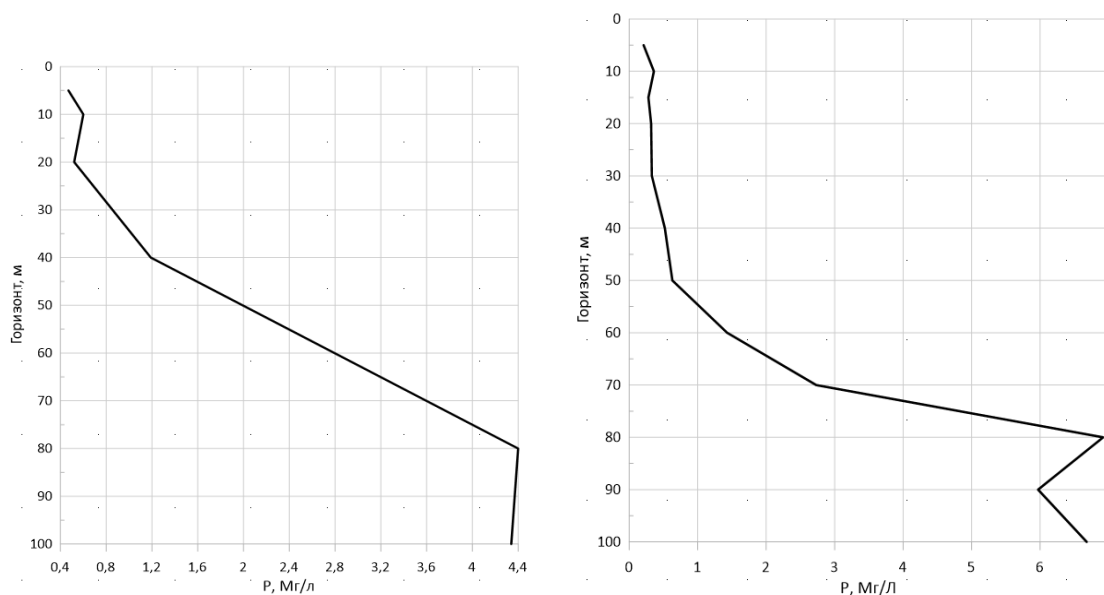
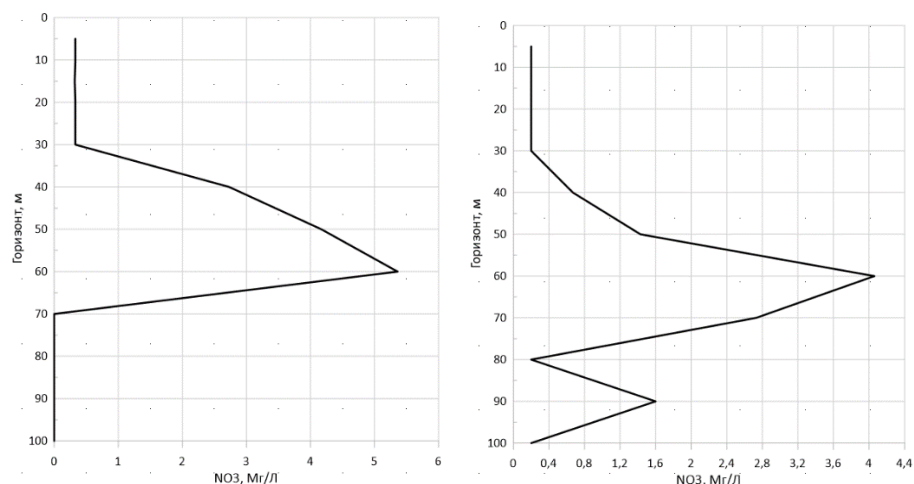


Рисунок 2.11– вертикальное распределение растворенного органического Р в Мг/л в период, предшествующий затоку (слева) и в период затока (справа) [8].

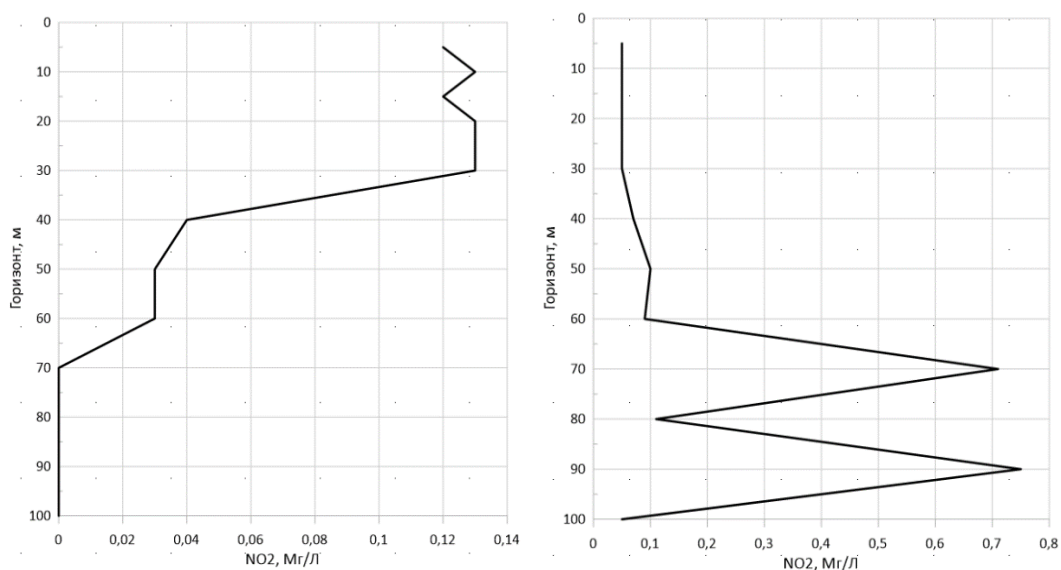
По построенным разрезам видно (рисунок 2.11), что в периоды затоков концентрация фосфора больше, чем когда их нет. С одной стороны, это может показаться неправильным, но в данной ситуации важно учитывать географическое положение станции, где были взяты данные. Опять же, вполне возможно, что из Готландской впадины сильными потоками затоков вымывается, где он находился в больших количествах и не окислялся из-за гипоксических условий.

Рассмотрим вертикальные профили содержания нитратов и нитритов:



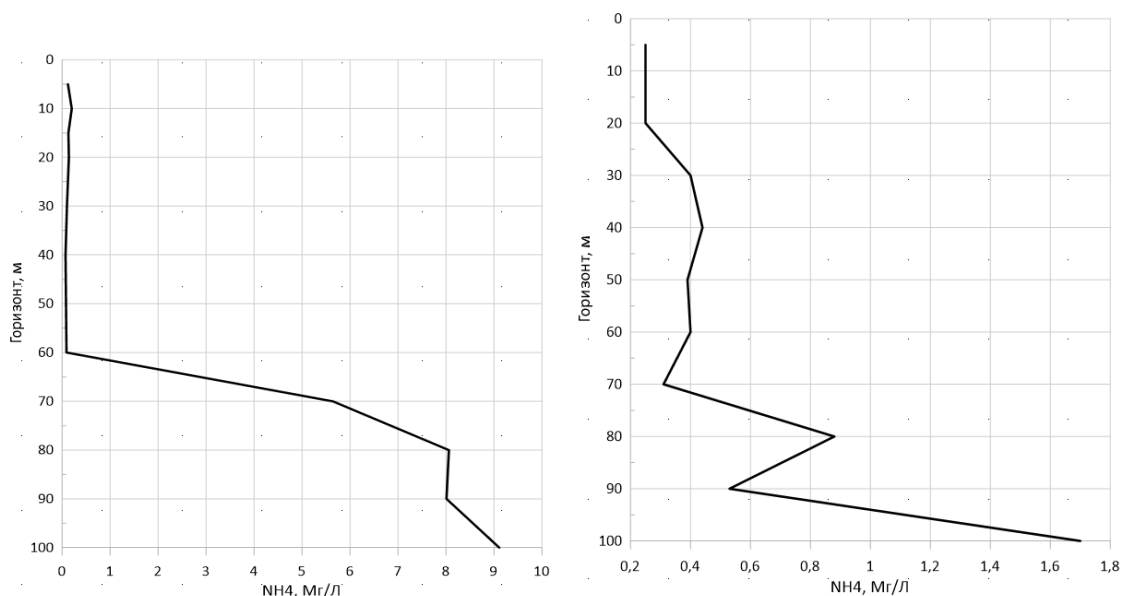
Рисунки 2.12– вертикальное распределение растворенного NO_3 в Мг/л в период, предшествующий затоку (слева) и в период затока (справа) [8].

Как можно увидеть (рисунок 2.12), концентрация различна в большей степени на глубинных слоях, в разные периоды интенсивности заток. Видно, что концентрация нитратов повышается в период затока в придонном слое, что объясняется наличием атлантических вод. Содержание азота варьируется от 0,2 до 1,6 Мг/Л в 30 метрах от дна в период затока.



Рисунки 2.13 – вертикальное распределение растворенного NO_2 в Мг/л в период, предшествующий затоку (слева) и в период затока (справа) [8].

В отличие от нитратов концентрация нитритов различна на всех слоях, как в придонном, так и в поверхностном. В поверхностных слоях в увеличенная концентрация NO_2 из-за низкой продуктивности фитопланктона из-за короткого светового дня и малого количества поступающей солнечной радиацию.

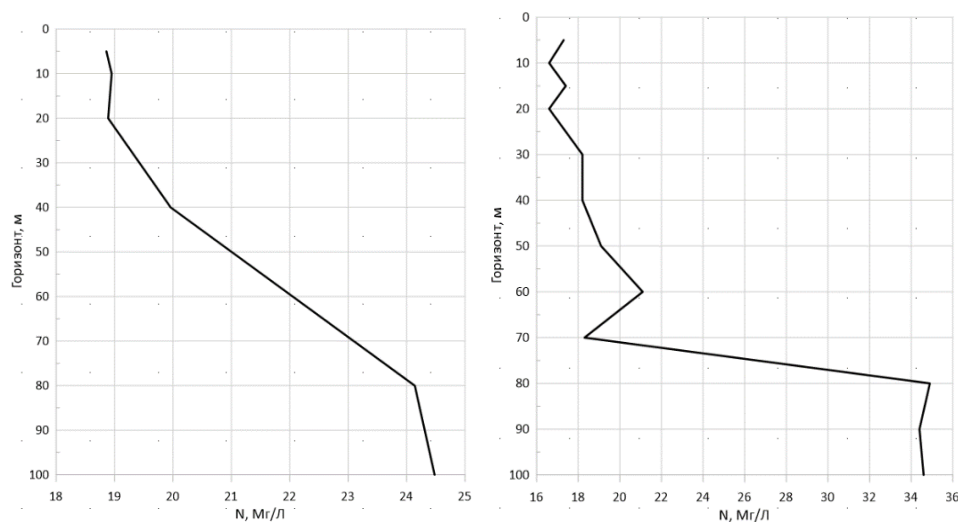


Рисунки 2.14– вертикальное распределение растворенного NH_4 в Мг/л в период, предшествующий затоку (слева) и в период затока (справа) [8].

По построенным разрезам видно (рисунок 2.14), что концентрация аммония с глубиной намного больше в периоды низкой интенсивности затока североморских вод, чем в периоды высокой интенсивности. Значения концентрации в придонном слое 100 м равно 1,7 и 9 в периоды высокой интенсивности и периоды низкой интенсивности соответственно. В условиях дефицита кислорода нитрификация затруднена. Аммонификация я при разложении органики, не окисляется дальше и накапливается в придонных слоях. Возможно, что появлении затока кислород, содержащийся в океанических водах способствует окислению аммония. Процессы окисления возможны и начинают происходить только при условии поступления вод,

насыщенных кислородом. также мощный поток выталкивает затхлую бескислородную, насыщенную аммонием воду, понижая концентрацию растворенного вещества.

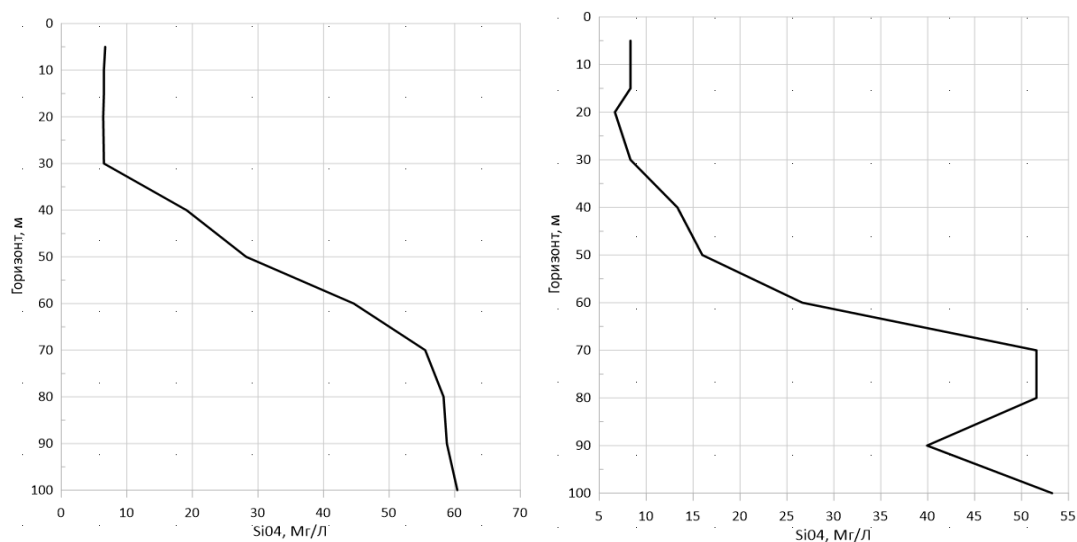
Визуально также может быть представлена концентрация растворенного органического вещества азота:



Рисунки 2.14 – вертикальное распределение растворенного органического N в мг/л в период, предшествующий затоку (слева) и в период затока (справа) [8].

По построенным разрезам видно (рисунок 2.14), что в периоды заток концентрация азота больше, чем когда их нет. Как и в случае с фосфором важно учитывать географическое положение станции, где были взяты данные. Заток усиливают вертикальное и горизонтальное перемешивание водных масс. Это может привести к подъему концентрации растворенного азота из глубинных слоев, где он накапливается в результате разложения органического вещества.

Следует также обратить внимание на вертикальное изменение концентрации силикатного соединения (рисунок 2.15):



Рисунки 2.15 – вертикальное распределение растворенного SiO_4 в Мг/л в период, предшествующий затоку (слева) и в период затока (справа) [8].

По построенным разрезам видно, что концентрация диоксида кремния с глубиной больше в периоды низкой интенсивности затока североморских вод, чем в периоды высокой интенсивности. Различия не так существенны, как в случае с другими биогенами, тем не менее различия в 5-8 мг/л фиксируется.

Глава 3. Влияние затоков на геохимические условия в водной толще глубоководной части центральной Балтики

Заток североатлантических вод в Балтийское море — это определяющий фактор формирования экосистемы Балтийского моря, также приводит к ряду проблем, связанных с изменением геохимических условий, в частности, что может приводить к появлению проблем, связанных с изменением геохимических условий.

3.1 Влияние залива вод на кислородный режим глубоких вод центральной части Балтийского моря

Как было упомянуто в первой главе для Балтийского моря характерной чертой является устойчивая стратификация вод, которая формируется при водообмене с Северным морем. Устойчивая стратификация вод ограничивает вертикальный обмен между слоями. Постоянный галоклин, разделяющий поверхностные и североморские глубинные воды, препятствует аэрации глубинных вод. Это приводит к образованию зон с пониженной концентрацией растворенного кислорода в глубоководных котловинах, особенно в периоды стагнации, и аноксийных зон с последующим накоплением сероводорода. Главным источником растворенного кислорода в глубоководной части Балтийского моря являются заливы североморских вод, роль конвективного перемешивания не так значительна [9].

Усиление гипоксии формируется в результате эвтрофикации в Балтийском море - антропогенного или естественного обогащения водной среды биогенными элементами, вследствие этого растет биологическая продуктивность акватории. Эвтрофирование водоема, вызванное избытком питательных веществ, формирует условия для цветения водорослей. Это явление затрудняет проникновение солнечного света в толщу воды, ограничивая фотосинтез растений. В результате растения отмирают,

опускаются на дно, увеличивая количество органического вещества. Для окисления органического вещества требуется кислород, что приводит к усилению бескислородных условий и расширению гипоксических зон. Нехватка кислорода стимулирует процессы денитрификации и высвобождение неорганического вещества. Это, в свою очередь, усиливает эвтрофикацию [10].

С 80х годов гипоксия увеличивает свою интенсивность [10]. Одна из причин - уменьшение частоты заток. Такая обратная зависимость содержания растворенного кислорода от солёности подтверждается отрицательным трендом солёности в районе гипоксии [15].

Анализ данных судовых измерений содержания растворенного кислорода на станциях международного мониторинга в период с 1989 по 2017 годы демонстрирует значительное ухудшение кислородного режима Балтийского моря по сравнению с предыдущим тридцатилетием. Наблюдается увеличение площади гипоксических зон, снижение содержания O_2 в верхнем квазиоднородном слое и стабильное повышение верхней границы гипоксического слоя в открытой части Балтики. Если в 1990-1997 годах гипоксия начиналась с глубин 110-150 метров, то в последние годы она наблюдается уже с 70-80 метров. Особо выраженные изменения кислородных условий наблюдаются в Финском заливе. В период с 1959 по 1988 годы гипоксия отмечалась только в отдельные годы в западной части залива. С 1993 года гипоксические зоны фиксируются ежегодно, расширяясь с течением времени в центральную и восточную части Финского залива [14].

Несмотря на то, что за последние двадцать лет совместные усилия правительств прибалтийских государств и Хельсинской комиссии привели к снижению биогенной нагрузки на воды Балтики, происходящей от сельскохозяйственных, промышленных и коммунальных источников, концентрация биогенных веществ в водах моря остается высокой [11]. Это подтверждается отсутствием заметного уменьшения уровня эвтрофирования Балтийского моря в отмеченный период.

Для оценки изменчивости кислородного режима в Готландской впадине в периоды до, после и во время затoka были построены графики вертикальной изменчивости O_2 (рисунок 3.1). Данные были взяты с базы данных DAS за 2012–2016 года в зимние-весенние месяцы, в Готландской впадине, в точке с координатами 57.20 с.ш. 19.54 в.д. из-за ограниченного количества данных Данные взяты за разные месяца: 2012 год – май; 2013 год – февраль; 2014 год – февраль; 2015 год – январь; 2016 год – июнь.

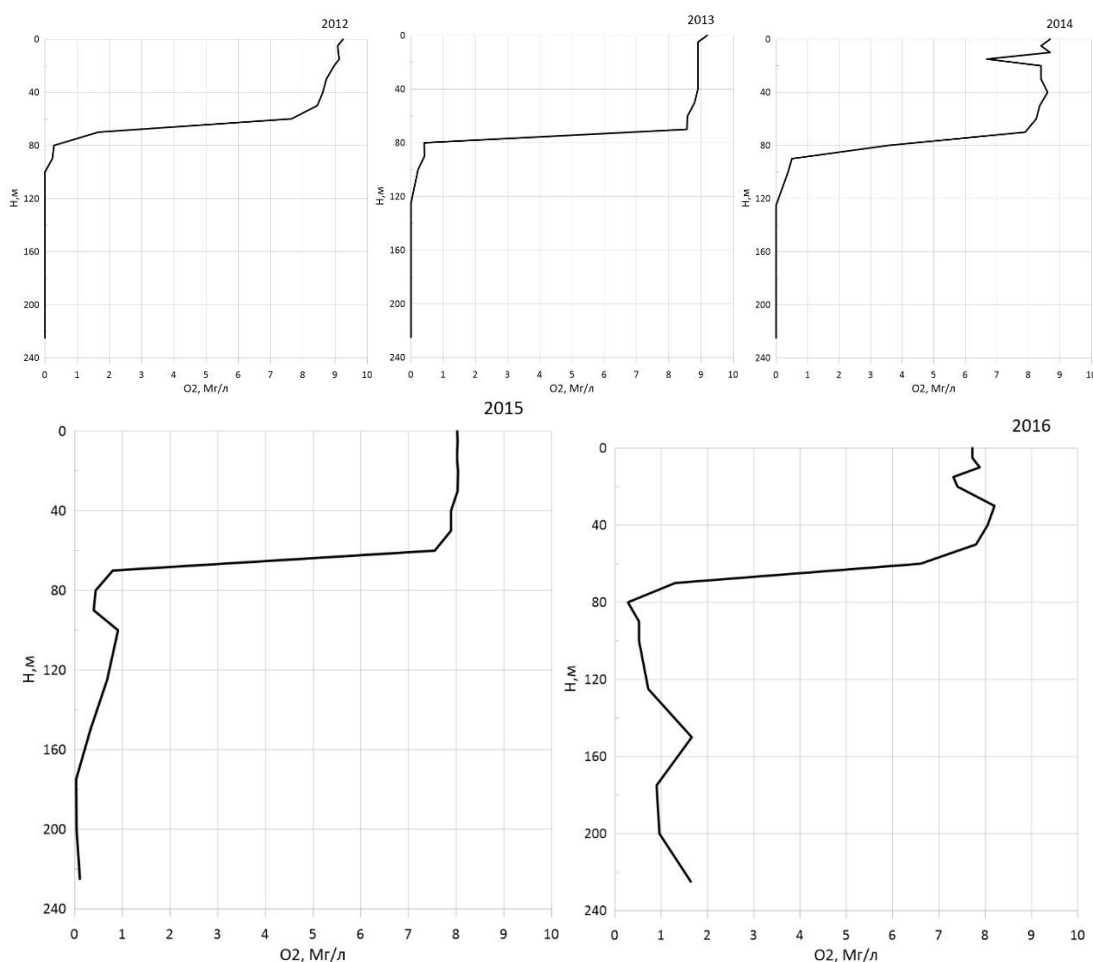


Рисунок 3.1 – концентрация растворенного кислорода в Готландской впадине за май 2012; февраль 2013; февраль 2014; январь 2015; июнь 2016 [8].

По натурным данным в Готландской впадине в 2012-2014 годы на глубинах ниже 100 м наблюдается полное отсутствие кислорода. После затoka 2014 г. происходит насыщение кислородом глубинных вод во впадине, концентрация возрастает до 1-1,5 мг/л в 2016 году. В 2015 году в январе водная

масса атлантического океана еще не успела прийти в полный объем до точки, где были взяты данные, а также зима в 2015 была мягкой и стратификация была не столь значительна, как в 2016 году. Такая значительная изменчивость кислородного режима в глубинных водах формируется в большей степени за счет заток вод из Атлантики. Снижение биогенной нагрузки, деятельность живых организмов и другие факторы не могут столь быстро повлиять на содержание O_2 .

3.2 Влияние заток на содержание биогенных соединений в водной толще и развитие водорослей

Заток вод в Балтийское море может представлять опасность для экосистемы Балтийского моря, ведь из-за него поднятие “затхлых” вод, богатых азотом и фосфором, стимулирует цветение водорослей, питающихся светом и при затопке находящихся в благоприятных для жизни условиях. Поднятие глубинных вод может привести к изменениям в составе и количестве морских организмов. Некоторые виды могут исчезнуть, а другие могут процветать в измененных условиях [12].

Заток 2014 года в Балтийском море привел к перемещению глубоководных водных масс в верхние слои. В этих водах содержится большое количество питательных веществ, таких как фосфор, азот, кремний (рисунки 3,2–3,3). Попадая в верхние слои, эти вещества способствуют быстрому росту цианобактерий, что приводит к их интенсивному цветению примерно через 1–2 года после затопки[2].

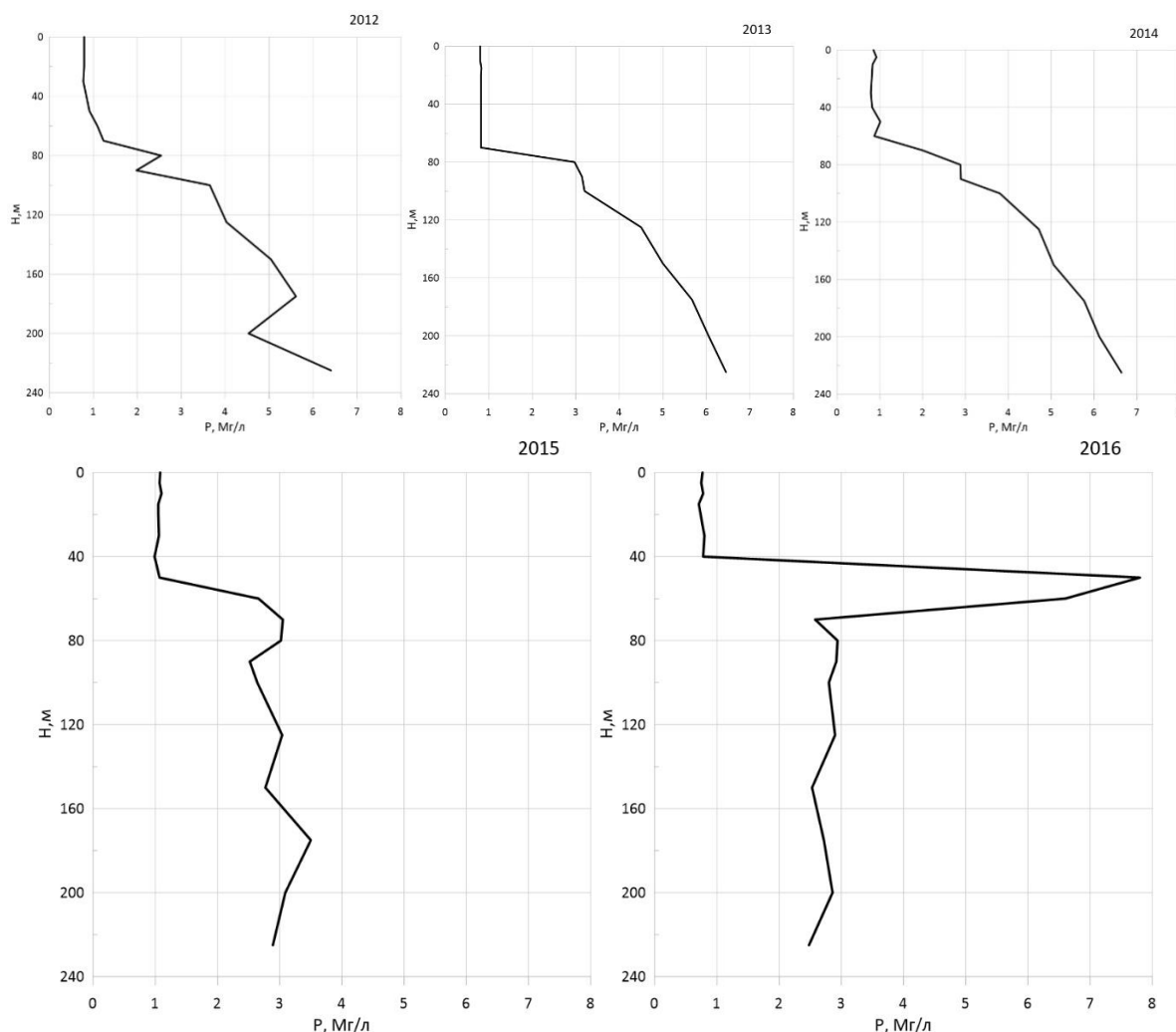


Рисунок 3.2 – концентрация растворенного суммарного фосфора в Готландской впадине за май 2012; февраль 2013; февраль 2014; январь 2015; июнь 2016 [8].

Ситуация, сформировавшаяся в Готландской впадине после залива (рисунок 3.2), имеет ярко выраженные изменения. В 2015–2016 годы концентрация придонных слоев снизилась с 6-7 мг/л до 2-3 мг/л в сравнении с предыдущими исследуемыми годами. Данное изменение профиля объясняется тем, что атлантическая водная масса сильным потоком вымывает придонные слои затхлой воды, которая насыщена фосфором. Резкое повышение концентрации форм фосфора на горизонте 50 м объясняется поднятием вод, лежавших на дне, и, как следствие, повышение концентрации в более поверхностных слоях.

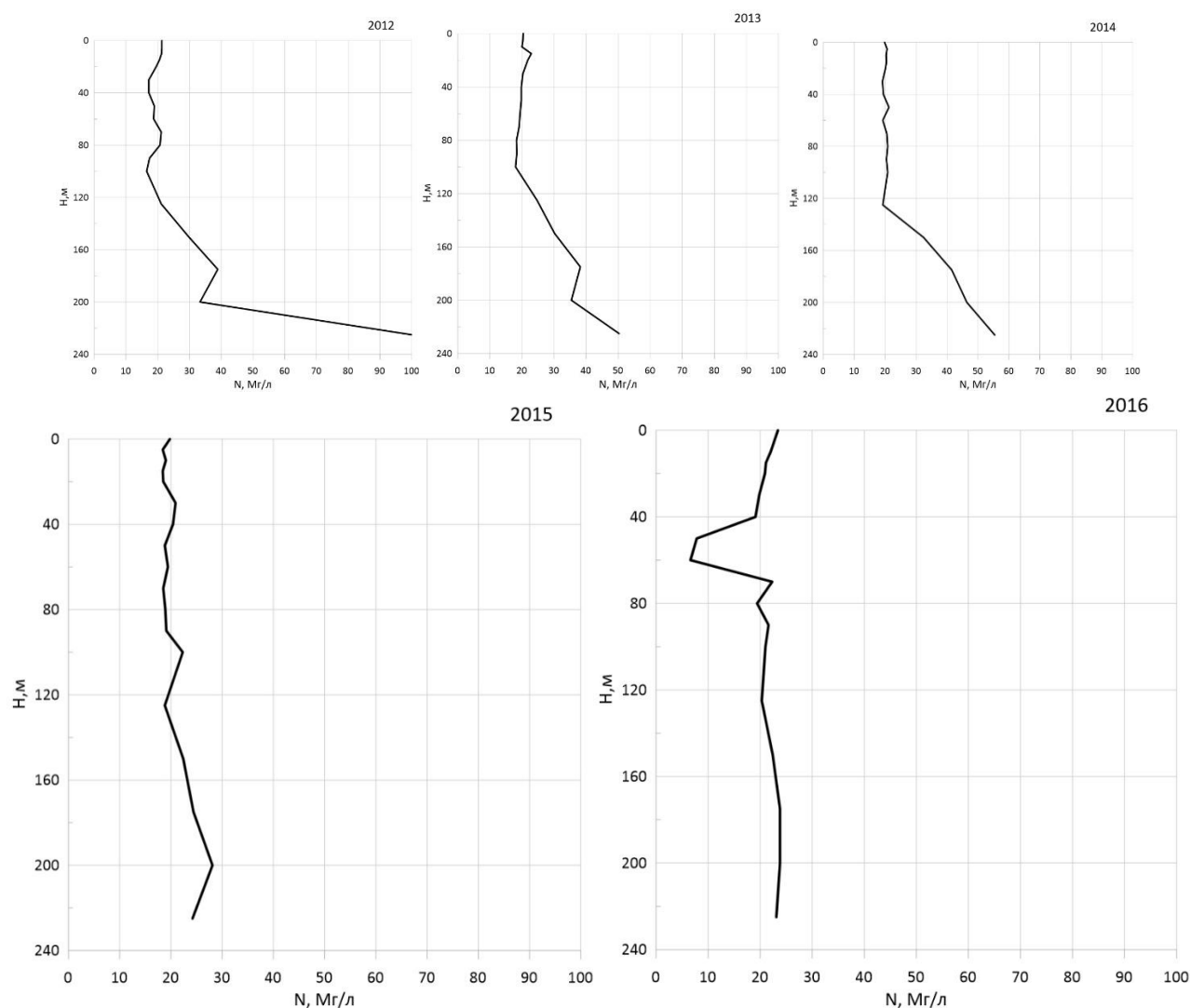


Рисунок 3.3 – концентрация растворенного суммарного азота в Готландской впадине за май 2012; февраль 2013; февраль 2014; январь 2015; июнь 2016 [8].

Рисунок 3.6 отражает межгодовое изменение концентрации растворенного суммарного азота. Так же как и с фосфором (рисунок 3.2) концентрация в придонных слоях снижается. В 2012–2014 годы концентрация варьировалась от 50 до 100 мг/л, а в 2014-2016 от 23 до 24.5 мг/л. Причина снижения такая же как и у суммарного фосфора.

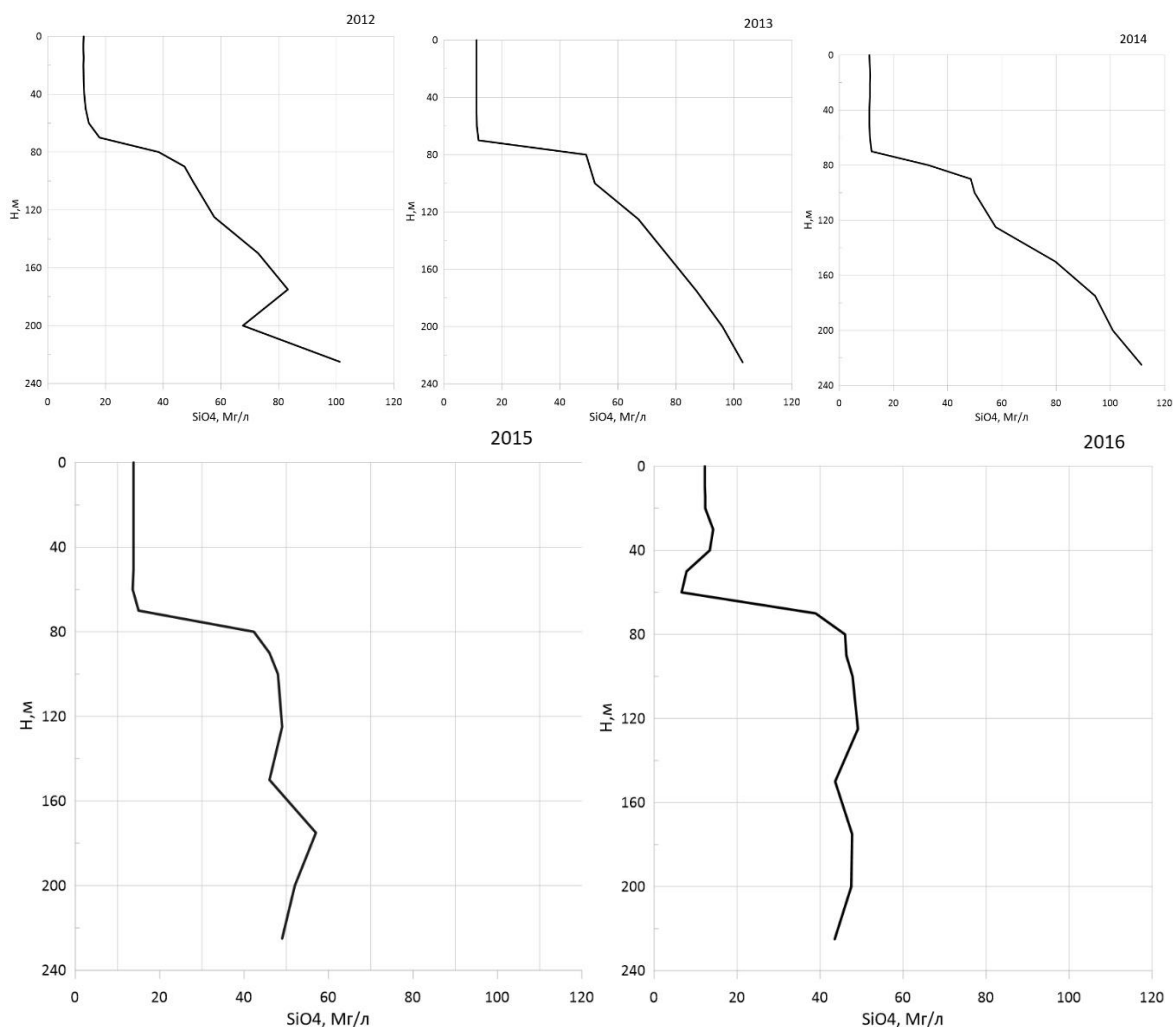


Рисунок 3.4 – концентрация растворенного диоксида кремния в Готландской впадине за май 2012; февраль 2013; февраль 2014; январь 2015; июнь 2016 [8].

Как и в предыдущих исследованиях, концентрация в придонном слое снижается (рисунок 3.4). Из-за затoka североатлантической водной массы концентрация от 100-110 мг/л упала до 40-50 мг/л.

В той же самой зоне, где фиксируется гипоксия (рисунок 3.1), в летний период наблюдается активное цветение водорослей (рисунок 3.5). Во время затoka вытесненные из глубоководных впадин водные массы приносят в верхние слои Балтийского моря биогенные соединения, минеральный фосфор, вследствие чего через 1-2 года после этого явления наблюдается активное цветение цианобактерий [16].

За последние 30 лет резко увеличились области распространения цианобактерий, возросла и интенсивность их цветения. При этом в некоторые годы области с наибольшим развитием сине-зелёных водорослей чередовались: юго-западная часть моря и северо-восточная [2].

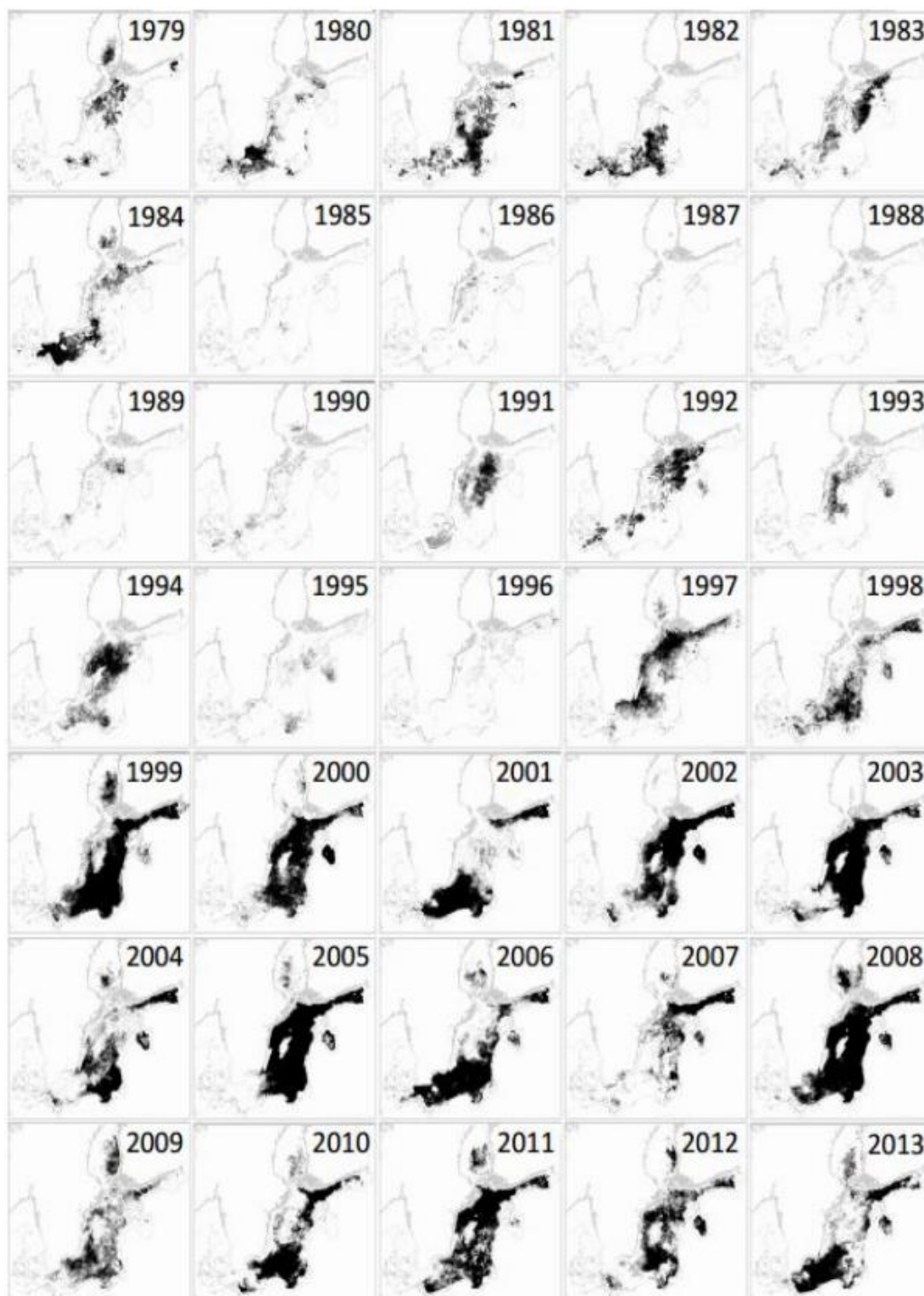


Рисунок 3.5 – Цветение цианобактерий в июле-августе 1979-2013 гг. Чёрный цвет соответствует увеличению интенсивности цветения.

Цветение водорослей запускает процесс, который приводит к гипоксии, а гипоксия, в свою очередь, может усугубить цветение водорослей, создавая замкнутый круг. Ведь когда в воду попадает большое количество биогенных веществ, например, фосфора и азота из сточных вод, сельскохозяйственных удобрений или других источников, это стимулирует интенсивный рост водорослей. В будущем, с наступлением холодного сезона бактерии, разлагающие мертвые водоросли, потребляют большое количество растворенного кислорода из воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заток североатлантических вод через датские проливы — это один из основных факторов, оказывающий влияние на формирования экосистемы Балтийского моря. Для правильного и полномасштабного представления геохимических условий у дна и водной толще необходимо производить анализ, учитывая особенности рельефа дна Балтики, метеорологические параметры, способствующие или наоборот препятствующие затоку, физические особенности разных водных сред и другие параметры, которые были включены в исследование.

Цель представленной работы заключается в оценке физико-химических изменений, происходящих в водной толще в следствии затока атлантических вод. Во время затока из Атлантического океана через Датские проливы приходит большое количество воды с сильно отличающимися характеристиками в сравнении с Балтийским морем. Из-за своих физических свойств североатлантическая вода затекает по дну моря и при большом затоке, как в декабре 2014 года. В работе динамика затока отслеживается путем построения разрезов, идентифицируется за счет изменения солёности и температуры в придонных слоях. Сравнение концентраций кислорода, соли, соединений азота, кремния и фосфора позволяет оценить вклад затока в условия Балтийского моря.

Заток на геохимические условия повлиял по-разному для каждого составляющего экосистемы.

Концентрация азота в 2012–2014годы (до затока) была выше, чем в период затока. Концентрация фосфора и диоксида кремния в 2015–2016 годы придонных слоев снизилась в сравнении с предыдущими исследуемыми годами, когда затока не было (2012-2014).

Концентрация растворенного кислорода по натурным данным в Готландской впадине в 2012-2014 годы соответствует нулю в придонных слоях

от 120 до 225 метров, поднимается до 1-1,5 мг/л в 2016 году, на 2015 год кислород присутствует в меньших количествах.

Мониторинг про мониторинг если оставлять то в основную часть добавить условий среды требует системного подхода и большого количества качественных данных, ведь процессы в атмосфере, формирующие затоки неоднозначны и не периодичны. В ходе работы использовались натурные данные, которые отражают реальную ситуацию во время затоков и модельные данные, которые показывают более общее представление о характере изменения во время затоков.

Благодаря исследованию, выполненному в этой работе удалось зафиксировать и проанализировать какие именно параметры наиболее изменчивы, и как именно они изменяются. Были рассмотрены особенности прохождения вод через Готландскую впадину, в Балтику. В рамках межгодовой изменчивости было рассмотрено, какие процессы изменяются и в каких временных интервалах.

Список использованной литературы

1. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР / Издательство Московского университета 1982 г. С. 43–53.
2. Еремина Т.Р. Балтийское море в настоящем и будущем – климатические изменения антропогенное воздействие / РГГМУ, Санкт-Петербург, 2016 г. С. 20-28.
3. Тихонова Н.А. Численное гидродинамическое моделирование большого балтийского залива / Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», 2020 г. С. 404-406.
4. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан / Гидрометеорологический Научно-исследовательский центр РФ, Москва 2013 г. С. 3-8.
5. Дубравин В. Ф. Эволюции гидрохимических структур вод Балтийского моря / известия КГТУ. — Калининград 2017. С. 99–195.
6. Национальный атлас России. Том 2 / Роскартография, 2005.
7. Lepparanta M., Myrberg K. Physical oceanography of the Baltic sea / Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2009, с 22.
8. Data assimilation system / Baltic Nest Institute Stockholm University Baltic Sea Centre.
9. Артамонова К. В. Демидов А. Н. Кислородно-сероводородный режим глубинных вод в гданьской котловине Балтийского моря / Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, 2019, с. 714–723.
10. Литина Е. Н. Захарчук Е. А. Динамика гипоксических зон в Балтийском море на рубеже XX и XXI веков / Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Санкт-Петербург 2020, С. 322-329.

- 11.Литина Е.Н., Захарчук Е.А. Изменчивость термохалинных и гидрохимических характеристик на станциях международного мониторинга Балтийского моря во второй половине XX и началеXXI веков / Метеорология и гидрология. 2015.№ 10. С. 54–64.
- 12.Шамраев Ю.И., Шишкина Л.А. Океанология / Гидрометиздат, Ленинград 1980, с. 295-299.
- 13.DellwigO., Wegwerth A. Anatomy of the Major Baltic Inflow in 2014: Impact of manganese and iron shuttling on phosphorus and trace metals in the Gotland Basin, Baltic Sea / Department of Marine Geology, Germany 2021, С. 3-13.
- 14.Mohrholz V. Fresh oxygen for the Baltic Sea – An exceptional saline inflow after a decade of stagnation / Journal of Marine Systems,Germany, 2015 С. 153-163.
- 15.[Интернетресурс]/
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version5/.sst>, дата обращения 10.01.2024
- 16.Kahru M., R. Elmgren. Multidecadal time series of satellite-detected accumulations of cyanobacteria in the Baltic Sea // Biogeosciences. 2014. 11. P. 3619–3633.
- 17.Fisher H., Matthaus W. The importance of the Drogden Sill in the sound for major Baltic inflows // J. of Marine Systems. 1996. V. 9. P. 137–157.