



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра океанологии**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**(бакалаврская работа)**  
по направлению подготовки **05.03.05 Прикладная гидрометеорология**  
**(квалификация – бакалавр)**

**На тему: Особенности термохалинной структуры и гидрохимических характеристик Белого моря по данным натурных наблюдений**

**Исполнитель:** Петрова Дарья Михайловна

**Руководитель:** к. ф.-м. н., доцент Фролова Наталия Сергеевна

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой**

---

(подпись)

---

(ученая степень, ученое звание)

---

(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Санкт–Петербург  
2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Физико-географическое описание района исследования	
1.1 Географическое положение.....	5
1.2 Метеорологическая характеристика .....	7
1.3 Гидрологическая характеристика.....	10
1.4 Ледовая обстановка.....	14
Глава 2. Материалы и методы исследования	
2.1 Батометры и зонды.....	17
2.2 Создание разрезов и профилей .....	20
Глава 3. Материалы и методы исследования	
3.1 Гидрофизические характеристики .....	22
3.1.1 Термохалинная система Белого моря. Данные за 2019.....	23
3.2 Гидрохимические характеристики .....	32
3.2.1 Растворённый кислород.....	34
3.2.2 Водородный показатель.....	39
3.2.3 Фосфаты и нитраты.....	42
Заключение .....	45
Список использованных источников .....	47

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальностью исследования является необходимость анализа гидрологического состояния Белого моря, принадлежащего к Арктическому бассейну, в современных условиях изменения климата.

Информация о комплексе гидрофизических и гидрохимических величин служит для научного анализа, с целью выявления новых физико-химических закономерностей, а также для решения многих прикладных задач [1]. Так как физические и химические свойства вод неразрывно связаны с морской деятельностью человека, изучение гидрофизических и гидрохимических параметров и их пространственно-временного распределения по акватории является одной из основных задач для осуществления природопользования в регионе [2]. Также возрастает необходимость мониторинга состояния вод Белого моря по мере в связи с увеличением антропогенного влияния в регионе.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы было выбрано Белое море, расположенное на севере европейской части России, в пределах Арктического бассейна.

Предмет исследования – пространственное распределение температуры и солёности, а также некоторых гидрохимических характеристик (растворённого кислорода, водородного показателя, фосфатов и нитратов) по различным частям акватории Белого моря.

Цель работы заключается в изучении пространственного распределения термохалинной структуры и гидрохимических характеристик Белого моря по экспедиционным данным, отобраным за летний период 2019 года.

Для выполнения цели, поставленной в работе, были поставлены следующие задачи:

- изучение физико-географических особенностей района исследования, а также физико-химических процессов, происходящих в Белом море;
- построение профилей исследуемых характеристик по вековым океанографическим разрезам;

- анализ профилей гидрофизических и гидрохимических параметров.

Данные, использовавшиеся в работе, были получены при помощи современной пробоотборной аппаратуры. Анализ пространственного распределения гидрофизических параметров Белого моря осуществлялся по данным собранным CTD-зондом SBE 19 plus, гидрохимические параметры анализировались по результатам отбора проб воды комплексом SBE 32C Carousel.

Профили исследуемых параметров были построены в программе Surfer, разработанной в 1983 г. фирмой Golden Software, специализирующейся на разработке пакетов научной графики [3].

# ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Географическое положение

Белое море располагается в субполярном физико-географическом поясе. В структурно-геоморфологическом отношении оно относится к окраинным шельфовым морям. Является полузамкнутым водоёмом, граничащим на севере с Баренцевым морем. Входит в состав бассейна Северного Ледовитого океана, являясь единственным российским морем, чья акватория целиком находится в пределах его шельфовой зоны [4].

Море находится на севере европейской части России, к югу и востоку от Кольского полуострова. Расположено Белое море между  $68^{\circ}40'$  и  $63^{\circ}18'$  с. ш. и  $32^{\circ}00'$  и  $44^{\circ}30'$  в. д. Его границей считается условная линия, проведённая от мыса Святой Нос до мыса Канин Нос (Рисунок 1) [5].

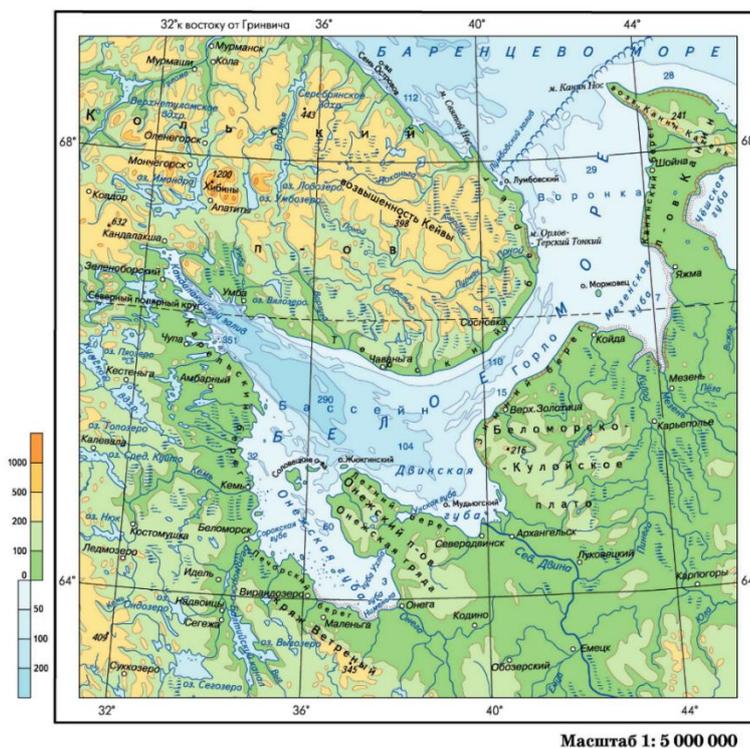


Рисунок 1. Белое море на физической карте [6]

Площадь Белого моря составляет 90,8 тыс. км<sup>2</sup>, объём воды составляет 4,4 тыс. км<sup>3</sup> [7].

Наибольшая протяженность моря - 600 км, от мыса Канин Нос до устья р. Кеми, максимальная ширина Белого моря составляет 450 км, расстояние между городами Архангельск и Кандалакша [4].

Белое море делят на три части: северную, среднюю и южную.

Северная часть моря имеет очертания воронки, её внешняя зона, примыкающая к Баренцеву морю, называется Воронкой, её северная граница совпадает с самой границей моря, линией мысов Канин Нос – Святой Нос. Внутренняя зона северной части Белого моря образует Мезенский залив. Берега северной части Белого моря мало изрезаны, преимущественно обрывисты.

Южная, или центральная, часть носит название – Бассейн, это наиболее обширная и глубоководная часть Белого моря. В берега Бассейна вдаются три обширных залива: Двинский, Онежский и Кандалакшский. Берега Бассейна Белого моря, а также его заливов, отличаются от берегов северной и средней части моря большой изрезанностью, мало изрезаны только берега Двинского залива и Терский берег.

Бассейн и Воронка Белого моря соединены относительно узким проливом, Горлом Белого моря. Его максимальная длина составляет 170 км, ширина 45—55 км. Берега Горла моря слабо изрезаны и образуют лишь несколько небольших губ [5].

Конфигурация Белого моря достаточно сложна, здесь расположено большое количество заливов. Наиболее крупными заливами Белого моря являются Двинский, Онежский, Кандалакшский и Мезенский, их называют губами. Также в море расположено много островов, подавляющее большинство которых находятся в Онежском и Кандалакшском заливах. Наибольшими являются острова, входящие в Соловецкий архипелаг, расположенный на границе между Онежским заливом, Бассейном и островом Моржовец.

Рельеф дна Белого моря имеет сложный характер, он неровный, глубины значительно изменяются между районами и в самих районах.

Наиболее глубокие части моря – Бассейн и Кандалакшский залив. Главная впадина Бассейна в виде широкого жёлоба тянется с северо-запада на юго-восток и составляет главную ось моря. Его глубина более 100 м. Юго-восточная оконечность жёлоба образует Двинский залив. В районе мыса Турьего, относящегося к Кандалакшскому заливу, глубина желоба достигает максимальной величины в 340 м. Онежский залив, отделенный от центральной части моря грядой Соловецких островов, является самым мелководным, его глубина меняется от 5 до 25 м [4].

Северная часть моря наиболее мелководна. Глубины Воронки лишь в северной части достигают значений до 60-70 м, однако, основная часть её акватории и Мезенского залива не превышает 20 м.

Средние глубины Горла Белого моря изменяются в пределах от 30 до 50 м. Мелководность Горла оказывает значительное влияние на весь гидрологический режим моря. Такой мелководный пролив значительно затрудняет водообмен Белого моря с Баренцевым. Несмотря на это, этот водообмен между морями оказывает огромное влияние на формирование гидрологических, гидрофизических и гидрохимических полей Белого моря. [5]

## 1.2 Метеорологическая характеристика

Географическое положение Белого моря у Полярного круга, а частично севернее его, а также связь моря с Северным Ледовитым океаном определяют довольно суровые климатические условия. Это приводит к продолжительному зимнему сезону и низким средним температурам.

Внутриконтинентальное положение моря в приполярном районе, его вытянутость с севера на юг придают радиационному режиму Белого моря

своеобразные черты и неоднородность. Наименьшее годовое значение суммарной радиации наблюдается в Воронке и равно 3063 МДж/м<sup>2</sup>. К югу суммарный поток радиации растет и достигает наибольшего значения в Онежском заливе — 3285 МДж/м<sup>2</sup>. Максимальные значения суммарной радиации наблюдаются в июне (578-612 МДж/м<sup>2</sup>), минимальные — в декабре (0,0-4,0 МДж/м<sup>2</sup>).

Для акватории Белого моря в любые сезоны года характерна частая смена воздушных масс, связанная с прохождением барических образований. В большинстве случаев погода на море в течение всего года определяется действием циклонических полей атмосферного давления.

Наиболее холодным месяцем на Белом море является февраль, в это время средняя температура воздуха колеблется в пределах от - 9 до - 11 °С, и только в вершинах Онежского и Двинского заливов, где сильнее проявляется влияние континента, самый холодный месяц года — январь. Самым тёплым месяцем в южной половине моря является июль (12-15 °С), а в северной — август (9-10°С).

В открытых районах моря разность самого холодного и самого тёплого месяцев составляет 18-21 °С, над заливами и побережьями — 23-28 °С.

Продолжительность периода с устойчивой отрицательной средней суточной температурой воздуха на акватории моря составляет от 170 суток на юго-западе до 200 суток у Канинского берега.

Атмосферные осадки на акватории Белого моря определяются главным образом активностью циклонической деятельности и влагосодержанием приносимых на море воздушных масс. При выходе циклонов с северных районов Атлантики и выносе воздушных масс с северных морей осадков выпадает мало. Обильные осадки, намного превышающие норму, наблюдаются в случаях прохождения воздушных масс с южных районов умеренной зоны Атлантики и, в особенности, с бассейна Средиземного моря, так как влагосодержания

осадкообразующих масс воздуха в системах средиземноморских циклонов почти вдвое больше, чем в североатлантических.

Количество осадков на акватории Белого моря неодинаково. Меньше всего их выпадает в центральных частях Воронки и Бассейна (менее 300 мм), к побережьям изогиеты 400 и 450 мм в небольшом удалении от берега повторяют конфигурацию береговой линии. На островах, расположенных недалеко от побережья, таких как о. Сосновец, количество выпадающих осадков резко уменьшается. Самое большое годовое количество атмосферных осадков наблюдается над наиболее тёплой южной частью моря, на Двинском и Онежском заливах (500—600 мм). Наибольшее количество осадков выпадает летом и осенью, в период с июня по октябрь.

Годовой ход средней месячной скорости ветра (независимо от его направления) достаточно хорошо выражен в открытых районах моря. Наибольшие скорости приходятся не на середину зимы, когда циклоническая деятельность в Северном полушарии наиболее активна, а на осень и начало зимы (октябрь— декабрь). В это время море еще не покрыто льдами, что оказывает значительное отепляющее влияние на атмосферу. При прохождении циклонов над тёплой водной поверхностью происходит дополнительная их активизация.

В середине и во второй половине зимы, когда море покрывается льдом, средние скорости оказываются ниже, чем в первой половине зимы. Зимой в удалённых от побережья районах наиболее частыми являются ветры со скоростью 6—9 м/с. В летние месяцы скорости составляют 5—6 м/с.

Зимой над акваторией Белого моря преобладают ветры юго-западного направления, летом северо-восточного [5].

### 1.3 Гидрологическая характеристика

Особенностью Белого моря является его положение внутри материка и ограниченный водообменом с океаном, вследствие чего гидрологический режим моря своеобразен и отличается от режима соседних районов океана [8].

Формирование гидрологического режима Белого моря происходит под влиянием климатических условий, водообмена с Баренцевым морем, приливных явлений, а также материкового стока и рельефа дна [7].

Температура воды Белого моря сравнительно невысока. Температура поверхностного слоя воды (30-40 м) претерпевает значительные изменения как по сезонам года, так и по акватории моря. Летом в заливах и в центральной части моря вода на поверхности прогревается до 15-16 °С, в то время как в Горле и Онежском заливе она достигает значения 9 °С. Зимой температура поверхностного слоя воды понижается до -1,3, -1,7 °С в центральной и северной частях моря и до -0,5, -0,7 °С в заливах. Глубинные воды (ниже 50 м) всегда имеют постоянную температуру, изменяющуюся в пределах от -1,0 до 1,5 °С. Почти однородно вертикальное распределение температуры воды от поверхности до дна только в Горле Белого моря, что объясняется очень интенсивным приливным турбулентным перемешиванием [5].

Значительный приток речных вод (в среднем за год избыток пресной воды, поступающей в море, несколько превышает 240 км<sup>3</sup>, что составляет 4,5% всего объёма моря) и недостаточный обмен вод с Баренцевым морем через пролив обуславливают сравнительно низкую солёность поверхностных вод — 26-24‰ и ниже. Солёность же глубинных вод, напротив, довольно значительна и достигает значений 30-31‰ [7].

Основными источниками формирования водных масс Белого моря служат баренцевоморские и материковые воды. В результате смещения этих основных водных масс появляется ряд новых. Речные воды в чистом виде встречаются

только в вершинах заливов, а баренцевоморские — в Воронке. Горло Белого моря занято водной массой, отличающейся постоянством характеристик по глубине, что является следствием интенсивного перемешивания в этом районе [9].

Опреснённые поверхностные воды Белого моря, продвигаясь вдоль восточных берегов, поступают через Горло в Баренцево море, из которого вдоль западных берегов в Белое море проникают более солёные воды. В центре Белого моря наблюдается кольцеобразное течение против часовой стрелки.

Приливная волна, входящая в Белое море из Баренцева моря, имеет правильный полусуточный характер. Величина прилива колеблется от 1 до 3 м, достигая в некоторых заливах 7 м. Приливная волна входит в устье многих впадающих в Белое море рек, проникая далеко вверх по течению (до 120 км, Северная Двина).

На Белом море имеют место и сгонно-нагонные явления. Наибольшие колебания уровня при сгонно-нагонных ветрах наблюдаются в холодную половину года и достигают 75—90 см. Сезонные изменения уровня Белого моря имеют значительную изменчивость от района к району. В Кандалакшском заливе и Бассейне они составляют в среднем 15 см, в Горле — 19 см, Онежском заливе — 18 см, а в вершинах Двинского и Онежского заливов до 34 см. Минимальных значений средний месячный уровень Белого моря достигает, как правило, в феврале, а максимальных — в октябре.

Белое море сравнительно мало по площади, однако, достаточно бурное, особенно в осенний период, когда по всей акватории моря разыгрываются шторма. Высота волн может достигать отметки 5—6 м [7].

Причинами возникновения течений в Белом море являются приливы, действия ветра на поверхность моря, изменение атмосферного давления, изменения рельефа уровня под действием стока рек и, в меньшей степени, испарения и осадков. Вызванные этими причинами течения деформируются под

влиянием трения жидкости о дно и берега, турбулентной вязкости, центробежных сил. В период полной воды течения направлены из Горла в Бассейн, отмечается отток из Онежского залива в Бассейн и вдольбереговая циркуляция в Двинском заливе циклонического характера. В бассейне в это время заметна тенденция к циклоническому круговороту.

В Горле смешиваются потоки «питающего» течения, поступающего из Баренцева моря, и «стокового» течения с более пресными водами — из Белого моря. Впоследствии эти течения были названы именами Дерюгина и Тимонова. Летом течение Тимонова довольно интенсивно и препятствует проникновению горловских вод в Бассейн. Зимой же сток рек уменьшается и, как результат, несколько ослабевает течение Тимонова, водные массы из Горла попадают в Бассейн. Зимой водные массы Горла охлаждены до отрицательных температур и, как более тяжелые, стекают на большие глубины Бассейна (Рисунок 2) [9].

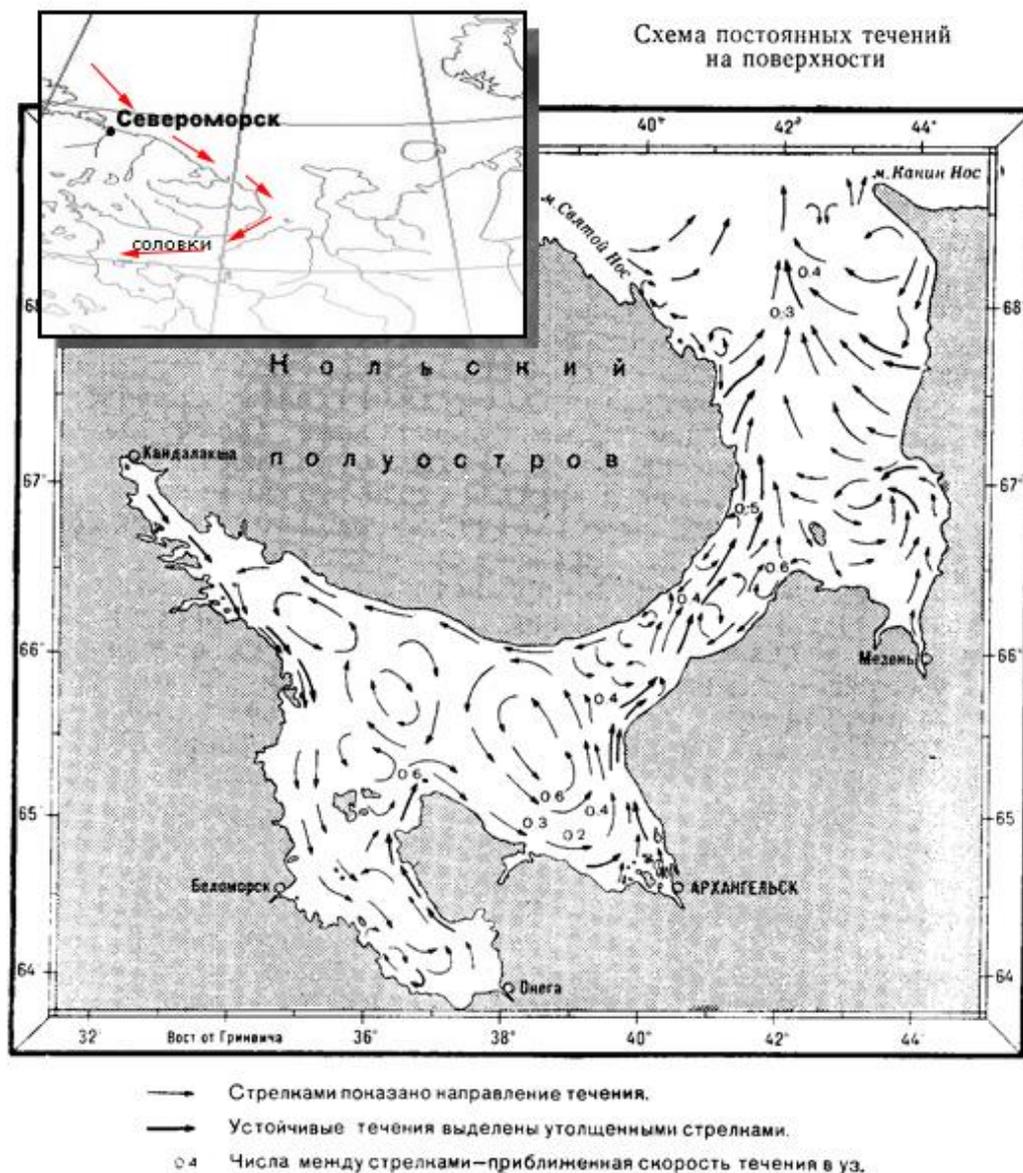


Рисунок 2. Схема течений Белого моря [10]

Квазипостоянными течениями, которые выделяются в Белом море, являются:

- Беломорское, берущее своё начало от м. Зимнегорский и идущее вначале вдоль Зимнего берега до м. Инцы, а затем на север по направлению к о. Сосновец и Баренцеву морю;
- Двинское, текущее вдоль Зимнего берега в Горло Белого моря;
- Онежское, идущее через восточную Соловецкую Салму вблизи Летнего берега по направлению в Двинский залив;

- Кандалакшское, течение, выходящее из Кандалакшского залива и текущее в Онежский залив.

- Мезенское, текущее из Мезенского залива вдоль Конушинского берега в Воронку Белого моря;

- Баренцевоморское, несущее воды Баренцева моря в Белое, наблюдающееся в северо-западной части Воронки [5].

#### 1.4 Ледовая обстановка

Белое море каждый год покрывается льдами, которые держатся на его акватории на протяжении 6-7 месяцев, в период с октября-ноября по май. Ледовый покров моря почти на 90% состоит из плавучих дрейфующих льдов. Неподвижный лед, припай, образуется только у берегов, в заливах и бухтах. Толщина плавучего льда составляет около 35—40 см, а в суровые зимы может достигать отметки в 1,5 м [7].

Факторами, являющимися определяющими для ледового режима Белого моря, являются: географическое положение моря, морфометрические и динамические факторы, тепловой баланс, а также солёность вод.

Значительное океаническое влияние оказывается на Белое море ввиду его непосредственной близости и сообщения с обширным Баренцевым морем, питаемым тёплыми и мощными течениями. Влияние Баренцева моря сводится к смягчению климатических условий над Белым морем и к отепляющему и осолоняющему эффекту посредством водообмена. Также особо значимо Баренцево море с точки зрения теплового баланса. Баренцевоморское течение доставляет Белому морю около 26% всего получаемого им за год тепла.

Белое море также подвержено значительному эффекту материковых воздействий, в следствие того, что оно вдаётся глубоко внутрь суши, его расчленённости, мелководности отдельных районов и материкового стока.

Влияние материка проявляется, в основном, в охлаждении воздушных масс в осенний и зимний периоды и в опреснении моря посредством материкового стока, дающего также незначительный приток тепла.

Важным фактором, влияющим на ледовый режим, является солёность вод Белого моря. Несмотря на значительное опреснение в мае и июне, к осени солёность поверхностных вод на большей части акватории превосходит 24,7‰. Солонватые воды, чья солёность составляет менее 24,7‰, остаются только в вершинах заливов и главным образом на устьевых взморьях. Поэтому центральным районам моря свойственен морской тип ледового режима, который характеризуется тем, что ледообразование не может начаться раньше, чем деятельный слой охладится до температуры, близкой к температуре замерзания. В связи с этим образование и развитие ледяного покрова в центральных районах моря запаздывает, в сравнении с устьевыми взморьями и с солонватными водами [5].

Среди морфометрических характеристик Белого моря наибольшее влияние на ледовый режим оказывает глубина, которая лимитирует тепловые запасы водных масс в районах моря, где перемешивание практически доходит до дна (Горло, Мезенский и Онежский заливы). Средние глубины этих районов колеблются в пределах от 10 до 40 м, а их суммарная площадь достигает приблизительно 40% акватории моря.

Географическое положение, морфометрические особенности моря, сток рек и синоптические процессы также определяют динамику вод Белого моря как в летнее, так и в зимнее время года. Наибольшие скорости течений отмечаются в Мезенском заливе, у Северных Кошек вдоль Терского берега, у Зимнего берега Горла и у Соловецких островов и имеют реверсивный характер.

Приливы и господствующие ветры образуют квазипостоянные зоны сплочённых (колоба, остроги) и разряженных (разделы, разводья) дрейфующих

льдов. Самый мощный колоб отмечается вблизи устья р. Поной, имеющий название Понойский [9].

Также приливы и ветры влияют на образование гряд торосов и стамух, особо крупных, скреплённых с дном навалов льда на припае. Преимущественно, беломорский ледяной покров представляет собой наслоенные и всторошенные льды. Эти льды присутствуют почти на всей акватории Белого моря, исключение составляют только несколько малых защищённых губ, толщина таких льдов будет являться следствием намерзания, а также прироста за счёт наслоений. Торосистость этих льдов местами может достигать 4—5 баллов.

Максимального распространения припайные льды достигают в Кандалакшском, Онежском и Двинском заливах. Наименьшую площадь и минимальную протяженность по морю припайные льды имеют в районе Канинско-Конушинского побережья, у Терского берега Воронки, Горла и Бассейна, а также вдоль Зимнего берега Горла.

Особенность Белого моря состоит в том, что здесь в течение всего ледового сезона на большей части акватории наблюдаются льды различных возрастных градаций. Припайные льды, занимающие оставшуюся часть акватории, являются сравнительно однородными по возрасту.

Льды Белого моря на месте тают мало, так как их основная масса выносится в Баренцево море. Этому процессу способствуют характерные для весеннего сезона ветры юго-западного направления, а также усиливающееся сточное течение, связанное с пополнением талых весенних вод во время речных паводков [5].

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Батометры и зонды

Отбор проб воды для гидрофизических и гидрохимических исследований, обычно, производится на всех океанографических станциях.

Основное требование, предъявляемое при отборе проб воды – это взятие пробы точно с заданного горизонта и недопущение её перемешивания с водой, отобранной из других слоёв, а также предохранение отобранного образца от испарения и химического воздействия, которое может оказывать устройство, предназначенное для отбора проб, а также посуда, используемая для хранения пробы.

Для отбора проб морской воды применяются специальные пробоотборники, типы которых не отличаются разнообразием. В основном, отбор проб морской воды осуществляется батометрическим способом. Пробы отбираются батометрами, представляющими собой цилиндрические сосуды с закрывающимися под водой на заданном горизонте крановыми затворами или крышками. Опускают батометры с борта судна открытыми на заданные горизонты с помощью лебёдок на тросе. Благодаря этому при их опускании вода верхних слоёв в них не задерживается. При отборе проб также необходимо следить за герметичностью закрытия батометров и за окисляемостью их внутренней поверхности [11].

Для построения профилей распределения температуры и солёности были использованы данные, собранные CTD-зондом SBE 19 plus (Рисунок 3), являющимся продуктом производства американской фирмы Sea-Bird Electronics.



Рисунок 3. CTD-зонд SBE 19 plus

В зависимости от комплектации, зонды позволяют производить исследования до глубины 6000 м и с высокой точностью регистрировать такие параметры среды как: температура, солёность, давление, содержание растворённого кислорода, флуоресценцию хлорофилла «А», рН, мутность.

В соответствии с поставленными задачами оборудование может использоваться как в автономном режиме, с сохранением данных на внутреннюю память прибора и автономным питанием, так и в неавтономном — с передачей данных на борт судна в реальном времени и внешним питанием. Вариант с неавтономным режимом работы возможен при работе с использованием кабель-троса в составе пробоотборных комплексов.

Технические характеристики зонда:

- Рабочая глубина: до 6000 м;
- Диапазон измерения температуры: от -2 до +40 °С;
- Диапазон измерений солёности: от 0 до 40 psu;
- Точность определения температуры: 0,001 °С;
- Точность определения солёности: 0,001 psu;

- Временная дискретность измерений: от ¼ до 18 часов [12].

Отбор проб воды с различных горизонтов для гидрохимического анализа (содержание растворенного кислорода и биогенных элементов, водородного показателя) проводился с помощью пробоотборного комплекса SBE 32C Carousel с 12 батометрами по 5 литров каждый (Рисунок 4), работающий под внешним управлением с борта судна до глубины 7000 м [13].



Рисунок 4. Комплекс SBE 32C Carousel

Комплекс SBE 32C Carousel в настоящее время интенсивно используется во всех морях и океанах, благодаря своей надёжности и простоты использования.

Комплекс представляет собой аналог пробоотборника SBE 32, но с меньшими габаритами. SBE 32C – 12-гнездовая кассета без дополнительной STD-рамы, предполагающий установку батометров объёмом до 8 литров, и STD-зондов SBE 19, 19, 19plus, 19plus V2, 25, 49, в горизонтальном положении внутри круга батометров. Гнезда батометров располагаются близко друг к другу

по двум дугам, оставляя свободное пространство между концами дуг, для обеспечения беспрепятственного движения воды около зонда.

Технические характеристики:

- Рабочая глубина: до 7000 м;
- Количество батометров: 12 батометров по 1.2 / 1.7 / 2.5 / 5 / 8 литров;
- Материал корпуса: Алюминий, титан, нержавеющая сталь, пластик, ПВХ
- Вес и габариты: вес зависит от типа пробоотборника, количества и объёма батометров [14].

## 2.2 Создание разрезов и профилей

Проведение повторяемых гидрологических разрезов представляет собой фундаментальную часть глобальной системы наблюдений, производящейся в Мировом океане. Результатами этих наблюдений является получения образцов воды с различных глубин для проведения многопрофильных анализов, гидрохимических, биологических, экологических и геохимических. В ходе выполнения исследования производятся непрерывные измерения многочисленных параметров океанической среды, выполняемые по ходу движения судна. Этот вид наблюдений за Мировым океаном позволяет одновременно использовать все имеющиеся виды датчиков и проводить измерения на всех горизонтах, от поверхности до дна. Наблюдения на гидрологических разрезах должны быть высокоточными, для чего перед началом измерений, а также в процессе измерений и после их окончания производится калибровка датчиков приборов [15].

С помощью малоинерционной зондирующей аппаратуры, такой как СТД-зонды, получают профили, содержащие большое количество структурных деталей, что позволяет отчётливо охарактеризовать пространственное и временное изменение изучаемых характеристик [16].

По вертикальным профилям температуры, солёности и других элементов происходит изучение структуры Мирового океана и происходящих в нём процессов [17].

Для построения профилей термохалинной структуры и гидрохимических характеристик (растворённого кислорода, водородного показателя, фосфатов и нитратов) Белого моря по данным, отобранным с помощью пробоотборного комплекса SBE 32C Carousel и CTD-зондом SBE 19 plus, была использована программа Surfer, специализирующаяся на визуализации, в том числе, гидрометеорологической информации.

Программа Surfer была разработана в 1983 г. небольшой американской фирмой Golden Software, специализирующейся на разработке пакетов научной графики. GoldenSoftware Surfer – мощный картографический пакет для учёных и инженеров. Трёхмерная программа Surfer создана для вычерчивания поверхности карт, выполняется в среде Microsoft Windows. Она позволяет преобразовывать данные в контур, поверхность, каркас, вектор, изображение или заштрихованную область, что обеспечивает довольно быстрое и лёгкое создание высококачественных карт и профилей [3].

## ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ БЕЛОГО МОРЯ

### 3.1 Гидрофизические характеристики

По данным за 2019 год (16 июля – 2 августа), полученным по итогам научно-исследовательской экспедиции в ходе программы «Трансарктика-2019» были построены профили гидрофизических и гидрохимических характеристик по вековым разрезам Белого моря (рисунок 5).

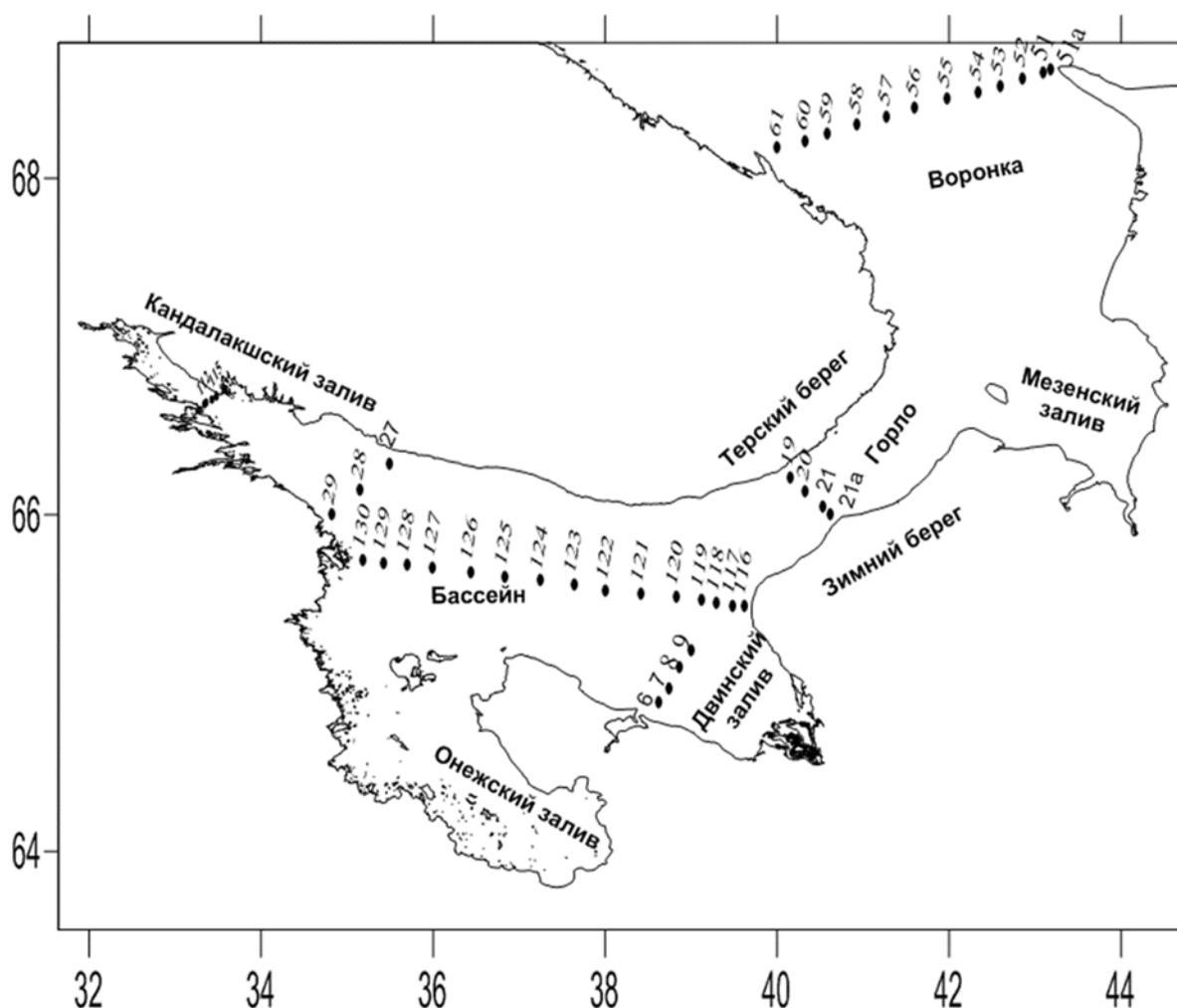


Рисунок 5. Карта разрезов и океанографических станций

К гидрофизическим величинам исследованными в ходе работы относятся температура и солёность.

В работе были исследованы профили температуры и солёности, построенные по вековым океанографическим разрезам Белого моря, находящимся в Воронке (61-51а), Горле (19-21а), Бассейне (130-116), Кандалакшском (115-112) и Двинском (6-9) заливах, а также на границе Кандалакшского залива и Бассейна (29-27).

### 3.1.1 Термохалинная система Белого моря. Данные за 2019.

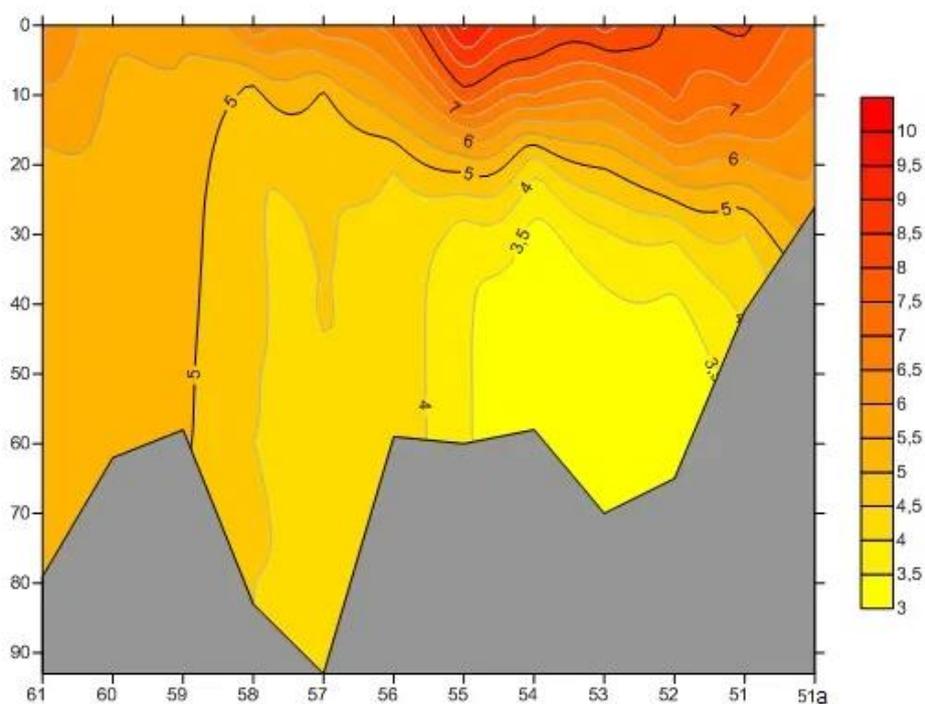


Рисунок 6. Распределение температуры на разрезе 61-51а

В Воронке Белого моря, разрез 61-51а (Рисунок 6), на востоке наблюдается сильная стратификация вод, здесь присутствуют значительные градиенты солёности и, особенно, температуры. Наиболее высокая температура фиксируется у восточного берега в поверхностном слое воды. Максимальное значение достигает 9,6 °С. При увеличении глубины происходит понижение температуры воды сначала довольно быстрое, до глубины 30-40 м, затем температура стабилизируется в районе 3-4 °С.

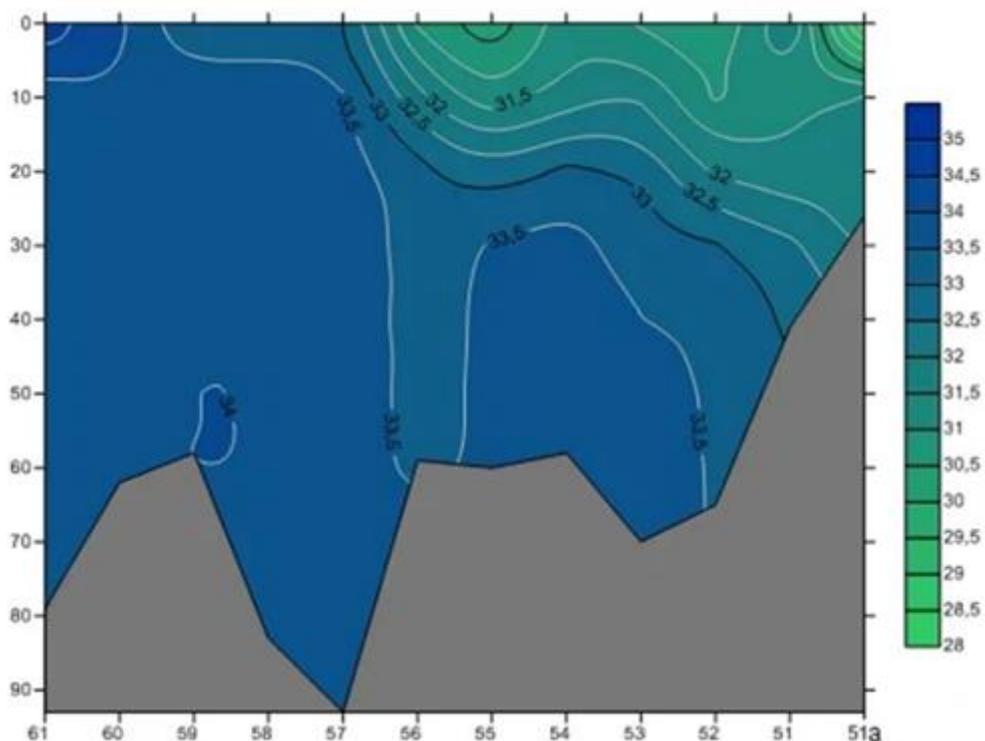


Рисунок 7. Распределение солёности на разрезе 61-51а

Солёность (Рисунок 7) увеличивается с востока на запад, а также с глубиной.

В западной части разреза распределение температуры и солёности близко к однородному от поверхностного слоя до глубинных горизонтов.

Такая термохалинная структура вод Воронки указывает на наличие двух водных масс. Вдоль западного берега в Белое моря поступают Баренцевоморские воды, в то время как Беломорские воды, проходя вдоль восточного берега Воронки, проникают в Баренцево море.

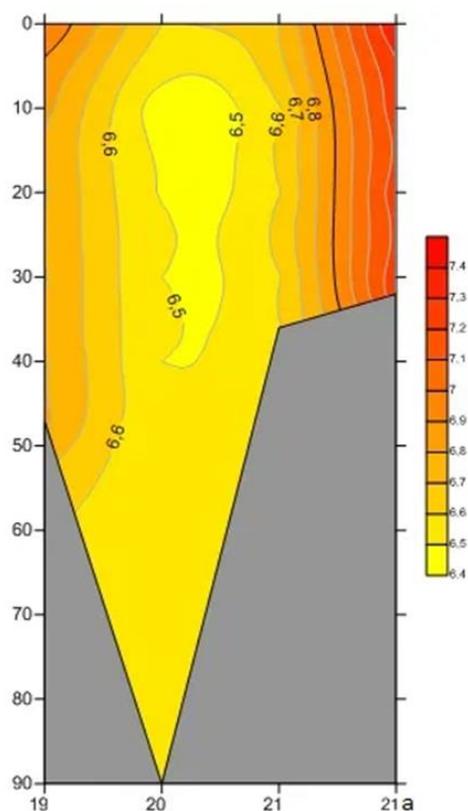


Рисунок 8. Распределение температуры на разрезе 19-21а

У западного берега Горла Белого моря наблюдается слабая стратификация температуры и солёности вод по вертикали (Рисунок 8), в наиболее глубоководной части разреза распределение температуры, а также солёности с глубины 10 м, становится близким к однородному. Такое, приближенное к однородному вертикальному распределению температуры и солёности вод Горла от поверхности до глубинных горизонтов, вызвано наличием интенсивного турбулентного перемешивания.

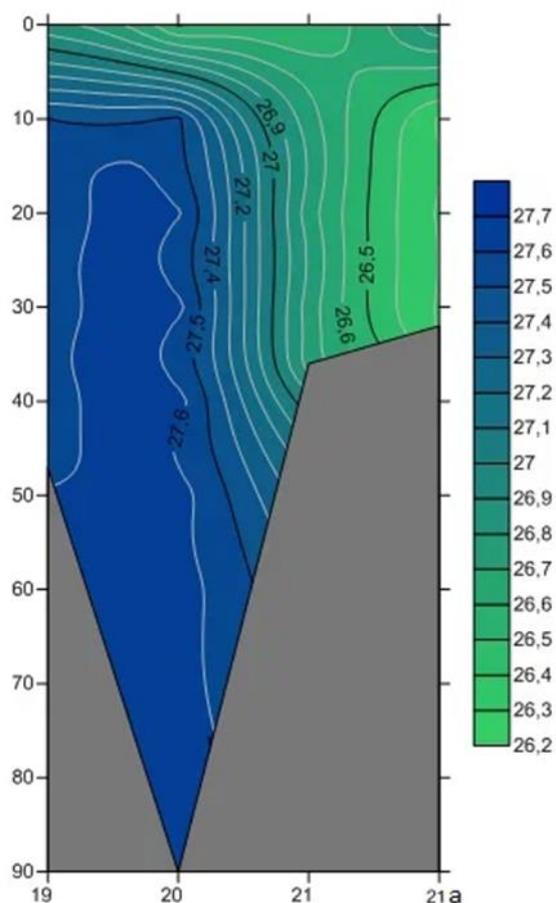


Рисунок 9. Распределение солёности на разрезе 19-21а

Воды близ восточного берега более распреснены по отношению к западным (Рисунок 9), также здесь наблюдаются более высокие температуры воды. В отличие от слабо стратифицированных вод западной части, в этой области довольно большие горизонтальные градиенты температуры и солёности.

По разрезам можно сделать вывод о том, что вдоль западного берега через Горло в глубь Белого моря проникают Баренцевоморские воды, в то время как воды Белого моря текут в сторону Баренцева моря.

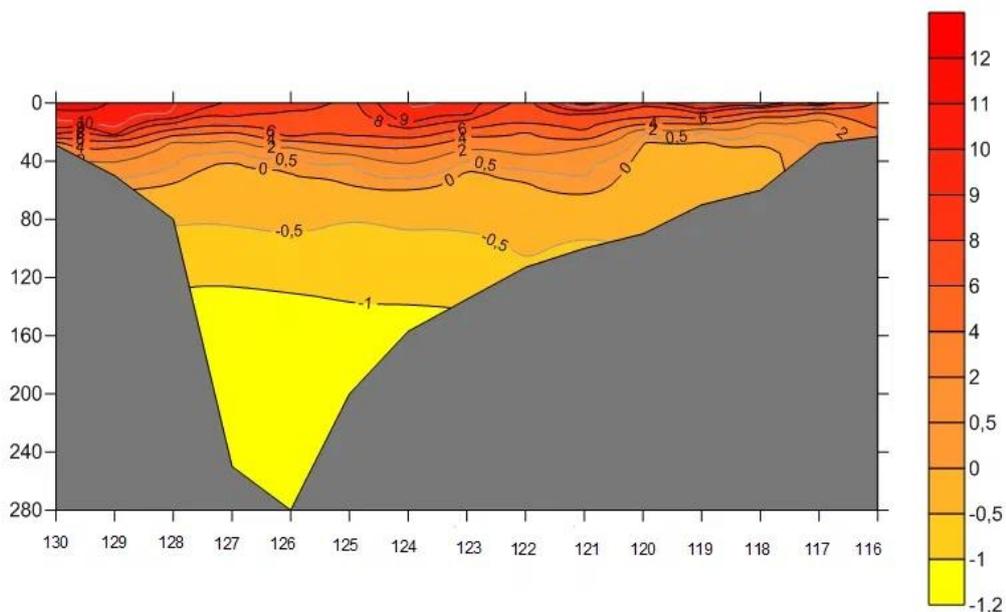


Рисунок 10. Распределение температуры на разрезе 130-116

Вертикальное распределение температуры и солёности вод Бассейна Белого моря (разрез 130-116) также имеет устойчивую стратификацию (Рисунок 10).

Наблюдается термогалоклин в поверхностном слое воды, до глубины 30-60 м. Особенно выражен термоклин близ восточного берега, здесь резко возрастают градиенты температуры. Температура воды по глубине изменяется в пределах от 11,9 до -1,15 °С.

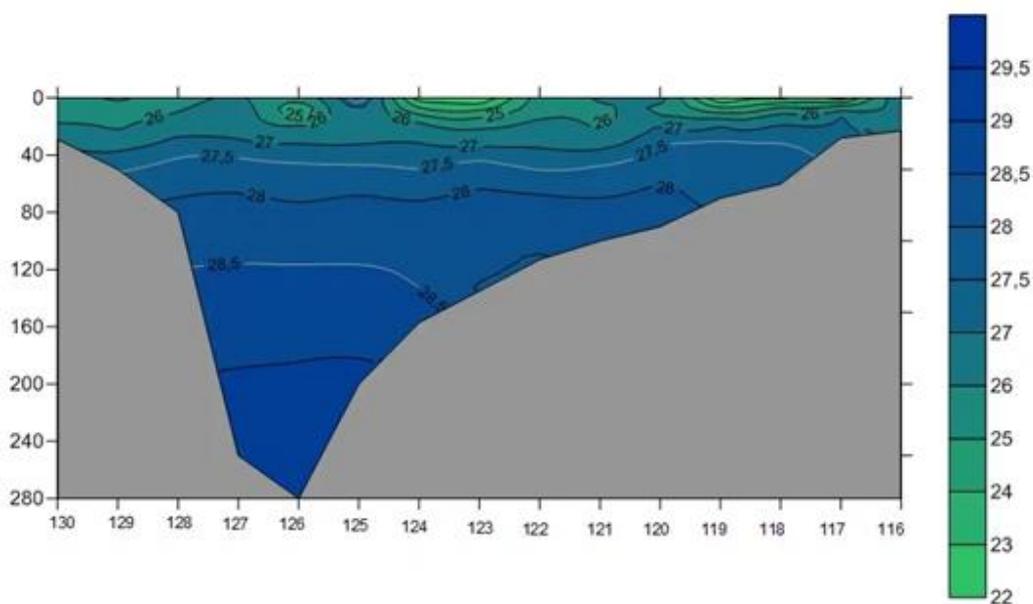


Рисунок 11. Распределение солёности на разрезе 130-116

Верхний слой занят менее солёными водами, формирующихся под влиянием течений, несущих в Бассейн распреснённые воды заливов (Рисунок 11).

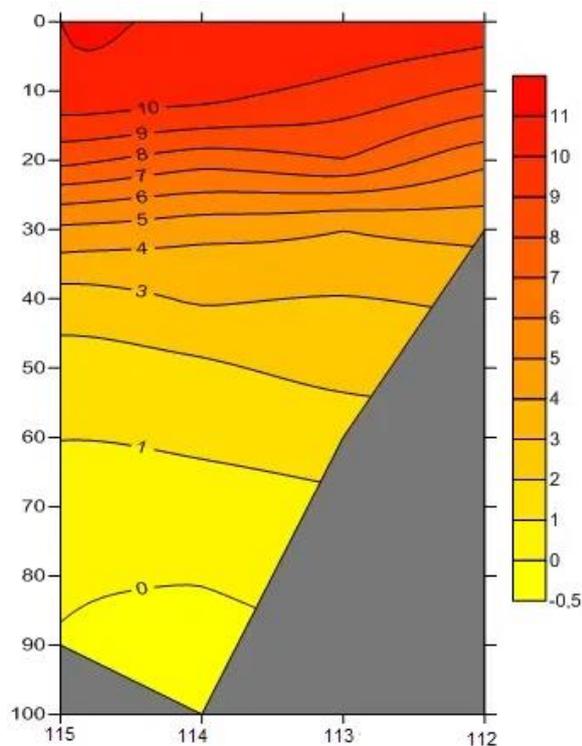


Рисунок 12. Распределение температуры на разрезе 115-112

В Кандалакшском заливе наблюдается устойчивая стратификация вод. На глубине 10-30 м наблюдается термоклин, здесь отмечаются наиболее высокие градиенты изменения температуры воды (Рисунок 12).

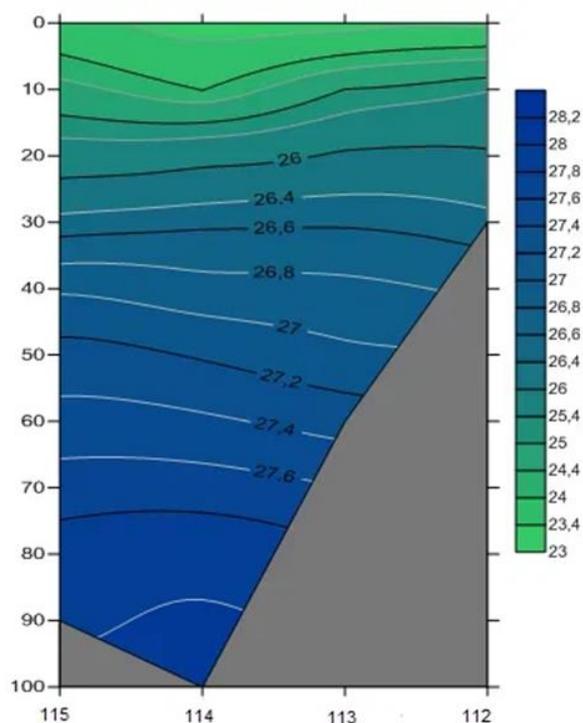


Рисунок 13. Распределение солёности на разрезе 115-112

Изменение солёности с увеличением глубины в этой части Белого моря происходит более равномерно. Наиболее распреснённым является поверхностный слой, в направлении дна солёность вод Кандалакшского залива возрастает (Рисунок 13).

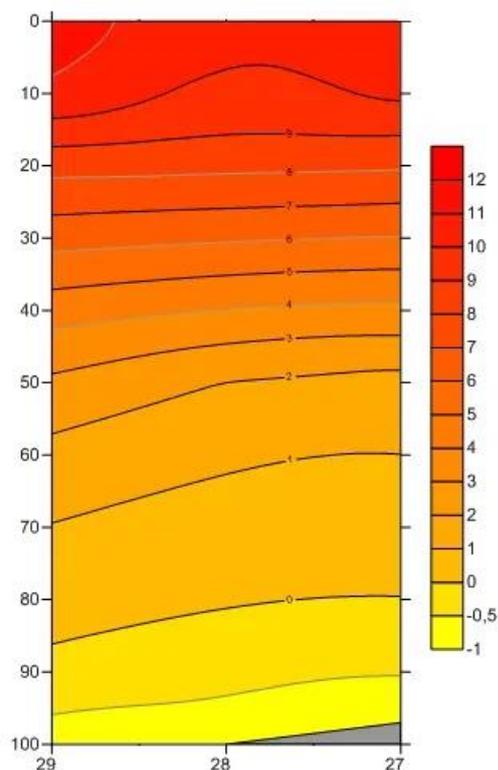


Рисунок 14. Распределение температуры на разрезе 29-27

На границе Кандалакшского залива и Бассейна также наблюдается устойчивая вертикальная стратификация. Отсутствует выраженный термоклин (Рисунок 14).

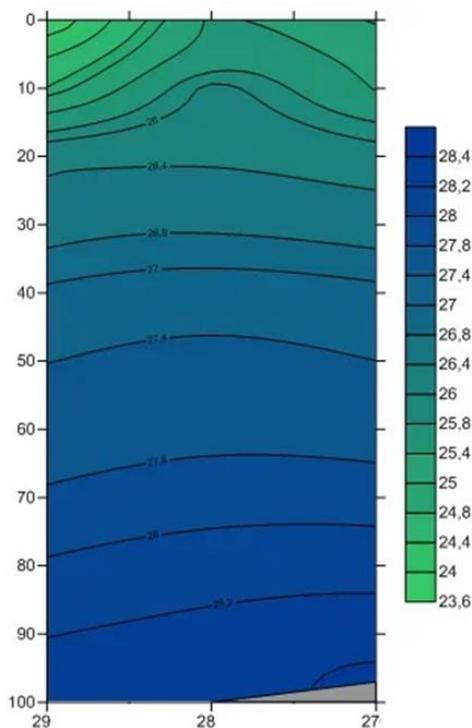


Рисунок 15. Распределение солёности на разрезе 29-27

У южного берега происходит сгущение изогалин у поверхности, на глубине от 0 до 20 м (Рисунок 15).

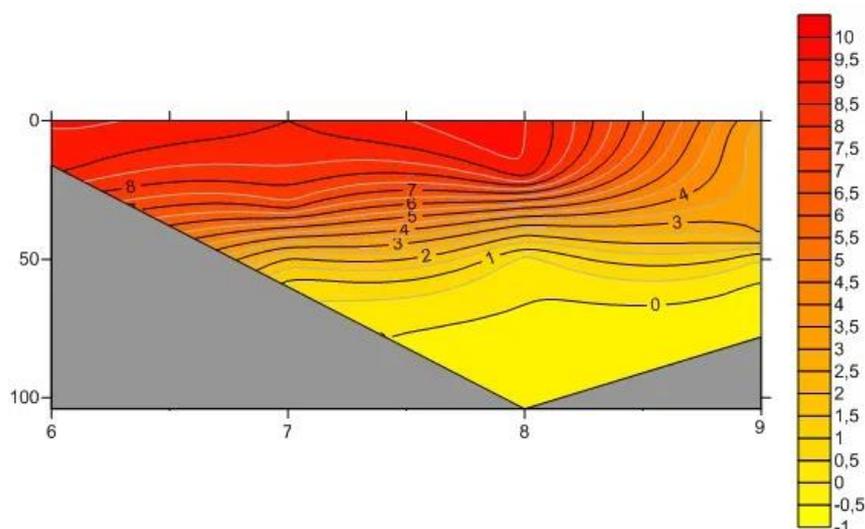


Рисунок 16. Распределение температуры на разрезе 6-9

В Двинском заливе, по разрезу 6-9, можно сделать вывод об устойчивой вертикальной стратификации вод в его южной части. Здесь термогалоклин выражен в слое 30-60 м (Рисунок 16, 17). Однако, к северу отмечается горизонтальная стратификация вод в поверхностном слое.

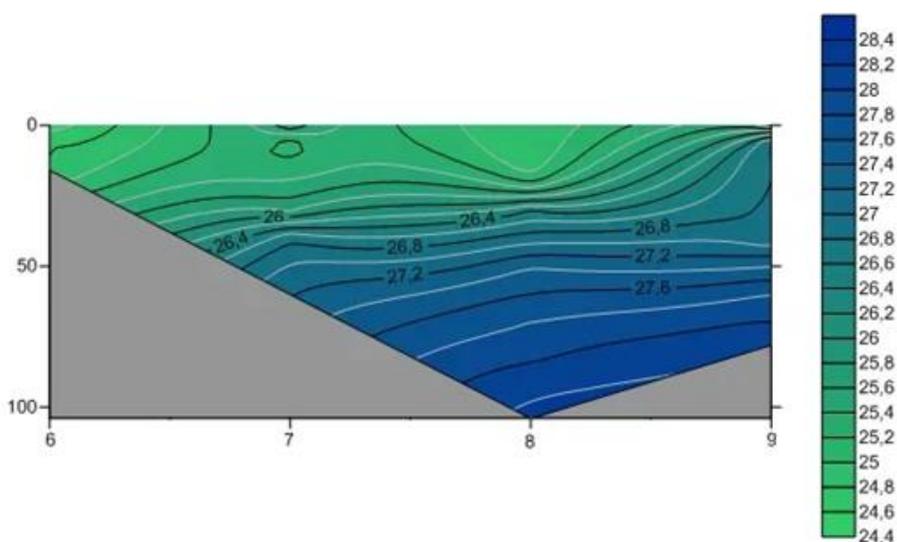


Рисунок 17. Распределение солёности на разрезе 6-9

### 3.2 Гидрохимические характеристики

По экспедиционным данным, полученным на стандартных океанографических разрезах, были построены профили распределения таких гидрохимических характеристик Белого моря как растворённый кислород, водородный показатель, а также фосфаты и нитраты.

Растворённый кислород представляет собой наиважнейший биохимический показатель состояния среды морской акватории, определяющий кислородный режим водоёма. Благодаря ему возможно существование водных организмов. Также растворённый кислород определяет интенсивность, с которой протекают окислительные процессы в морской среде.

Поступает растворённый кислород в поверхностный слой в результате его абсорбции из атмосферы, а также продуцирования при фотосинтетической деятельности растительных организмов, произрастающих в море [18].

Значительное увеличение насыщенности морских вод кислородом происходит в областях наиболее активного протекания процессов фотосинтеза. Распределение растворённого кислорода по глубине довольно сложно и связано с динамикой водных масс [19]. В общем случае, концентрация растворённого кислорода уменьшается с глубиной в результате ослабления процесса фотосинтеза, а также его потребления на окисление органических веществ и дыхания живых организмов. Проникновение растворённого в воде кислорода в глубинные горизонты происходит благодаря вертикальной циркуляции и течений [20].

Водородный показатель относится к одним из важнейших показателей качества вод исследуемого водоёма, характеризующий состояние кислотно-основного равновесия воды. От значения рН во многом зависит жизнедеятельность организмов, присутствующих в воде, формы миграции различных элементов, а также степень агрессивного воздействия воды на вмещающие породы, металлы, бетон. Даже небольшие изменения рН являются значительными для происходящих в морской воде процессов.

Величина водородного показателя морской воды зависит от её солевого состава, содержания в ней растворенных газов, а также от присутствующих органических соединений.

Регулировка значений рН происходит углекислотно-карбонатной системой, являющейся сильнейшим буфером морских вод. В открытом море величина водородного показателя изменяется сравнительно в узком диапазоне от 7,7 до 8,6. Однако, значение рН морских вод, подвергающихся интенсивному загрязнению сточными водами или находящихся в зоне смешения с пресными водами, может изменяться в более широких пределах [21].

Соединения азота и фосфора являются наиболее значимыми биогенными веществами, имеющими во многом определяющее значение в формировании биологической продуктивности морей и океанов.

Профили по вековым океанографическим разрезам Белого моря были построены по разрезам Воронки (61-51а), Горла (19-21а), Бассейна (130-116), Кандалакшского залива (115-112), а также по разрезу на границе Кандалакшского залива и Бассейна (29-27).



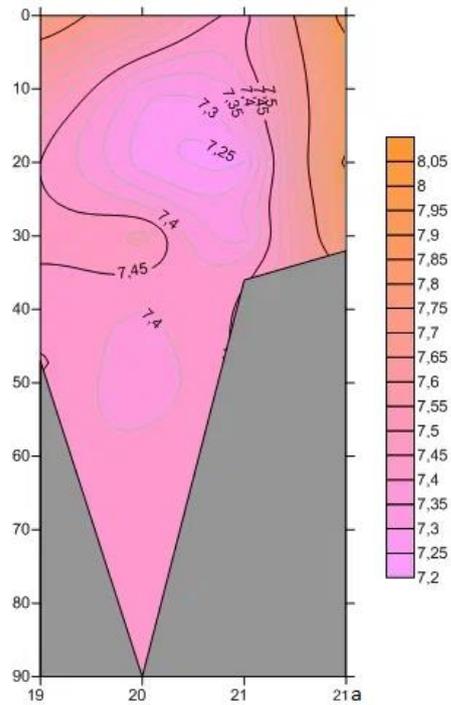


Рисунок 19. Распределение растворённого кислорода по разрезу 19-21а

У восточного берега в водах Горла резко возрастает концентрация растворённого кислорода. В середине разреза, на глубине 20 м наблюдается минимальное содержание растворённого кислорода, достигающее до 7,25 мг/л. Область максимальной концентрации проходит у восточного берега, где максимальное значение составляет 8,01 мг/л (Рисунок 19).

Такое распределение растворённого кислорода по разрезу подтверждает присутствие Баренцевоморских и Беломорских водных масс в этой части акватории.

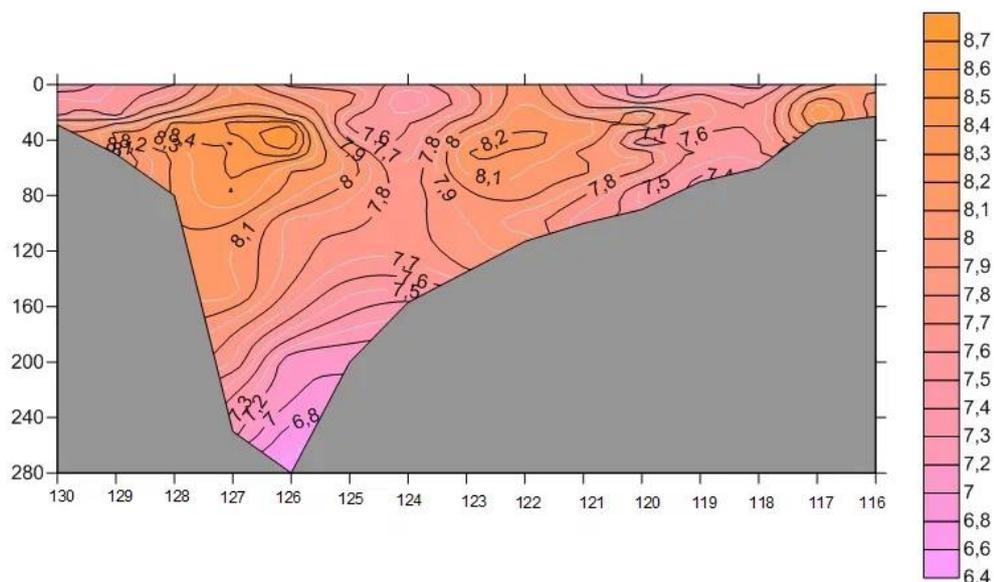


Рисунок 20. Распределение растворённого кислорода по разрезу 130-116

В Бассейне Белого моря (разрез 130-116) область наименьшей концентрации растворённого кислорода приходится на самую глубокую часть разреза, занятую глубоководной водной массой, где абсолютный минимум значений приходится на 126 станцию (6,43 мг/л). Области с повышенной концентрацией растворённого кислорода, наоборот, располагаются ближе к поверхности. Максимальное значение достигает величины 8,67 мг/л, фиксируясь также на 126 станции на глубинах 30 и 40 м (Рисунок 20).

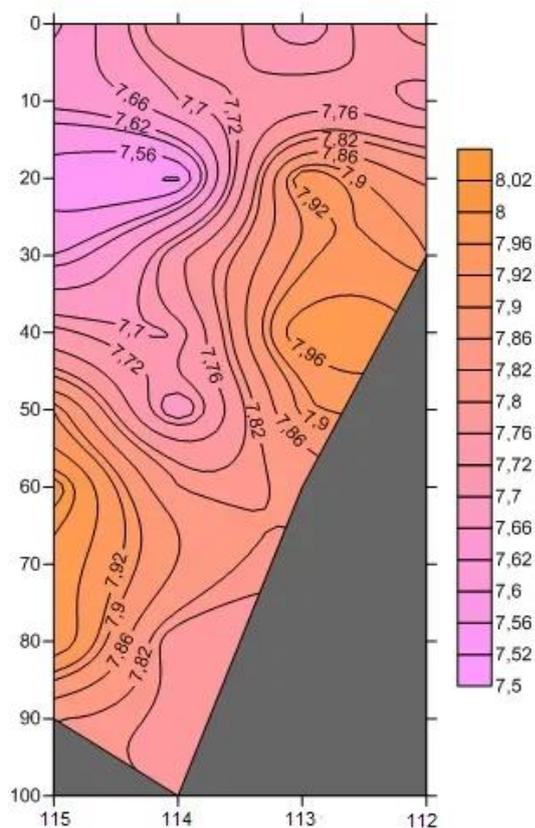


Рисунок 21. Распределение растворённого кислорода по разрезу 115-112

Наименьшая концентрация растворённого кислорода в Кандалакшском заливе, 7,51 мг/л, приходится на 114 станцию (горизонт 20 м). Пониженная концентрация вдоль северного берега возможна по причине проникновения в эту часть залива Баренцевоморских вод из Бассейна Белого моря. Области повышенного содержания приурочены к более глубинным горизонтам и южному берегу. Величина максимального содержания растворённого кислорода равна 8,04 мг/л и находится на глубине 60 м 115 станции (Рисунок 21).

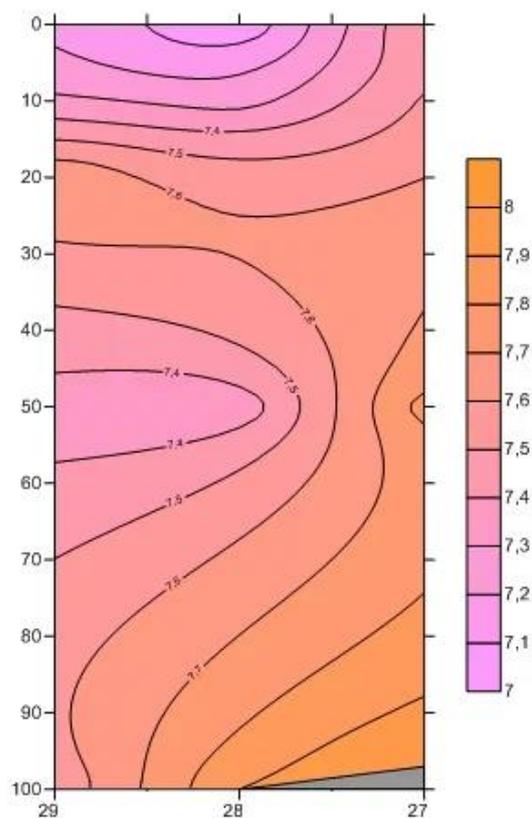


Рисунок 22. Распределение растворённого кислорода по разрезу 29-27

Область наименьшего содержания растворённого кислорода на разрезе 29-27, расположенного на границе Кандалакшского залива и Бассейна Белого моря, приходится на поверхностный слой, минимум (7,02 мг/л) здесь фиксируется на горизонте 0 м (28 станция). Максимум концентрации растворённого кислорода наблюдается у северного берега, достигая значения 7,98 мг/л в придонном горизонте на 27 станции (Рисунок 22).

Такое распределение содержания растворённого кислорода по разрезу формируется в результате сложных циркуляционных процессов в этой части акватории Белого моря.

### 3.2.2 Водородный показатель

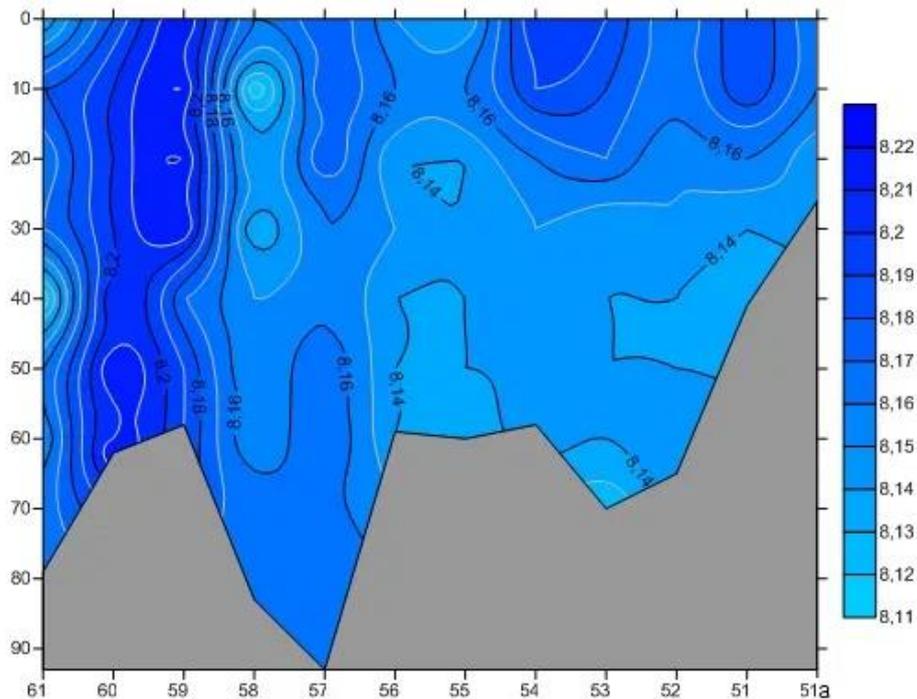


Рисунок 23. Распределение значения рН по разрезу 61-51а

Водородный показатель по разрезу 61-51а, Воронка, изменяется в пределах 8,11 – 8,22 ед. рН, чаще всего значения рН находятся в пределах 8,14-8,16. Максимальное значение водородного показателя наблюдается на 59 станции (0-30 м) и 60 станции на придонных горизонтах. Минимальное значение рН было зафиксировано на станции 61 на глубине 40 м, а также на станции 58 (глубина 10 м). В северо-восточной части разреза, в районе мыса Канин Нос, в приповерхностном слое наблюдается более резкие изменения значений водородного показателя, а с глубиной происходит относительно плавное снижение величины рН, в то время как в юго-западной части величина водородного показателя однородна по глубине (Рисунок 23).

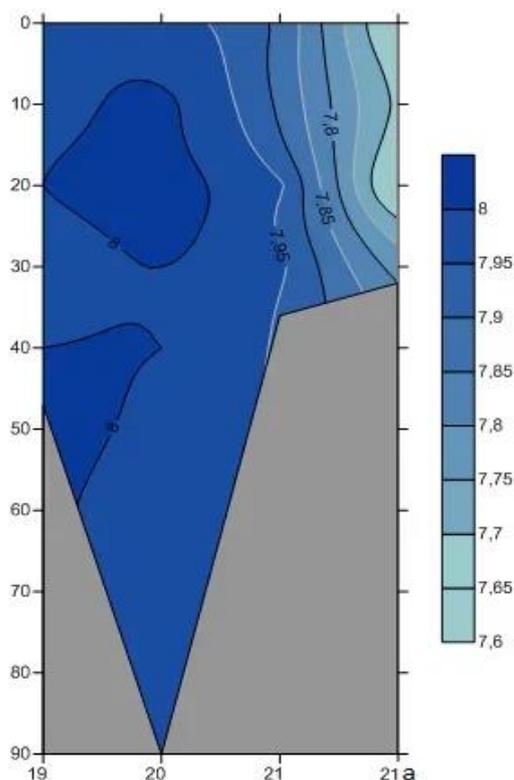


Рисунок 24. Распределение значений рН по разрезу 19-21а

Изменение водородного показателя по разрезу 19-21а (Горло Белого моря) происходит в пределах от 7,62 до 8,01 ед. рН. На станциях 19-20 значения водородный показатель мало меняются по разрезу, величина рН колеблется в районе 7,89- 8,01. К станции 21а происходит заметное снижение рН, достигающее до отметки 7,62 на горизонте 20 м (Рисунок 24).

Однородное вертикальное распределение водородного показателя в западной части и стратифицированное в восточной части разреза свидетельствует о наличии в Горле двух водных масс.

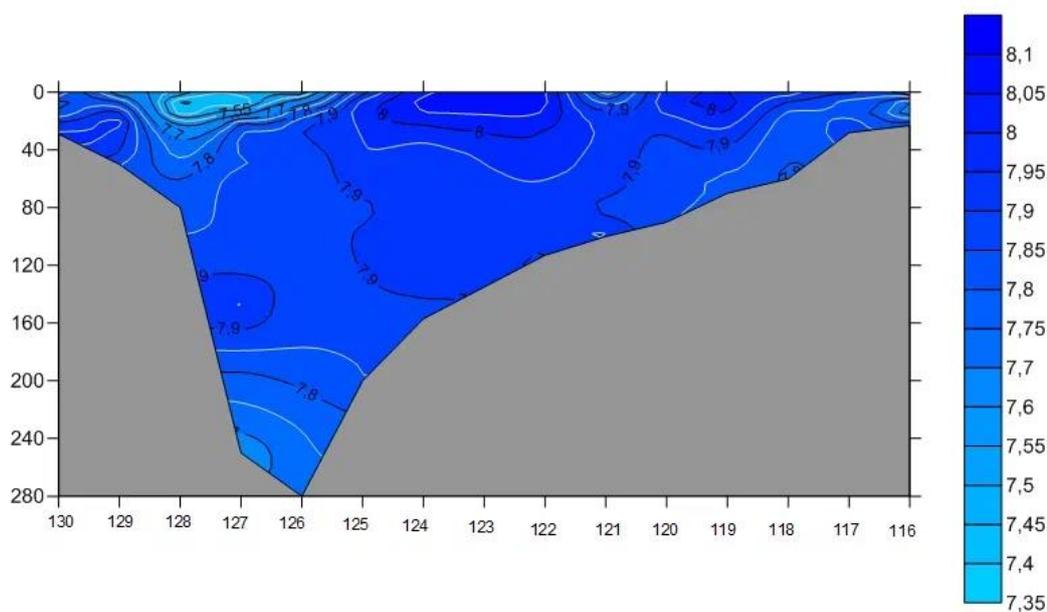


Рисунок 25. Распределение значения рН по разрезу 130-116

По разрезу 130-116 (Бассейн) рН изменяется в пределах от 7,33 до 8,09 ед. рН. Наибольшее значение водородного показателя было зафиксировано на станции 123 (горизонт 10 м). Наименьшее значение приходится на 128 станцию, глубина 10 м. В целом по разрезу наблюдается увеличение значений рН с глубиной до горизонта 150-200 м в его центральной части, где вновь происходит понижение величины водородного показателя (Рисунок 25).

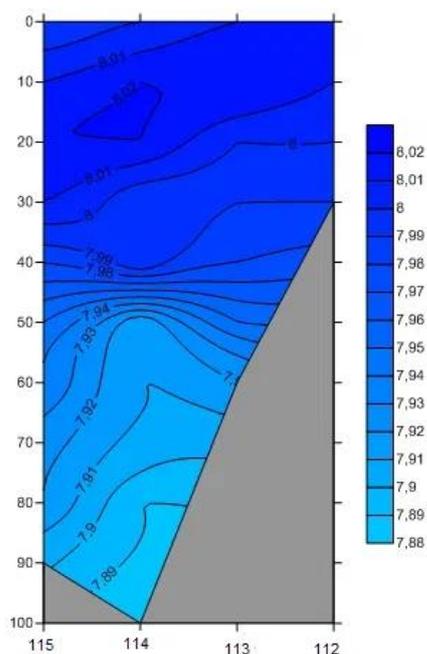


Рисунок 26. Распределение значений рН по разрезу 115-112

Диапазон колебания величин по разрезу 115-112 (узкая часть Кандалакшский залива) 7,88 - 8,02 ед. рН. Максимального значения рН достигает на глубине от 0 до 20 м, в дальнейшем, с глубиной величина рН уменьшается. Сгущение изолиний происходит в слое воды 40-50 м, в особенности на 114 станции (Рисунок 26).

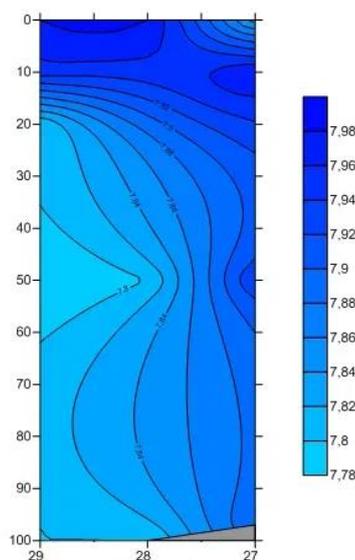


Рисунок 27. Распределение значений рН по разрезу 29-27

По разрезу 29-27 (граница Кандалакшского залива и Бассейна) наблюдается небольшой диапазон изменения рН, от 7,8 до 7,98 ед. рН. В общем, величина водородного показателя убывает с глубиной, достигая максимума в поверхностном слое на 29 станции и минимума на горизонте 100 м (28 станция) (Рисунок 27).

### 3.2.3 Фосфаты и нитраты

Соединения азота и фосфора являются наиболее значимыми биогенными веществами, имеющими во многом определяющее значение в формировании биологической продуктивности морей и океанов.

Присутствие фосфатов и нитратов было зафиксировано на отдельных станциях, в разных частях акватории Белого моря, вследствие чего было невозможно построение полноценных профилей по разрезам.

В Воронке Белого моря на океанографическом разрезе, непосредственно примыкающему к Баренцевому морю (61-51а), наблюдается полное отсутствие анализируемых биогенных элементов.

Район Бассейна Белого моря (разрез 130-116) также характеризуется редкими и небольшими значениями содержания нитратов (в основном, в районе, однако, на некоторых станциях в придонных горизонтах отмечаются значительное повышение их концентрации, достигающее на 125 станции (200 м) до величины 233,74 мкг/л. Содержание фосфатов находится в пределах 2,59- 29,89 мкг/л.

В Кандалакшском заливе исследуемые биогенные вещества присутствуют на всех станциях, у поверхности и на глубинных горизонтах, максимальная величина концентрации нитратов (162,22 мкг/л) и фосфатов (18,11 мкг/л) зарегистрирована на 114 станции на глубине 100 м.

На границе Кандалакшского залива и Бассейна отмечено небольшое количество фосфатов и нитратов в толще воды, в целом достаточно равномерно распределённых по профилю, с возрастанием концентрации нитратов на 28 станции, в середине разреза, на горизонтах 0-10 м. Здесь содержание нитратов в воде составляет 32,59 мкг/л и 31,66 мкг/л соответственно.

В Горле Белого моря (разрез 19-21а) отмечается малое присутствие биогенных соединений. Содержание фосфатов колеблется в пределах 9,2- 10,63 мкг/л, нитратов 51,55- 70,84 мкг/л. В основном, фосфаты и нитраты обнаружены в поверхностных горизонтах.

По полученным данным можно сделать вывод о достаточно низком содержании биогенных веществ в районе исследования, где преобладающими являются соединения азота [19].

В целом, увеличенная концентрация фосфатов и нитратов в Белом море наблюдается в заливах, понижение их содержания происходит в направлении Баренцева моря.

Бедность Белого моря биогенными веществами определяет малую первичную продуктивность водоёма, в результате чего его можно отнести к олиготрофным морям [20].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По профилям гидрофизических и гидрохимических характеристик Белого моря, построенных в ходе написания работы, на основании данных стандартных океанографических разрезов, можно сделать вывод о характере их пространственного распределения в различных частях акватории исследуемого водоёма.

По профилям температуры и солёности можно сделать вывод о том, что вертикальное распределение термохалинной структуры на большей части акватории Воронки и Горла Белого моря близко к однородному, за исключением восточных берегов, где протекают Беломорские воды. На остальной акватории моря, в Бассейне, Двинском и Кандалакшском заливах, наоборот, наблюдаются стратифицированные воды.

На большей части акватории Белого моря области повышенной концентрации растворённого кислорода наблюдались в поверхностном слое, уменьшаясь с глубиной. Нарушения данной закономерности было выявлено в Кандалакшском заливе и связано с особенностями динамики водных масс в этом регионе.

Возрастание значений водородного показателя происходит в тех частях акватории, которые по большей части заполнены Баренцевоморскими водами, где происходит уменьшение концентрации растворённого в воде кислорода. В районах смешения с пресными водами наблюдается значительное снижение величин рН.

Белое море бедно биогенными соединениями, фосфатами и нитратами, что становится причиной его малой первичной продуктивности и отнесения к олиготрофным морям. Наибольшие значения концентрации фосфатов и нитратов приходятся на заливы Белого моря, в областях с более существенным материковым стоком, в то время как с продвижением на север, к Баренцеву морю, содержание в воде исследуемых биогенных веществ понижается. На

границе Воронки Белого моря и Баренцева моря было выявлено полное отсутствие фосфатов и нитратов. Среди биогенных соединений в водах Белого моря преобладающими являются нитраты.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ковчин И.С. Автономные океанографические средства измерений / И.С. Ковчин – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 256 с.
2. Коровин В.П. Морская гидрометрия / В.П. Коровин, Е.И. Четверкин – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 264 с.
3. Иванова И.А. Решение геологических задач с применением программного пакета Surfer: практикум для выполнения учебно-научных работ студентами направления «Прикладная геология» / И.А. Иванова, В.А. Чеканцев. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 92 с.
4. Толстиков А.В. Изменчивость температуры поверхностного слоя Белого моря / Толстиков А.В. – М.: ГЕОС, 2016. – 212 с.
5. Монографический справочник Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР / под ред. Б. Х. Глуховского. Том II. Белое море. Выпуск 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 240 с.
6. Моря России — Белое море [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://geographyofrussia.com/morya-rossii-beloe-more/>?
7. Шамраев Ю.И. Океанология / Ю. И. Шамраев, Л. А. Шишкина – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 382 с.
8. Доронин Ю.П. Региональная океанология / Ю.П. Доронин – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 304 с.
9. Филатов Н.Н. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. / Н.Н. Филатов, А.Ю. Тержевик – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 335 с.
10. Карта течений Белого моря [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://barenzevo.arktifiksh.com/index.php/karty-belogo-morya/336-karta-techenij>

11. В. П. Коровин, В. М. Тимец. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Гидрометеоиздат, Санкт-Петербург, 2000 г.
12. SBE 19PLUS [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://rov-imb.ru/sbe19plus/>
13. SBE32 [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://rov-imb.ru/sbe32/>
14. Carousel Water Sampler SBE 32 [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://www.technopolecom.ru/downloads/doc\\_136.pdf?ysclid=12aezdntfv](http://www.technopolecom.ru/downloads/doc_136.pdf?ysclid=12aezdntfv)
15. Выполнение разрезов SR1 и SR2 через пролив Дрейка и от Африки до Антарктиды на судах ИО РАН «Академик Вавилов» и «Академик Иоффе» [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://polaruni.ru/assets/files/files/2\\_155.pdf](http://polaruni.ru/assets/files/files/2_155.pdf)
16. Малинин В.Н. Общая океанология часть I. Физические процессы.: учеб. пособие / В.Н. Малинин – СПб: Изд. РГГМУ, 1998. – 342 с.
17. Жуков Л.А. Общая океанология / Л.А. Жуков – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 376 с.
18. Нецветаева О.П. Районирование акватории белого моря по степени насыщения его вод кислородом / О.П. Нецветаева, В.Б. Коробов // Вестник современных исследований. – 2018. – № 7.1 (22). – С. 60-66.
19. РД 52.10.736-2010. Объёмная концентрация растворённого кислорода в морских водах. Методика измерений йодометрическим методом. Москва, 2010. – 27 с.
20. Алекин О.А. Химия океана / О.А. Алекин, Ю.И. Ляхин – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 338 с.
21. РД 52.10.735-2018. Водородный показатель морских вод. Методика измерений потенциометрическим методом. Москва, 2018. – 27 с.