



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 Климатическая изменчивость водных масс в системе
Гольфстрима

Исполнитель Конькова Александра Вадимовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Гордеева Светлана Михайловна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«19» 06 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

Введение.....	3
1 Физико-географическое описание течения Гольфстрим	5
1.1 Географическое положение	5
1.2 Формирование течения Гольфстрим.....	7
1.3 Гидрология фронта Гольфстрима.....	8
1.4 Трансформация вод Гольфстрима при продвижении к северу	13
1.5 Основные водные массы Северного Атлантического океана	15
2 Материалы и методы	19
2.1 Исходные данные.....	19
2.2 Методика обработки данных наблюдений.....	20
3 Анализ изменчивости водной массы системы Гольфстрим.....	23
3.1 Сезонная изменчивость ядра водной массы Гольфстрима в начале течения.....	23
3.2 Сезонная изменчивость ядра водной массы Гольфстрима вдоль течения Гольфстрим и Северо-Атлантического течения.....	34
3.3 Трансформация водной массы Гольфстрима при перемещении к северу.....	50
4 Временная изменчивость профилей температуры воды и солености вдоль струи течения Гольфстрим	55
Заключение	59
Список использованных источников	61
Приложение	63

Введение

Водные массы Гольфстрима являются неотъемлемой частью Мирового океана, и их изменчивость может привести к глобальным климатическим проблемам. Гольфстрим – это система теплых течений в северной части Атлантики. Его система циркуляции является основным источником тепла и влаги атмосферы на значительных пространствах северного полушария. Поэтому в странах Европы преобладает мягкий климат, а также проникновение атлантических вод в полярные широты обуславливает продуктивность морей Северного Ледовитого океана.

Из года в год учёные следят за течением Гольфстрим: за его изменениями направления, за скоростью и мощностью водных масс, за его устойчивостью и динамикой. В связи с глобальным потеплением в последние годы структура вод Гольфстрима значительно изменяется, что может привести к его «остановке» с необратимыми последствиями для климата Европы и Арктики. Это всего лишь научная гипотеза, которую мы можем допустить и проверить в том числе.

Целью научно-исследовательской работы является изучение климатической изменчивости водных масс в системе Гольфстрима.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить физико-географическое описание течения Гольфстрим.
2. Выполнить анализ изменчивости водной массы системы Гольфстрим.
3. Выявить эффект значительных изменений водной массы Гольфстрима за период последнего потепления.

Структура данной научно-исследовательской работы:

В 1 главе, изложено физико-географическое описание водных масс течения Гольфстрима. Описывается информация о формировании течения Гольфстрима и его гидрология фронта. Также рассматривается

трансформация вод Гольфстрима при продвижении к северу и основные водные массы Северного Атлантического океана.

Во 2 главе, изложено описание исходных данных и методов, с помощью которых данная работа была выполнена: анализ T, S – кривых, а также статистическая обработка исходных данных.

В 3 главе описан анализ изменчивости водной массы системы Гольфстрим: сезонная изменчивость ядра водной массы Гольфстрима в истоке течения, а также вдоль его течения к северу.

В 4 главе рассматривались эффекты изменений водной массы Гольфстрима за период последнего потепления. Были построены среднемесячные вертикальные профили температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) и солёности (‰) вдоль струи течения Гольфстрим в четырех выбранных точках.

Исследование было опубликовано в рамках Студенческой научной конференции РГГМУ (СНО РГГМУ, 2022 год) в виде стендового доклада на тему: Климатическая изменчивость водных масс в системе Гольфстрима. Целью работы является выявление эффектов значительных изменений водной массы Гольфстрима за период последнего потепления. В данной работе представлены среднемесячные вертикальные профили температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) и солёности (‰) с июля 1980 года по сентябрь 2021 года вдоль струи течения Гольфстрим.

1 Физико-географическое описание течения Гольфстрим

1.1 Географическое положение

Гольфстрим – это мощное струйное и теплое течение, расположенное у восточного побережья Северной Америки, в том месте, где зона материкового шельфа, окаймляющего побережье континента, переходит в прибрежный склон (Рисунок 1.1). Холодным оно становится севернее, ближе к Ньюфаундленду, где встречается с Лабрадорским течением. Свое начало Гольфстрим берет в проливе между Флоридой и Карибскими островами. Продвигаясь на север, течение набирает силу, расход Гольфстрима увеличивается, скорость доходит до 2,5 м/с [1].

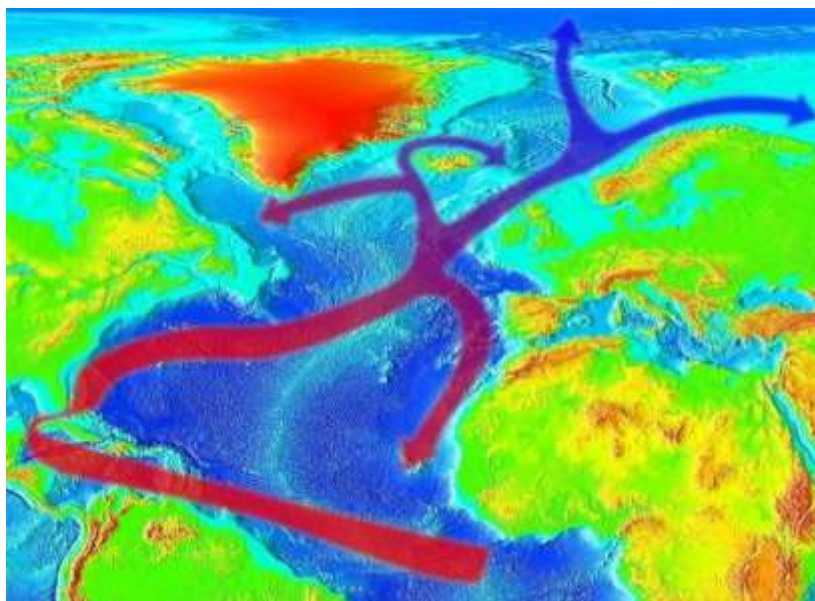


Рисунок 1.1 - Течение Гольфстрим [2]

Важной закономерностью циркуляции океана является существование квазистационарных макроциркуляционных круговоротов. Течения Северной Атлантики - это субтропический антициклонический круговорот, состоящий из замкнутой системы течений в пределах широтной зоны 15-45° с.ш.

(Рисунок 1.2). Наиболее мощным из них является Гольфстрим – это западное пограничное течение от полуострова Флорида до Большой Ньюфаундлендской банки. Формируется Гольфстрим преимущественно из вод Северного Пассатного течения. Южная ветвь его входит в Карибское море, следом в Мексиканский залив, вследствие чего здесь создается постоянный нагон вод. Это приводит к возникновению в Мексиканском заливе стокового Флоридского течения, которое через Флоридский пролив устремляется в открытый океан. Данное течение характеризуется высокими скоростями в поверхностном слое, где они зачастую превышают 1 м/с, а расход течения составляет около 30 Св ($\text{Св} = 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$) [3].

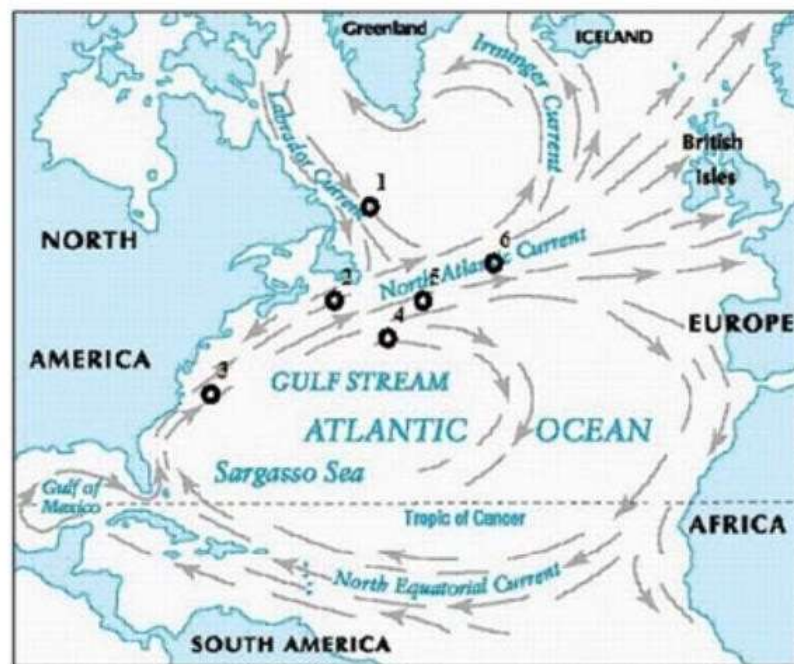


Рисунок 1.2 - Схема поверхностных течений Северной Америки [4]

Выйдя из Флоридского пролива, течение поворачивает на север вдоль материкового склона. Недалеко от Багамских островов происходит слияние Флоридского и Антильского течений, последнее, будучи продолжением одной из ветвей Северного пассатного течения, следует на север вдоль

восточного берега Кубы и имеет расход около 30 Св. Здесь и происходит полное формирование вод Гольфстрима [5].

1.2 Формирование течения Гольфстрим

Меандрирование потока является основной чертой водных масс Гольфстрима. Оно приводит к короткопериодным пульсациям расположения фронтальной зоны. Меандрирование фронта и образование вихрей по обе стороны от фронта порождают крупномасштабные фронты климатического происхождения фронтов синоптического характера. Синоптические вихри, которые образовались из меандров сильных течений, внутри себя имеют мощные фронты. В начальное время эти фронты схожи с фронтами основных потоков, то есть их мощности одинаковы. В дальнейшем трансформация синоптических вихрей связана с их динамикой, с взаимодействием с атмосферой и водами, находящиеся вокруг данного фронта [5].

Механизм формирования циклонических вихрей Гольфстрима состоит из того, что склоновые воды располагаются внутри кольца, который образовался из меандра Гольфстрима. Сам фронт Гольфстрима является границей между склоновыми водами и водами этого кольца, составляющими ядро циклонического вихря. В области фронтальной зоны циклонического вихря в процессе его затухания происходит непрерывный обмен свойствами между водными массами Гольфстрима и склоновыми водами. При образовании циклонического вихря в фронтальной зоне видны его наибольшие горизонтальные градиенты океанографических характеристик и наименьший наклон поверхности самого фронта [5].

1.3 Гидрология фронта Гольфстрима

Фронтальная зона Гольфстрима расположена в области максимальных горизонтальных градиентов скорости. Фронт разделяет холодные арктические или прибрежные воды от теплых. Сам переход слабо виден, но на западной границе переход проявляется резко [5].

Прослеживается полоса, выраженная градиентом давления, и располагающаяся между холодными и более пресными водными массами холодными и теплой более соленой. Пределом будут являться те точки, в которых градиент давления приравняется к нулю. Фронтальную зону Гольфстрима не стоит смешивать с его термохалинной границей на поверхности, так как это значительное изменение, и оно находится слева от «теплого ядра». Также это можно отнести к цветовой границе и водорослям, которые наблюдаются на поверхности. Все поверхностные явления взаимосвязаны с зонами градиентов, находящиеся по левую сторону от «теплого ядра», но также могут не совпасть. «Теплое ядро» - часть водной массы Гольфстрим, является более теплой водой, чем та, которая располагается справа, если смотреть вниз по течению, и находящаяся на той же глубине. Максимальные аномалии температуры прослеживаются приблизительно на глубине 100 метров, а распространяется до глубины 300 – 400 метров [5].

Распределение температуры на поверхности океана зимой и летом отличаются. В зимнее время температурный градиент резко увеличивается. А в летнее время, что является его особенностью, температура воды изменяется с севера на юг. Ученые заметили, что из-за сложного процесса меандрирования, делаются ошибки в выводах, а точнее о структуре фронта и о горизонтальной циркуляции [5].

В исследовательской работе Е.И. Баранова описаны анализы температурных съемок в 60-ых годах (Рисунок 1.3 и 1.4). Одно из его

наблюдений было то, что по обе стороны фронта размещаются локальные и замкнутые образования теплой и холодной воды. Области с повышенным и пониженным температурным градиентом наблюдаются в северной и южной части от самого фронта. Они концентрируются в узкие полосы, и при этом параллельно вытянутые по отношению линий фронта Гольфстрима [5].

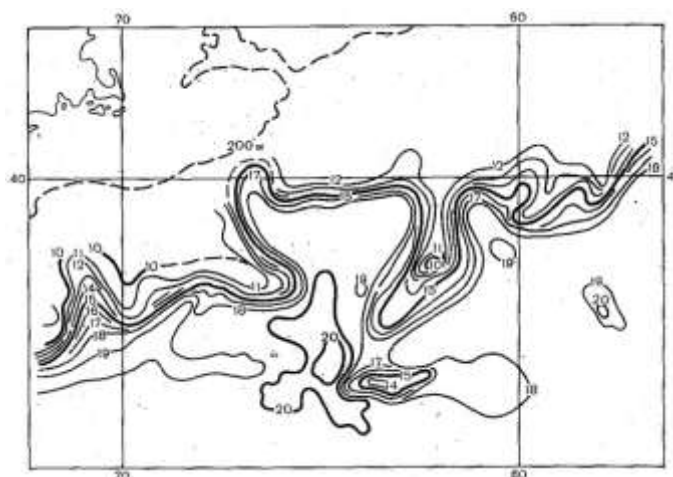


Рисунок 1.3 - Поле температуры в зоне фронта Гольфстрима в сентябре 1961 г. на глубине 200 м [5]

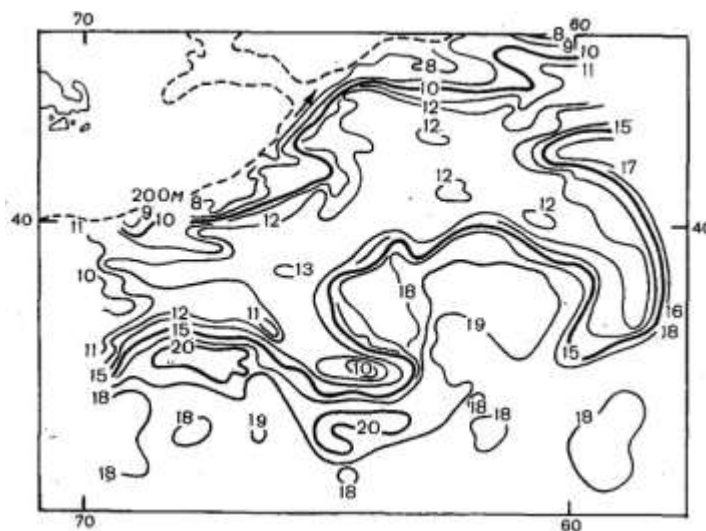


Рисунок 1.4 - Поле температуры в зоне фронта Гольфстрима в марте 1963 г. на глубине 200 м [5]

С помощью статистического метода, исследователями был сделан анализ разнородности температурных градиентов в фронтальной зоне Гольфстрима, который показал, что в районе фронта поле температуры

неоднородно. Сложность термического поля связана с тем, что водные массы Гольфстрима взаимосвязаны с особенностью циркуляции вод, с разномасштабными вихрями, с очагами подъема и опускания водных масс [5].

Узкая полоса пресной воды, которая направлена вдоль течения Гольфстрима и сохраняется, говорит о том, что мелкомасштабные процессы турбулентности незначительно влияют на свойства воды. Доказательством будет являться соленость вод, прилегающая к левому краю течения. В этом участке соленость будет ниже, чем на глубинных водах [5].

Между шельфовыми и центральными атлантическими водами существует переходная зона. Перемешивание вод в этой зоне образует склоновые воды. Шельфовые воды вступают в связь со склоновыми водами на вторичном фронте – фронт склоновых вод, а сами эти воды находятся между этим же фронтом и фронтом Гольфстрима [5].

Максимальная скорость течения Гольфстрим наблюдается на поверхности океана. Само течение распространяется до дна океана, а потоки направлены в одну сторону по всей глубине. Подъем воды происходит в циклонических вихрях, опускание – в антициклонических [5].

Изменчивость положения фронтальной зоны во времени и в пространстве, является одной из основных характеристик динамического состояния этой зоны. Баранов Е.И. по квазисиноптическим съемкам 60-ых годов выявил короткопериодные колебания положения фронтальной зоны Гольфстрима (Рисунок 1.5) [5].

Изучая положение фронтальной зоны Гольфстрима было обнаружено, что максимальная амплитуда пространственных колебаний фронта наблюдаются на поверхности океана. Также было выявлено, что максимум расхода воды Гольфстрима равен наибольшему удалению фронта от края материковой отмели, а минимум расхода – наибольшему приближению фронтальной зоны к краю шельфа [5].

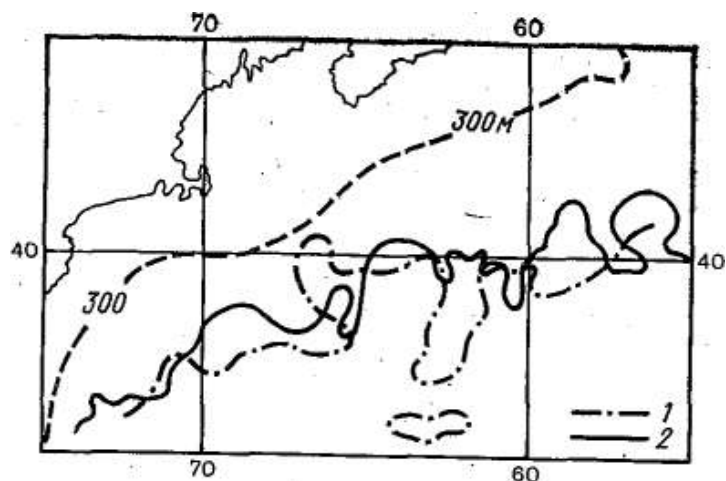


Рисунок 1.5 - Положение фронта Гольфстрима по съемкам в сентябре 1961 г. (1) и мае 1962 г. (2) [5]

Проанализировав среднемесячные температурные аномалии воды на поверхности океана и само положение течения Гольфстрим, ученые заметили, что большей временной изменчивости подвергается центральная область Гольфстрима [5].

По сей день ученые занимаются изучением особенностями мезомасштабной изменчивости полей температуры и солености поверхностного слоя океана. С помощью зондирующей аппаратуры и статистического метода описываются явления мезомасштабного характера [5].

На поверхности океана поля температуры и солености поверхностного слоя формируются одновременно под действием процессов, протекающих в глубинных слоях океана, и процессов взаимодействия океана и атмосферы. Степень их влияния на структуру поверхностного слоя зависит от конкретной физической ситуации, при формировании полей поверхностного слоя в одних случаях преобладает влияние глубинных процессов, в других — атмосферных факторов. Термохалинная структура верхнего квазиоднородного слоя, находящийся в области фронта Гольфстрима

характеризуется отсутствием весеннего прогрева, что позволяет исследовать влияние динамических факторов на поля температуры и солености [5].

Результаты исследований показали, что для мезомасштабных циркуляционных систем характерно сохранение геострофического баланса, следовательно, что для анализа возмущений можно использовать карты топографии изотермических поверхностей. И особенностью поля мезомасштабных вихрей на поверхности является его изменчивость пространственной структуры [5].

Предполагается, что в области климатических фронтальных зон Гольфстрима происходит интенсивный трансфронтальный перенос вод. Учеными было показано, что переносу тепла и масс, проходящих через фронтальные зоны, характерны движения от турбулентного для фронтов малого масштаба до синоптического для климатических фронтов [5].

Для оценки трансфронтального переноса тепла вихревыми образованиями Гольфстрима нужно учитывать возможность присоединения к основному потоку циклонических и антициклонических вихрей. Воды Саргассова моря, пополняя теплом циклонические вихри, при их присоединении к Гольфстриму передают ему часть своего тепла и снабжают теплом континентальный склон благодаря образованию антициклонических вихрей. Таким образом происходит перекачка тепла из Саргассова моря в район континентального склона и в Гольфстрим [5].

При перемещении антициклонических вихревых образований к северу они начинают взаимодействовать с фронтом склоновых вод, который отделяет воды шельфа от вод континентального склона. В результате такого взаимодействия происходит захват шельфовых вод северной периферией антициклонического вихря, где орбитальные скорости наиболее высокие, и дальнейший перенос шельфовых вод в район континентального склона осуществляется вплоть до фронта Гольфстрима [5].

1.4 Трансформация вод Гольфстрима при продвижении к северу

При продвижении к северу вдоль системы Гольфстрима соленость воды уменьшается от максимальных величин к минимальным. При продвижении вод из низких широт в высокие наблюдается закономерное уменьшение термогалинных индексов в районе Гольфстрима, Северного-Атлантического хребта и Норвежско-Гренландского бассейна. Закон термогалинной трансформации, согласно которому охлаждение вод системы циркуляции открытого океана при продвижении их из тропических районов в полярные сопровождается понижением солености, и имеет статистическую форму и соблюдается в явном виде лишь как тенденция изменения термогалинных свойств водных масс. Отклонения температуры и солености от тенденции изменения термогалинных свойств связано с колебаниями энерго- и массообмена океана и атмосферы [6].

Центральная субтропическая водная масса района Северо-Атлантического хребта (ЦнСбТрСх) (Рисунок 1.6) имеет меньше, чем Центральная субтропическая водная масса района Гольфстрима (ЦнСбТрГС), пределы изменения температуры, солености и условной плотности. Это водная масса наблюдается в слое 100-500 м. Из сравнения с центральной субтропической водной массой Гольфстрима следует, что уравнения трансформации этих вод мало отличаются друг от друга и характеризуют тенденцию изменения термогалинных свойств при перемещении вод Гольфстрима и Северо-Атлантического течения [6].

Центральные арктические водные массы, в отличие от субарктических, характеризуются обратно пропорциональной зависимостью, связанной с влиянием льдообразования на формирование вод повышенной солености [6].

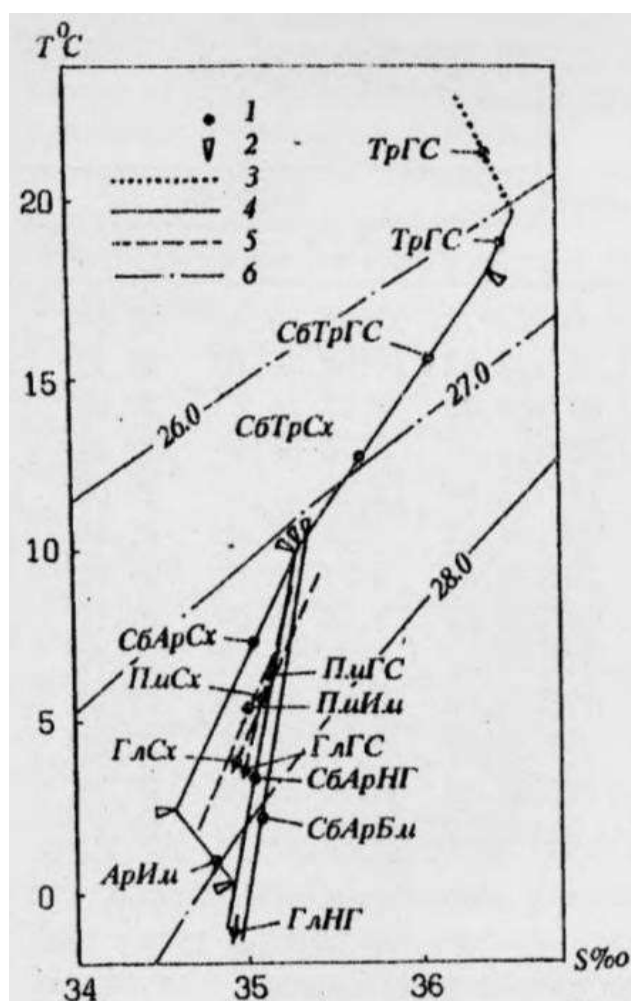


Рисунок 1.6 – T, S – диаграмма водных масс системы Гольфстрим: 1 – ядро водной массы; 2 – граница между водными массами; 3 – линии трансформации поверхностных вод; 4 – линия трансформации центральных вод; 5 – линия трансформации промежуточных и глубинных вод; 6 – изопикны [6]

Формирование промежуточных вод происходит под действием двух факторов: 1) отрицательного бюджета температуры вследствие охлаждения поверхностного океана, вызывающего конвективное погружение вод; 2) положительного бюджета солености вследствие адвективного приноса высокосолёных вод течения Гольфстрим, Северо-Атлантическим и Ирмингера [6].

Глубинные воды в районе Гольфстрима и Северо-Атлантического хребта (ГлСбАрГС и ГлСбАрСх) по термогалинным характеристикам

незначительно отличаются друг от друга. Глубинные воды Норвежско_Гренландского бассейна (ГлАрНГ) обладают самой высокой для системы Гольфстрима плотностью и наименьшим для всех водных масс диапазоном изменения термогалинных свойств [6].

1.5 Основные водные массы Северного Атлантического океана

Изучение водных масс Мирового океана прежде всего было основано на изучении их T, S – соотношений.

Термин водная масса означает сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе океана - очаге или источнике, обладающий почти постоянным и непрерывным распределением физико - химических характеристик, составляющий единый комплекс и распространяющийся как единое целое. Следовательно, водная масса есть понятие прежде всего географическое и характеризуется набором показателей или индексов, главными из них являются температура и соленость [7].

Каждая водная масса имеет свое специфическое не только физическое, но и биологические, гидрохимические особенности. Они формируются при нахождении водной массы длительное время в определенных климатических условиях под воздействием многих факторов. На границах между водными массами формируются фронтальные зоны, в которых обостряются градиенты характеристик при переходе из одной водной массы в другую. В случае особенно резких градиентов граница между водными массами может иметь вид поверхности раздела, или фронтальной поверхности [7].

T, S – соотношения водных масс Мирового океана были построены Свердрупом и Дитрихом. Известные T, S – соотношения Свердрупа показывают на диаграмме области, в которые укладываются основные типы T, S – кривых Мирового океана (Рисунок 1.7). По этим диаграммам можно

легко представить тот или иной вид определенной T, S – кривой в разных районах океана. Но в схеме Свердруп есть недостаток, состоит он в том, что не охватываются целые группы T, S – кривых, которые лежат между основными типами соответствующих районов [8].

Осредненная T, S – диаграмма Дитриха (Рисунок 1.8) исключает недостатки диаграммы Свердруп, так как в T, S – области, соответствующей каждому из океанов, укладываются все возможные для этих областей T, S – кривые. Но есть и свои недостатки, например, как основные типы диаграммы не определены, и мы не можем судить о форме T, S – кривой [8].

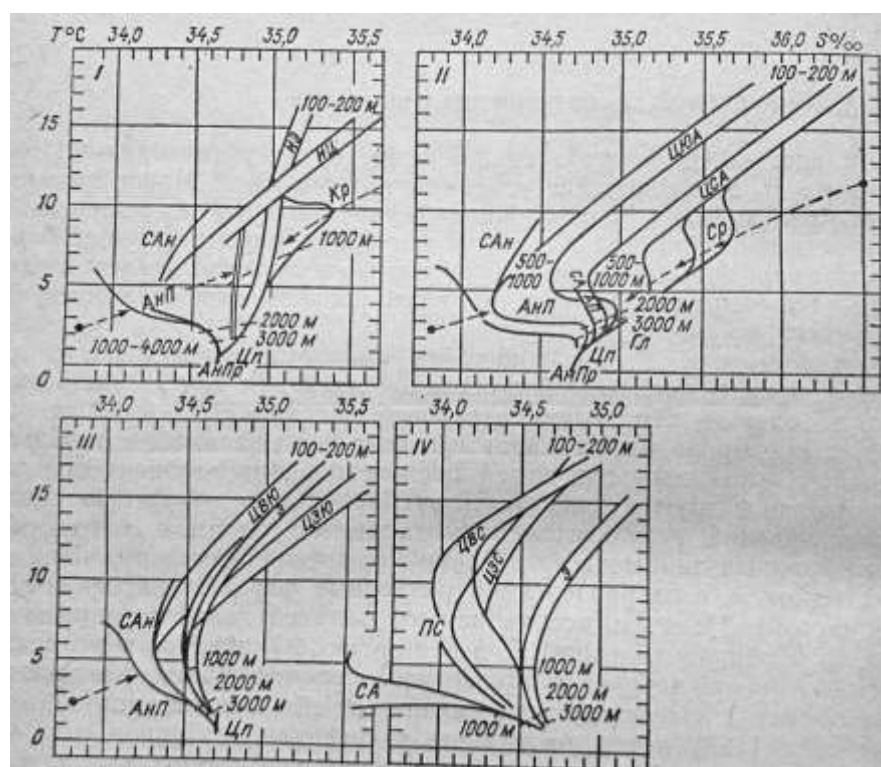


Рисунок 1.7 - Обобщенный T, S – соотношения основных водных масс
Мирового океана, по Свердрупу [8]

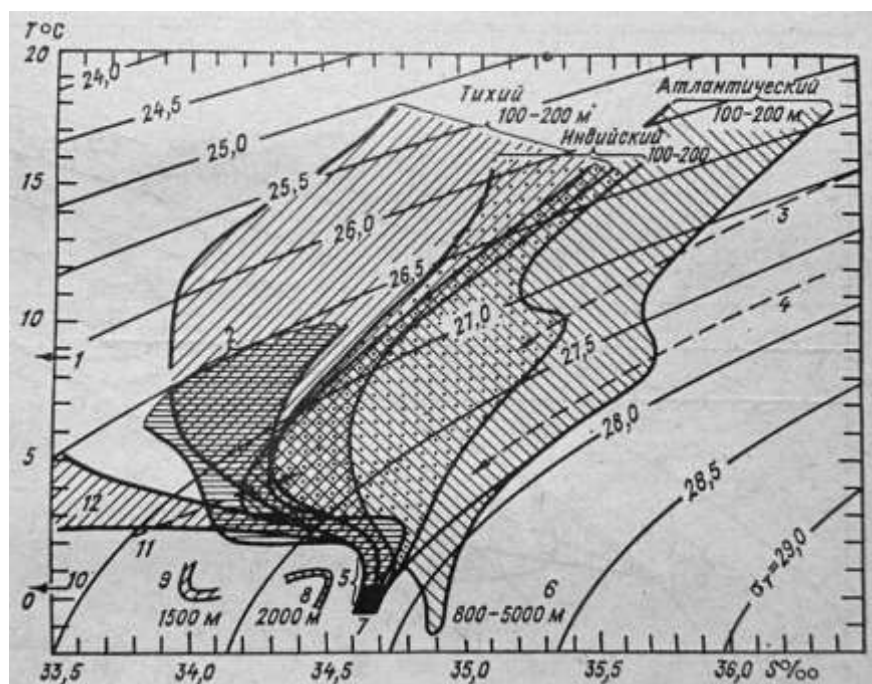


Рисунок 1.8 - Обобщенный T, S – соотношения основных водных масс Мирового океана, по Дитриху. Северная субтропическая граница океанов около 40° ю.ш. [8]

Таким образом, представляется необходимым уточнением картины T, S – соотношений основных водных масс: на них помимо основных «вееров», «пучков» и других совокупностей T, S – кривых, должны быть изображены и термохалинные индексы первоначальных, материнских водных масс, а также основные треугольники смешения, с тем, чтобы анализ T, S – соотношений можно было бы существенно дополнить выводами, следующими из аналитических теорий T, S – кривых [8].

Также имеется необходимость в известной систематизации T, S – индексов основных водных масс. Видоизмененные T, S – соотношения водной массы Атлантического океана по мнению Степанова выглядит так, как изображено на Рисунке 1.9.

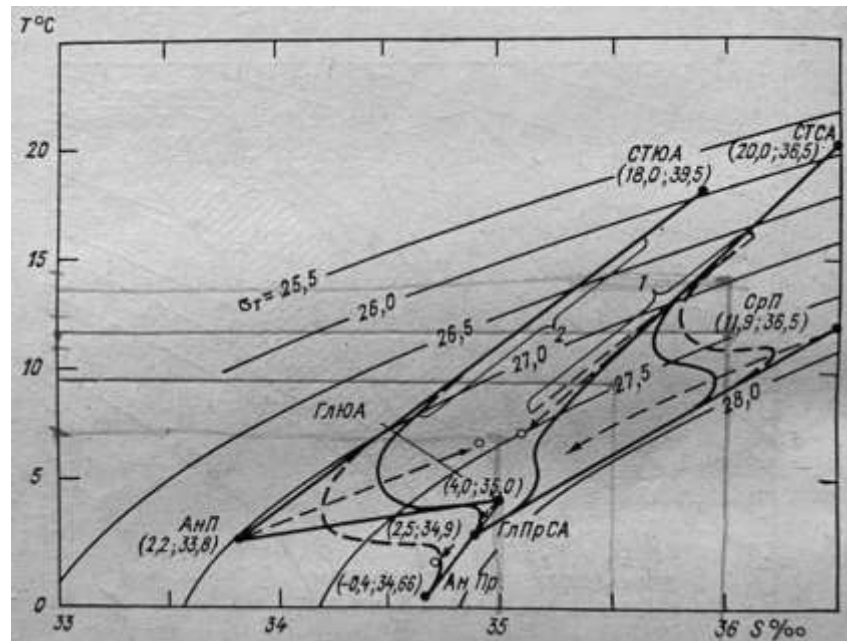


Рисунок 1.9 - Обобщенная T, S – диаграмма водных масс Атлантического океана [8]

На Рисунке 1.7 (II) выделены основные водные массы Атлантического океана: САН – субантарктические воды, ЦЮА – центральная водная масса Южной Атлантики, ЦСА – центральная водная масса Северной Атлантики, Ср – средиземноморская водная масса, АНП – антарктическая промежуточная водная масса, СА – субарктическая водная масса, АП – арктическая промежуточная водная масса, Гл – глубинная и придонная водная масса Северной Атлантики, Цп – циркумполярные воды, АНПр – антарктическая придонная водная масса [8].

С помощью данной информации, которую выделили классики, можно провести параллель с полученными данными и сделать вывод, совпадают ли водные массы с массами, которые выделили ученые.

2 Материалы и методы

2.1 Исходные данные

Данные среднемесячной температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) и солёности (‰) с июля 1980 года по сентябрь 2021 года вдоль струи течения Гольфстрим - 15 точек (Рисунок 2.1) были взяты из базы данных EN4 (<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/en4/index.html>). В базе данных EN4 4.2.2 представлена информация объективного анализа, сформированного из данных натурных профилей температуры воды и солёности с коррекциями ХВТ Gouretski and Reseghetti (2010) и коррекциями МВТ Gouretski and Cheng (2020). Данные доступны с 1900 года по настоящее время в сетке 1×1 градус (42 уровня).

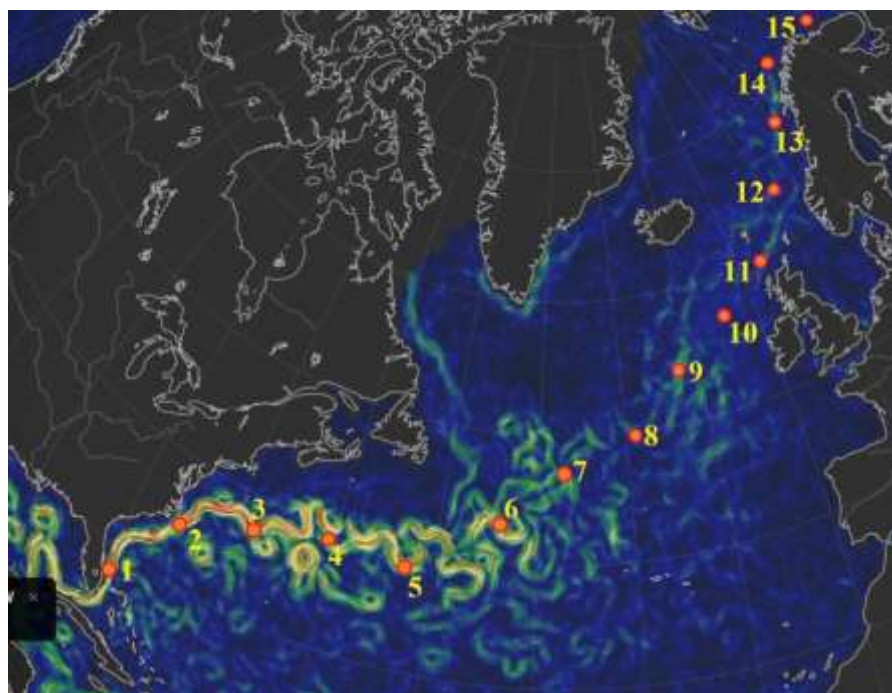


Рисунок 2.1 - Географическое расположение отобранных точек вдоль струи течения Гольфстрим (15 точек)

Для дальнейшей исследовательской работы были выбраны два десятилетия. Первое десятилетие – с января 1981 года по декабрь 1990 года, второе десятилетие – с января 2011 года по декабрь 2020 года.

Данные были осреднены по годам и месяцам для каждого десятилетия (с января 1981 года по декабрь 1990 и с января 2011 года по декабрь 2020 года), т.е. получены средние за 10 лет январские значения, февральские и т.д.

2.2 Методика обработки данных наблюдений

Основным методом в работе служил классический анализ водных масс на основе T, S – кривых по Мамаеву [7]. По ним выделялись ядра водных масс в Гольфстриме.

Обобщенные T, S – соотношения представляют собой основной материал для T, S – анализа. В него входит изучение вод и картирование их характеристик, таких как: вертикальной и горизонтальной протяженности, путей распространения, процентного соотношения результатов термохалинного анализа с другими показателями динамики вод, а также со «вторичными» признаками вод. Важной задачей T, S – соотношения является определение по обобщенным типам T, S – кривых коэффициентов вертикального и горизонтального турбулентного перемешивания, различных для областей взаимодействия различных вод, при помощи метода Якобсена [8].

В программе ODV были построены T, S – кривые за каждый месяц с января по декабрь для двух десятилетий (1981-1990 гг. и 2011- 2020 гг.).

После чего работа продолжилась вручную в программе Paint. Нужно было провести касательные прямые для каждой из двух T, S – кривых, чтобы найти ядро водной массы Гольфстрима, а также с помощью программы Ocean Data View (ODV) получилось отметить фактическое ядро водной массы Гольфстрима.

точки, определяющей практическое исчезновение ядра. Такая процентная номограмма применительно к T , S – линии трансформации ядра позволяет определять путем сопоставления линии трансформации с T , S – кривыми отдельных станций картину процентного содержания промежуточных или глубинных вод по пространству, следовательно, определять характер и интенсивность перемешивания водных масс [8].

3 Анализ изменчивости водной массы системы Гольфстрим

3.1 Сезонная изменчивость ядра водной массы Гольфстрима в начале течения

Рассмотрим, сезонную изменчивость ядра водной массы Гольфстрима в точке 1, которая располагается в начале течения Гольфстрим.

Используя методику T, S – кривых, были построены T, S – диаграммы за каждый месяц с января по декабрь для двух десятилетий (1981-1990 гг. и 2011- 2020 гг.). После чего было выявлено ядро водной массы Гольфстрима в начале течения с января по декабрь месяц. Построены графики по температуре, солёности воды и по глубине.

На рисунках 3.1-3.12 показаны T, S – диаграммы в точке 1, которая располагается в начале течения Гольфстрим. На данной T, S – кривой прослеживается 4 водные массы. В верхней части кривой точки относятся к поверхностной водной массе. Первый экстремум кривой прослеживается на глубине 250 – 300 м, отличается от других водных масс высокой солёностью и температурой и представляет центральную водную массу Гольфстрима. Второй экстремум кривой на глубине 800 – 850 м и ей соответствует промежуточная водная масса. И в конце придонная часть кривой изображает придонную воду. Больше всего нас интересует второй экстремум, поэтому нужно проследить за его изменениями по температуре и солёности во всех точках, которые были выбраны.

Например, на диаграмме (Рисунок 3.1) показана T, S – диаграмма для января месяца. Видно, что за период с 1981 года по 1990 год на глубине 149,4 метра температура воды равняется 22,14 °C, а солёность воды равна 36,58 ‰. За период с 2011 года по 2020 год фактическое ядро располагается на такой же глубине (149,4 метра), температурное значение равно 22,73 °C, а солёность – 36,73 ‰. Видно, что глубина не изменилась, и значения по

температуре и солености не меняются, различие только в десятых долях. Ядро водной массы Гольфстрима, которое определялось вручную, имеет почти схожие цифры с фактическим ядром. В январе за период с 1981 года по 1990 год значения температуры воды равняется 21,3 °С, соленость воды равна 36,79 ‰. За период с 2011 года по 2020 год температура воды – 22,2 °С, соленость воды – 37,20 ‰. Исходя из данной информации видно, что различие между двумя десятилетками есть, но незначительное.

Были построены T, S – диаграммы за каждый месяц с января по декабрь для двух десятилетий (1981-1990 гг. и 2011-2020 гг.), T, S – кривые представлены на рисунках 3.1-3.12. На каждой были выделены ядра водной массы Гольфстрима до перемешивания и фактические ядра. Все эти данные были занесены в Таблицу 3.1 для каждого месяца, где представлена информация о температуре и солености ядер водной массы Гольфстрима за два промежутка времени (1981-1990 гг. и 2011- 2020 гг.). Также отмечена глубина расположения фактического ядра водной массы Гольфстрима. По Таблице 3.1 были построены графики сезонной изменчивости характеристик ядра Гольфстрима (Рисунок 3.13-3.17) и проанализированы.

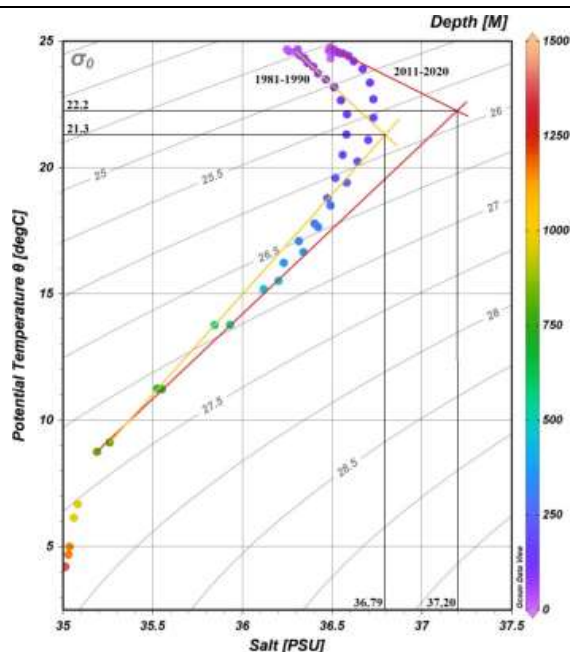


Рисунок 3.1 - T, S – кривые в январе за период с 1981-1990 гг. (желтые линии) и с 2011- 2020 гг. (красные линии) (1 точка)

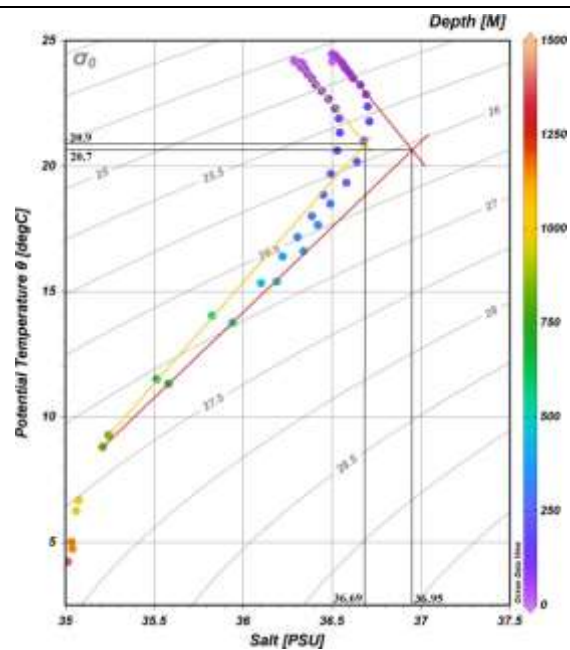


Рисунок 3.2 - T, S – кривые в феврале за период с 1981-1990 гг. (желтые линии) и с 2011- 2020 гг. (красные линии) (1 точка)

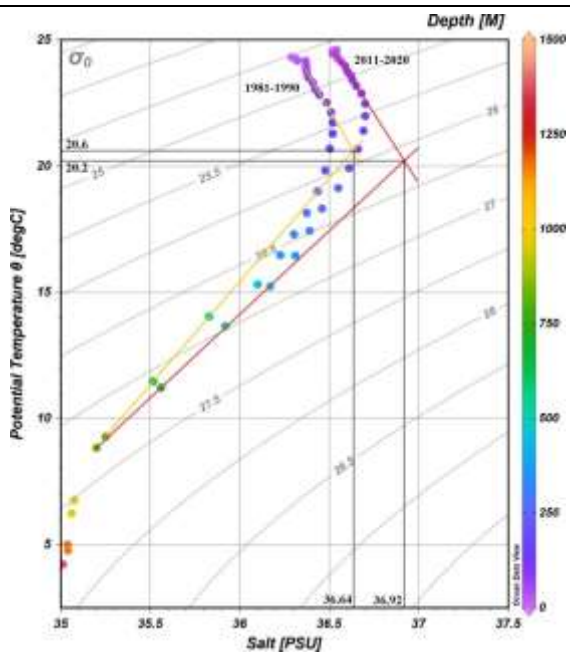


Рисунок 3.3 - T, S – кривые в марте за период с 1981-1990 гг. (желтые линии) и с 2011- 2020 гг. (красные линии) (1 точка)

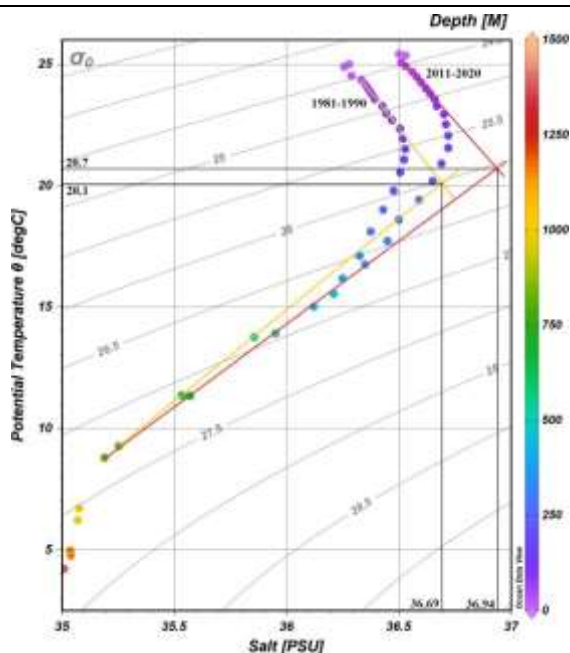


Рисунок 3.4 - T, S – кривые в марте за период с 1981-1990 гг. (желтые линии) и с 2011- 2020 гг. (красные линии) (1 точка)

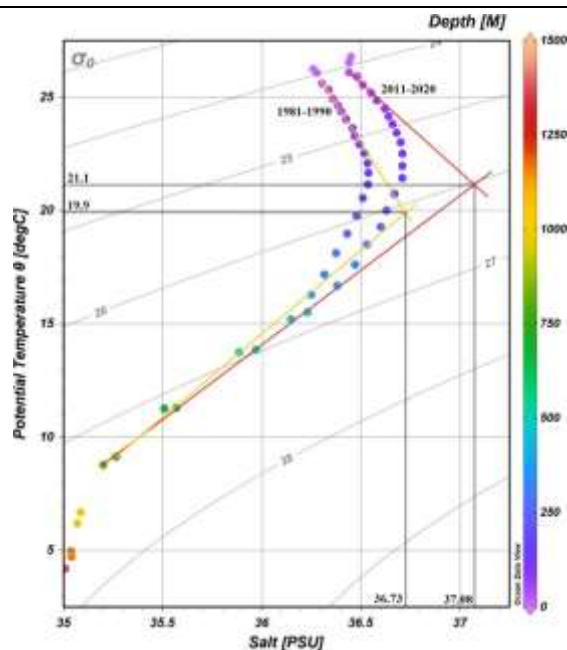


Рисунок 3.5 - Т, S – кривые в мае за период с 1981-1990 гг. (желтые линии) и с 2011- 2020 гг. (красные линии) (1 точка)

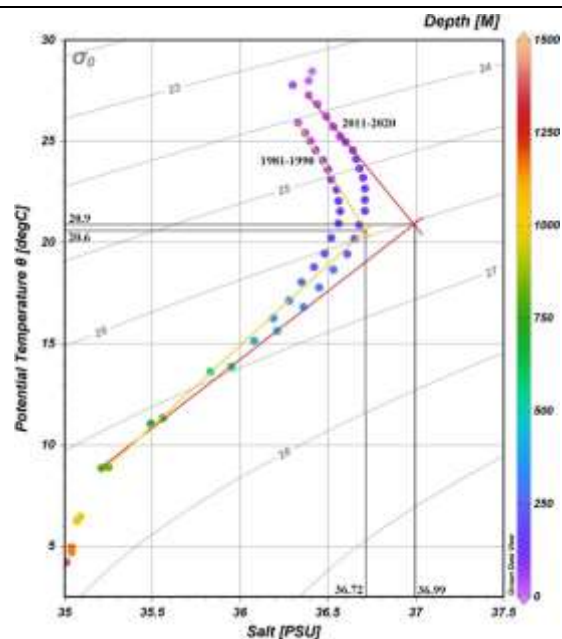


Рисунок 3.6 - Т, S – кривые в июне за период с 1981-1990 гг. (желтые линии) и с 2011- 2020 гг. (красные линии) (1 точка)

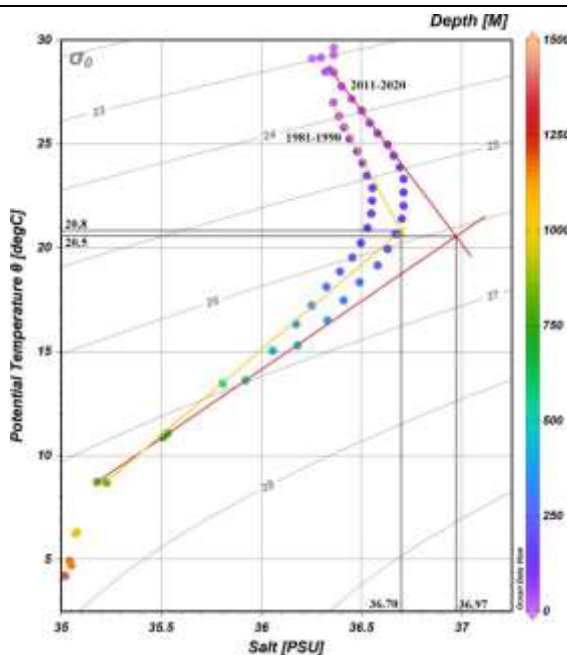


Рисунок 3.7 - Т, S – кривые в июле за период с 1981-1990 гг. (желтые линии) и с 2011- 2020 гг. (красные линии) (1 точка)

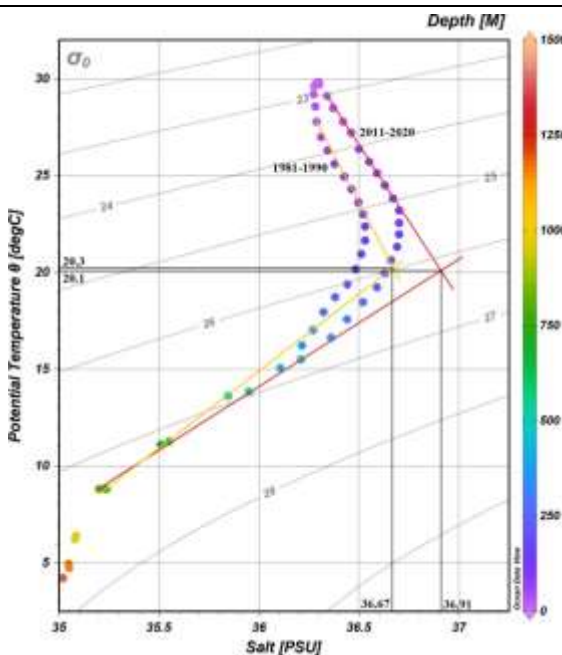


Рисунок 3.8 - Т, S – кривые в августе за период с 1981-1990 гг. (желтые линии) и с 2011- 2020 гг. (красные линии) (1 точка)

Месяц	1981-1990					2011-2020				
	Ядро		Фактическое ядро			Ядро		Фактическое ядро		
	T, °C	S, ‰	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	T, °C	S, ‰	Z, м
Январь	21,3	36,79	22,14	36,58	149,43	22,2	37,2	22,73	36,73	149,43
Февраль	20,9	36,69	21,36	36,54	165,73	20,7	36,95	21,81	36,71	165,73
Март	20,6	36,64	21,76	36,52	149,43	20,2	36,92	22,5	36,7	135,03
Апрель	20,1	36,69	21,54	36,53	149,43	20,7	36,94	22,09	36,72	149,43
Май	19,9	36,73	21,69	36,54	149,43	21,1	37,08	22,00	36,71	149,43
Июнь	20,6	36,72	21,57	36,57	149,43	20,9	36,99	22,14	36,71	149,43
Июль	20,8	36,7	22,9	36,55	121,95	20,5	36,97	23,33	36,71	121,95
Август	20,3	36,67	21,69	36,53	149,43	20,1	36,91	22,59	36,7	135,03
Сентябрь	21,2	36,68	21,77	36,57	149,43	20,7	36,95	23,33	36,7	121,95
Октябрь	21,8	36,74	21,98	36,56	149,43	22,7	37,17	22,9	36,72	135,03
Ноябрь	21,9	36,78	21,88	36,57	149,43	23,3	37,19	22,29	36,73	149,43
Декабрь	21,7	36,83	21,9	36,6	149,43	23,1	37,19	22,42	36,73	149,43

По Таблице 3.1 можно увидеть, что самый теплый месяц наблюдается в июле, значения температуры воды равняются 22,90 °C (с 1981-1990 гг.) и 23,33 °C (с 2011- 2020 гг.). При этом значения солености воды равно 36,55 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 36,71 ‰ (с 2011- 2020 гг.). Холодный месяц наблюдается в феврале. Значения по температуре воды равняются 21,36 °C (с 1981-1990 гг.) и 21,81 °C (с 2011- 2020 гг.). При этом значения солености воды равно 36,54 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 36,71 ‰ (с 2011- 2020 гг.).

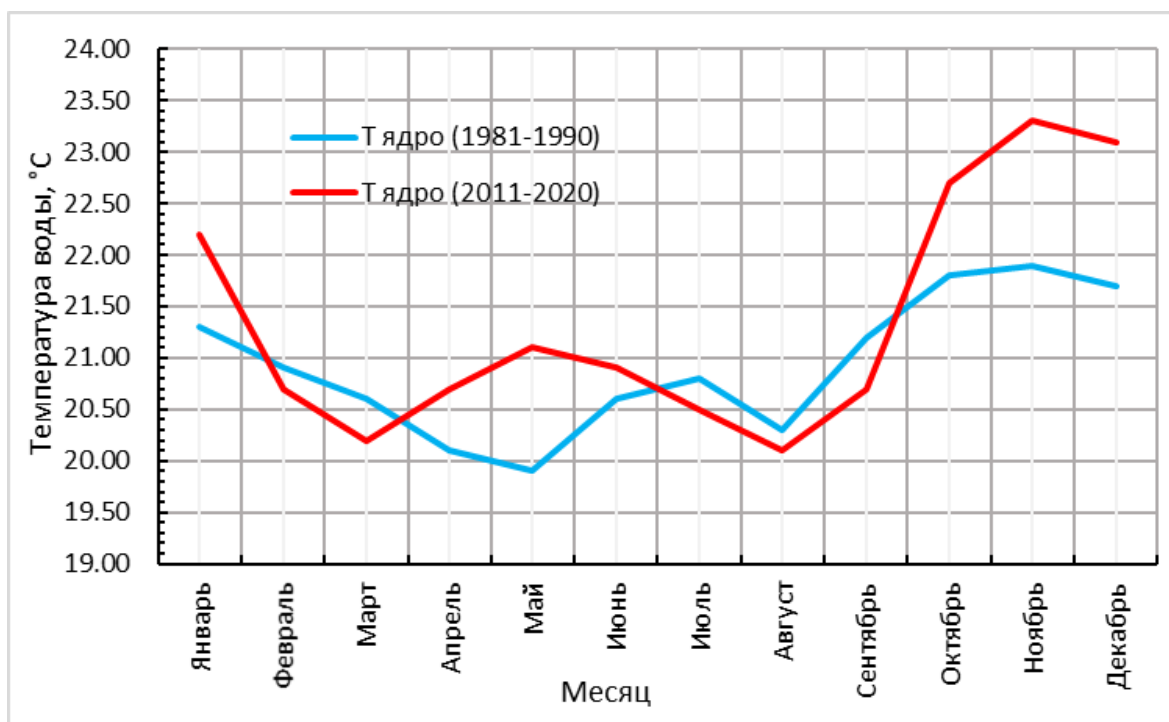


Рисунок 3.13 - Температура в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (1 точка)

На графике (Рисунок 3.13) видно, что значение температуры в ядре водной массы Гольфстрим за 20 лет имеют отличия. Максимум первого периода (1981-1990 год) в ноябре месяце равен 21,9 °C, а максимум второго периода (2011-2020 год) в ноябре месяце равен 23,3 °C. Минимум первого периода (1981-1990 год) в мае месяце равен 19,9 °C, а минимум второго периода (2011-2020 год) в августе месяце равен 20,1 °C. Следовательно, можно сказать, что температура воды в ядре водной массы Гольфстрим за время стало теплее.

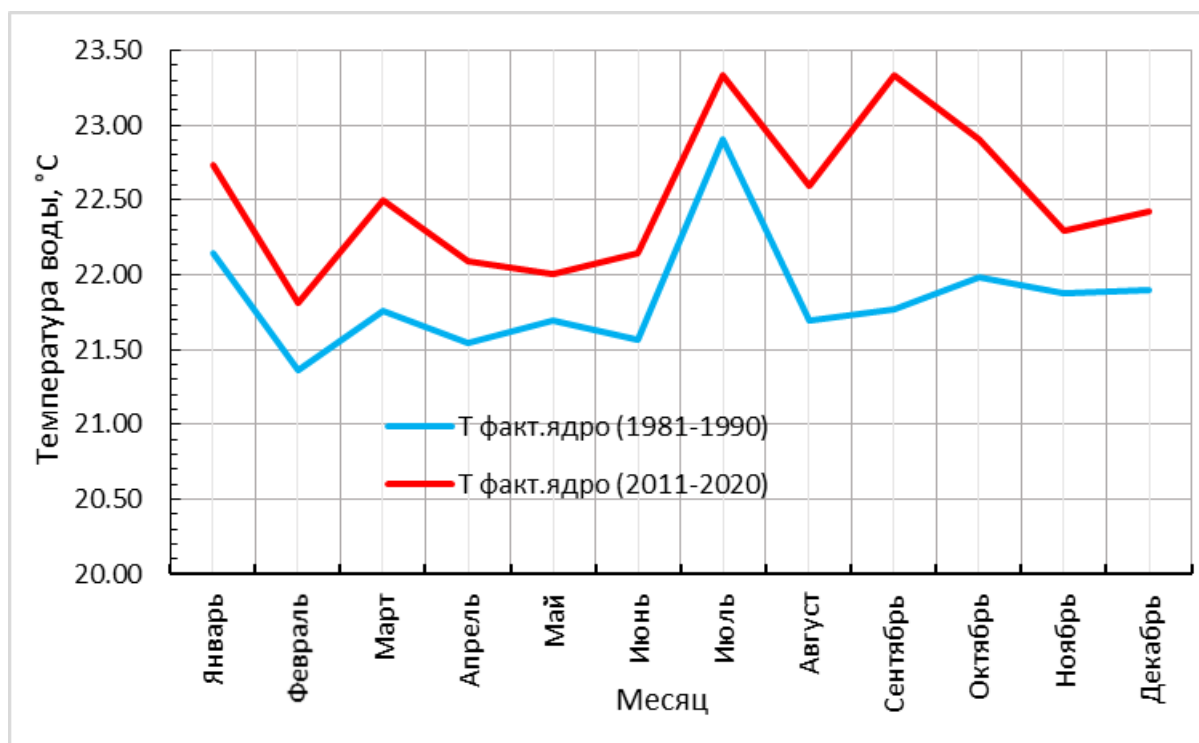


Рисунок 3.14 - Температура в фактическом ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (1 точка)

На графике (Рисунок 3.14) можно проследить, то как значения температуры в фактическом ядре водных масс Гольфстрим за два периода (1981-1990 гг. и 2011-2020 гг.) различны. Максимум первого периода (1981-1990 год) в июле месяце равен 22,9 °С, а максимум второго периода (2011-2020 год) в июле месяце равен 23,33 °С. Минимум первого периода (1981-1990 год) в феврале месяце равен 21,36 °С, а минимум второго периода(2011-2020 год) в феврале месяце равен 21,81 °С. Видно, что температура воды фактического ядра за второй период больше, следовательно, что водные массы стали теплее.

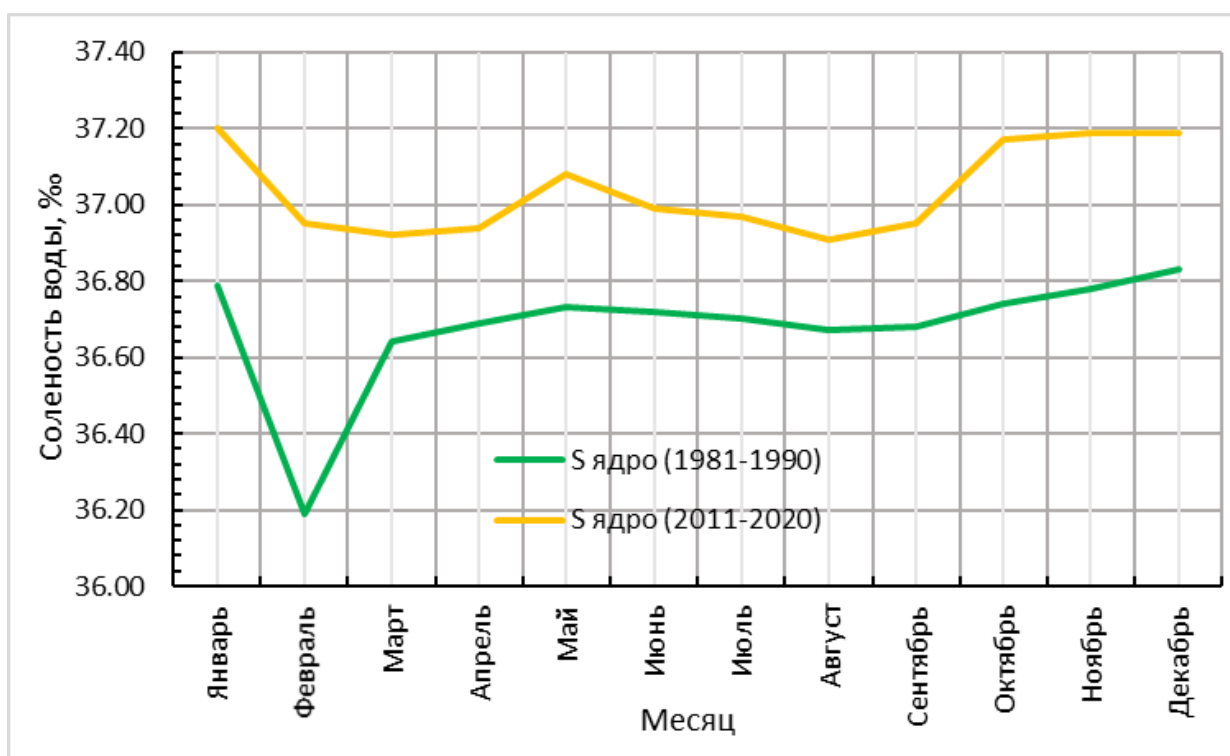


Рисунок 3.15 - Соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (1 точка)

На графике (Рисунок 3.15) заметны отличие в значениях солености в ядре водных масс Гольфстрим за два десятилетия (1981-1990 гг. и 2011-2020 гг.). Максимум первого периода (1981-1990 год) в декабре месяце равен 36,83 ‰, а максимум второго периода (2011-2020 год) в январе месяце равен 37,20 ‰. Минимум первого периода (1981-1990 год) в феврале месяце равен 36,19 ‰, а минимум второго периода (2011-2020 год) в августе месяце равен 36,91 ‰. Можно увидеть, что значения солености воды за второй период (2011-2020 гг.) больше, следовательно, за 20 лет произошло увеличение солености в ядре водной массы Гольфстрим.

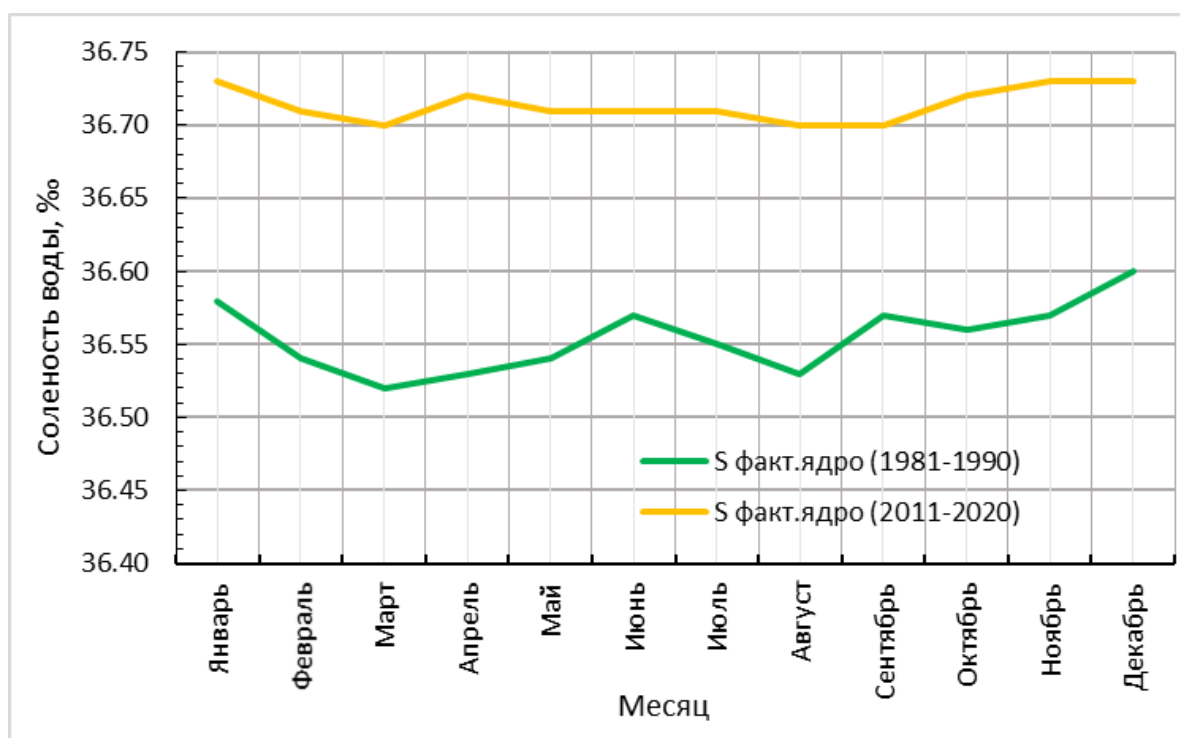


Рисунок 3.16 - Соленость в фактическом ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (1 точка)

На графике (Рисунок 3.16) наблюдаем, отличия между значениями солености в фактическом ядре водных масс Гольфстрим за два периода времени. Максимум первого периода (1981-1990 год) в декабре месяце равен 36,60 ‰, а максимум второго периода (2011-2020 год) с ноября по январь месяц равен 36,73 ‰. Минимум первого периода (1981-1990 год) в марте месяце равен 36,52 ‰, а минимум второго периода (2011-2020 год) в марте, августе-сентябре месяце равен 36,70 ‰. Можно заметить, что значения солености воды за второй период больше (2011-2020 гг.) – это показывает, что соленость воды за 20 лет изменилась.

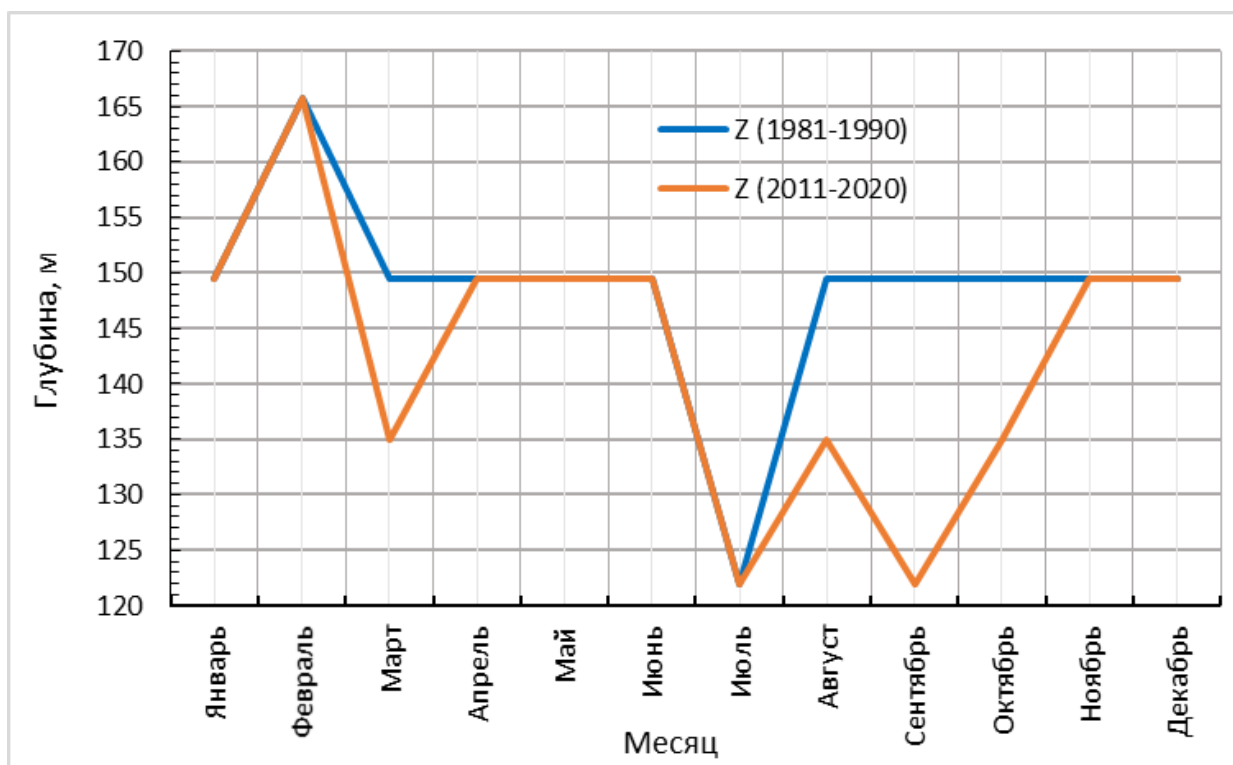


Рисунок 3.17 – Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (1 точка)

На графике (Рисунок 3.17) видно, что глубина фактического ядра за период с 1981 года по 1990 год в определенных месяцах не сильно отличается от периода с 2011 года по 2020 год. Максимальная глубина, что за первый период, что за второй наблюдается в феврале месяце и равна 165,7 метров. Минимальная глубина за 2 периода наблюдаются в июле и равна 120 метров. В марте, августе и до ноября месяца видны различия по глубине, что говорит о том, что за длительное время водные массы Гольфстрим двигались и изменялись. То есть глубины практически совпадают, это говорит о том, что в течение года водная масса Гольфстрима стабильна и не меняет своей изменчивости.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в начале Гольфстрима за период с 1981–1990 гг. до 2011–2020 гг. произошли заметные изменения температуры и солености водных масс Гольфстрима: значения температуры

воды увеличилось приблизительно на 1 °С, а значения по солености воды увеличилось на 2 ‰. Глубина залегания ядра вод Гольфстрима в переходные периоды стала располагаться выше на 15-30 м.

3.2 Сезонная изменчивость ядра водной массы Гольфстрима вдоль течения Гольфстрим и Северо-Атлантического течения

Рассмотрим, сезонную изменчивость ядра водной массы Гольфстрима в других выбранных точках 3, 5, 7, 10, 12, 14.

По такому же принципу, как в разделе 3.1 анализировались T,S–диаграммы для всех точек за каждый месяц с января по декабрь для двух десятилетий (1981-1990 гг. и 2011- 2020 гг.). Все диаграммы приведены в Приложении А. Результаты T,S–анализа были занесены в Таблицы 3.2-3.7, отдельные для каждой выбранной точки (3, 5, 7, 10, 12, 14), где представлена информация о температуре и солености фактического ядра водной массы Гольфстрима за два промежутка времени (1981-1990 гг. и 2011- 2020 гг.). Также отмечена глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима. По Таблицам были построены графики (Рисунки 3.18-3.35) и проанализированы.

По Таблице 3.2 и Рисунку 3.18 можно увидеть, что в точке 3 самый теплый месяц наблюдается в октябре, значения температуры воды равняются 20,95 °С (с 1981-1990 гг.) и в ноябре - 21,85 °С (с 2011-2020 гг.). Самый холодный месяц наблюдается в марте. Значения по температуре воды равняются 18,14 °С (с 1981-1990 гг.) и 18,17 °С (с 2011-2020 гг.). Можно отметить, что за определенный период времени – 20 лет, произошло значительное потепление, то есть температура воды увеличилась приблизительно на 1 °С.

Таблица 3.2 – Температура и соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. с января по декабрь месяц (3 точка).

Месяц	1981-1990			2011-2020		
	Фактическое ядро			Фактическое ядро		
	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	Z, м
Январь	19,11	35,81	55,69	20,09	36,28	66,04
Февраль	18,25	35,88	55,69	18,88	36,24	76,55
Март	18,14	35,86	55,69	18,17	36,2	76,55
Апрель	18,92	36,05	45,45	19,3	36,36	76,55
Май	19,53	36,04	55,69	19,3	36,36	76,55
Июнь	18,45	36,14	98,31	19,4	36,37	98,31
Июль	19,44	36,23	98,31	20,17	36,42	98,31
Август	20,11	36,31	98,31	20,44	36,43	98,31
Сентябрь	19,87	36,31	109,81	21,11	36,41	98,31
Октябрь	20,95	36,27	98,31	21,7	36,44	98,31
Ноябрь	20,79	36,24	109,81	21,85	36,41	98,31
Декабрь	20,85	36,07	98,31	21,73	36,28	66,04

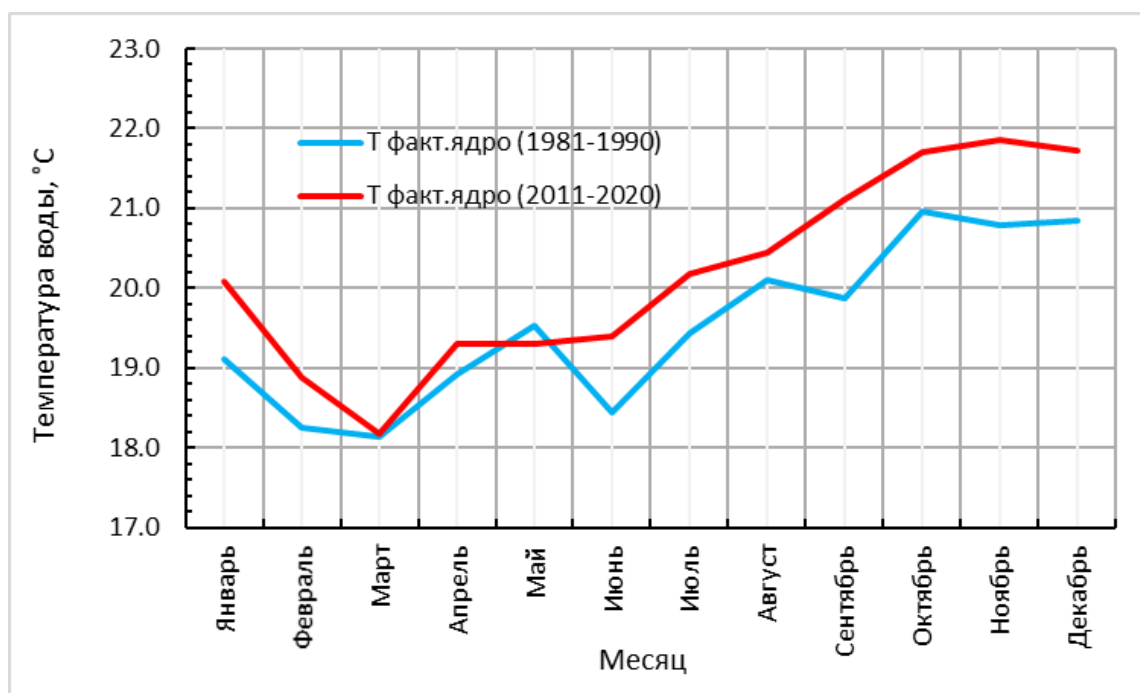


Рисунок 3.18 - Температура в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (3 точка)

По Таблице 3.2 и Рисунку 3.19 видим, что в точке 3 самый теплый месяц, в октябре, значения солености воды равно 36,27 ‰ (с 1981-1990 гг.) и

в ноябре – 36,41 ‰ (с 2011-2020 гг.). В самый холодный месяц, в марте, значения по солености - 35,86 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 36,20 ‰ (с 2011-2020 гг.). Видно, что соленость за 20 лет также увеличилась на 0,1-0,5 ‰.

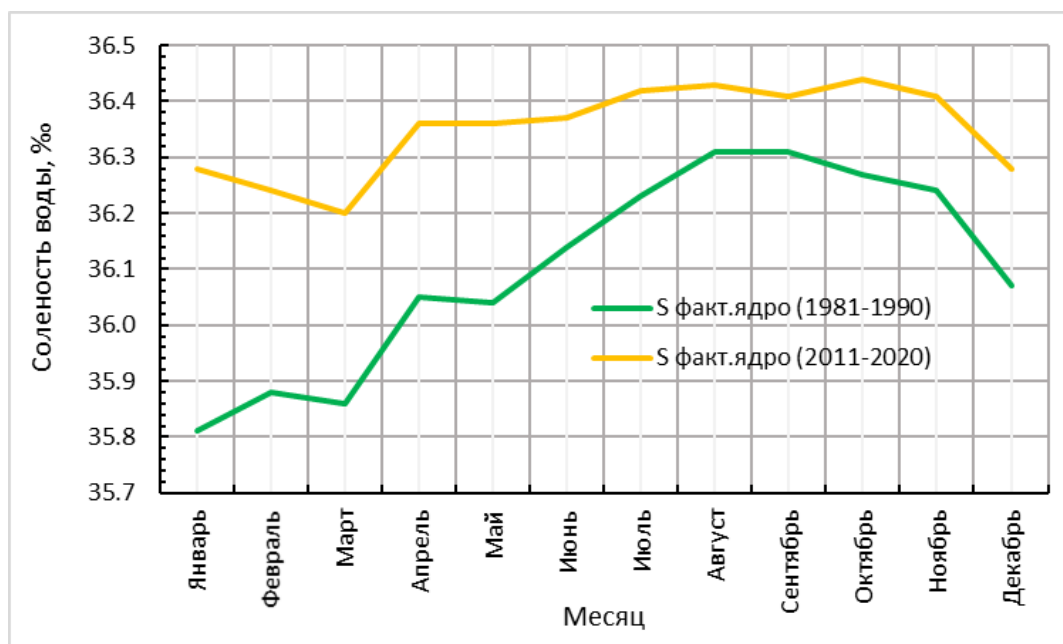


Рисунок 3.19 - Соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (3 точка)

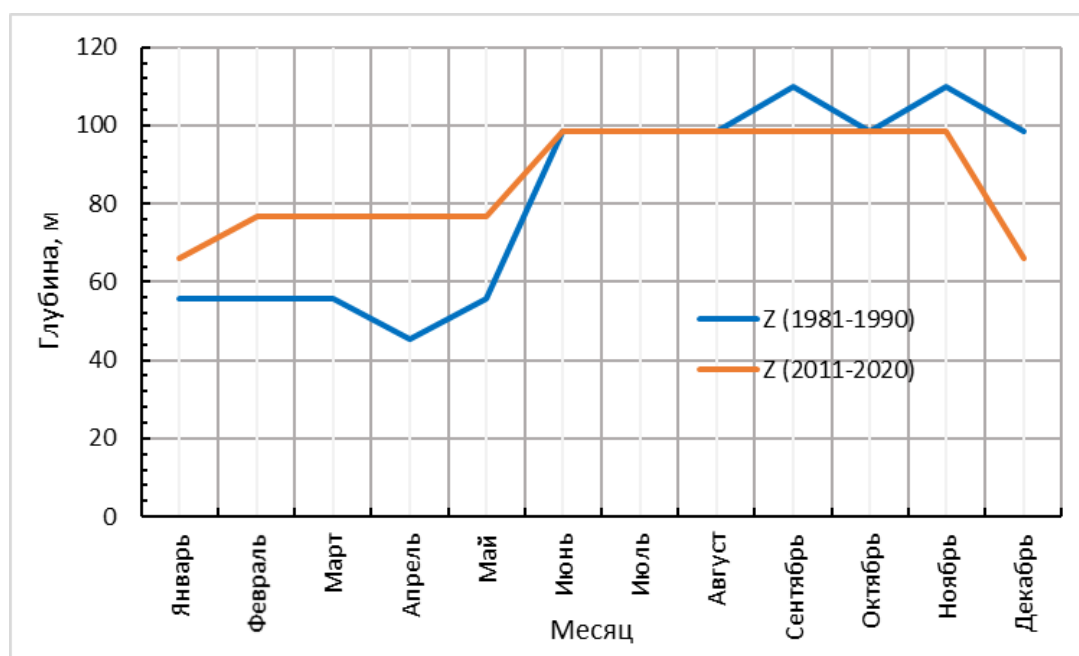


Рисунок 3.20 – Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (3 точка)

По Таблице 3.3 и Рисунку 3.21 можно увидеть, что в точке 5 самый теплый месяц наблюдается в сентябре, значения температуры воды равняются 19,95 °С (с 1981-1990 гг.) и 21,44 °С (с 2011-2020 гг.). Самый холодный месяц наблюдается в феврале, где значения по температуре воды равняются 17,61 °С (с 1981-1990 гг.) и в апреле – 18,02 °С (с 2011-2020 гг.). Можно отметить, что за 20 лет произошло значительное потепление, где значения температуры воды увеличивалось до 1 °С.

По Таблице 3.3 и Рисунку 3.22 видим, что в точке 5 самый теплый месяц в сентябре, и имеет значения солёности воды равные 36,51 ‰ (с 1981-1990 гг.) и в ноябре – 36,71 ‰ (с 2011-2020 гг.). В самый холодный месяц значения по солёности - 36,31 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 36,44 ‰ (с 2011-2020 гг.). Можно сказать, что солёность также, как и температура, увеличилась за 20 лет на 0,2-0,3 ‰.

Глубина залегания ядра (Рисунок 3.23) водной массы Гольфстрима за второй период времени (2011-2020 гг.) уменьшилась на 20-60 м. Это говорит нам о том, что в данной точке происходит перемещение водных масс.

Таблица 3.3 – Температура и солёность в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. с января по декабрь месяц (5 точка).

Месяц	1981-1990			2011-2020		
	Фактическое ядро			Фактическое ядро		
	Т, °С	S, ‰	Z, м	Т, °С	S, ‰	Z, м
Январь	19,13	36,38	121,95	19,26	36,41	121,95
Февраль	17,61	36,31	135,03	19,01	36,46	109,81
Март	17,84	36,34	165,73	18,72	36,52	121,95
Апрель	18,06	36,38	165,73	18,02	36,44	165,73
Май	18,49	36,41	165,73	18,21	36,42	165,73
Июнь	18,16	36,47	165,73	19,62	36,58	87,27
Июль	18,64	36,45	165,73	19,47	36,56	121,95
Август	19,39	36,55	121,95	20,78	36,65	98,31
Сентябрь	19,95	36,51	109,81	21,44	36,71	98,31
Октябрь	19,89	36,53	121,95	20,81	36,64	121,95
Ноябрь	19,4	36,45	165,73	20,98	36,57	121,95
Декабрь	19,66	36,48	149,43	19,7	36,49	149,43



Рисунок 3.21 – Температура в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (5 точка)



Рисунок 3.22 - Соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (5 точка)

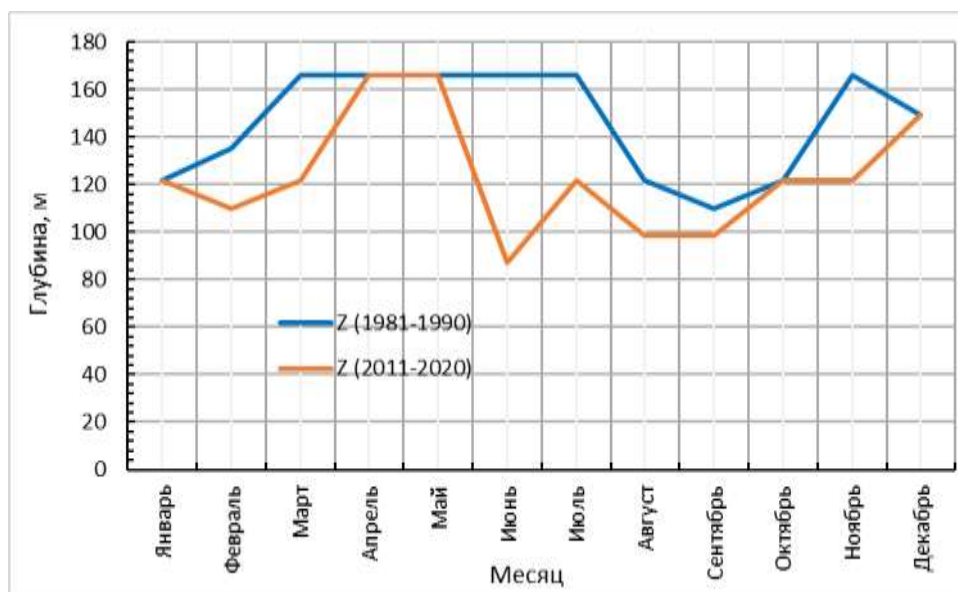


Рисунок 3.23 – Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (5 точка)

По Таблице 3.4 и Рисунку 3.24 можно увидеть, что в точке 7 самый теплый месяц наблюдается в октябре, значения температуры воды равно 15,16 °C (с 1981-1990 гг.) и в сентябре – 14,71 °C (с 2011- 2020 гг.). Самый холодный месяц наблюдается в феврале, где значения по температуре воды равняются 17,61 °C (с 1981-1990 гг.) и в апреле – 18,02 °C (с 2011-2020 гг.). На графике видно, то как за второй промежуток времени (с 2011-2020 гг.) температура была выше на 0,5-1,0 °C, но в июле температура за первый период будет выше на 0,5 °C, чем за второй.

По Таблице 3.4 и Рисунку 3.25 видим, что в точке 7 самый теплый месяц - в сентябре, имеет значения солёности воды равные 36,51 ‰ (с 1981-1990 гг.) и в ноябре – 36,71 ‰ (с 2011-2020 гг.). В самый холодный месяц значения по солёности - 36,31 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 36,44 ‰ (с 2011-2020 гг.). Можно сказать, что солёность также, как и температура, незначительно увеличилась на 0,05 ‰ за 20 лет.

Таблица 3.4 – Температура и соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. с января по декабрь месяц (7 точка).

Месяц	1981-1990			2011-2020		
	Фактическое ядро			Фактическое ядро		
	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	Z, м
Январь	13,11	35,66	184,7	13,46	35,63	149,43
Февраль	12,53	35,62	184,7	12,93	35,6	121,95
Март	12,21	35,59	184,7	12,45	35,58	165,73
Апрель	12,15	35,6	184,7	12,33	35,59	149,43
Май	12,15	35,59	184,7	12,74	35,66	98,31
Июнь	12,23	35,61	184,7	13,58	35,7	66,04
Июль	13,85	35,75	76,55	13,92	35,7	66,04
Август	14,8	35,82	76,55	14,23	35,76	76,55
Сентябрь	15,01	35,84	76,55	14,71	35,8	76,55
Октябрь	15,16	35,82	98,31	14,61	35,81	98,31
Ноябрь	14,13	35,75	149,43	14,08	35,74	121,95
Декабрь	14,1	35,72	149,43	13,74	35,69	149,43

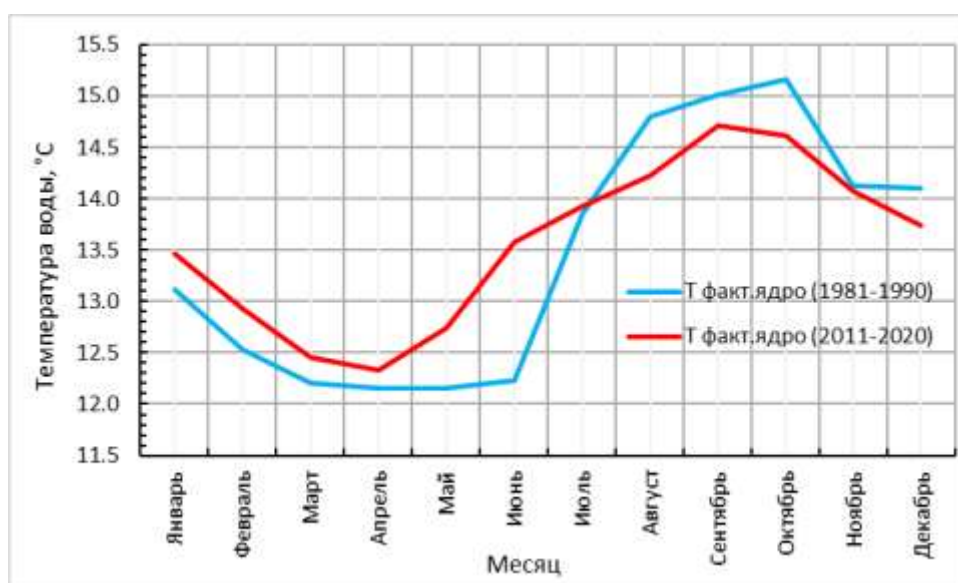


Рисунок 3.24 – Температура в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (7 точка)

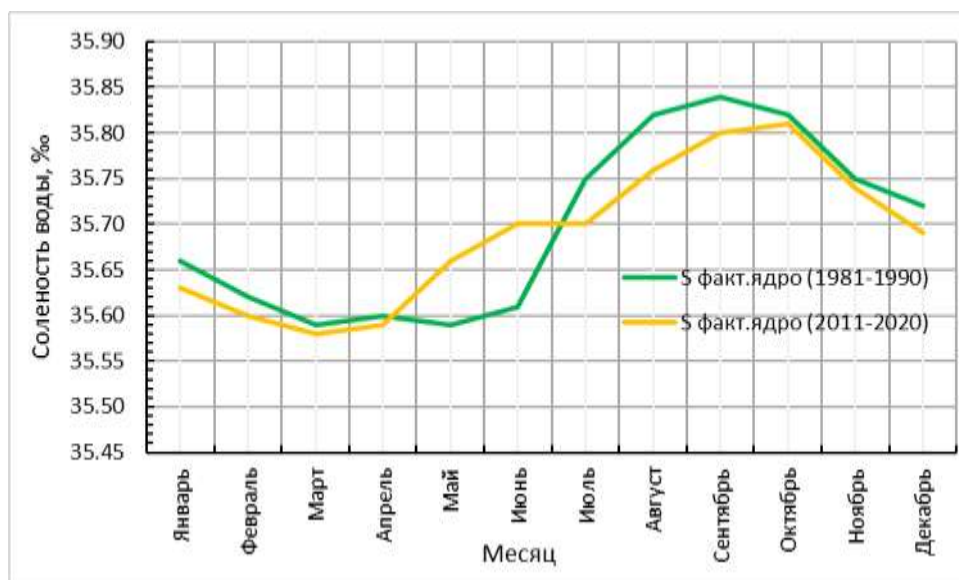


Рисунок 3.25 - Соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (7 точка)

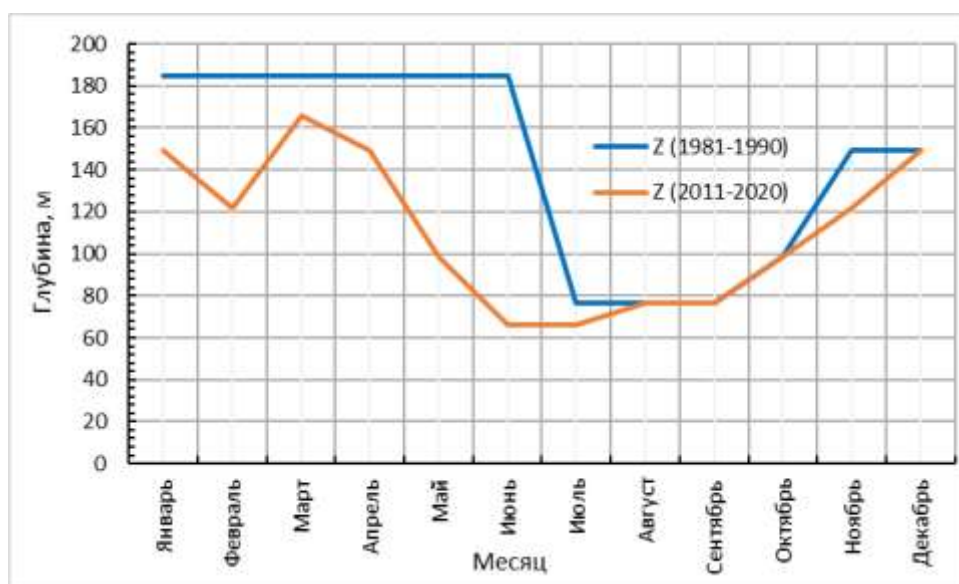


Рисунок 3.26 – Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (7 точка)

На графике (Рисунок 3.26) прослеживается изменение глубины залегания ядра до июня месяца, то есть глубина фактического ядра водной массы за второй период времени (2011-2020 гг.) уменьшилась на 20-100 м. В

другие месяца различия по глубине незначительны. Видно, что происходит какое-то передвижение водных масс Гольфстрима.

По Таблице 3.5 и Рисунку 3.27 можно увидеть, что в точке 10 самый теплый месяц наблюдается в декабре, значения температуры воды равно 9,59 °С (с 1981-1990 гг.) и в ноябре – 10,14 °С (с 2011- 2020 гг.). Самый холодный месяц наблюдается в апреле. Значения по температуре воды равно 8,95 °С (с 1981-1990 гг.) и в августе - 9,31 °С (с 2011-2020 гг.). Можно отметить, что за промежуток времени произошло значительное потепление, где значения температуры воды увеличивалось до 0,2-1,0 °С.

Таблица 3.5 – Температура и соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. с января по декабрь месяц (10 точка).

Месяц	1981-1990			2011-2020		
	Фактическое ядро			Фактическое ядро		
	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	Z, м
Январь	9,29	35,35	446,8	9,76	35,3	372,97
Февраль	9,44	35,34	446,8	9,54	35,29	372,97
Март	9,3	35,34	446,8	9,37	35,29	372,97
Апрель	8,95	35,33	315,37	9,33	35,29	372,97
Май	9,06	35,32	315,37	9,36	35,3	372,97
Июнь	9,22	35,33	315,37	9,38	35,3	372,97
Июль	9,24	35,32	446,8	9,32	35,3	372,97
Август	9,24	35,33	446,8	9,31	35,28	372,97
Сентябрь	9,21	35,33	446,8	9,43	35,27	372,97
Октябрь	9,3	35,33	446,8	9,35	35,25	446,8
Ноябрь	9,45	35,35	372,97	10,14	35,3	184,7
Декабрь	9,59	35,36	372,97	9,8	35,3	315,37

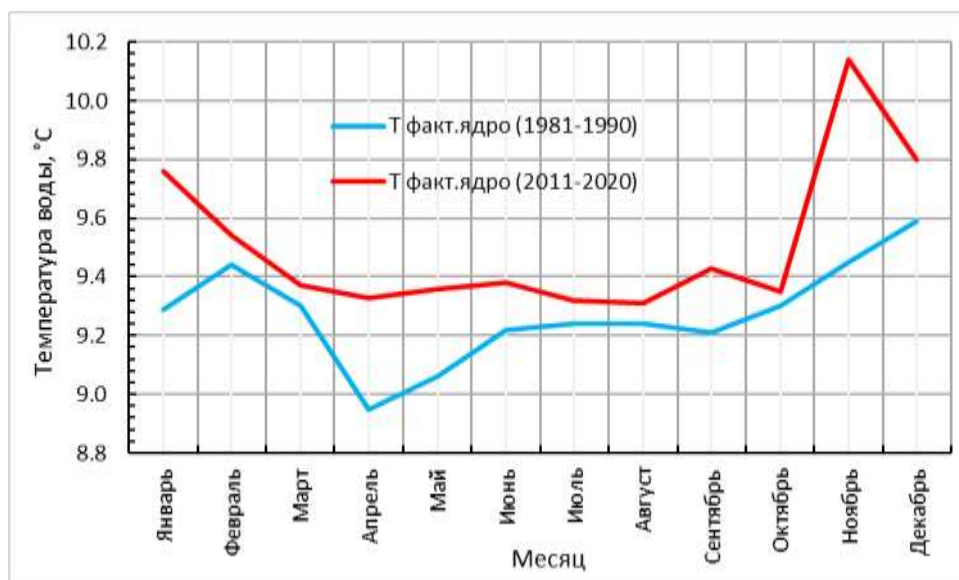


Рисунок 3.27 – Температура в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (10 точка)

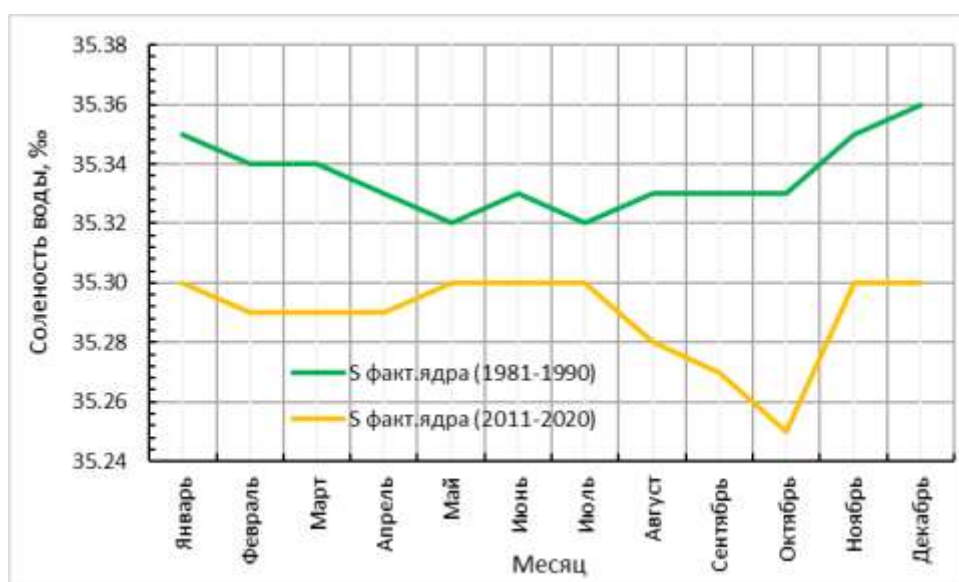


Рисунок 3.28 - Соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (10 точка)

По Таблице 3.5 и Рисунку 3.28 прослеживается, что в точке 10 самый теплый месяц – в декабре, соленость воды равна 33,36 ‰ (с 1981-1990 гг.) и в ноябре – 35,30 ‰ (с 2011-2020 гг.). В самый холодный месяц значения по солености в апреле - 35,33 ‰ (с 1981-1990 гг.) и в августе - 35,28 ‰ (с 2011-2020 гг.). Можно сказать, что за 20 лет соленость также, как и температура, увеличилась на 0,02-0,1 ‰.

На графике (Рисунок 3.29) видны изменения по глубине. Глубина залегания фактического ядра водной массы за второй период времени (2011-2020 гг.) стала меньше на 80-100 м. Это говорит о том, что водная масса Гольфстрима нестабильна в течение этих 20 лет.

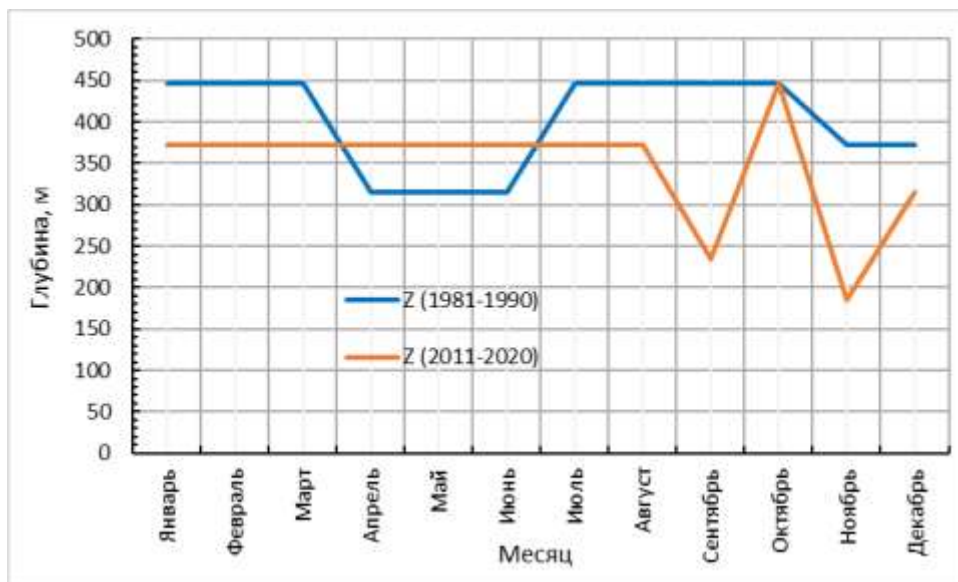


Рисунок 3.29 – Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (10 точка)

12 точка уже находится в Норвежском море и отражает гидрологические условия Северо-Атлантического течения.

По Таблице 3.6 и Рисунку 3.30 видно, что в точке 12 самый теплый месяц отмечается в октябре, значения температуры воды равняются 8,62 °C (с 1981-1990 гг.) и 8,76 °C (с 2011- 2020 гг.). Самый холодный месяц наблюдается в апреле, значения по температуре воды равно 5,64 °C (с 1981-1990 гг.) и в марте - 6,25 °C (с 2011-2020 гг.). Видно, что на данном графике температура за 2 промежутка времени до июня месяца различалась, но в другие месяца практически не изменилась. То есть, было какое-то влияние перемещения водной массы, но незначительное.

Таблица 3.6 – Температура и соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. с января по декабрь месяц (12 точка).

Месяц	1981-1990			2011-2020		
	Фактическое ядро			Фактическое ядро		
	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	Z, м
Январь	7,03	35,13	184,7	7,17	35,16	207,43
Февраль	6,72	35,12	207,43	7,04	35,16	165,73
Март	6,59	35,13	207,43	6,25	35,13	235,39
Апрель	5,64	35,09	315,37	6,28	35,13	235,39
Май	5,95	35,12	270,53	6,91	35,16	165,73
Июнь	7,21	35,18	121,95	7,07	35,15	149,43
Июль	7,84	35,35	87,27	7,88	35,2	98,31
Август	8,04	35,32	87,27	7,98	35,2	98,31
Сентябрь	8,36	35,29	87,27	8,41	35,22	98,31
Октябрь	8,62	35,25	87,27	8,76	35,21	98,31
Ноябрь	8,38	35,15	109,81	8,3	35,21	149,43
Декабрь	7,98	35,16	135,03	8,15	35,18	149,43

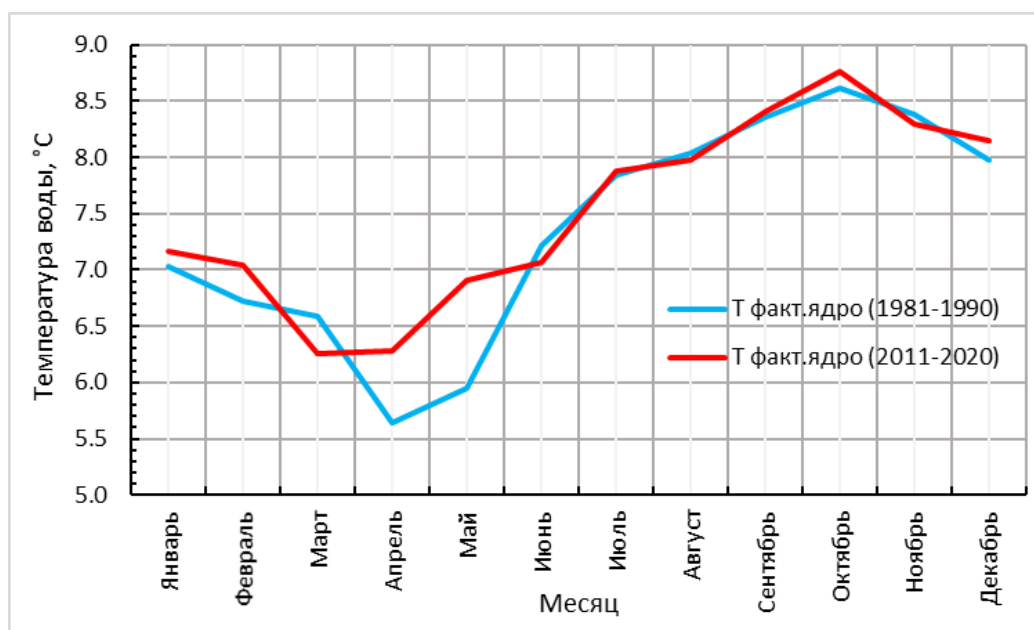


Рисунок 3.30 – Температура в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (12 точка)

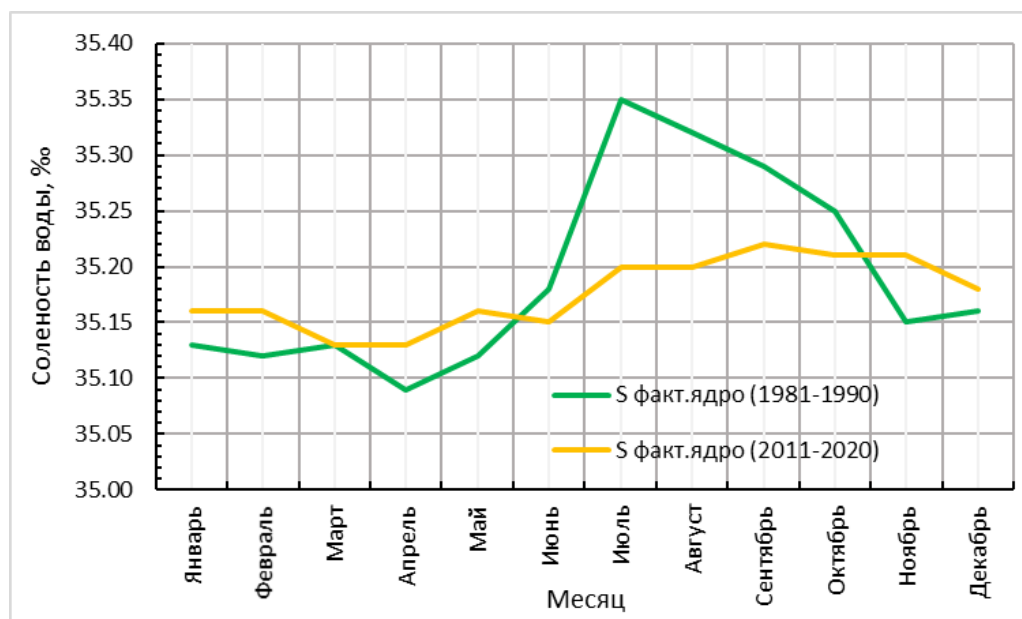


Рисунок 3.31 - Соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (12 точка)

По Таблице 3.6 и Рисунку 3.31 видно, что в точке 12 самый теплый месяц - в октябре, имеет значения солености воды равные 35,25 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 35,21 ‰ (с 2011-2020 гг.). В самый холодный месяц значения по солености равно 35,09 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 35,13 ‰ (с 2011-2020 гг.). Значения по солености за первое десятилетие (1981-1990 гг.) скачкообразно изменялись, в отличие от значений по солености за второе десятилетие (2011-2020 гг.). То есть соленость за второе десятилетие стала стабильнее. Максимальная разница значений по солености за 20 лет равна 0,15 ‰.

На графике (Рисунок 3.32) можно отметить, что глубина за второе десятилетие (2011-2020 гг.) также уменьшилась, как и в предыдущих точках. Но уменьшение прослеживается до июня месяца, после чего значения на 10 м чуть глубже, чем значения первого десятилетия (1981-1990 гг.). Следовательно, глубина фактического ядра водной массы нестабильно и изменяется.

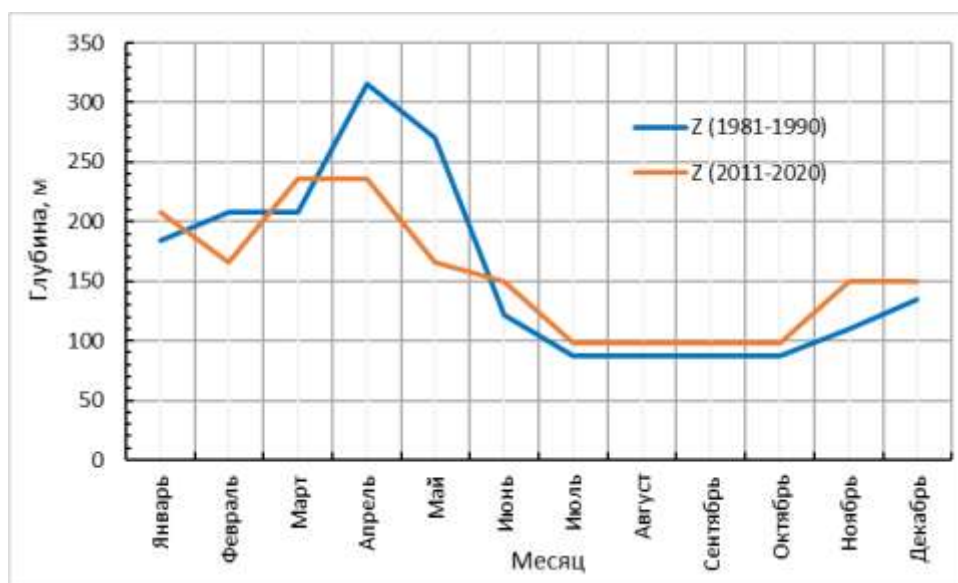


Рисунок 3.32 – Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (12 точка)

По Таблице 3.7 и Рисунку 3.33 можно увидеть, что в точке 14 самый теплый месяц отмечается в ноябре, значения температуры воды равняются 6,26 °C (с 1981-1990 гг.) и 6,84 °C (с 2011- 2020 гг.). Самый холодный месяц наблюдается в апреле, значения по температуре воды равно 4,93 °C (с 1981-1990 гг.) и 5,89 °C (с 2011-2020 гг.). Здесь четко видно, что за 20 лет произошло увеличение температуры воды на 2 °C.

По Таблице 3.7 и Рисунку 3.34 видно, что в точке 14 самый теплый месяц имеет значения солёности воды равные 35,00 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 35,00 ‰ (с 2011-2020 гг.). В самый холодный месяц значения по солёности равно 34,96 ‰ (с 1981-1990 гг.) и 35,01 ‰ (с 2011-2020 гг.). На графике можно заметить, что солёность за 20 лет имеет незначительную разницу (увеличилась на 0,04-0,06 ‰) – это говорит нам о том, что влияние на солёность в ядре водной массы Гольфстрима в данной точке было мало.

Таблица 3.7 – Температура и соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. с января по декабрь месяц (14 точка).

Месяц	1981-1990			2011-2020		
	Фактическое ядро			Фактическое ядро		
	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	Z, м
Январь	5,52	34,98	149,43	6,46	35,04	184,7
Февраль	5,16	34,97	165,73	6,33	35,01	165,73
Март	5,09	34,96	165,73	6,12	35,00	165,73
Апрель	4,93	34,96	165,73	5,89	35,01	165,73
Май	5,07	34,98	165,73	5,95	35,03	165,73
Июнь	5,29	35,00	165,73	6,01	35,04	165,73
Июль	5,4	35,01	165,73	6,23	35,02	165,73
Август	5,71	35,04	165,73	6,46	35,04	165,73
Сентябрь	5,93	35,04	165,73	6,59	35,04	165,73
Октябрь	6,18	35,04	165,73	6,73	35,00	165,73
Ноябрь	6,26	35,00	165,73	6,84	35,00	165,73
Декабрь	5,81	34,96	165,73	6,84	35,01	165,73

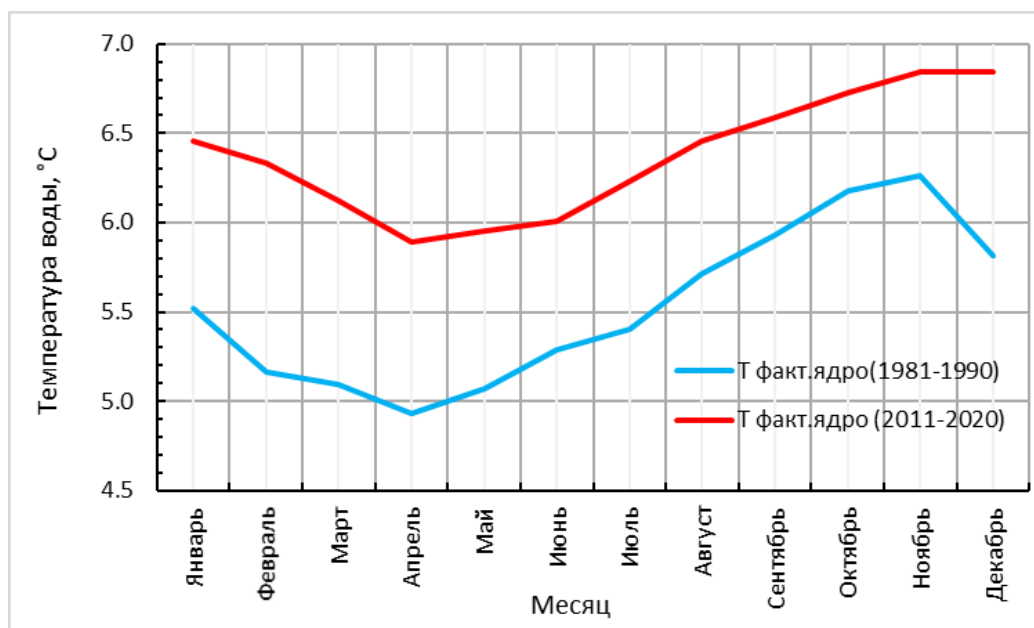


Рисунок 3.33 – Температура в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (14 точка)

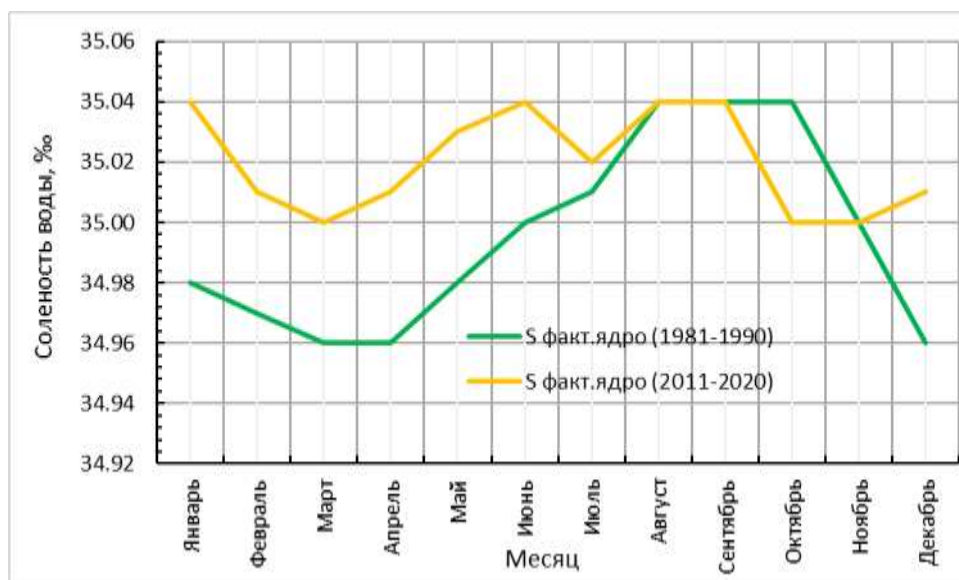


Рисунок 3.34 - Соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (14 точка)

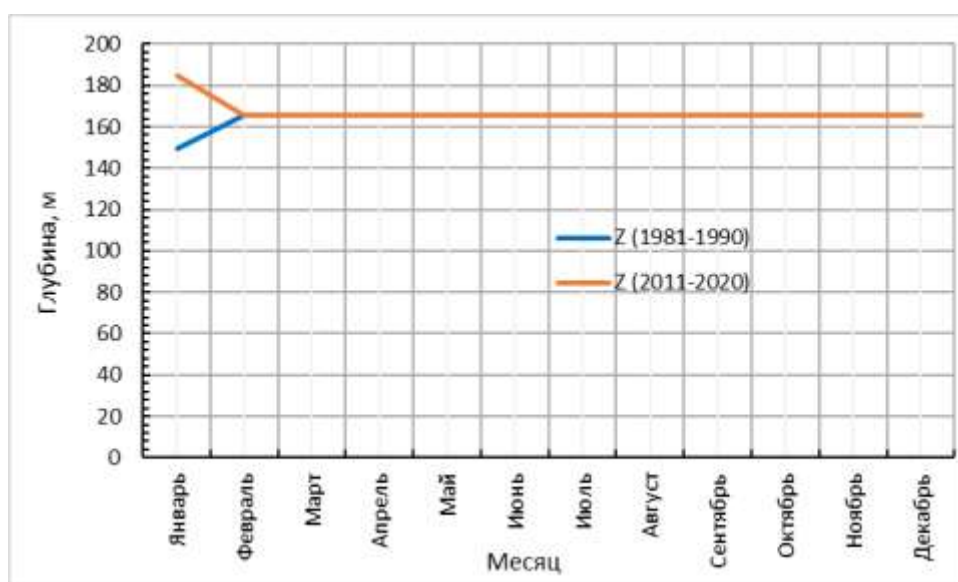


Рисунок 3.35 - Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. с января по декабрь (14 точка)

На графике (Рисунок 3.34) видно, что глубина не менялась в течение 20 лет. Это говорит о том, что водная масса Гольфстрима стабильна.

Таким образом, можно сделать вывод, что прослеживается сезонная изменчивость водных масс Гольфстрима. В южных зонах минимальная

температура отмечается в феврале и марте месяцах, а максимальная в сентябре – ноябре месяце. При перемещении к северу сезоны смещаются, таким образом, что в северных зонах минимальная температура отмечается в апреле – месяце, а максимальная – в ноябре-декабре.

3.3 Трансформация водной массы Гольфстрима при перемещении к северу

Для того, чтобы определить, как изменяется водная масса Гольфстрима вдоль широты, при передвижении с юга на север, было выбрано 2 месяца – апрель и сентябрь за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. в точках 1, 3, 5, 7, 10, 12, 14. Далее в Таблицу 3.8 были занесены значения по солености и температуре в ядре водной массы Гольфстрима, которые были определены по T, S – кривой. Также были построены графики (Рисунок 3.36 и 3.37), на которых отмечены точки ядер водных масс Гольфстрима в апреле и сентябре за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. и сделан анализ. Также были построены графики (Рисунок 3.38 и 3.39), по которым можно определить, как изменилась по широте глубина залегания ядра водной массы Гольфстрим.

На диаграмме (Рисунок 3.36) в октябре месяце видно, что, несмотря на климатические периоды, при перемещении по точкам к северу значения температуры и солености в ядре водной массы Гольфстрима уменьшаются практически линейно. При сравнении двух десятилетий можно отметить, что второе десятилетие (2011-2020 гг.) по температуре на 1 °C выше значений за первое десятилетие (1981-1990 гг.), то же самое и по солености, она стала немного больше. Также видно, что на юге (точка 1 и 3) значения по

солености приблизительно отличаются на 0,2 ‰, а на севере (точка 10, 12, 14) на 0,05 ‰.

Таблица 3.8 – Температура и соленость в ядре водной массы Гольфстрима за два периода времени с 1981-1990 гг. и с 2011- 2020 гг. в апреле и сентябре месяце в точках 1,3,5,7,10,12,14.

№ точк и	1981-1990						2011-2020					
	Апрель			Сентябрь			Апрель			Сентябрь		
	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	Z, м	T, °C	S, ‰	Z, м
1	21.54	36.53	149.43	21.77	36.57	149.43	22.09	36.72	149.43	23.33	36.70	121.95
3	18.92	36.05	45.45	19.87	36.31	109.81	19.30	36.36	76.55	21.11	36.41	98.31
5	18.06	36.38	165.73	19.95	36.51	109.81	18.02	36.44	165.73	21.44	36.71	98.31
7	12.15	35.60	184.70	15.01	35.84	76.55	12.33	35.59	149.43	14.71	35.80	76.55
10	8.95	35.33	315.37	9.63	35.35	149.30	9.33	35.29	372.97	9.43	35.27	235.39
12	5.64	35.09	315.37	8.36	35.29	87.27	6.28	35.13	235.39	8.41	35.22	98.31
14	4.93	34.96	165.73	5.93	35.04	165.73	5.89	35.01	165.73	6.59	35.04	165.73

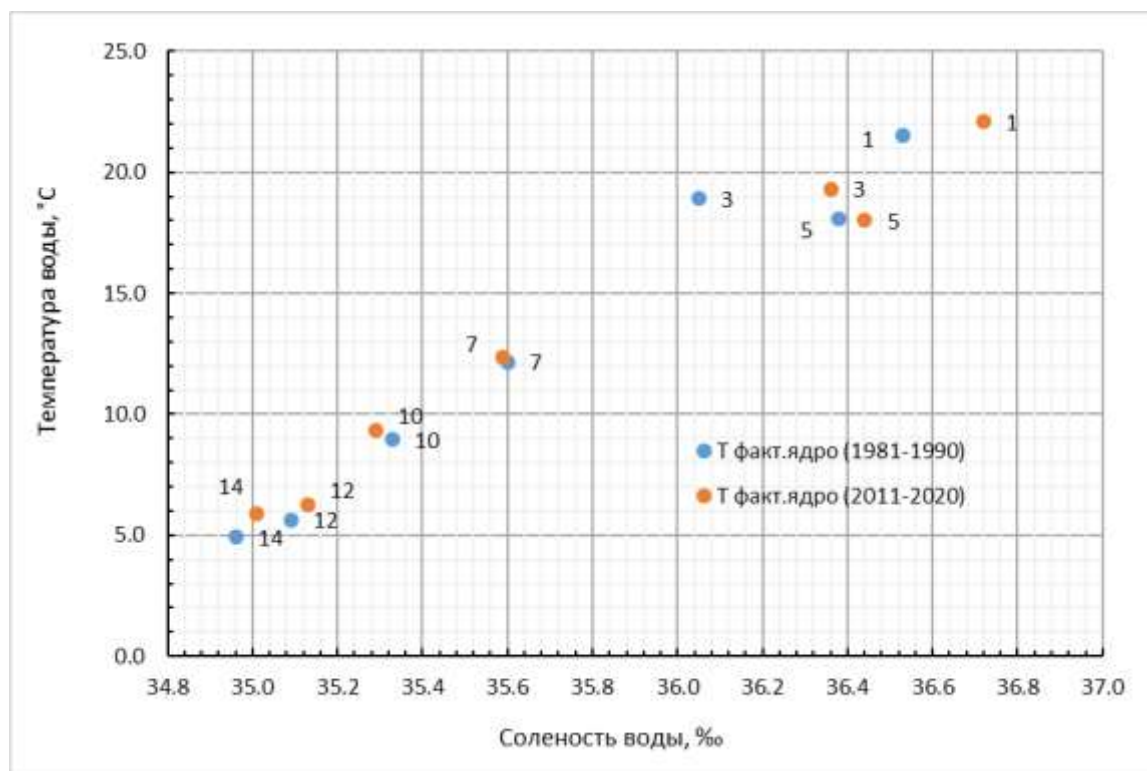


Рисунок 3.36 – Положение ядра водной массы Гольфстрима в T, S – поле за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. в апреле для разных пространственных точек.

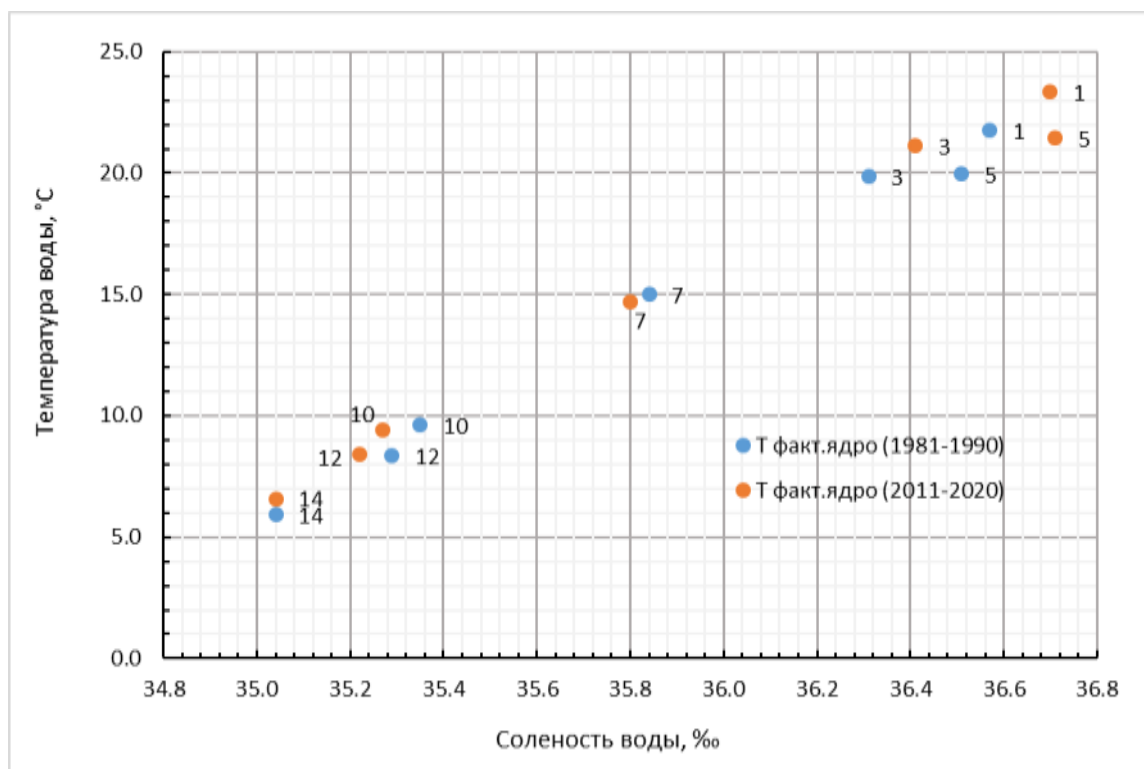


Рисунок 3.37 – Положение ядра водной массы Гольфстрима в T, S – поле за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. в сентябре для разных пространственных точек

На диаграмме (Рисунок 3.37) в сентябре месяце можно увидеть, что также меняются значения по температуре и солености в ядре водной массы Гольфстрима, как и в октябре, но в этом месяце соленость воды будет больше. По температуре, если сравнивать с апрелем, то с юга и до центра Северной Атлантики видны изменения по температуре. На севере (точка 10, 12, 14) изменение температуры в ядре водной массы Гольфстрима изменяются на 0,5 °C, на юге (точка 1 3) изменение температуры на 1-1,5 °C. На севере (точка 10, 12, 14) изменение солености в ядре водной массы Гольфстрима изменяются на 0,05-0,1 ‰, на юге (точка 1 и 3) значения по солености приблизительно отличаются на 0,2 ‰. Это говорит нам о том, что на севере водные массы не так ярко передвигаются, как в южной и центральной зонах

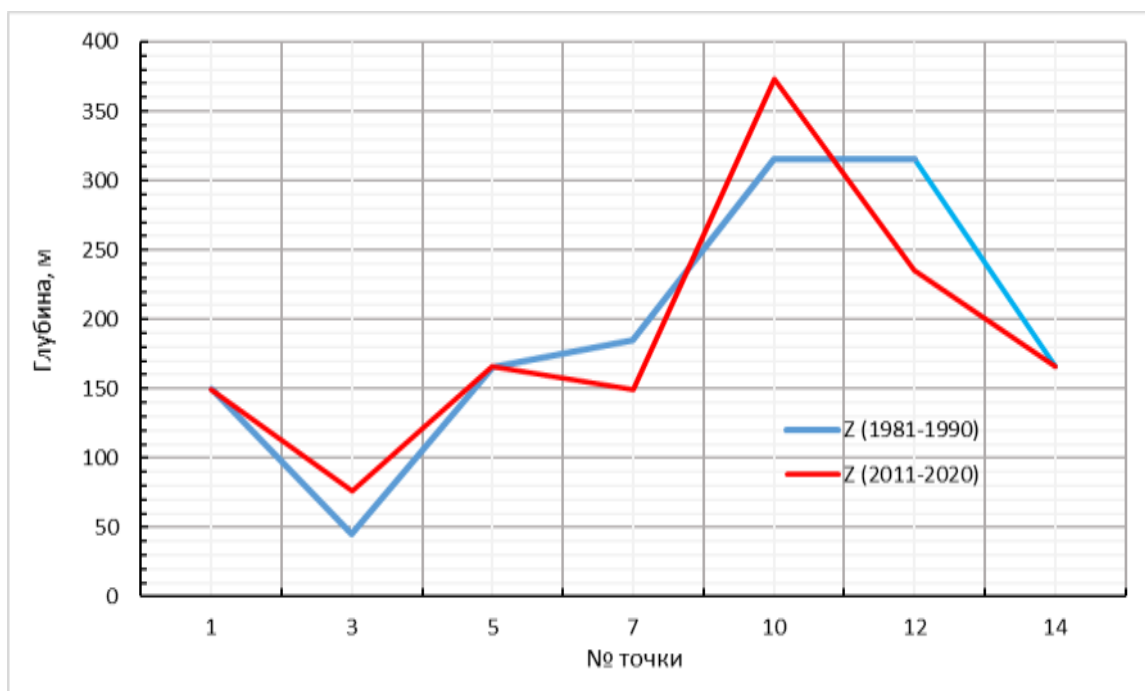


Рисунок 3.38 - Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. в апреле

Глубина залегания ядра в точке 1 не меняется, в точке 3 разница за 20 лет увеличилась на 30 м, в точке 5 глубина не изменилась, в точке 7 за 2 промежутка глубина уменьшилась на 30 м, в точке 10 глубина опять увеличилась на 50 м, в точке 12 глубина уменьшилась на 70 м, в точке 14 глубина залегания не изменилась. Видно, что глубина залегания ядра зависит от широтного расположения водной массы вдоль течения Гольфстрима.

На графике (Рисунок 3.37) можно увидеть, что между двумя промежутками времени (1981-1990 гг. и 2011-2020 гг.) не наблюдается больших отличий. Следовательно, изменение глубины залегания ядра водной массы Гольфстрима в апреле месяце имеет незначительные изменения.

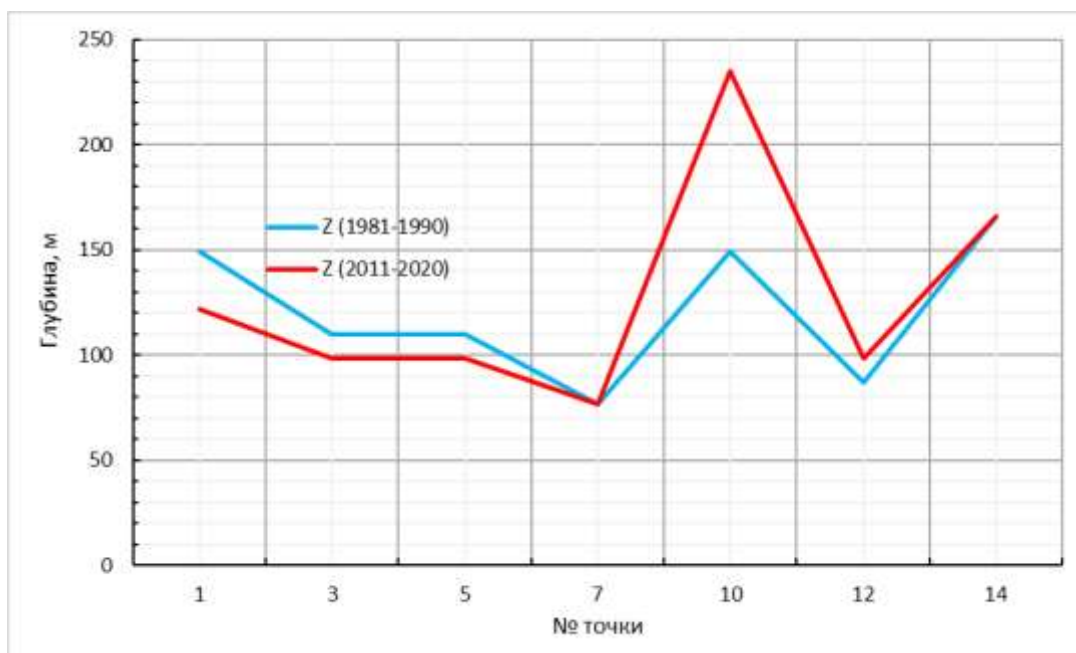


Рисунок 3.39 - Глубина залегания фактического ядра водной массы Гольфстрима за два периода времени 1981-1990 гг. и 2011-2020 гг. в сентябре

Глубина залегания ядра в точке 1 уменьшилась на 30 м, в точке 3 разница за 20 лет уменьшилась на 10 м, в точке 5 глубина также уменьшилась на 10 м, в точке 7 нет изменений, в точке 10 глубина увеличилась на 80 м, в точке 12 глубина увеличилась на 10 м, в точке 14 глубина залегания не изменилась. Видно, что глубина залегания ядра зависит от широтного расположения водной массы вдоль течения Гольфстрима.

На графике (Рисунок 3.38) видно, что также между двумя промежутками времени (1981-1990 гг. и 2011-2020 гг.) не наблюдается больших отличий, но в 10 точке видна разница в 80 м. Но в целом изменение глубины залегания ядра водной массы Гольфстрима в сентябре месяце также стабильна.

Можно сделать вывод, что водная масса Гольфстрима, передвигаясь на север, меняется не только по климатическим периодам, но и по широте вдоль протекания течения Гольфстрим. Меняются значения, как и по температуре, так и по солености воды, также эти изменения зависят от определенного периода времени.

4 Временная изменчивость профилей температуры воды и солёности вдоль струи течения Гольфстрим

Из базы данных EN4 (<http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/en4/index.html>) были скачаны значения по температуре ($^{\circ}\text{C}$) и солёности (‰) с июля 1980 года по сентябрь 2021 года вдоль струи течения Гольфстрим (15 точек). После обработки данных и с помощью программы Surfer были построены среднемесячные вертикальные профили, т.е. их изменчивость, по температуре воды ($^{\circ}\text{C}$) и солёности (‰) в выбранной точке.

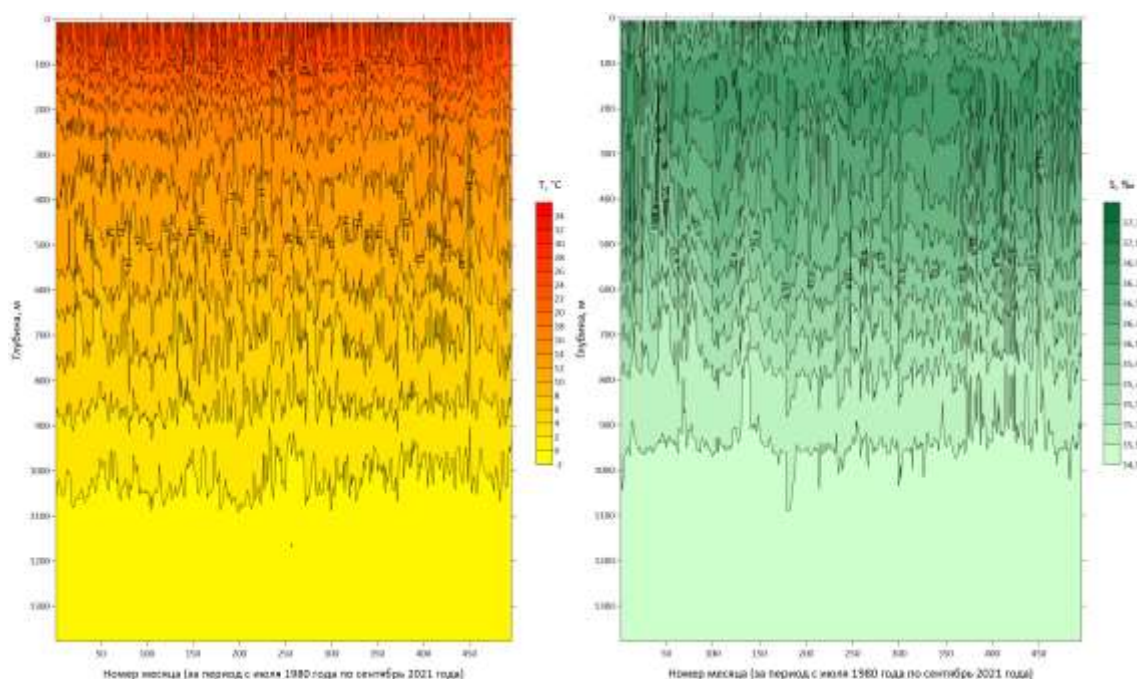


Рисунок 4.1 - Временная изменчивость профилей температуры воды (слева) и солёности (справа) в точке 1

На Рисунке 4.1 структура колебаний температуры воды слоя 0-300 м и 300-1300 м значительно различается. В глубинном слое выражены колебания с квазипериодом 9 лет с запаздыванием по направлению к поверхности. В верхнем слое – колебания меньшие по амплитуде, и длиннее по периоду.

Ядро вод Гольфстрима прослеживается только по солёности на горизонте 150-180 м. Видны пульсации осолонения ядра с квазипериодом 6,3

лет. Колебания в ядре прослеживаются до наибольшей глубины. Изменчивость солёности в ядре в поверхностном слое почти не видна.

Ни в температуре, ни в солёности ни на одном уровне значимых трендов нет.

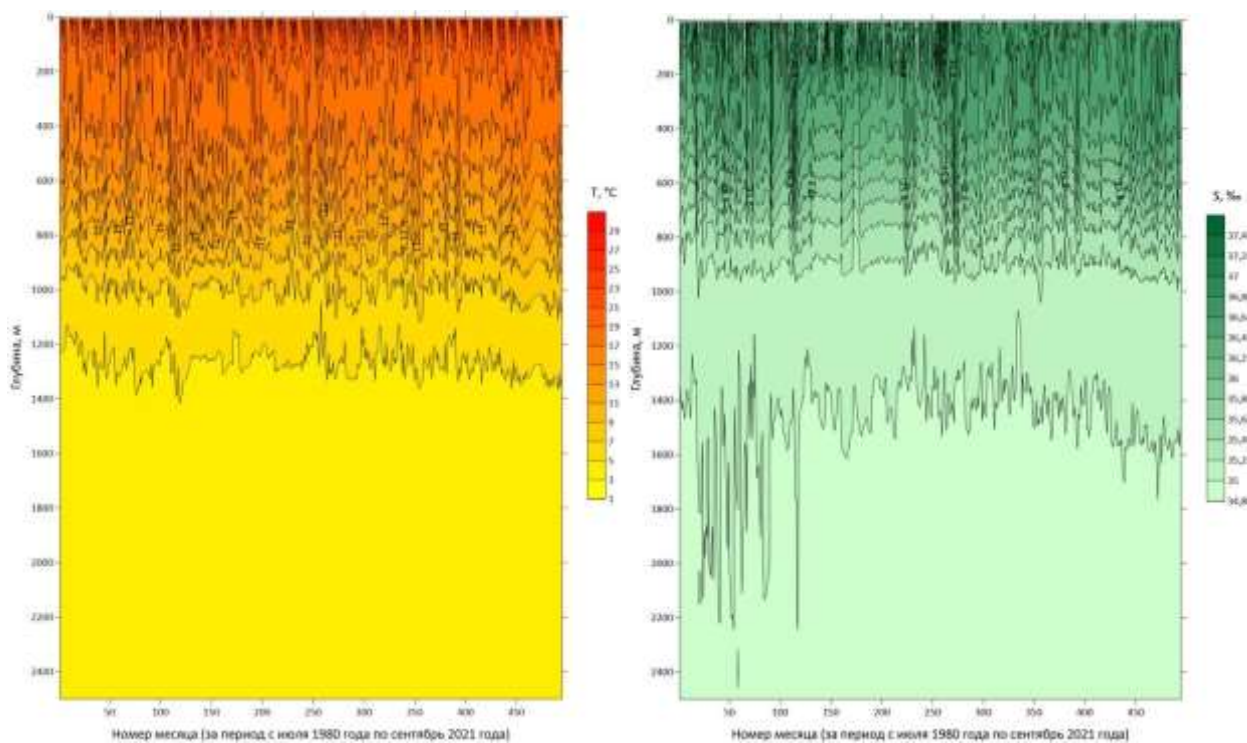


Рисунок 4.2 - Временная изменчивость профилей температуры воды (слева) и солёности (справа) в точке 5

На Рисунке 4.2 ядро вод Гольфстрима прослеживается в температуре на глубине 250 м и в верхнем слое солёности.

Температура воды в слое до 1400 испытывает небольшое потепление и осолонение, усиливающиеся после 2008 г.

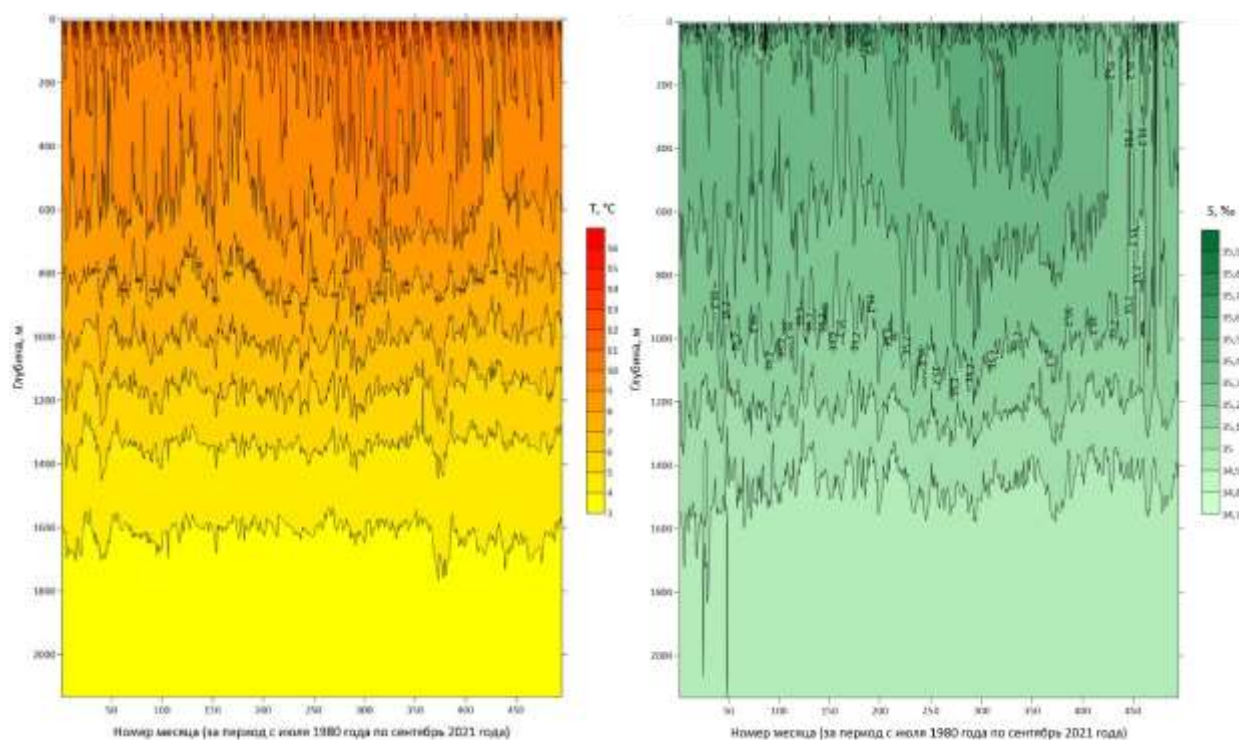


Рисунок 4.3 - Временная изменчивость профилей температуры воды (слева) и солености (справа) в точке 10

В межгодовом ходе колебания температуры воды на поверхности проникают в толщу воды до глубины 1000 м, и показывают период значительного потепления за период 1996 - 2014 гг., после которого состояние вернулось к началу исследуемого периода.

Соленость также испытала увеличение в это период потепления, что обусловило длиннопериодное колебание в структуре вертикального распределения.

Ни в температуре, ни в солености не на одном уровне значимых трендов нет.

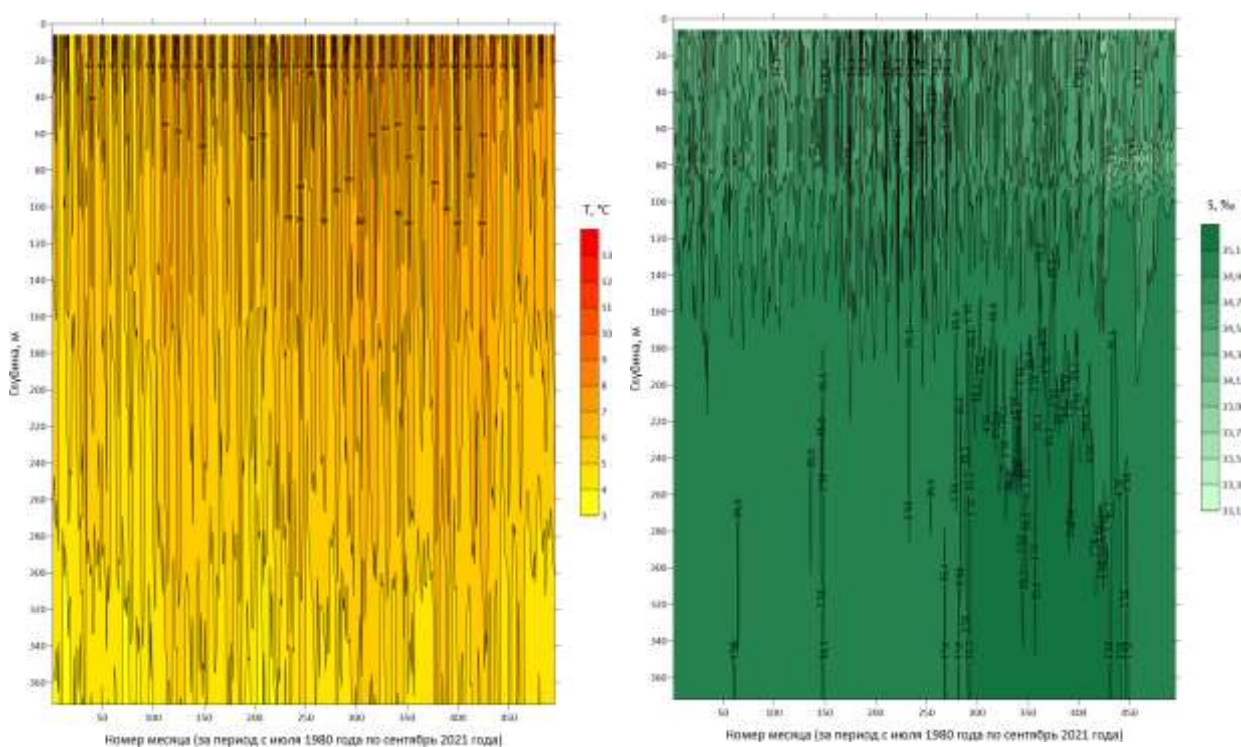


Рисунок 4.4 - Рисунок 4.3 - Временная изменчивость профилей температуры воды (слева) и солёности (справа) в точке 14

Вертикальное распределение температуры воды характеризуется перемежающимися зимними конвективными охлаждениями и летним прогревом толщи.

В солёности до горизонта 140 м особенностей сезонной изменчивости не проявляется.

Нужно отметить период 2005-2018 гг, характеризующийся повышением температуры воды по всей толще до дна, сопровождающийся придонным (глубже 180 м) осолонением.

Можно сделать вывод, что на фоне выраженных межгодовых колебаний температуры и солёности воды по всей толще вод в струе Гольфстрима значительных тенденций (трендов) за период 1980 – 2020 гг. не отмечается. В отдельных районах отмечаются длительные периоды потепления и осолонения в разные промежутки времени.

Заключение

На основании проделанного исследования можно сделать следующие выводы.

1. В начале течения Гольфстрим в течение года водная масса Гольфстрима стабильна в своем ядре и не меняет своей изменчивости по глубине. За период-2011-2020 гг. по сравнению с 1981-1990 гг. температура воды в ядре водной массы Гольфстрима увеличилась приблизительно на 1 °С, а соленость воды увеличилась на 2 ‰.

2. По мере продвижения течения на север в нем отмечается изменение сезонов в распределении характеристик ядра водной массы Гольфстрима. В южных областях минимальная температура в ядре водной массы отмечается в феврале и марте, а максимальная в сентябре – октябре месяце. При перемещении к северу сезоны смещаются таким образом, что минимальная температура отмечается в апреле месяце, а максимальная – в ноябре-декабре.

3. Водная масса Гольфстрима, передвигаясь на север, меняется не только по климатическим периодам, но и по широте. Температура воды и соленость в ядре уменьшаются практически линейно. Глубина залегания ядра в апреле увеличивается с 50 м на широте 35° с.ш. до 300 – 350 м на широте 52° с.ш., затем ядро снова поднимается до глубины 170 м. В сентябре глубина залегания ядра варьирует около отметки 100-150 м, «ныряя» до глубины 150-230 м на широте 52° с.ш.

4. По изменениям характеристик ядра течения Гольфстрим за период 2011-2020 гг. по сравнению с 1981-1990 гг. трассу течения можно разбить на два участка по широте 45° с.ш.: южный и северный.

В ядре водной массы Гольфстрима за 20 лет в апреле на южном участке температура воды увеличилась незначительно (на 0,5 °С), а соленость возросла на 0,2 – 0,3 ‰. а на северном участке температура увеличилась значительно – на 1-1,5 °С, а соленость на 0,04 ‰.

В сентябре – наоборот, на южном участке температура воды в ядре увеличилась на 1,5-2 °С и соленость – на 0,15 – 0,20 ‰, на северном температура воды практически не изменилась, а соленость уменьшилась почти на 0,1 ‰.

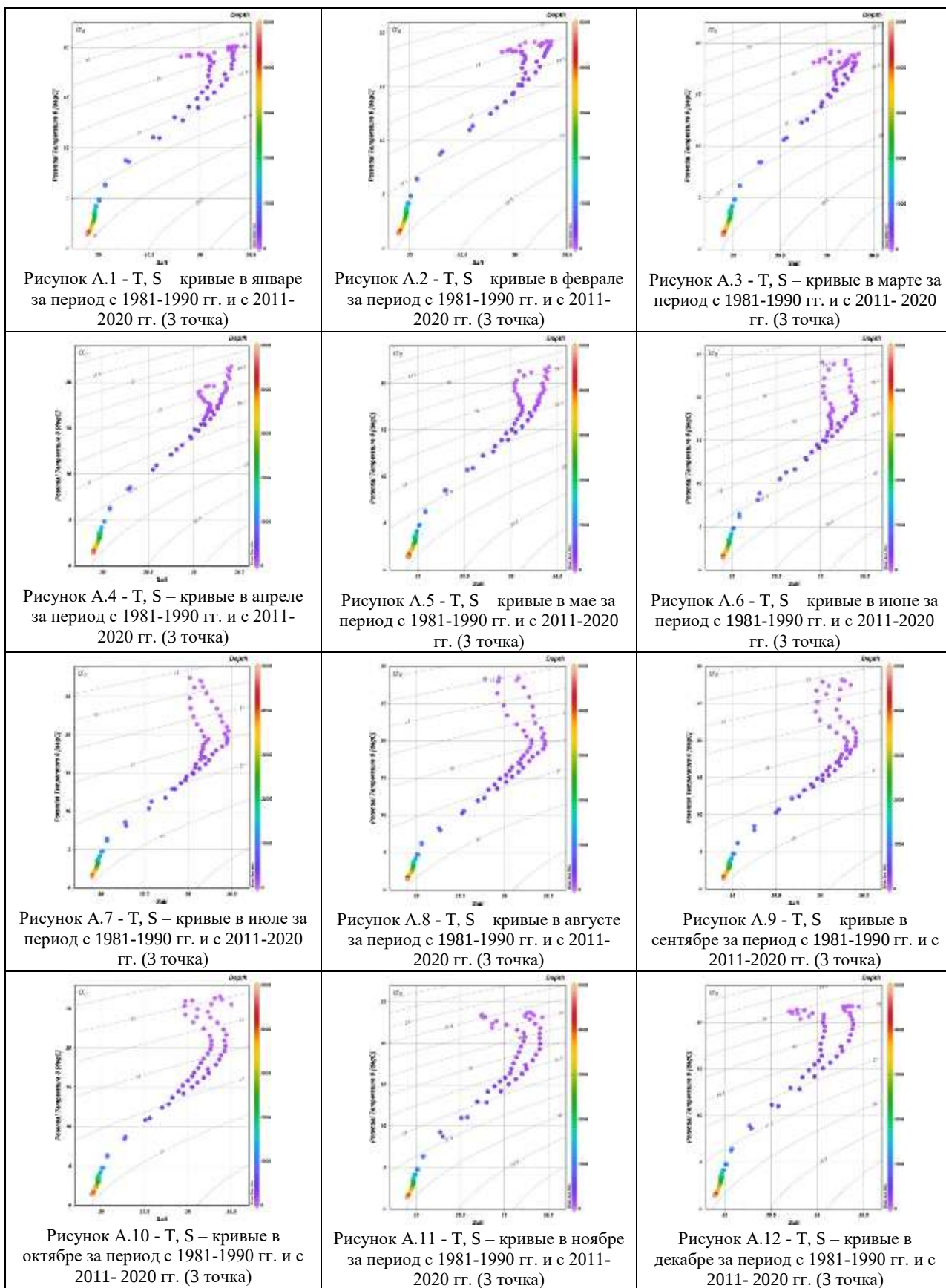
5. На фоне выраженных межгодовых колебаний температуры и солености воды по всей толще вод в струе Гольфстрима значительных тенденций (трендов) за период 1980–2020 гг. не отмечается. В отдельных районах отмечаются длительные периоды потепления и осолонения в разные промежутки времени.

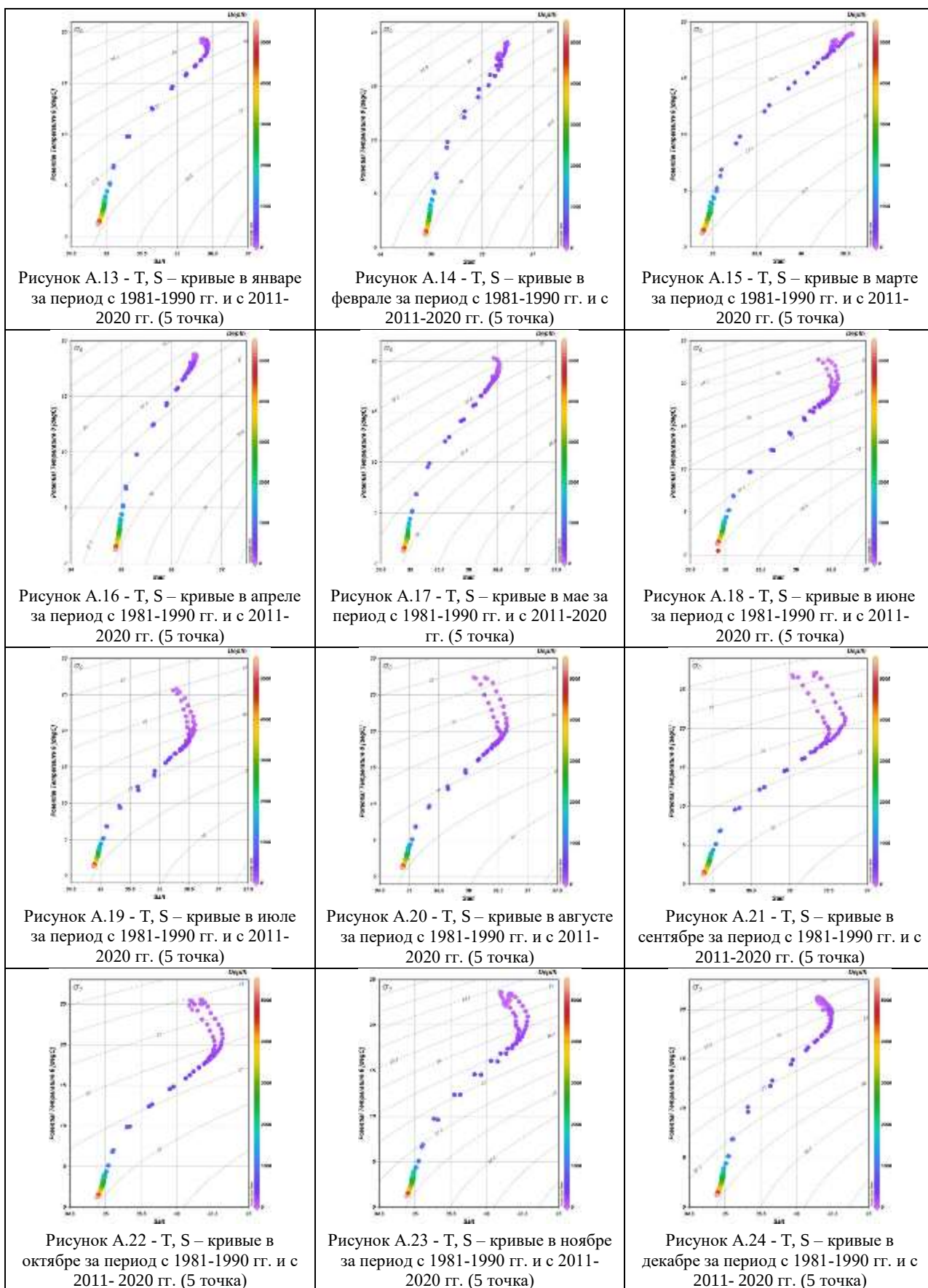
Список использованных источников

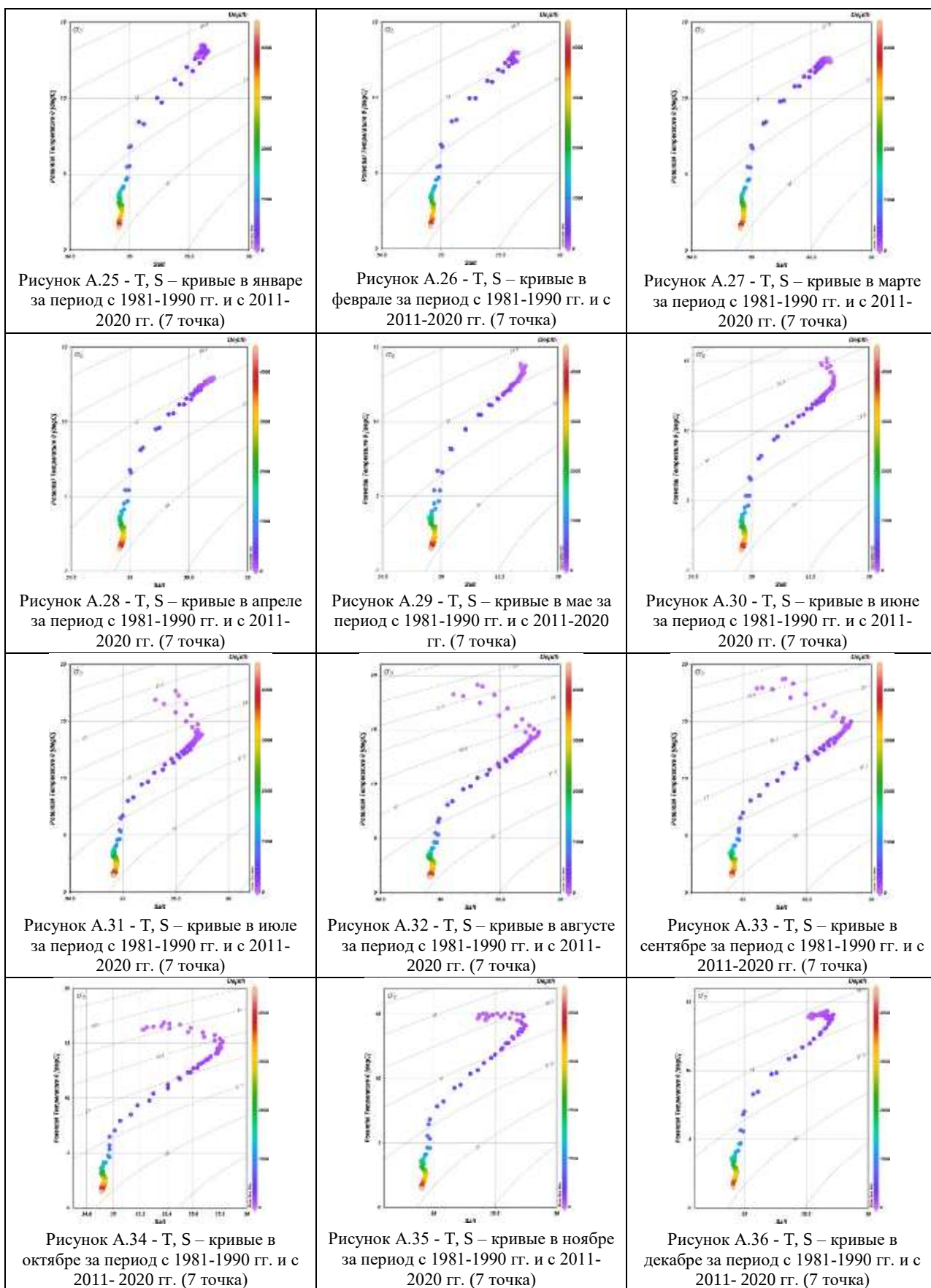
- 1) Бондаренко А. Л. Гольфстрим : ложные представления и реальность (первая часть) // Meteoweb.ru : электрон. журн. - 2006. 13 с. URL: http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_gulfstream_2016_part1.pdf (дата обращения: 13.05.2023).
- 2) ЭТНОМИР : Этномический парк-музей : Течение Гольфстрим. Сайт URL: <https://ethnomir.ru/articles/techenie-golfstrim/> (дата обращения: 07.05.2023).
- 3) Малинин В. Н. Гольфстрим и климат Европы // Terra Humana = Среда обитания. 2012. 214 – 220 с. Электрон. версия печ. публ. URL: https://terrahumana.ru/arhiv/12_01/12_01_43.pdf (дата обращения: 13.05.2023).
- 4) Бондаренко А. Л. Гольфстрим : ложные представления и реальность (вторая часть) // Meteoweb.ru : электрон. журн. - 2006. 14 с. URL: http://meteoweb.ru/articles/bondarenko_gulfstream_2016_part2.pdf (дата обращения: 14.05.2023).
- 5) Грузинов В. М. Гидрология фронтальных зон Мирового океана // Структура и динамика фронта Гольфстрима. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 270 с.
- 6) Адров Н. М. Трансформация вод системы Гольфстрима : Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук : 11.00.08 – Океанология, 1987. 21 с.
- 7) Жуков Л. А. Общая океанология. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. 314 – 342 с.
- 8) Мамаев О.И. Термохалинный анализ вод Мирового океана. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. 292 с.
- 9) Баранов Е. И. Структура и динамика вод системы Гольфстрима. М.: Гидрометеиздат, 1988. 250 с.

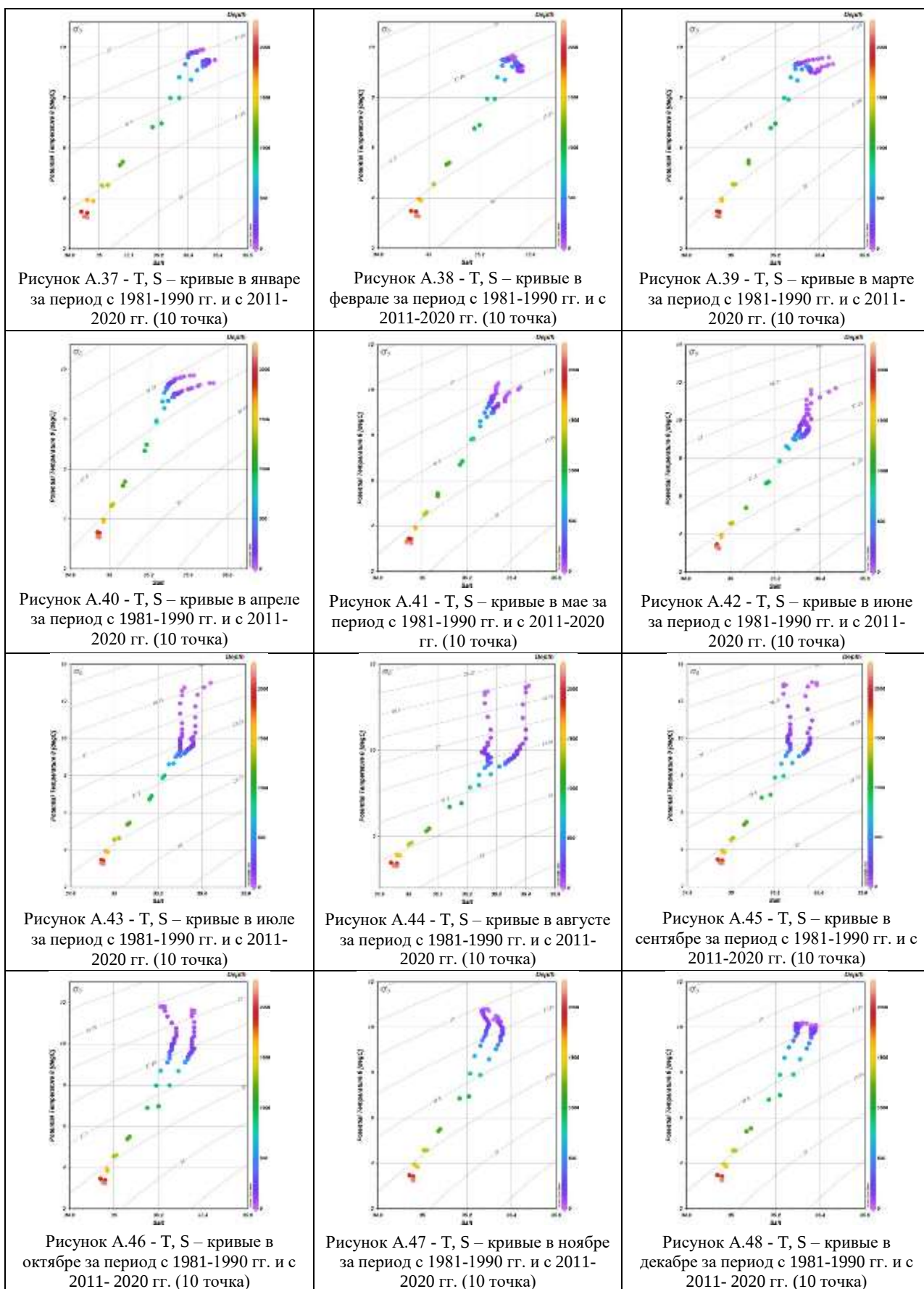
10) Барышевская Г. И. Течения систем Гольфстрим и температурный режим Северной Атлантики. – М.: Гидрометеоздат, 1990. 141 с.

Приложение А









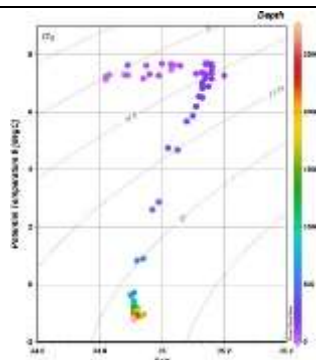


Рисунок А.49 - Т, S – кривые в январе за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

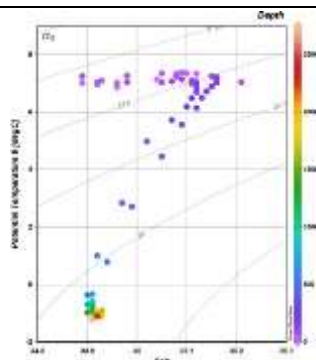


Рисунок А.50 - Т, S – кривые в феврале за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

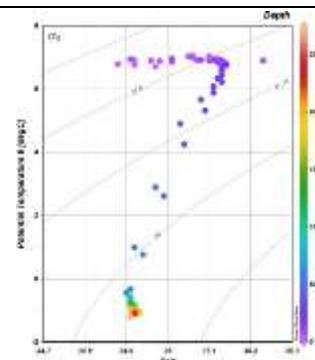


Рисунок А.51 - Т, S – кривые в марте за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

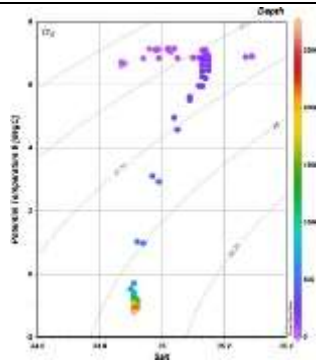


Рисунок А.52 - Т, S – кривые в апреле за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

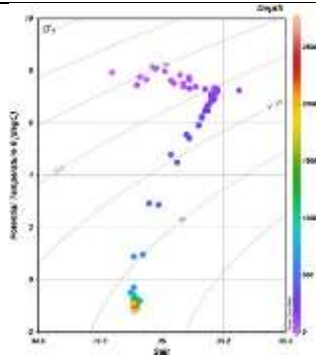


Рисунок А.53 - Т, S – кривые в мае за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

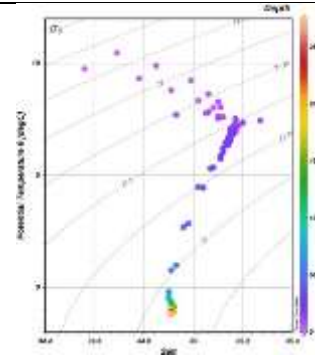


Рисунок А.54 - Т, S – кривые в июне за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

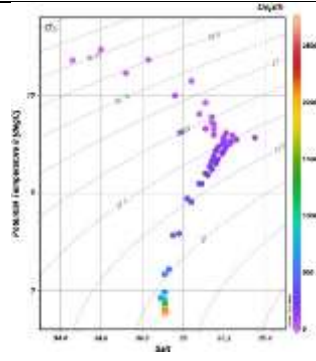


Рисунок А.55 - Т, S – кривые в июле за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

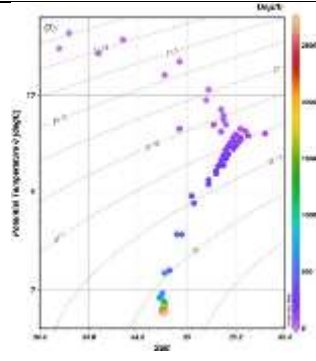


Рисунок А.56 - Т, S – кривые в августе за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

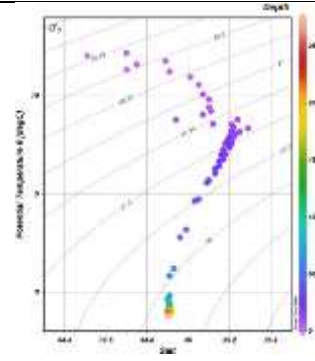


Рисунок А.57 - Т, S – кривые в сентябре за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

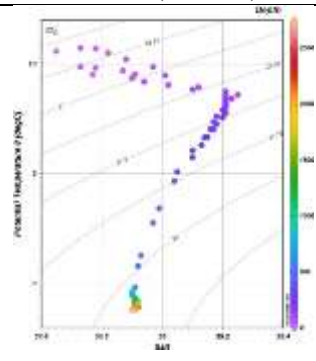


Рисунок А.58 - Т, S – кривые в октябре за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

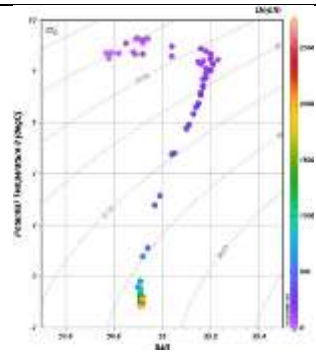


Рисунок А.59 - Т, S – кривые в ноябре за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

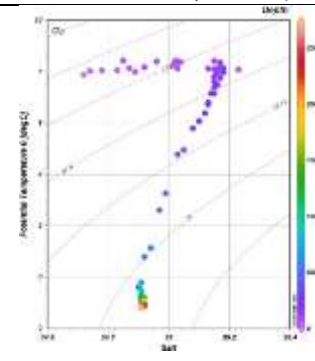


Рисунок А.60 - Т, S – кривые в декабре за период с 1981-1990 гг. и с 2011-2020 гг. (12 точка)

