



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

Кафедра метеорологических прогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)**

На тему «Климатическая изменчивость режима осадков на европейской территории России»

Исполнитель Позднякова Екатерина Алексеевна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук

(ученая степень, ученое звание)

Топтунова Ольга Николаевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 25 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	7
1.1 Подстилающая поверхность исследуемой территории и климат .....	7
1.2 Глобальное потепление .....	10
1.3 Изменчивость количества осадков на ЕТР .....	17
2 РЕЖИМ ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ .....	21
2.1 Североатлантическое колебание .....	21
2.2 Изменение положения высотной фронтальной зоны .....	24
2.3 Блокирующий антициклон .....	25
2.4 Влияние Эль-Ниньо и Ла-Нинья на Европейскую территорию России .....	29
2.5 Антропогенный фактор .....	30
2.6 Естественная изменчивость климата .....	32
2.7 Изменение форм циркуляции по Вангергейму–Гирсу .....	35
3 ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ...	39
3.1 Данные, используемые в исследовании .....	39
3.2 Расчет случаев изменчивости количества осадков .....	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	56

## СОКРАЩЕНИЯ

ЕТР – Европейская территория России

МГЭИК – межправительственная группа экспертов по изменению климата

ВМО – всемирная метеорологическая организация

ПВФЗ – планетарная высотная фронтальная зона

САК (NAO) – Северо-Атлантическое колебание (North Atlantic Oscillation)

## ВВЕДЕНИЕ

Заметные климатические изменения последних десятилетий требуют более тщательного мониторинга и изучения всех метеорологических характеристик, составляющих глобальный и региональный климат.

Важной характеристикой климата является режим осадков и его изменения. В последнее время мировое сообщество все чаще говорит об участившихся экстремальных явлениях, таких как очень сильные дожди и засухи (ссылка). Климат России, вследствие ее достаточно большой территории, достаточно многообразен, многофакторен и сложен. Постоянное наблюдение за режимами метеорологических характеристик дает возможность создать архив данных, проводить статистические исследования и в дальнейшем анализировать сами тенденции и вероятности возникновения опасных явлений.

Осадки являются одной из важнейших климатических характеристик. Причем если с температурой все достаточно понятно, так как распределение температуры как по времени, так и по территории более равномерно, то в исследовании режима осадков интересно как изменения количества и интенсивности осадков за отдельные периоды, так и их изменчивость по территории и локализации. Вышесказанным обуславливается *актуальность* работы.

*Целью* данной работы является анализ изменения режима осадков за последние 40 лет на Европейской территории России.

Для анализа потребовалось решить следующие *задачи*:

1. Ознакомиться с архивом данных о количестве осадков на Европейской территории России за 40 лет: с 1981– по 2020 годы;
2. Посчитать норму осадков для 24 опорных метеорологических станций, расположенных на территории ЕТР, а также аномалии их количества для периодов 1981-2010г и 1991-2020г;
3. Рассчитать стандартное отклонение за рассматриваемый период во всех изучаемых пунктах для того чтобы определить, находятся ли рассчитанные аномалии в пределах естественной климатической изменчивости или нет;
4. Определить относительную величину разброса годовых сумм осадков за периоды 1981-2010г и за 1991-2020г во всех 24 пунктах для определения того, меняется ли разброс величин сумм осадков относительно средней (климатологической) величины по периодам;
5. Визуализировать и проанализировать все выполненные расчеты;

В качестве исходных данных использовались данные архива Мирового центра данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической. Данные были статистически обработаны с помощью MS Excel, визуализированы с помощью программного пакета Surfer 9 и представлены на Google Earth.

#### *Апробация работы.*

Результаты ВКР докладывались на научных семинарах кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ, на СНО метеорологического факультета, а также на VII Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды».

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 3 глав и заключения.

В первой главе представлено основополагающее физико–географическое и климатическое описание исследуемого района, а также особенности изменения количества осадков в контексте глобального потепления. Во второй главе рассматриваются методики исследования. В третьей главе данной работы представлены результаты. В заключении кратко изложены основные выводы по проведённому исследованию.

## 1. ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1 Подстилающая поверхность исследуемой территории и климат



Рисунок 1.1 – Территория Европейской части России

Россия – страна с достаточно разнообразным климатом. Территория страны находится в четырёх климатических поясах: арктическом, субарктическом, умеренном и субтропическом. Это конечно же влияет на климат страны и играет огромное значение в

сложности исследования климата России. Например, на климат Европейской территории страны огромное влияние оказывает Атлантический океан, из-з этого климат здесь умеренно континентальный, а на западе территории происходит переход от континентального к океаническому. Годовая амплитуда температуры воздуха в среднем по территории составляет приблизительно 30–35 °С, умеренно мягкая зима и умеренно теплым летом, но на юге территории, где воздух гораздо суше, климат ближе к субтропическому, а потому лето там гораздо жарче, не редким явлением бывают засухи или наоборот продолжительные ливни, есть факторы для появления пыльных бурь.

Климатические условия данной территории во многом определяются интенсивной циклонической деятельностью, которая говорит о частой смене воздушных масс. Кроме всего этого, на территории Европейской части часто проникают холодные арктические воздушные массы, по большей части в восточные районы, и оттуда они проникают далеко на юг [1].

Распределение облачности, осадков и снежного покрова определяется режимом атмосферной циркуляции. С переносом теплых и холодных воздушных масс связаны временные потепления и похолодания.

На территории Русской равнины наибольшее количество осадков (600–700 мм/год) может выпасть в зоне 50–65°, с. ш. В данных широтах на протяжении года быстро развиваются циклонические процессы, и переносится наибольшее количество влаги с Атлантики. Кроме этого, увеличению осадков содействует наличие цепи возвышенностей. К северу и к югу от этой области количество осадков постепенно уменьшается. На Кольском полуострове и в Архангельской области годовое количество осадков составляет примерно 400–550 мм/год. На

побережье Арктики оно становится уже меньше 350–370 мм/год. Южнее 50° с. ш., четко прослеживается уменьшение осадков с северо-запада на юго-восток.



Рисунок 1.2 – Годовое количество осадков

На севере Европейской части России наименьшее месячное количество осадков приходится на конец зимы и начало весны (февраль, март). Естественно, на побережье холодных арктических морей минимальные осадки наблюдаются весной (март–апрель). Максимальное количество осадков на севере Европейской части России приходится на августе на арктическом побережье. Осенью осадков на береговой полосе больше, чем от неё. В течение всего оставшегося года вблизи больших водоёмов количество осадков уменьшается.

Примерно такой же годовой ход осадков, но из-за большего количества осадков, наблюдается на северо-западе России, но летний максимум в августе выражен гораздо лучше. В центре Европейской

части России минимальное количество осадков приходится на конец зимы и начало весны (февраль–март). Максимум здесь чаще приходится на июль.

В Поволжье годовой ход осадков выражен не явно, количество осадков нечасто меняется в течение года. Небольшой рост осадков можно наблюдать только в июле. На нижней Волге и Северном Кавказе прослеживается направление к проявлению двух максимумов количества осадков в течение всего года: в конце весны и начале лета (мае–июне) и в конце осени начале зимы (ноябре–декабре).

На Черноморском побережье Кавказа четко наблюдается зимний скачок количества осадков. Его превышение почти в 2 раза по сравнению с летним. На северо-западном побережье Каспийского моря максимальное количество осадков выпадает осенью (сентябрь–ноябрь), минимальное – в весенне-летний период.

## 1.2 Глобальное потепление

Глобальное потепление — это долгосрочное изменение средней температуры, а также погодных условий и явлений на Земле. Оно наблюдается с конца XIX века, каждое десятилетие после 1850г был замечен рост средней температуры за каждую декаду. Такой рост температуры вызван антропогенным фактором, а конкретно выбросами парниковых газов в результате развития энергетики, промышленности и транспорта [2].

С 1970-х гг. появляется информация о потеплении климата. Но на тот момент оно имело колеблющийся характер. Сейчас существует три интервала по изменению температуры и погодных условий:

### 1. Потепление в 1910–1945;

2. Слабое похолодание в 1946–1975;

3. Наиболее интенсивное потепление с 1976 и гораздо усилившееся в начале 21 века.

В 5 докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, МГЭИК), работающей под эгидой ООН изложены наблюдения и выводы о глобальном потеплении в 21 веке. Было установлено непосредственное влияние человека на процессы повышение температур атмосферы и океана, изменение глобального гидрологического цикла, уменьшение количества снега и льда, повышение глобального среднего уровня моря и на некоторые экстремальные климатические явления [3].

Сделаны выводы, что антропогенное влияние, особенно парниковые газы и истощение стратосферного озона, вызвало потепления в тропосфере и соответствующего похолодания в нижних слоях стратосферы с 1961 года. С того же года фактор влияния человека оказал воздействие на глобальный гидрологический цикл.

Антропогенное давление внесло свою лепту в зафиксированное повышение содержания влаги в атмосфере, глобальное изменение режима осадков над сушей, повышение интенсивности мощных осадков над районами суши.

Также существует прогноз Межправительственной группы экспертов по изменению климата, что в 21 веке изменения гидрологического цикла, как реакция на потепление, будет происходить неоднородно. Будут наблюдаться различия в количестве осадков, выпадающих во влажных и засушливых регионах, а также в течение влажного и сухого сезонов скорее всего будут увеличиваться.

Согласно прогнозам, к концу 21 века в высоких широтах и экваториальной зоне Тихого океана, будет ожидается увеличение

среднегодового количества осадков. И, напротив, в засушливых регионах в средних широтах и в субтропиках среднее количество осадков, скорее всего, будет уменьшаться, тем временем, как в большинстве влажных регионов в средних широтах к концу этого столетия оно предположительно возрастет.

Также МГЭИК сообщает, что по мере увеличения средней глобальной приземной температуры есть вероятность увеличения к концу этого столетия интенсивности и повторяемости выпадения экстремальных осадков над большей частью суши в средних широтах и над влажными тропическими регионами.

В докладе также высказано предположение о вероятности, что зона, которая охватывается муссонными системами, увеличится в течение 21 века. Одновременно с вероятным ослаблением муссонных ветров интенсивность муссонных осадков скорее всего так же увеличится из-за увеличения влагозапаса атмосферы. Даты начала муссонов, с большой вероятностью, сдвинутся на более ранние сроки или все же существенно не изменятся. Даты окончания муссонов могут передвинутся на более поздние сроки, что приведет к увеличению продолжительности сезона муссонов во многих регионах.

Согласно прогнозам явление Эль-Ниньо в 21 веке будет все так же определять доминирующий режим межгодовой изменчивости в тропических широтах Тихого океана, который будет сопровождаться глобальными последствиями. Вследствие повышения влажности связанная с явлением Эль-Ниньо изменчивость режима осадков на региональном уровне, скорее всего, увеличится. По заявлению МГЭИК естественная изменчивость амплитуды и самого явления Эль-Ниньо велика, вследствие этого степень достоверности реальных прогнозируемых изменений ЭНСО и сопровождающих региональных явлений в 21 веке все еще низкая.

Существует средняя степень достоверности наблюдения изменения приповерхностной удельной влажности - с 1973 года определяется антропогенная часть в качестве составной в общем количестве. Отклик антропогенного водяного пара, который был рассчитан благодаря ансамблю климатических моделей, был обнаружен по оценкам содержания влаги в нижней тропосфере, полученным исходя из данных специализированного микроволнового датчика за период 1988-2006 гг. Антропогенная доля в увеличении тропосферной удельной влажности определяется средней степенью достоверности.

Изучение фактора средних глобальных зональных осадков над сушей и осадков в Арктике в том и другом случае отмечают определяемое антропогенное влияние. Отмечается, что существует средняя степень достоверности значительного влияния людей на глобальные изменения количества осадков, включая их повышение в средних и высоких широтах.

МГЭИК основываясь на собранных доказательствах для установления факторов, которые наблюдаются в изменении удельной влажности, осадков над сушей и поверхностной солености океана с помощью их взаимосвязи с осадками и испарением, и делая выводы из физического понимания водного цикла, пришло к выводу, что влияние человека на глобальный водный цикл, скорее всего, происходило с 1960 г.

По наблюдениям в России также можно сказать, что в XX веке – начале XXI века климат отличался от климата XIX века, так как скорость потепления в начале XXI века стала значительно увеличилась. Если за период 1976–2015 интенсивность потепления составила уже около 4,5 °C/100 лет. Наиболее значительный рост температуры наблюдается в последние годы в Европейской части

России. В зимний сезон потепление на территории Европейской части составило примерно 0,5 °С/10 лет. За этот же период в России заметно уменьшение годовых сумм осадков на территориях крайнего северо-востока Сибири и центра Европейской части. В летний сезон уменьшения сумм осадков наблюдаются – на побережьях северных морей Азиатской территории и на подавляющей части Европейской территории России. В весенний сезон увеличение сумм осадков наблюдается на большей части территории России. 2013 год оказался особенным по количеству выпавших на территории России осадков: годовая сумма осадков по стране была максимальная за период наблюдений с 1936 г. Экстремальные годовые суммы осадков наблюдались в регионе Восточная Сибирь. Дефицит годовых сумм осадков наблюдался в основном вдоль побережья Северного Ледовитого океана.

Изменение количества осадков определено на все сферы жизнедеятельности человека – отмечается увеличение смертности, политических конфликтов и технических неполадок. Согласно Второму оценочному докладу Росгидромета об изменениях климата на территории РФ, приостановка роста средней глобальной приземной температуры практически не проявилась на территории страны (рисунок 1.3).

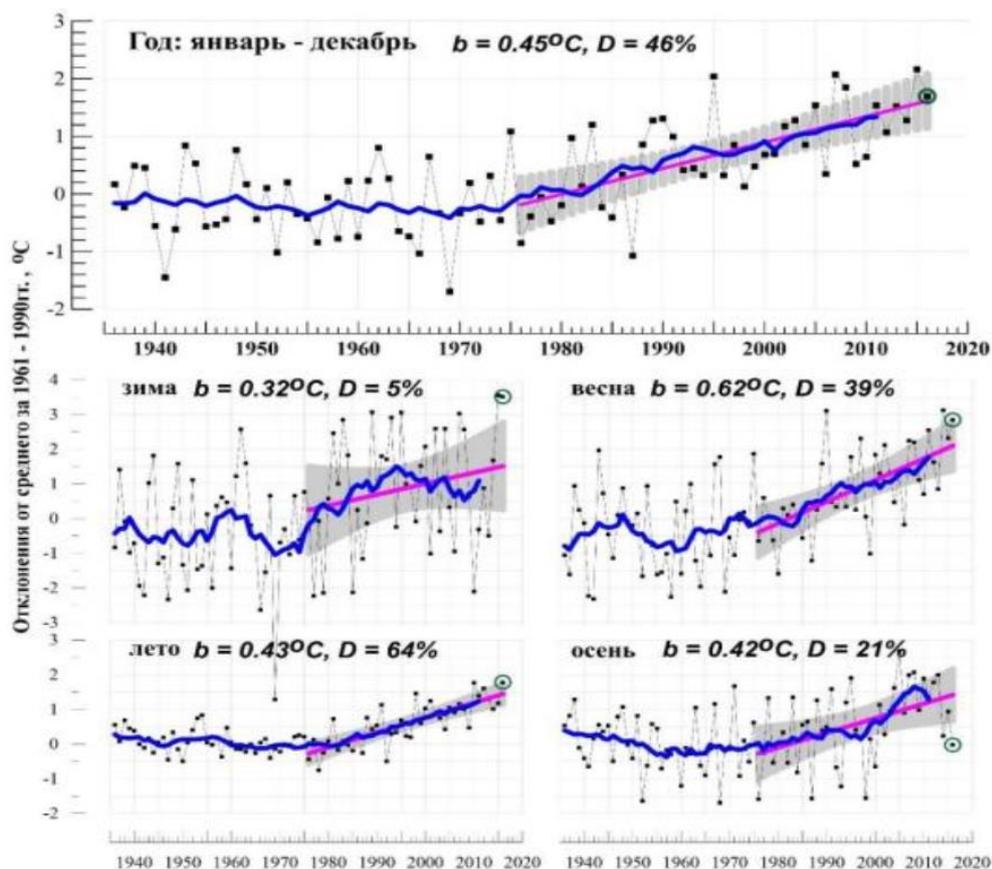


Рисунок 1.3 – Средние годовые (вверху) и сезонные аномалии температуры приземного воздуха (°С) в период 1936-2016 гг., осредненные по территории России. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961-1990 гг.

Показаны также 11 -летнее скользящее среднее, линейный тренд за 1976–2016 гг. с 95% доверительной полосой;

$b$  – коэффициент тренда (°С/10 лет),  
 $D$  – вклад тренда в суммарную дисперсию (%)

Согласно второму оценочному докладу МГЭИК в целом по территории России в период 1976-2016 гг. годовое количество осадков растет – 2,1 % за 10 лет. Особенно быстро растут весенние осадки – 5,9 % за 10 лет (в Восточной Сибири – до 15-20 % за 10 лет). Летом на ЕЧР, за исключением северных регионов, наблюдается убывание

количества осадков, существенное в южных областях. При этом годовой сток большинства крупнейших рек России в последнее тридцатилетие в среднем выше, чем в предшествующее. Значительно увеличилась водность Волги, крупных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан. Основной причиной роста стока рек зимой на ЕЧР является как рост количества осадков, так и рост повторяемости зимних оттепелей. В Приморье и на Северном Кавказе увеличиваются частота и рост высоких уровней воды при дождевых паводках. Возрастают частота и мощность наводнений, обусловленных заторами льда на реках Восточной Сибири.

Согласно ожидаемым изменениям климата в XXI в. количество осадков на территории России, в целом, будет возрастать, причем наиболее значительный их рост ожидается зимой. Географические распределения будущих изменений количества осадков зимой и летом существенно различаются между собой. Зимой увеличение количества осадков ожидается на всей территории России. В начале XXI века рост количества осадков мал, а к середине он усиливается, особенно в восточных и северных регионах России. К середине XXI в. наименьшие (в среднем по ансамблю моделей) изменения количества летних осадков отмечаются на юге ЕЧР, где даже проявляется тенденция к их уменьшению. Рост количества летних осадков наиболее значим, главным образом, на севере и востоке России. Изменения влажностного режима на территории России проявляются и в изменениях годового суммарного поверхностного стока: в частности, на юге ЕЧР – в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах – ожидается усугубление засушливых (в среднем за год) условий. Вследствие глобального потепления возможны изменения частоты и (или) интенсивности экстремальных явлений погоды. Годовые максимумы и минимумы температуры воздуха увеличиваются на большей части

территории России: во все сезоны преобладает увеличение числа суток с аномально высокой температурой воздуха и уменьшение числа суток с экстремально низкой ночной температурой воздуха. Особенностью этих изменений для приземной температуры воздуха является больший рост годового минимума температуры по сравнению с ее годовым максимумом. На протяжении XXI в. на территории России вероятно нарастание «резкости» выпадения осадков в виде отдельных ливней или снегопадов, рост количества сильных паводков и наводнений, штормовых ветров, колебаний погоды в виде череды холодных и теплых периодов. На большей части ЕЧР зимой ожидается увеличение числа суток с аномально большим количеством осадков, а летом, напротив, их уменьшение. Это в целом согласуется с прогнозируемыми изменениями количества осадков высокой интенсивности для указанных сезонов: в среднем за летний сезон, в отличие от зимнего, на значительной части региона ожидается снижение интенсивности экстремальных осадков (это не означает, что в отдельные дни количество экстремальных осадков летом не может перекрывать исторические максимумы).

### 1.3 Изменчивость количества осадков на ЕТР

В данный момент для исследований рассматривают изменения экстремальных осадков в России. Золина и Булыгина рассчитали абсолютные и относительные значения экстремальных осадков, и соответственно индексы количества засушливых дней и дождливых дней за период 1966-2012 гг. Значения дали понять, что частота и интенсивность экстремальных осадков начала увеличиваться в большинстве регионов России. Существенно, что увеличение продолжительности засушливых и влажных отрезков найдено в

преобладающем количестве регионов, что дает понять, что существует значительная группировка осадков во времени и растет вероятность как наводнений, так и засух. Титкова провела анализ частоты экстремальных климатических явлений в зимние периоды с 1970 по 2000 и с 2001 по 2015 годов. Было выяснено, что значительное сокращение в году холодных дней и, как следствие, увеличение очень теплых дней и экстремальных осадков показано в Европейской части страны. Золотокрылин и Черенкова провели анализ пагубных последствия прослеживаемого роста количества экстремальных осадков для среды обитания и деятельности населения в регионах России.

Исходя из вышесказанного, изменения экстремальных температур и осадков, которые наблюдаются в XXI веке по всей России, хорошо изучены, но на региональном уровне такие исследования и анализы не проводились, так как это требует анализа географического положения каждой метеостанции, так как конечно же стоит учитывать влияния подстилающей поверхности для пространственного распределения опасных климатических явлений.

Механизмы, которые определяют формирование экстремальных осадков и их изменчивость, изучены крайне плохо из-за того, что пространственно-временная структура осадков не точно измеряется и неправильно описывается в атмосферных и климатических моделях.

Эта проблема очень важна для внетропических районов, в особенности для России. Количество влаги в атмосфере здесь гораздо меньше, чем в тропиках, но важность адвективных процессов, связанных с динамикой синоптических вихрей, намного сильнее. Помимо этого, именно в средних широтах происходят наиболее существенные изменения в интенсивности экстремальных осадков, приводя часто к природным катастрофам. Во многих районах

одновременно с интенсивностью экстремальных осадков возрастает частота и интенсивность экстремальных волн тепла и связанных с ними продолжительных засух. Экстремальные погодные явления свидетельствуют о том, что изменяются характеристики атмосферного гидрологического цикла и меняется продолжительность и интенсивность влажных и засушливых периодов.

Повторяемость и интенсивность экстремальных значений количества осадков представляет собой фактор, который напрямую влияет на функционирование населения. Экстремальные осадки зимой увеличивают накопление снега и это является фактором для серьезного весеннего половодья. Экстремальные значения осадков в переходные и летний сезоны зачастую представляют собой причину страшных и трагических наводнений на отдельных территориях, повышая риски для жизни и здоровья населения, а также работу производственной и социальной инфраструктуры. Они особенно сильно влияют на инфраструктуру водоснабжения, сточных вод и ливневого дренажа. Системы водоснабжения и очистки сточных вод во время обильных осадков очень плохо справляются со своими функциями и представляют опасность для окружающей среды и людей, потому что в этот момент являются значительным источником химического и биологического загрязнения экологии: водных объектов и почвы из-за сбросов и перегрузок. Часто экстремальные осадки приводят к причинению вреда здоровью и, что хуже, гибели людей. Среднее годовое количество разрушительных погодных и климатических явлений в Европе за период с 1998 по 2007 г. возросло примерно на 65% [4].

Различные мнения способов обнаружения экстремальных осадков и возможности их воспроизведения глобальными климатическими моделями обсуждались различными исследователями. Определено, что на территории России с 1966 по 2012 г. встречалось

увеличение интенсивности экстремальных осадков, что подняло риск возникновения наводнений. Все значительное количество дней с осадками, превышающими 95-процентиль зимой, было зафиксировано на станциях Европейской России в период 1977–2006 гг. Повышение максимальной за зиму высоты снежного покрова в период 1966–2010 гг. также было зафиксировано в центральных и северо-восточных областях Европейской территории. В последние десятилетия количество средних и сильных снегопадов возросло на востоке Европейской России.

## 2 РЕЖИМ ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

### 2.1 Североатлантическое колебание

Североатлантическое колебание (North Atlantic Oscillation) — относится к явлению, которое влияет на климатическую систему северной части Атлантического океана. САК описывает вариации режима «океан-атмосфера» в областях и зачастую вычисляется как разница в атмосферном давлении между Азорским максимумом и Исландским минимумом. Это заметно взаимосвязано с арктическими колебаниями. Это основная причина зимней погоды в Северном полушарии: положительная фаза колебания, приводящая к мягким и влажным зимам в Европейской части континента, а отрицательная — к снежным и холодным.

САК является основным климатическим фактором в региональном масштабе, так как он относится к положениям и траекториям метеорологических возмущений, влияющих на Западную Европу, и кроме того, с температурой океана в бассейне Северной Атлантики.

Циркуляция атмосферы над Северной Атлантикой указывает на быструю смену депрессий и антициклонов, в силу изменчивости бароклинной зоны средних широт. Надо сказать, что в Исландском регионе есть депрессии, а вокруг Азорских островов - области высокого давления. Эти полуперемежные атмосферные системы вызваны общим равновесием атмосферной циркуляции на данных широтах и находятся в балансе с довольно устойчивой циркуляцией течений в этом океане [5].

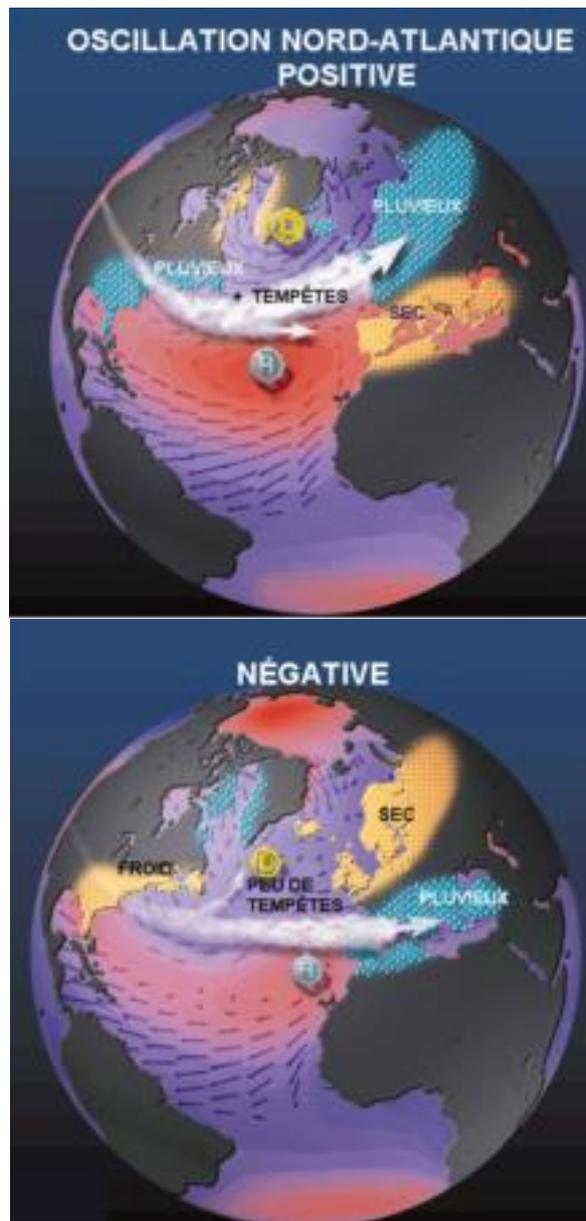


Рисунок 2.1 – Влияние положительной и отрицательной аномалии САК на погодные системы

Из вышеизложенного можно заключить, что индекс североатлантического колебания считается каждый год в зависимости от разницы давлений между Лиссабоном (Португалия) и Рейкьявиком (Исландия), принимая перемену разницы давлений между этими двумя пунктами касательно среднего значения.

Это колебание имеет дальнейший результат:

- изменения давления на поверхность;
- вариации средних западных ветров;
- влияет на климат: температура и осадки во всем Атлантическом бассейне.

Перемена индекса САК особенно имеет значение с ноября по апрель, когда атмосферная циркуляция очень нестабильна в средних широтах, из-за этого показатель считается в зимнее время года. Колебания могут быть еженедельными или ежемесячными, что указывает на изменении траектории передвижения систем, силы и направления ветра, и, соответственно, область, на которую выпадают осадки.

Очень положительный индекс САК связан с наиболее выраженной зональной циркуляцией, которая происходит с запада на восток, между двумя объектами, из-за того, что отличие в давлении, вызывающиеся ветром, больше. Кроме того, большой антициклон над Азорскими островами толкает движение в северном направлении. Тогда в Северной Европе зимы теплые, и, как следствие, более дождливые. А в Средиземноморье иначе – зимы более сухие.

И в то же время, если индекс является отрицательным, западная циркуляция к югу ослабевает, это вызывает холодные зимы, и впоследствии депрессии передвигаются в районы Средиземноморского бассейна. Когда индекс в значительной степени отрицательный, он приносит очень холодную зиму в Северную Европу, а осадки меняют дислокацию в Средиземное море и Северную Африку.

Установлено, что при положительной фазе САК происходит значительное усиление зональной циркуляции на уровне 500 гПа в зоне 50–70°с.ш., это соответственно создает увеличение переноса водяного пара на Европейскую территорию России. Благодаря этому северная и

центральная часть Европейской территории России окружены высокой положительной взаимосвязью зимних осадков с зональным ветром, это говорит о том, что при повышении САК количество выпавших осадков на данной территории возрастает. Максимальный эпицентр корреляции находится над регионами Архангельской и Вологодской областей, а также наблюдается в восточной части Ленинградской области.

## 2.2 Изменение положения высотной фронтальной зоны

Еще одной немаловажной причиной изменений количества осадков может быть изменение положения высотной фронтальной зоны

Высотные фронтальные зоны (ВФЗ) - это переходные высокоградиентные районы между высокими циклонами и высокими антициклонами. ВФЗ являются очень важными показателями климатической динамики атмосферы, положение и интенсивность которых определяют режимы атмосферной циркуляции и их межгодовую изменчивость. Если сгладить высоты изобарической поверхности 500 гПа, тогда повышение высоты АТ 500 гПа будет свидетельствовать о смещении расположения высотной фронтальной зоны к северу, а понижение напротив к югу.

В 2005г в разных естественных синоптических районах на территории России выпали очень интенсивные осадки. Первый эпизод наблюдался с зональным типом в умеренных широтах Европейской территории России в начале июня. Была отмечена целая серия мощных циклонов, которая и привела к сильным выпадениям осадков. Во второй же период произошла перестройка ПВФЗ в конце июля и над регионом Европейской территории России был сформирован глубокий и активный насыщенный влагой циклон. Он был заблокирован

антициклонами на западе и востоке. Именно поэтому такое расположение ПВФЗ стало поводом выпадения длительных осадков [6].

Потому как мощные осадки, которые выпадают в глубоких циклонах, связаны со значительным отклонением ПВФЗ к югу было оценено такое отклонение.

Были рассчитаны характерные изогипсы для этого года по месяцам в естественных синоптических районах, в которых наблюдались экстремально большие количества осадков, и климатическая изогипса.



Рисунок 2.2 – карты фактических планетарных высотных зон(ПВФЗ) нормальных – черная, и фактических ПВФЗ – серая для июня и июля 2005г.

### 2.3 Блокирующий антициклон

Антициклон — область повышенного атмосферного давления с замкнутыми concentрическими изобарами на уровне моря и с определенным распределением ветра.

Антициклон можно распознать по таким признакам как:

- Ясная или малооблачная погода;

- Отсутствие ветра;
- Отсутствие осадков;
- Устойчивый характер погоды.

Блокирующий антициклон — по сути неподвижный крупный и сильный антициклон, обладающий возможностью не пускать прочие воздушные массы на занимаемую собой область. Они приносят не только засуху и пожары, но и интенсивные осадки. На периферии и в отдаленных районах характерны аномальные суммы осадков. Примерный срок жизни данного антициклона — от 3 до 6 суток, и лишь очень малый процент антициклонов может просуществовать до 15 суток [7].

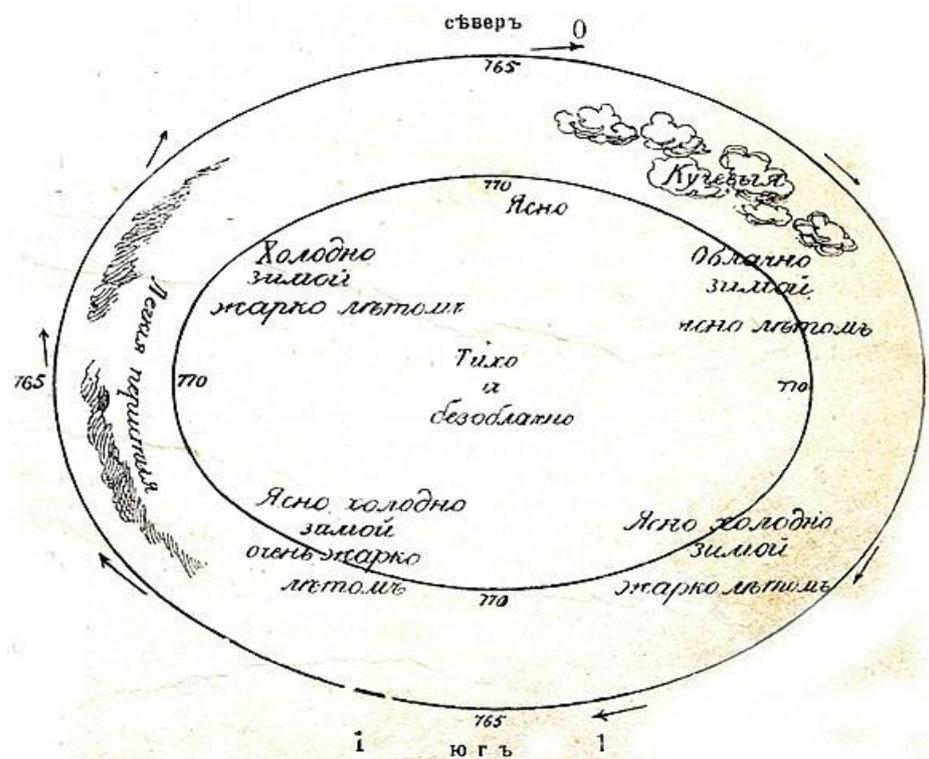


Рисунок 2.3.1 изображение блокирующего антициклона

Напротив, согласно исследованиям, в 1972, 1997, 1999, 2002, 2010, 2014 и 2015 годах антициклоны в летнее время на Европейской территории России находились во всех случаях больше месяца, а в 2010 году рекордные 1,5 месяца, что вызвало страшную засуху и сильнейшую жару, и, как следствие, лесные пожары.

Зачастую в атмосфере умеренных и высоких широт происходят благоприятные условия для нарушения привычной циркуляции воздушных масс. И тогда, в данном случае, устанавливается блокирующий тип циркуляции, дающий на одной большой территории сухую и жаркую погоду летом, а в других районах идут непрекращающиеся дожди. Так же отмечается, что нормальное межширотное перераспределение влаги нарушается.

Как правило, в роли блокирующего барического образования выступает высокий антициклон, который может устанавливаться в высоту примерно до 16 км во всей толще тропосферы, а значит перекрывает путь западному и атлантическому переносу.

Нахождение блокирующего антициклона 50 дней и даже более – очень редкие случаи.

В результате действия такого антициклона, над определённой территорией устанавливается аномально жаркая погода абсолютно без осадков.

Майкл Блэкберн заявил, что в развитие блокирующего антициклона играют важную роль волны Россби. Благодаря этому процессу, во время разрушения и затухания этих волн барическое поле преобразуется в дипольную структуру, в которой северным полюсом выступает антициклон, а южным – циклон или малоподвижная термически однородная депрессия.

В таком случае данный диполь содержится в квазимеридиональном направлении, а высотная фронтальная зона разветвляется так, что эти два барических образования остаются практически стационарны относительно друг друга. Подобный тип блокирования называется Рекс-блокинг.

Второй наиболее известный тип блокирования состоит в том, что возникает устойчивый большой антициклон, и по обе стороны от него отмечаются центры пониженного давления, которые практически стационарны за счёт отсутствия ведущего потока в тропосфере из-за того, что струйное течение в верхних и средних уровнях тропосферы изменяется и делает изгиб с достаточно большой амплитудой. Таким образом формируется блокирование по типу «Омега», которое схоже по форме с греческой буквой.

Третий тип блокирования заключается в том, что в средней и верхней тропосфере происходит отделение центра высокого или низкого геопотенциала струйным течением. Такой тип блокирования имеет специфику, заключающуюся в том, что здесь блокирующей системой может выступить как антициклон, так и циклон. В случае антициклона - погодные условия будут отличаться аномально высокими температурами и дефицитом осадков, такое происходит летом, а при отсечении высотного циклона происходит иначе - аномально холодная и дождливая погода, иногда возможны исторические наводнения.

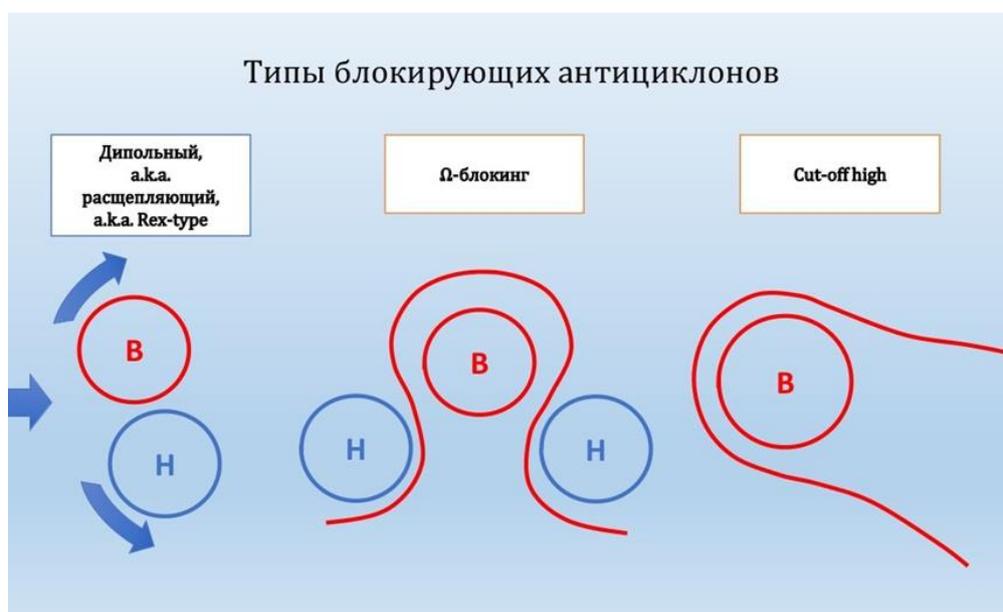


Рисунок 2.3 – Типы блокирующих антициклонов

В основном, механизмом образования любого типа блокирующего антициклона представляет собой нелинейную неустойчивость энергетических атмосферных волн Россби, которая ведет к их опрокидыванию.

#### 2.4 Влияние Эль-Ниньо и Ла-Нинья на Европейскую территорию России

Эль-Ниньо - колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана, которое оказывает заметное влияние на климат, то есть область нагретых приповерхностных вод смещается к востоку.

С Ла-Нинья связано широкомасштабное охлаждение поверхности океана в центральной и восточной частях экваториальной акватории Тихого океана в сочетании с изменениями тропической циркуляции атмосферы, а именно ветра, давления и осадков.

Согласно результатам анализа, есть на связь интенсивности и размещению блокирующих процессов с солнечной активностью и некоторыми режимами изменчивости системы «Океан-Атмосфера» - Эль-Ниньо. Отмечена повышенная периодичность блокингов в годы Ла-Нинья, которая является холодной фазой южной осцилляции в Северном полушарии. Как раз эпизод аномальной жары летом 2010 года это подтверждает – весной того года завершилась фаза Эль-Ниньо и произошёл необычно ранний переход к Ла-Нинья [8].

Также, недавний 2020 год стал самым теплым за всю 130-летнюю историю метеонаблюдений в России. Везде были зафиксированы абсолютные максимумы температуры. 2020 год все время продолжался в фазе Эль-Нинья и это явление отмечалось на протяжении последних 5 лет. С ним климатологи связывают температурные аномалии, и так же аномалии с интенсивностью выпадения осадков на планете. Прежде это явление наблюдалось крайне редко, но теперь колебания температуры в Тихом океане фиксируют каждые 3–7 лет.

## 2.5 Антропогенный фактор

Прямое или косвенное воздействие человека на окружающую среду или отдельные регионы, и, как следствие, на климат началось давно, с середины прошлого века в момент становления индустриальной экономики.

Промышленные выбросы в воздух и воду, городские и сельскохозяйственные стоки, беспощадная распашка земель без учёта погодных условий, добыча полезных ископаемых, вырубка леса, образование мусорных полигонов, использование водоёмов в качестве

накопителя мусора – все это меняет характер подстилающей поверхности, а также немаловажно - способствует изменению теплового баланса планеты.

Происходит изменение климата и одним из признаков является глобальное потепление – тонны CO<sub>2</sub>, которые выбрасываются в атмосферу, определенно, оказывают огромное влияние на этот процесс. Глобальное потепление вызывает таяние ледников в Арктике и Антарктике, и таким образом подъем уровня океанов.

Основные антропогенные факторы, влияющие на климат:

- 1) Нагревание оказывает прямое влияние на состояние атмосферы.
- 2) Увеличения концентрации углекислого газа, водяного пара и аэрозольных частиц за счет изменения состава тропосферы, которое приводит к парниковому эффекту.
- 3) Перемена свойств подстилающей поверхности Земли, которая приводит к перемене ее отражательной способности, то есть альбедо.
- 4) Изменение испарения и, как следствие, изменения влажности атмосферы, что влияет на газообмен между океаном и атмосферой.
- 5) Воздействия на верхнюю атмосферу, которая в свою очередь оказывает влияние на озоновый слой за счет появления в ней закиси азота N<sub>2</sub>O и фреонов.
- 6) Воздействие на электрическое состояние атмосферы и ее ионизация за счет появления в ней криптона – 85.

Прослеживаются в последнее время следующие погодные аномалии. В 2010 году на юге Франции внезапно выпад снег, связанный с понижением температуры, также во многих районах Европы прошли сильные дожди [9]. В 2012 году был сильный снегопад во всей Европе и даже Африке (пустыня Сахара и Алжир), и в других районах,

где снег является аномальным явлением. Также отмечались снегопады в Австралии и солнечной Италии, где температура преимущественно положительная круглый год. В декабре этого же года прошли обильные снегопады на юге России и Северном Кавказе.

## 2.6 Естественная изменчивость климата

Изменение климата есть колебания климата планеты в общем или отдельных её локациях с течением времени, которая может выражаться в статистических отклонениях параметров погоды от многолетних значений.

Причинами изменения климата могут быть различные динамические процессы на Земле, любые внешние воздействия, например, как колебания интенсивности солнечного излучения, и теперь добавляется деятельность человека.

Перемены в климате обусловлены изменениями в земной атмосфере, теми процессами, которые происходят в других частях Земли, например, океаны и ледники. Есть такие внешние процессы, которые влияют на формирование климата и это изменения солнечной радиации и орбиты Земли.

- изменение рельефа и расположения материков и океанов,
- изменение светимости Солнца,
- изменения параметров орбиты Земли,
- изменение прозрачности и состава атмосферы,
- изменение концентрации парниковых газов (CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>),
- изменение отражательной способности поверхности Земли (альбедо),

- изменение количества тепла, находящихся в глубинах океана,

Солнце для нашей планеты основной источником тепла в климатической системе. Солнечная энергия, которая превращается в тепло уже на поверхности земли, служит естественным звеном, участвующем в формировании климата на планете. При рассмотрении долгосрочный период времени, то в этом ключе Солнце становится ярче и начинает выделять больше энергии, из-за развития в соответствии с главной последовательностью. Это развитие в медленном темпе влияет на земную атмосферу.

Однако на более коротких временных отрезках также были замечены изменения в солнечной активности: 11-летний солнечный цикл и более длительные вековыми и тысячелетними модуляции. Впрочем, 11-летний цикл происхождения и исчезновения солнечных пятен не прослеживается явно в климатологических данных. Перемена солнечной активности является важной причиной наступления малого ледникового периода, и наоборот некоторых потеплений, которые наблюдались между 1900 и 1950 годами. Циклическая особенность солнечной активности ещё не в полной мере исследована.

За миллионы лет планета Земля систематически меняет эксцентриситет своей орбиты, и также направление и угол наклона своей оси, и, как следствие, это приводит к переназначению солнечного излучения на поверхности Земли. Такие изменения называют «циклы Миланковича», их можно предсказать с высокой точностью.

Описанный эффект является достаточно периодическим, систематически возникают достаточно продолжительные эпохи, когда они оказывают нарастающее влияние, усиливая друг друга. Они являются первыми факторами чередования гляциальных и интергляциальных циклов крайнего ледникового периода. Результатом

прецессии земной орбиты считаются изменения гораздо меньшие по масштабу, например, периодическое увеличение и уменьшение по площади пустыни Сахара.

Важным фактором являются извержения вулканов. Всего лишь одно мощное извержение вулкана может значительно повлиять на климат, вызвав похолодание продолжительностью несколько лет. Таким примером может послужить извержение вулкана Пинатубо в 1991 году, которое существенно повлияло на климат. Гигантские извержения формируют колоссальные магматические провинции, происходят всего несколько раз в сто миллионов лет, но они могут повлиять на климат в течение миллионов лет и служат причиной вымирания многих живых видов. Изначально полагалось, что фактором похолодания служит изверженная в атмосферу вулканическая пыль, потому что она затрудняет достигнуть поверхности Земли солнечному излучению. Впрочем, фиксированные значения показывают, что наибольшая часть пыли оседает на поверхности Земли в течение примерно полугода.

Вулканы служат также частью геохимического цикла углерода. На протяжении многих периодов в геологии диоксид углерода выходил из недр Земли в атмосферу, и нейтрализовал тем самым количество углекислого газа, который был взят из атмосферы и связан осадочными породами и другими породами, которые поглощают углекислый газ.

Тектоника плит на протяжении огромного количества времени также перемещает континенты, создает океаны, горные хребты. В общем говоря, тектоника формирует поверхность Земли, на которой существует климат. Недавние вычисления дают понять, что тектонические передвижения ухудшили условия крайнего ледникового периода: около 3 млн лет назад североамериканские и южноамериканская плиты соприкоснулись, что образовало Панамский

перешеек и закрыло пути для прямого смешивания вод Атлантического и Тихого океанов.

Еще одной немаловажной причиной являются 35-45 летние циклы изменений климата. Поочередное изменение прохладно-влажных и тепло-сухих периодов в интервале 35-45 лет, такую гипотезу вынесли в конце 19 века русские ученые Э. А. Брикнером и А. И. Воейковым. С течением времени эти научные предположения были достаточно серьезно развиты А. В. Шнитниковым – это была стройной теории о внутривековой и многовековой переменности климата и общем увлажнении континента в Северном полушарии. За основу аргументов для доказательств положены случаи об изменении горного оледенения Евразии и Северной Америки, уровней воды во внутренних водоемах и Мирового океана, изменчивость ледовой обстановки в Арктике [10].

## 2.7 Изменение форм циркуляции по Вангергейму–Гирсу

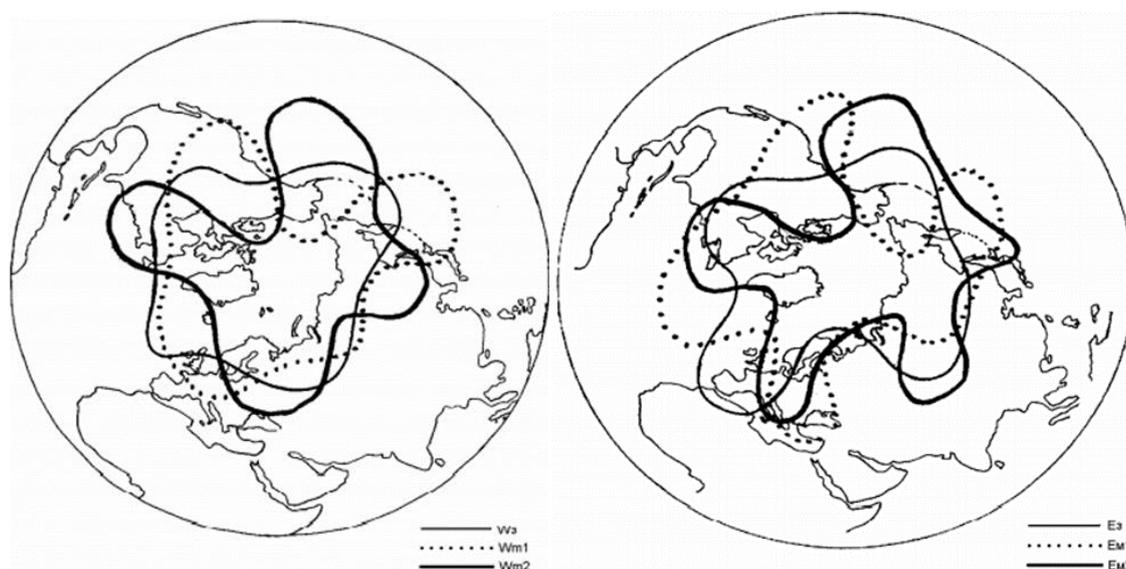
В 1930–хх годах 20 века Г.Я. Вангенгейм делал исследование общей циркуляции атмосферы и открыл такое понятие как элементарные синоптические процессы (ЭСП). На протяжении этих процессов сохраняются направление главных переносов воздуха в районах Атлантико–Евразийского сектора Северного полушария и географическое распределение знака барического поля.

Г.Я.Вангенгеймом установлены были формы атмосферной циркуляции только по материалам приземных карт атлантико–евразийской (первой) зоне полушария, не учитывая процессы, которые наблюдались в одно время в тихоокеано–американской (второй) зоне. По этой причине А.А. Гирс, воспользовавшись классификационными

принципами и условиями Г.Я. Вангенгейма, получил систематизацию процессов, наблюдавшихся во второй зоне полушария.

Для всех простейших синоптических процессов создавались сборно–кинематические карты, которые сопоставлялись друг с другом, учитывая характер процессов их развития, направления господствующих ветров, главных вторжений воздушных масс, в результате этого было выделено 26 разного рода типов процессов. Впоследствии, все они были обобщены в 3 типа или вида атмосферной циркуляции – западную (W), восточную (E) и меридиональную (C), они обозначали по преобладанию перенос тропосферы умеренных широт (рисунок 2.7). Несомненно, что типизация Вангенгейма–Гирса дает возможность объективно обобщить всё действующее разнообразие фактических макроциркуляционных демонстраций атмосферной циркуляции в несколько значительных групп.

Воспользовавшись связью между формами циркуляции W, C, E и разного рода явлениями в атмосфере, а также в гидросфере, можно даже создать долгосрочный гидрометеорологический прогноз, имеющий в особенности практическое значение.



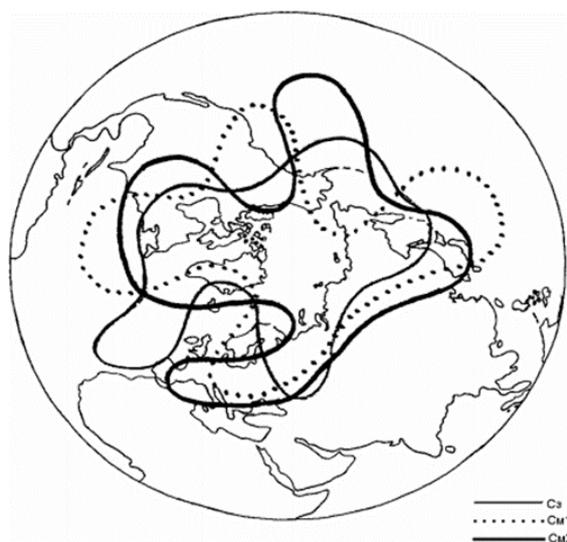


Рисунок 2.7– Типы воздушной циркуляции по Вангергейму– Гирсу.

Западная форма циркуляции (W) определяется зональными передвижениями воздуха во всей толще тропосферы, а также изменением этой формы в меридиональную или восточную будет связано с происхождением в тропосфере неподвижных волн большой амплитуды.

На приземных картах, когда есть западная форма циркуляции можно наблюдать зональное смещение барических образований с запада на восток. Но, нужно отметить, что в нижних широтах область высокого давления, а в высоких широтах - область пониженного давления.

Восточная форма циркуляции (E) обуславливается созданием в тропосфере устойчивых барических волн значительной амплитуды и увеличением межширотного воздухообмена. Над материками в это время образуются стационарные антициклоны, которые мешают западно–восточному переносу ВМ и барических образований и, как следствие, получают название блокирующих центров.

Когда развиваются меридиональные (С) формы циркуляции, происходит формирование стационарные волны значительных амплитуд и наблюдаются процессы восточной и меридиональной форм. Эти формы описываются различным географическим положением высотных гребней и ложбин – при Е и С формах они противоположны С–тип циркуляции содействует изменению и развитию Сибирского антициклона.

При восточной и меридиональной формах циркуляции присущ отсутствие осадков на Европейской территории России. Но наоборот при господствующем положении западной формы циркуляции вызывает избыток увлажнения. Выяснено, что в время глобального потепления произошел резкий переход от восточной и меридиональной форм циркуляции к западной форме, данный переход привел к возрастанию осадков на Европейской территории России.

Благодаря установленной корреляции режима осадков на данной территории от повторяемости форм циркуляции дает возможность предоставлять последние в качестве вспомогательных параметров при долгосрочном прогнозе осадков на Европейской территории России.

Г.Я. Вангенгейм принимал во внимание характер циркуляции только по материалам приземных карт атлантико–евразийской зоне полушария, именно поэтому А.А. Гирс учитывал процессы тихоокеано–американской зоны и усовершенствовал классификацию процессов, которые наблюдались во второй зоне полушария.

Согласно работе типизация Вангенгейма–Гирса способствует объективно обобщить все различные фактические макроциркуляционные процессы атмосферной циркуляции в несколько больших групп, которые были перечисленных выше.

## 3 ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

### 3.1 Данные, используемые в исследовании

В данной работе исследуется изменчивость количества осадков на Европейской территории России. Эта проблема очень важна для внетропических районов, в особенности для России. Согласно оценкам МГЭИК именно в средних широтах происходят наиболее существенные изменения в интенсивности экстремальных осадков, приводя часто к природным катастрофам (рисунок 3.1).

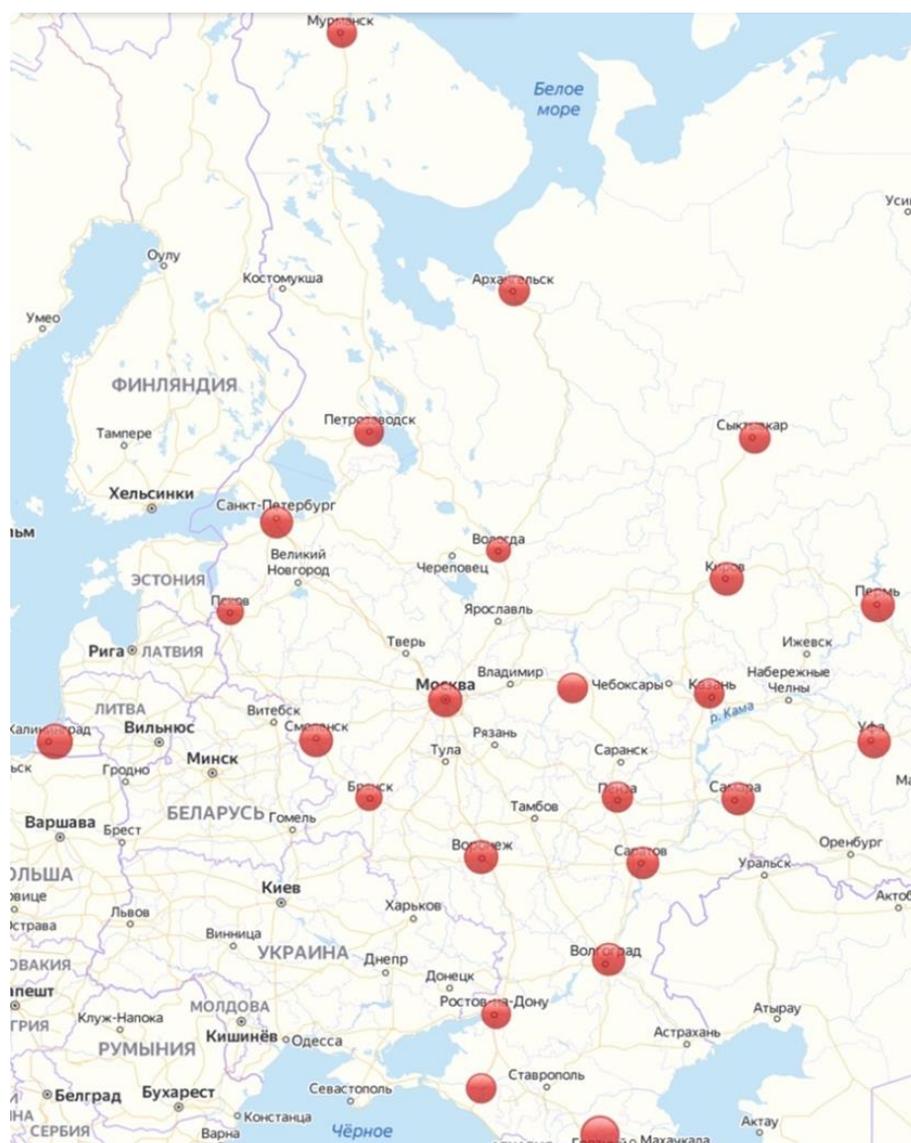


Рисунок 3.1 – Анализируемые данные по 24 станциям, расположенным на Европейской территории России.

Согласно рекомендациям ВМО 30 лет является достаточным периодом для выявления климатических характеристик территории. На данный момент ВМО оперирует следующими климатическими нормами: 1961-1990 гг. (этот период является «базовым»), 1981-2010 гг. (этот период до недавнего времени являлся новой «оперативной нормой») и 1991-2020 гг. (этот период будет следующим для оперативного отслеживания изменений климата, однако на него еще не перешли).

Источником данных о количестве осадков послужил архив Мирового центра данных Всероссийского научно–исследовательского института гидрометеорологической информации. Для исследования современной динамики климата использованы сравнения «оперативной нормы», 1981-2010 гг. и новой нормы 1991-2020 гг. Расчеты производились по 24 пунктам за 40 лет, результаты представлены с помощью программного пакета Surfer 9 и представлены на Google Earth.

Программа Surfer 9 очень удобна для визуализации результатов, она является универсальным картографическим программным обеспечением. Данная программа может быть использована для легкого и аккуратного вычерчивания поверхностей карт и конвертирования переданных данных в контурные, а также рельефные карты и наглядные трехмерные поверхности. Для получения более точного вывода результатов, касаемых Европейской территории России, был использован импорт изображений с географической привязкой в реальной системе координат по 24 станциям.

Далее полученные изображения с географической привязкой были представлены в Google Earth – это проект, благодаря которому были размещены спутниковые изображения поверхности Земли. С помощью данной программы, отображающей изображения в виде глобуса, для большей наглядности в работе предоставлены трехмерные изображения распределения количества осадков на Европейской территории России за периоды 1981-2010 и 1991-2020 гг.

### 3.2 Расчет случаев изменчивости количества осадков

Расчет изменения количества осадков по 24 пунктам за тридцать лет производился в несколько этапов:

1. Для начала были взяты данные всех осадков за выбранный промежуток времени – 1981-2020г, из архива Мирового центра данных Всероссийского научно–исследовательского института гидрометеорологической информации по 24 станциям, расположенных на ЕТР.
2. С помощью программы Excel, разработанной для работы с электронными таблицами, были созданы сводные таблицы, которые помогают в вычислении, сведении и анализе данных и, благодаря ним, было выделено среднее значение для каждой метеостанции за период 30 лет по «оперативной» и «новой» норме. Формулы приведены ниже.

$$\text{Precip}_{\text{month}} = \frac{\sum \text{Precip}_i}{30} \quad (3.1)$$

Где  $\text{Precip}_i$  – месячная сумма осадков  $i$ -ого года.

Названия строк	Сумма по полю осадки	Σ по новой норме	518,9267
1981	531,3		
1982	551,9	Σ по оперативной норме	494,42
1983	494,9		
1984	475,5		
1985	438,3		
1986	459,1		
1987	455,1		
1988	464,3		
1989	555,7		
1990	415,1		
1991	504,2		
1992	516,8		
1993	407,6		
1994	354,8		
1995	502,9		
1996	490,3		
1997	372,4		
1998	498,7		
1999	634,6		
2000	565,3		

Рисунок 3.1 – Сводная таблица по поиску средних значений количества осадков по «оперативной и «новой» норме для анализа их изменчивости на Европейской территории России.

3. Далее было посчитано стандартное отклонение - оно используется для оценки отклонения от среднего значения ряда, т.е. мера того, насколько разбросан данный ряд значений. Рассчитывается оно по следующей формуле (3.2). При условии, что точки данных расположены далеко от среднего значения, то в наборе данных есть большое отклонение. Следовательно, чем больше разброс данных, тем больше стандартное отклонение.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\text{Precip}_i - \sum \text{Precip}_{cp})}{n-1}} \quad (3.2)$$

где  $\text{Precip}_i$  – месячная сумма осадков  $i$ -ого года,

$\text{Precip}_{\text{ср}}$  – среднемесячная сумма осадков,

$n$  – размер выборки.

4. Рассчитывается коэффициент вариаций с помощью среднего значения ряда осадков и стандартного отклонения. Коэффициент вариации равно отношению стандартного отклонения к ее математическому ожиданию. Применяется этот коэффициент для сравнения вариативности одного признака в нескольких совокупностях с различным средним значением.

$$V = \left(\frac{\sigma}{k}\right) * 100\% \quad (3.3)$$

где  $\sigma$  – стандартное отклонение случайной величины,

$k$  - ожидаемое (среднее) значение случайной величины.

5. Были рассчитаны также разницы в количестве осадков. Считались как разница количества осадков между «оперативной» нормой и «новой» нормой. Результирующие данные обработаны в иллюстрационном режиме с помощью программы Surfer9 и далее для наглядности сетка с данными была нанесена на Google Планета Земля.

<i>Город</i>	<i><math>\Sigma n</math> 1981-2010</i>	<i><math>\Sigma n</math> 1991-2020</i>	<i>ост</i>	<i>разница норм</i>	<i>V1981-2010</i>	<i>V1991-2020</i>
<i>Мурманск</i>	494	519	3,5	25	2,2	2,1
<i>Архангельск</i>	633	604	3,7	-29	2,1	2,0
<i>Петрозаводск</i>	610	612	3,7	2	2,2	2,2
<i>Сыктывкар</i>	651	619	4	-32	2,2	2,1
<i>Санкт-Петербург</i>	668	661	4,6	-7	2,2	2,2
<i>Псков</i>	683	700	4,7	17	2,4	2,4
<i>Калининград</i>	815	823	4,6	8	2,1	2,1
<i>Смоленск</i>	742	738	4,4	-3	2,3	2,3
<i>Брянск</i>	662	683	4	21	2,4	2,4
<i>Киров</i>	682	676	4	-5	2,2	2,1
<i>Нижний Новгород</i>	665	655	4	-11	2,3	2,2
<i>Казань</i>	563	561	3,7	-2	2,4	2,4
<i>Москва</i>	712	707	4,4	-5	2,3	2,3
<i>Пенза</i>	548	540	3,9	-8	2,6	2,6
<i>Пермь</i>	689	656	4	-33	2,2	2,1
<i>Уфа</i>	574	589	3,5	15	2,2	2,2
<i>Самара</i>	548	564	3,8	16	2,5	2,5
<i>Воронеж</i>	571	584	4,2	13	2,6	2,7
<i>Саратов</i>	365	461	3,7	96	2,9	2,9
<i>Волгоград</i>	365	409	3,4	44	3,0	3,2
<i>Ростов-на-Дону</i>	586	544	4,6	-42	2,8	2,8
<i>Краснодар</i>	729	732	5,4	3	2,7	2,7
<i>Владикавказ</i>	916	898	6,8	-18	2,6	2,6

Рисунок 3.2 – Среднее количество осадков ( $\Sigma n$ ) при перерасчете по «оперативной» и «новой» норме на Европейской территории России с 1981 года по 2020 год.

Согласно полученным расчётам можно сказать, что количество осадков изменилось для большинства станций при перерасчете по новой норме 1991-2020 года по сравнению с оперативной нормой 1981-2010 года. Для характеристики происходящих изменений было рассчитано стандартное отклонение. Так, если существующие изменения находятся в пределах стандартного отклонения, то они в пределах естественной изменчивости, если же выходят за его пределы, то здесь уже можно говорить о происходящих изменениях. Кроме того, СКО позволяет оценить, в каких регионах в принципе наблюдается наибольшая дисперсия осадков. Судя по значениям стандартного отклонения, можем сделать выводы, что наибольшее отклонение наблюдается на Северном Кавказе. В остальных регионах Европейской территории России стандартное отклонение меньше, но в целом оно не

значительное, значит можно говорить о достаточно однородном распределении осадков от года к году.

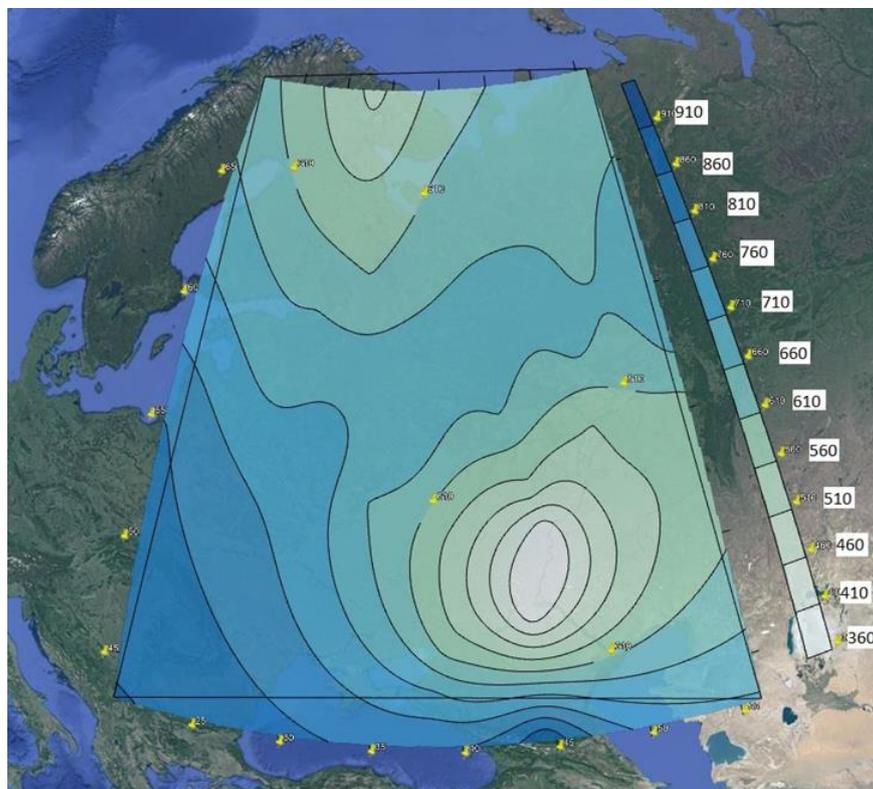


Рисунок 3.3 – Среднегодовая сумма количества осадков на ЕТР 1981-2010г.

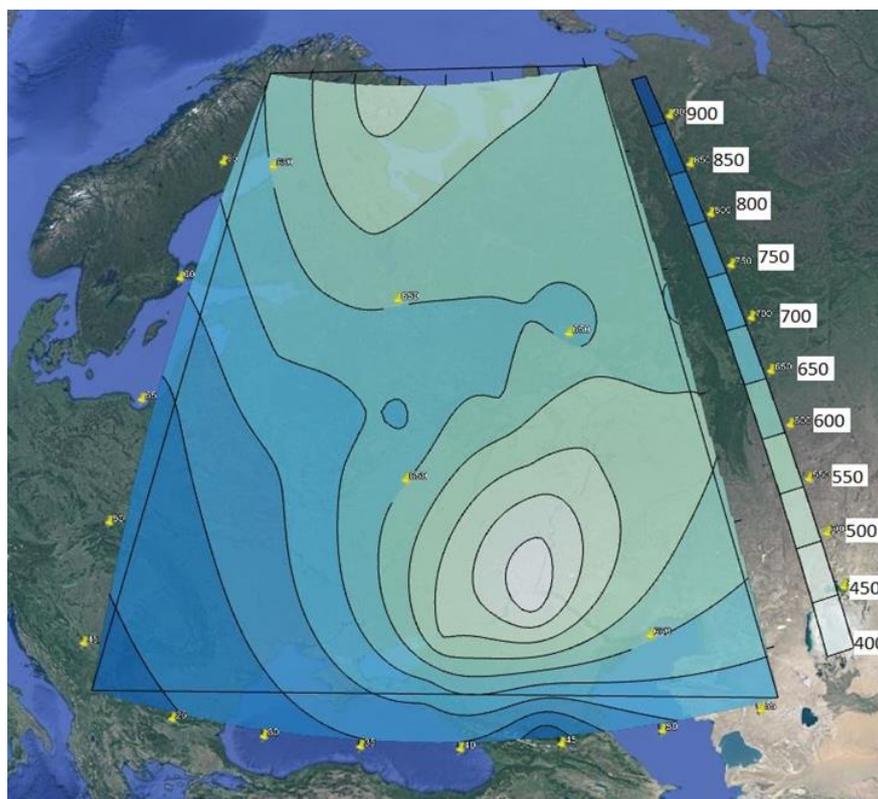


Рисунок 3.4 – Среднегодовая сумма количества осадков на ЕТР 1991-2020г.

Изменение Нормы считалось существенным, если оно изменилось на величину, большую величин стандартного отклонения. Как видно, наиболее существенные изменения произошли на юго-востоке исследуемой территории в Приволжье – Волгоградская и Саратовская область. Здесь количество осадков значительно возросло при пересчете, а на юге в Ростовской области – значения количества осадков, наоборот, значительно уменьшились, в Северной Осетии тоже были замечены уменьшения. Наблюдаются изменения и на юго-западе и северо-западе Европейской территории – в Брянской и Псковской областях - там значения количества осадков возросли. Более существенные изменения также можно проследить в восточной стороне – Пермский край и Республика Башкортостан. В г. Пермь значения осадков уменьшились, а в г. Уфа, напротив, немного

увеличились. В северной части тоже замечены значительные изменения – в Республике Коми и Архангельской области количество осадков сильно уменьшилось.

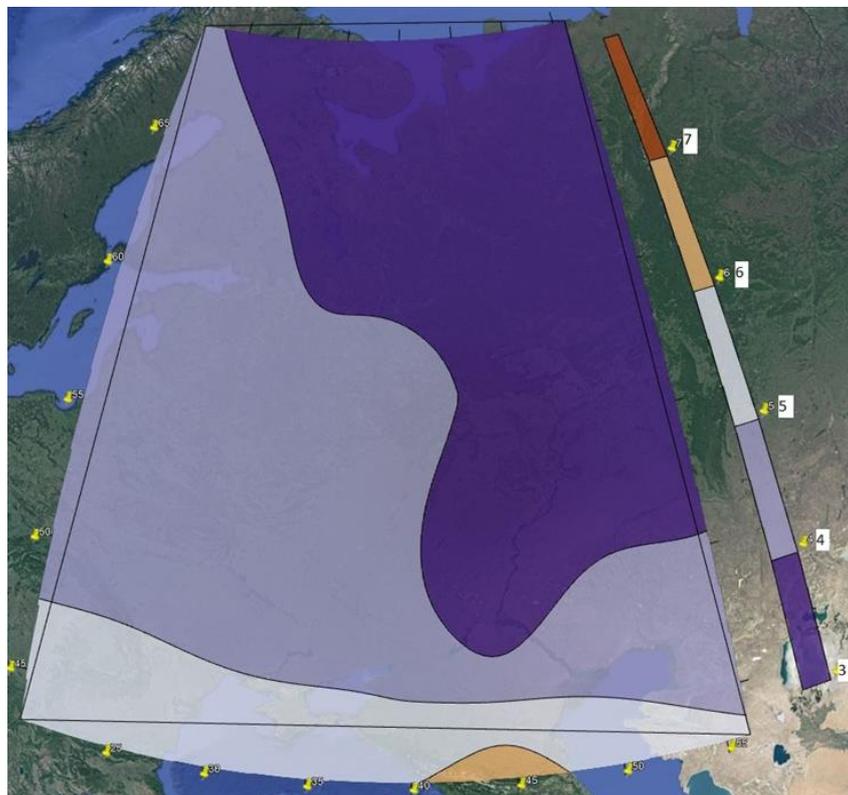


Рисунок 3.5 – Стандартное отклонение для годового количества осадков

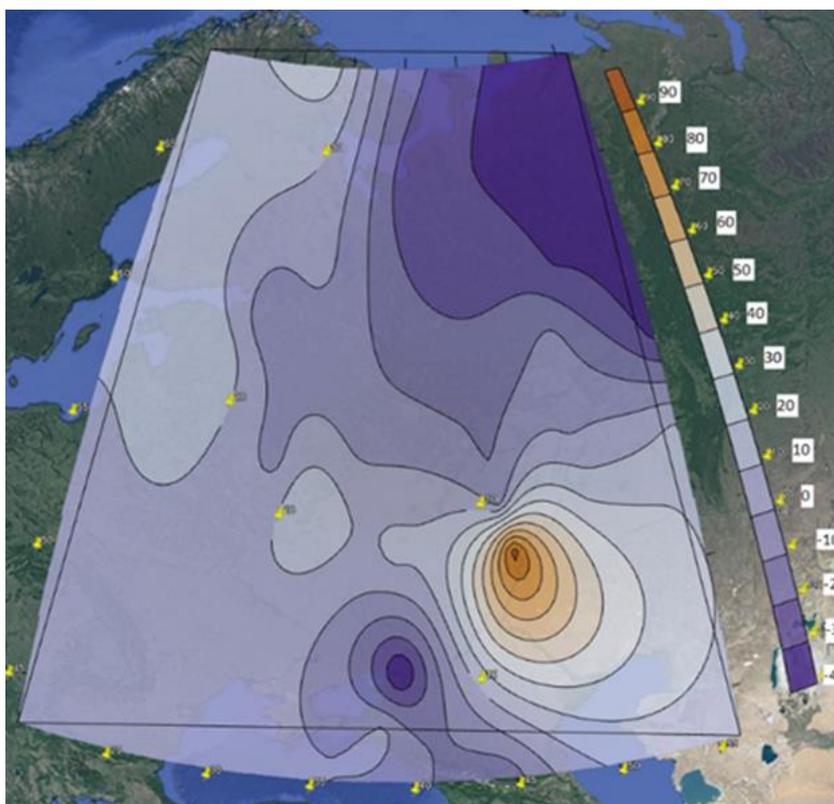


Рисунок 3.6 – Разница между нормами 1991-2020г и 1981-2010г

Согласно статье «Состояние климата в 2021 году — экстремальные явления и масштабные воздействия», опубликованной на сайте Всемирной Метеорологической Организации, были зафиксированы суточные рекорды количества осадков, что говорит об увеличении коэффициента вариации суточных осадков и, как следствие, об увеличении аномалий и экстремальных явлений. В связи с этим были рассчитаны коэффициенты вариации для каждой из станций.

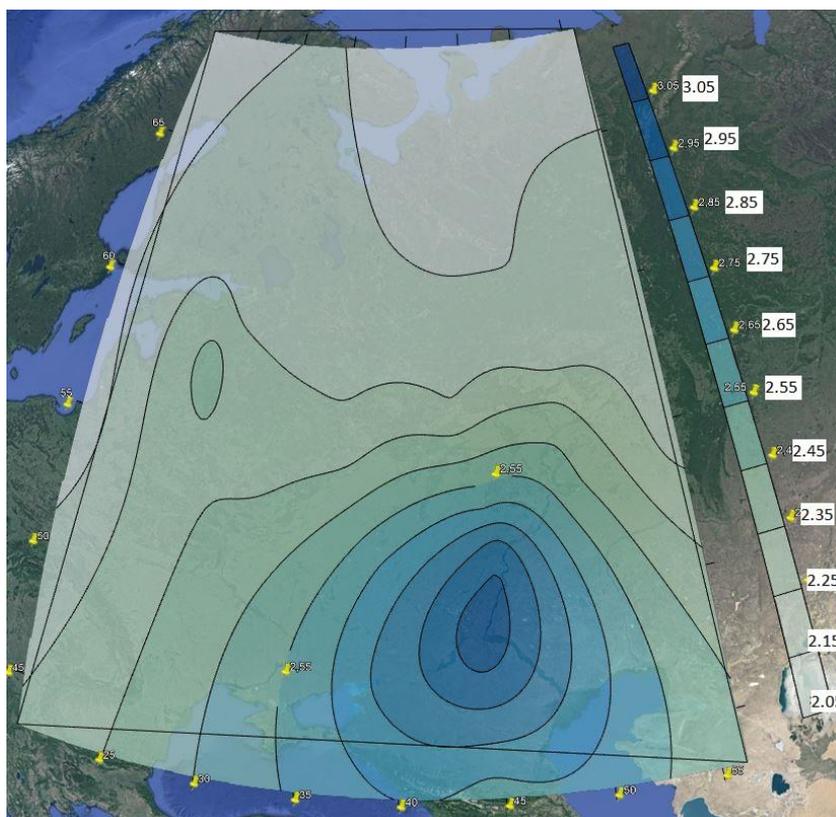


Рисунок 3.7 – Коэффициент вариации за 1981-2010

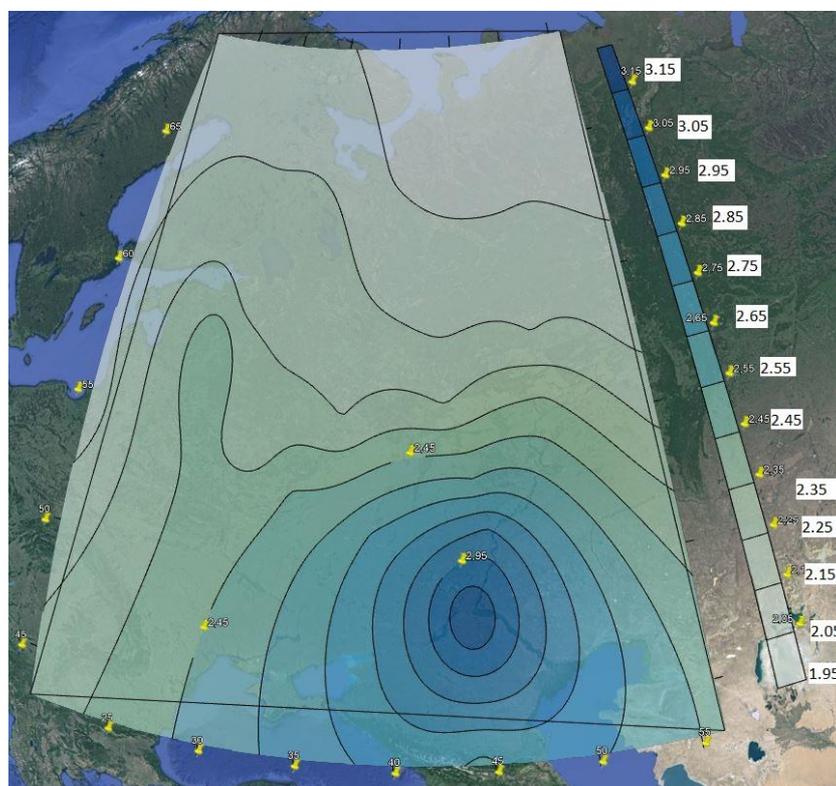


Рисунок 3.8 – Коэффициент вариации за 1991-2020

Однако судя по вычисленным коэффициентам вариации, можно сказать, что разброс относительно среднего значения количество осадков существенно не меняется на всей Европейской территории России. И лишь незначительно увеличивается к юго-востоку, что связано с тем, что там в принципе большая дисперсия осадков. При сравнении коэффициентов вариации «оперативной» и «старой» нормы существенная разница не прослеживается.

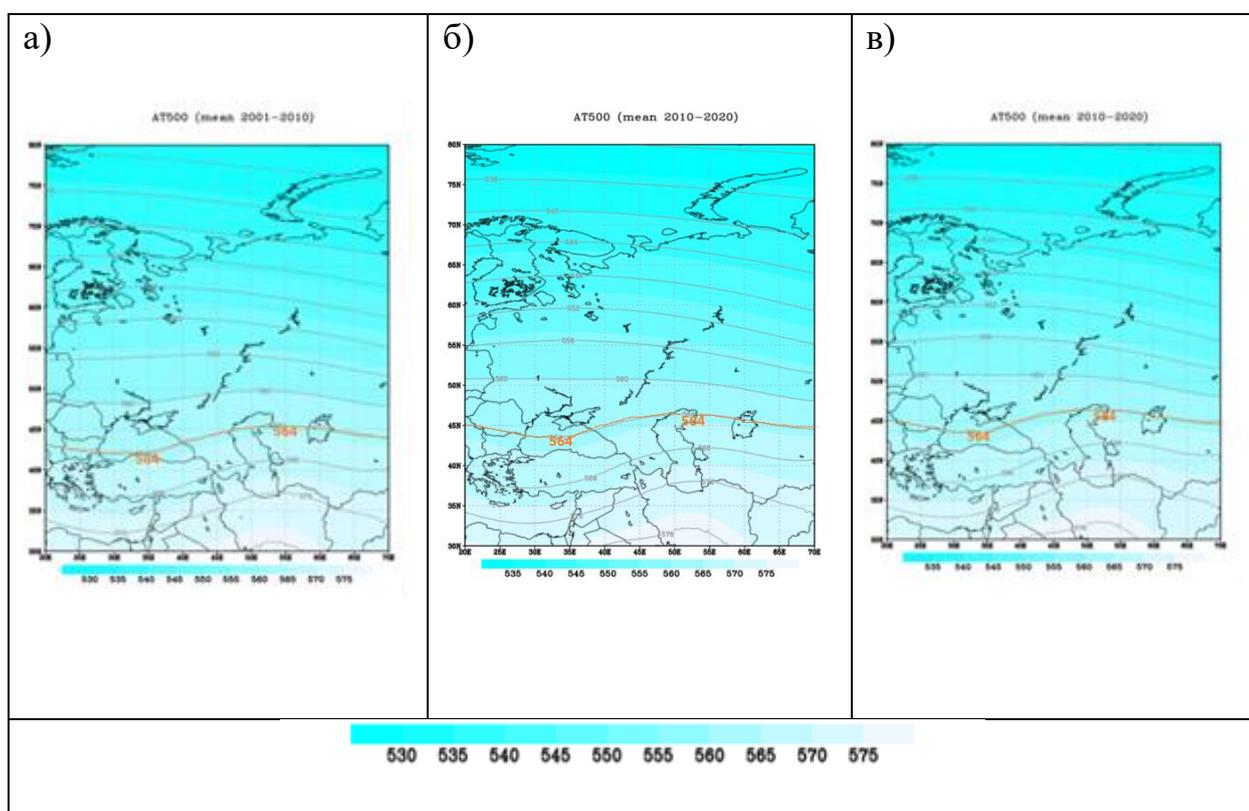


Рисунок 3.9 - Средняя высота изобарической поверхности АТ–500 гПа  
а) период 1991–2000 б) 2001–2010 в) 2010–2020.

Представлены средние высоты АТ–500, по которым можно проследить поднятие высотной фронтальной зоны с каждым десятилетием. На это повлиял общий рост геопотенциала. По сравнению с первым и последним десятилетием ВФЗ поднялась примерно на 5° в направлении

северо-востока. Подробнее этот вопрос требует углубленного рассмотрения в дополнительном исследовании.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была поставлена цель анализа изменчивости количества осадков на Европейской территории России, в ходе выполнения данной работы цель была полностью достигнута.

Для успешного достижения цели были решены следующие задачи:

1. Был рассмотрен архив данных о количестве осадков на Европейской территории России по 24 станциям за 40 лет: с 1981 по 2020 годы. (Источником данных о температуре воздуха послужил архив Мирового центра данных Всероссийского научно–исследовательского института гидрометеорологической информации);
2. Было выделено среднее значение для каждой метеостанции за период 30 лет по «оперативной» и «новой» норме;
3. Было посчитано стандартное отклонение для оценки отклонения от среднего значения ряда;
4. Рассчитан коэффициент вариаций с помощью среднего значения ряда осадков и стандартного отклонения;
5. Были рассчитаны также разницы в количестве осадков между «оперативной» и «новой» нормой;
6. Результирующие данные обработаны в иллюстрационном режиме с помощью программы Surfer9;
7. Сетка с данными была нанесена на Google Планета Земля;
8. Выполнен анализ полученных результатов.

В соответствии с выполненной работой можно сделать следующие выводы:

1. При пересчете норм было замечено, что количество осадков увеличилось за период 1991-2020г. по сравнению с периодом 1981-2010г.

2. Увеличение количества осадков на Европейской территории связано сразу со многими факторами, но основные из них: антропогенный фактор, оказывающий огромное влияние с конца прошлого века и усиливающийся в настоящее время; блокирующие антициклоны, которые оказывают засушливое влияние в одном регионе, и чрезмерное увлажнение в соседнем регионе. Но, например, естественная изменчивость климата незначительно повлияла на изменение режима осадков.

3. Изменение количества осадков связано с поднятие положения высотной фронтальной зоны к северу

4. Среднее количество осадков изменилось при пересчете норм за 1981-2010г и 1991-2020г. Наиболее существенные изменения произошли на юго-востоке исследуемой территории в Приволжье – Волгоградская и Саратовская область. Здесь количество осадков значительно возросло при пересчете, а на юге в Ростовской области – значения количества осадков, наоборот, значительно уменьшились, в Северной Осетии тоже были замечены уменьшения. Наблюдаются изменения и на юго-западе и северо-западе Европейской территории – в Брянской и Псковской областях - там значения количества осадков возросли. Более существенные изменения также можно проследить в восточной стороне – Пермский край и Республика Башкортостан. В г. Пермь значения осадков уменьшились, а в г. Уфа, напротив, немного увеличились. В северной части тоже замечены значительные изменения – в Республике Коми и Архангельской области количество осадков сильно уменьшилось.

5. Наибольший разброс в количестве осадков наблюдается на Северном Кавказе, что, очевидно связано с влиянием гор и активной конвекцией, характерной для этого региона. В остальных регионах Европейской территории России стандартное отклонение меньше, но в целом оно не значительное, значит можно говорить о достаточно однородном распределении осадков от года к году.

6. Выявлено общее повышение геопотенциала на 500 гПа, что может говорить об изменении (более северном положении ВФЗ). В дальнейшем планируется продолжить исследования изменения положения высотной фронтальной зоны как возможной причины изменения режима осадков. Также было бы интересно выделить 95 перцентиль в количестве осадков проанализировать режим только «экстремальных» осадков.

Таким образом, можно сделать вывод, что режим осадков имеет тенденцию к изменению, что говорит о необходимости более детального изучения факторов и проявлений, а также методов защиты от опасных явлений, которые возникают при экстремальных осадках.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климат Европейской территории России (<https://geographyofrussia.com/atmosfernye-osadki-v-rossii/>) [1].
2. Глобальное потепление (<https://ru.wikipedia.org/wiki/>) [2].
3. Пятый оценочный доклад МГЭИК ([https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf\\_download/3-Vladimir-Kattsov.pdf](https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/3-Vladimir-Kattsov.pdf)) [3].
4. Золотрыкин А.Н., Виноградова В.В., Глезер О.Б. природно-климатические условия и социально-географическое пространство России (<http://igras.ru/sites/default/filesB8.pdf>) [4].
5. Влияние явления Северо - Атлантическое колебание ([https://ru.frwiki.wiki/wiki/Oscillation\\_nord-atlantique](https://ru.frwiki.wiki/wiki/Oscillation_nord-atlantique)) [5].
6. Уткузова Д.Н., Вильфанд Р.М., Хан В.М., Ганиева Е.С. – статья о синоптическом анализе экстремальной засушливости и увлажненности на территории Российской Федерации (<https://cyberleninka.ru/article/n/sinopticheskiy-analiz-ekstremalnoy-zasushlivosti-i-uvlazhnennosti-na-territorii-rossiyskoy-federatsii/viewer>) [6].
7. Влияние блокирующих антициклонов (<https://cyberleninka.ru/article/n/sinopticheskiy-analiz-ekstremalnoy-zasushlivosti-i-uvlazhnennosti-na-territorii-rossiyskoy-federatsii/viewer>) [7].
8. Статья ВМО о влиянии Ла-Нинья на климат (<https://public.wmo.int/ru/media/>) [8].
9. Бикбулатова Г.Г. - статья о влиянии антропогенного фактора на климат (<https://cyberleninka.ru/article/n/o-vliyanii-antropogennogo-faktora-na-klimat/viewer>) [9].

10. Изменчивость климата на планете (<https://ru.wikipedia.org/wiki/>)  
[10].