



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

Кафедра Промысловой океанологии и охраны природных вод

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

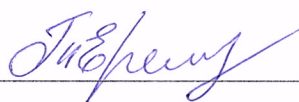
На тему Пространственно-временная изменчивость солёности Северной  
Атлантики по спутниковым данным

Исполнитель Габуня Нина Амирановна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель профессор, доктор географических наук  
(учёная степень, учёное звание)

Малинин Валерий Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент  
(учёная степень, учёное звание)

Ерёмина Татьяна Рэмовна  
(фамилия, имя, отчество)

«19» июня 2017 г.

Санкт-Петербург  
2017



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

Кафедра Промысловой океанологии и охраны природных вод

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

На тему Пространственно-временная изменчивость солёности Северной  
Атлантики по спутниковым данным

Исполнитель Габуня Нина Амирановна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель профессор, доктор географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Малинин Валерий Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)  
кандидат физико-математических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Ерёмина Татьяна Рэмовна  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Санкт–Петербург  
2017

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                               | 3  |
| ГЛАВА 1. КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ СОЛЕННОСТИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА.....    | 5  |
| 1.1 «Великая соленостная аномалия» .....                                                    | 5  |
| 1.2 Адвекция «Великой соленостной аномалии» 1980х по северной части Северной Атлантики..... | 9  |
| ГЛАВА 2. МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.....                                                | 16 |
| 2.1. Исходные данные. Методы обработки.....                                                 | 16 |
| 2.2. Методы расчетов.....                                                                   | 23 |
| ГЛАВА 3. КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛЕННОСТИ.....                                        | 30 |
| 3.1. Сравнение архивов данных.....                                                          | 30 |
| 3.2. Сравнение годовых значений солености и разности Е-Р.....                               | 44 |
| ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ТРЕНДОВ.....                                                                | 52 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                             | 64 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                                      | 66 |

## ВВЕДЕНИЕ

Соленость поверхности океана представляет собой важнейшую характеристику морской воды. Ведь для того чтобы определять движение водных масс необходимо знать распределение плотности, а как известно, плотность морской воды есть функция её температуры и солености.

Для измерения солености в настоящее время используют самолетные и спутниковые эксперименты. В данной работе производится исследование Северной Атлантики по спутниковым данным. Спутниковая система мониторинга открывает новые возможности непрерывного наблюдения за изменениями, происходящими в океане и атмосфере. Данные со спутниковых систем позволяют рассматривать основные закономерности полей температуры, солености и плотности вод Мирового океана. Формирование и изменение физико-химических свойств океанических вод находится во взаимозависимости с циркуляцией и структурой вод Северной Атлантики, его тепло и влагообмен с атмосферой. Так же большие различия в солености поверхностных вод оказывают влияние на стратификацию, перемешивание, свойства водных масс и т.д.

Основная цель данной работы: Исследовать распределение солености на поверхности в северной части Атлантического океана по спутниковым данным

Основные задачи данной работы:

1. Составление краткого обзора исследований солености Северной Атлантики;
2. Поиск исходных данных и методы его обработки;
3. Сравнение двух архивов данных по солености *SODA v3.3.1.* и «*Aquarius OISSS*»;

4. Сравнение распределения годовых значений солености и разности Е-Р по 5-ти градусным широтным зонам.

5. Расчет и анализ трендов солености. Сравнение полученных результатов с «Великой соленостной аномалией».

Положения, выносимые на защиту:

1. Методы обработки исходных данных;
2. Сравнение двух архивов данных;
3. Сравнение годовых значений солености и разности Е-Р в СА по широтам;
4. Анализ трендов солености.

## **ГЛАВА 1. КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ СОЛЕННОСТИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА.**

### **1.1 «Великая соленостная аномалия»**

«Великая соленостная аномалия» 1968-1982 г. (ВСА”70х далее) была одной из наиболее известных и широко освещенных десятилетних событий 20-го века в Северной Атлантике. По словам Диксона и соавт. (1988), минимумы солености (и температуры) временных рядов, наблюдаемых последовательно вокруг северной части Северной Атлантики в течение этого периода, можно было бы объяснить адвекцией пресной (и холодной) аномалии вдоль основных океанских течений (Рис.1)[1]. Аномалия была впервые замечена в 1965-1971 к северо-востоку от Исландии, затем в 1969-70 гг. в Западно-Гренландском течении, в 1971-72 возле Лабрадора и Ньюфаундленда, в 1972 году на океанической метеорологической станции (ОМС) “Браво” в Лабрадорском море, в 1974-1975 годах на ОМС «Ч» (“Чарли”) рядом с разломом Чарли-Гиббса, в 1975 году в канале Рокколл, в 1976 году в Фарерском-Шетландском канале и к югу от Исландии, в 1977-78 в Норвежское море, в 1978-1979 гг. к югу от Шпицбергена, и, в конечном итоге, обратно в морях Гренландии и Исландии в 1981-83г.)[2]

Адвективное объяснение изменений солености, зафиксированных в различных бассейнах Северной Атлантике, впервые было предложено Эллет (1980, 1982), Лэйзи(1980), Тейлор и Стефенс (1980), Тейлор (1983). Распространение в северном направлении аномальных TS-условий (минимума и в T, и в S) в Норвежском Атлантическом течении подразумевалось Гаммелсрод и Холм (1984) и было прослежено Диксоном и Блиндгаймом (1984) в северном направлении выше к Баренцеву морю и архипелагу Шпицберген. Четко прослеживающаяся закономерность адвекции ВСА 70-х гг. вокруг северной части Северной Атлантики, подробно рассмотренная Диксоном и соавт. (1988), была общепризнанна океанографическим сообществом. [1]

Тем не менее, альтернативные гипотезы были выдвинуты для объяснения наблюдаемых явлений. Например, Эллетт и МакДугал (1983), Дули и соавт. (1984), и Мартин с соавт. (1984) предположили, что временная TS-изменчивость, которая наблюдалась к западу от Британии, могла быть вызвана гипотетическим масштабным сдвигом на восток водных масс, т. е. на 300 км к востоку сдвигом Полярного фронта. Поллард и Пу (1985) приняли увеличенный на месте поток поверхностной влажности (т. е. увеличенное превышение осадков над испарением) за основную причину локального опреснения. Гансен и Кристиансен (1994) предположили, что одновременные изменения солености, которые наблюдались в различных водных массах вокруг Фарерских островов, могло быть объяснено лишь изменением динамического баланса течений, переносящих эти водные массы. [1]

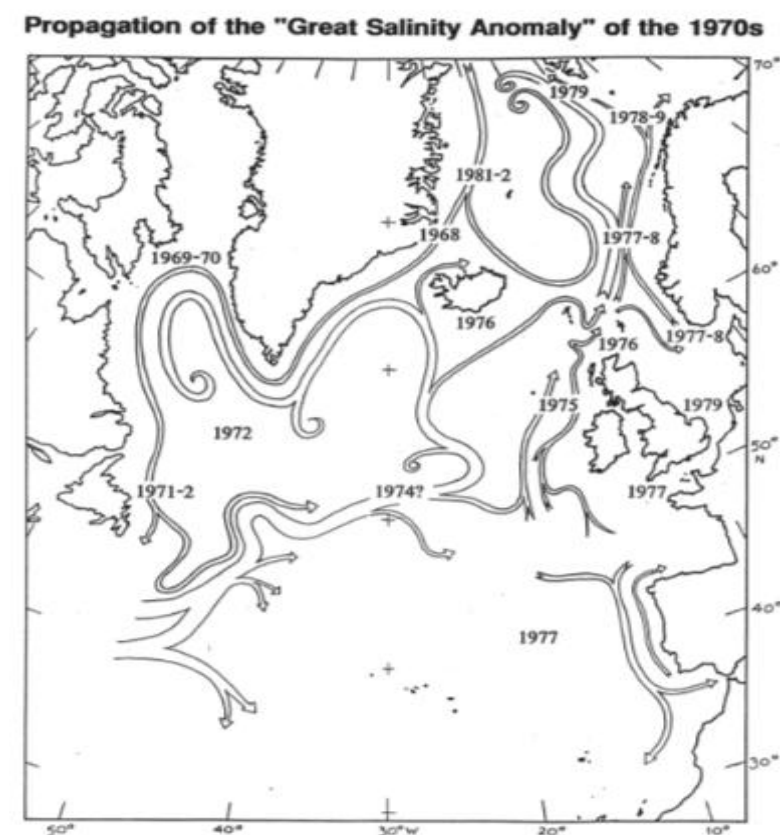


Рис.1. Распределение минимальных значений «великой соленостной аномалии» 1970-х годов [1]

Наглядные работы Диксона и соавт. (1988) и других исследователей стимулировали поиск взаимодействий между северной частью Северной Атлантики и Северным Ледовитый океаном, как и попытки моделирования. Исследования моделирования представляется особенно важным в свете выводов Дезера и Блэкмона (1993), Кушнера (1994), и Ревердина и соавт. (1997), которые продемонстрировали ведущую роль десятилетних/междесятилетних шкал в общей изменчивости океана. [3]

Наблюдения и модели показали, что ВСА 70-х гг. вряд ли является уникальным феноменом, хотя, возможно, ее магнитуда была исключительной. Когда дополнительные повторные наблюдения вдоль типовых разрезов и на стандартных станциях расширили временной ряд до 1990х, еще одна крупная TS-аномалия, 1980-х годов (отсюда и термин “ВСА 80-х”), стала очевидной (рис.2). [1] Что касается предыдущей аномалии, ВСА 80-х гораздо лучше охарактеризована во временном ряде солёности по сравнению с температурными рядами. Ряды показывают, что упорядоченная последовательность минимумов солёности происходила вокруг Северного субполярного циклонического круговорота. Возникает модель очевидной пресной, холодной аномалии, ограниченной Западным-Гренландским течением (1982) и Лабрадорским течением (1983–1984) в центральной части Северной Атлантики (1984-1985) и затем к Северо-восточной Атлантике (1985-1986) в Северное море (1987-1988), Норвежское море (1987-1988), Баренцево море (1989), а затем обратно к Северным Исландским водам (1989-1990). Кроме того, ретроспективный анализ показал, что подобные аномалии происходили в прошлом, так что появление крупных солёностных аномалий (как правило, связанных с температурными аномалиями), очевидно, является более или менее регулярным явлением. Например, несколько авторов прокомментировали отдельные TS-минимумы временных рядов по Северной Атлантике, которые наблюдались примерно за десять лет до и после ВСА 70-х гг.; квази-декадные температурные колебания были



определены на ОМС “Ч” и были показаны как часть характеристики по всему бассейну. [3]

Далее, представлены наиболее важные проблемы, связанные с ВСА, например, их происхождение, распространение, долговечность, солевой баланс, повторение, регулярность, глубоководное воздействие, многолетняя изменчивость и т. д.

Сейчас имеем два похожих события, детально изученных, вместо одного (ВСА 70-х гг.) события, доступного Диксону и соавт. (1988) и другим, более ранним исследователям. Мы также опираемся на последние результаты моделирования и статистического анализа долговременной изменчивости системы океан–лед–атмосфера, полученных к середине 1990-х годов.[2]

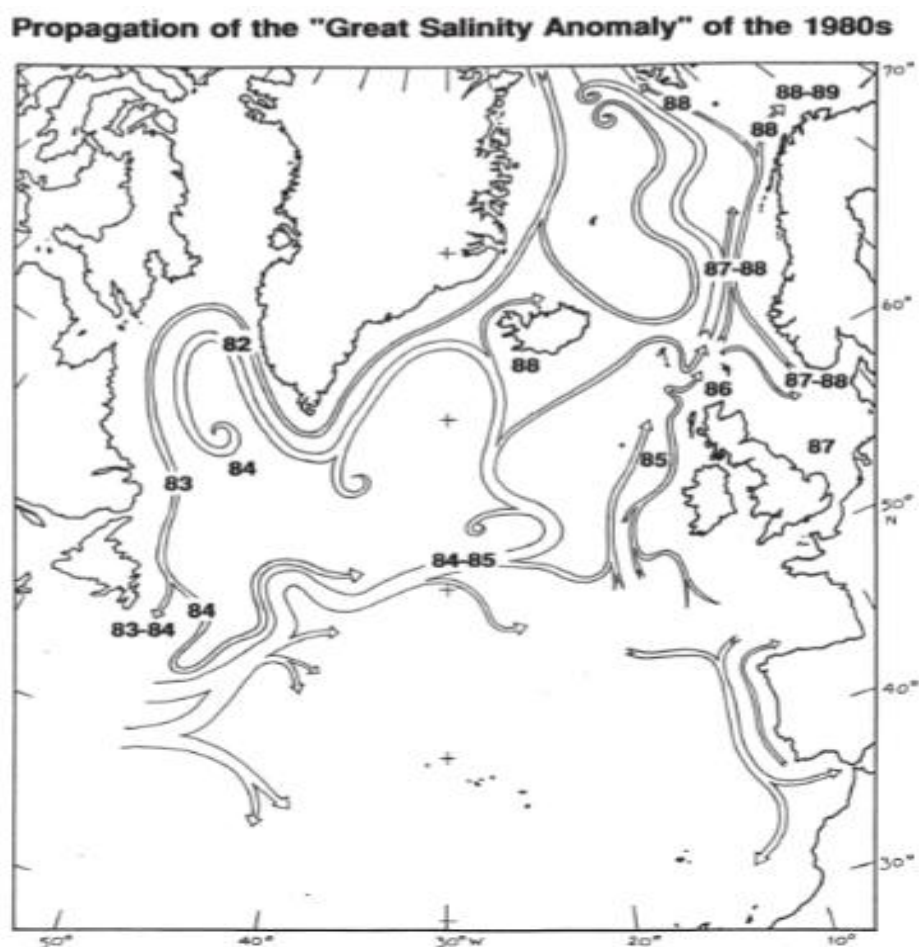


Рис.2. Распределение «великой соленостной аномалии» 1980-х годов.

[1]

## **1.2 Адвекция «Великой соленостной аномалии» 1980х по северной части Северной Атлантики**

### *1.1. Северно-Исландские воды*

В серии работ 1990-х годов, С. А. Мальмберг выдвинул идею, что самые первые характерные признаки ВСА 80-х, возможно, появились в конце 1970х годов в Северно-Исландские водах. Действительно, годы 1976-1979, характеризующиеся очень низкими соленостями на Востоке Исландского течения, очевидно, проистекала из его главного источника, в Восточного Гренландского течения. [1] TS-характеристики Восточного Исландского течения в 1976-1979 принадлежали больше к полярному течению, чем к Арктическому течению, как обычно. Эти условия могли быть ответственны, в частности, за “малую соленостную аномалию” в Арктических водах промежуточного пояса, обнаруженную в конце 1980-х годов к югу от Исландии и в морях Гренландии и Исландии. Арктические условия ( $T = 1^{\circ}-3^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 34.5-34.8$ ), наблюдаемые к северу от Исландии в 1981-1983, считались характерным признаком возвращения предыдущей аномалии, ВСА 70-х гг. [2]

Идея формирования ВСА 80-х к северу Исландии в конце 1970-х, однако, встречает серьезные возражения. Во-первых, масштабная отрицательная аномалия солености как ожидалось, сопровождается крупной положительной аномалией распространения морского льда (например, ВСА 70-х гг.), потому что опресненная поверхность повышает стабильность и образования льда. Вопреки тому, что в таком случае следовало бы ожидать, конец 1970-х годов показал лишь умеренное распространение морского льда в морях Гренландии и Исландия. Во-вторых, временной интервал между предполагаемым появлением ВСА 80-х к северу от Исландии (1976-1979) и ее наблюдение на западном побережье Гренландии слишком длинный. Чтобы достичь Северно-Исландских вод в 1976-1979, аномалия должна была появиться в Восточном Гренландском течении (расположенном выше)

раньше, около 1975-1978, т. е. от 4 до 7 лет до 1982 года, когда ВСА 80-х на самом деле достигла пика в Западном Гренландском течении вдали от Банки Филла. Учитывая стремительность Восточного и Западного Гренландских течений, где скорости дрейфа поверхностных буев достигают 70 см/с, такое медленное движение ВСА 80-х кажется крайне маловероятным. Действительно, ВСА 70-х гг. прошел ту же дистанцию всего за 1-2 года. [3]

### *1.2 Западно-Гренландское течение*

Банка Филла (Западно-Гренландское течение,  $\sim 64^{\circ}$ с.ш.). Точный расчет времени прибытия ВСА 80-х к Банки Филла или локального формирования там есть сложен, потому что другие временные ряды подразумевают разные годы, 1982 или 1983 (Рис.3). [1] Некоторые из временных рядов (например, те, которые наблюдались в октябре–ноябре) считаются недостоверными из-за оттока пресной воды из фьорда Готхоб. В соответствии с наиболее подробными данными Буха и Штайна (1987), ВСА 80-х достигла максимума через Филла Бэнк в 1982 году, что, кажется, согласуется с датировкой от годового резюме Дринкуотера (1994), тогда как Т-серии середины июня Ховгарда и Буха (1990), осенние TS-серии Штайна (1995) и июньские Т-серии Штайна (1996) показывают, что ВСА 80-х достигла своего пика в 1983 году. [2]

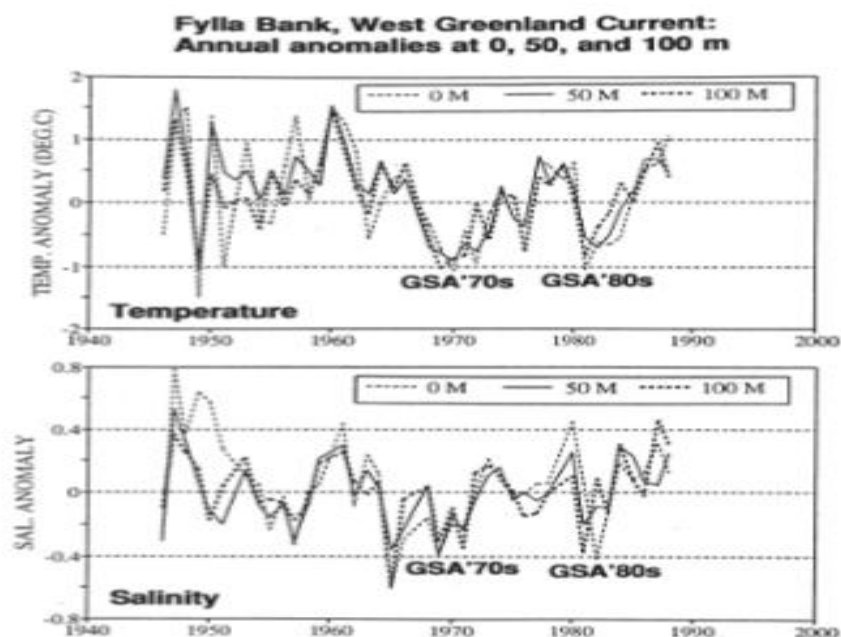


Рис.3. Среднегодовые аномалии температуры (верхняя) и солёности (нижняя) на 0, 50, и 100м, Западно-Гренландское течение. [1]

### 1.3 Лабрадорское течение и центральное Лабрадорское море.

Свойства воды Лабрадорского течения и Лабрадорского шельфа определяются сочетанием атмосферного воздействия и адвекции из Западной Гренландии. Таким образом, временной ряд для Филла Бэнк существенно коррелирует с теми, которые находятся дальше вниз по течению, до самого района Большой Ньюфаундлендской Банки, с отставанием приблизительно в 1- 2 года. Самый длинный временной ряд доступен вдоль линии Острова Тюленей вдали от Лабрадора и линии Бонависта вдали от Ньюфаундленда.

Центральное Лабрадорское Море (рис.4). Солёность Лабрадорского моря в 0-250 м слое снизилась с 1976 до 1984, когда он достиг своего абсолютного минимума (34.35 епс). Минимум, вероятно, произошел до 1984 года и был даже более выраженным, поскольку временной ряд Лэйзи (1995) не имеет данных между рейсами 1981 и 1984. Предыдущая низко-S аномалия в Лабрадорском море, обнаруженная в данных ОМС “Браво”, достигла пика в 1970-71. [1]

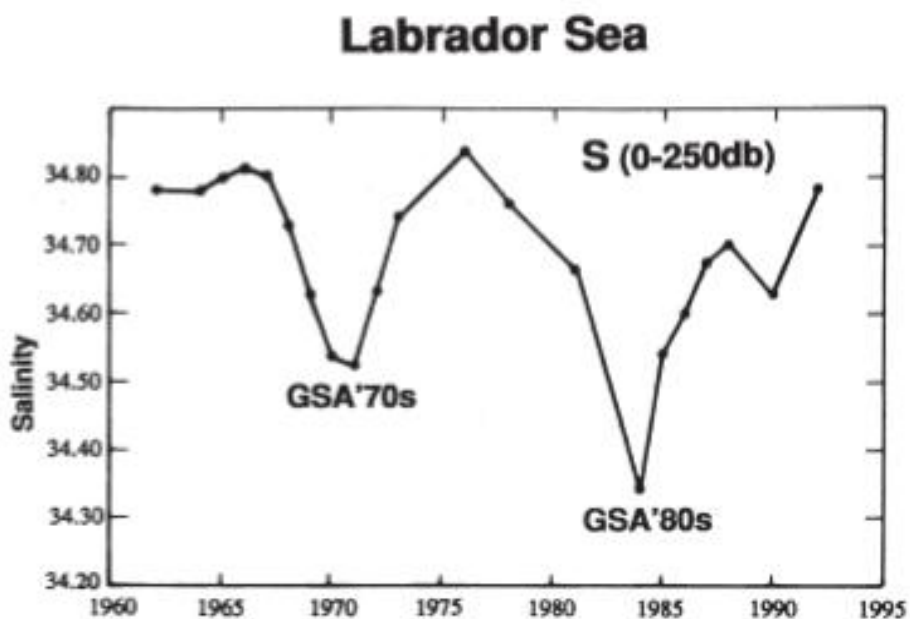


Рис.4. Усредненная по площади соленость Лабрадорского моря в слое 0-250м. [1]

#### 1.4. Северное море

Океанические аномалии могут проникать в Северное море двумя путями, с севера и с юга. На севере, океанические аномалии входят в Северное море непосредственно с Норвежского Тренча Атлантическим притоком и Ист-Шетланд Атлантическим притоком и т.д, в то время, как южный путь через Ла-Манш и Па-де-Кале не прямой и, возможно, не такой важный.

Океанические аномалии, в конечном счете, могут достигнуть (и распространяться) в Скагерраке, до отхода из Северного моря через Норвежское Прибрежное течение; ВСА 70-х гг. на самом деле наблюдалась в Скагерраке в конце 1970-х годов.

Адвективные низкочастотные сигналы солености ВСА загрязнены в Северном Море речными стоками и осадками, чья роль в балансе пресной воды/солености из полужамкнутого окраинного моря может быть

значительной и должна быть принята во внимание. Соленость в западной части Северного моря находится под влиянием речного стока из Шотландии и Англии; южная часть Северного моря под воздействием слива Шельды, Маас, Рейна, Эмсы, Везер и Эльбы; в восточной части Северное море получает пресную воду из Балтийского моря и стоком Норвежской реки. [2]

Южной части Северного моря спорадически затоплена притоком теплых, соленых Атлантических Вод через пролив Па-де-Кала, вызванных стойкими южными ветрами. Такие притоки могут резко изменить ТС и экологические особенности южной части Северного моря (Рис.5). [1] Возможно также, что в южной части Северного моря такой высокий приток солености с юга может полностью уничтожить любые адвективные сигналы низкой солености, поступающие через Северный вход. Последний приток высокой солености произошел в 1989-1991 годах, проникнув в Северное море на юге и на севере. [2]

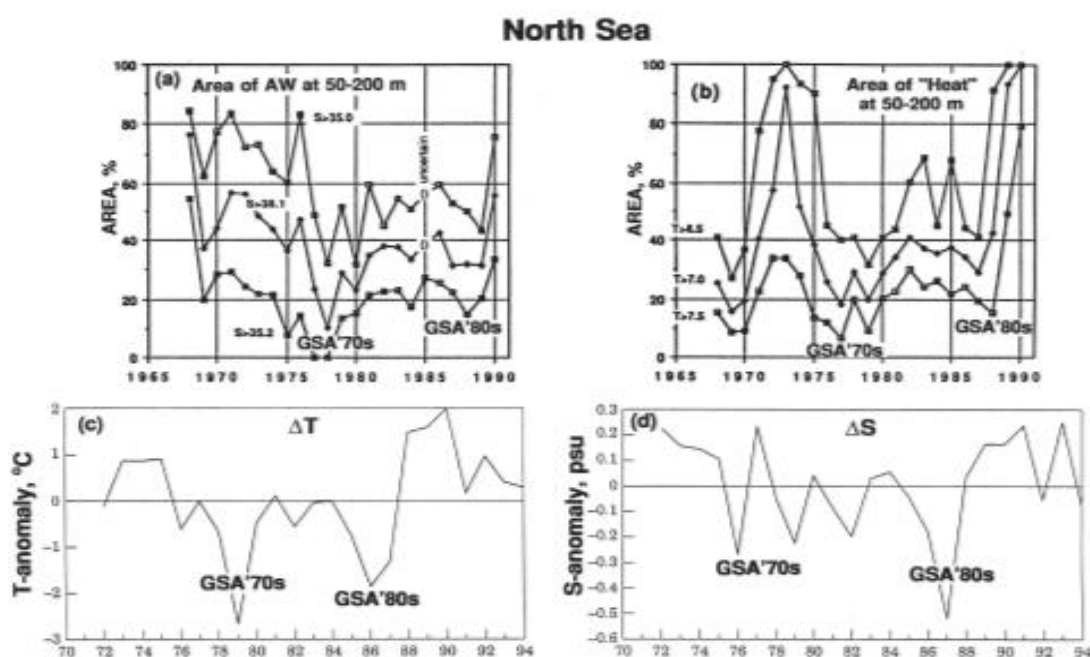


Рис.5. «Великая соленостная аномалия» в Северном море. А) Район Северного моря на широте 57°с.ш. на глубине 50-200м, покрытый атлантическими водами со средними значениями  $S > 35,0$ \*/\*,  $35,1$ \*/\* и  $35,2$ \*/\*. В) То же что и в А, но со средними значениями  $T > 6,5$ °C и  $7,0$ °C и  $7,5$ °C.

С) Средние значения аномалий Т в феврале. D) Средние значения аномалий S в феврале. [1]

Итак, анализируя выше изложенный текст, важно отметить, что ВСА 70-х гг. и ВСА 80-х одинаково распространились вокруг Северной Атлантики.

Однако эти две аномалии, похоже, имели разное происхождение. ВСА 70-х гг., скорее всего, наблюдалась удаленно, на пресноводных/морских льдах, пробиваясь от Арктики через пролив Фрама. Следовательно, ВСА 70-х гг. сопровождалась большой аномалией распространения морского льда в морях Гренландии и Исландии в конце 1960х, которая распространилась вниз по течению в Лабрадорское море в начале 1970-х годов.

ВСА 80-х была, вероятно, образована локально, в Лабрадорском море, в основном в результате чрезвычайно суровых зим в начале 1980-х годов. Образованию ВСА 80-х мог бы способствовать вероятный вклад Арктического пресноводного оттока через Канадский Архипелаг, предположительно усиленный из-за интенсификации северных ветров. Эта пресная, холодная аномалия также ассоциировалась с аномалией положительного распространения морского льда в Лабрадорском море, которая, однако, не имела вышестоящего предшественника в Гренландском море, в отличие от аномалии морского льда 1970-х годов. [3]

По основным данным начала 1990-х годов, кажется, подтверждают приведенные выше результаты. Новая пресная, холодная аномалия была сформирована в Лабрадорском море во время суровых зим в начале 1990-х годов и снова сопровождалась аномалией распространения морского льда. Эти тяжелые условия, однако, в основном ограничивались Лабрадорским морем и заливом Баффина, в то время как атмосферные и океанические условия в морях Гренландии, Исландии были нормальными.

Можно сделать основные выводы из сравнительного исследования ВСА 70-х гг., ВСА 80-х, и начальной ВСА 90-х:

1. ВСА не обязательно вызваны исключительно увеличенным притоком пресной воды и морского льда из Арктического бассейна через пролив Фрама.

2. Район Лабрадорского моря залива Баффина может сыграть ключевую роль в формировании ВСА, а также в распространении ВСА, образованных вверх по течению.

Мониторинг данных о солености, подобных « Великой соленостной аномалии» в 1970-х и 1980-х годах, позволяет лучше изучить, смоделировать и понять многодесятилетнюю изменчивость циркуляции океана и климата.

[1]



## ГЛАВА 2. МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

### 2.1. Исходные данные. Методы обработки.

Данные были взяты из Международного Тихоокеанского Исследовательского Центра (International Pacific Research Center-(IPRC)). Международный Тихоокеанский Исследовательский Центр является центром исследования климата, с акцентом на Азиатско-Тихоокеанский регион. Данный центр изучает климатическую систему и то, как она реагирует на деятельность человека путем проведения экспериментов с моделями компьютерного моделирования и анализа многочисленных прямых и дистанционных наблюдений непосредственно связанных с климатом. Главная задача Международного Тихоокеанского Исследовательского Центра заключается в предоставлении данных об окружающей среде, для улучшения понимания человечества о природе, а также для разработки инновационных способов использования полученных знаний на благо общества.

Азиатско-Тихоокеанский исследовательский центр данных обеспечивает простой доступ к широкому спектру климатических данных и их продуктов, так же постоянно проводит различные исследования для улучшения качества данных.

Международный научно-исследовательский центр Тихого океана (IPRC), был создан в 1997 году в рамках соглашения о сотрудничестве между Университетом Гавайи, Японии морского научного технического центра, и Национального агентства по освоению космического пространства Японии. Сегодня центр работает в рамках соглашения морских геологических наук и технологий (JAMSTEC). [4]

В Азиатско-Тихоокеанском регионе проживает более половины населения мира, все из которых подвержены колебаниям климатической системы в различных временных масштабах от внутрисезонных до

многовековых. Ученые IPRC проводят моделирование и диагностические исследования для фиксирования этих изменений и понимания их причин, независимо от того, являются ли эти причины естественными или имеют антропогенный компонент. Азиатско-Тихоокеанский исследовательский центр поддерживает конечную практическую цель - улучшение прогноза состояния окружающей среды для Азиатско-Тихоокеанского региона. [4] Основными направлениями, которыми занимается данный центр, являются: колебание системы океан-атмосфера, муссонные циркуляции, межгодовая изменчивость в Индийском океане, внутрисезонные колебания тропической атмосферы и тропические циклоны, характер декадной изменчивости во внетропической северной части Тихого океана, динамика сильных океанических течений Куроиси и Ояиси в западной части Тихого океана.

Основные вопросы, связанные с антропогенным изменением климата решаются путем моделирования исследований климата прошлых лет и оценки модельных прогнозов будущих тенденций изменения климата. Сильной стороной Азиатско-Тихоокеанского исследовательского центра является моделирование и диагностика изменчивости климата в различных временных рамках, которые в свою очередь вызывают особый интерес в понимании того, как долговременные тенденции климата могут влиять на высокочастотную изменчивость, включая появление экстремальных явлений.

Международный научно-исследовательский центр поддерживает информационный центр, делающий атмосферные и океанские данные для Азиатско-Тихоокеанской области, легко доступной её исследователям, более широкому научному сообществу климата, политикам и широкой публике. Сотрудничество UH-SOEST и IPRC вносит существенный вклад в научно-исследовательское предприятие международной обстановки посредством обучения студентов и молодых ученых.

1. Из всего предложенного архива данных, выбираем SODA- это научно-исследовательский проект, модель ассимиляции океанических данных.

Существует несколько версий SODA:

1. Версия 1.4.2. и 2.0.2. данные с 1958-2001гг;
2. Версия 1.4.3. и 2.0.3. данные с 2000-2004гг;
3. Версия 2.0.4. заменяет 2.0.3. и 2.2.4. с1871-2008гг.;
4. Версия 2.1.6. с 1958-2008гг.;
5. Версия 3.3.1. рассчитана на период с 1980 по 2015год. [4]

Последняя версия SODA v3.3.1. будет использовать в качестве исходных данных. SODA v3.3.1. - модель ассимиляции океанических данных. Основной целью SODA является, восстановление исторической и физической истории океана. Используется простая ассимиляция океанических данных, которая основана на стандартных кодах, с разрешением, выбранным в соответствии с имеющимися данными и с известными масштабами исследования. SODA обеспечивает сезонный анализ океанических изменений во времени.

SODA v3.3.1. предоставляет более точные данные, по сравнению с предыдущим SODA2. В данную версию был добавлен интерполяционный фильтр для уменьшения смещения в оценках долгосрочных тенденций переменных. SODA v3.3.1 охватывает 36-летний период с 1980-2015гг. Данные представлены в 5-дневных и месячных полях. [4]

Итак, нас интересует Северная часть Атлантического океана с 30°с.ш. до 70° с.ш. и от 78°з.д. до 16°з.д. На рисунке 6 более наглядно представлено.

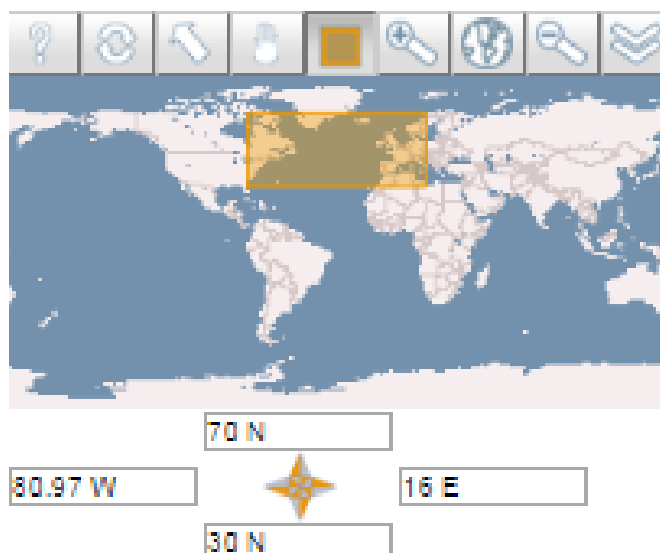


Рис.6.- Выделение исследуемой области

Для этой области извлекаем данные солёности на глубине 5 м. (Рис.7)

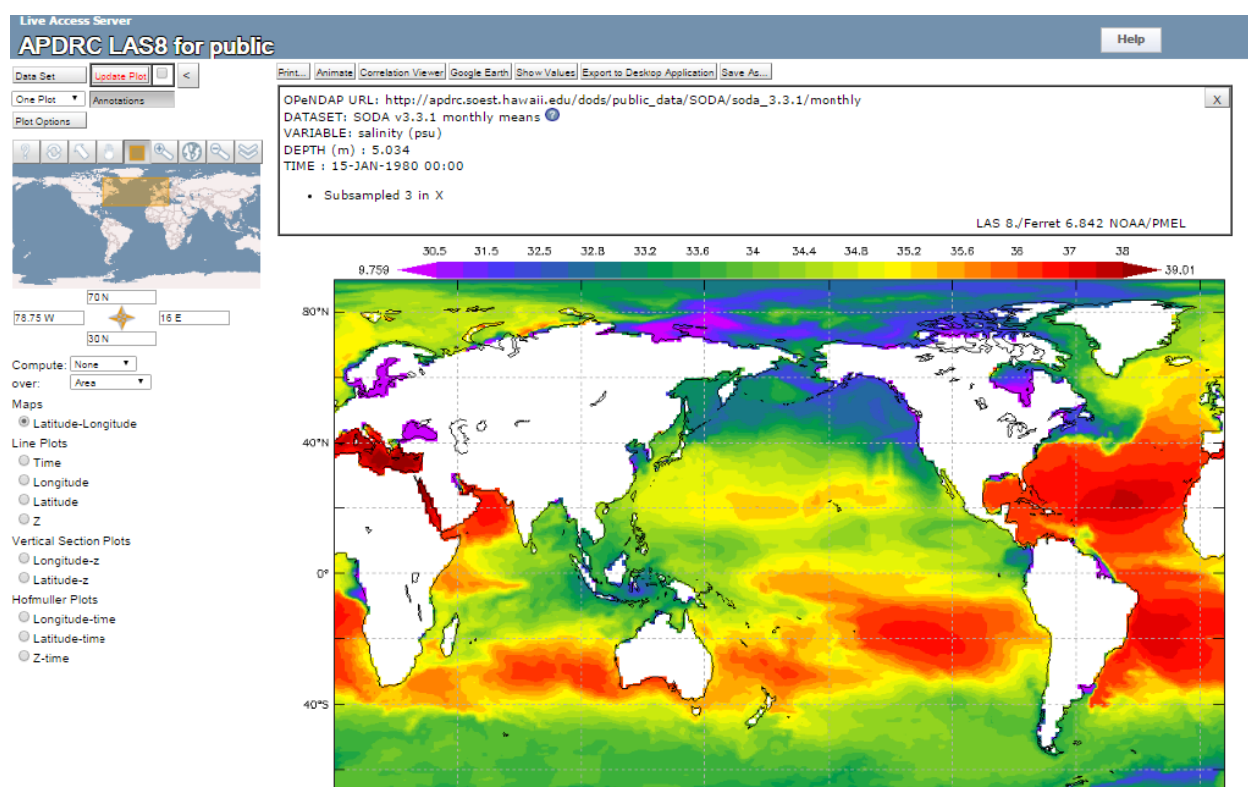


Рис.7.- Извлечение исходных данных о солёности с SODA v3.3.1

Данные были получены в .txt формате. Вид полученных данных был следующим, в первый двух строчках располагались значения широты и

долготы, далее следовали значения солёности, такой вариант данных был очень неудобен и требовал обработки.

Прежде всего следовало построить матрицу из ряда данных, где по оси X - номер точки ( широта, долгота), а по оси Y-время (с января 1980г. -по январь 2015г. Значений в этой матрице получилось более 7млн. В извлеченных данных кроме значений солёности, так же находились значения границ суши, их необходимо было удалить. В итоге значений в матрице стало меньше, около 5млн значений. Но и с таким количеством данных очень сложно работать, следует перевести в 5-ти градусную сетку, т.е. квадрату 5\*5 должно быть равно одно осредненное значение солёности на глубине 5 м.

2. Второй архив данных о солёности в разделе «Aquarius OISSS (IPRC gridded products)».

Международный Тихоокеанский Исследовательский Центр имеет два продукта, основанных на оценках солёности поверхности моря от Aquarius. «Aquarius» - это спутниковая платформа, которая обеспечивает глобальные наблюдения солёности поверхности океана. Спутник «Aquarius» отображает глобальные изменения солёности на поверхности океана с разрешением 150 километров (93миль), показывая, как изменяется солёность от месяца к месяцу, от сезона к сезону и от года в год.

Данные спутника «Aquarius» могут быть получены из NASA /JPL PO.DAAC. Здесь на IPRC, работники центра производят различные продукты с привязкой к сетке на основе данных со спутника «Aquarius».

Сотрудники в Международном Тихоокеанском Исследовательском Центре разработали еженедельные данные солёности поверхности моря на основе оптимальной интерполяции (OI). Это предназначено для повышения точности карт SSS. Анализ основан на новейшей версии спутника «Aquarius» версии 4.0, который охватывает период с сентября 2011 года по май 2015 год.

Мы же будем работать со среднемесячными значениями солености поверхности Атлантического океана. [10]

Данные выбирались путем выделения Северной Атлантики, на представленной карте. С координатами от  $0^{\circ}$  с.ш.-  $63^{\circ}$  с.ш. и от  $80^{\circ}$  з.д.-  $15^{\circ}$  з.д. (в период с 1 сентября 2011г. - 1 мая 2015г.). На рисунке 3 это более наглядно представлено. Данный архив проходил ту же обработку, что и первый архив данных SODA v3.3.1.

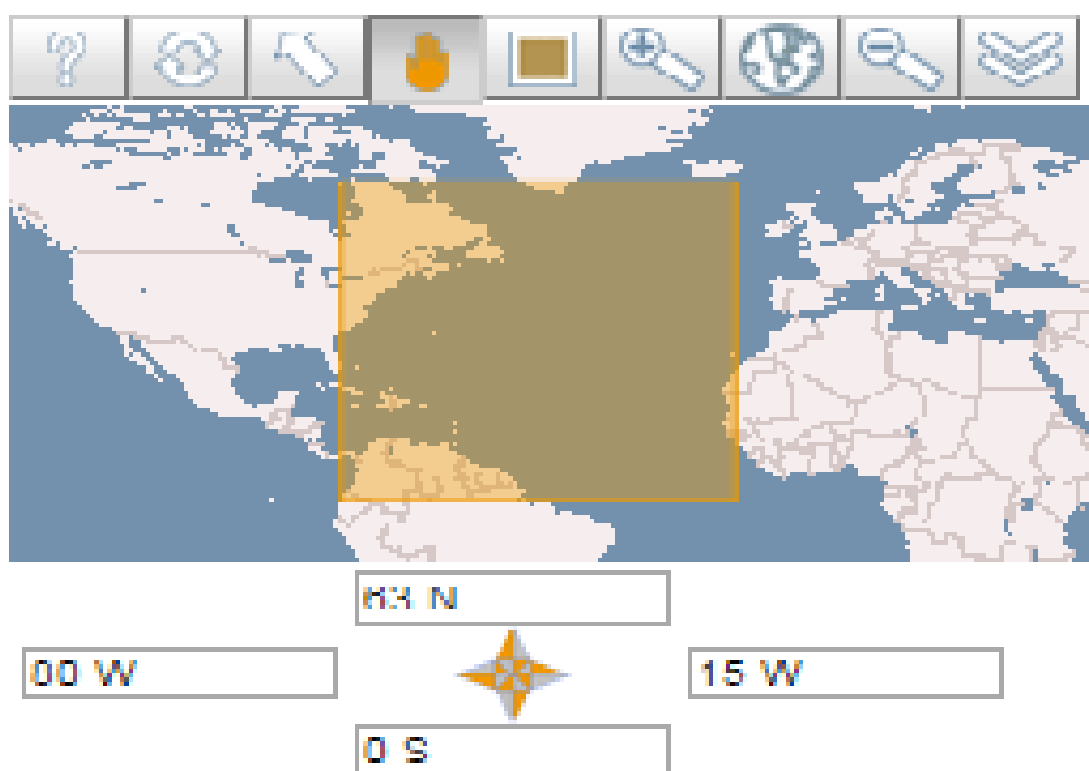


Рис.8.- Карта исследуемой области по архиву данных спутника «Aquarius».

3. Данные об осадках и испарении извлекались из сайта <http://iridl.ldeo.columbia.edu>. Данный проект «IRI/LDEO» является совместным проектом национальных центров по прогнозированию окружающей среды. «IRI/LDEO»- это климатическая библиотека данных, имеет мощный и свободный доступ, который позволяет пользователю

просматривать, анализировать и загружать климатические данные через стандартный веб-браузер. [5]

Были извлечены данные об осадках и испарении в Северная часть Атлантического океана с 30°с.ш. до 70° с.ш. и от 78°з.д. до 16°з.д. с 1979 по 2014гг. Далее эти данные обрабатывались следующим образом, для начала следовало удалить значения принадлежащие территории земли. Потом следовало перевести в 5-ти градусную сетку, т.е. квадрату 5\*5 должно быть равно одно осредненное значение солёности на глубине 5 м. И сразу же были найдены среднемесячные значения для каждой точки Северной части Атлантического океана. В итоге значений осадков и испарения получилось по 6000 значений.

Конечно же, для дальнейшего исследования распределения осадков и испарения в Северной Атлантике эти данные хороши, но для лучших результатов следовало бы вспомнить общее уравнение водного баланса:  $P+Y+W=E$ , где  $P$ -осадки выпадающие на поверхность океана;  $Y$ -поверхностный сток (основная часть приходится на впадающие реки, остальное на ледниковый сток);  $W$ - подземный сток;  $E$ -испарение с поверхности океана. Как мы знаем, осадки и испарение это две главные составляющие уравнения водного баланса океана. Так, осадки это приходная часть баланса и примерно составляет около 90%, а испарение это его расходная часть и составляет все 100%. Для более точного исследования распределения осадков и испарения на поверхности океана необходимо найти их разность, т.е.  $P-E$ . Таким образом, после нахождения разности между осадками и испарением наглядно будут видны зоны, где разность  $P-E > 0$  это означает, что здесь наблюдается некоторое разбавление морской воды пресной при этом уменьшение её солёности (опреснение), а где разность  $P-E < 0$ , происходит осолонение вод, т.е. испарение больше осадков.[6]

## 2.2. Методы расчетов

### *Коэффициент корреляции*

Существуют различные показатели тесноты стохастических связей нескольких рядов. Делятся на параметрические, когда предполагается знание теоретического закона распределения, и непараметрические, когда не требуется выполнение этого условия (рис.8).



Рис.8. - Виды корреляции статистических расчетов. [7]

Коэффициент корреляции – безразмерная параметрическая характеристика линейной взаимосвязи двух случайных  $X$  и  $Y$  величин.

$$r = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y}$$



### Основные свойства коэффициента корреляции:

1. Коэффициент корреляции не изменится, если: а) к переменным  $X$  и  $Y$  прибавить или вычесть некоторые слагаемые; б) к переменные  $X$  и  $Y$  умножить или разделить на положительные числа;
2.  $R$  изменяется от  $-1 \leq r \leq 1$ .
3. Если  $r = \pm 1$ , то облако точек на графике связи распределяется в прямую линию, наклоненную под углом к оси абсцисс.
4. Если  $r$  больше 0, то связь будет прямая, т.е. переменные  $X$  и  $Y$  одновременно возрастают или убывают. Если меньше 0, то связь обратная, т.е. при возрастании одной величины другая величина убывает.
5. Когда  $X$  и  $Y$  независимы в статистическом смысле, то коэффициент корреляции равен 0, тогда связь между переменными существует в любом направлении. [11]

Следует учесть, что если одна из переменных  $X$  и  $Y$  является постоянной величиной, то коэффициент корреляции не определяется, т.к. происходит деление на ноль. Тогда и облако точек на графике будет представлено в виде прямой линии.

Распределение коэффициентов корреляции сильно зависит от длины исходного ряда и от величины коэффициента корреляции. Так при малых величинах  $r$  и больших объемах выборки  $r$  распределяется по нормальному закону. Тогда для оценки случайных погрешностей следует применять обычные параметрические методы проверки.

При увеличении  $r$  и уменьшении длины ряда  $n$  коэффициент корреляции распределяется несимметрично. Тогда используются специальные методы проверки.

Способы оценки коэффициентов корреляции при разных значениях  $r$  и  $n$ .

1. Оценка  $r$  при  $|r| < 0,3-0,4$  и  $n > 30-40$ .

Рассчитывается оценка среднеквадратических погрешностей коэффициентов корреляции по следующей формуле:

$$\sigma_r = (1 - r^2) / n^{1/2}$$

Из формулы видно, что чем больше значение  $r$  и  $n$ , тем, соответственно, меньше будет ошибка коэффициент корреляции. После того как рассчитали  $\sigma_r$ , следует найти отношение  $\frac{|r|}{\sigma_r}$ . Если данное отношение будет меньше 3, то значит, что коэффициент корреляции надежен и отражает связь между переменными. Оценка происходит на основе  $t$ -статистики Стьюдента:

$$r - t_{кр}\sigma_r < r < r + t_{кр}\sigma_r,$$

где  $t_{кр}$  – критерий Стьюдента при уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы  $\nu = n-2$ . [7]

Далее, осуществляется оценка значимости на основе нулевой гипотезы,  $H_0: |r| = 0$  при  $H_1: |r| \neq 0$ . Коэффициент корреляции значим, если его значение отличается от нуля и его величин выше или ниже нуля. Для проверки используется критерий Стьюдента:

$$t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}.$$

Рассчитав критерий Стьюдент, происходит проверка данного неравенства  $t > t_{кр}(\alpha, \nu = n-2)$ . [7]

Если неравенство выполняется, значит, что нулевая гипотеза отвергается, следовательно, коэффициент корреляции значим, т.е. отклоняется от нуля неслучайным образом. Если выполняется, то коэффициент корреляции незначим, отклоняется от нуля случайным образом.

2. Оценка  $r$  при  $|r| > 0,3-0,4$  и  $n < 30-40$ .

Распределение коэффициентов корреляции является резко асимметричным. Следовательно, и сама точность  $r$  будет оцениваться по преобразованию Фишера, здесь используется переменная  $z$ , которая связана с  $r$  следующим выражением:

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} = \operatorname{arcth}(r), \quad \text{где } th - \text{гиперболический тангенс.}$$

Само распределение переменной  $z$  никак не зависит от  $n$  и  $r$ , так при возрастании  $n$  величина  $z$  приближается к нормальному закону математическим ожиданием:

$$M(z) = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} + \frac{r}{2(n-1)}$$

и дисперсией  $D(z) = 1/(n-3)$ . [7]

Тогда стандартная погрешность  $z$  будет зависеть от длины выборки:

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}.$$

Доверительная граница для  $z$  запишется как:

$$z - t_{кр} \sigma_z < z < z + t_{кр} \sigma_z$$

Теперь используя обратное преобразование  $r = f(z)$ , найдем доверительные границы для  $r$  по формуле:  $r = \frac{\exp(2z-1)}{\exp(2z+1)}$ , а сам интервал для величины  $r$  будет выглядеть следующим образом:  $\frac{\exp(2z_1-1)}{\exp(2z_1+1)} < r < \frac{\exp(2z_2-1)}{\exp(2z_2+1)}$ , где  $z_1 = z - t_{кр}\sigma_z$ ,  $z_2 = z + t_{кр}\sigma_z$ .

Данные границы будут несимметричны относительно величины  $r$ .

3. Оценка  $r$  при  $|r| < 0,3-0,4$ ,  $n < 30-40$  и при  $|r| > 0,3-0,4$ ,  $n > 30-40$ .

В таких случаях распределение коэффициентов корреляции практически очень заметно отличается от распределения нормального закона, поэтому можно пользоваться первым вариантом.

Коэффициенты корреляции как мера связи между процессами получили самое широкое распространение в статистических расчетах, в силу простоты и доступности вычисления. Коэффициенты корреляции показывают только лишь силу связи, а никак не указывают на существование зависимости между переменными. Связь между переменными носит причинно-следственный характер. Для того чтобы выявить какая из переменных влияет на другую, всегда нужно помнить и о физическом анализе связи между ними.

### Выделение и анализ величины тренда.

Величиной тренда называют некоторое медленное изменение процесса без образования циклов. Существование тренда определяется длиной исходного ряда, так при его изменении тренд может появляться или исчезать, а даже менять свою интенсивность и форму.

Тренд бывает линейного или нелинейного вида. Линейный тренд показывает в какую сторону протекает развитие процесса во времени.

Нелинейный тренд имеет единственный экстремум (максимальный или минимальный), так одновременно характеризует рост и снижение процесса.

В зависимости от длины ряда тренд может менять свои характеристики. Для относительно коротких интервалов времени тренд носит линейный характер, и представляется полиномом первой степени:

$$T(t) = a_0 + a_1 t.$$

где  $t$  – время.  $a_0$  – свободный член, показывает условное значение ряда  $X(t)$  при  $t=0$ ;  $a_1$  – коэффициент регрессии, представляет собой величину тренда, и указывает на то как изменяется скорость характеристики в единицу времени.

Если увеличивать длину ряда, то и тренд будет изменяться и может перейти из линейного в нелинейный. Тогда будет представлен полиномом второй степени:

$$T(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2,$$

Где  $a_2$  – ускорение или замедление скорости исследуемой характеристики. Если  $a_2 < 0$  и  $a_1 > 0$ , то квадратическая парабола имеет максимум, если  $a_2 > 0$  и  $a_1 < 0$  – минимум.

Далее, следует тренд оценить на значимость, т.е. рассмотреть насколько существен его вклад в изменчивость процесса. Для этого используется критерий Стьюдента. Для этого записывается нулевая гипотеза по отношению к коэффициенту регрессии  $a_1$  и коэффициенту корреляции между рядами и трендовой компонентой  $r(X, T)$ :

$$H_0 : |a_1| = 0, \quad H_0 : |r_{(X,T)}| = 0.$$

Для проверки гипотез используется критерий Стьюдента:  $t = \frac{|r|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \cdot [7]$

Тренд значим, если оценка критерия Стьюдента больше чем его критическое значение при заданном уровне значимости и числе степеней свободы  $n-2$ :  $t > t_{кр}(\alpha, \nu = n-2)$ . [8]

При оценке значимости нелинейного тренда рассчитывается корреляционное отношение  $\eta$  и проверяется нулевая гипотеза как коэффициента корреляции. С помощью  $r$  и  $\eta$  можно определить коэффициент детерминации, который показывает вклад тренда в описание дисперсии функции отклика по формуле:  $R^2 = \sigma_{Tr}^2 / \sigma_y^2$ . Значимость тренда оценивают и по коэффициенту детерминации. Для длинных рядов при уровне значимости  $\alpha=0.05$   $R_{кр}^2 \approx 4/(n+2)$ . [8]

Другая характеристика тренда такая как величина  $Tr$ , определяется по следующей формуле:

$$Tr = \frac{(a_0 + a_1 t_n) - (a_0 + a_1 t_1)}{n} = \frac{a_1(n-1)}{n} \approx a_1, \text{ где } n - \text{длина ряда.}$$

Величина линейного тренда определяется коэффициентом регрессии.

Коэффициент детерминации и величина тренда характеризуют изменение тренда во времени. Такая процедура оценивания трендов является параметрической, и качество оценки трендов зависит от того насколько исходный ряд близок к нормальному распределению и соответственно, от длины ряда. Так, для длинных рядов, если исходный ряд не близок к нормальному распределению, то оценка рассмотренными способами получается точной. А для коротких рядов, такое оценивание тренда снижается.

### ГЛАВА 3. КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛЕННОСТИ.

#### 3.1. Сравнение архивов данных.

В данном разделе следует сравнить два архива данных о солёности: 1. Данные SODA v3.3.1. - модель ассимиляции океанических данных; 2. Данные со спутника «Aquarius OISSS (IPRC gridded products)».

Для сравнения двух архивов, прежде всего, выделяем одинаковый период исследования, т.к. данные со спутника «Aquarius OISSS (IPRC gridded products)» представлены только лишь с сентября 2011г по январь 2015гг, тогда выделяем этот период и для архива данных SODA v3.3.1.

Имея одинаковый период данных для обоих архивов, строим карты межгодового распределения значений солёности в Северной Атлантике по данным SODA v3.3.1. (Рис.9) и «Aquarius OISSS» (Рис.10).

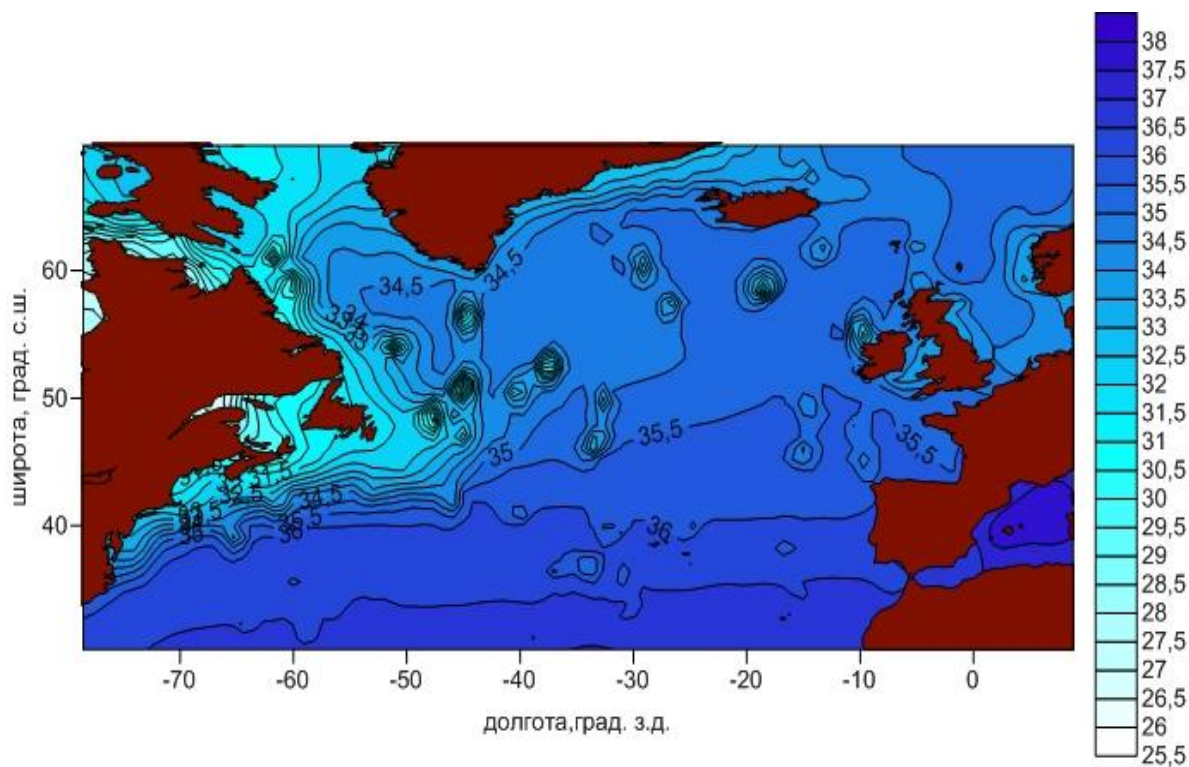


Рис.9.- Межгодовое распределение значений солёности на глубине 5 метров Северной Атлантики по архиву данных SODA v3.3.1.

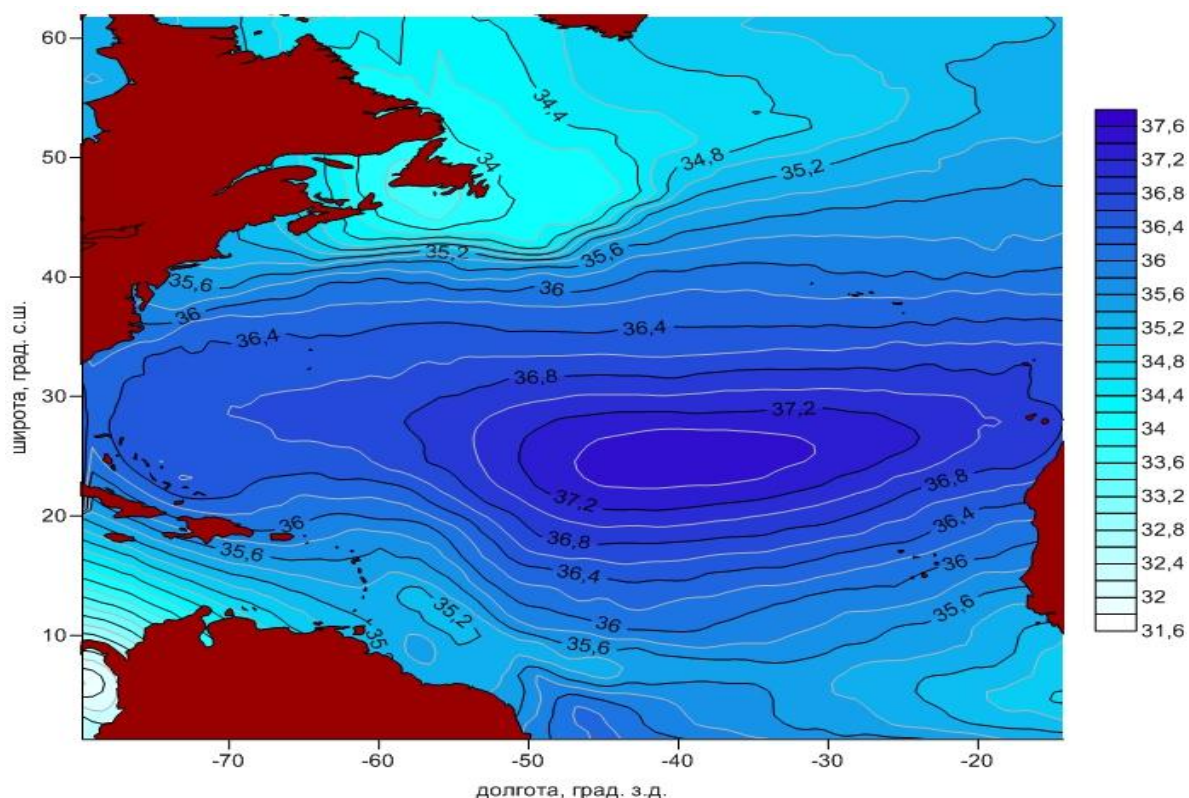


Рис.10.- Межгодовое распределение значений солёности на глубине 5 метров Северной Атлантики по данным спутника «Aquarius».

Анализируя полученные карты, можно заметить, что два архива в общем то похожи между собой. Однако, для хорошего анализа, необходимо построить среднегодовую карту разности солёности по двум архивам, данные архива SODA v3.3.1. минус данные архива спутника «Aquarius OISSS». Результаты представлены на рисунке 11.



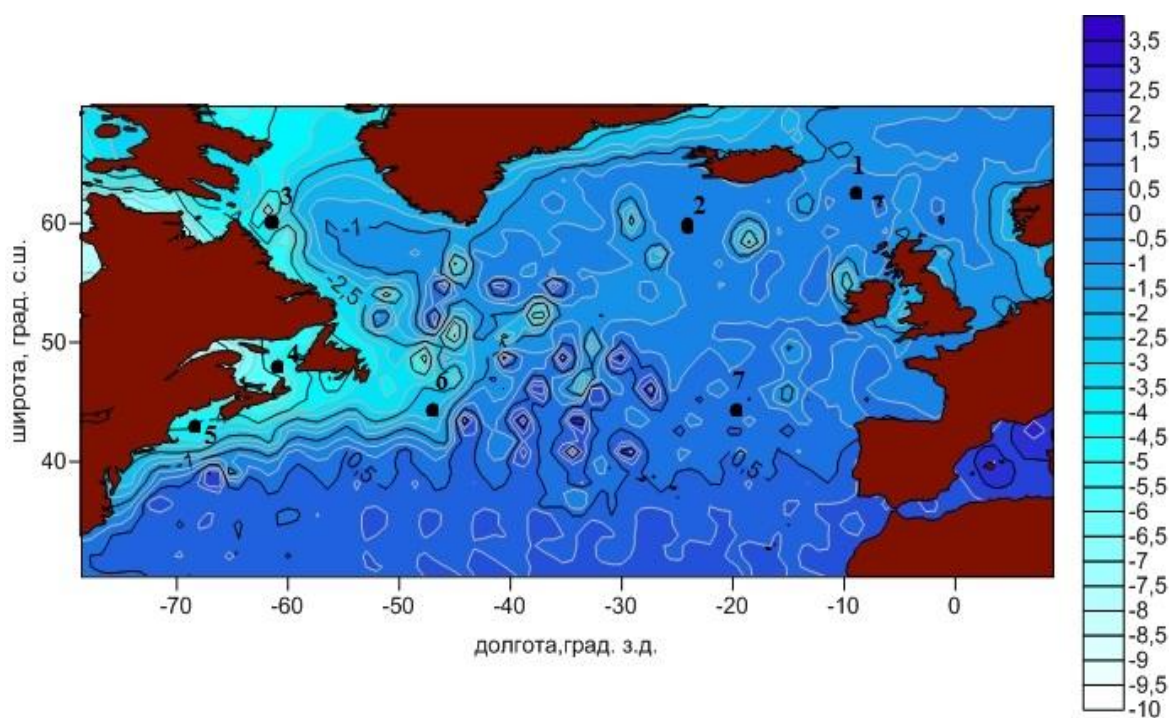


Рис.11.- Межгодовая карта разности солёности по двум архивам SODA v3.3.1. и «Aquarius OISST»

Анализируя полученную карту, можно сразу же заметить, что у восточных берегов Северной Америки наблюдаются максимальные расхождения в архиве данных значений солёности. Данные со спутника «Aquarius OISST» имеют несколько завышенные значения по сравнению с архивом SODA v3.3.1., поэтому здесь образуется отрицательные значения. Та же ситуация наблюдается и в северной части. Однако, имеются области, где архив данных SODA v3.3.1. может превышать значения солёности из архива «Aquarius OISST», такие области наблюдаются по мере приближения к экватору.

Далее, для более детального сравнения распределения солёности по двум архивам, следует выбрать некоторые точки и построить графики распределения солёности в этих точках за весь исследуемый период времени. Сравнить годовой ход значений солёности по двум разным архивам (SODA v3.3.1. и «Aquarius OISST») наиболее интересно было бы в следующих точках (Рис.11):

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| 1. 62°с.ш. 11°з.д. | 2. 60°с.ш. 25°з.д. |
| 3. 60°с.ш. 61°з.д. | 4. 48°с.ш. 61°з.д. |
| 5. 42°с.ш. 65°з.д. | 6. 43°с.ш. 49°з.д. |
| 7. 43°с.ш. 19°з.д. |                    |

Итак, построим распределение солёности для первой точки по значениям солёности из разных архивов данных. (Рис.13)

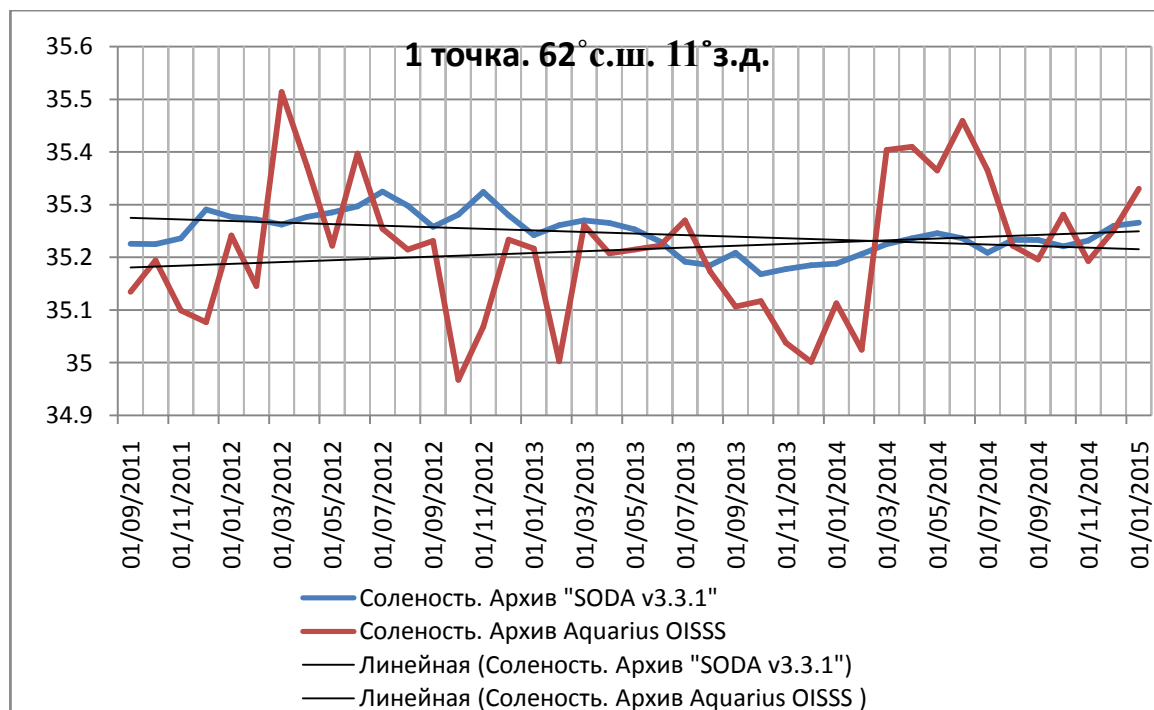


Рис.12.- Межгодовая изменчивость солёности Северной Атлантики по данным архива SODA v3.3.1. и «Aquarius OISST» в точке с координатами 62°с.ш. 11°з.д.

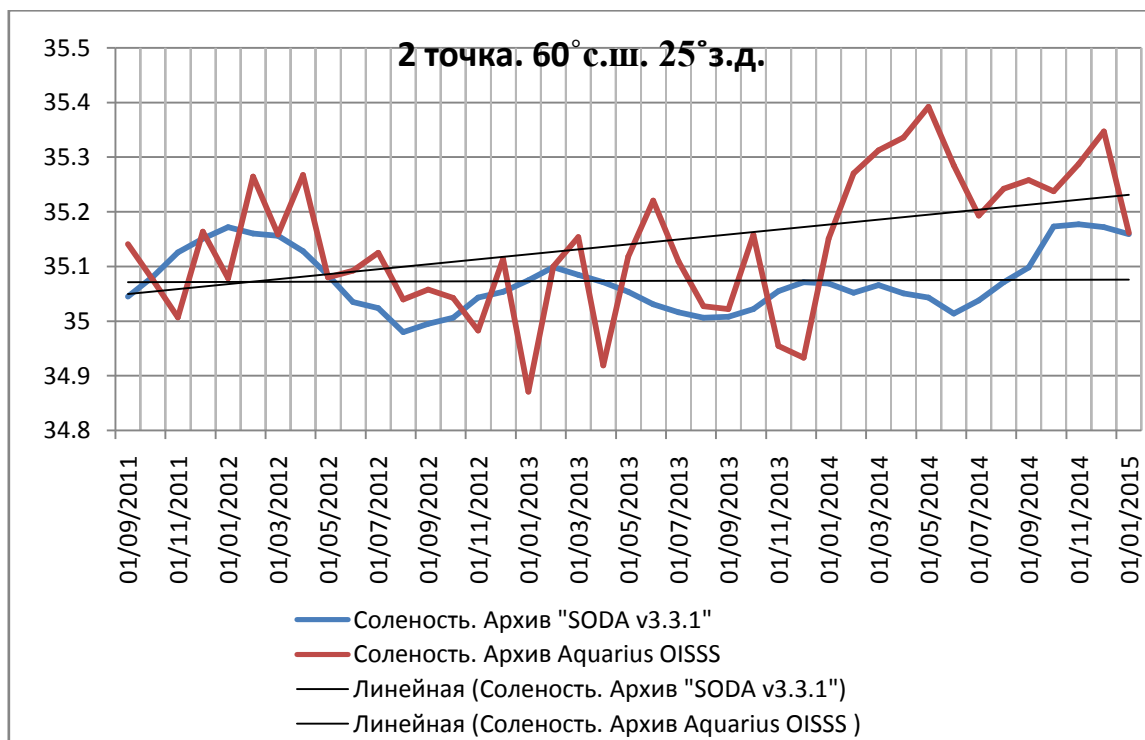


Рис.13.- Межгодовая изменчивость солёности Северной Атлантики по данным архива SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSS» в точке с координатами 60°с.ш. 25°з.д.

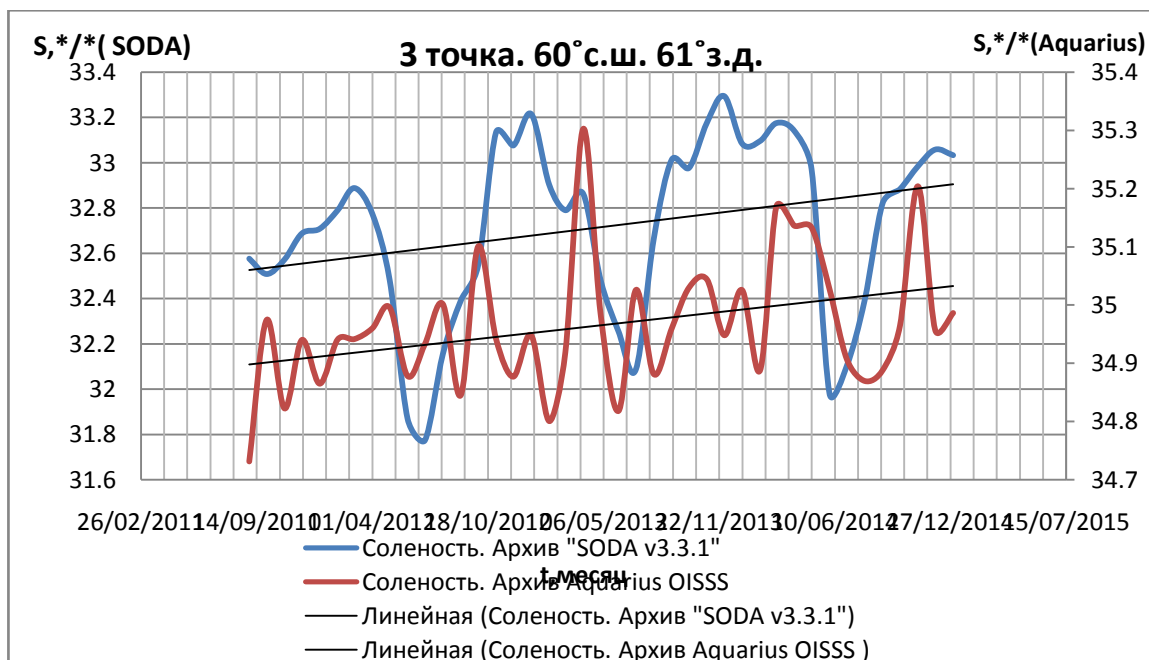


Рис.14.- Межгодовая изменчивость солёности Северной Атлантики по данным архива SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSS» в точке с координатами . 60°с.ш. 61°з.д.

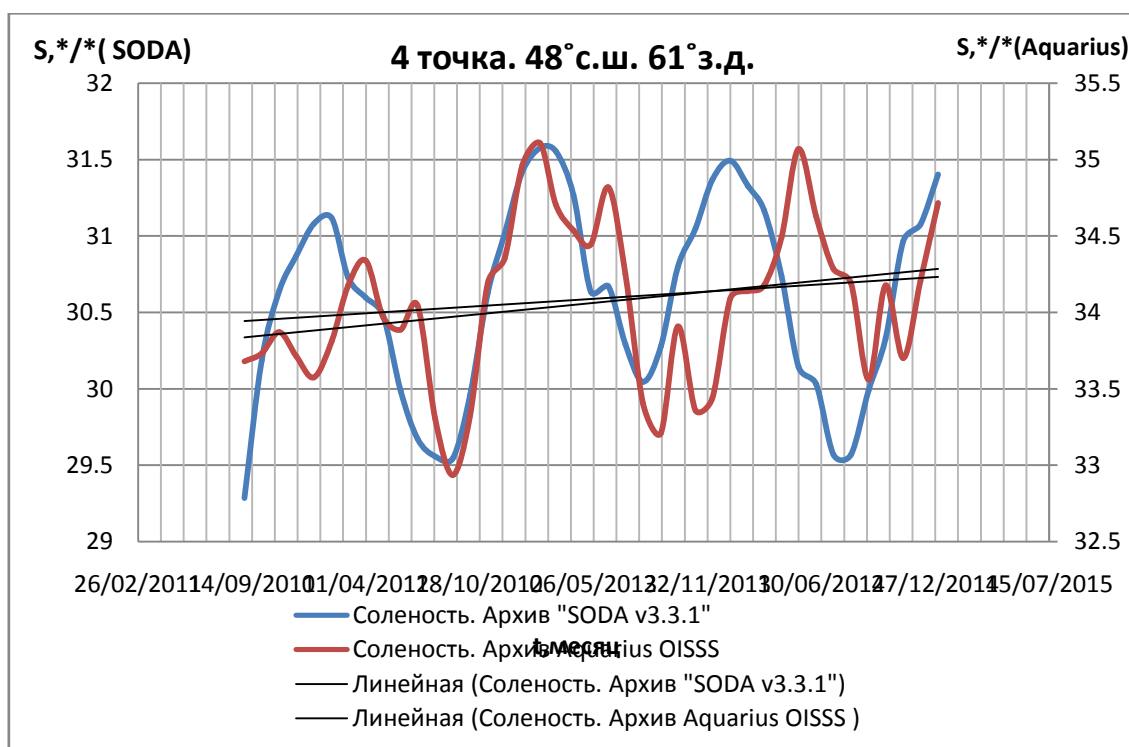


Рис.15.- Межгодовая изменчивость солёности Северной Атлантики по данным архива SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSL» в точке с координатами 48°с.ш. 61°з.д.

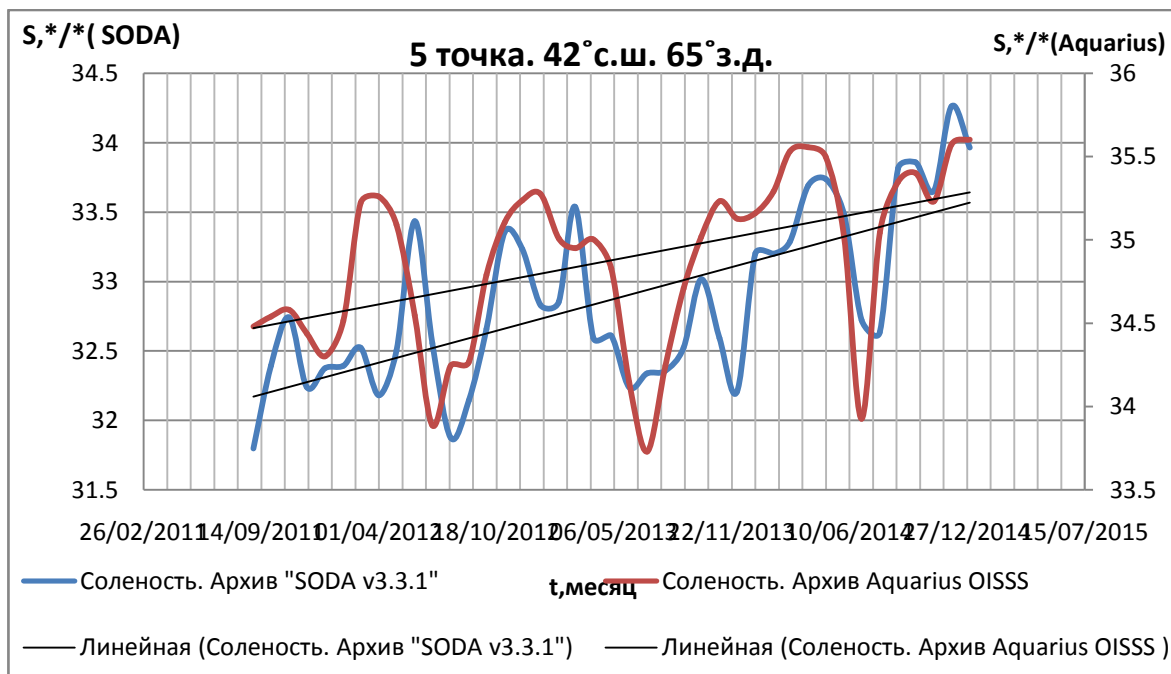


Рис.16.- Межгодовая изменчивость солёности Северной Атлантики по данным архива SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSL» в точке с координатами 42°с.ш. 65°з.д.

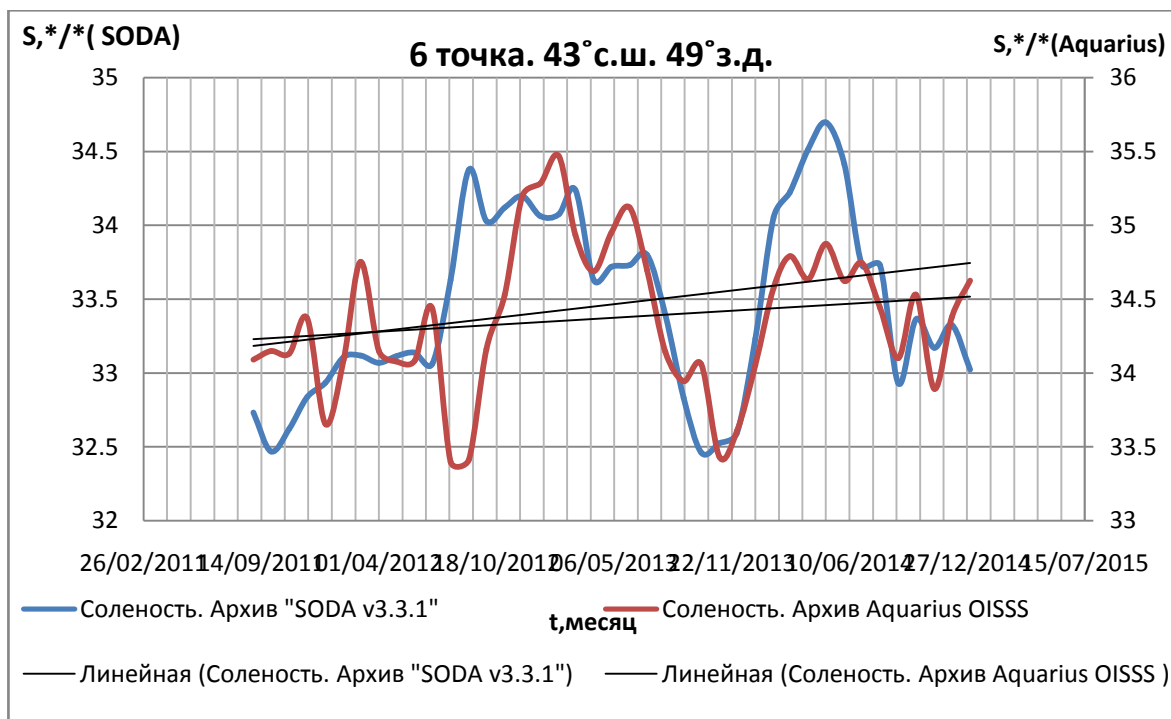


Рис.17.- Межгодовая изменчивость солёности Северной Атлантики по данным архива SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSS» в точке с координатами 43°с.ш. 49°з.д.

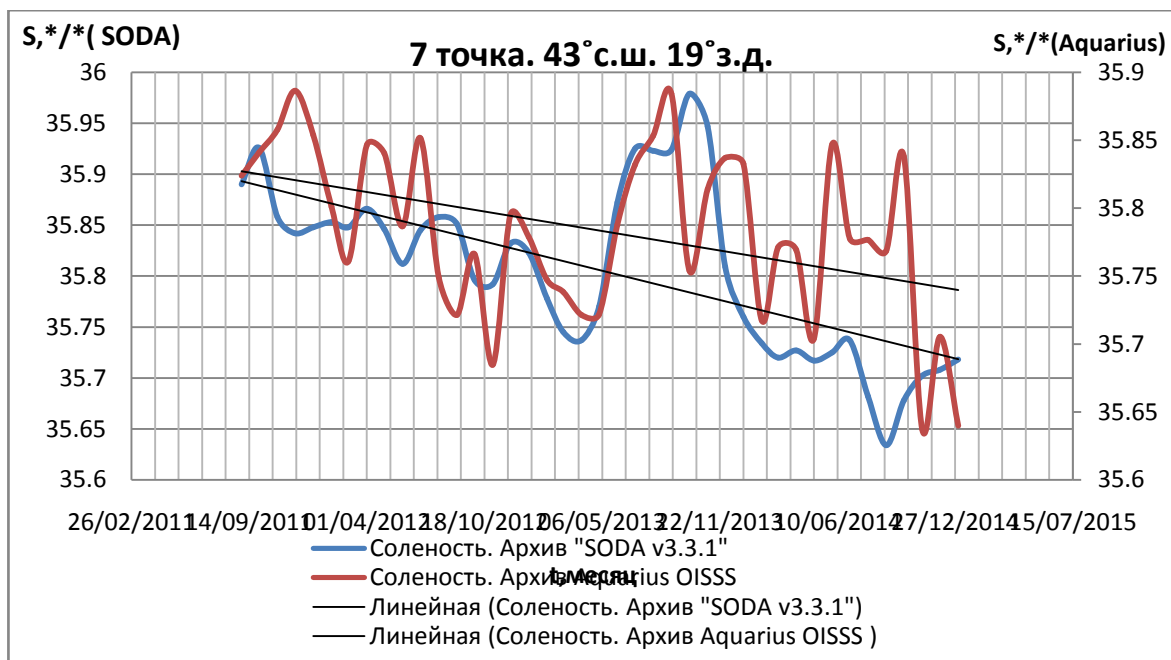


Рис.18.- Межгодовая изменчивость солёности Северной Атлантики по данным архива SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSS» в точке с координатами 43°с.ш. 19°з.д.

Итак, анализируя полученные выше графики, сразу же можно заметить, что на первых двух точках кривая распределения солёности по данным архива SODA v3.3.1. несколько сглажена, по сравнению с архивом «Aquarius OISSS», также следует отметить, что линейный тренд для второго архива увеличивается, а для SODA уменьшается. Далее, в точке с координатами 60°с.ш. 61°з.д. (рис.14) практически во всем временном периоде значения солёности не совпадают. Значения солёности для архива SODA v3.3.1. занижены по сравнению «Aquarius OISSS», так, например, в 2012 году по данным SODA v3.3.1. наблюдаются низкие значения солёности 33,3‰, а по данным архива «Aquarius OISSS» в этом же году значение солёности примерно 34,87, и таких примером может быть достаточно много для данной координаты (Рис.14).

Для всех других точек (Рис. 15-17), наблюдаются заниженные значения солёности архива SODA v3.3.1., однако тренд есть и он практически одинаков для двух архивов. С течением времени солёность увеличивается в Северной Атлантике.

С координатой на 43 широте ситуация обратная, здесь значения солёности по архиву SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSS» практически совпадают. Однако, не всегда, в некоторые месяцы значения солёности полностью различны. Несмотря на это, тренд примерно одинаков, с течением времени солёность в данной точке убывает.

Если в общих чертах рассматривать распределение солёности в Северной Атлантике, то можно отметить, что максимальные значения солёности приходятся на тропические широты, а именно на 20-30° с.ш. солёность достигает до 38‰. Можно предположить, что здесь выпадает мало осадков, испарение слоем в несколько метров, а пресные воды практически не поступают. Но уже, например, ближе к северу-западу у берегов Северной Америки, солёность понижается, минимальные значения достигают до 30‰. Здесь под воздействием холодного арктического течения Лабрадор,

происходит понижение солености воды у берегов. Обратное явление наблюдается, когда Гольфстрим с соленостью около 35‰ проникается в Северный Ледовитый океан, тогда происходит осолонение вод СЛО.

### *Сравнение стандартного отклонения солёности по двум архивам SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSS»*

Так же как и в первой части данной главы о среднегодовых значениях солёности, сравниваем стандартное отклонение солёности по двум предложенным архивам SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSS». Для этого рассчитываем стандартное отклонение солёности для каждой точки Северной Атлантики и строим карты межгодового распределения стандартного отклонения солёности в Северной Атлантике по данным SODA v3.3.1. (Рис.11) и «Aquarius OISSS» (Рис.12).

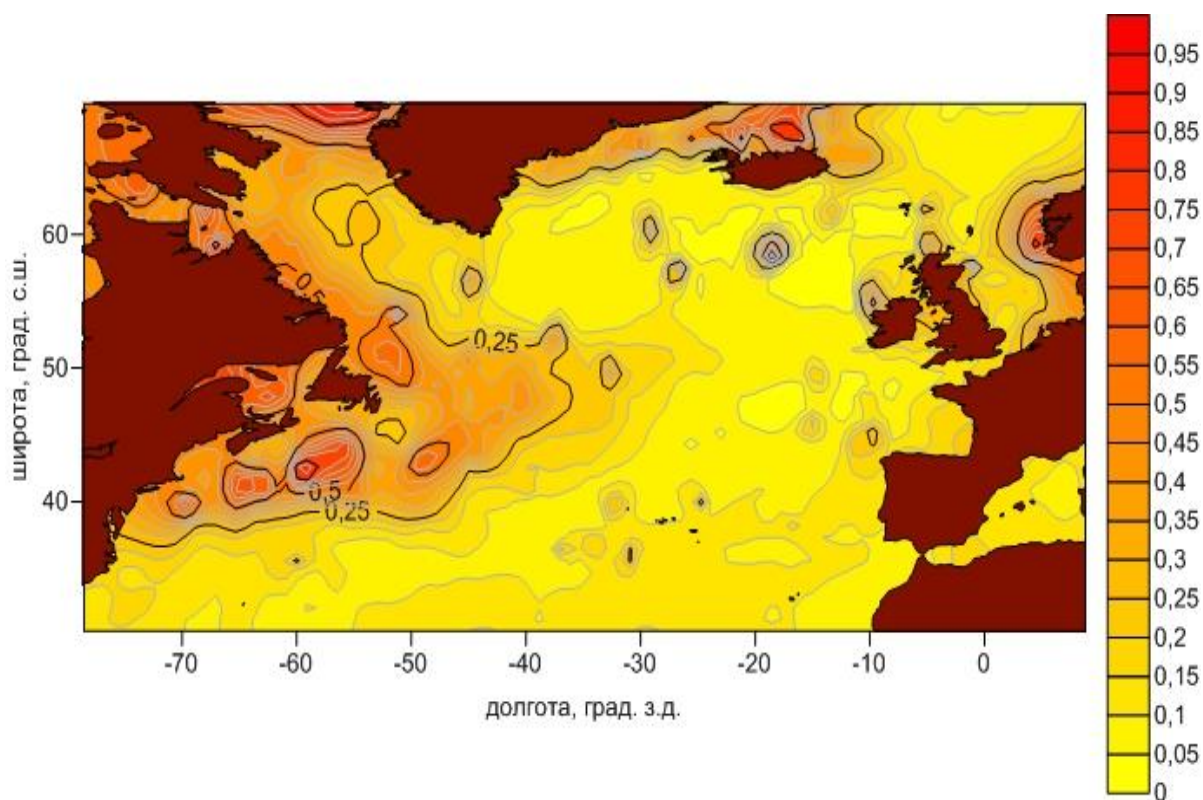


Рис.19.- Межгодовое распределение стандартного отклонения солёности в Северной Атлантики по архиву данным SODA v3.3.1.



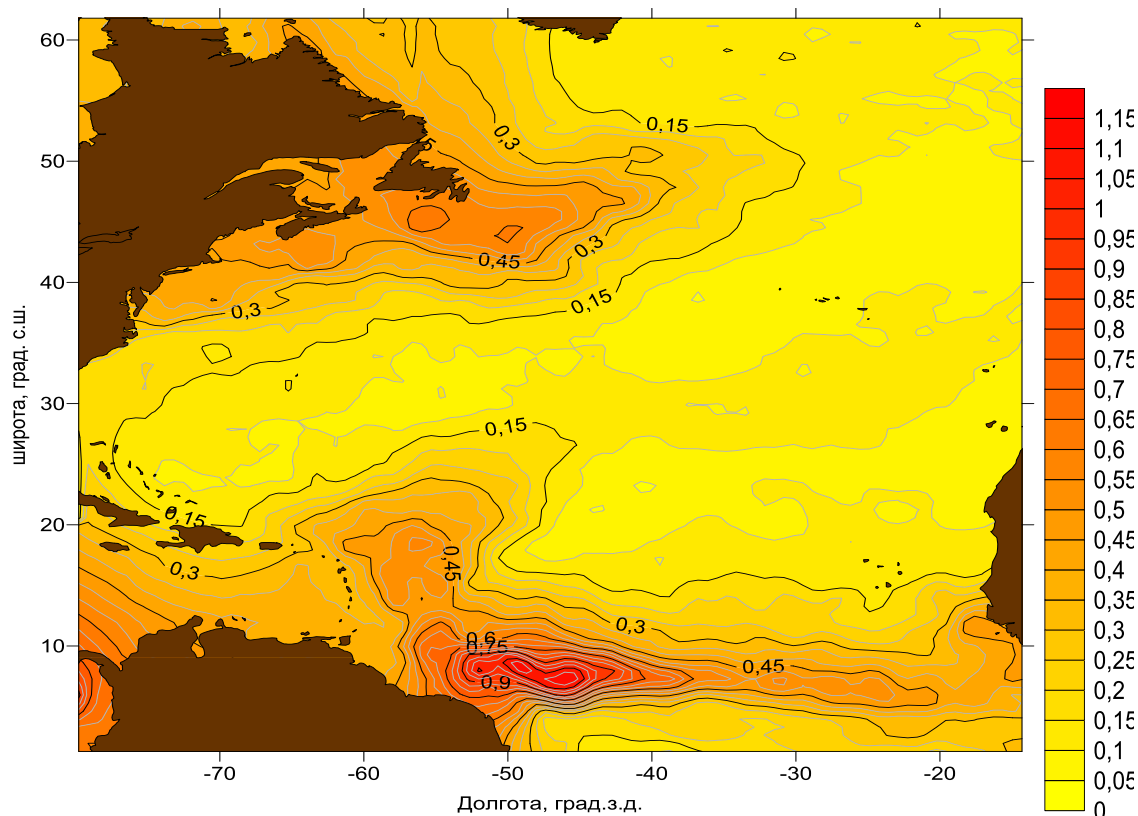


Рис. 20.- Межгодовое распределение стандартного отклонения солености в Северной Атлантике по данным спутника «Aquarius».

Рассматривая карты межгодового распределения стандартного отклонения солености в Северной Атлантике по двум архивам данных. В целом распределение стандартного отклонения солености одинаково, особенно в центральной части Северной Атлантики. Различия наблюдаются вдоль восточных берегов Северной Америки. Здесь максимальные значения стандартного отклонения солености по данным архива SODA v3.3.1. примерно равны 0,8-0,9, а по данным архива спутника «Aquarius» 0,6-0,65. То же самое и у северных берегов Северной Америки максимальные значения стандартного отклонения несколько не совпадают.

Рассмотрим общую картину распределения стандартного отклонения солености, так, например, у берегов Северной Америки имеет высокие значения, соленость в этой области понижается. Предположительно, это происходит из-за воздействия холодного арктического течения Лабрадор,

которое опресняет воды у берегов. Так же низкие значения солёности наблюдаются между островами Гренландия и Исландия.

Вся остальная область Северной Атлантики, относительно однородна без резких существенных изменений. Стандартное отклонение меньше среднего, наблюдаются высокие значения солёности.

*Сравнение величины тренда солёности по двум архивам SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSL»*

Для сравнения двух архивов данных о солёности SODA v3.3.1. и «Aquarius OISSL» для начала необходимо рассчитать величину тренда по представленной формуле в главе 2. Далее, построим карты межгодового распределения величины тренда по данным архива SODA v3.3.1. (Рис.13) и «Aquarius OISSL»(Рис.14).

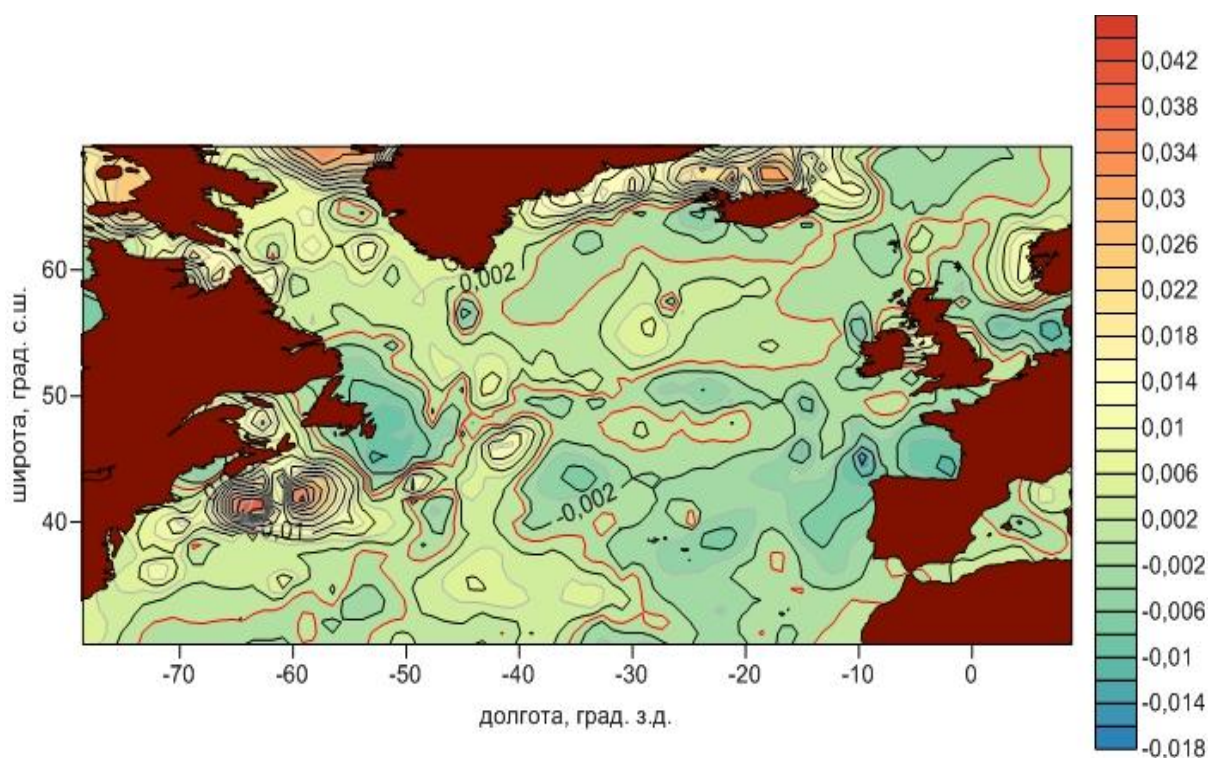


Рис. 21.- Межгодовое распределение величины тренда солёности в Северной Атлантике по данным SODA v3.3.1.

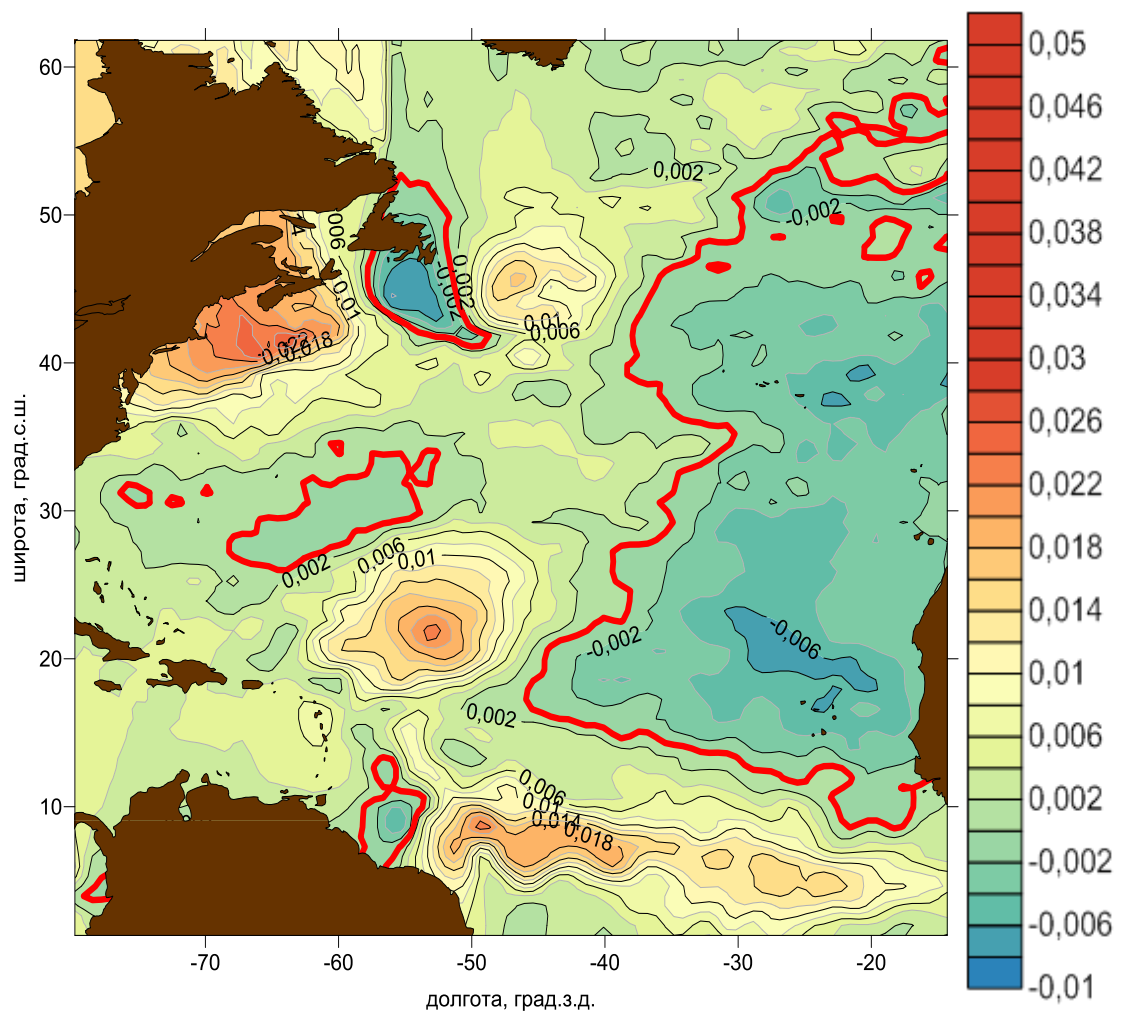


Рис. 22.- Межгодовое распределение величины тренда солености в Северной Атлантике по данным спутника «Aquarius OISST»

Межгодовое распределение величины тренда солености в Северной Атлантике по данным разных архивов, практически совпадают. Вспомнив, что величина тренда характеризует поведение тренда. Исходя из выше представленных рисунков, мы можем выделить 2 области.

Первая область - там, где величина тренда положительна, т.е. в этой зоне происходит увеличение солености.

Вторая область - там, где величина тренда отрицательная, т.е. в этой области будет наблюдаться уменьшение солености на глубине 5 метров Северной Атлантики.

По данным архива *SODA v3.3.1.* и «*Aquarius OISSS*» отрицательные значения величины тренда практически совпадают. Однако, наблюдаются, и расхождения в полученных расчетах, так, например, в зал. Мэн у восточных берегов Северной Атлантики по данным спутника «*Aquarius OISSS*» тренд положителен, т.е. в этой зоне будет происходить увеличение значений солености. Но по данным *SODA v3.3.1.* для этой области наблюдается обратная картинка, здесь величина тренда отрицательна, т.е. уменьшение солености. Это происходит по некоторым причинам, так например, — выпадение атмосферных осадков, которые в свою очередь понижают соленость; — сток речных вод, соленость вод океана у материков значительно меньше, чем в центре океана, так как воды рек опресняют ее.

Такая же ситуация наблюдается у южных берегов Исландии в районе 60 с.ш., здесь по данным спутника «*Aquarius OISSS*» для этой области положительный тренд, а по данным архива *SODA v3.3.1.* наблюдается отрицательный тренд, т.е. уменьшение солености. Вся остальная область однородна, карты, построенные по разным архивам данным относительно похожи.

### **3.2. Сравнение годовых значений солености и разности Е-Р.**

Распределение солености в различных районах Мирового океана зависит от ряда факторов, физико-географических, гидрометеорологических и океанологических. Наибольшее влияние на соленость оказывают: испарение с поверхности океана, выпадение осадков, приток материковых вод, процессы ледообразования и таяния льдов.

Солевой баланс океанов связан с изменением компонентов водного баланса. Так поступающей частью водного баланса являются атмосферные осадки, пресные воды, воды от таяния морского льда. Расходной частью являются потери воды на испарение, образование льда.[9]

Уравнение водного баланса выглядит следующим образом:  $O+S=E$ , где  $O$ - кол-во осадков;  $S$ -береговой сток;  $E$ - испарение. Если  $O+S$  больше испарения, тогда пресный баланс положительный и происходит понижение значений солености в океане. Когда испарения больше чем  $O+S$ , тогда пресный баланс отрицательный и происходит наоборот повышение значений солености.[9] Все перечисленные факторы влияют на режим и изменение солености вод океанов.

#### **Осреднение по 5-ти градусным широтным зонам.**

Для сравнения годовых значений солености и разности между испарением и осадками прежде для начала следует найти среднее значения характеристик по 5-ти градусным широтным зона. Итак, для этого берем одну широту, например,  $32,5^\circ$  с.ш. и находим среднее, т.е. получаем средние широтные значения для зоны  $30-35^\circ$  с.ш. Данную операцию проделываем для всех остальных зон. Также, поступаем и с разностью Е-Р, находим средние широтные значения для всех зон. В итоге получаем набор данных для солености и разности «Испарение-Осадки». Более наглядно это отображено на представленной ниже карте (Рис.20).

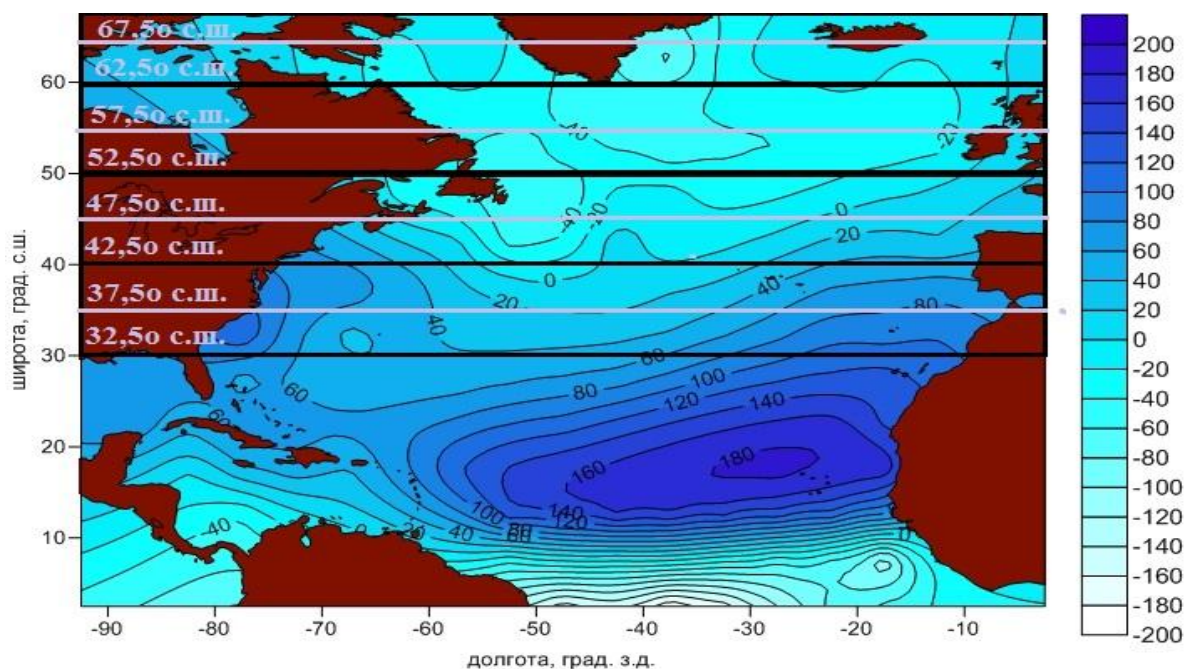


Рис.30.- Осреднение по 5-ти градусным широтным зонам для значений солености

Получив набор данных по 5-ти градусным широтным зонам для солености и разности Е-Р, далее следует построить графики связи значений солености и разности для всех исследуемых зон.

Итак, получаем, что для первой широтной зоны 32,5° с.ш. среднегодовая связь между соленостью и «испарение-осадки» будет выглядеть следующим образом (Рис.21).

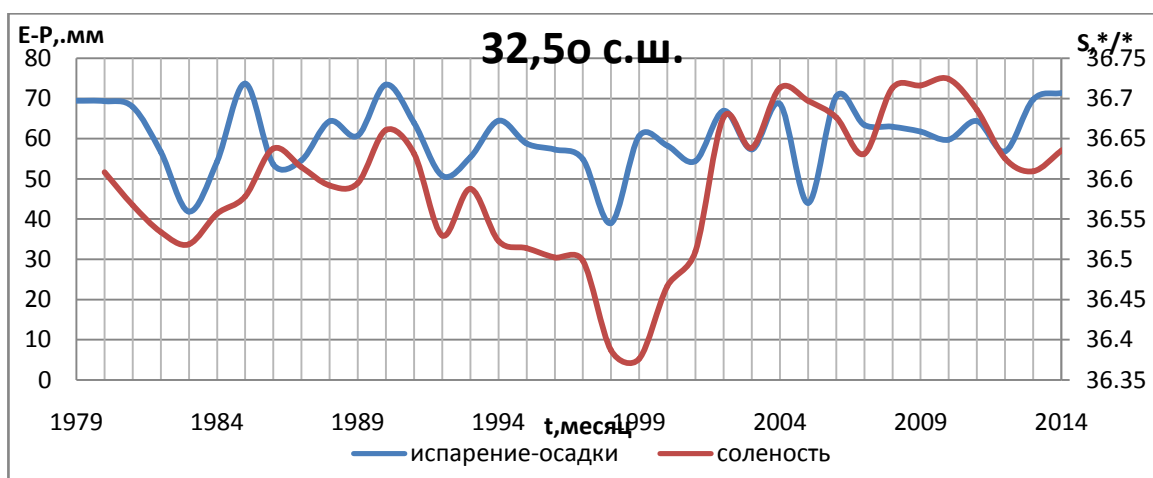


Рис.31.- Взаимосвязь солености и разности Е-Р в широтной зоне 30° с.ш.-35° с.ш.



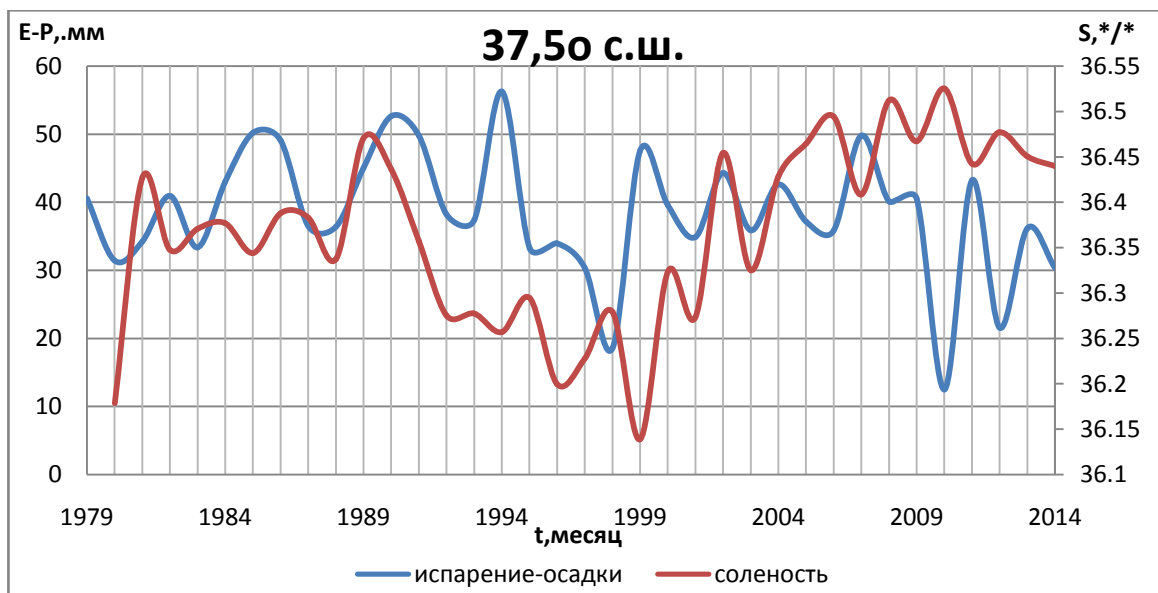


Рис.32.- Взаимосвязь солености и разности E-P в широтной зоне 35°  
с.ш.-40° с.ш.

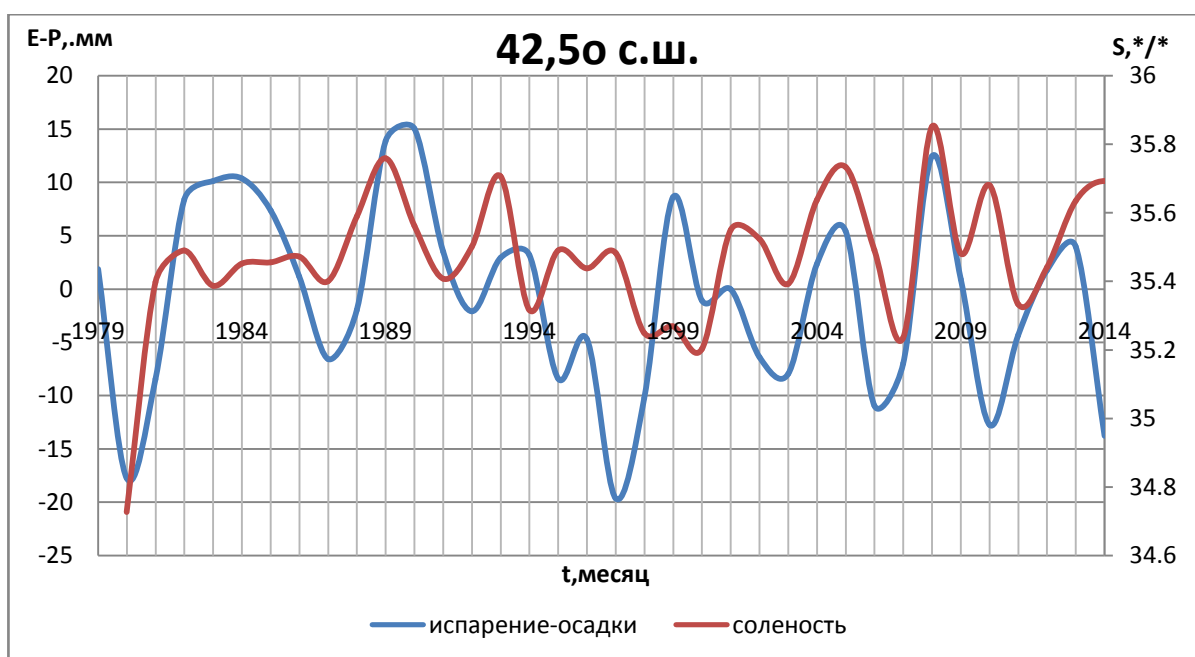


Рис.33.-Взаимосвязь солености и разности E-P в широтной зоне 40°  
с.ш.-45° с.ш.

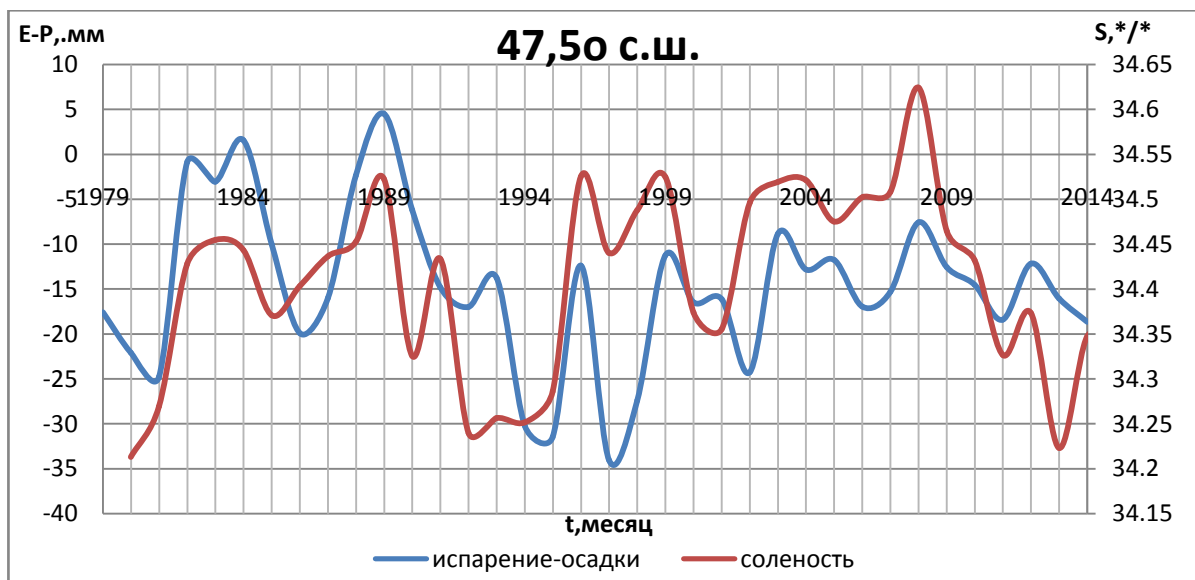


Рис.34.-Взаимосвязь солёности и разности Е-Р в широтной зоне 45° с.ш.-50° с.ш.

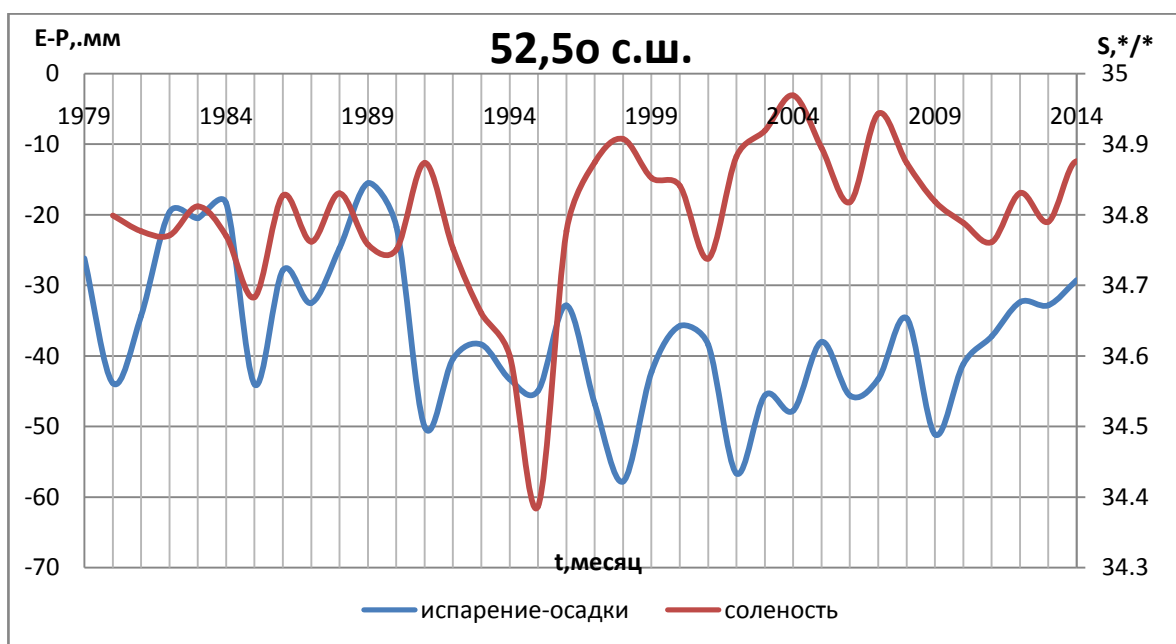


Рис.35.-Взаимосвязь солёности и разности Е-Р в широтной зоне 50° с.ш.-55° с.ш.



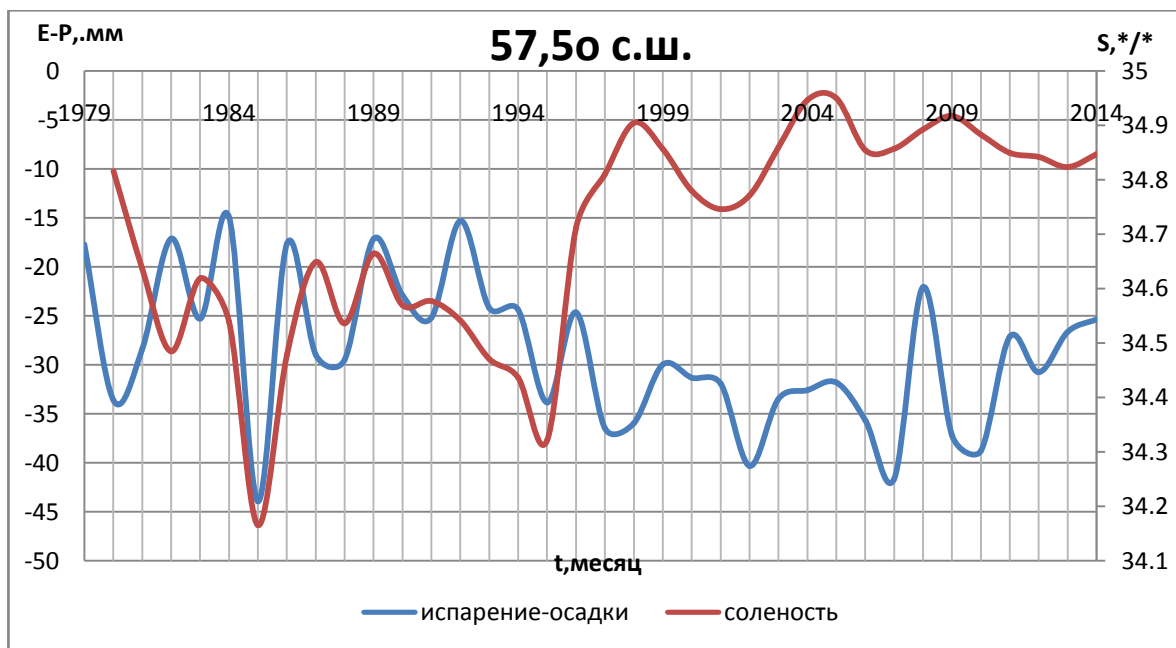


Рис.36.-Взаимосвязь солености и разности Е-Р в широтной зоне 55° с.ш.-60° с.ш.

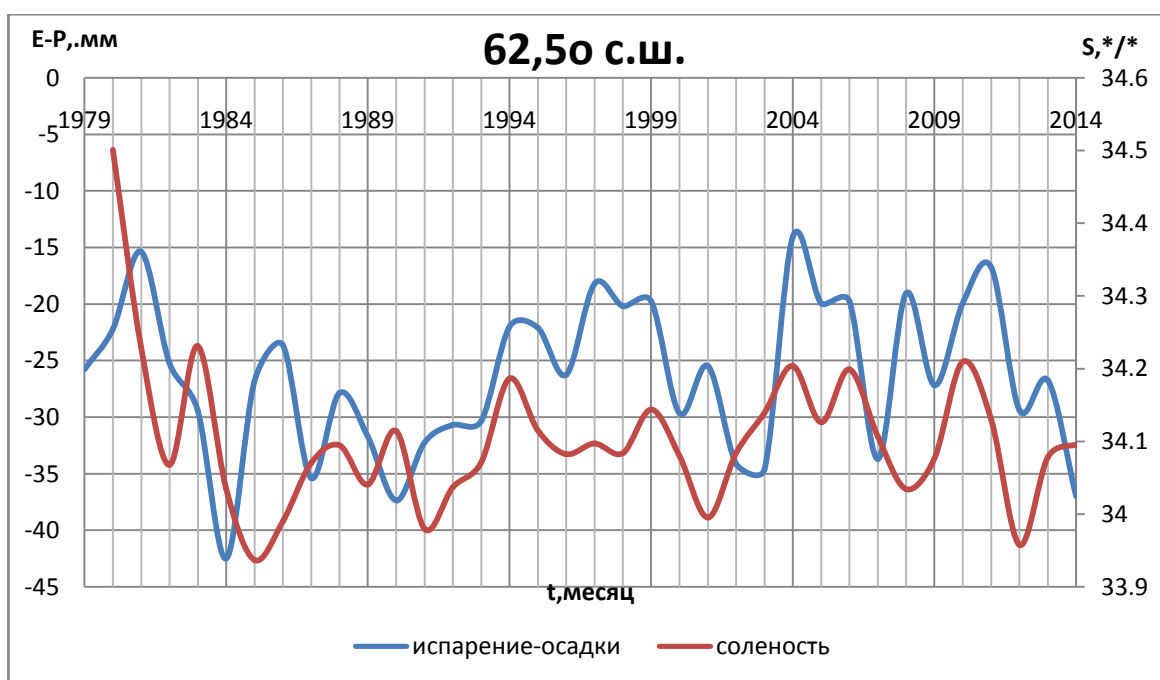


Рис.37.-Взаимосвязь солености и разности Е-Р в широтной зоне 60° с.ш.-65° с.ш.

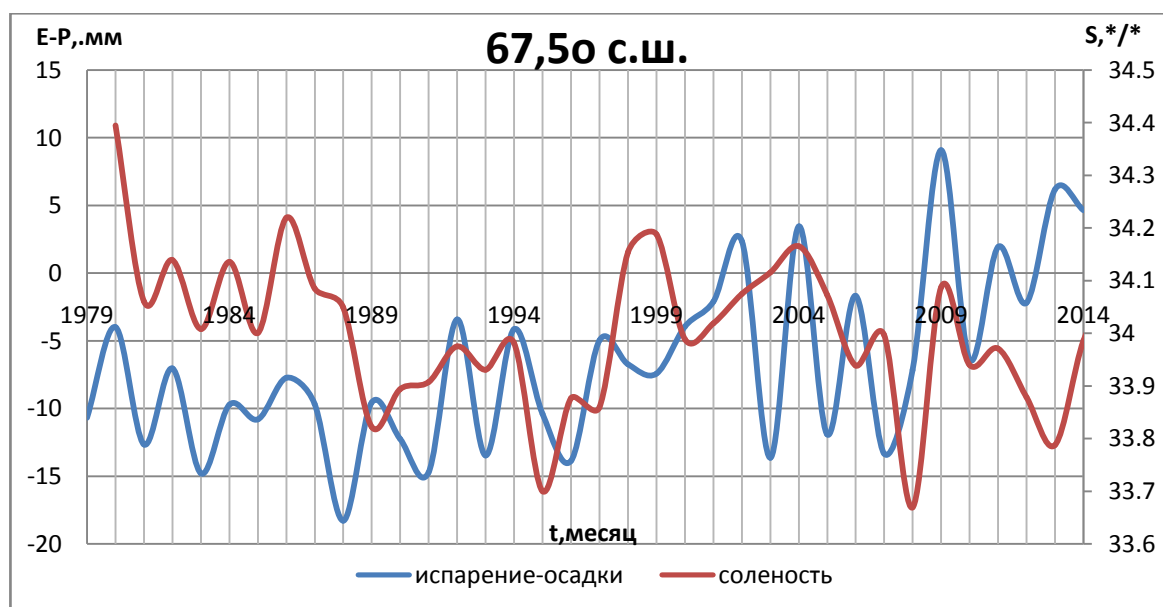


Рис.38.-Взаимосвязь солености и разности Е-Р в широтной зоне 65° с.ш.-70° с.ш.

Для наглядности будет интересно рассчитать коэффициент корреляции для всех выбранных широтных зон. При помощи формулы предоставленной в третьей главе, рассчитываем коэффициенты корреляции. Все расчеты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции для различных широтных зон.

| Коэффициенты корреляции R |               |               |               |               |               |               |               |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 32,3°<br>с.ш.             | 37,3°<br>с.ш. | 42,3°<br>с.ш. | 47,3°<br>с.ш. | 52,3°<br>с.ш. | 57,3°<br>с.ш. | 62,3°<br>с.ш. | 67,3°<br>с.ш. |
| 0,347                     | 0,057         | 0,034         | -0,037        | -0,188        | -0,479        | 0,176         | 0,021         |

Далее, требуется проверить все коэффициенты корреляции на значимость. Для этого сформулируем нулевую гипотезу  $H_0: R=0$ ; и альтернативную гипотезу  $H_1: R \neq 0$ . Для проверки этой гипотезы выбирается критерий Стьюдента. Для этого следует рассчитать стандартное отклонение для распределения коэффициентов корреляции генеральной совокупности ( $\sigma_R$ ). Расчеты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Стандартное отклонение для распределения коэффициентов  
корреляции

| $\sigma_R$ |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 32,5°      | 37,5° | 42,5° | 47,5° | 52,5° | 57,5° | 62,5° | 67,5° |
| с.ш.       | с.ш.  | с.ш.  | с.ш.  | с.ш.  | с.ш.  | с.ш.  | с.ш.  |
| 0,149      | 0,168 | 0,169 | 0,169 | 0,163 | 0,130 | 0,164 | 0,169 |

Теперь имея значения стандартного отклонения, рассчитываем критерий Стьюдента, по формуле из главы 2. (Таблица 3)

Таблица 3

Расчет критерия Стьюдента

| $t^*$ |       |       |        |        |        |       |       |
|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 32,5° | 37,5° | 42,5° | 47,5°  | 52,5°  | 57,5°  | 62,5° | 67,5° |
| с.ш.  | с.ш.  | с.ш.  | с.ш.   | с.ш.   | с.ш.   | с.ш.  | с.ш.  |
| 2,332 | 0,337 | 0,199 | -0,217 | -1,152 | -3,685 | 1,076 | 0,123 |

Далее, определяем критическое значение  $t_{кр}(a, \nu)$ , где уровень значимости  $a=5\%(0,05)$ , а число степеней свободы  $\nu=N-1(\nu=36-1=34)$ . Тогда  $t_{кр}$ . Для данного ряда примет значение 2.03.

Сравнив по модулю значения  $t$  и  $t_{кр}$ ., можно сделать вывод, что в основном  $|t^*| < t_{кр}$ ., тогда нулевая гипотеза подтверждается, коэффициенты корреляции незначимы, т.е. между двумя переменными статистическая значимая связь отсутствует. Значимыми являются только два коэффициент корреляции на широте 32,5° с.ш. и 57,5° с.ш., здесь  $|t^*| > t_{кр}$ ., следовательно между значениями солёности и разностью Е-Р существует статистическая значимая связь. Причем, на широте 32,5° с.ш. значимая связь солёности с

испарением, т.к. на графике видно, что значения  $E-P$  положительные. А на широте  $57,5^\circ$  с.ш. значение разности имеет отрицательные значения, и, соответственно, здесь существует статистическая значимая связь солёности с осадками.

## ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ТРЕНДОВ

Далее, следует оценить тренд на значимость, т.е. оценить вклад тренда в изменчивость процесса. Прежде всего, используя критерий Стьюдента записываем нулевую гипотезу путем оценки значимости коэффициента детерминации  $R^2$ :  $H_0: R^2=0$ ; альтернативная  $H_1: R^2 \neq 0$ . Рассчитываем по критерию Стьюдента  $t^*$  (по формуле представленной в главе 2), а также  $t_{кр}$  при уровне значимости  $\alpha=0.05$  в числе степеней свободы  $\nu=35$ , тогда получаем что  $t_{кр}=2,03$  (табл. 4). Для удобства строим карту распределения  $t^*$  на которую наносим значения  $t_{кр}$ . выделяя красной изолинией. (Рис.39)

Таблица 4.

Оценка значимости тренда.

|                 | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                  | 6                  | 7                  | 8                  | 9                  |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| точки           | 62°с.ш.<br>17°з.д. | 60°с.ш.<br>40°з.д. | 58°с.ш.5<br>1°з.д. | 50°с.ш.4<br>7°з.д. | 40°с.ш.5<br>4°з.д. | 39°с.ш.3<br>4°з.д. | 43°с.ш.1<br>4°з.д. | 57°с.ш.14°<br>з.д. | 69°с.ш.4°з.д.<br>. |
| сигма           | 0,083              | 0,143              | 0,069              | 0,115              | 0,120              | 0,152              | 0,128              | 0,116              | 0,143              |
| t               | 8,563              | 2,712              | 11,228             | 4,914              | 4,510              | 2,086              | 3,850              | 4,832              | 2,724              |
| t <sub>кр</sub> | 2,030              | 2,030              | 2,030              | 2,030              | 2,030              | 2,030              | 2,030              | 2,030              | 2,030              |
| R <sup>2</sup>  | 0,508              | 0,151              | 0,594              | 0,320              | 0,292              | 0,101              | 0,243              | 0,314              | 0,152              |
|                 | 0,713              | 0,389              | 0,771              | 0,565              | 0,540              | 0,317              | 0,493              | 0,560              | 0,390              |

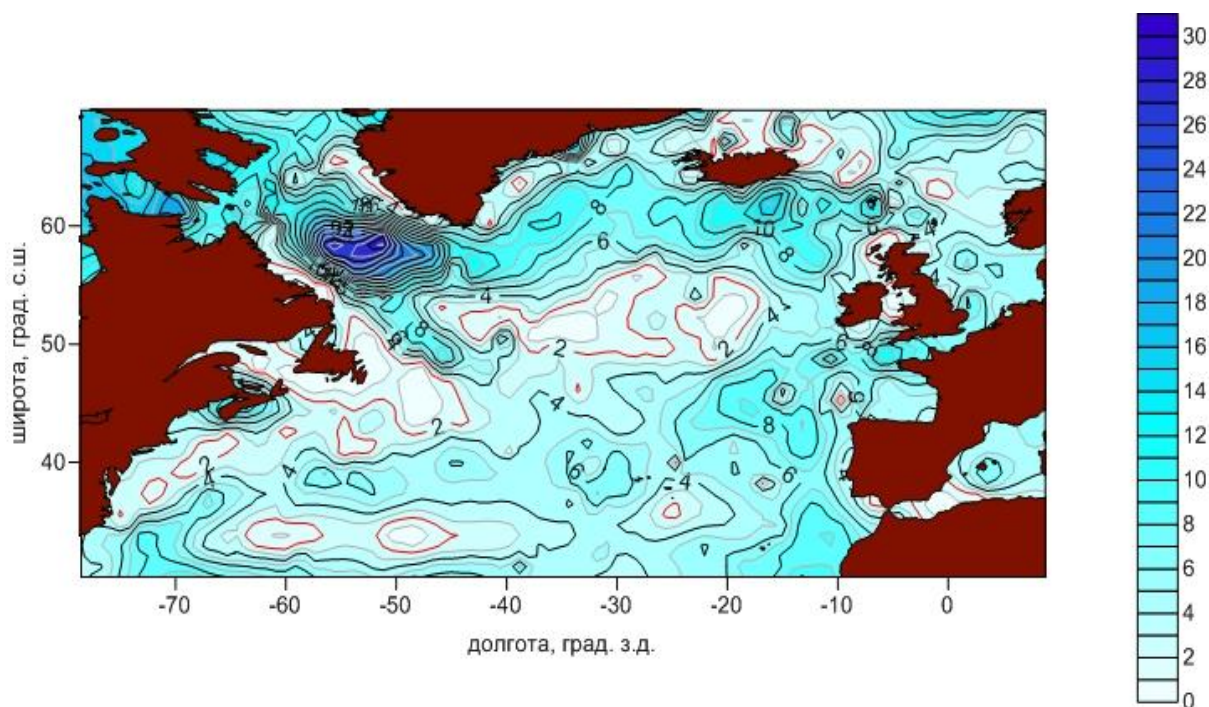


Рис.39.- Определение значимости тренда, с помощью критерия Стьюдента ( $t^*$ ) и его критического значения ( $t_{кр}$ -красная изолиния)

Тогда из рисунка 39 отчетливо будут наблюдаться две области, где  $|t^*| > t_{кр}$  нулевая гипотеза будет отвергаться, а коэффициент детерминации значим, т.е. в таких зонах будет наблюдаться статистически значимая связь, т.е. тренд есть; и наоборот, где  $|t^*| < t_{кр}$ , здесь же нулевая гипотеза будет приниматься, коэффициент детерминации не значим, и соответственно, не будет существовать статистических значимых связей, т.е. тренда нет. Получается все значения находящиеся внутри красной изолинии, которой обозначается  $t_{кр}$ , не имеют статистических значимых связей, там тренда нет, и рассматривать их особой цели нет.

Имея области со значимым трендом, было бы интересно посмотреть в каких областях тренд положительный, т.е. в этих зонах будет происходить увеличение солёности, а в каких, наоборот, тренд отрицателен, и, соответственно, уменьшение значений солёности. Проанализировать изменчивость солёности по всей акватории Северной Атлантики было бы интересно в следующих точках с координатами (Рис.40):

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| 1. 62°с.ш. 17°з.д. | 2. 60°с.ш. 40°з.д. |
| 3. 58°с.ш.51°з.д.  | 4. 50°с.ш.47°з.д.  |
| 5. 40°с.ш.54°з.д.  | 6. 39°с.ш.34°з.д.  |
| 7. 43°с.ш.14°з.д.  | 8. 57°с.ш.14°з.д.  |
| 9. 69°с.ш.4°з.д.   |                    |

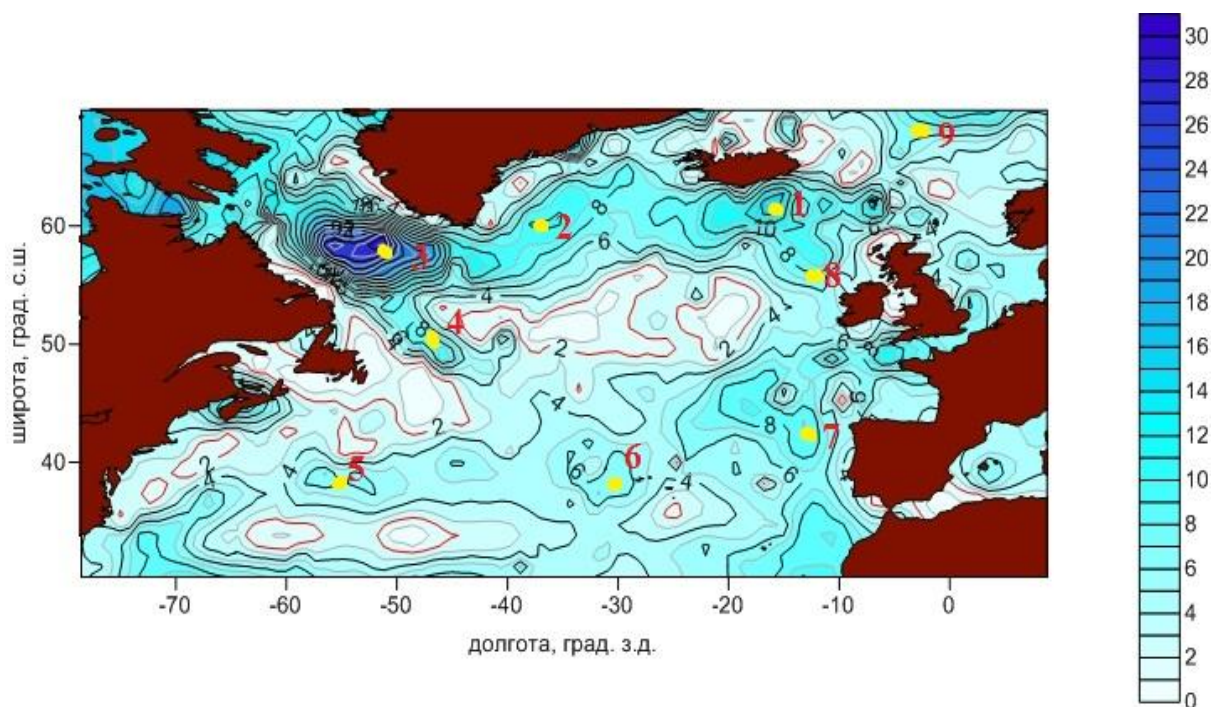


Рис.40.- Исследуемые координаты точек для анализа тренда солёности.

Для каждой выбранной точки строим карту распределения солёности по времени и выделяем тренд.

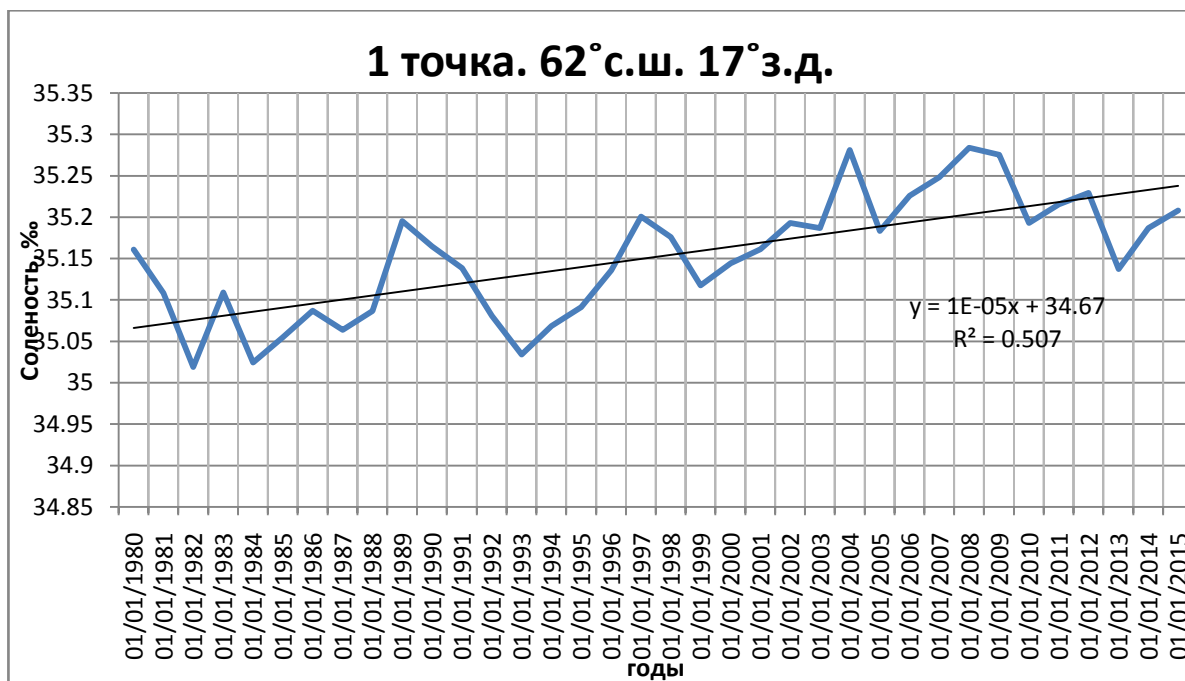


Рис. 41. Межгодовая изменчивость солености и линии тренда – в точке 62°с.ш. 17°з.д. Северной Атлантики.

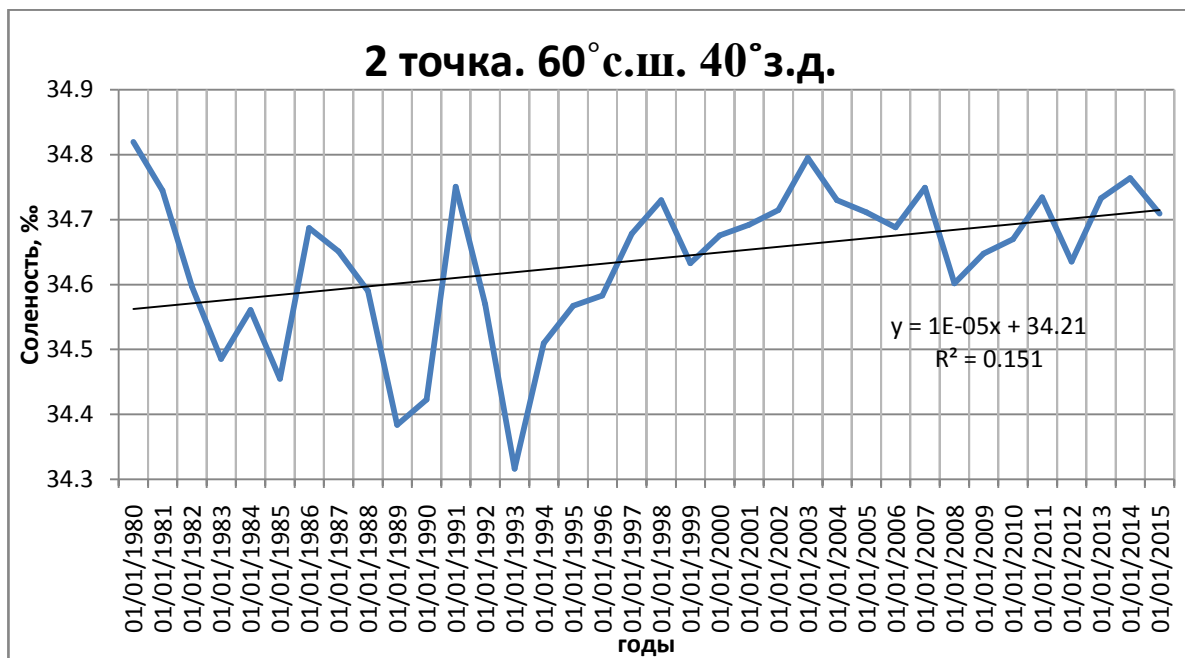


Рис. 42. Межгодовая изменчивость солености и линии тренда – в точке 60°с.ш. 40°з.д. Северной Атлантики.



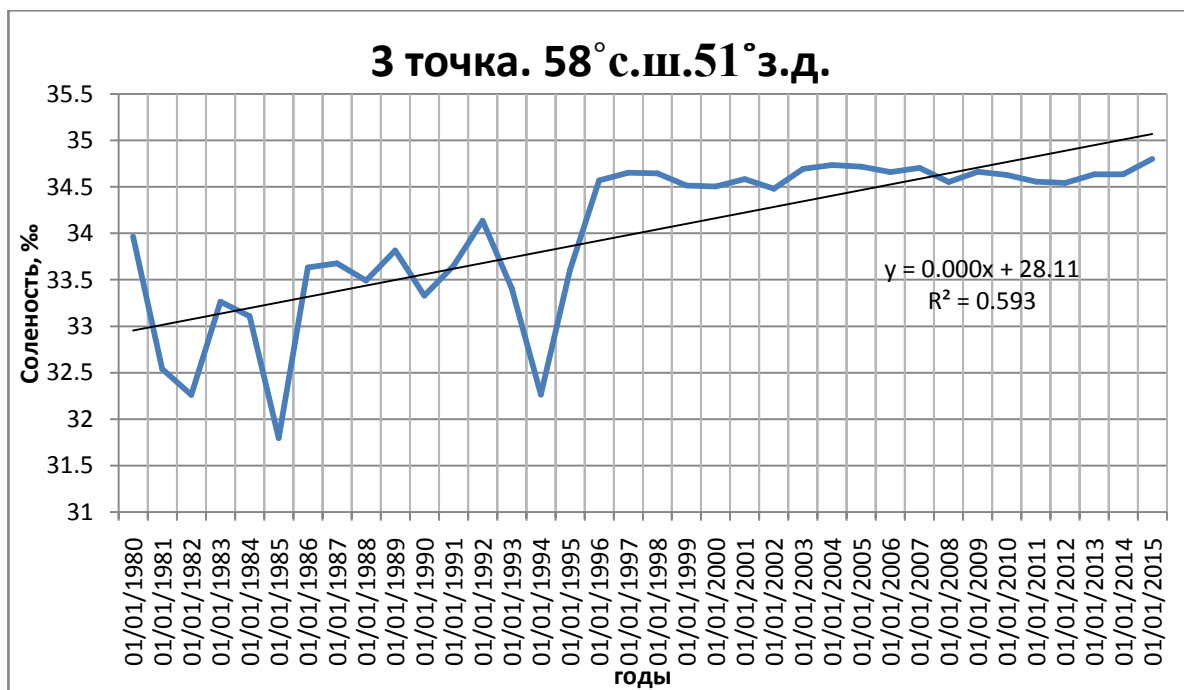


Рис. 43. Межгодовая изменчивость солёности и линии тренда – в точке 58° с.ш. 51° з.д. Северной Атлантики.

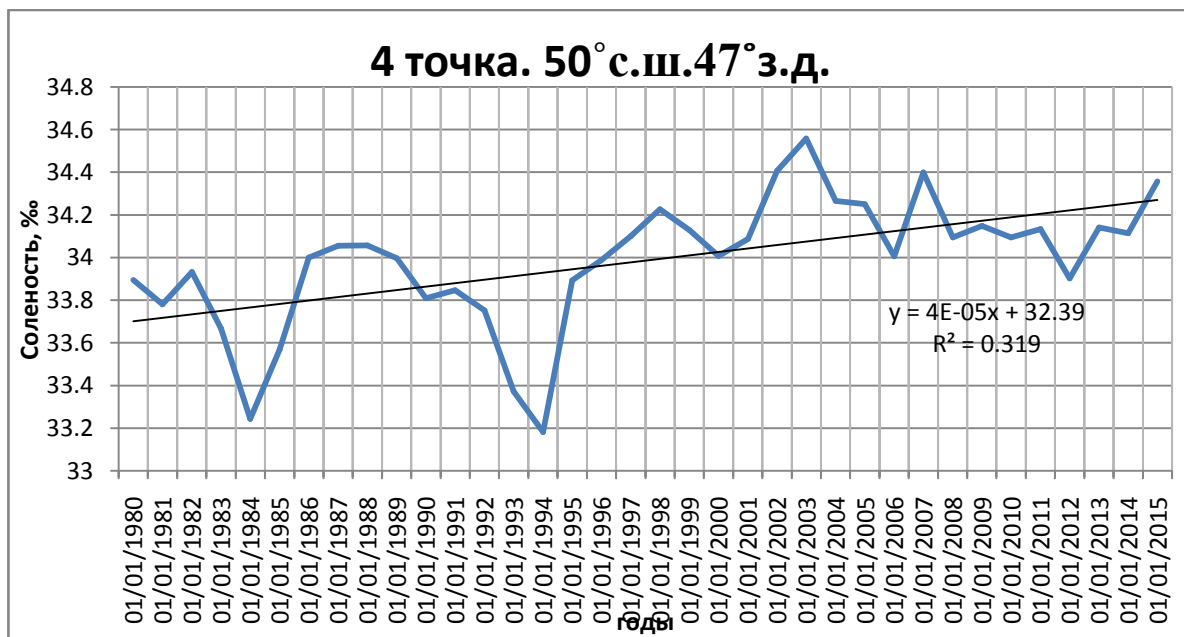


Рис. 44. Межгодовая изменчивость солёности и линии тренда – в точке 50° с.ш. 47° з.д. Северной Атлантики.

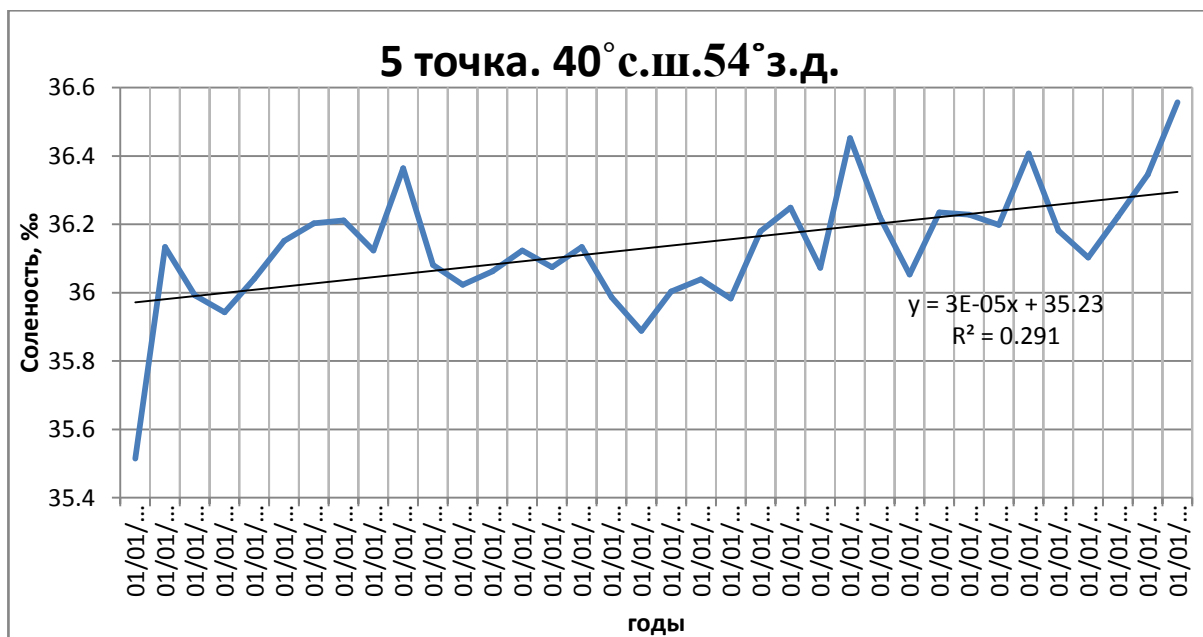


Рис. 45. Межгодовая изменчивость солёности и линии тренда – в точке 40°с.ш. 54°з.д. Северной Атлантики.

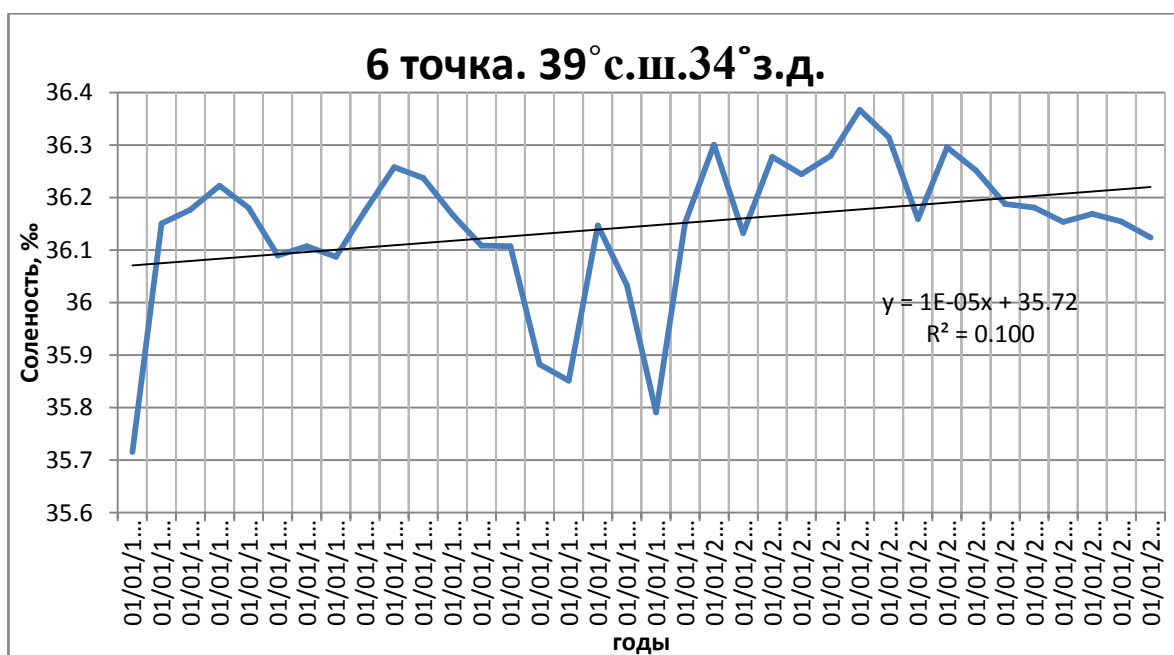


Рис. 46. Межгодовая изменчивость солёности и линии тренда – в точке 39°с.ш. 34°з.д. Северной Атлантики.

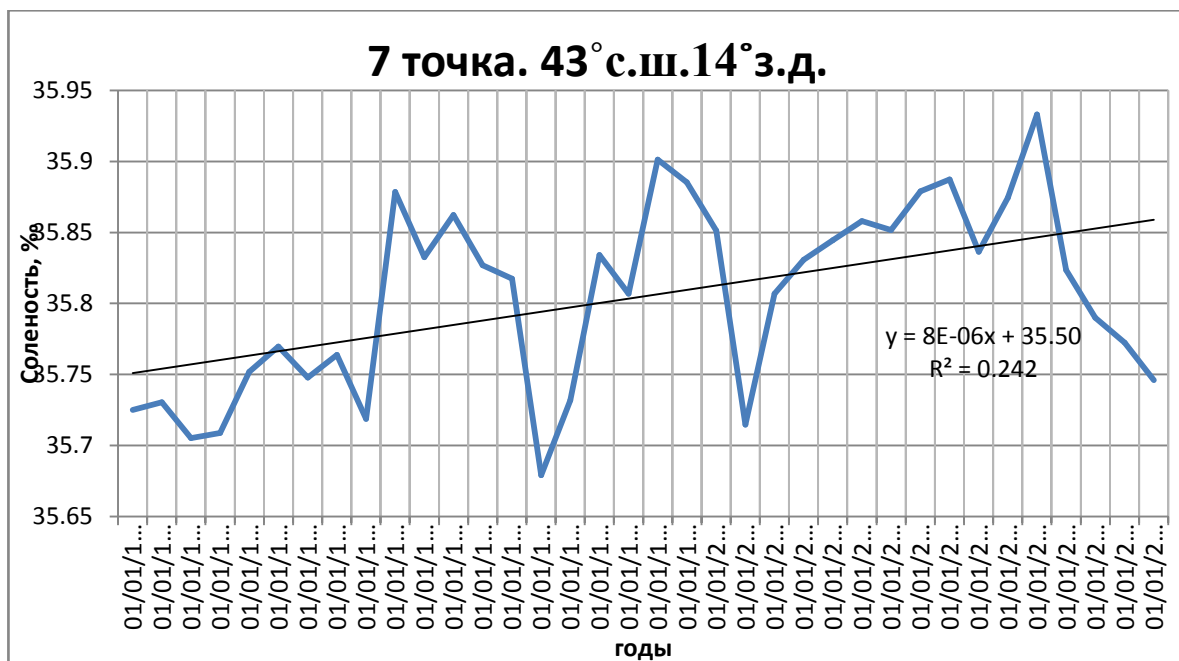


Рис. 47. Межгодовая изменчивость солёности и линии тренда – в точке 43°с.ш. 14°з.д. Северной Атлантики.

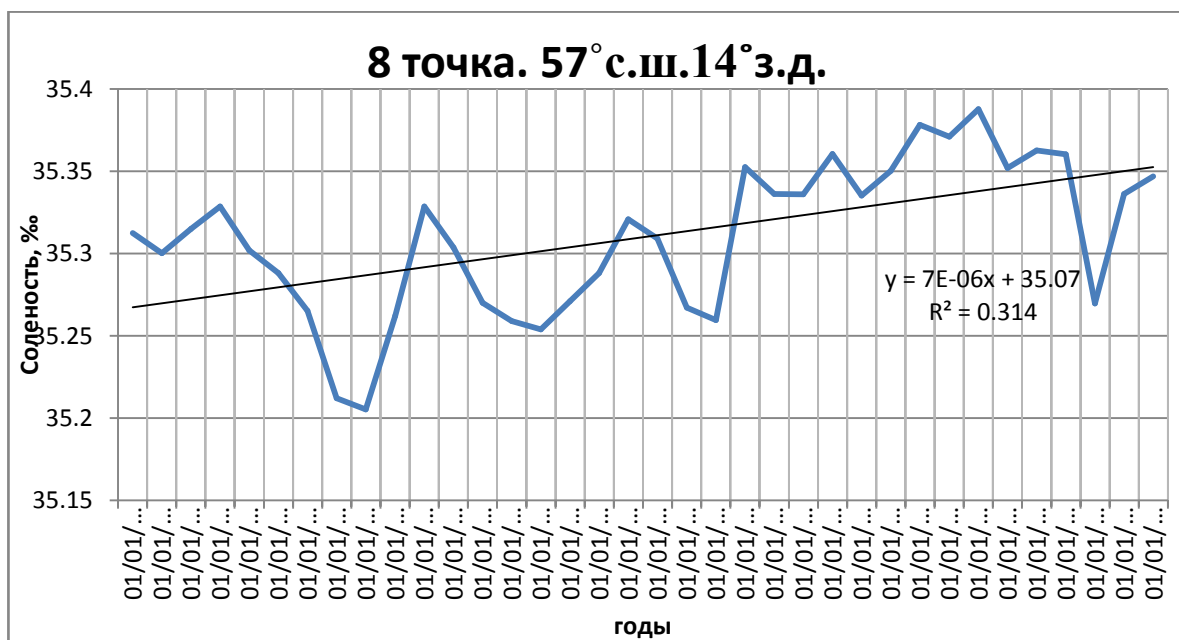


Рис. 48. Межгодовая изменчивость солёности и линии тренда – в точке 57°с.ш. 14°з.д. Северной Атлантики.

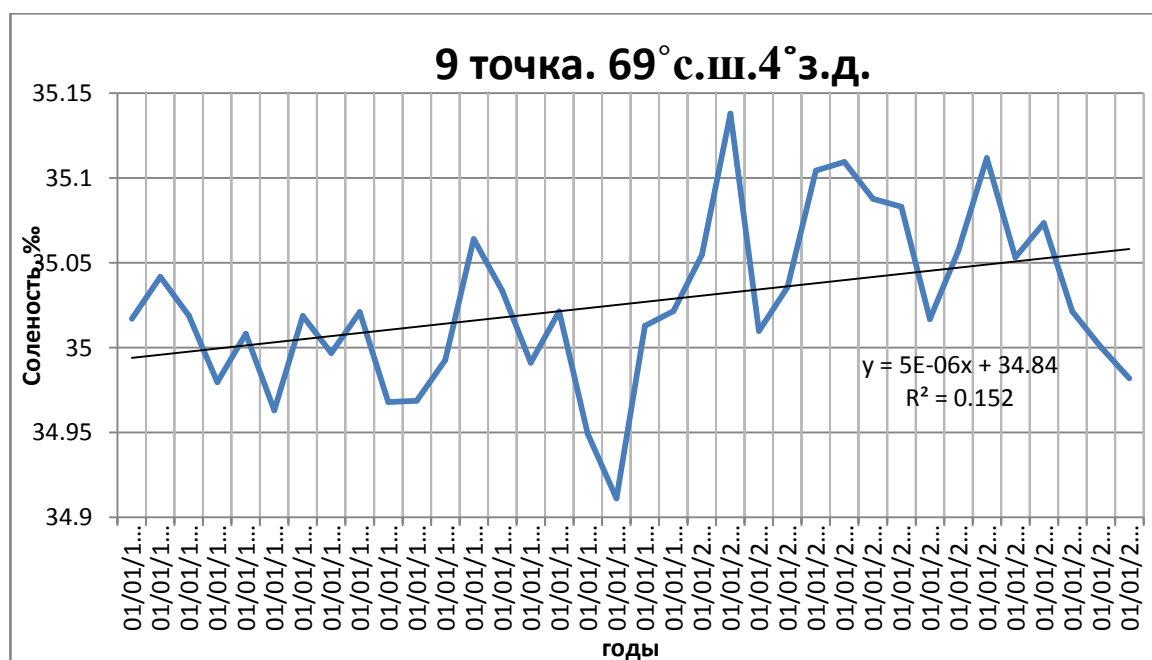


Рис. 49. Межгодовая изменчивость солёности и линии тренда – в точке 69°с.ш. 4°з.д. Северной Атлантики.

Итак, на всех выше представленных графиках обозначена линия тренда, которая предназначена для определения направления движения тренда, т.е. показывает, увеличивается или уменьшается значение солёности в данной точке. Тогда, мы можем проследить следующее, во-первых, в целом по всем графикам происходит увеличение солёности на всём промежутке времени, т.е. наблюдается осолонение. Однако, имеются такие временные промежутки, где солёность резко уменьшается, т.е. некая солёностная аномалия. Необходимо сравнить эти минимальные значения с «Великой солёностной аномалией» в 1970-х и 1980-х годах.

Разделим весь исследуемый период по десятилетиям, так чтобы подробнее рассмотреть движение аномальных значений солёности Северной Атлантики. Рассмотрим первый период с 1980г.- 1989г. выделяя минимумы солёности временных рядов в течении данного периода. Для наглядности была построена карта распределения минимальных значений солёности 1980-х.

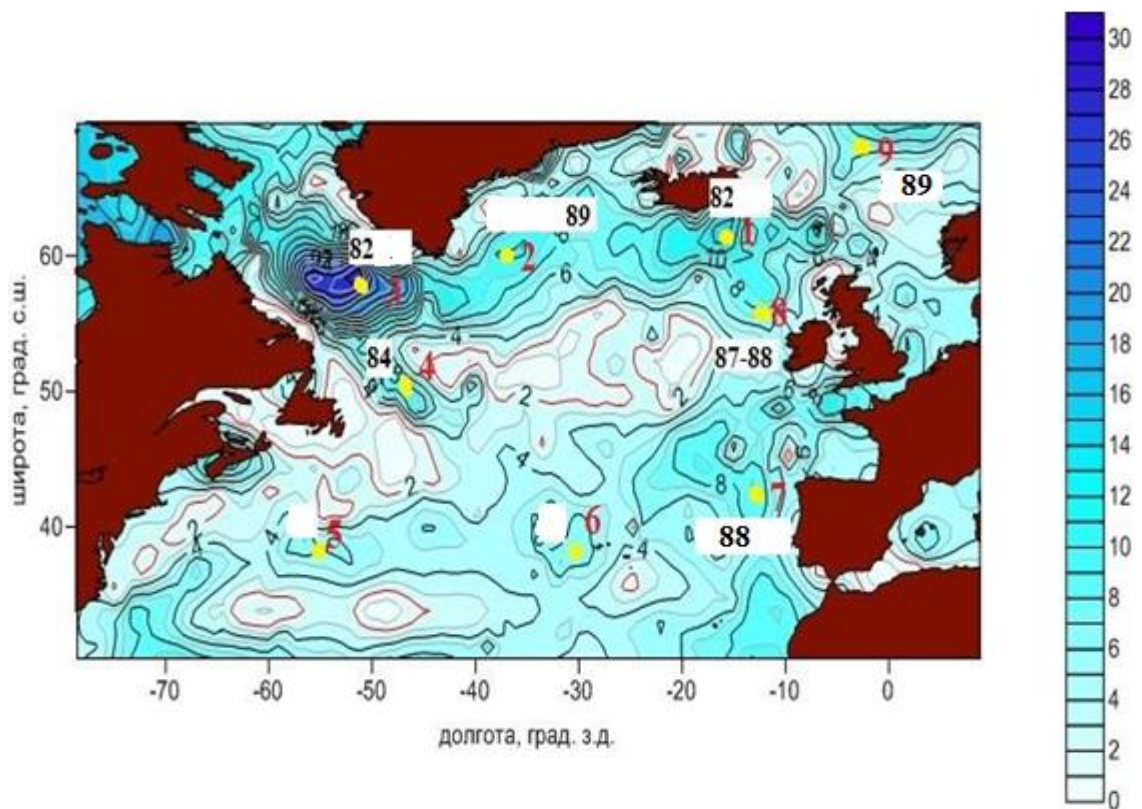


Рис. 50. - Распределение минимальных значений солености 1980-х.

Сравним полученную карту по архивам данным SODA v3.3.1. с работами Диксона и соавт. о «Великой соленостной аномалии».[1]

По архиву SODA ряды показывают, что холодная аномалия берет своё начало в Западно-Гренландском течении (82) и Лабрадорском течении (84). Это начала совпадает и с «Великой соленостной аномалией 80-х».

Далее, по данным ВСА 80-х аномалия проникает в центральную часть Северной Атлантики (1984-1985 г.) по данным архива SODA такого не наблюдается. [3] Затем, аномалия распространяется к Северо-восточной Атлантике (1985-1988) по нашим же данным минимумы наблюдаются в 1987 и 1988г. Далее, распространяется к западным Исландским водам (1989), этот период сходится с полученными данными.

Propagation of the "Great Salinity Anomaly" of the 1980s

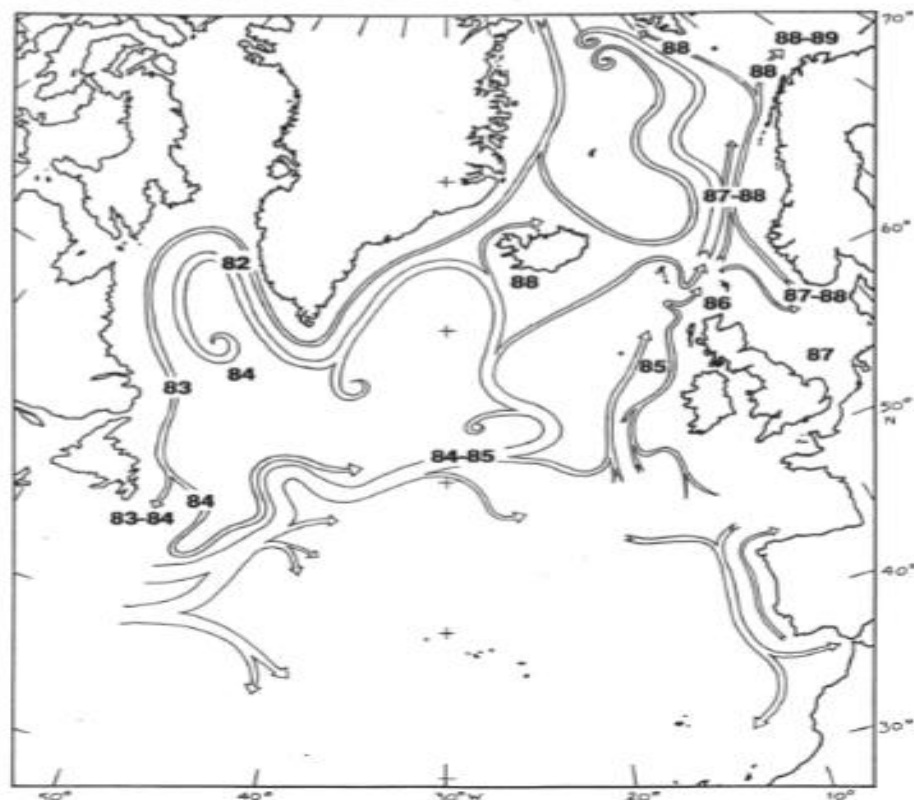


Рис.51. Распределение «великой соленостной аномалии» 1980-х годов.

Далее, рассмотрим следующие минимальные значения солености в период с 1990- по 1999г. (Рис.52)

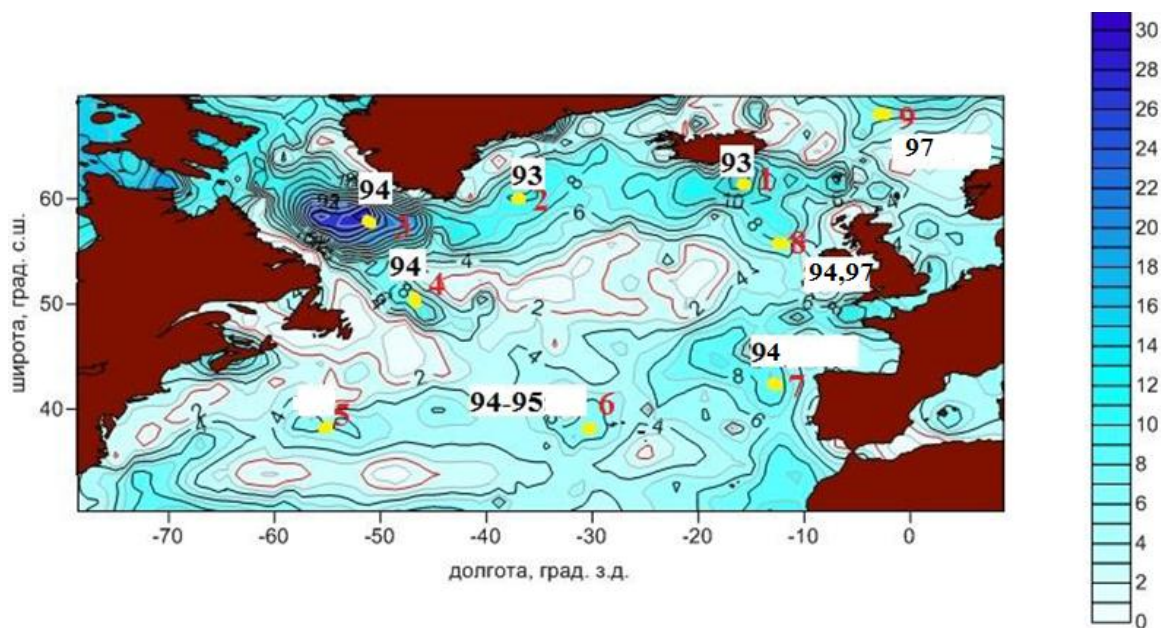


Рис. 52. - Распределение минимальных значений солености 1990-х.



Холодные аномальные значения солёности 1990-х берут своё начало в Восточно-Гренландском течении (1993г.) и в Исландских водах (1993).

Далее, практически во всех выбранных точках наблюдаются минимальные значения в 1994 году. И заканчивается холодная аномалия данного периода у западных берегов Ирландии, а также в Новержском море.

И осталось рассмотреть аномальные значения солёности 2000-х годов. Используя графики распределения солёности в различных точках, построим карту минимальных значений. (Рис.53)

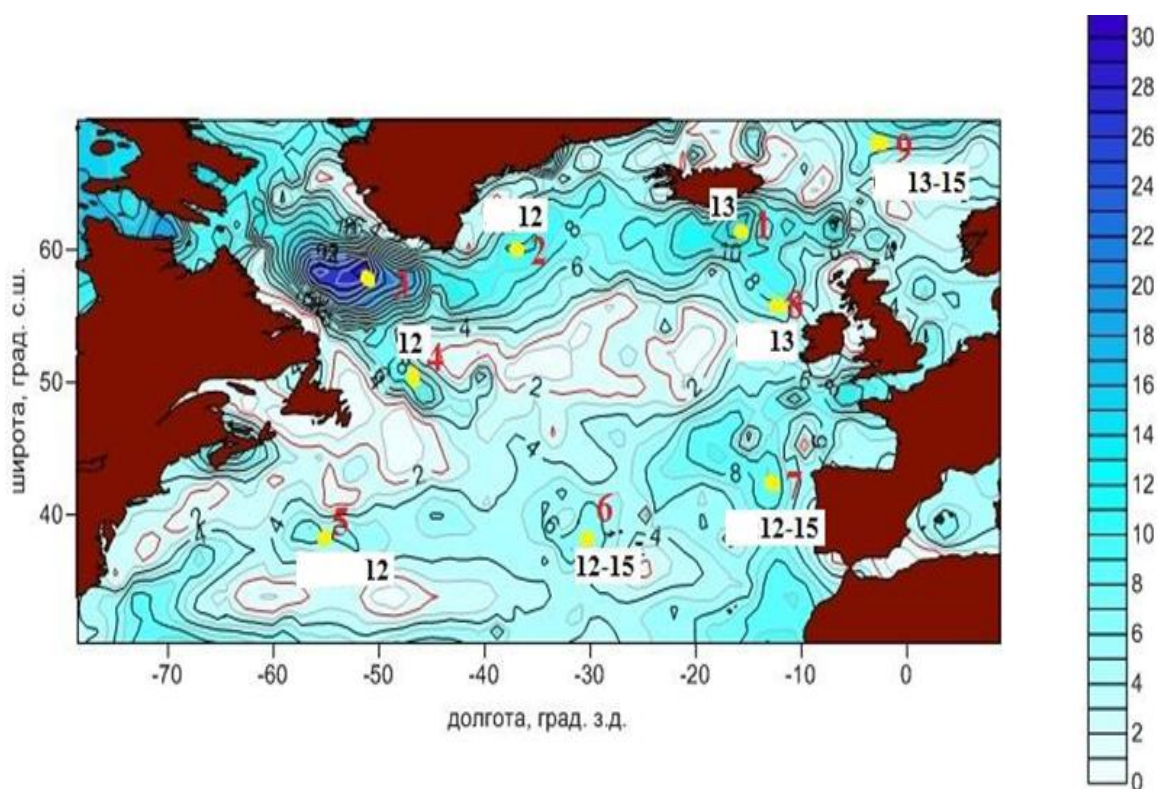


Рис. 53. - Распределение минимальных значений солёности 2000-х.

Анализируя полученную карту, сразу же можно заметить, что распространения похоже на холодную аномалию 80-х, о которой говорил Диксон в ВСА 80-х.

Итак, минимальные значения изначально стали наблюдаться в 2008-2010гг. у восточных берегов Гренландии, далее холодная аномалия стала проникать вдоль Лабрадорского течения (2012г.), распространение минимальных значений за этот год наблюдались и в центральной части Северной Атлантике (2012-15гг.), затем, как и в ВСА-80г. аномалия распространилась к берегам северо-восточной Атлантике (2012-2015гг.), также в Северное море (2013г.), и обратно вернулась к Северным Исландским водам (2015г.).

Итак, сравнивая полученные данные и ВСА-80х и 90-х, можно точно сказать, что распределение минимальных значений солености по Северной Атлантике практически совпадают. И можно предположить, что ВСА 80-х была, вероятно, образована локально, в Лабрадорском море, в основном в результате чрезвычайно суровых зим в начале 1980-х годов. Образованию ВСА 80-х мог бы способствовать вероятный вклад Арктического пресноводного оттока через Канадский Архипелаг, предположительно усиленный из-за интенсификации северных ветров. Эта пресная, холодная аномалия также ассоциировалась с аномалией положительного распространения морского льда в Лабрадорском море, которая, однако, не имела вышестоящего предшественника в Гренландском море, в отличие от аномалии морского льда 1970-х годов. [3]

По данным начала 1990-х годов была сформирована новая пресная, холодная аномалия в Лабрадорском море во время суровых зим в начале 1990-х годов и снова сопровождалась аномалией распространения морского льда. Эти тяжелые условия, однако, в основном ограничивались Лабрадорским морем и заливом Баффина, в то время как атмосферные и океанические условия в морях Гренландии, Исландии были нормальными. [1]



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы были получены следующие основные выводы:

1. При сравнении двух архивов данных по солёности *SODA v3.3.1.* и «*Aquarius OISST*» было выявлено, что у восточных берегов Северной Америки наблюдаются максимальные расхождения в архиве данных значений солёности. Данные со спутника «*Aquarius OISST*» имеют несколько завышенные значения по сравнению с архивом *SODA v3.3.1.* а же ситуация наблюдается и в северной части. Однако имеются области, где архив данных *SODA v3.3.1.* может превышать значения солёности из архива «*Aquarius OISST*», такие области наблюдаются по мере приближения к экватору.

2. При сравнении годовых значений солёности и разности Е-Р были построены графики распределения этих величин по 5-ти широтным зонам и для наглядности рассчитывался коэффициент корреляции для всех выбранных широтных зон. Который в свою очередь показал, что между значениями солёности и разностью Е-Р существует статистическая значимая связь только на широте  $32,5^{\circ}$  с.ш. и  $57,5^{\circ}$  с.ш. Причем, на широте  $32,5^{\circ}$  с.ш. существует значимая связь солёности с испарением, а на широте  $57,5^{\circ}$  с.ш. значение разности имеет отрицательные значения, и, соответственно, здесь существует статистическая значимая связь солёности с осадками.

3. При анализе трендов солёности выяснилось: во-первых, в целом по всей акватории СА происходит увеличение солёности на всём промежутке времени, т.е. наблюдается осолонение. Однако, имеются такие временные промежутки, где солёность резко уменьшается, т.е. наблюдается некая солёностная аномалия. При сравнении этих минимальных значений с «Великой солёностной аномалией» в 1970-х и 1980-х годов, можно отметить,

что распределение минимальных значений солености по Северной Атлантике практически совпадают.

4. Максимальные положительные значения тренда наблюдаются в море Лабрадор. Это противоречит имеющимся сведениям об увеличении выноса пресных вод из Северного Ледовитого океана, а также усиление роста откалывания айсбергов на Западном побережье Гренландского щита. Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Igor M. Belkin, Sydney Levitus, John Antonov. «Great Salinity Anomalies» in the North Atlantic. // (1998г.), 68с
2. Becker, G., & Dooley, H. (1995). The 1989-1991 high-salinity anomaly in the North Sea and adjacent areas. Ocean Challenge, 6, 52–57.
3. Dickson, R.R., Meincke, J., Malmberg, S.-A., & Lee, A.J. (1988). The "Great Salinity Anomaly" in the northern North Atlantic, 1968-1982. Progress in Oceanography, 20(2), 103–151.
4. ASIA-PACIFIC DASA-RESEARCH CENTER or the IPRC ([http://apdrc.soest.hawaii.edu/datadoc/soda\\_pop.php](http://apdrc.soest.hawaii.edu/datadoc/soda_pop.php))
5. Международный исследовательский институт климата (<http://iri.columbia.edu>)
6. Михайлов В. Н., Добровольский. Гидрология Год: 2007 Издание: Высшая школа.-464с.
7. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации, Изд-во РГГМУ, 2008-408с.
8. С.М. Гордеева. Практикум по курсу «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации»
9. В.А. Михеев. Гидрология. Учебное пособие по курсу «Наука о Земле»/2010.-200с.
10. International Pacific Research Center-(IPRC).- (<http://apdrc.soest.hawaii.edu/data/data.php>)
11. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов.– М., Мир, 1976.– 755 с.