



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Причины возникновения аномальной стратификации на акватории
Кандалакшского залива Белого моря

Исполнитель Аристова Анастасия Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Густоев Дмитрий Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«19» июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ..	4
1.1 Географическое описание	4
1.2 Климат	5
1.3 Климатообразующие факторы.....	12
1.4 Влияние геологических факторов	17
1.5 Физические характеристики	18
2 МЕТОДОЛОГИЯ И ИНСТРУМЕНТАРИЙ	23
2.1 Описание методов элементарной статистики	23
2.2 Описание метода кластерного анализа	24
2.3 Метод дендрограмм	25
2.4 ПО «Serfer» и «Grapher»	25
3 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ АНОМАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА АКВАТОРИИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН ЕЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ.....	28
3.1 Распределение температуры и солености в Кандалакшском заливе в 2003 году	30
3.2 Распределение температуры и солености в Кандалакшском заливе в 2004 году	33
3.3 Распределение температуры и солености в Кандалакшском заливе в 2005 году	36
3.4 Метод кластерного анализа.....	39
3.5 Расчет градиентов солености	58
3.6 Реакция биологических объектов на аномалию	60
3.7 Вывод.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	64

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость исследования Кандалакшского залива заключается во многих факторах. Один из них – заход танкеров в нефтеналивной терминал пристани Витино, расположенной на северо-западе Мурманской области. Были зафиксированы случаи разлива нефтяных углеводородов в результате аварий, после чего произошло растекание и загрязнение акватории, затем резкое уменьшение уловов рыбы. Ситуация негативно сказалась на промысле в заливе, как отмечали многие рыбаки.

На данной территории расположен Кандалакшский государственный природный заповедник – место охраны гнездовой морских птиц и научная база для исследований орнитофауны Кандалакшского залива, для которого также существует не меньшая опасность изменения состава и стратификации вод.

На берегу залива находится город Кандалакша, в котором развивается инфраструктура. Но это развитие тоже отрицательно влияет на экологию акватории. Комплексные исследования процессов, происходящих на территории Кандалакшского залива, представляются актуальными.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в выявлении природы аномальной стратификации на акватории Кандалакшского залива.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Найти схожие аномальные распределения солености на акватории Кандалакшского залива за период 2000-2010 гг.;
2. Показать аномальное распределение солености;
3. Оценить распределение водных масс на акватории с помощью метода кластерного анализа;
4. Оценить градиенты солености;
5. Оценить реакцию биологических объектов на изменение характеристик вод акватории Кандалакшского залива.

Исходными данными послужили профили гидрометеорологических характеристик, полученные по результатам экспедиции 2003-2005 гг., и сведения о геологических разломах и геологической активности, любезно предоставленные профессором Рыбалко А.Е.

1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Географическое описание



Рисунок 1.1 Карта участка Белого моря (Кандалакшский залив) [1]

Кандалакшский залив расположен на северо-западе Белого моря и является одним из четырех его заливов (см. рисунок 1.1). Относится к Мурманской области и Республике Карелия [2]. Площадь залива составляет 70,5 тыс. га, из которых 75% приходится на акваторию [3]. Вершиной залива является Кандалакшская губа. Координаты: $66^{\circ}49'00''$ с. ш. $33^{\circ}00'00''$ в. д. [2].

Данный залив находится в зоне соединения Беломорского и Кольского блоков Балтийского кристаллического щита. Очертания линии берегов определяются тем, что побережья этих блоков изрезаны большими трещинами. Это делает их обрывистыми, высокими и неровными [4].

У Беломорских берегов есть определенные названия. Самые основные из них: Ковда, Палкина, Кереть, Княжая и Чупа. От м. Святой Нос до м. Лудошный проходит Терский берег – северо-восточный мыс Кандалакшского залива. Западнее мыса Лудошный простирается Кандалакшский берег, который тянется до г. Кандалакши. Карельский берег находится между г. Кандалакшей и г. Кемь

(см. рисунок 1.2). Для Карельского берега характерна изрезанность большим количеством губ. Вершины многих губ являются устьем несудоходных рек [5].



Рисунок 1.2 Районы, местные названия и типы берегов Белого моря [5]

Залив богат островами и небольшими островками. Основное их число расположено в верхней части залива, где находятся Кандалакшские шхеры. Самый крупный из островов лежит у Карельского берега – это о. Великий. А Кандалакшский берег не отличается большим количеством островов [5].

Все острова, которые расположены в акватории Кандалакшского залива и близлежащей территории, входят в Кандалакшский государственный заповедник [4].

1.2 Климат

1.2.1 Температура воздуха

Под воздействием факторов, определяющих формирование климата, складывается годовой ход температуры воздуха. Поэтому на определенных участках морей и океанов существуют особенности процессов, которые и объясняют климат данной территории. Из этих особенностей исходит форма

кривой годовой хода, даты экстремумов температур, ее резкое снижение или возрастание. Суточный ход температуры складывается из средних многолетних значений за каждый час суток, полученных от различных станций за период не менее 10 лет [5].

Среднегодовая температура воздуха в Кандалакше незначительно повышается по мере продвижения вдоль Кандалакшского залива в юго-восточном направлении [6].

Своеобразие погоды исследуемого региона заключается в сильной изменчивости, возникающей из-за резкой смены направления ветров и частого передвижения циклонов. Вследствие этого зафиксированы всесезонные экстремальные похолодания и потепления. Амплитуда между годовыми колебаниями температур в Кандалакше велика: наблюдается уменьшение температуры до -42°C при оттепелях до $+7^{\circ}\text{C}$. Максимальные потепления на территории заповедника в июле достигают $30-32^{\circ}\text{C}$, но даже в середине лета иногда отмечаются заморозки [6].

Весна начинается, чаще всего, в третьей декаде апреля, когда среднесуточная температура поднимается выше 0°C . Ее продолжительность составляет 35-64 дня. Подъем среднесуточной температуры выше 10°C свидетельствует о летнем периоде, который продолжается около 80 дней. Этот период начинается во второй декаде июня и заканчивается в конце августа [6].

Зима считается самым протяженным и преобладающим сезоном года. Ее начало относится к концу второй декады октября и соответствует всей территории заповедника. Продолжительность зимы в Кандалакше в последнее десятилетие составляет 153 - 208 дней. Осень является наиболее изменчивой из всех времен года [6].

1.2.2 Влажность

Влияние на влажность складывается из нескольких характеристик. В целом, содержание водяного пара в воздухе зависит от недостатка насыщения, парциального давления водяного пара и относительной влажности. Все эти параметры изменчивы в течение суток и года, а также между годами. Их

распределение в пространстве и времени определяется особенностями циркуляции атмосферы, температурой и состоянием поверхности моря [5].

Влажность воздуха Мурманской области обычно имеет высокие значения. На данной территории находится много озер и болот, и испарение с их поверхности делает огромный вклад в эти высокие показатели. Также имеет значение перемещение воздушных потоков с прилегающих морей, которые насыщены водяными парами [6, 7].

На акватории Кандалакшского залива и его побережье относительная влажность воздуха в летний период составляет 66-72%, а в зимний - 85-89%. Под влиянием таких высоких значений влажности и частых циклонов почти всегда развита значительная облачность над Кольским полуостровом. Для восточного побережья акватории характерны туманы, приходящие с летними морскими ветрами. [6, 7].

1.2.3 Атмосферные осадки

Для измерения осадков на акватории обычно используются данные с береговых или островных станций, а иногда и судовые наблюдения. Распределение осадков в заливе неодинаково, их минимальное количество наблюдается в центральных частях акватории, а у побережья значения возрастают. Наибольшее годовое количество осадков соответствует южной части Кандалакшского залива, а по сезону – лету и осени [5].

Почти на всей территории Мурманской области количество выпадающих осадков составляет 500-700 мм/год, а в горах эти значения удваиваются. Сумма осадков за год в Кандалакшском заповеднике наибольшая на Айновых островах – около 700 мм, в районе Семи островов – почти 670 мм, на акватории Кандалакшского залива – 550-580 мм [6].

Весна и лето в данном заливе дождливые, осень – сухая, а зима – малоснежная. Средние значения высоты снежного покрова на островах и побережье акватории составляют 50-80 см, максимуму соответствует 100 см [6].

Первый снежный покров образуется обычно во второй декаде октября, но вскоре стаивает. Иногда бывают снегопады, которые не приводят к образованию

снежного покрова, например, в начале сентября. А после того, как температура воздуха устанавливается ниже 0°C и почва хорошо промерзает, снег ложится окончательно [6].

Разрушение снежного покрова происходит в апреле-мае, а полностью сходит снег в Кандалакше в середине мая, бывает и позже. Когда бывают года с поздней весной, таяние происходит в июне [6].

1.2.4 Ветер

Под влиянием распределения сезонного поля атмосферного давления складывается повторяемость скорости и направления ветра. На акватории исследуемого района в зимний период режим ветров образуется из формирования исландского минимума. Среднегодовые карты давления иллюстрируют обширную ложбину, которая образована направлением преобладающих циклонов. Над Кандалакшским заливом установлен циклонический тип циркуляции [8, 9].

В заливе поток воздуха определен уникальностью очертаний побережья и рельефом. Здесь преобладают ветры, проходящие вдоль залива с юго-востока, у северных берегов – северные ветры, на южном – западные и юго-западные [5].

Ветра различного направления имеют неодинаковые средние скорости. Пространственная закономерность следующая: у Карельского берега в январе при северном и северо-восточном направлении скорость ветра с акватории выше, чем при ветрах с континента южного и юго-западного направления. В зимний период средняя скорость ветра юго-западного направления – 5,8 м/с, северо-восточного – 8,5 м/с. Повторяемость в первом случае составляет 32%, а во втором случае – 5%. Средняя скорость северо-восточного ветра с моря на Карельском побережье равна 8 м/с, а юго-западного с суши – 4-5 м/с [5].

Весной, когда происходит перестройка барического поля, циклоническая деятельность северной европейской части России ослабевает, что приводит к уменьшению интенсивности циклонов. Тем не менее, повторяемость циклонов над акваторией составляет 65%, а повторяемость полей повышенного давления увеличивается до 35%. В связи с этим уменьшается повторяемость южных и

юго-западных ветров, а чаще начинают дуть ветры северных направлений. С января по апрель повторяемость этих ветров почти удваивается. Однако в апреле еще преобладают ветры южных направлений. В мае же, вследствие дальнейшего увеличения повторяемости северных и восточных ветров, не отмечается преобладания каких-либо направлений на всей территории Кандалакшского залива [5].

В летний период наблюдается уменьшение интенсивности атмосферной циркуляции над Северным полушарием. Циклоны Атлантики движутся по южным траекториям в сравнении с зимним периодом. В западной части Белого моря образуется слабо выраженная зона повышенного давления, а северо-западнее происходит снижение давления на фоне прогрева континента. Из-за этого часто приходит северный воздух на сушу, преобладают северные ветры. Повторяемость циклонических полей над морем высокая (68%), но глубина и скорость летних циклонов невелики, часто наблюдаются нечеткие мелкомасштабные поля давления. Кроме того, в июне-июле над относительно холодными водами Белого моря (вода по сравнению с воздухом холоднее на 1-2°C) формируются небольшие локальные антициклонические зоны [5].

В заливе средняя скорость ветра северных направлений составляет 5-7 м/с. Такую же скорость имеют и южные ветры, у которых летом минимальная повторяемость. Наиболее высокие средние скорости ветра отмечаются, как правило, при северном направлении (7-8 м/с). В августе повторяемость южных и северных ветров становится примерно одинаковой на всей акватории. К началу осеннего периода увеличивается циклоническая активность, с сентября заметно повышается повторяемость юго-западных ветров, характерных для зимнего сезона. На южном побережье средняя скорость ветра наиболее высока при северных направлениях, а повторяемость снижается в сравнении с летним периодом. В октябре наибольшие средние скорости ветра наблюдаются по тем же направлениям, которые являются максимальными и в зимний период. Для восточных ветров характерны минимальные средние скорости [5].

Годовые колебания среднемесячных скоростей в акватории составляют 2-3 м/с, а на южном побережье - менее 1 м/с. В районах, где сильно ощущается влияние суши, наблюдается второй (в Кандалакше - основной) максимум средней скорости ветра. Это происходит из-за значительного теплового притока и прогрева суши за день, что усиливает межслойный обмен воздуха и приводит к увеличению скорости ветра. В июле и августе зафиксирована минимальная среднемесячная скорость ветра [5].

1.2.5 Давление

В Кандалакшском заливе во все сезоны года часто одни воздушные массы заменяют другие. Это смена происходит под влиянием проходящих барических полей. В 1967-1976 гг. погода на акватории складывалась преимущественно из циклонических образований и продолжалась 262 дня. А погода, определенная влиянием антициклонов, составила 103 дня [5].

Для зимнего периода характерны области с низким давлением, которые, чаще всего, имеют низкий градиент и подвижность. В меньшинстве случаев циклоны выражены четко, и они движутся с Атлантики на большой скорости (50-70 км/ч) в сторону Белого моря и его заливов. Гораздо реже проходят над акваторией южные и юго-западные циклоны с повторяемостью 3 и 8%. В 23% случаев на залив оказывает влияние область повышенного давления, которая определяется стандартными для этой области антициклонами [5].

Весной погода менее устойчива, поля атмосферного давления меняются быстро. Чаще всего наблюдаются циклоны с минимальной подвижностью, приходящие с западных регионов. Эти области пониженного давления определяют погоду весеннего периода. Поля высокого давления зависят, в большинстве случаев, от локальных антициклонов. В конце мая барические поля над акваторией начинают приобретать характер летнего периода [5].

Повторяемость циклонических полей летом сохраняется на уровне весенней периодичности, однако повышается до 15% для полей пониженного давления, связанных с прохождением западных циклонов. При выходе южных циклонов (6%) часто наблюдаются восточные и северо-восточные ветры со

скоростью 12 м/с и более. В летний период стационарные антициклоны обладают наибольшей повторяемостью (17%). Наиболее обычным является перенос антициклонов со Скандинавии (11%), что всегда сопровождается на акватории Белого моря холодной погодой и северными ветрами [5].

Осенью циркуляция атмосферы проявляет большую активность, вследствие чего возрастает повторяемость полей низкого давления (73%). Циклоны малоподвижны и приходят с запада. Скорость циклонов в осенний период сильно возрастает по сравнению с летом. В результате погода в акватории заметно ухудшается, наблюдаются сильные порывы ветра, шторма, обильный снег. Поля повышенного давления составляют повторяемость в 27% и определяются локальными антициклонами [5, 10].

1.2.6 Сейсмическая активность

В зоне Кандалакшского залива наблюдается повышенный уровень сейсмической активности по сравнению с близлежащими районами. Это обуславливается тектонической впадиной – Кандалакшским грабеном, который находится в зоне сочленения Балтийского кристаллического щита и Русской плиты [11].

Для исследуемой территории свойственна деформация и смещение земной коры данных полей. По вертикали движение происходит со скоростью до 9,5 мм/г. Горизонтальное смещение направлено на северо-восток и происходит со средней скоростью от 21 мм/г на севере региона до 24 мм/г на юге [11].

С 2000 по 2020 гг. в Кандалакшском заливе наблюдалось 60 событий сейсмической активности. Их средняя магнитуда составила 1,7 б. [11, 12].

В наиболее интересующий период с 2003 по 2007 гг. возникали землетрясения до 6 б., что подтверждается интенсивностью исторических землетрясений Беломорья (6-8 б. в 1542-1975 гг.) [17].

В результате при общем поднятии щита Кольского региона отмечается область опускания грабена со скоростью до 6 мм/г [11]. Разница в скорости поднятия и амплитуде движений плит способствовали образованию трещин и

разломов в Кандалакшском заливе [17]. Аномальные показатели доказывают наличие сейсмической активности исследуемого региона и создают актуальность исследования Кандалакшского залива.

1.3 Климатообразующие факторы

1.3.1 Радиационный баланс

В зимний период небольшое количество тепла, поступающее на поверхность моря в течение короткого дня при низких углах падения солнечных лучей, в значительной степени отражается льдами. В северной части моря в течение всего декабря продолжается полярная ночь. В летнее время происходит нагревание водной поверхности за счет значительного притока солнечной радиации в течение длительного полярного дня. При нахождении на 64° южной широты максимальная высота Солнца в полдень во время летнего солнцестояния составляет 49° , а при нахождении на 68° южной широты - 45° [13, 14].

Большая часть Белого моря характеризуется числом часов с солнечным сиянием в диапазоне от 1200 до 1600 в год, включая 690-850 часов летом. В Кандалакшском заливе продолжительность солнечного сияния составляет около 1600 часов в год и 800-825 часов летом [13].

Максимальная продолжительность солнечного сияния приходится на июль, когда облачность находится на минимуме. В среднем, на большей части Белого моря, за месяц июля насчитывается от 270 до 300 часов солнечного сияния, а в заливах - от 300 до 320 часов. Отношение фактической продолжительности солнечного сияния к возможной составляет 46-54%, но время отсутствия солнца в среднем составляет от 1 до 3 дней. Минимальное количество солнечного сияния приходится на месяц декабрь и составляет от 0

до 6 часов в среднем. В это же время количество дней без солнца составляет от 27 до 31 [5].

Солнечная радиация поступает на поверхность моря в виде прямой радиации и рассеянной атмосферой и облаками. В приполярных шпротах вследствие преобладания пасмурной погоды и небольших высот Солнца рассеянная радиация в среднем за год больше прямой [15]. Снежный покров увеличивает рассеянную радиацию и в зимние месяцы она превышает прямую в 2-4 раза. Только летом, когда уменьшается облачность и возрастает высота Солнца, прямая радиация становится равной рассеянной или превосходит ее. Наибольших значений суммарная радиация достигает в июне (578-612 МДж/м²), наименьших - в декабре (0,0- 4,0 МДж/м²). Большая часть солнечной радиации, поступающей к поверхности воды летом, поглощается ею (88-90%). Альbedo, т. е. отражательная способность поверхности моря, зависит от ее физического состояния и меняется в широких пределах. Зимой, когда ледовая поверхность покрыта снегом, альbedo достигает 84% [13, 14]. В Кандалакшском заливе поглощенная радиация равна 570 МДж/м² [5].

В октябре-феврале радиационный баланс на акватории имеет отрицательное значение, изменяющееся в диапазоне от -25 до -205 МДж/м², отсюда следует, что расход тепла превышает его поступление. В марте радиационный баланс приближается к нулю, а с апреля по сентябрь он положительный. Наибольшее значение радиационного баланса отмечается в июне в бассейне (около 469 МДж/м²). Энергия, соответствующая радиационному балансу, частично передается в воздух, но основное количество энергии накапливается в водной массе и участвует в адвективном обмене тепла течениями [5, 15].

1.3.2 Особенности рельефа дна

Кандалакшский залив является самым крупным по объему в бассейне Белого моря. Он содержит примерно 710 км³ морской воды. Это логично, поскольку его средняя глубина больше 100 м, а также в пределах этого залива находится самая глубоководная впадина Белого моря. Эта впадина с глубинами

более 200 м простирается от бассейна Белого моря до островов Средние Луды. Внутри этой впадины есть котловина глубиной 343 м, которая является наиболее глубоким местом Белого моря. Глубины более 50 м располагаются во всем бассейне залива, а в его верхней части глубины составляют менее 20 м [4].

Особенности донного профиля обуславливают разделение Кандалакшского залива на две части – соединенную с бассейном внешнюю, и углубленную внутреннюю. Открытая зона залива геоморфологически является одним целым с бассейном, здесь сформирован Центральный желоб. Обособленная внутренняя часть состоит из глубин, которые не превышают 50 метров [4].

1.3.3 Влияние океана

Влияние океана на Кандалакшский залив идет со стороны Северной Атлантики и с Арктического района. В основном, это влияние сводится к изменчивости температуры воздуха и общей ледовитости.

В первом случае влияние заметно, преимущественно, в зимний период. Среднемесячная температура воздуха в большинстве зон Кандалакшского залива в феврале равна 14-15°C, и лишь в северной зоне она увеличивается до -9°C благодаря воздушным массам, которые поступают из Атлантического океана. Во время значительных вторжений теплого воздуха с Атлантики отмечаются юго-западные ветры, и температура воздуха повышается до -6-7°C. Перемещение антициклона из Арктики в район исследуемой акватории инициирует северо-восточные ветры, которые приводят к похолоданию до -24-26°C, а иногда и к очень сильным морозам [18].

Во втором случае, при влиянии океана на ледовитость залива, следует отметить уменьшение площади льда исследуемой территории под действием теплых северо-атлантических течений. Северная Атлантика характеризуется Атлантическим течением Северного Атлантического потока и Гольфстримом. Эти теплые течения проникают в Баренцево море, а затем в Белое море и Кандалакшский залив. Они снижают ледяной покров и способствуют его раннему таянию. Также ветры и циркуляция воздуха, связанные с

атмосферными системами Северной Атлантики, оказывают влияние на формирование, рассеивание и перемещение ледяного покрова. В целом, Северная Атлантика играет важную роль в формировании ледовых условий в Кандалакшском заливе, определяя толщину льда и скорость его таяния [19, 20].

1.3.4 Влияние атмосферы

Изменчивость характеристик атмосферы определяет изменчивость режима осадков, ветрового режима и режима дрейфовой циркуляции вод Кандалакшского залива.

Режим осадков в Кандалакшском заливе зависят от общего состояния циркуляции атмосферы в этом регионе. Изменения в атмосферной циркуляции приводят к изменениям в преобладающих ветрах и погодных системах, что в конечном итоге влияет на данную характеристику. Влажный воздух способствует конденсации водяного пара и образованию облаков, которые впоследствии приводят к интенсивным осадкам над акваторией исследуемого района [5, 6].

Распределение атмосферного давления над регионом влияет на формирование ветрового режима. Разница в давлении между различными областями создает градиент давления, который является главным двигателем для движения воздушных масс. Большие различия в давлении, которые иногда характерны для Кандалакши, способствуют сильным ветрам [8, 9, 21].

Атмосферный ветровой режим играет важную роль в определении изменчивости дрейфовой циркуляции вод в Кандалакшском заливе. Сильные ветры могут создавать мощные поверхностные течения, которые влияют на направление и скорость движения воды. Они вызывают перемещение водных масс, изменение их температуры и солёности, а также формирование локальных водных циркуляций [22]. Все эти факторы, взаимодействуя друг с другом, определяют изменчивость режима приведенных характеристик в Кандалакшском заливе.

1.3.5 Адвективные течения

Наблюдения за течениями в Кандалакшском заливе систематически проводятся с 1911 года. Однако до 1959 года в основном использовались экспедиционные и кратковременные полевые наблюдения в определенных точках моря, а также случайные сборы данных на стандартных океанографических станциях. С 1959 года стали применяться длительные многодневные наблюдения с помощью автономных буйковых станций или на борту судна. Количество кратковременных наблюдательных пунктов значительно уменьшилось, а отдельные исследования постоянных течений были полностью прекращены [5].

Течения в Белом море обусловлены различными факторами, включая приливы, воздействие ветра на морскую поверхность, изменение атмосферного давления, изменения рельефа дна под воздействием речного стока, а также в некоторой мере испарения и осадки. Эти причины приводят к образованию течений, которые затем подвергаются изменениям в результате трения жидкости об берега и дно, турбулентной вязкости, а также центробежных сил [5].

Под влиянием гидрологических фронтов различной природы формируются перемешанные по вертикали (адвективные) воды залива. Также имеет место процесс переноса свойств из нижележащих слоев в верхние. Процессы апвеллинга, наблюдающиеся в данных районах, особым образом устойчивы, однако их первоисточник все еще остается неясным. Возможно, это связано с прибрежной волновой динамикой и сильным приливным течением, которое каждые двенадцать часов направляется из Кандалакшского залива в сторону Двинского. При этом не отмечается обратного колебания типа сейши в сторону Кандалакшского залива, так как новая приливная волна препятствует этому процессу [16].

1.5 Физические характеристики

Для Кандалакшского залива характерно стратифицированное вертикальное распределение температуры и солености воды, а также большие градиенты этих характеристик.

1.5.1 Температура воды

В летний период температура верхнего слоя воды в вершине Кандалакшского залива в среднем составляет 14-15°, до 18-20° поднимается в теплые годы. На горизонте 0 м. находится верхний квазиоднородный слой толщиной от 10 м. На глубинах, в среднем, температура равна 10°C. В тех участках, которые защищены от влияния ветра, например, в бухтах и губах, иногда вода нагревается более, чем на 25° на поверхности [24, 26].

Для зимы характерны температуры с отрицательным знаком, которые соответствуют всем глубинам моря, и лишь на горизонтах 25-70 м. зафиксирован промежуточный теплый слой (ПТС), где температура равна 0-0,8°C. Происхождение ПТС может быть связано с конвективным и турбулентным вертикальным обменом. На поверхности показатели температуры - от 1°C до 1,5°C. Верхний квазиоднородный слой имеет толщину до 60 м. [25, 27].

1.5.2 Соленость

Соленость воды Кандалакшского залива, как и в большинстве морей и океанов, может изменяться в зависимости от множества факторов, включая приливы, осадки и пресноводные вливания. Однако, обычно вода в Белом море, включая Кандалакшский залив, имеет относительно низкую соленость по сравнению с другими морскими районами.

Средняя соленость воды в Кандалакшском заливе составляет примерно 24-25‰. Однако, эта цифра может варьироваться в разных частях залива и в зависимости от времени года и других факторов.

Значения данной характеристики в летний период составляют 15-26‰, а зимой – до 28-30‰. В поверхностном слое воды в разных местах акватории летом значения достигают 17-20‰, а у дна - 22-25‰ [5, 28].

1.5.3 Классические профили температуры и солености воды

В ПО «Grapher» были построены классические профили распределения температуры и солености в заливе для летнего периода (см. рисунки 1.4-1.6). Использовались экспедиционные данные с тех станций, для которых не свойственна аномальная стратификация.

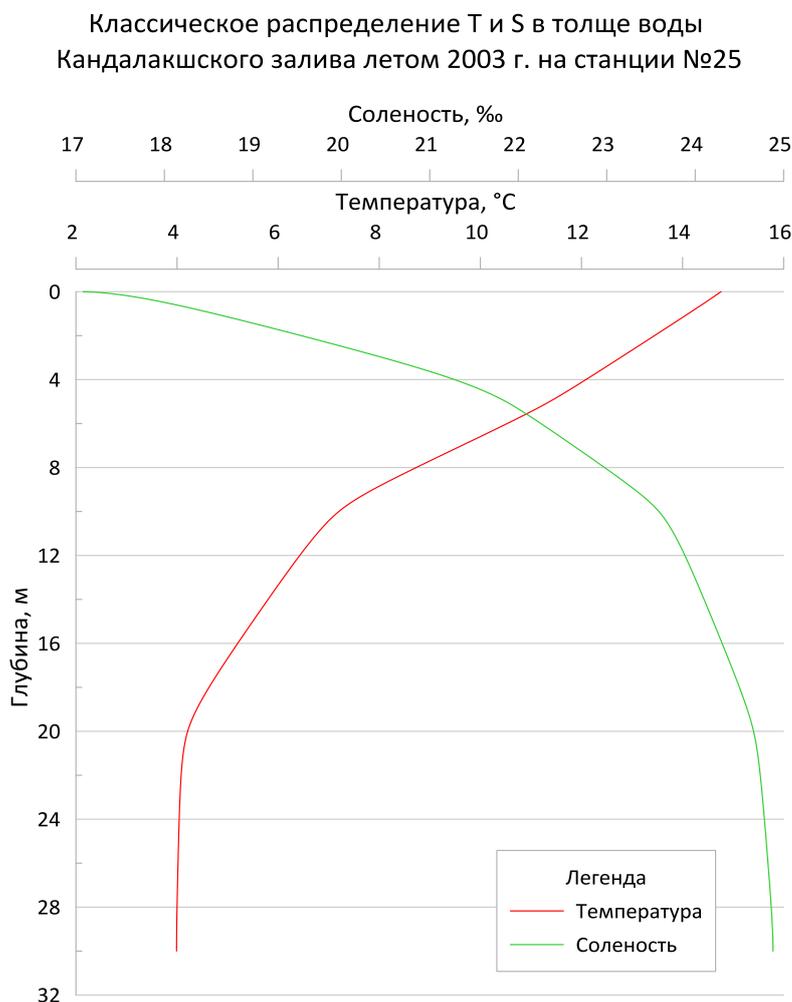


Рисунок 1.4 Распределение T и S для станции №25 (2003 г.) – 67.13° с.ш., 32.39° в.д.

Классическое распределение T и S в толще воды
Кандалакшского залива летом 2004 г. на станции №6

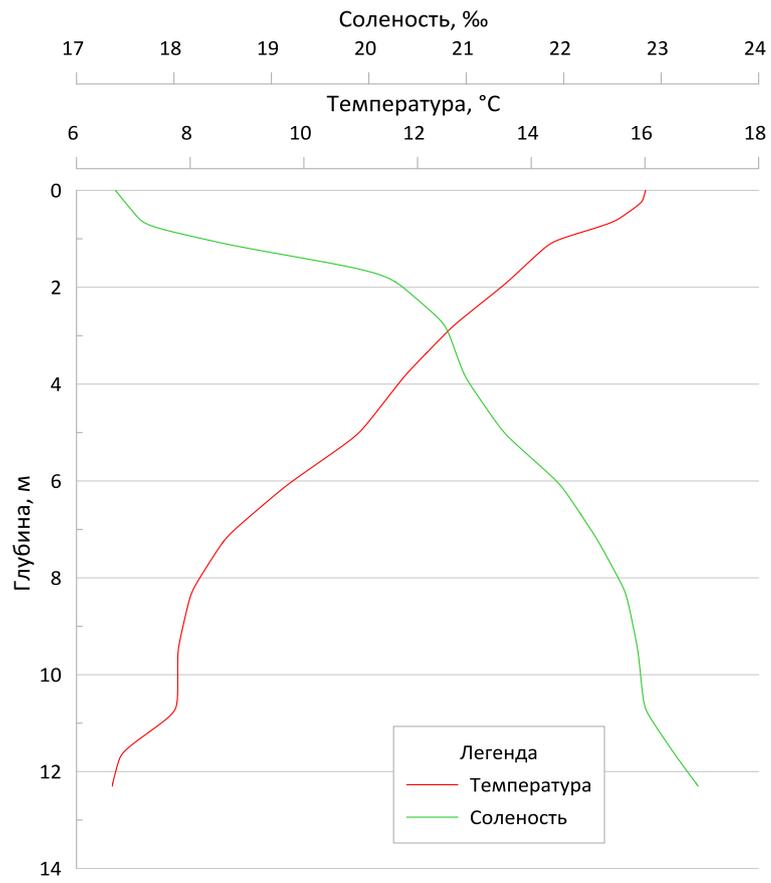


Рисунок 1.5 . Распределение T и S для станции №6 (2004 г.) – 67.09° с.ш., 32.26° в.д.

Классическое распределение T и S в толще воды
Кандалакшского залива летом 2005 г. на станции №15

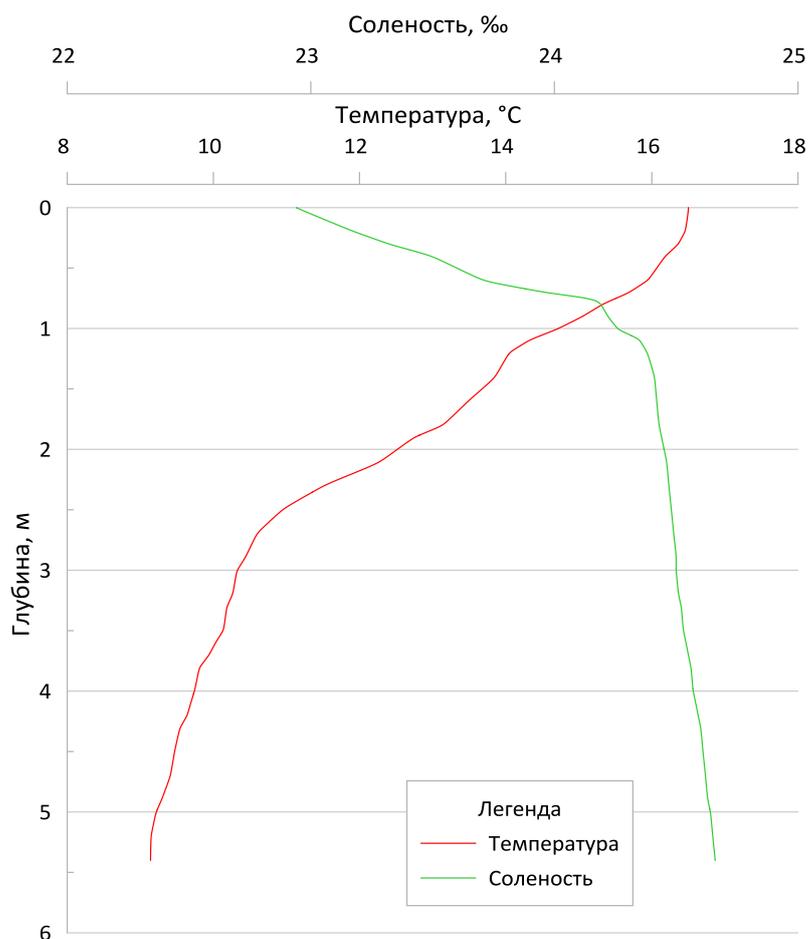


Рисунок 1.6 Распределение T и S для станции №15 (2005 г.) – 67.04° с.ш., 32.20° в.д.

Из вышеприведенных рисунков видно, что распределение исследуемых характеристик соответствует классическому распределению температуры и солёности в океане.

1.5.4 Льдообразование

В самые суровые зимы Кандалакшский залив полностью охвачен устойчивым ледяным покровом. Для мягкой зимы характерен припай, который лежит к северо-западу от м. Кочинный. В январе лишь в центральных районах залива нет сплоченного льда [29].

Первоначально лед образуется в устьях рек, потому что там вода более пресная. Затем лед развивается у отмелей берегов, где широкие и неглубокие насыпи способствуют его образованию во время отлива. Главным образом, ледяной покров состоит из плавучих льдов, которые занимают более 80% всей

площади залива, а образование припая развито слабо и составляет менее 10% от общей площади. Припай первоначально образуется у отмелей берегов. [29].

В исследуемой акватории ледяной покров неустойчив из-за сильных приливо-отливных течений и ветров, что является его особенностью. Направление и скорость дрейфа льда обычно совпадают с направлением и скоростью течений бассейна, но время от времени скорость дрейфа может отличаться от скорости течений из-за влияния ветров. При приливе льды, как правило, сжимаются, а при отливе – разрежаются [29].

Окончательно ледяной покров полностью исчезает из залива в последней декаде мая, однако в некоторых годах процесс распада льда может продолжаться до конца июня или начала июля. В немногих случаях весь лед успевает растаять на месте, обычно он выносится в Белое море, а затем в Баренцево море [29].

2 МЕТОДОЛОГИЯ И ИНСТРУМЕНТАРИЙ

Для выделения классов водных масс использовался метод кластерного анализа (МКА). Классификация МКА производилась с помощью ПО «Статистика» и «Past», а для построений пространственного распределения использовался пакет программ «Serfer» и «Grapher».

2.1 Описание методов элементарной статистики

Элементарная статистика является одной из групп статистических методов обработки и анализа гидрометеорологической информации и включает в себя первичную обработку наблюдений. Ниже представлены основные показатели этого раздела:

Среднее арифметическое значение статистического ряда (x_i):

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

где N - длина статистического ряда [30].

Медиана (Me) и ее главное свойство [30, 31]:

$$\sum_{i=1}^N |x_i - Me| = \min$$

Мода (Mo) – значение переменной, которое чаще всего встречается в статистическом ряду [31].

Дисперсия (D) [30, 31]:

$$D = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

Стандартное отклонение (σ) [30, 31]:

$$\sigma = \sqrt{D}$$

Размах вариации (R) [30, 31]:

$$R = \max - \min$$

Коэффициент вариации (C) [31]:

$$C = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

2.2 Описание метода кластерного анализа

Метод кластерного анализа - это статистический метод, используемый для выявления сходства между объектами и их группировки в кластеры на основе их схожих характеристик [33].

Принцип работы метода кластерного анализа заключается в разделении всех данных на группы (кластеры) таким образом, чтобы объекты внутри каждой группы были максимально похожи друг на друга, а объекты из разных групп были максимально различны [32].

Существует два подхода к кластеризации данных [32, 33]:

- Иерархический: в ходе проведения данного подхода исследователь может определить количество кластеров заранее и затем выполнить процедуру разбиения на кластеры. Этот метод выстраивает дендрограмму, где объекты проходят иерархическое слияние и разделение до тех пор, пока не достигнут те кластеры, которые ищутся;

- Неиерархический: этот метод подразумевает предварительную установку количества кластеров пользователем и разделение объектов на эти кластеры при помощи алгоритма.

В своей работе я использовала иерархический метод МКА, а именно метод дендрограмм.

2.3 Метод дендрограмм

Метод дендрограмм - это метод кластерного анализа, который позволяет на основе сходства объектов разбить их на группы - кластеры. Он используется для анализа многомерных статистических данных и определения их взаимосвязей [32].

Метод дендрограмм производит иерархическое объединение объектов попарным методом на основании расстояний между ними. Вначале каждый объект рассматривается как отдельный кластер, затем два ближайших кластера объединяются в один и таким же образом продолжается до тех пор, пока не будет образован единственный кластер, содержащий все объекты. На основе этого процесса строится дендрограмма - график, который иллюстрирует относительное расстояние между каждой парой объектов или кластеров [33].

Дендрограмма представляет собой древовидный график, где каждый узел - это кластер, а длина ветви, соединяющей узлы, соответствует расстоянию между кластерами. Чем меньше расстояние между кластерами, тем более схожими оказываются объекты, которые он объединяет [32].

В результате использования метода дендрограмм мы можем получить информацию о том, как объекты (или кластеры объектов) группируются похожими свойствами и как они связаны между собой [32, 33].

2.4 ПО «Serfer» и «Grapher»

2.4.1 «Grapher»

«Grapher» - это профессиональная научная программа, разработанная компанией Golden Software, которая позволяет строить и анализировать графики и карты научных данных на компьютере с операционной системой

Windows. ПО имеет простой интерфейс и широкий спектр перспектив, которые позволяют обрабатывать большие объемы данных с возможностью сохранения таких графических форматов, как BMP, TIFF, JPEG, EMF и другие.

Платформа содержит множество инструментов для построения функциональных графиков, 3D-диаграмм, карт, гистограмм и других типов графиков. Также обеспечивает рабочую среду для создания и настройки графиков, таких как изменение стилей линий, форма и размер символов, шрифты и цвета, установка легенд и подписей осей. «Grapher» позволяет легко строить карты, используя широкий диапазон картографических проекций. Пользователи могут создавать и модифицировать точки, линии, области и контуры на картах, а также управлять цветами, изображениями, линиями границы и другими атрибутами.

«Grapher» поддерживает импорт данных из различных форматов файлов, включая TXT, XLS, XLSX и другие. Кроме того, пользователи могут использовать множество встроенных математических операций для обработки и преобразования данных. Программа «Grapher» предназначена для ученых, инженеров и других пользователей, которые работают с большими объемами данных и занимаются научными исследованиями. Она является мощным инструментом для визуализации научных данных, что позволяет легче воспринимать и анализировать полученные результаты [34].

2.4.2 «Serfer»

«Surfer» - это профессиональное программное обеспечение для создания и анализа трехмерных карт, объединенных с пространственными данными. Платформа также разработана компанией Golden Software и является мощным инструментом для моделирования и визуализации географических данных, обеспечивает широкий спектр функций для создания графических изображений и анализа данных, включая визуализацию пространственных данных.

С помощью программы «Surfer» можно создавать трехмерные поверхности и контуры, генерировать цифровые модели рельефа для гео- и гидрологических данных, а также экономических и социальных показателей.

Кроме того, ПО позволяет создавать различные графики, диаграммы и таблицы для анализа данных и представления их в удобном для восприятия виде.

Данная программа имеет удобный пользовательский интерфейс и поддерживает импорт и экспорт большинства форматов файлов, таких как SHP, DXF, XLS, TXT, BMP, EMF, TIFF и многих других. Также, «Surfer» обеспечивает сеть дополнительных встроенных инструментов, которые позволяют настраивать и создавать визуальные элементы, раскладывать различные элементы дизайна, сохранять созданные изображения, а также включать различные графические элементы, такие как маркеры, фоны, метки и т.д.

«Surfer» используется учеными, инженерами и другими пользователями, для проведения глобальных исследований рельефа, измерения изменений в телекоммуникационной инфраструктуре, анализа топографических единиц на поверхности Земли и предоставления результатов исследований в формате 3D графики или карт [34].

3 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ АНОМАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ НА АКВАТОРИИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН ЕЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

В ходе экспедиции 2003-2005 гг. были выполнены станции, их расположение показано на рисунках 3.1-3.3.

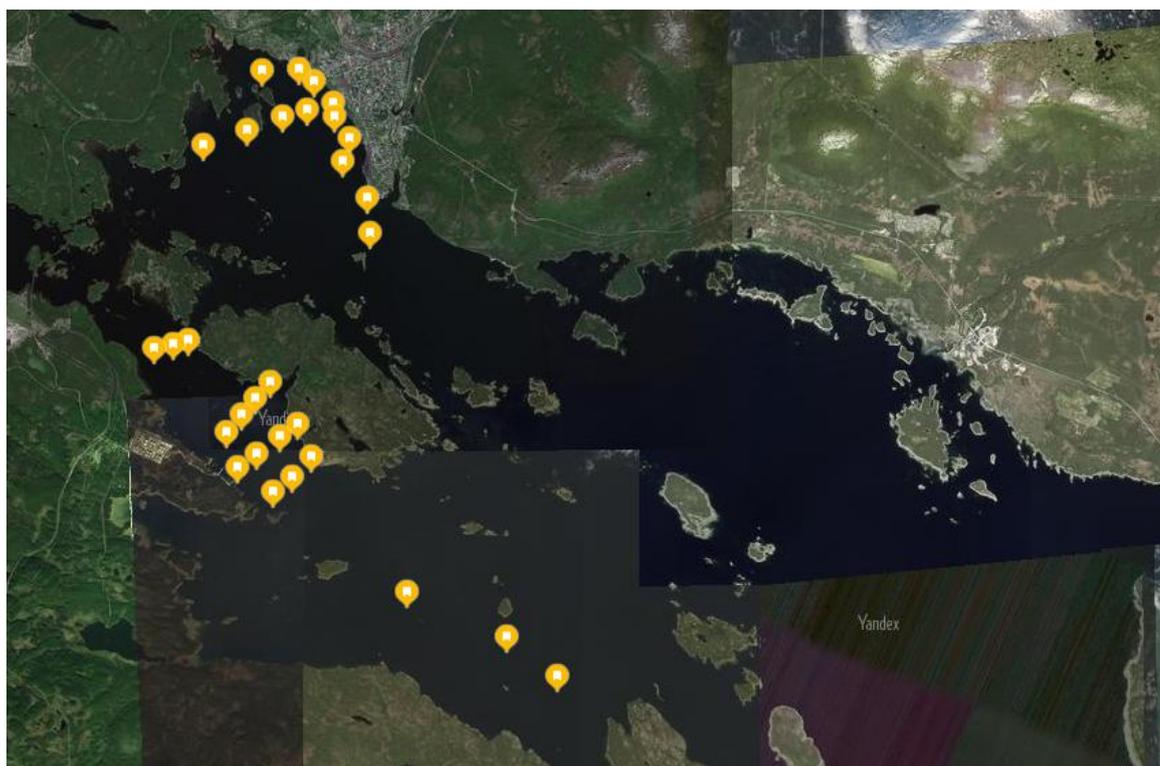


Рисунок 3.1 Расположение станций в акватории Кандалакшского залива в 2003 г.

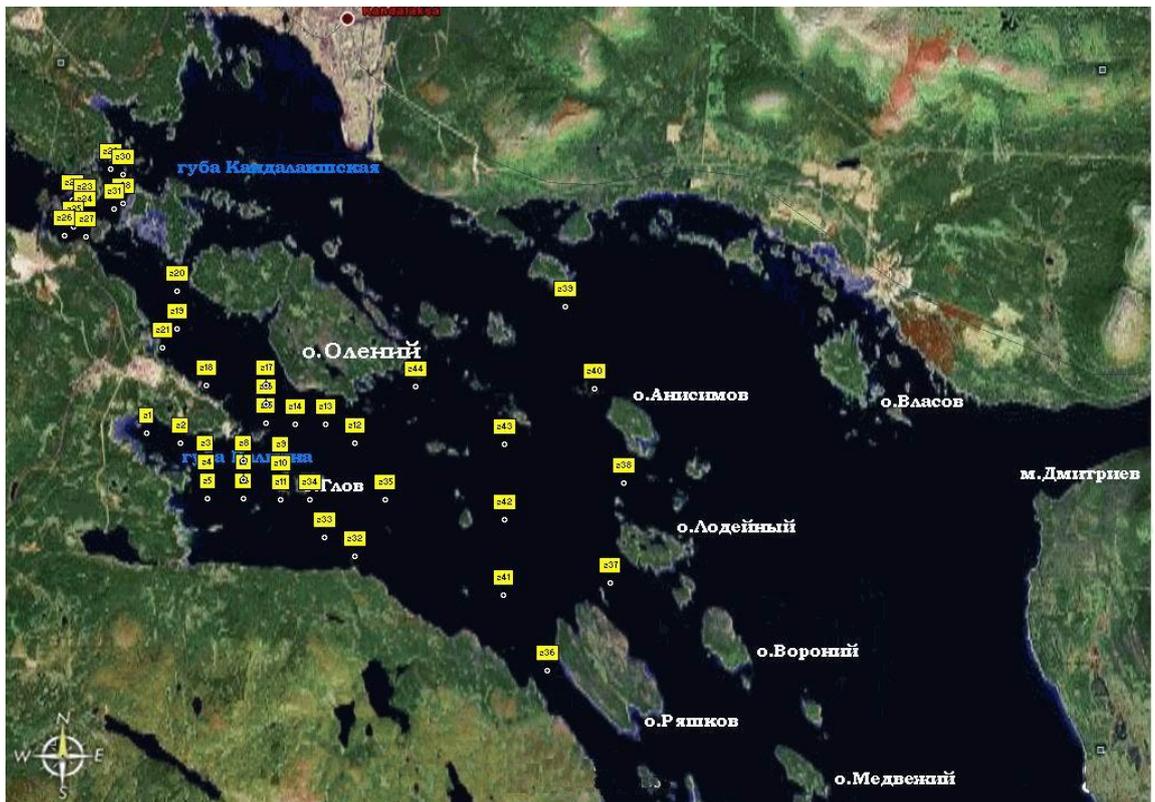


Рисунок 3.2 Расположение станций в акватории Кандалакшского залива в 2004 г.

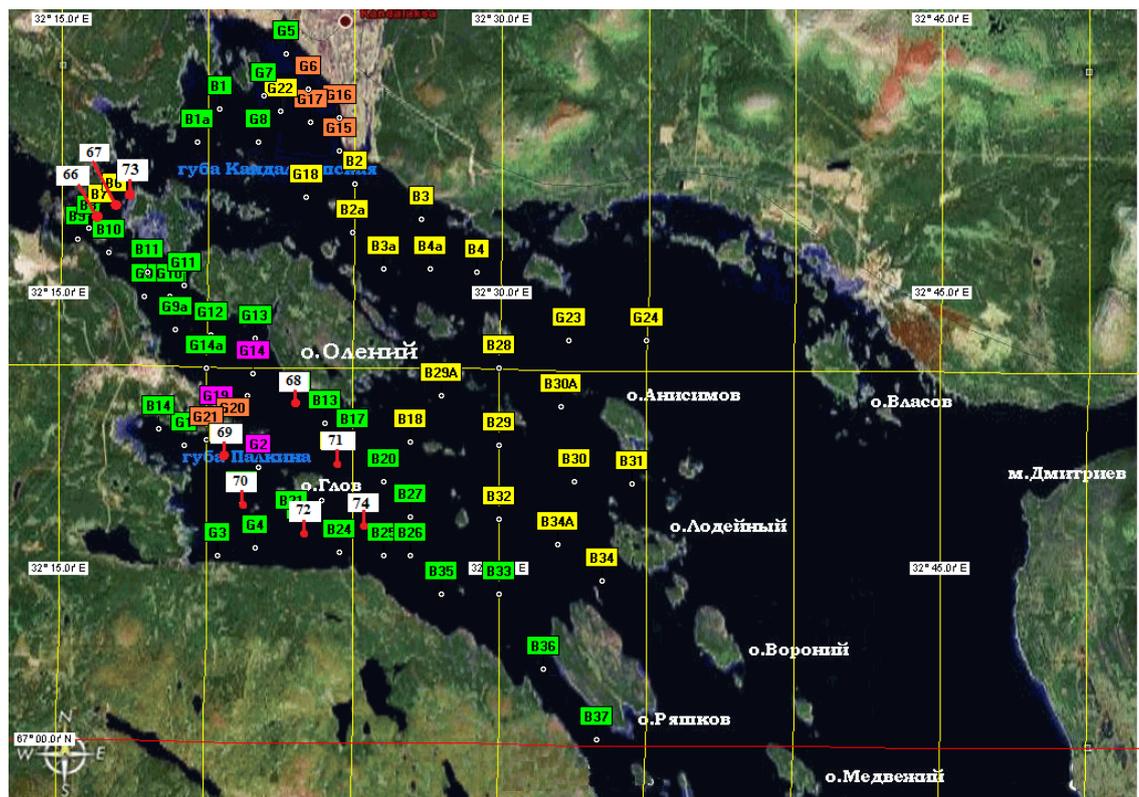


Рисунок 3.3 асположение станций в акватории Кандалакшского залива в 2005 г.

Исходя из данных гидрометеорологических характеристик, полученным по результатам экспедиции 2003-2005 гг., в пакете программ «Serfer» и

«Grapher» были построены профили распределения температуры и солености воды (см. рисунки 3.4 – 3.12). При построении комбинированных профилей в «Serfer» использовалась линейная интерполяция для отражения полей изотерм и изогалин.

3.1 Распределение температуры и солености в Кандалакшском заливе в 2003 году

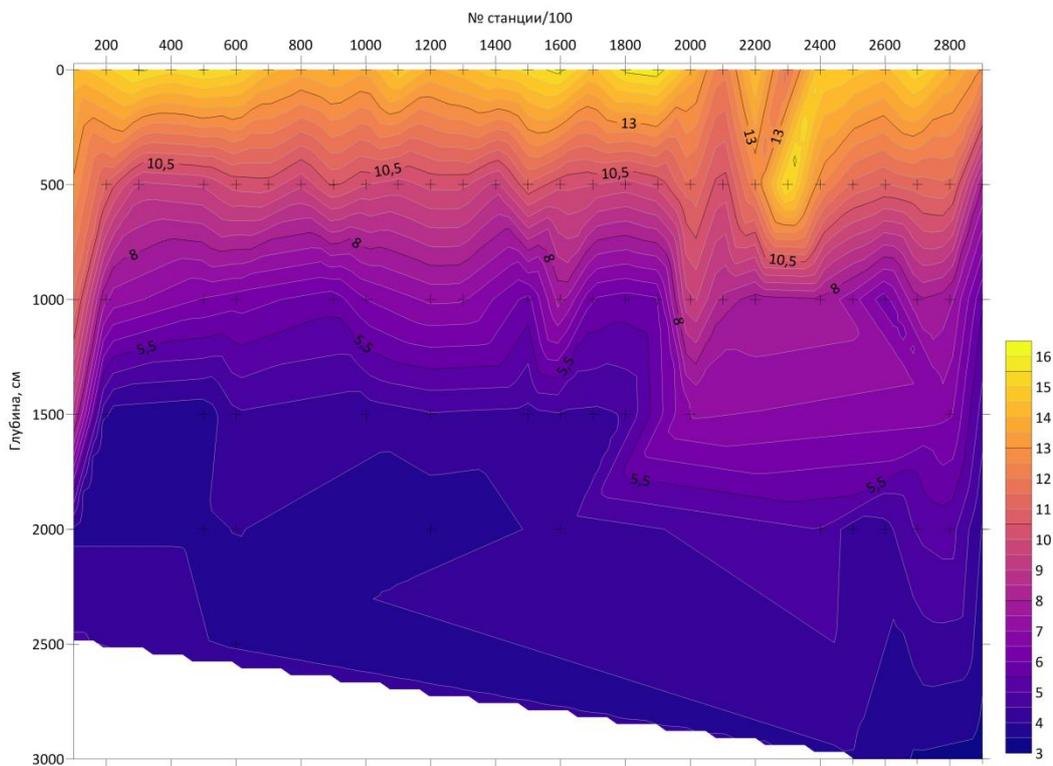


Рисунок 3.4 Распределение T с глубиной для всех станций в 2003 году

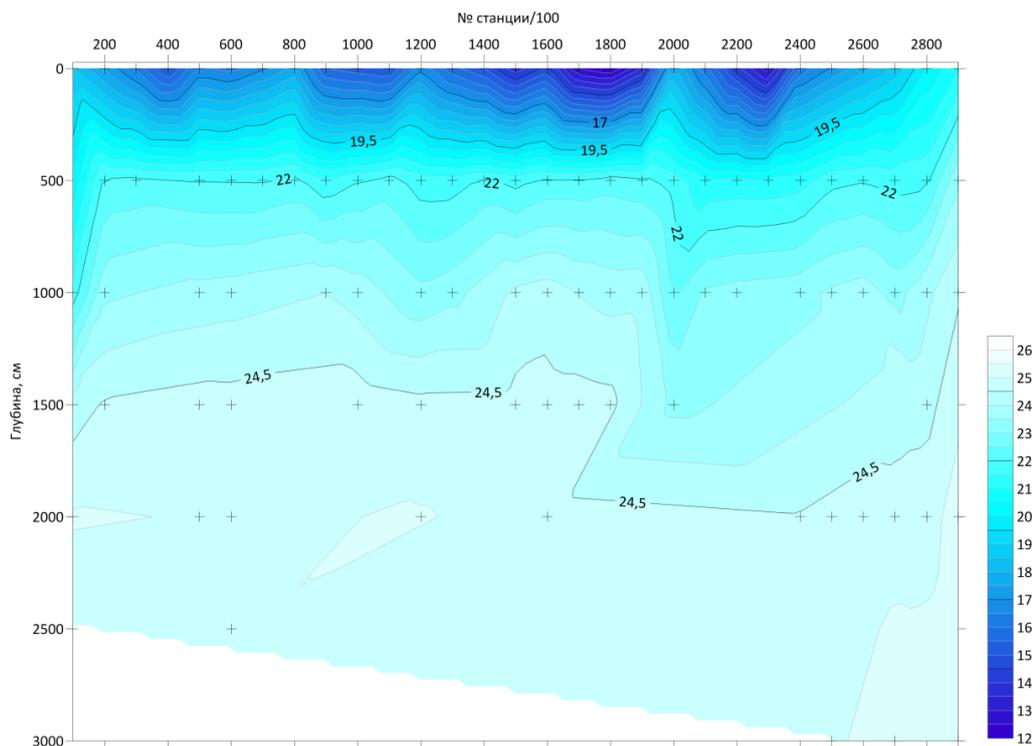


Рисунок 3.5 Распределение S с глубиной для всех станций в 2003 году

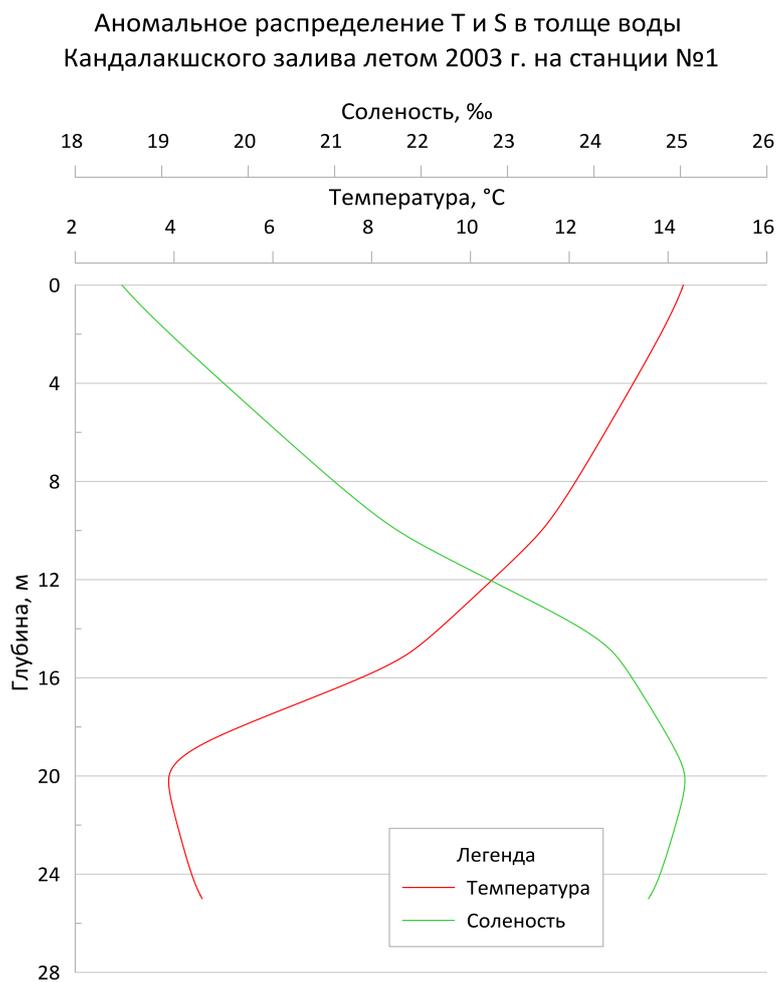


Рисунок 3.6 Распределение T и S с глубиной для станции №1 в 2003 году

На рисунках 3.4 – 3.6 представлено распределение температуры и солености по глубине в Кандалакшском заливе в 2003 году.

Из рисунка 3.4 видно, что температура распределена по глубине, в целом, закономерно, но следует отметить небольшие отклонения. На станциях №1, №5, №23 на самом нижнем горизонте значение возрастает по сравнению с вышерасположенными точками. Поэтому при интерполяции программой «Serfer» получается замкнутая изотерма. На этих станциях происходит выход пресных вод, что подтвердит и соленостное распределение. Также данная аномалия отражена на рисунке 3.6: температура воды закономерно убывает с глубиной, но на 20 метрах меняет свои значения и начинает немного возрастать с 3.9°C до 4.57°C.

На рисунке 3.5 можно выделить следующие аномалии соленостного распределения. Исследуемая характеристика у придонного слоя имеет неклассическое распределение. На 20 метрах глубины наблюдается четко выраженное замкнутое кольцо изогалины и соответствует 12-й станции. Схожая ситуация наблюдается и на станции №1, подробное распределение солености на которой также иллюстрирует рисунок 3.6. Ниже горизонта 20-ти метров соленость уменьшается с 25.05‰ до 24.63‰.

Наблюдаются замкнутые кольца изогалин, характерные для летнего периода 2003 года. Изолиния кольца имеет более низкое значение солености, чем окружающий слой воды. Такое явление можно объяснить тем, что здесь есть остаточная пресная вода, которая когда-то ранее вышла из под придонной коры в результате сейсмической активности и образования разломов дна. Далее эта вода немного поднималась, но не могла достигнуть вышележащих горизонтов или опуститься, так как ее плотность ниже плотности более соленой воды. Возможно, этому предшествовал мощный выброс подземной пресной воды, которая начинала по закону подниматься на свои «положенные» вышележащие горизонты, но оказалось закупорена окружающим слоем с иными показателями.

3.2 Распределение температуры и солености в Кандалакшском заливе в 2004 году

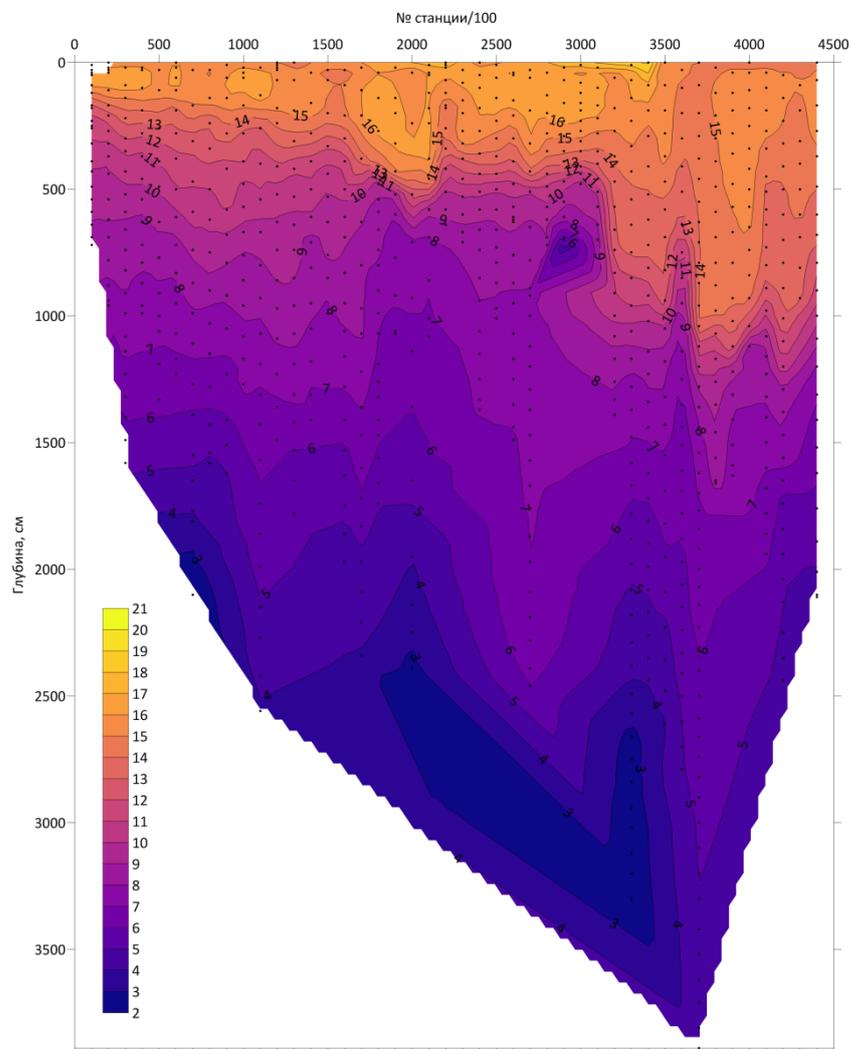


Рисунок 3.7 Распределение T с глубиной для всех станций в 2004 году

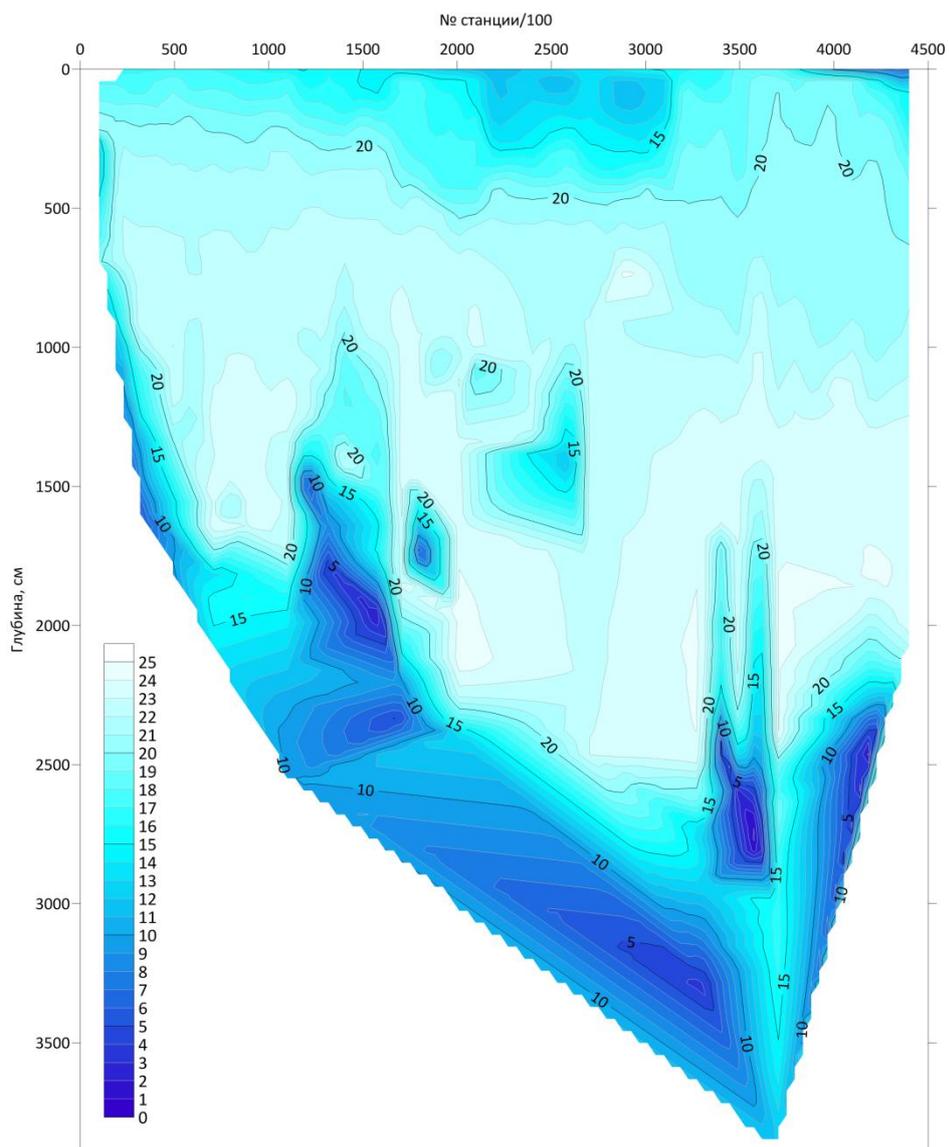


Рисунок 3.8 Распределение S с глубиной для всех станций в 2004 году

Аномальное распределение T и S в толще воды
Кандалакшского залива летом 2004 г. на станции №33

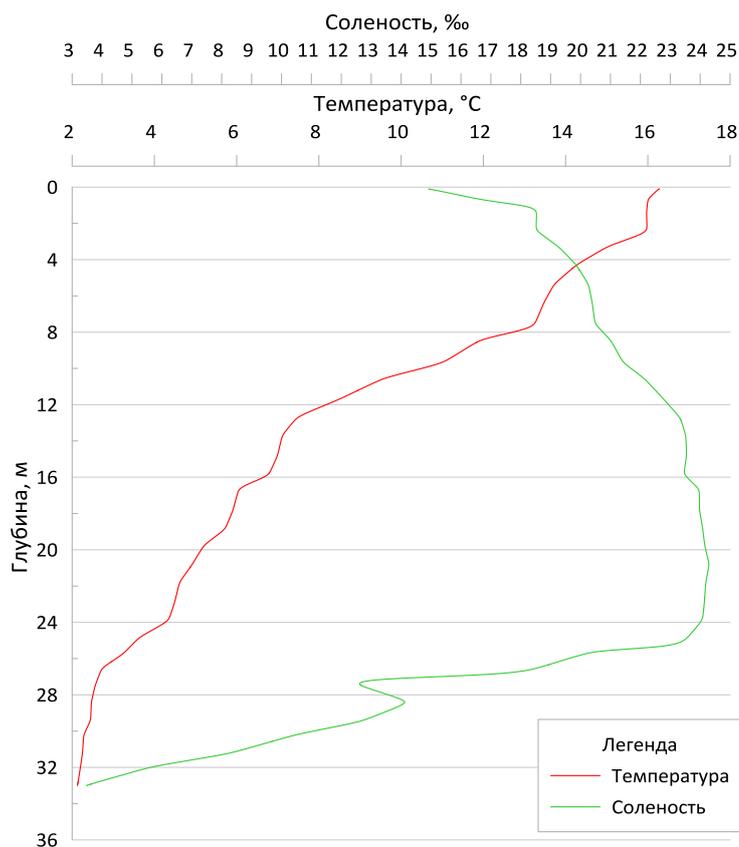


Рисунок 3.9 Распределение T и S с глубиной для станции №33 в 2004 году

Анализируя рисунки 3.7 – 3.9, можно отметить явно выраженную аномалию стратификации вод.

На рисунке 3.7 показано распределение температуры с глубиной. Здесь отмечается замкнутая изотерма с температурой 2,3°C. Водная масса с таким значением температуры должна быть расположена на самом дне, так как это наименьшее значение в исследуемой области данного периода. Но ситуация сложилась следующим образом: ниже лежит слой воды с температурой 3-4°C, что противоречит закону распределения данной характеристики в океане.

Такая же ситуация происходит с кольцами изогалин на рисунке 3.8. На многих станциях во всех слоях наблюдаются замкнутые изолинии. Подтверждение явной аномалии солёностного распределения видно и из рисунка 3.9, где характеристика на станции №33 очень резко и скачкообразно убывает после горизонта 26-ти метров: с 20.26‰ до 3.48‰.

На поверхности исследуемой акватории также есть участки распресненной воды, но при этом для станций не характерно впадение каких-либо речных вод или другие причины. Отсюда можно заключить: как и в 2003 году, такой аномалии соответствовал мощный выброс подводных источников. Некоторые водные массы могли подняться чуть выше и ближе к поверхности, чем те, которые оказались зажатыми у дна. Исследование сейсмической активности региона приводит к подтверждению версии.

3.3 Распределение температуры и солености в Кандалакшском заливе в 2005 году

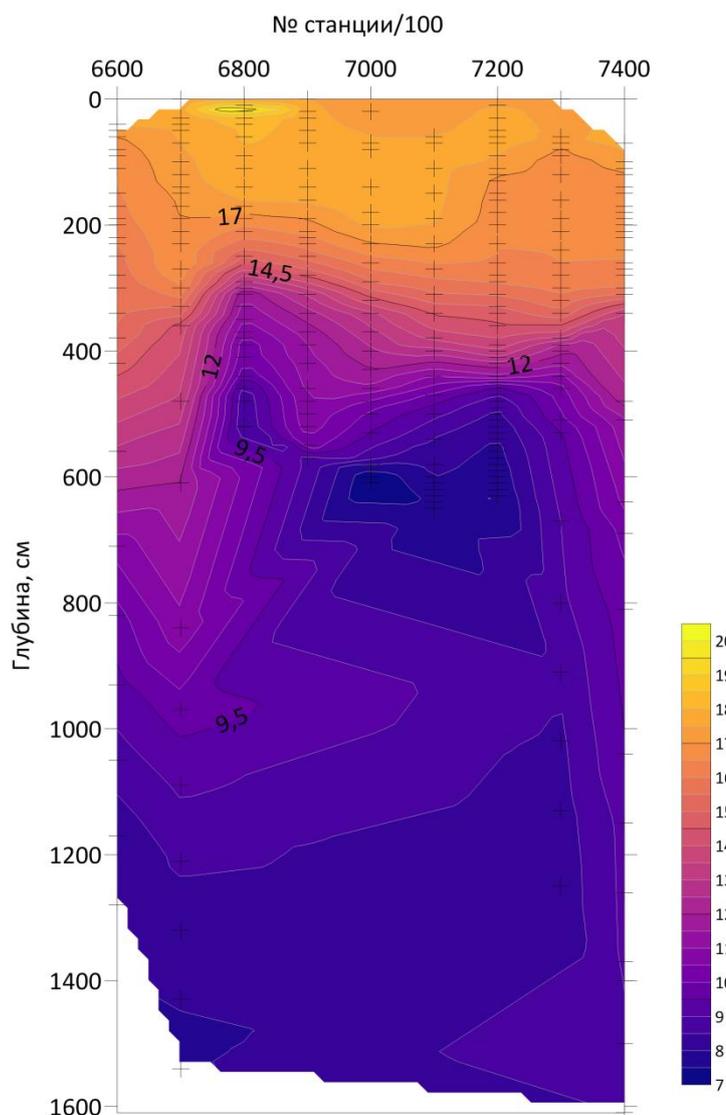


Рисунок 3.10 Распределение T с глубиной для всех станций в 2005 году

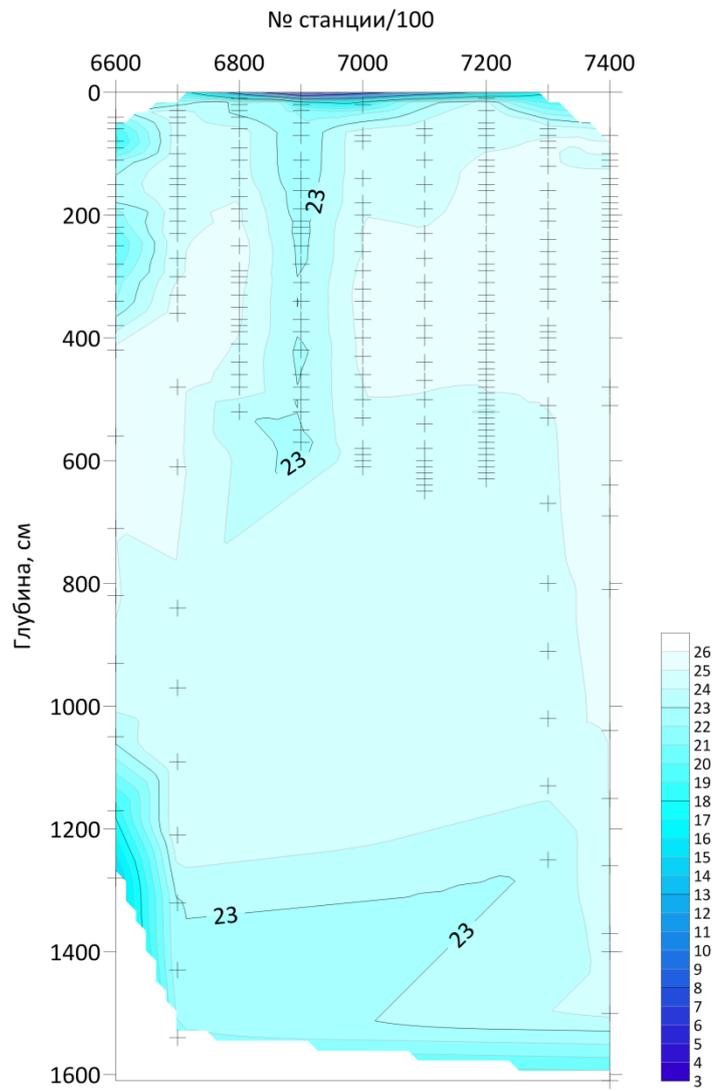


Рисунок 3.11 Распределение S с глубиной для всех станций в 2005 году

Аномальное распределение Т и S в толще воды
Кандалакшского залива летом 2005 г. на станции №66

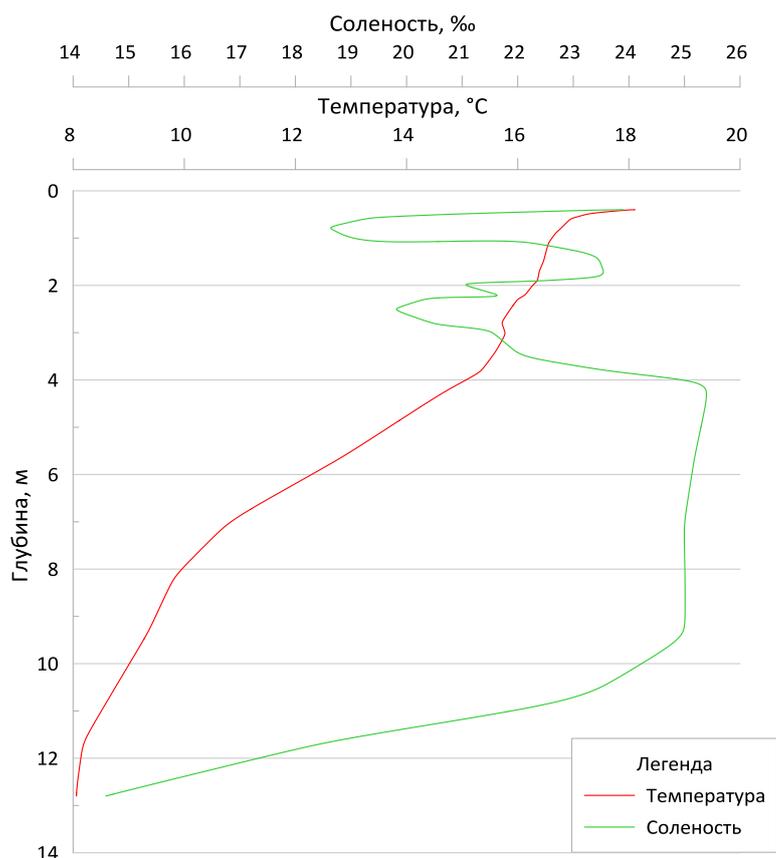


Рисунок 3.12 Распределение Т и S с глубиной для станции №66 в 2005 году

На рисунках 3.10 – 3.12 представлено распределение температуры и солёности по глубине в Кандалакшском заливе в 2005 году.

Неклассическое распределение температуры в толще воды иллюстрирует рисунок 3.10. На глубине 6 метров расположено замкнутое кольцо с температурным значением 7-8°C. Но в слое ниже этого кольца температура составляет примерно 9°C, что противоречит классическому распределению: температура на нижележащих слоях должна быть меньше.

Рисунки 3.11 – 3.12 показывают аномалию в распределении солёности. На комбинированном графике в диапазоне глубины 6-13 метров по всем станциям залегает слой опресненной воды со значением около 23‰. Ниже слой более солёной воды – 24-25‰, и это нормальное положение водных масс. Но в вышележащем слое – от поверхности до 6 м – находится более солёная и тяжёлая вода. Такая водная масса должна была бы вытеснить более лёгкую и

пресную нижележащую, но такое поведение не наблюдается. На рисунке 3.12 соленость ведет себя также аномально и скачкообразно, профиль отражает аналогичную ситуацию. Отсюда можно сделать вывод: когда-то произошел мощный выброс придонной пресной воды, которая немного поднялась, но не вышла к поверхности, так как оказалась зажата плотными водными массами.

В целом, по графикам видно, что выравнивание температуры в заливе происходит быстрее, чем выравнивание солености. Такая закономерность прослеживается по диапазонам изменения характеристик. Отношение изменения солености к температуре = $1\text{‰}/4^{\circ}\text{C}$.

Подводя итог вышесказанному, можно заключить: для заданного периода существуют схожие аномальные распределения исследуемых характеристик на акватории Кандалакшского залива. Каждый год ситуация повторяется, но в 2003 неклассическое распределение выражено более слабо, чем в последующие годы.

3.4 Метод кластерного анализа

С помощью метода кластерного анализа была произведена оценка распределения водных масс по температуре и солености на акватории Кандалакшского залива за 2003-2005 гг. на стандартных горизонтах 0, 5 и 10 метрах. По температуре воды делились на «теплые», «средние» и «холодные», а по солености - на «соленые», «средние» и «солонватые» (см. рисунки 3.13 – 3.30, таблицы 3.1 – 3.18).

3.4.1 2003 год

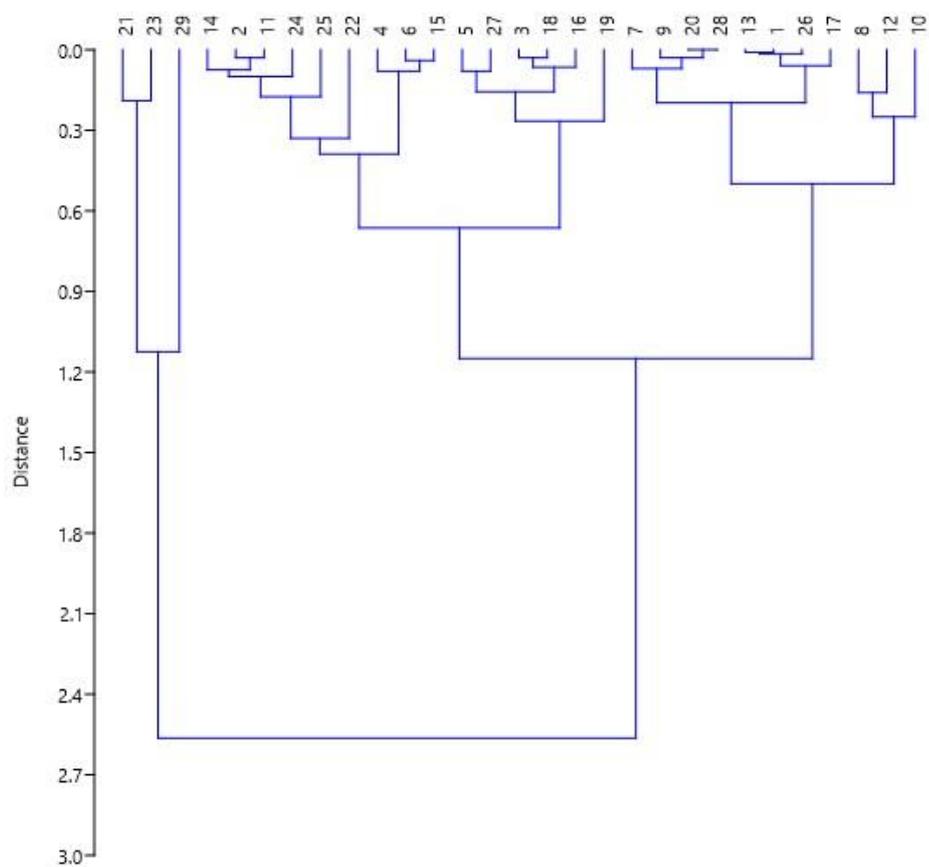


Рисунок 3.13 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 0 м

Таблица 3.1 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 0 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
2	14.92	1	14.31	21	11.91
3	15.62	7	14.18	23	11.72
4	15.18	8	13.73	29	12.94
5	15.54	9	14.13		
6	15.28	10	13.56		
11	14.95	12	13.89		
14	14.86	13	14.3		
15	15.24	17	14.37		
16	15.7	20	14.1		
18	15.65	26	14.32		
19	15.86	28	14.1		
22	14.57				
24	15.01				
25	14.76				
27	15.46				

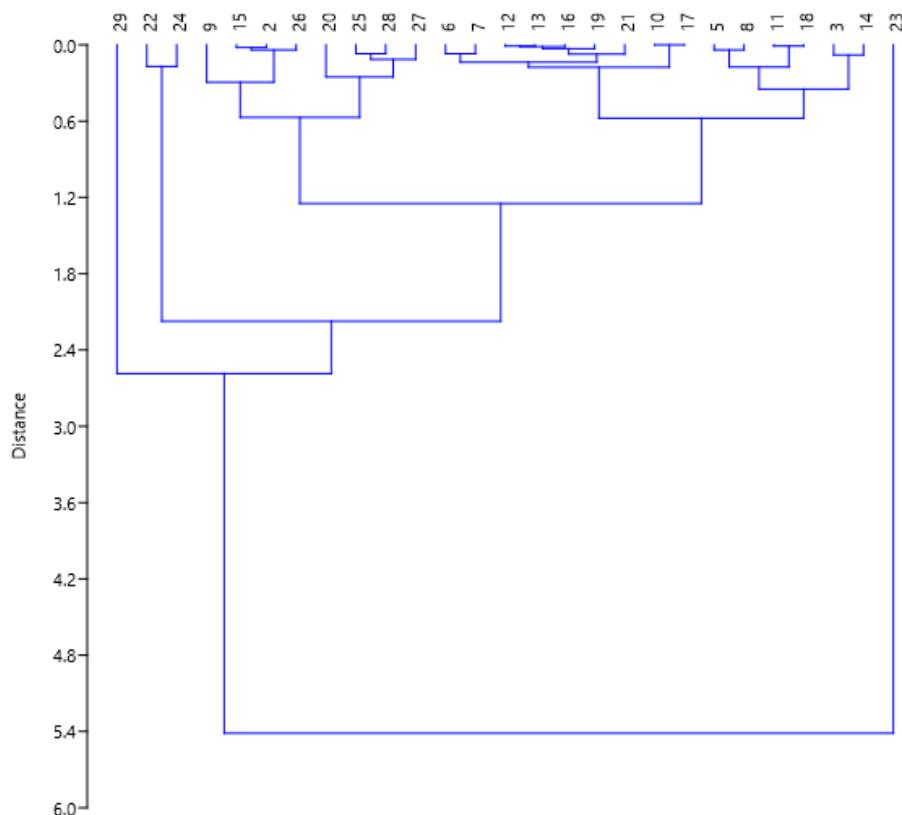


Рисунок 3.14 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 5 м

Таблица 3.2 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 5 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
2	10.91	6	10.23	3	9.36
9	10.64	7	10.3	5	9.56
15	10.93	10	9.99	8	9.6
20	11.62	12	10.15	11	9.76
22	12.42	13	10.14	14	9.28
23	15.82	16	10.16	18	9.75
24	12.59	17	9.99	29	7.92
25	11.37	19	10.12		
26	10.96	21	10.07		
27	11.29				
28	11.44				

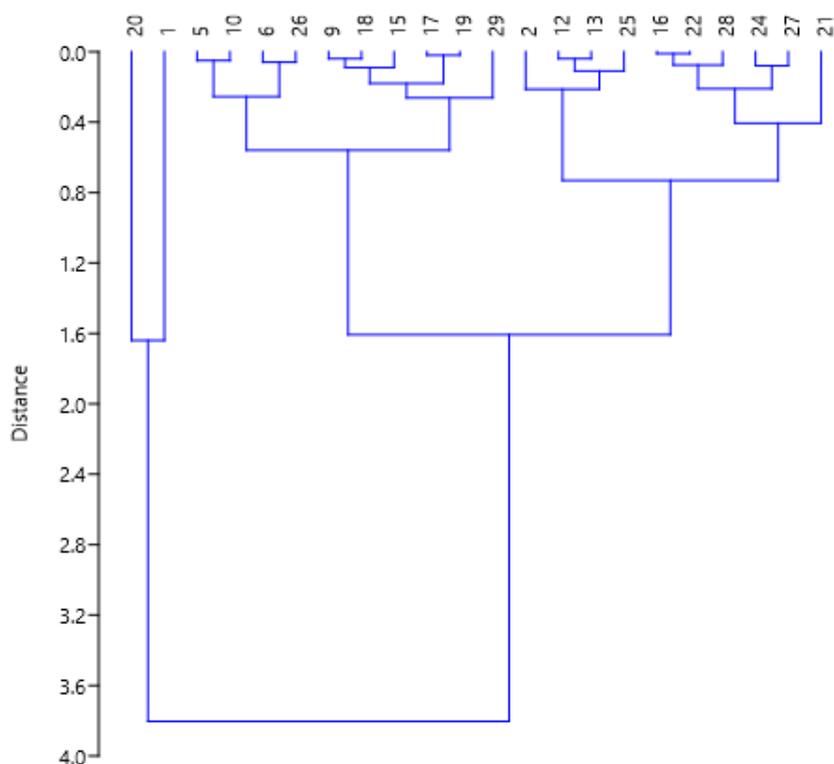


Рисунок 3.15 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 10 м

Таблица 3.3 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 10 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
1	11.44	2	7.34	5	6.45
16	7.78	12	7.11	6	6.25
20	9.8	13	7.07	9	5.71
21	8.25	25	7.2	10	6.5
22	7.79			15	5.82
24	7.93			17	5.95
27	8.01			18	5.75
28	7.71			19	5.93
				26	6.19
				29	5.57

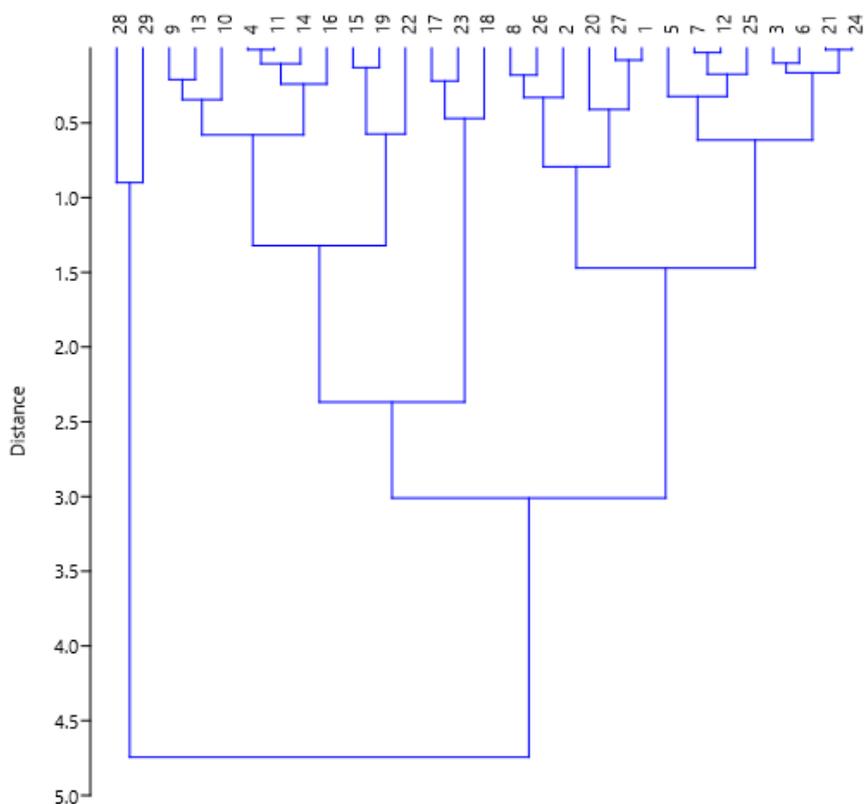


Рисунок 3.16 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 0 м

Таблица 3.4 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 0 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
1	18.54	3	16.4	4	14.91
2	17.43	5	16.64	9	15.48
8	17.67	6	16.3	10	15.24
20	18.17	7	16.92	11	14.92
26	17.85	12	16.89	13	15.69
27	18.62	21	15.69	14	15.02
28	20.05	24	16.18	15	13.69
29	20.95	25	17.08	16	14.71
				17	12.42
				18	12.06
				19	13.56
				22	14.2
				23	12.64

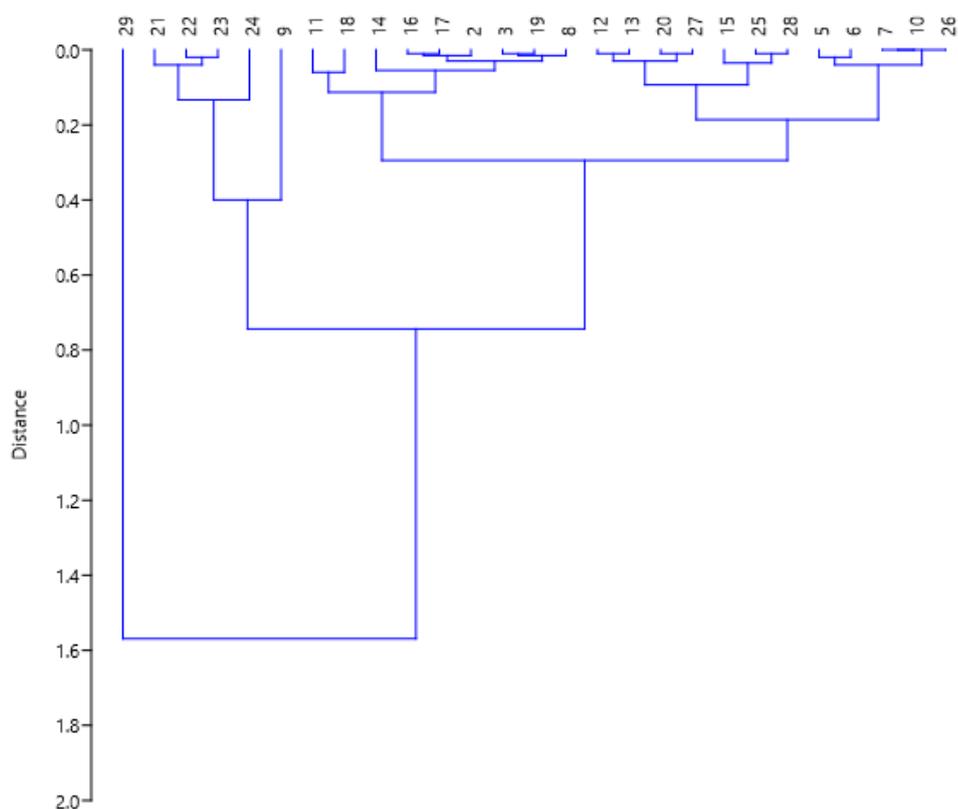


Рисунок 3.17 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 5 м

Таблица 3.5 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 5 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
2	22.13	5	22.02	9	21.58
3	22.17	6	22	21	21.12
8	22.16	7	21.97	22	21.17
11	22.23	10	21.97	23	21.15
14	22.1	12	21.74	24	21.28
16	22.15	13	21.75		
17	22.14	15	21.83		
18	22.29	20	21.77		
19	22.18	25	21.86		
29	23.43	26	21.97		
		27	21.78		
		28	21.87		

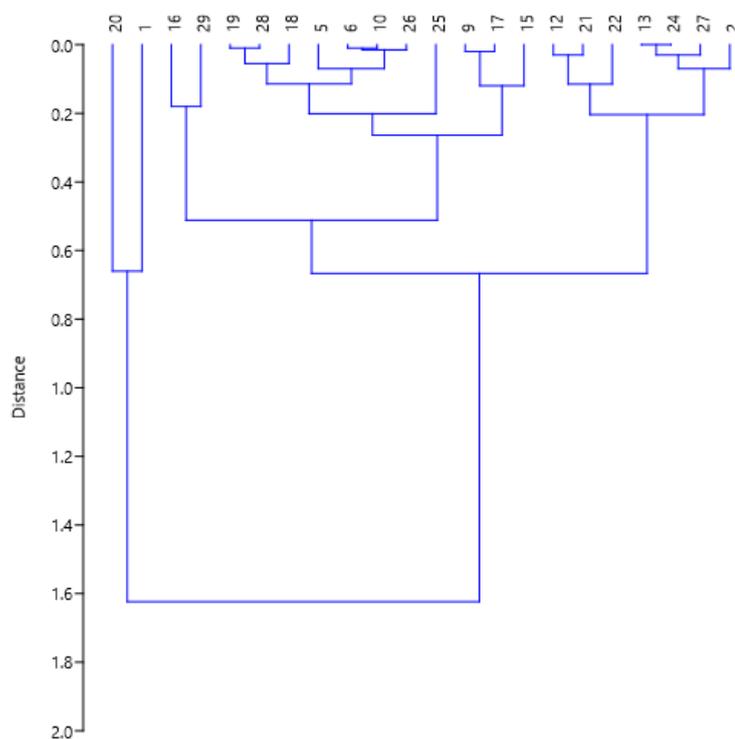


Рисунок 3.18 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 10 м

Таблица 3.6 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2003 году – горизонт 10 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
9	24	5	23.69	1	21.73
15	24.11	6	23.76	2	23.39
16	24.26	10	23.77	12	23.11
17	23.98	18	23.82	13	23.33
29	24.44	19	23.87	20	22.39
		25	23.59	21	23.08
		26	23.75	22	23.21
		28	23.88	24	23.33
				27	23.3

3.4.2 2004 год

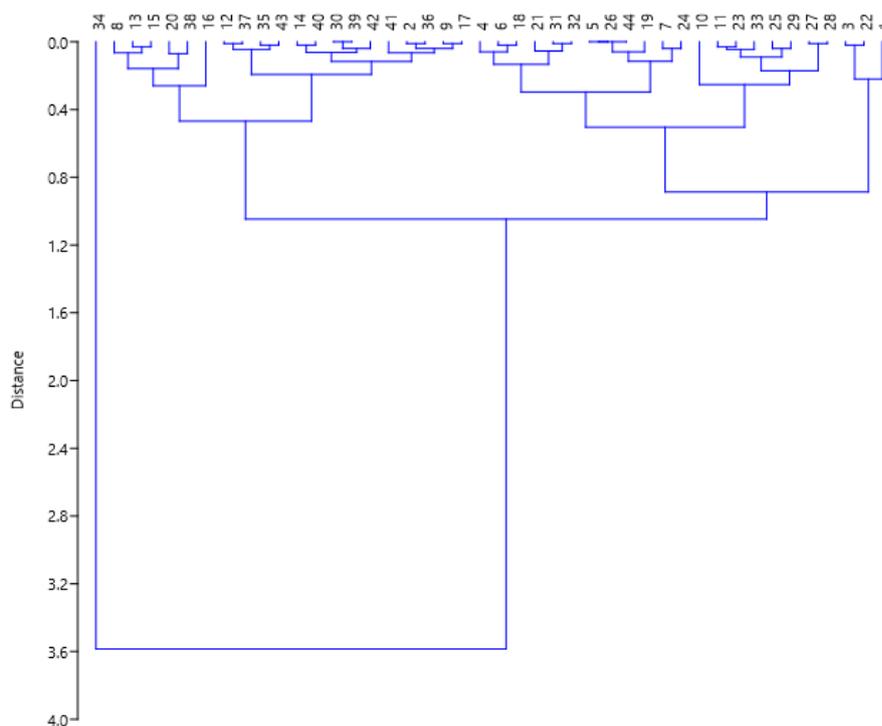


Рисунок 3.19 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 0 м

Таблица 3.7 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 0 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
1	17	4	15.94	2	15.3
3	16.77	5	15.64	8	14.73
10	16.49	6	16.01	9	15.25
11	16.25	7	15.56	12	15.02
22	16.79	18	15.99	13	14.65
23	16.22	19	15.7	14	15.2
25	16.32	21	15.81	15	14.68
27	16.12	24	15.52	16	14.49
28	16.11	26	15.64	17	15.26
29	16.36	31	15.87	20	14.88
33	16.28	32	15.86	30	15.16
34	19.18	44	15.64	35	15.07
				36	15.29
				37	15.01
				38	14.81
				39	15.16
				40	15.22
				41	15.34
				42	15.12
				43	15.05

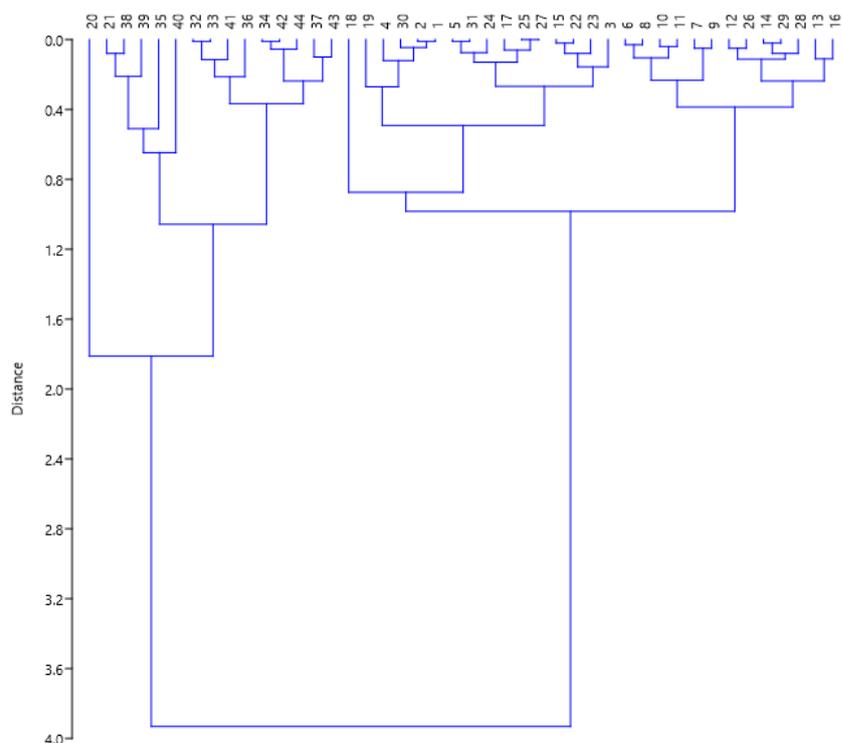


Рисунок 3.20 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 5 м

Таблица 3.8 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 5 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
20	12.47	6	10.97	1	9.62
21	14.85	7	11.11	2	9.61
32	13.71	8	10.94	3	9.73
33	13.72	9	11.16	4	9.48
34	13.96	10	10.87	5	10.16
35	14.45	11	10.83	15	9.85
36	13.54	12	10.57	17	10.01
37	14.26	13	10.37	18	8.97
38	14.93	14	10.67	19	9.3
39	15.1	16	10.48	22	9.87
40	15.48	26	10.62	23	9.94
41	13.83	28	10.76	24	10.23
42	13.95	29	10.69	25	10.07
43	14.16			27	10.07
44	14.01			30	9.57
				31	10.15

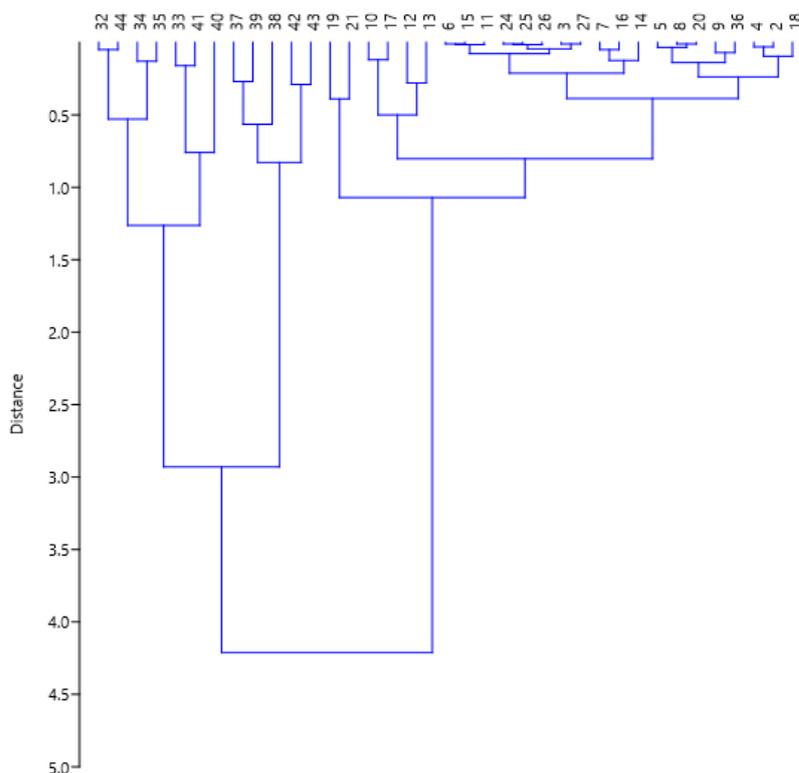


Рисунок 3.21 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 10 м

Таблица 3.9 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 10 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
32	10.37	3	7.67	2	7.3
33	11.06	6	7.79	4	7.27
34	9.93	7	7.96	5	7.46
35	9.8	10	8.24	8	7.43
37	13.88	11	7.77	9	7.54
38	14.31	12	8.54	18	7.19
39	13.61	13	8.82	19	6.5
40	11.9	14	7.86	20	7.42
41	11.22	15	7.78	21	6.89
42	12.96	16	8.01	36	7.61
43	13.25	17	8.12		
44	10.42	24	7.72		
		25	7.71		
		26	7.73		
		27	7.68		

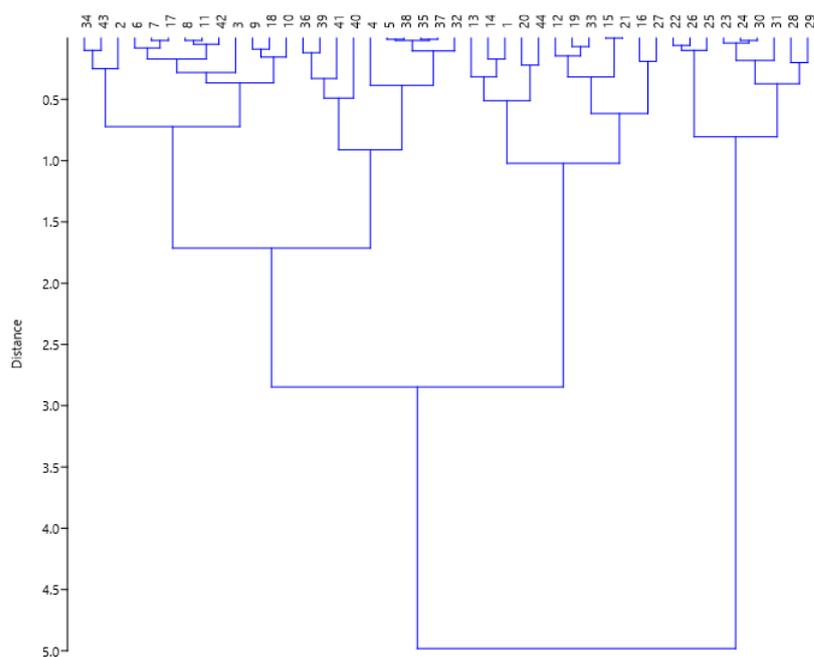


Рисунок 3.22 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 0 м

Таблица 3.10 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 0 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
2	16.41	1	15.64	22	11.32
3	17.65	12	14.81	23	12.24
4	18.16	13	16.04	24	12.29
5	18.54	14	15.81	25	11.45
6	17.4	15	14.59	26	11.38
7	17.47	16	14.26	28	12.04
8	17.31	19	14.99	29	11.84
9	17.05	20	15.43	30	12.27
10	16.94	21	14.59	31	12.45
11	17.29	27	14.07		
17	17.49	33	14.92		
18	17.14	44	15.21		
32	18.63				
34	16.61				
35	18.52				
36	19.44				
37	18.51				
38	18.53				
39	19.32				
40	19.76				
41	19.05				
42	17.25				
43	16.71				

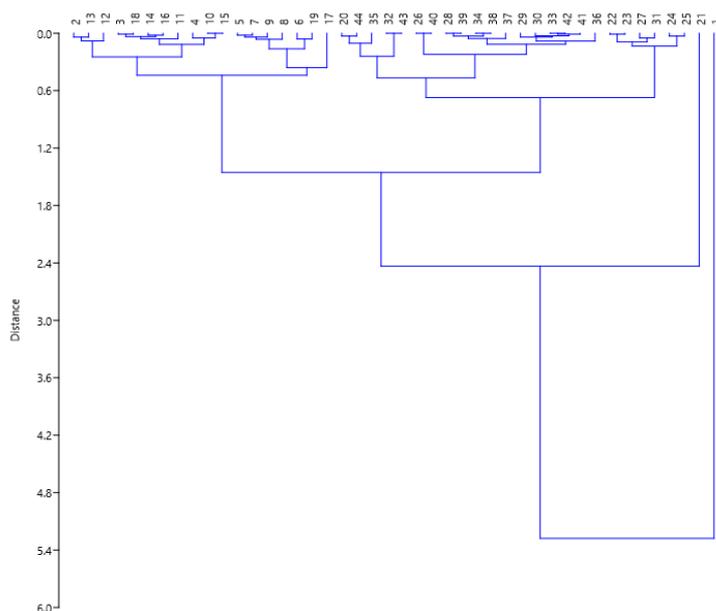


Рисунок 3.23 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 5 м

Таблица 3.11 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 5 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
2	22.09	22	20.89	1	15.58
3	21.84	23	20.88	20	19.67
4	21.89	24	20.69	21	18.48
5	21.57	25	20.72	28	20.13
6	21.39	26	20.44	29	20.29
7	21.59	27	20.82	30	20.23
8	21.63	31	20.77	32	19.93
9	21.54	40	20.44	33	20.26
10	21.94			34	20.16
11	21.76			35	19.76
12	22.15			36	20.34
13	22.05			37	20.2
14	21.79			38	20.16
15	21.94			39	20.13
16	21.81			41	20.25
17	21.17			42	20.26
18	21.83			43	19.93
19	21.45			44	19.64

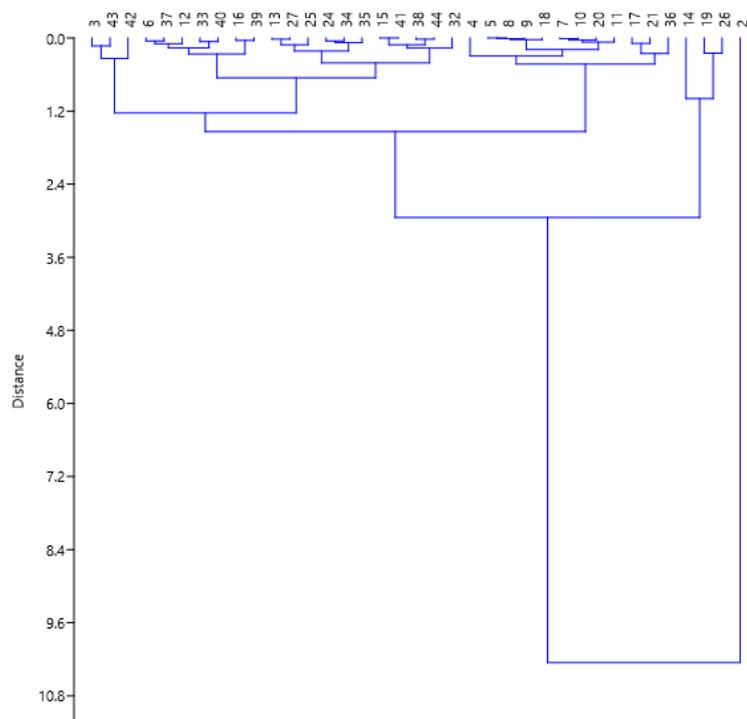


Рисунок 3.24 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 10 м

Таблица 3.12 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2004 году – горизонт 10 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
4	22.66	13	22.24	2	11.55
5	23.04	15	21.72	3	20.26
7	22.86	24	22.05	6	21.22
8	23.04	25	22.14	12	21.34
9	23.05	27	22.26	14	18.44
10	22.85	32	21.83	16	21.1
11	22.91	34	22	19	19.56
17	23.31	35	21.95	26	19.31
18	23.07	38	21.62	33	21.41
20	22.82	41	21.72	37	21.27
21	23.22	44	21.6	39	21.06
36	23.52			40	21.47
				42	20.66
				43	20.39

3.4.3 2005 год

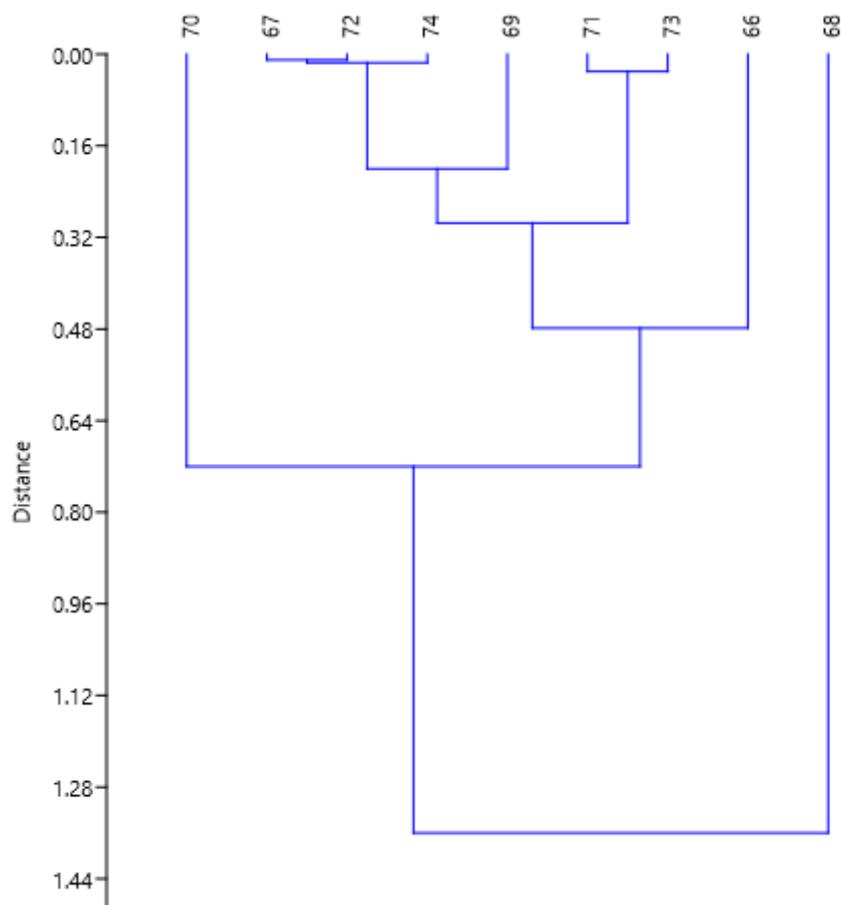


Рисунок 3.25 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 0 м

Таблица 3.13 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 0 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
66	18.11	67	17.67	70	16.98
68	18.97	72	17.68	71	17.45
69	17.88	74	17.69	73	17.42

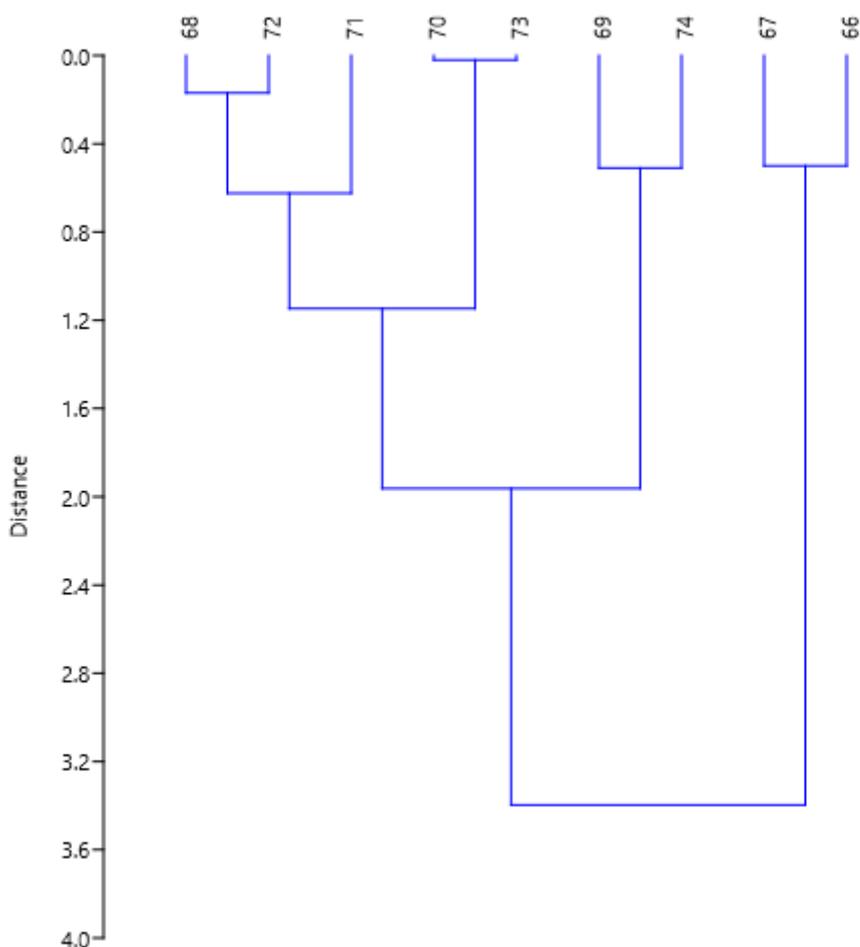


Рисунок 3.26 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 5 м

Таблица 3.14 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 5 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
66	12.88	69	10.88	68	8.59
67	13.38	70	9.87	71	9.13
		73	9.85	72	8.42
		74	11.39		

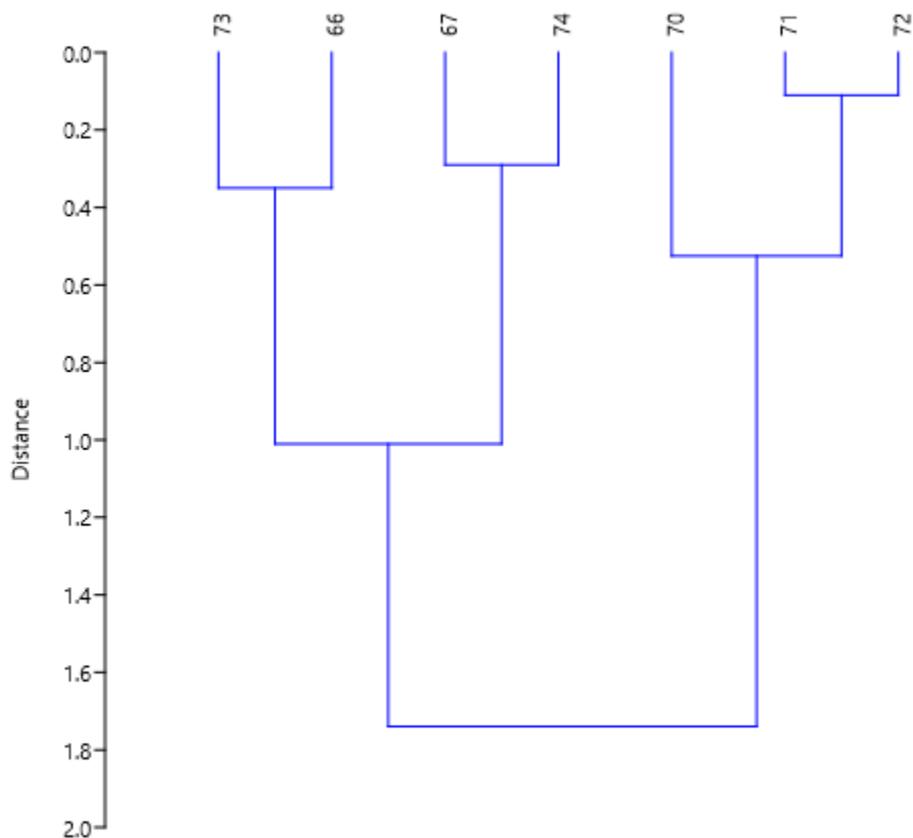


Рисунок 3.2 . Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 10 м

Таблица 3.15 Распределение водных масс по температуре на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 10 м

Теплые		Средние		Холодные	
№ ст	T, °C	№ ст	T, °C	№ ст	T, °C
67	9.74	66	8.76	70	7
74	9.45	73	8.41	71	7.58
				72	7.47

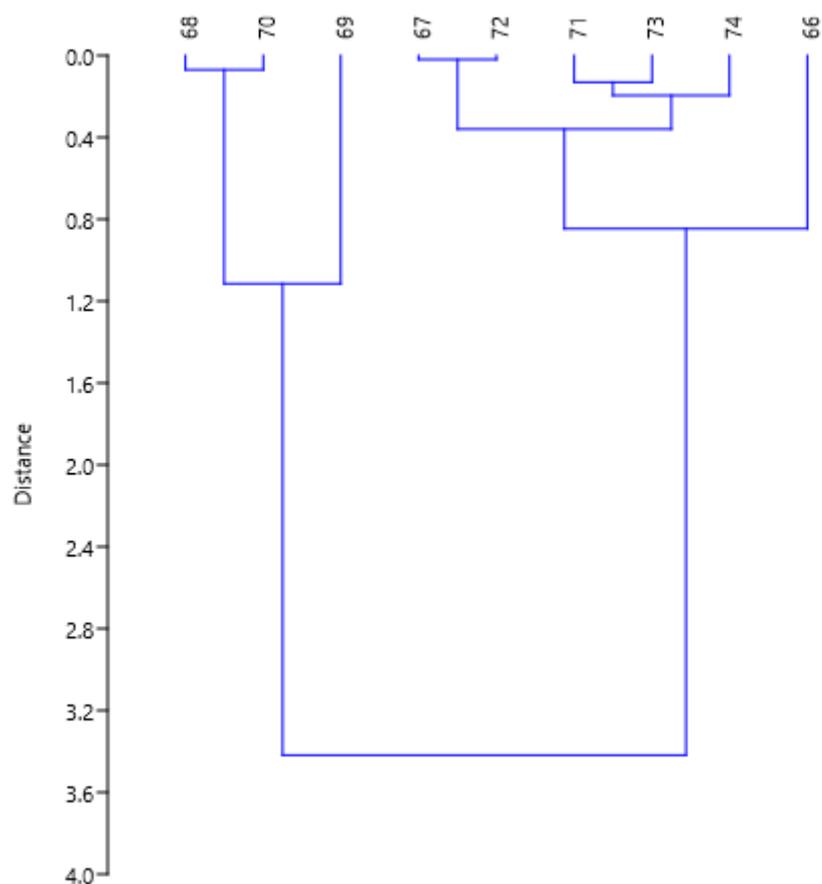


Рисунок 3.28 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 0 м

Таблица 3.16 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 0 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
71	24.75	66	23.89	68	20.77
73	24.88	67	24.53	69	21.92
74	25.01	72	24.51	70	20.84

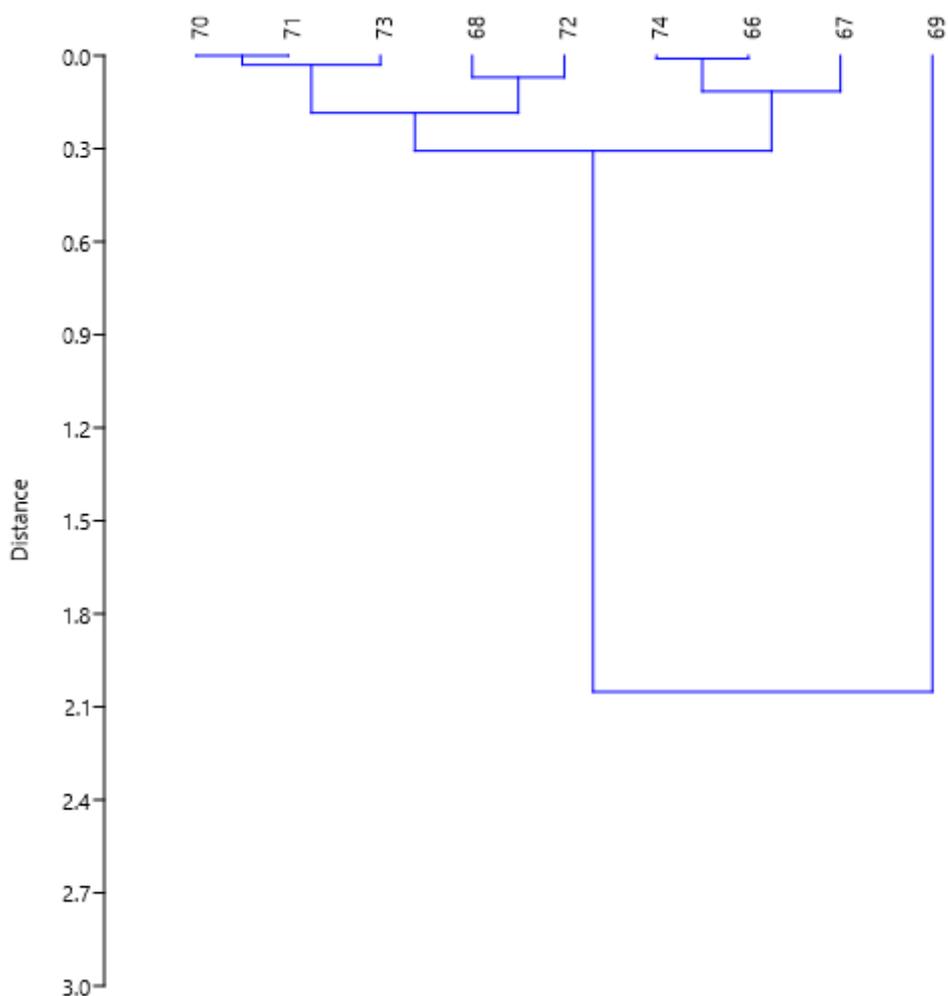


Рисунок 3.29 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 5 м

Таблица 3.17 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 5 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
66	25.19	70	24.98	68	24.77
67	25.3	71	24.98	69	22.98
74	25.18	73	25.01	72	24.84

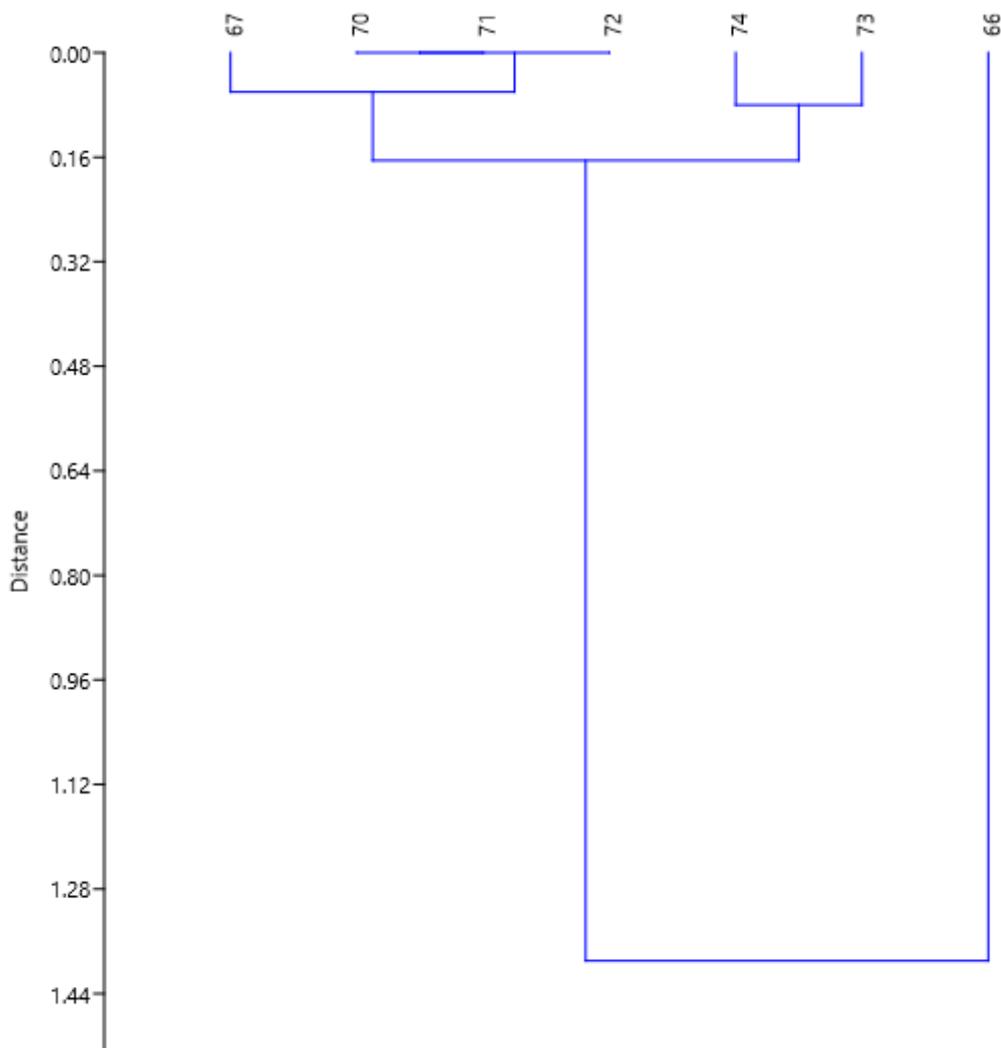


Рисунок 3.30 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 10 м

Таблица 3.18 Распределение водных масс по солености на акватории Кандалакшского залива в 2005 году – горизонт 10 м

Соленые		Средние		Солоноватые	
№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰	№ ст	S, ‰
73	24.95	67	24.87	66	23.49
74	25.03	70	24.81		
		71	24.81		
		72	24.81		

После проведенной классификации подтвердилось, что во все исследуемые годы наблюдаются солоноватые водные массы в придонном слое (10 м). Причем эти массы относятся к аномальным станциям, что можно увидеть из таблиц 3.4 - 3.6., 3.10 – 3.12., 3.16 – 3.18. При оценке

температурного распределения выяснилось, что в придонном слое находится большинство значений с «холодной», либо наоборот, с «теплой» температурой воды. Это также описывает неклассическое распределение водных масс в толще воды.

3.5 Расчет градиентов солености

Градиенты солености были рассчитаны для 2004 и 2005 гг., так как в 2003 году наблюдалась слабо выраженная аномалия. Для двух последующих годов градиенты хорошо отражают разницу в значениях исследуемой характеристики. При расчете использовались значения солености на поверхностном и придонном горизонтах между станциями.

3.5.1 2004 год

Выбран горизонт 15 метров (придонный), станции №12 и №16.

На 12-й станции значение солености на 15 м = 4.19‰, а на 16-й (на том же горизонте) = 17.41‰. Расстояние между станциями составляет 910 метров.

Разность солености между станциями = 17.41‰ - 4.19‰ = 13.22‰.

Тогда Grad S = 13.22‰/0.91 км или 14.53‰/1 км.

А на поверхности (0 м.) наблюдается классическая ситуация, градиент солености в норме, не составляет критического значения.

Для 12-й станции на 0 м. S = 14.81‰, на 16-й станции S = 14.26‰. Расстояние = 910 метров.

Разность S между станциями на данном горизонте = 14.81‰ - 14.26‰ = 0.55‰.

Grad S = 0.55‰/0.91 км или 0.6‰/1 км.

3.5.2 2005 год

Выбран горизонт 12 метров (придонный), станции №66 и №74.

На 66-й станции значение солености на 12 м = 18.44‰, а на 74-й (на том же горизонте) = 25.02‰. Расстояние между станциями составляет 1.23 км.

Разность солености между станциями = 25.02‰ - 18.44‰ = 6.58‰.

Тогда Grad S = 6.58‰/1.23 км или 5.4‰/1 км.

А на поверхности (0 м.) градиент исследуемой характеристики классический.

Для 66-й станции на 0 м. S = 23.89‰, на 74-й станции S = 25.01‰. Расстояние = 1.23 км.

Разность S между станциями на данном горизонте = 25.01‰ - 23.89‰ = 1.12‰.

Grad S = 1.12‰/1.23 км или 0.9‰/1 км.

Рассчитав градиенты солености для заданного периода, можно подвести итог: существует большая разница между значениями исследуемой характеристики у придонных горизонтов для различных станций. Это подтверждает наличие аномальной стратификации.

3.6 Реакция биологических объектов на аномалию

При изучении биологических объектов Кандалакшского залива были выявлены необычные случаи.

В исследуемый период в залив заходили дельфины-белухи, несвойственные для данной акватории, ведь они имеют совсем иной ареал обитания. Территория их жизнедеятельности относится к открытым морям Северного Ледовитого океана, они являются полярными дельфинами. Белуха может заплывать и в северные крупные реки, например, в Обь, Лену или Енисей, но все же избирает просторы океана. Это связано с тем, что животному необходимы определенные виды рыбы для питания, которыми и богата акватория Арктики [35]. Кандалакшский залив является закрытым и обособленным от Баренцева моря и океана, поэтому подобные случаи редкие и уникальные.

Следующим необычная ситуация - это массовый выброс морских звезд на побережье Кандалакшского залива, который был вызван изменением условий жизни в местах их обитания [36]. Морские звезды – это животные, которые живут на дне и перемещаются по нему при помощи ножек с присосками. Их ареал обитания относится к океанам и морям до глубины 8.5 метров. Но особенность заключается в том, что их невозможно обнаружить в опресненных районах [37]. В целом, Белое море достаточно распреснено впадающими в него реками, поэтому разнообразия звезд в нем не наблюдается. Вид «*Asterias rubens*», достигнувший Кандалакшского залива, приспособился к жизни на песчаном дне. Это самая распространенная морская звезда в Северной Атлантике. Выход пресных вод из придонных разломов исследуемого залива привел к тому, что данный вид «выполз» на берег.

Одним из примеров аномального поведения морских объектов является появление большого количества медуз в заливе. В период с 2000 по 2010 годы медузы стали значительно чаще появляться в акватории Кандалакшского

залива, чем это было ранее. Это было вызвано, в частности, ростом температуры воды, что способствовало размножению медуз [38].

Таким образом, очевидно, что аномальная стратификация воды в акватории оказала свое влияние на биологические ресурсы. Виды, обитающие на территории залива, покинули свое обычное место обитания или погибли, а не характерные для акватории объекты наблюдались в исследуемый период.

3.7 Вывод

Проанализировав вышеприведенные материалы, можно выдвинуть предположение: аномальную стратификацию в акватории Кандалакшского залива создают пресные воды из донных разломов. Под придонную земную кору эти воды попадают с суши, где они накопились из-за таяния снега весной, а вышли в придонные морские воды под действием сейсмической активности (см. рисунок 3.31). Самым очевидным доказательством послужил произведенный анализ, а также координаты экспедиционных точек. Станции, в которых были взяты данные, расположены на основных линиях разломов.

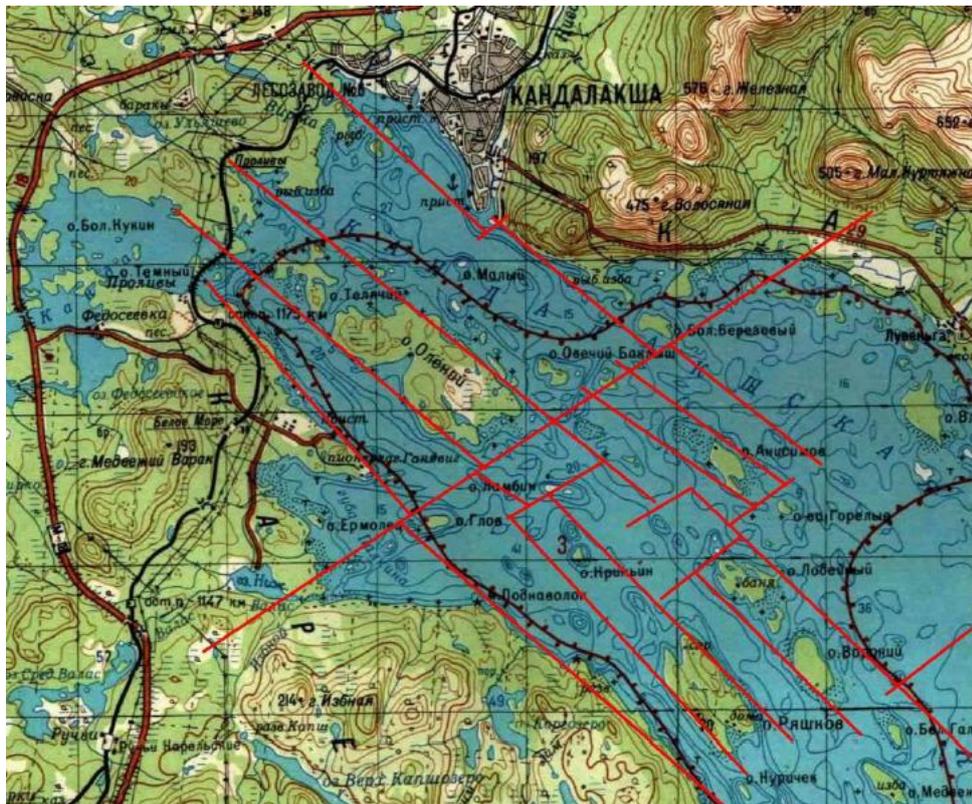


Рисунок 3.31 Схема донных разломов в Кандалакшском заливе Белого моря

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы выявлена природа аномальной стратификации на акватории Кандалакшского залива за период 2000-2010 гг.

На основе исходных данных были построены графики распределения температуры и солености, произведена классификация методом кластерного анализа и расчеты градиентов солености. Дана оценка реакции биоты на аномалию, что подтвердилось наличием биологических объектов, не свойственных для акватории Кандалакшского залива.

Проанализировав полученные результаты, можно смело подтвердить: в исследуемом районе происходит много необычных явлений, нуждающихся в подробном описании.

В заключение хочу добавить: исходя из сложившейся необходимости исследования Кандалакшского залива, стоит выделить средства и организовать поездки заинтересованных студентов-океанологов на данную акваторию. Исследования могут оказаться очень интересными и полезными для сохранения окружающей среды региона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яндекс карты. [Электронный ресурс]; URL: <https://yandex.ru/maps/?ll=38.710863%2C66.758412&z=7> (дата обращения: 05.05.2023).
2. Кандалакшский залив. [Электронный ресурс]; URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%88%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B2 (дата обращения: 05.05.2023).
3. Кандалакшский заповедник. [Электронный ресурс]; URL: <https://iskatel.com/places/kandalakshskiy-zapovednik#> (дата обращения: 14.05.2023).
4. Кандалакшский залив. [Электронный ресурс]; URL: <https://studfile.net/preview/9618365/page:3/> (дата обращения: 05.05.2023).
5. Терзиев Ф.С., Гоптарев Н.П., Калацкий В.И., Симонов Д.И., Борисенко М.М., Бородачев В.Е., Гершанович Д.Е., Гирдюк Г.В., Керимов А.А., Колесниченко Н.Н., Рожков В.А., Федорей В.Г. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР // Том II. Белое море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - С. 7-10.
6. Кандалакшский заповедник. Климат. [Электронный ресурс]; URL: https://bereg.moy.su/publ/kandalakshskij_zapovednik/klimat/4-1-0-166 (дата обращения: 11.05.2023).
7. Соколов В.Е., Сыроечковский Е.Е. Заповедники СССР // Заповедники европейской части РСФСР - I. - М.: Мысль, 1988. - С. 20-60.
8. Атлас океанов // Северный Ледовитый океан.- М.: ГУНиО МО, 1980. - 184 с.
9. Борисов А. А. Климатография Советского Союза.- Л.: ЛГУ, 1970. - 305 с.

10. Атмосферное давление и статистика. Мурманская область, Кандалакша. [Электронный ресурс]; URL: https://climate-energy.ru/weather/spravochnik/slp/climate_sprav-slp_222170140.php (дата обращения: 22.05.2023).

11. Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н. Сопоставление распределений современных движений и деформаций с сейсмической активностью в районе Кандалакшского залива. - Лаборатория спутниковых методов изучения геофизических процессов ИФЗ РАН, Москва. [Электронный ресурс]; URL: http://conf.rse.geosmis.ru/files/pdf/20/9054_%D0%B8%D0%BA%D0%B822_krupennikova.pdf (дата обращения: 25.05.2023).

12. Единая геофизическая служба Российской академии наук. [Электронный ресурс]; URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/about.htm> (дата обращения: 25.05.2023).

13. Горелков В.М., Григорьева Л.Н., Моносов М.Л. Трансформация полусуточного прилива в северной части Белого моря при условии строительства Мезенской ПЭС // Труды Ленгидропроекта.- 1981.- № 77.- С. 74-80.

14. Груза Г.В. и др. Статистика и анализ гидрометеорологических данных.- Л.: Гидрометеиздат, 1982.

15. Георгиевский Н. П. Заметки о штормах на Белом море и на Мурмане в сентябре месяце 1912 года // Известия Архангельского общества изучения Русского Севера.- 1912.- № 24.- С. 1126-1127.

16. Термохалинная структура вод и осредненные течения Белого моря. [Электронный ресурс]; URL: https://studexpo.net/1089702/geografiya/termohalinnaya_struktura_osrednennye_techeniya_belogo_morya (дата обращения: 27.05.2023).

17. Николаева. С.Б. Последледи́ковая тектоника и палеосейсмодислокация в районе участка Ковды (Кандалакшский залив Белого моря) // Вестник Санкт-Петербургского университета.: Науки о Земле.- 2019.- С. 434-453.

18. Белое море. Климат. [Электронный ресурс]; URL: http://proznania.ru/?page_id=2354 (дата обращения: 27.05.2023).

19. Ледовый режим в районе Белого моря. [Электронный ресурс]; URL: <https://barentzevo.arktifiksh.com/ostrova-barentseva-morya/ledovyy-rezhim-belogo-morya> (дата обращения: 27.05.2023).

20. Течения Атлантического Океана - холодные и теплые, характеристика и карта. [Электронный ресурс]; URL: <https://natworld.info/nauki-o-prirode/techeniya-atlanticheskogo-okeana-severnye-i-yuzhnye-osobennosti-i-karta> (дата обращения: 28.05.2023).

21. Направление ветров на Белом море. [Электронный ресурс]; URL: <http://gik.fordak.ru/index.php?topic=12064.0> (дата обращения: 28.05.2023).

22. Влияние изменчивости ветрового режима на структуру и динамику вод. [Электронный ресурс]; URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17845499> (дата обращения: 28.05.2023).

23. Слинченков В.И., Константинов В.М., Николаев В.В. Новейшие разломы Ладожского озера, Кандалакшского залива и о. Имандра по сейсмоакустическим и акустическим данным // Вопросы картирования прибрежного мелководья Баренцева и Белого морей. СПб. ПГО «Севморгеология». 1997. С. 22-41.

24. Температура воды в море в Кандалакше. [Электронный ресурс]; URL: <http://russia.pogoda360.ru/295525/water/> (дата обращения: 30.05.2023).

25. Температура и соленость воды в Белом море. [Электронный ресурс]; URL: <https://global-ocean.ru/geografiya/temperatura-i-solyonost-vody-v-belom-more/> (дата обращения: 30.05.2023).

26. Кандалакшский заповедник. Физико-географические условия. [Электронный ресурс]; URL: <https://oopt.info/kandal/physgeo.html> (дата обращения: 02.06.2023).

27. Кандалакшский залив. [Электронный ресурс]; URL: <http://knowledge.su/k/kandalakshskiy-zaliv> (дата обращения: 02.06.2023).

28. Таксономическая и биогеографическая структура литоральных беспозвоночных Кандалакшского и Онежского заливов Белого моря. [Электронный ресурс]; URL: <https://ecopri.ru/journal/article.php?id=3141> (дата обращения: 02.06.2023).

29. Ледовый режим в районе Белого моря. [Электронный ресурс]; URL: <https://barentzevo.arktiskfish.com/ostrova-barentseva-morya/ledovyy-rezhim-belogo-morya> (дата обращения: 07.06.2023).

30. Дж. Девис. Статистика и анализ геологических данных // Том первый. Глава 3. Элементарная статистика. Перевод с английского Голубевой В.А.- М.: Мир, 1977. с. 69.

31. Элементарные понятия анализа данных. [Электронный ресурс]; URL: <https://hr-portal.ru/statistica/gl2/gl2.php#2> (дата обращения: 14.05.2023).

32. Методы кластерного анализа. Иерархические методы. [Электронный ресурс]; URL: <https://intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/182?page=2> (дата обращения: 14.05.2023).

33. Дендрограмма. Кластерный анализ. [Электронный ресурс]; URL: <https://studfile.net/preview/8402008/page:31/> (дата обращения: 14.05.2023).

34. Golden Software. [Электронный ресурс]; URL: <https://support.goldensoftware.com/hc/en-us> (дата обращения: 08.06.2023).

35. Заполярная правда. Мурманск. [Электронный ресурс]; URL: https://vk.com/wall-185379609_15085 (дата обращения: 08.06.2023).

36. Наумов А.Д. Аномальный выброс морских звезд в Двинском заливе весной 1990 г.- СПб.: ЗИН РАН, 2011. С. 414.

37. Морские звезды. [Электронный ресурс]; URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%B7%D0%B2%D1%91%D0%B7%D0%B4%D1%8B (дата обращения: 08.06.2023).

38. Нашествие медуз в Кандалакше. [Электронный ресурс]; URL: <https://www.murmansk.kp.ru/online/news/3193816/> (дата обращения: 08.06.2023).