

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра метеорологии и климатологии

**Изменчивость температуры поверхности океана в Северной
Атлантике и её влияние на климат Саратова**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 411 группы
направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

Географического факультета

Руденко Николая Олеговича

Научный руководитель

зав. кафедрой, к.г.н., доцент М.Ю. Червяков

Заведующий кафедрой

к.г.н., доцент М.Ю. Червяков

Саратов 2021

Введение

Актуальность исследования. Изучение Северной Атлантики является важной и весьма актуальной задачей метеорологии и океанологии. Считается, что процессы, происходящие в этом регионе Мирового океана, оказывают большое влияние на погоду и климат Европы и, в частности, Европейской территории России. Детальное исследование температурно-динамических характеристик Северной Атлантики позволяет в значительной мере улучшить понимание атмосферных процессов, связанных с изменением океанологических характеристик акватории. Мало изучены связи между одним из самых заметных явлений в атмосферной циркуляции этого района – Североатлантическим колебанием (САК) и температурой поверхности океана (ТПО). Это определяет актуальность настоящей работы, нацеленной на изучение влияния Северной Атлантики на климат Саратова, как одной из задач проведенного исследования.

С целью анализа комплекса метеорологических характеристик, использовались различные источники информации. В основу бакалаврской работы положены архивные данные по температуре океана, полученные при помощи ИСЗ Terra и Aqua, оснащенных спектрорадиометрами MODIS, данные ВНИИГМИ-МЦД и архивы циркуляционных индексов Североатлантического колебания.

Таким образом, взаимодействие системы океан-атмосфера играет большую роль в формировании климата территории. Необходимо уделять большое внимание данной теме и для прогнозирования погодных условий над Европой. В настоящее время изучению акватории Северной Атлантики уделяется особое внимание.

Цель работы: заключается в анализе ТПО, изучении её изменчивости за период с июля 2002 года по декабрь 2017 года для определённых регионов акватории Северной Атлантики и оценке её влияния на климат Саратова.

В соответствии с поставленной целью в бакалаврской работе решались следующие **задачи:**

1. Исследование существующих контактных и автоматических способов получения данных о ТПО.

2. Изучение климатических характеристик и термодинамических особенностей Северной Атлантики.

3. Анализ пространственно-временной изменчивости ТПО в Северной Атлантике по данным спутниковых измерений.

4. Изучение явления САК, установление взаимосвязи между САК и ТПО Северной Атлантики с временными сдвигами.

5. Расчет и установление кросс-корреляционных связей между ТПО и температурой воздуха в Саратове.

6. Расчет и установление кросс-корреляционных связей между ТПО и облачностью в Саратове.

Предмет исследования – ТПО и её пространственно-временная изменчивость в определённых регионах Северной Атлантики, взаимодействие океан-атмосфера и влияние изменчивости ТПО Северной Атлантики на климат Саратова.

Структура и объем бакалаврской работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и трех приложений. Полный объем бакалаврской работы составляет 58 страниц, включая 36 рисунков, 8 таблиц и три приложения. Библиографический список включает в себя 26 наименований, в том числе 14 на иностранном языке.

Основное содержание работы

Во **Введении** представлена общая характеристика работы, краткий обзор состояния проблемы; обоснована актуальность темы бакалаврской работы; изложены поставленные задачи.

В данном исследовании рассматривается влияние поверхностной температуры Северной Атлантики на климат Саратова, в частности на такие параметры как температура воздуха и облачный покров.

1 Методы измерения температуры поверхности океана

Температура поверхности океана – это температура верхнего слоя океана, толщина которого колеблется в зависимости от способа получения информации от одного миллиметра до одного метра. ТПО является одной из важнейших характеристик океанической среды, которая оказывает влияние на климат. Теплая океанская вода способствует образованию облаков и влияет на условия формирования погоды. Одним из способов исследования параметров океанических вод является контактный метод. Контактный метод измерения основан на том, что измерительный прибор находится в непосредственном контакте с изучаемым объектом. Для изучения ТПО и других характеристик состояния океана могут использоваться профилирующие дрейфующие буи, дрейфтеры, научно исследовательские суда, стационарные заякоренные станции, которые поставляют данные *in situ*, однако наиболее оптимальным методом являются спутниковые измерения, которые и были использованы в работе.

Дистанционные измерения позволяют одновременно фиксировать состояние Мирового океана на больших территориях, что является безусловным преимуществом по сравнению с судовыми или стационарными наблюдениями. Поскольку даже небольшие изменения такой характеристики как ТПО могут оказывать существенное влияние на погоду, исторически сложилось, что первые спутниковые наблюдения были нацелены на получение результатов в этой области. Глобальный мониторинг за температурой поверхности океана был достигнут при помощи радиометров, установленных на океанологических и метеорологических спутниках в тепловом инфракрасном и микроволновом

диапазонах. Данные, получаемые в каждом из спектров дополняют друг друга. Наблюдение за ТПО также может осуществляться при помощи спектрорадиометров MODIS, установленных на спутниках Terra и Aqua. Используемая в работе информация о среднемесячной ТПО и облачности над Саратовом получена при помощи этого способа. На рисунке 1 представлено техническое оснащение ИЗС Aqua.

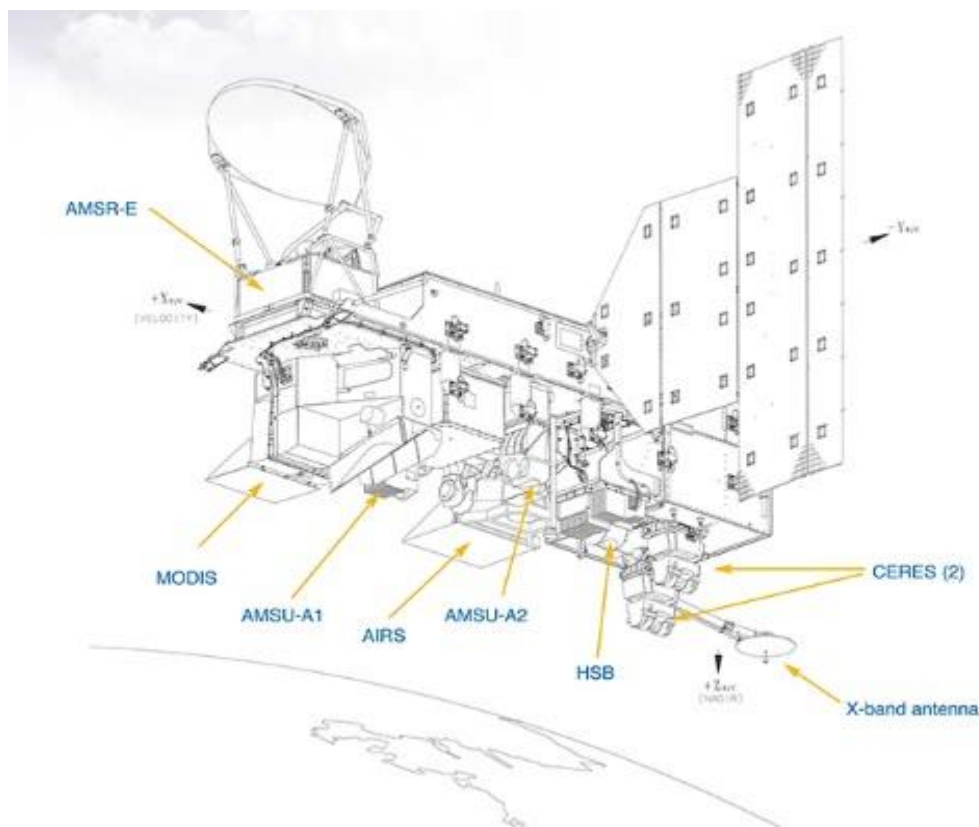


Рисунок 1 – Комплекс приборов ИЗС Aqua [1]

Каждый из перечисленных методов изучения характеристик океана имеет как достоинства, так и недостатки, поэтому для более полного, детального и оперативного получения информации пользуются системой, содержащей в себе наблюдения с разных платформ: суда, буи и спутники.

2 Климатические характеристики Атлантического океана

За последние десятилетия область Атлантического океана была достаточно хорошо изучена, в том числе и механизм взаимодействия океана и атмосферы.

Результаты ряда исследований показывают, что важнейшими составляющими механизма взаимодействия океана и атмосферной циркуляции являются потоки тепла на поверхности океана и распределение ТПО. Именно через потоки тепла происходит отдача накопленного океаном тепла в атмосферу. Реакция атмосферы на аномалии потоков тепла, связанных с аномалиями температуры океана (АТПО), не является мгновенной, как правило, этот период может составить от нескольких дней до нескольких месяцев. К примеру Е.С. Нестеров в результате исследования выяснил, что особенности взаимодействия океана и атмосферы в Северной Атлантике в конце зимнего периода могут оказывать влияние на формирование режима циркуляции атмосферы в весенне-летний сезон. Условия теплообмена океана и атмосферы в западной части Северной Атлантики в феврале могут влиять на циркуляцию атмосферы и температуру воздуха в Европе в марте.

Как правило, распределение ТПО тесно связано с характером течений. Важную роль в системе океан-атмосфера играет течение Гольфстрим. Движение теплой воды на северо-восток через Атлантический океан смягчает климат Западной и особенно Северной Европы, оказывая на них отепляющее воздействие, транспортирует значительное количество теплой воды и соли в направлении полюса.

Для изучения ТПО Северной Атлантики, как уже упоминалось, были использованы спутниковые данные, полученные при помощи спектрорадиометров MODIS с ИЗС Terra и Aqua. При помощи [2] в ходе исследования были обработаны среднемесячные ТПО начиная с июля 2002 года по декабрь 2017 года включительно. Информация, которая хранится на сайте NASA Earth Observations (NEO), находится в свободном бесплатном доступе. На сайте представлены сетки с разрешением: $1^{\circ} \times 1^{\circ}$; $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$; $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ и $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$. Для оптимального соотношения качества полученной информации к количеству данных, необходимых для обработки, была выбрана сетка с пространственным разрешением $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$.

Регион Северной Атлантики, в рамках которого происходило исследование, находится между $71,625^{\circ}$ - $36,875^{\circ}$ с. ш. и $40,875^{\circ}$ з. д.- $0,625^{\circ}$ в. д., в его состав входит 23380 ячеек. Было очевидно, что такое количество данных по месяцам для достаточно длинного периода исследования обработать чрезвычайно трудно. В этой связи был создан шаблон, состоящий из 79 одинаковых по размеру зон. Каждая зона включает в себя 8 ячеек по высоте и 8 ячеек по ширине, таким образом, в каждой зоне заключен блок информации, состоящий из 64 значений. Исходя из пространственного разрешения сетки следует, что размеры каждой зоны $2^{\circ} \times 2^{\circ}$. На рисунке 2 представлен шаблон, который использовался для выборки данных из нужных зон.

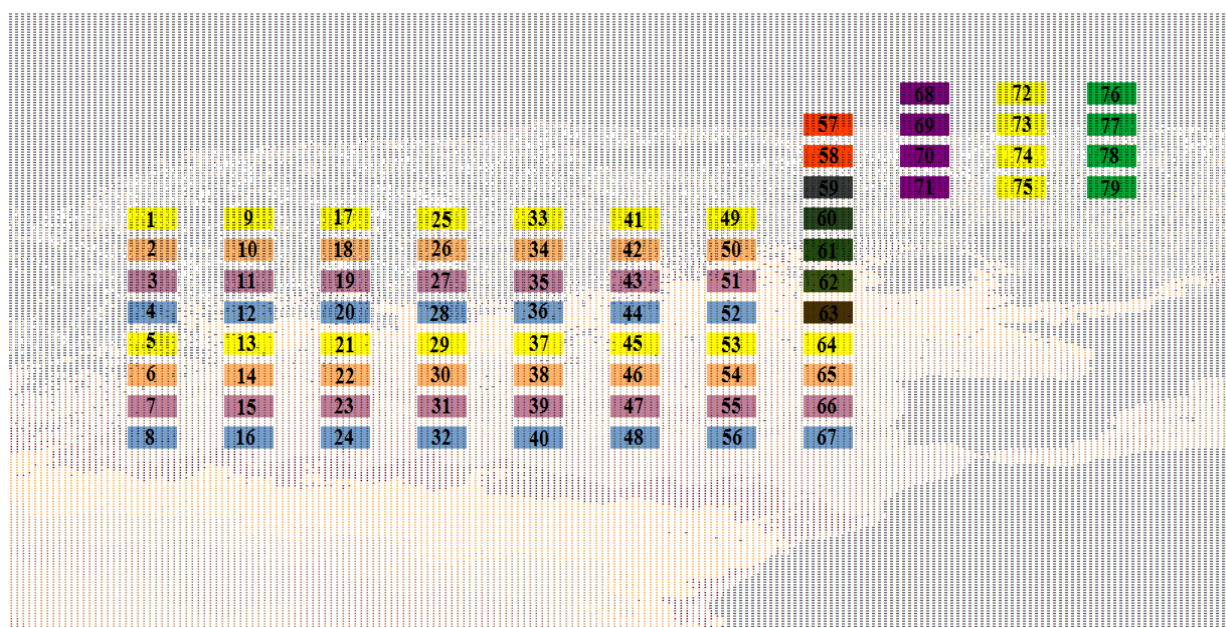


Рисунок 2 – Регион Северной Атлантики, поделенный на 79 зон
(составлено автором)

После создания шаблона были скачаны все данные, имеющиеся на сайте NEO. Следующим шагом стал расчёт среднего арифметического и среднеквадратического отклонения в каждой из 79 зон. По полученным результатам было выбрано 5 регионов с особыми режимами ТПО, их номера: 8, 14, 32, 57 и 74. Географические координаты зон приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Географические координаты и границы выбранных зон
(составлено автором)

№ зоны	Северная граница	Южная граница	Западная граница	Восточная граница
8	38,625°	36,875°	-40,875°	-39,125°
14	44,625°	42,875°	-36,875°	-35,125°
32	38,625°	36,875°	-28,875°	-27,125°
57	68,625°	66,875°	-12,875°	-11,125°
74	65,625°	63,875°	-4,875°	-3,125°

В качестве более глубокого анализа влияния Северной Атлантики на климат Саратова был сделан акцент на трех зонах с различным характером ТПО в течение года: Зона 14 (среднегодовая ТПО за период исследования составила 16,81°C), Зона 57 (среднегодовая ТПО за период исследования составила 3,48 °C), Зона 74 (среднегодовая ТПО за период исследования составила 6,36 °C). В работе фигурируют как графики временного хода ТПО за весь период исследования для каждой зоны, так и отдельно по сезонам года. На рисунке 3 представлен график временного хода ТПО в 14 зоне. На рисунке 4 – график для той же зоны, составленный по аномалиям температуры поверхности океана. АТПО рассчитывались относительно среднего, взятого за период с июля 2002 по декабрь 2017 гг.

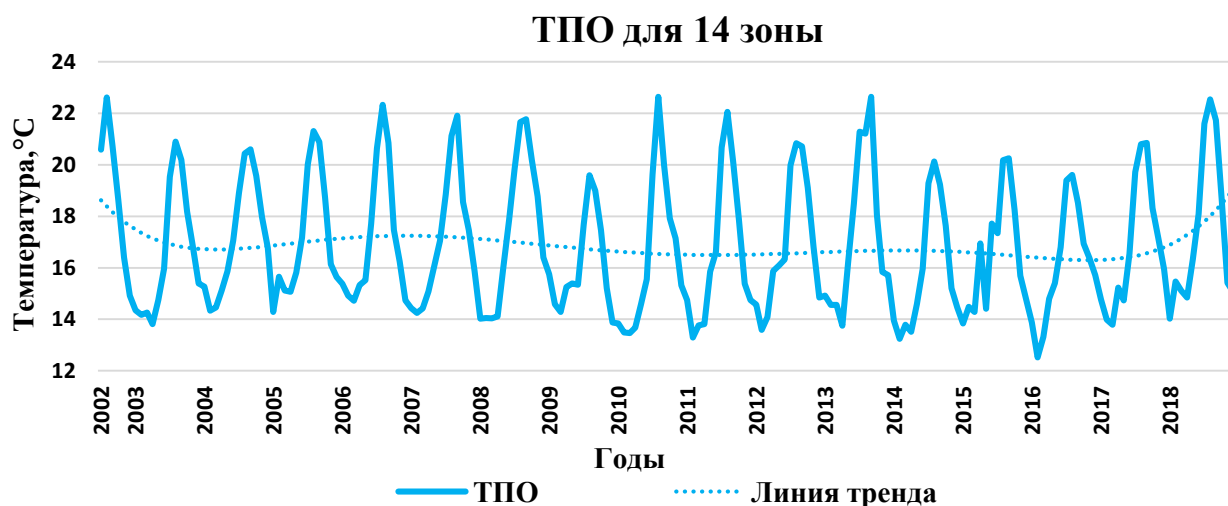


Рисунок 3 – Временной ход ТПО в зоне 14 (составлено автором)

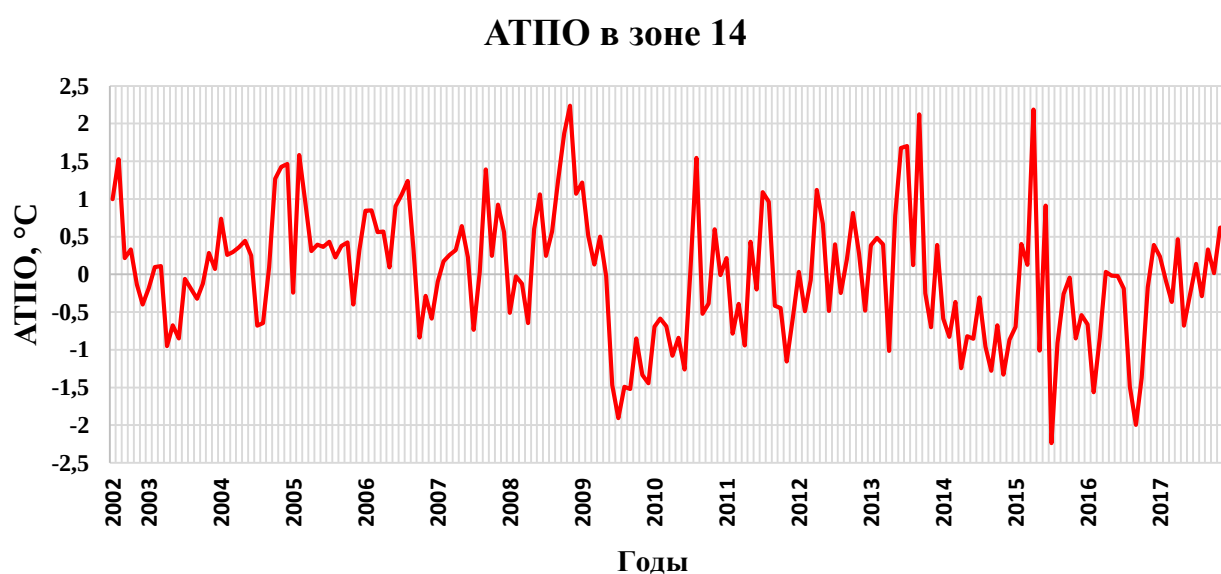


Рисунок 4 – Временной ход АТПО в зоне 14 (составлено автором)

3 Влияние Северной Атлантики на климат

Североатлантическое колебание (САК) является одной из важнейших характеристик крупномасштабной циркуляции атмосферы в северном полушарии. Сущность САК заключается в перераспределении атмосферных масс между Арктикой и субтропической Атлантикой. Согласно выводам ряда

исследований, определяющим фактором, влияющим на погоду, климат и особенности атмосферной циркуляции в Северной Атлантике является САК. Исследования, посвященные влиянию САК на воды Северной Атлантики выяснили, что целесообразно рассматривать влияние АТПО на формирование САК в месячном масштабе. Тем не менее не до конца понятно в каких районах и с какими временными сдвигами изменения давления способствуют образованию наиболее крупных АТПО.

Поскольку влияние Североатлантического колебания на ТПО не является мгновенным, в работе были посчитаны коэффициенты кросс-корреляции между ТПО и индексами САК. В результате получилось, что изменение значений коэффициентов кросс-корреляции по всем зонам имеет идентичный характер и очень близкие значения. Результаты представлены в таблице 2. Заметна периодичность хода коэффициентов кросс-корреляции. Полученные коэффициенты имеют низкие значения.

Таблица 2 – Коэффициенты кросс-корреляции между ТПО и индексами САК за период с июля 2002 по декабрь 2018 гг. (составлено автором)

Сдвиг, мес.	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Зона 14	0,3	0,26	0,11	0,00	-0,15	-0,18	-0,2	-0,2	-0,1	0,06	0,2
Зона 57	0,3	0,25	0,13	0,00	-0,12	-0,22	-0,27	-0,25	-0,09	0,05	0,2
Зона 74	0,31	0,27	0,13	0,00	-0,13	-0,21	-0,27	-0,22	-0,05	0,1	0,24

Было решено, что увеличение шагов по времени будет нерезультативно, поскольку в рядах ТПО присутствует сезонная изменчивость, которая создает помехи при анализе зависимости. По этой причине был произведен расчет коэффициентов кросс-корреляции между САК и АТПО с временным сдвигом ± 12 месяцев. В результате получилось, что значения находились в пределах $\pm 0,2$, что свидетельствует о плохой корреляции. Тем не менее в случае с АТПО не было такой выраженной периодичности хода коэффициентов кросс-

корреляции, как для ТПО. В зависимости от номера зоны, ход коэффициентов имеет различный характер.

По окончании решения задачи о взаимосвязи САК и ТПО/АТПО, в работе производилось установление взаимосвязи между ТПО Северной Атлантики и температурой воздуха в Саратове. Для достижения поставленной цели использовалась информация о среднемесячных температурах воздуха в Саратове с января 1998 по декабрь 2018 года. Данные о температуре воздуха были взяты из архивов ВНИИГМИ-МЦД. В среднемесячных данных отсутствовали некоторые периоды: январь-июнь 1999 года; июль, август, ноябрь 2001 года и полный провал в данных с января 2007 года по октябрь 2011 года. В связи с этим было необходимо устранить пропуски в ряде температуры для Саратова. Информация по недостающим месяцам была взята с сайта «Погода и климат». После анализа полученной базы данных были выявлены и исправлены ошибки в рядах измерений, восстановлен временной ряд хода температуры в г. Саратов за период с января 1998 по декабрь 2018 гг.

Аналогичным способом, как и для аномалий температуры поверхности океана, были посчитаны аномалии температуры для г. Саратова. После этого была рассчитана кросс-корреляция АТПО и аномалий температуры для Саратова с шагом в 1 месяц и временным лагом ± 12 месяцев.

Вопреки ожиданиям, коэффициенты кросс-корреляции оказались низкими, что говорит о незначительности влияния АТПО Северной Атлантики на аномалии температуры воздуха в Саратове на исследуемом отрезке времени. Их значения, за редким исключением, не превышали $\pm 0,1$. На диаграммах не прослеживается ни периодичная зависимость от временного сдвига, ни существенное изменение коэффициентов.

Следом в бакалаврской работе определялась связь динамики ТПО с облачностью в Саратове. Данные по облачности получены с тех же ИЗС Terra и Aqua. Спутники используют коэффициент облачности (CF), который показывает какая часть небосвода закрыта облаками, соответственно облачность выражается в долях от единицы. MODIS собирает информацию с ячеек (пикселей) на

координатной сетке, каждый пиксель покрывает один квадратный километр. Доля облачности – это часть каждого пикселя, покрытая облаками. После того как спутник собрал эту информацию, производятся измерения, заключающиеся в подсчете количества пикселей в прямоугольнике площадью 25 квадратных километров (5 пикселей в высоту и 5 пикселей в ширину), затем это число делят на 25. Если коэффициент CF равен 0, это означает, что над выбранной территорией небо абсолютно безоблачное. Если же коэффициент CF равен 1, это соответствует сплошной облачности.

В работе использовались среднемесячные коэффициенты CF. Для оптимального соотношения качества полученной информации к количеству данных, необходимых для обработки, была выбрана сетка с пространственным разрешением $0,25^\circ \times 0,25^\circ$.

Корреляционный анализ связи ТПО и CF проводился как для всего периода, так и по сезонам. Например, корреляция облачности и ТПО для 74 зоны была отрицательной и равнялась -0,54. В остальных двух зонах ситуация аналогичная.

За период с июля 2002 года по декабрь 2018 года посчитаны кросс-корреляционные связи ТПО и CF. Временной сдвиг ± 24 месяца, шаг 1 месяц. Отчетливо заметно, что коэффициенты кросс-корреляции совершают чрезвычайно точные гармонические колебания. Период колебаний 12 месяцев. Такие практически идеальные синусоидальные изменения характерны для всех трех рассмотренных зон. Корреляция индексов САК и CF за период с февраля 2000 года по декабрь 2019 года составила 0,24. Корреляция индексов САК и аномалий облачной фракции равнялась 0,02.

По уже описанной ранее методике в работе были высчитаны аномалии облачности для каждого месяца с февраля 2000 года по декабрь 2019 года. Посчитана корреляция АТПО и аномалий CF для каждой зоны по месяцам. Из полученных результатов, отображенных в таблице 3, видно, что в некоторые месяцы коэффициенты корреляции принимают значительные величины (в январе и апреле для 14-ой зоны он равен 0,49 и 0,72 соответственно; в марте и

октябре для 74-ой зоны 0,56 и 0,64; в октябре для 57-ой зоны 0,55), а в некоторые близки к нулю.

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции между АТПО для зон 14, 57, 74 и аномалиями облачности над г. Саратов за период с июля 2002 года по декабрь 2017 (составлено автором)

	2003-2017						2002-2017					
Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Зона 14	0,49	0,29	0,07	0,72	-0,17	0,14	0,10	-0,48	0,21	-0,28	-0,24	0,00
Зона 57	-0,02	-0,11	0,16	-0,15	-0,01	-0,02	-0,03	0,17	-0,06	0,55	0,29	-0,08
Зона 74	0,31	-0,01	0,56	0,08	0,00	0,34	-0,05	0,27	-0,16	0,64	0,49	0,12

Заключение

В данной работе рассматривались 5 регионов с особой динамикой температурного режима, но для более глубокого анализа акцент был сделан на трех зонах с различным характером ТПО в течение года. Для расчетов использовались архивные данные по температуре океана и облачности, полученные при помощи ИСЗ Terra и Aqua, оснащенных спектрорадиометрами MODIS агентства NASA, пространственное разрешение которых $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, данные ВНИИГМИ-МЦД и архивы циркуляционных индексов Североатлантического колебания.

В результате работы была изучена температурная динамика поверхности океана в Северной Атлантике, исследована изменчивость ТПО за период с июля 2002 года по декабрь 2018 года для конкретных регионов Северной Атлантики, рассчитаны АТПО и изменчивость СКО ТПО, посчитаны АТПО для исследуемых зон, установлены кросс-корреляционные связи между ТПО (АТПО), САК, облачностью и температурой воздуха для Саратова. Были получены полиномиальные линии тренда 6 степени с уравнениями для изменчивости ТПО, облачности и температуры воздуха.

На основании работы можно сделать следующие основные выводы и утверждать, что:

Кросс-корреляционные связи ТПО выбранных регионов в Северной Атлантике и индексов САК со сдвигом ± 5 месяцев невелики: в среднем это значение находится в пределах от -0,3 до 0,3.

Кросс-корреляционные связи АТПО и индексов САК с лагом ± 12 месяцев имеют низкий показатель, в пределах от -0,2 до 0,2, что говорит о незначительной связи.

Кросс-корреляционные связи АТПО и аномалий температуры воздуха в Саратове в основном имеют показатели от -0,1 до 0,1, что также подтверждает отсутствие согласованности между величинами.

Корреляция индексов САК и CF за период с февраля 2000 года по декабрь 2019 года составила 0,24. Корреляция индексов САК и аномалий CF за тот же период получилась 0,02.

Кросс-корреляционные связи АТПО и CF со сдвигом ± 24 месяца имеют периодический характер. В зависимости от выбранного лага они меняются от -0,8 до 0,8, причем это изменение носит сильно выраженную гармоническую динамику.

В результате исследования была собрана база данных о среднемесячных температурах воздуха в Саратове с 1998 по 2018 года. Выявлены и исправлены ошибки в рядах измерений. Сделан расчет аномалий температур за указанный период.

Собрана база данных по облачности над Саратовом по спутниковым данным ИЗС Тегга и Aqua начиная с февраля 2000 года по декабрь 2019 включительно. Рассчитаны аномалии облачности.

Таким образом, можно подвести итог, что либо влияние Северной Атлантики на климат Саратова достаточно мало, либо временной период отклика составляет большую продолжительность, чем та, в рамках которой было проведено исследование.