



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: «Режим осадков и особенности его изменения на территории
Европы»

Исполнитель Ламберт Даниил Владимирович
(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)

« 11 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление	
ВВЕДЕНИЕ	2
1. Теоретические и методические основы исследования режима осадков	4
1.1 Понятие режима осадков и его основные характеристики	4
1.2 Факторы, влияющие на распределение осадков в Европе	6
1.3 Методы изучения режима осадков	8
2. Анализ пространственно-временного распределения режима осадков	10
2.1 Общая характеристика климатических поясов Европы и их влияние на осадки	10
2.2 Годовое распределение осадков	12
3. Анализ исследуемых данных	14
3.1 Визуализация полученных данных	14
3.2 Сравнительная характеристика расчетных данных с визуализированными данными	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	45

ВВЕДЕНИЕ

Режим осадков является одной из ключевых климатических характеристик, оказывающих значительное влияние на экосистемы, сельское хозяйство и водные ресурсы. В условиях глобального изменения климата, наблюдаемого в последние десятилетия, изучение режима осадков и его изменений приобретает особую актуальность. Европа, с ее разнообразными климатическими зонами и сложной орографией, представляет собой уникальную территорию для анализа метеорологических данных.

Глобальное потепление, вызванное антропогенными выбросами парниковых газов, усиливает климатические изменения и делает их последствия более значимыми. Повышение средней температуры Земли влияет на циркуляцию атмосферы и океанов, что, в свою очередь, изменяет режимы осадков и увеличивает частоту экстремальных погодных явлений. Это подчеркивает необходимость глубокого понимания и мониторинга изменений в режиме осадков для разработки адаптационных стратегий и минимизации негативных последствий.

В последние годы наблюдается увеличение частоты и интенсивности экстремальных осадковых событий, таких как интенсивные ливни и продолжительные засухи. Эти явления оказывают существенное влияние на гидрологический цикл, водные ресурсы и экосистемы региона. Понимание механизмов, лежащих в основе этих изменений, требует комплексного подхода, включающего анализ долгосрочных метеорологических наблюдений, использование климатических моделей и статистических методов.

Цель данного исследования — провести детальный анализ режима осадков на территории Европы, выявить основные тенденции и особенности его изменения, а также оценить потенциальные последствия для экосистем и человеческой деятельности. Исследование будет включать анализ временных

и пространственных вариаций осадков, изучение влияния климатических факторов и антропогенных воздействий на режим осадков, а также прогнозирование возможных сценариев развития климата в будущем.

Задачами данного исследования являются:

1. Ознакомиться с архивом данных о количестве осадков на территории Европы за 45 лет: с 1980– по 2024 годы;
2. Посчитать норму осадков, расположенных на территории Европы, описать реанализ MERRA-2, а также рассчитать аномалии осадков, сравнить со стационарными данными из архива ВНИИГМИ-МЦД
3. Определить относительную величину разброса годовых сумм осадков за периоды (промежутки) во всех пунктах для определения того, меняется ли разброс величин сумм осадков относительно средней (климатологической) величины по периодам.
4. Визуализировать и проанализировать все выполненные расчеты.

В качестве исходных данных использовались данные реанализа merra2, а также архив Мирового центра данных Всероссийского научно-исследовательского института. Данные были статистически обработаны с помощью CDO climate, визуализированы с помощью программного пакета Grads.

1. Теоретические и методические основы исследования режима осадков

1.1 Понятие режима осадков и его основные характеристики

Режим осадков представляет собой совокупность характеристик, описывающих распределение атмосферных осадков во времени и пространстве. Это важнейший компонент климатической системы, оказывающий непосредственное влияние на формирование природных ландшафтов, гидрологический режим рек, продуктивность сельскохозяйственных угодий и многие аспекты хозяйственной деятельности человека. В климатологии под режимом осадков понимают не только среднегодовое количество выпадающих осадков, но и их сезонное распределение, интенсивность, продолжительность, частоту выпадения и форму (жидкие, твердые или смешанные).

Ключевой характеристикой режима осадков является годовое количество осадков, измеряемое в миллиметрах водного слоя. На территории Европы этот показатель демонстрирует значительную пространственную изменчивость - от 2000-3000 мм в год в наветренных районах Скандинавских гор и западного побережья Норвегии до менее 500 мм в восточных районах Испании и Прикаспийской низменности. Такое распределение обусловлено прежде всего особенностями атмосферной циркуляции и орографией местности. Западные районы Европы, находящиеся под постоянным влиянием влажных воздушных масс с Атлантики, получают значительно больше осадков, чем континентальные регионы на востоке.

Не менее важной характеристикой является сезонное распределение осадков. В Европе можно выделить три основных типа сезонного хода осадков. Первый тип характерен для территорий с морским климатом

(Британские острова, запад Скандинавии, северо-запад Франции), где осадки распределены относительно равномерно в течение года с небольшим увеличением в зимние месяцы. Второй тип преобладает в районах с континентальным климатом (Восточная Европа, Украина, юг России), где максимум осадков приходится на летний период и часто связан с ливневыми дождями. Третий тип характерен для средиземноморского региона, где осадки выпадают преимущественно в холодный период года, а лето отличается выраженной засушливостью.

Интенсивность осадков - еще одна важная характеристика, определяющая их воздействие на природные системы и инфраструктуру. В Европе наиболее интенсивные осадки наблюдаются при прохождении активных атмосферных фронтов и в случаях развития конвективных процессов. Особенно сильные ливни характерны для южных районов континента в летний период, когда прогрев земной поверхности способствует развитию мощной конвекции. В последние десятилетия отмечается увеличение частоты экстремальных осадков, что связывают с процессами глобального потепления и увеличением влагосодержания атмосферы.

Форма выпадающих осадков также является важной составляющей их режима. В северных и горных районах Европы значительная часть осадков выпадает в твердом виде, формируя устойчивый снежный покров в зимний период. В южных регионах преобладают жидкие осадки даже в холодное время года. В переходные сезоны во многих районах наблюдаются смешанные осадки, что особенно характерно для центральных регионов континента.

Современные изменения климата приводят к заметным трансформациям режима осадков на европейском континенте. Наблюдается увеличение годовой суммы осадков в северных и северо-западных регионах при одновременном их уменьшении в южных, особенно средиземноморских районах. Учащаются случаи экстремальных осадков, что повышает риски наводнений и эрозионных процессов. Эти изменения требуют тщательного

изучения и учета при планировании хозяйственной деятельности и разработке мер адаптации к изменяющимся климатическим условиям.

1.2 Факторы, влияющие на распределение осадков в Европе

Распределение атмосферных осадков на территории Европы формируется под воздействием сложного комплекса факторов, среди которых ведущая роль принадлежит особенностям атмосферной циркуляции. Основным механизмом переноса влаги на континент является западный перенос воздушных масс, обусловленный преобладающим направлением ветров в умеренных широтах. Влажные воздушные массы, формирующиеся над Атлантическим океаном, приносят значительное количество осадков в западные регионы Европы. По мере продвижения на восток эти воздушные массы теряют влагу, что приводит к постепенному уменьшению количества осадков в континентальных районах. Важную роль в распределении осадков играет циклоническая деятельность - особенно интенсивная в холодный период года, когда над Северной Атлантикой формируется Исландский минимум. Траектории циклонов, движущихся с запада на восток, во многом определяют пространственное распределение осадков в Европе.

Орографический фактор оказывает существенное влияние на перераспределение осадков. Горные системы, такие как Альпы, Пиренеи, Карпаты и Скандинавские горы, выступают в качестве барьеров на пути влажных воздушных масс. На наветренных склонах этих горных систем наблюдается усиленное выпадение осадков вследствие орографического подъема и охлаждения воздуха, тогда как подветренные склоны часто оказываются в "дождевой тени" с относительно малым количеством осадков. Ярким примером такого контраста служат западные и восточные склоны Скандинавских гор, где разница в годовом количестве осадков может достигать 2000 мм.

Большое значение имеет влияние океанических течений, особенно Северо-Атлантического течения, которое является продолжением Гольфстрима. Теплые воды этого течения способствуют повышенному испарению и формированию влажных воздушных масс, которые затем переносятся на европейский континент. В северных широтах взаимодействие теплых морских течений с холодными арктическими воздушными массами создает условия для интенсивной циклонической деятельности и обильных осадков. В то же время в южных районах Европы, особенно в Средиземноморье, режим осадков во многом определяется сезонными изменениями атмосферной циркуляции, связанными со смещением зоны субтропического максимума.

Широтная зональность также играет важную роль в формировании режима осадков. В высоких широтах (север Скандинавии, Кольский полуостров) количество осадков относительно невелико из-за преобладания холодных воздушных масс с ограниченной влагоемкостью. В умеренных широтах, где активно проявляется западный перенос, наблюдается максимальное увлажнение. Еще южнее, в субтропическом поясе, количество осадков снова уменьшается, особенно в летний период, когда эти районы оказываются под влиянием субтропического антициклона.

Антропогенные факторы в последние десятилетия стали оказывать все более заметное влияние на режим осадков. Урбанизация, изменение характера землепользования, вырубка лесов и другие виды хозяйственной деятельности могут приводить к локальным изменениям в распределении осадков. Особенно это заметно в крупных городских агломерациях, где формируется особый городской микроклимат с повышенной вероятностью ливневых осадков. Глобальные климатические изменения, связанные с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, также вносят коррективы в традиционные схемы распределения осадков на европейском континенте.

1.3 Методы изучения режима осадков

Изучение режима атмосферных осадков в Европе осуществляется с помощью комплекса методов, включающих как традиционные инструментальные наблюдения, так и современные спутниковые и компьютерные технологии. Наиболее надежным и проверенным временем методом остаются наземные измерения на метеорологических станциях, которые обеспечивают длительные ряды наблюдений с высокой точностью. Стандартные осадкомеры и плювиографы, установленные на сети метеостанций WMO, позволяют фиксировать количество, интенсивность и продолжительность выпадения осадков. В горных районах особое значение имеют высокогорные метеостанции, данные которых помогают понять орографический эффект в распределении осадков. Для измерения твердых осадков используются специальные снегомерные рейки и снегомерные курсы, а также радиационные методы оценки снежного покрова.

С 1970-х годов существенно расширились возможности изучения осадков благодаря развитию радиолокационных методов. Метеорологические радиолокаторы, объединенные в общеевропейскую сеть, позволяют отслеживать пространственное распределение и движение осадкообразующих систем в реальном времени. Радарные измерения особенно ценны для изучения экстремальных осадков и кратковременных ливней, которые часто не фиксируются редкой сетью наземных станций. Современные доплеровские радиолокаторы дополнительно предоставляют информацию о вертикальной структуре облаков и интенсивности осадков. В последние два десятилетия революцию в изучении осадков совершили спутниковые системы дистанционного зондирования. Пассивные микроволновые радиометры на спутниках (например, TRMM, GPM) позволяют оценивать интенсивность осадков над океанами и труднодоступными районами, в то время как инфракрасные и видимые каналы геостационарных спутников (Meteosat) обеспечивают непрерывный мониторинг облачных систем.

Важным инструментом исследования стали реанализы - ретроспективные модели атмосферы, объединяющие наблюдения с численными прогнозами (ERA5, MERRA-2). Эти продукты обеспечивают согласованные пространственно-временные данные об осадках за многолетний период, что особенно ценно для изучения климатической изменчивости. Для анализа долгопериодных изменений режима осадков используются методы статистической обработки временных рядов, включая анализ трендов, спектральный анализ и выявление циклических компонент. При изучении экстремальных осадков применяются методы теории экстремальных значений и анализ повторяемости редких событий.

Перспективным направлением является использование изотопных методов, позволяющих изучать происхождение и историю влаги в осадках. Измерения соотношения стабильных изотопов кислорода и водорода в пробах осадков помогают понять механизмы их формирования и пути транспорта влаги. В последние годы активно развиваются методы машинного обучения для прогнозирования осадков и выявления сложных нелинейных взаимосвязей в их пространственно-временном распределении. Комплексное применение этих разнообразных методов позволяет получать наиболее полную и достоверную информацию о режиме осадков на территории Европы, что имеет важное значение как для фундаментальной климатологии, так и для прикладных задач гидрологии, сельского хозяйства и управления водными ресурсами.

2. Анализ пространственно-временного распределения режима осадков

2.1 Общая характеристика климатических поясов Европы и их влияние на осадки

Европа, несмотря на относительно небольшую территорию, отличается значительным разнообразием климатических условий, что обусловлено ее географическим положением, особенностями атмосферной циркуляции и сложностью рельефа. В пределах континента можно выделить четыре основных климатических пояса, каждый из которых характеризуется уникальным режимом осадков.

Арктический климатический пояс охватывает крайние северные территории Европы, включая острова Северного Ледовитого океана и северное побережье Скандинавии. Для этого пояса характерно небольшое годовое количество осадков (300-400 мм), основная часть которых выпадает в виде снега. Низкие температуры воздуха в течение большей части года ограничивают влагосодержание атмосферы, что объясняет скудность осадков. Максимум осадков обычно наблюдается в конце лета - начале осени, когда относительно теплые воздушные массы проникают в арктический регион. Особенностью этого пояса является длительный период (7-9 месяцев) с устойчивым снежным покровом и преобладанием пасмурной погоды.

Умеренный климатический пояс занимает большую часть Европы и подразделяется на три основных типа климата. Морской умеренный климат характерен для западных и северо-западных регионов (Британские острова, запад Франции, Нидерланды, запад Скандинавии). В этих районах под постоянным влиянием влажных атлантических воздушных масс выпадает значительное количество осадков (800-1500 мм в год), распределенных

относительно равномерно в течение года с небольшим увеличением в осенне-зимний период. Континентальный умеренный климат преобладает в Восточной Европе (восток Польши, Украина, Беларусь, европейская часть России) и отличается меньшим годовым количеством осадков (500-700 мм) с выраженным летним максимумом, связанным с конвективными процессами. Переходный от морского к континентальному климат характерен для Центральной Европы (Германия, Австрия, Чехия), где осадки распределены более равномерно, но с заметным влиянием орографического фактора в горных районах.

Субтропический средиземноморский климатический пояс охватывает южные районы Европы (Испания, Италия, Греция, юг Франции). Для этого пояса характерно резко выраженное сезонное распределение осадков с максимумом в холодный период года и практически полным отсутствием осадков летом. Годовое количество осадков варьирует от 400-600 мм в прибрежных районах до 1000-1500 мм в горных областях. Летняя засуха обусловлена влиянием субтропического антициклона, тогда как зимние осадки связаны с прохождением циклонов средиземноморского фронта. Особенностью этого пояса является высокая интенсивность осадков, часто приводящая к эрозионным процессам.

В горных районах Европы (Альпы, Пиренеи, Карпаты) формируется особый горный тип климата, характеризующийся вертикальной зональностью в распределении осадков. Как правило, количество осадков увеличивается с высотой до определенного уровня (часто около 2000-2500 м), после чего начинает уменьшаться. На наветренных склонах гор годовое количество осадков может достигать 2000-3000 мм, тогда как в межгорных долинах и на подветренных склонах оно значительно меньше. В зимний период преобладают твердые осадки, формирующие мощный снежный покров, что имеет важное значение для формирования речного стока в весенне-летний период.

Изменение климата в последние десятилетия приводит к определенным трансформациям в режиме осадков всех климатических поясов Европы. Наиболее заметными тенденциями являются увеличение количества осадков в северных районах и уменьшение - в южных, рост интенсивности экстремальных осадков, а также изменения в сезонном распределении осадков, особенно в переходных сезонах. Эти процессы требуют постоянного мониторинга и изучения, так как оказывают существенное влияние на все компоненты природной среды и хозяйственную деятельность человека.

2.2 Годовое распределение осадков

Годовое количество осадков на территории Европы демонстрирует выраженную пространственную неоднородность, обусловленную комплексным взаимодействием факторов атмосферной циркуляции, орографии и близости к океаническим бассейнам. Наиболее увлажнёнными регионами континента являются западные и северо-западные территории, находящиеся под постоянным влиянием влажных воздушных масс с Атлантики. Максимальные годовые суммы осадков (2000-3000 мм и более) зафиксированы на наветренных склонах горных систем - в западной части Скандинавских гор, Шотландском нагорье, Альпах, Динарских горах и Пиренеях. Здесь орографический подъём воздушных масс приводит к их интенсивному охлаждению и конденсации влаги. Особенно выделяется район горы Крконоше в Чехии, где среднегодовое количество осадков достигает 1500 мм, и западное побережье Норвегии с показателями до 3000 мм в отдельных локациях.

Среднегодовые суммы осадков в пределах 800-1500 мм характерны для большей части Западной и Центральной Европы, включая Британские острова, Францию, Германию, Польшу и Прибалтику. В этих регионах осадки распределены относительно равномерно в течение года с небольшим увеличением в осенне-зимний период. По мере продвижения на восток

континента годовые суммы осадков постепенно уменьшаются до 500-700 мм в восточных районах Польши, Украины и европейской части России, что связано с ослаблением влияния атлантических воздушных масс и возрастанием континентальности климата.

Южные районы Европы демонстрируют сложную картину распределения осадков, определяемую сочетанием средиземноморского климата и орографических эффектов. В прибрежных районах Средиземноморья годовые суммы осадков составляют 400-600 мм с резко выраженным зимним максимумом, тогда как в горных районах Апеннин, Балкан и Пиренеев они могут достигать 1000-2000 мм. Минимальные годовые суммы осадков в Европе (менее 300 мм) наблюдаются в юго-восточных районах Испании (район Альмерии), на отдельных участках побережья Каспийского моря и в арктических районах России.

Особый интерес представляет сезонная динамика осадков в различных регионах Европы. В западных и северных районах максимум осадков приходится на осенне-зимний период, когда особенно активна циклоническая деятельность над Атлантикой. В восточных и северо-восточных регионах большая часть осадков выпадает летом в виде ливневых дождей, связанных с конвективными процессами. В средиземноморском регионе до 70% годовой суммы осадков выпадает в период с октября по март, тогда как летние месяцы отличаются крайней засушливостью.

Современные климатические изменения приводят к заметным трансформациям в годовом распределении осадков. Наблюдается увеличение годовых сумм осадков в северных и северо-западных регионах Европы (на 10-20% за последние 50 лет) и их уменьшение в южных, особенно средиземноморских районах. Учащаются случаи экстремальных осадков, что проявляется в росте числа дней с интенсивными ливнями. Эти тенденции имеют важные последствия для водного баланса территорий, сельского хозяйства и управления водными ресурсами в европейском регионе.

3. Анализ исследуемых данных

В качестве современного глобального набора данных реанализа использовалась MERRA-2, разработанный NASA для воспроизведения и анализа климатических и погодных процессов, данные доступны с 1980 г и до настоящего времени. Реанализ представляет собой метод, при котором данные численного моделирования атмосферы комбинируются с многочисленными наблюдениями (спутниковыми, наземными, авиационными и др.) для получения непрерывных и согласованных временных рядов климатических переменных.

В ходе работы были рассчитаны нормы осадков за период с 1980 по 2024 год для каждого месяца. После этого были рассчитаны аномалии для периодов с 1985 по 2004 г и с 2005 по 2024 гг. Такой временной промежуток был выбран из-за того, что это два последовательных двадцатилетия, для которых интересно сравнить изменения в контексте ускорения глобального потепления. Согласно многим исследованиям после 2000 года идет ускорение глобальных изменений, это связано как с высокой концентрацией парниковых газов, так и с перестройкой циркуляции атмосферы. Так, в пятерку самых теплых лет входят исключительно последнее десятилетие. Было интересно посмотреть, как это сказывается на изменении осадков.

3.1 Визуализация полученных данных

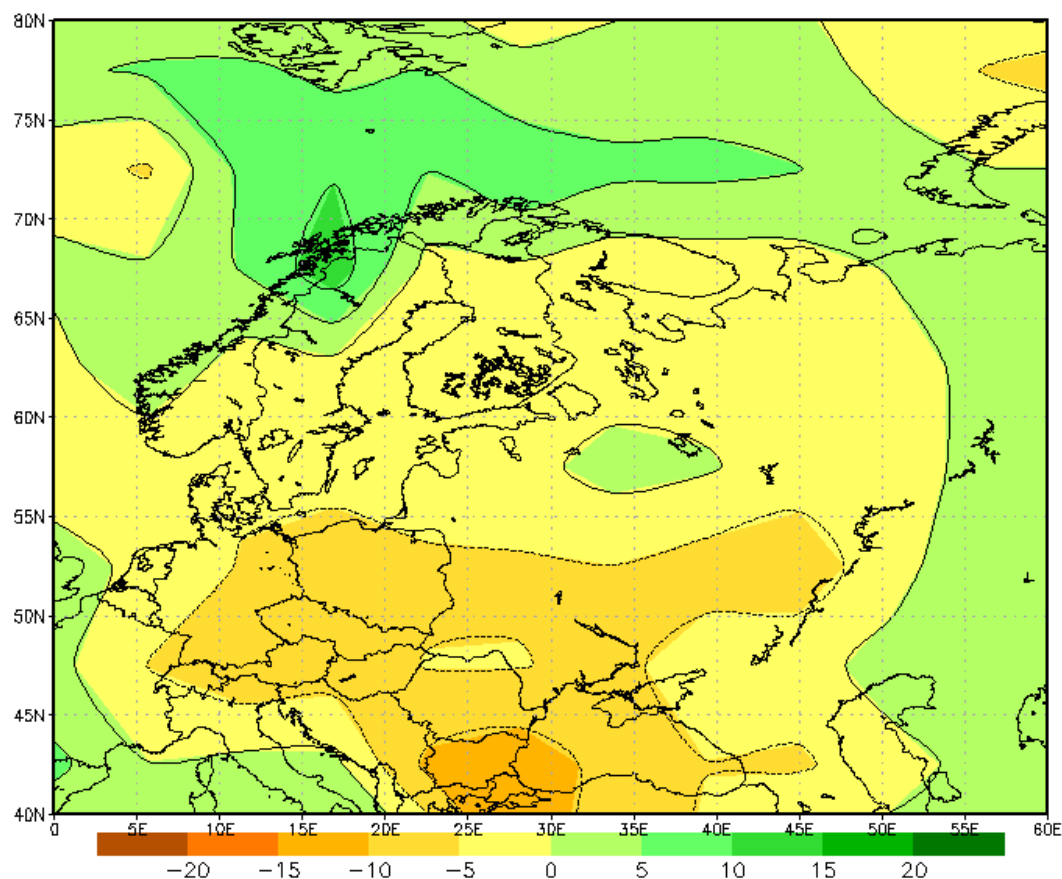


Рисунок 3.1–Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Январь

Анализируя полученные данные, можно заметить, что на территории Европы и Европейской части России наблюдались отрицательные аномалии осадков в этот период. Наиболее сильные отрицательные аномалии наблюдались на территории южной Европы и России, а самыми переувлажненными северная часть Норвегии и территория над Атлантическим океаном и Норвежским морем.

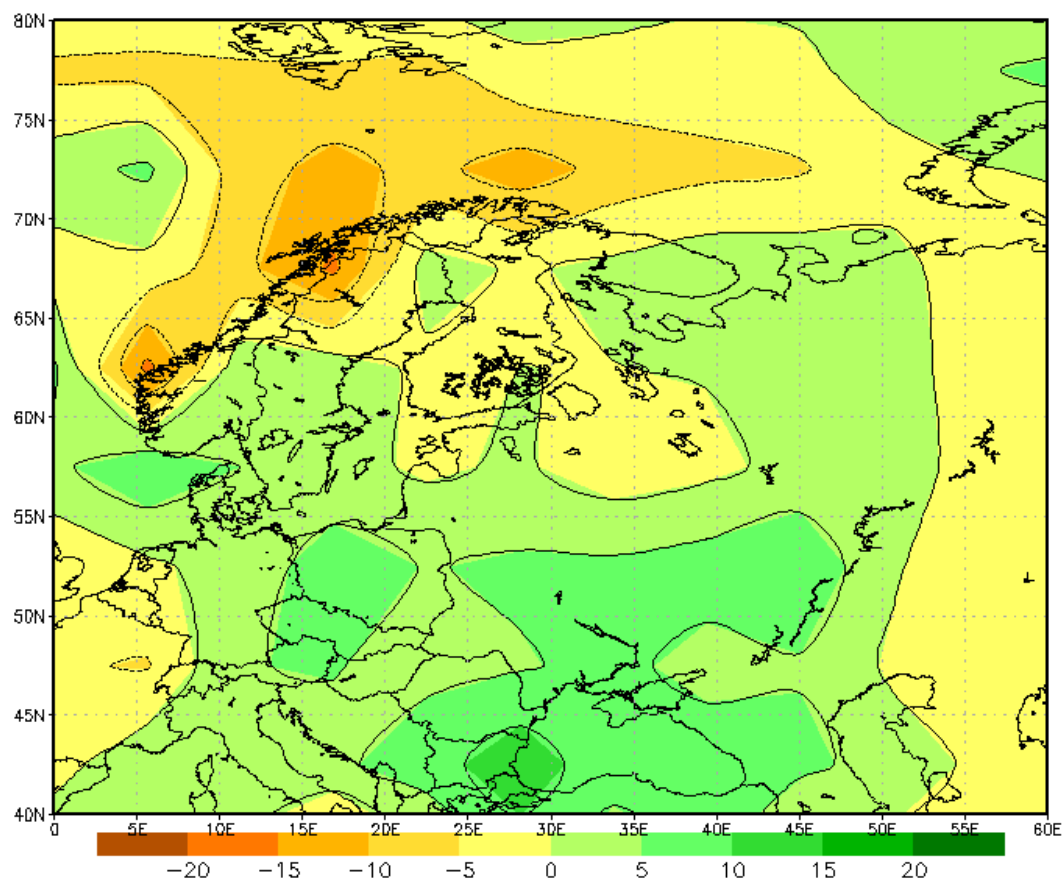


Рисунок 3.2 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Январь

Ситуация с режимом осадков в рассматриваемый период полностью изменилась: отрицательные аномалии стали испытывать северная часть Норвегии, Норвежское море и Атлантика, а переувлажненными относительно нормы стали юг Европы и центральная часть России.

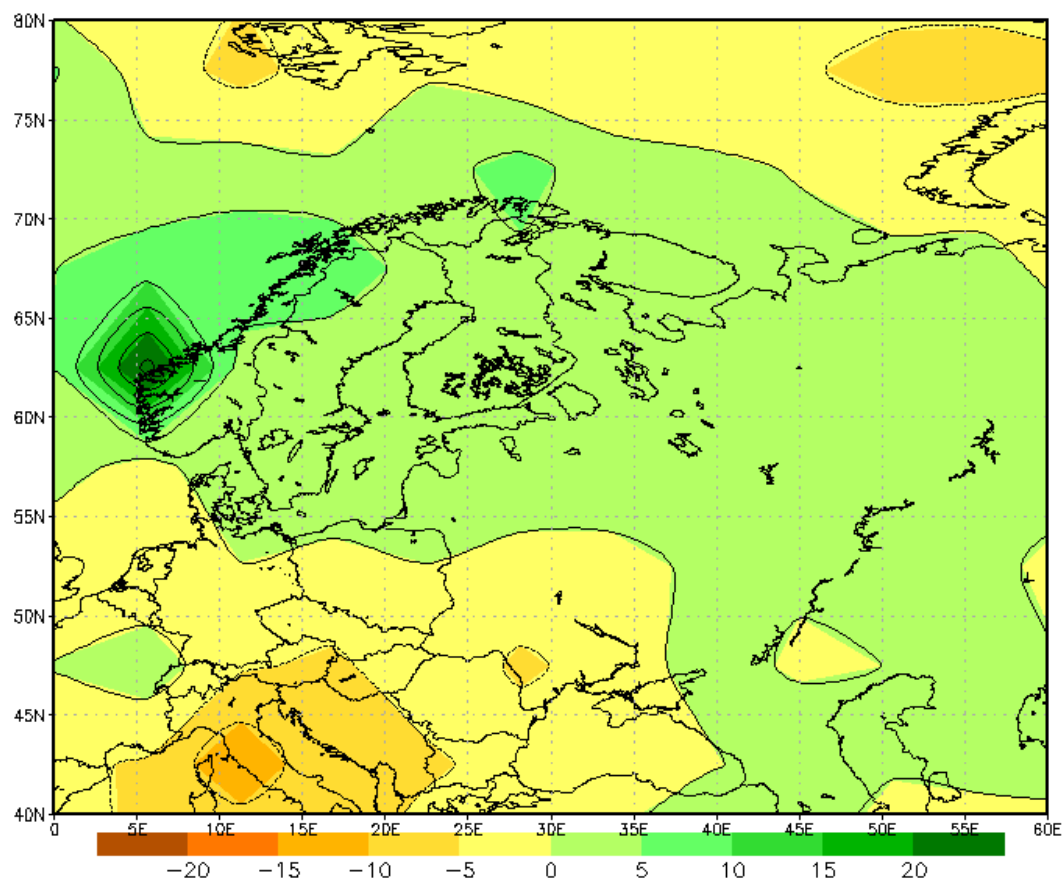


Рисунок 3.3 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Февраль

В феврале прошлого десятилетия можно увидеть, что большая часть территории Европы и России были богаты на осадки, особенно влажные очаги наблюдались над западной частью Норвегии. Отрицательные аномалии были на юге и юго-востоке Европы, а также южной части России.

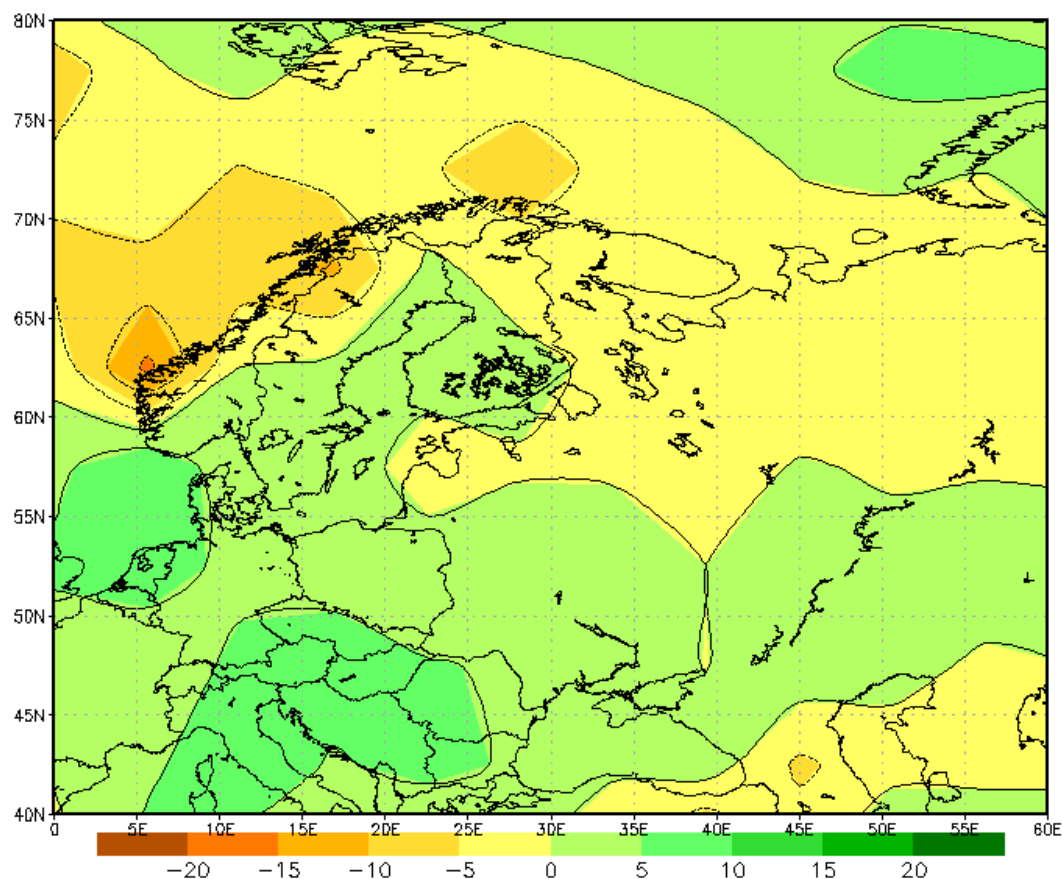


Рисунок 3.4 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Февраль

Режим осадков, сравнивая с прошлым двадцатилетием, изменился. Положительные аномалии осадков теперь наблюдаются на большей части Европы, особенно изменения видны на юге. Отрицательные аномалии осадков наблюдаются в западной части Норвегии, над Атлантическим океаном и северной частью России.

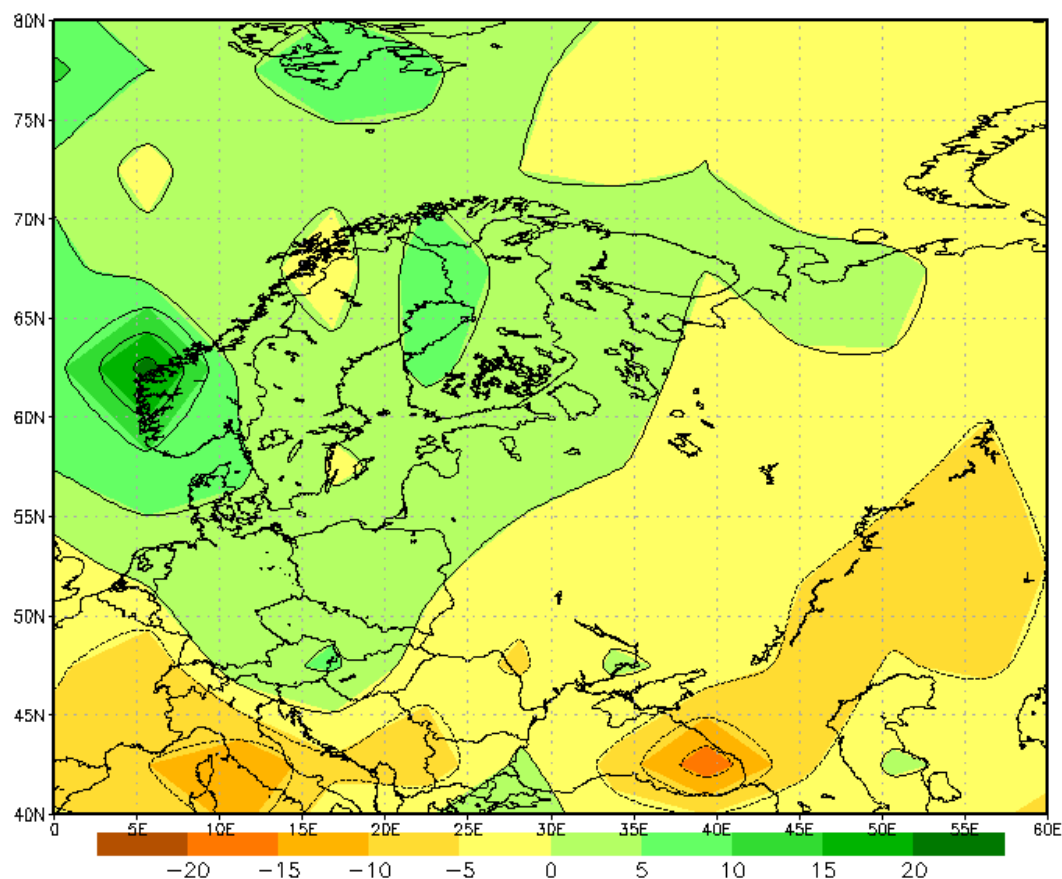


Рисунок 3.5 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Март

В марте режим осадков был довольно интересный. Большая часть России и также южная часть Европы испытывали дефицит осадков, а самыми влажными были такие регионы как западная часть Норвегии, часть Норвежского моря, территория Атлантики и практически вся Европа.

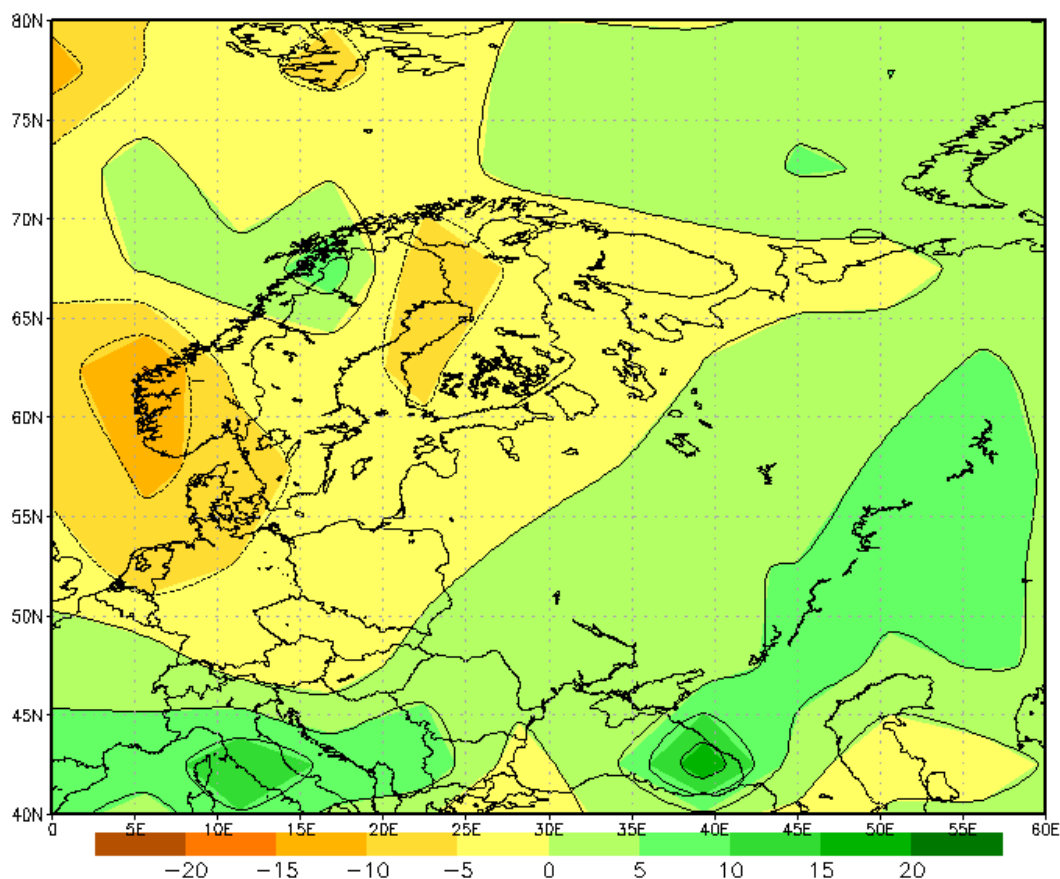


Рисунок 3.6 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Март

В следующем двадцатилетии ситуация опять изменилась. Практически вся территория России, Баренцево и Карское море, а также территория юга Европы и северная часть Норвегии стали более влажными. Большая часть Европы, особенно запад Норвегии и Финляндии напротив стали испытывать дефицит осадков относительно нормы.

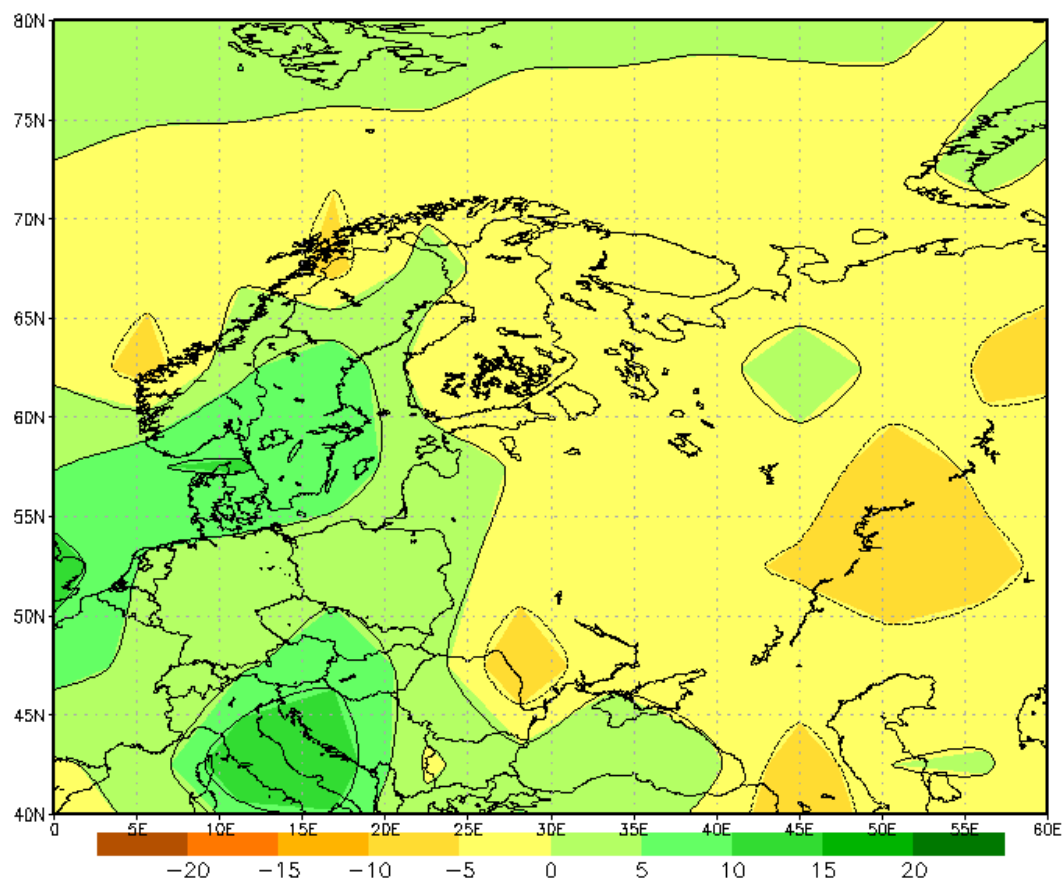


Рисунок 3.7 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Апрель

Рассматривая ситуацию прошлого двадцатилетия, мы видим, что вся территория Атлантического океана, северных морей и территория России были сухими. Вся западная часть Европы и ее центр были влажными.

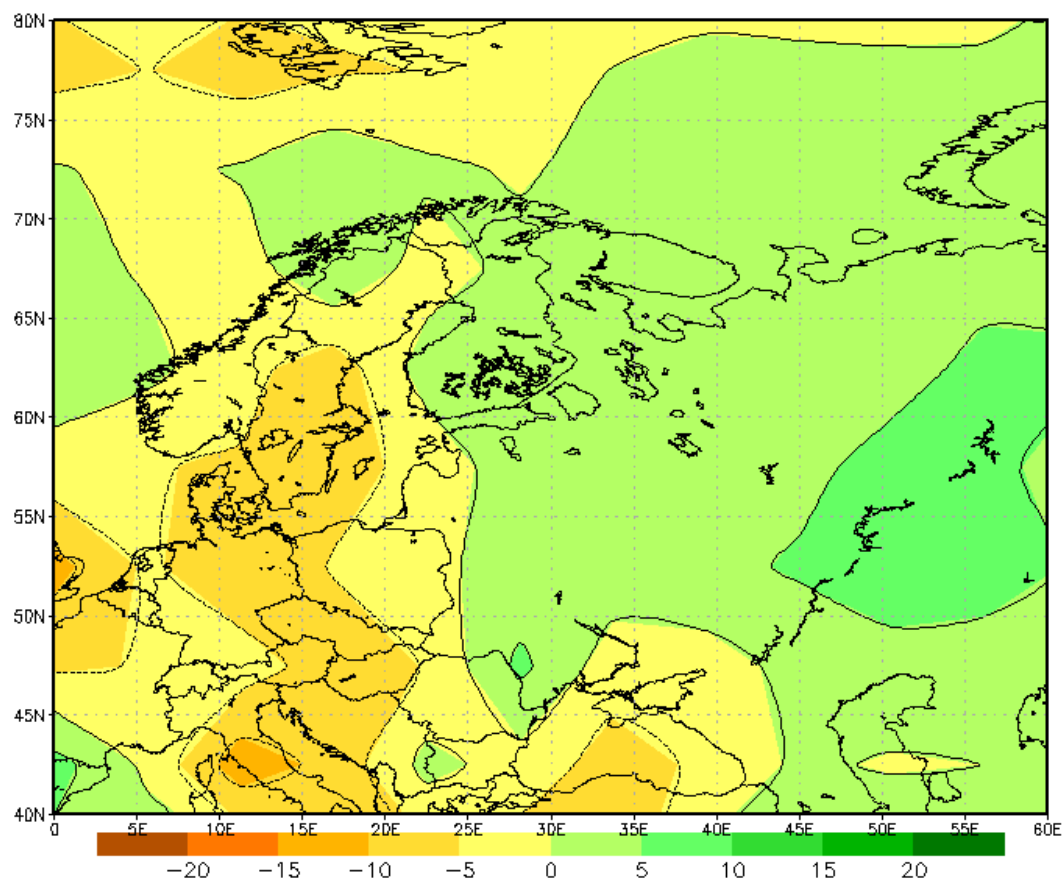


Рисунок 3.8 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Апрель

В следующем двадцатилетии большая часть Европы, а также часть Атлантики испытывали дефицит осадков, а остальная часть Европы и Россия - переувлажненными.

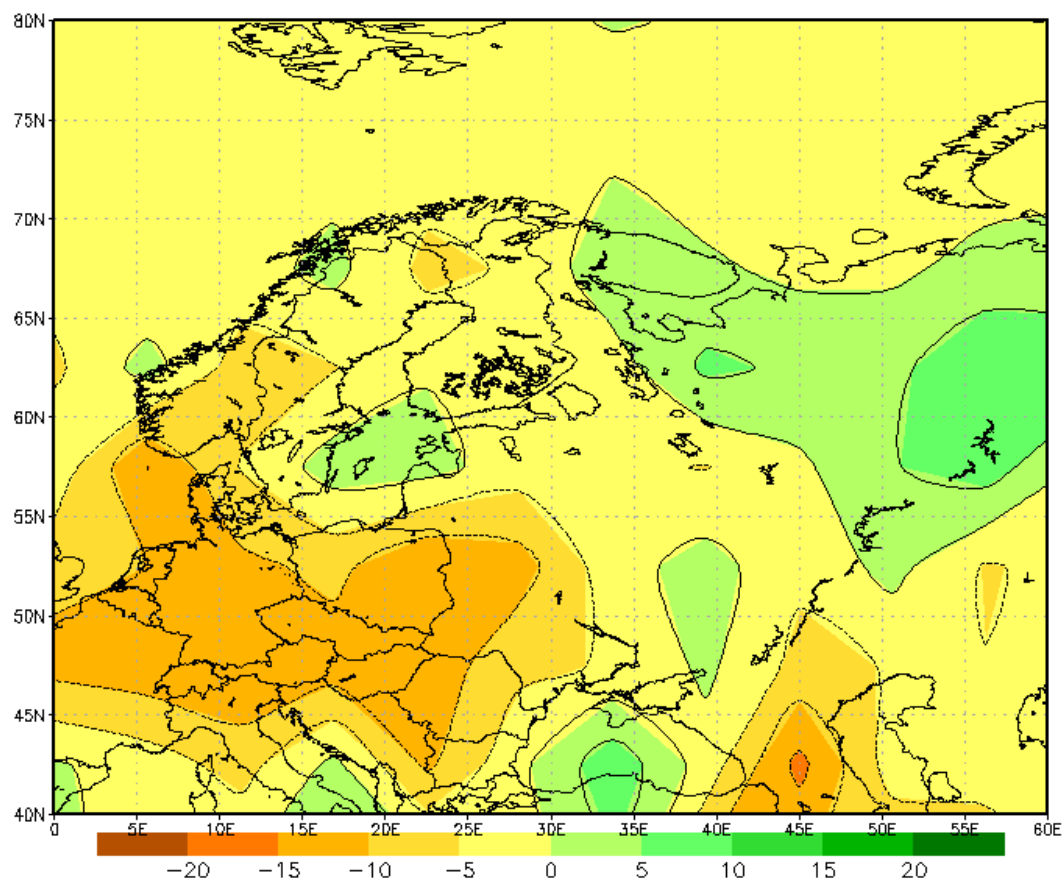


Рисунок 3.9 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Май

В прошлом двадцатилетии вся территория Европы была ниже нормы, особенно сухие очаги наблюдались на юго-западе и юге Европы. На севере России аномалии осадков были положительные.

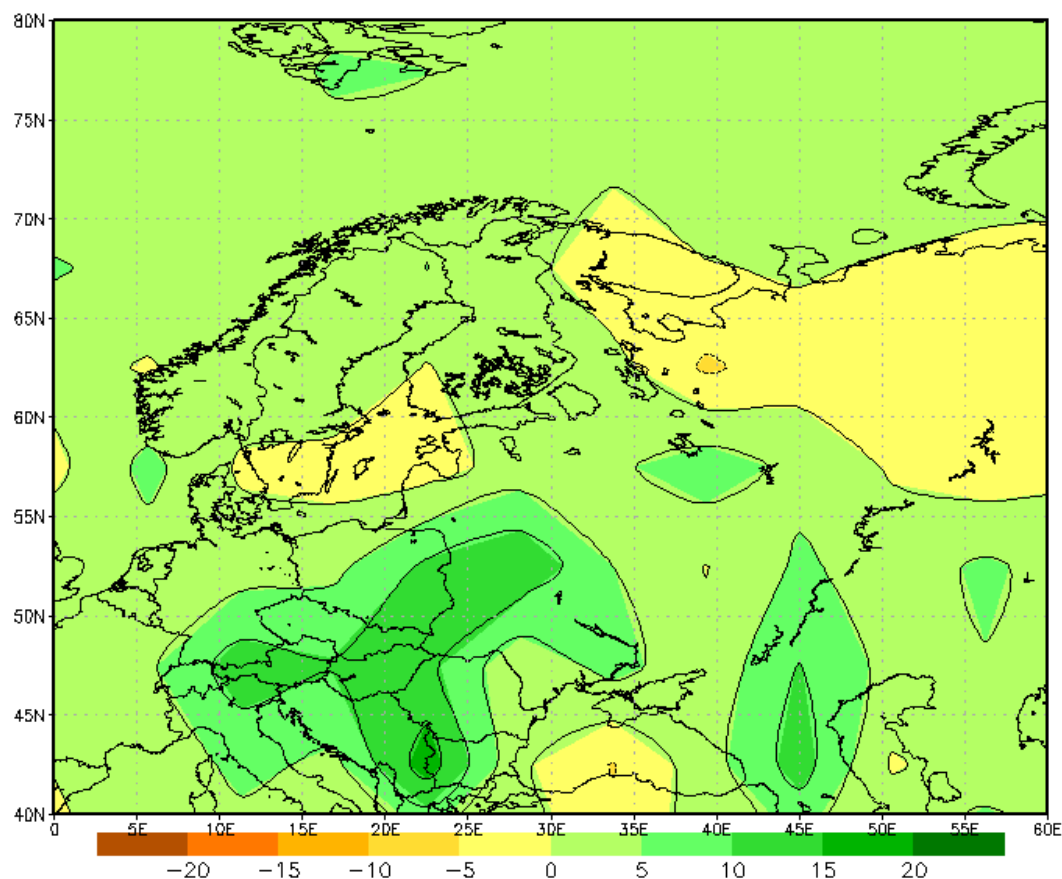


Рисунок 3.10 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Май

В период с 2005-2024 года территория Европы, за исключением ее центральной части стала довольно влажной, особенно важные очаги наблюдались над югом Европы, а северная часть России стала испытывать дефицит осадков.

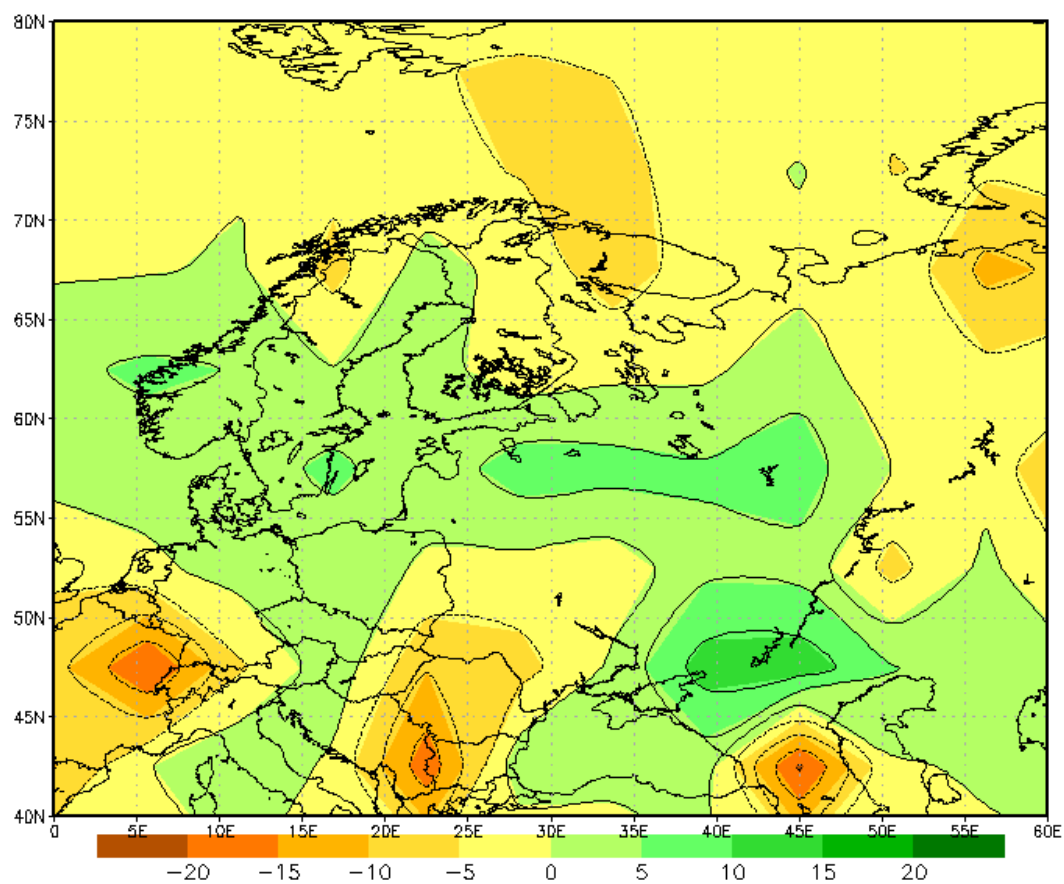


Рисунок 3.11 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Июнь

Центральная часть Европы и России, а также некоторые страны на юге в прошлом периоде были влажными, а территория над Северо-Атлантическим океаном, а также юго-запад и юг Европы испытывали дефицит осадков в этот месяц.

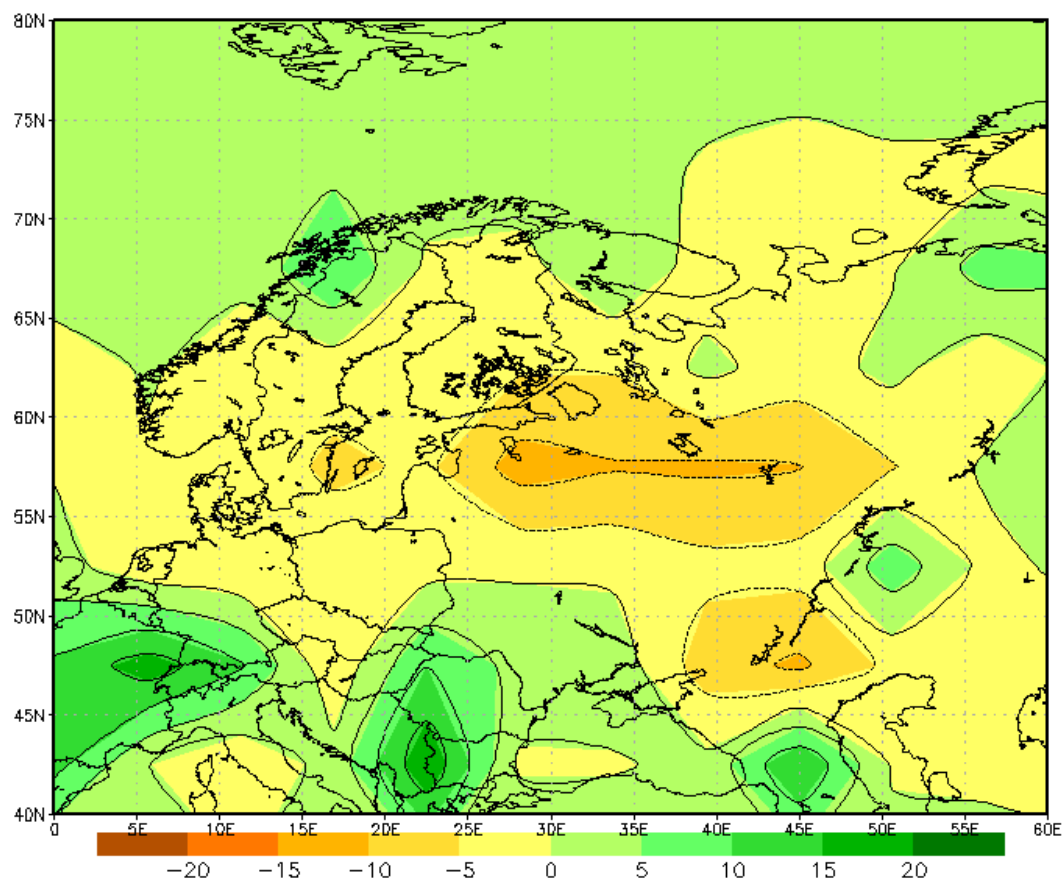


Рисунок 3.12 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Июнь

В период с 2005 по 2024гг. ситуация режима осадков в июне полностью изменилась и теперь сухие очаги наблюдаются над центральной частью России, на юге России и центральной частью Европы, влажными стали Атлантика, юг и юго-запад Европы.

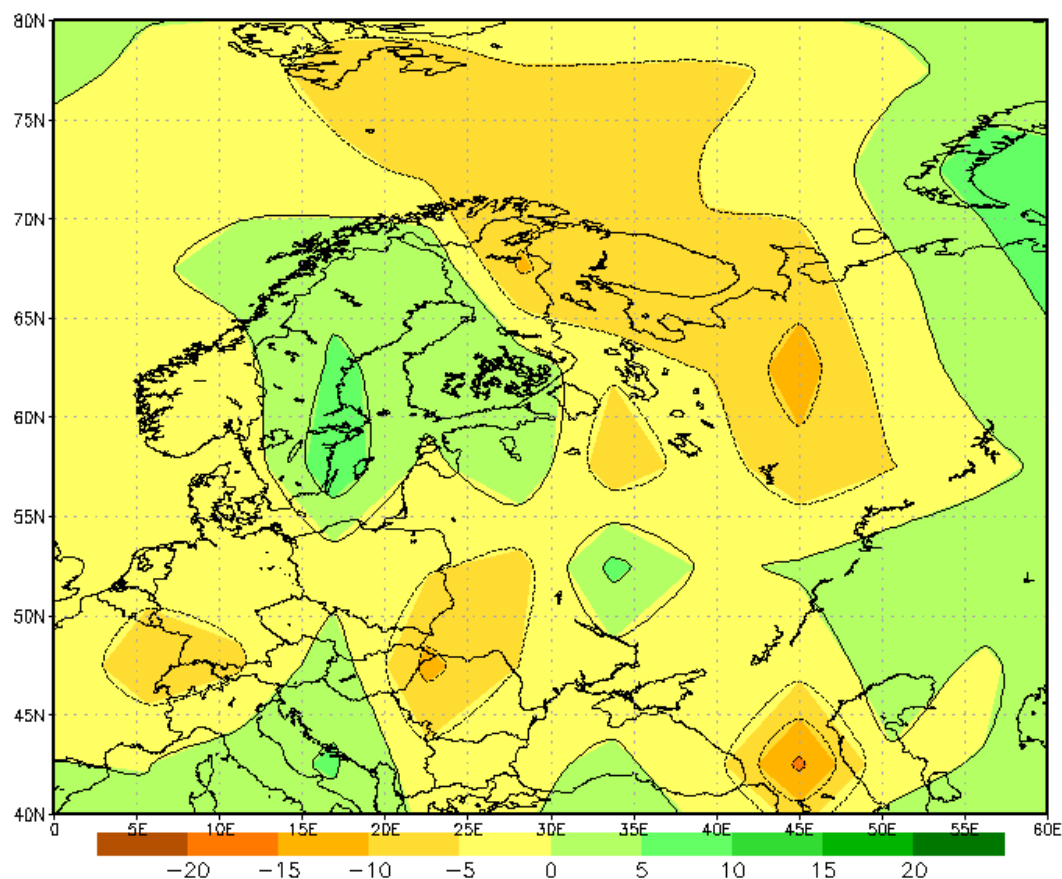


Рисунок 3.13 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Июль

В прошлом двадцатилетии, в июле почти вся исследуемая территория испытывала дефицит осадков, за исключением территории Норвегии, Финляндии и Финского залива, а также юга Европы. На остальной части территории осадков было ниже нормы. Большие очаги дефицита осадков наблюдались над территорией Атлантического океана и до центральной части России.

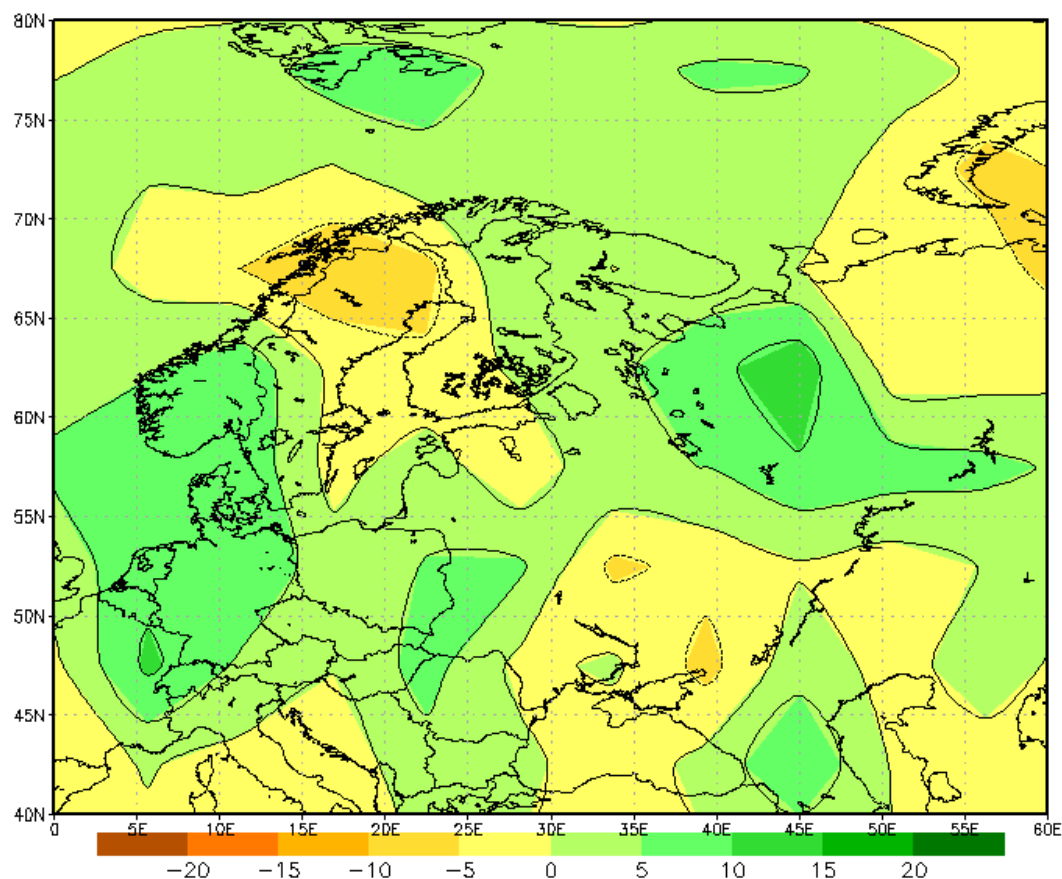


Рисунок 3.14 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Июль

В период с 2005 по 2024 года большая часть территории Европы, а также территории России и Атлантического океана стали более влажными, а юг России, территории Норвегии, Финского залива и Финляндии, и часть Европейской территории России стали суше.

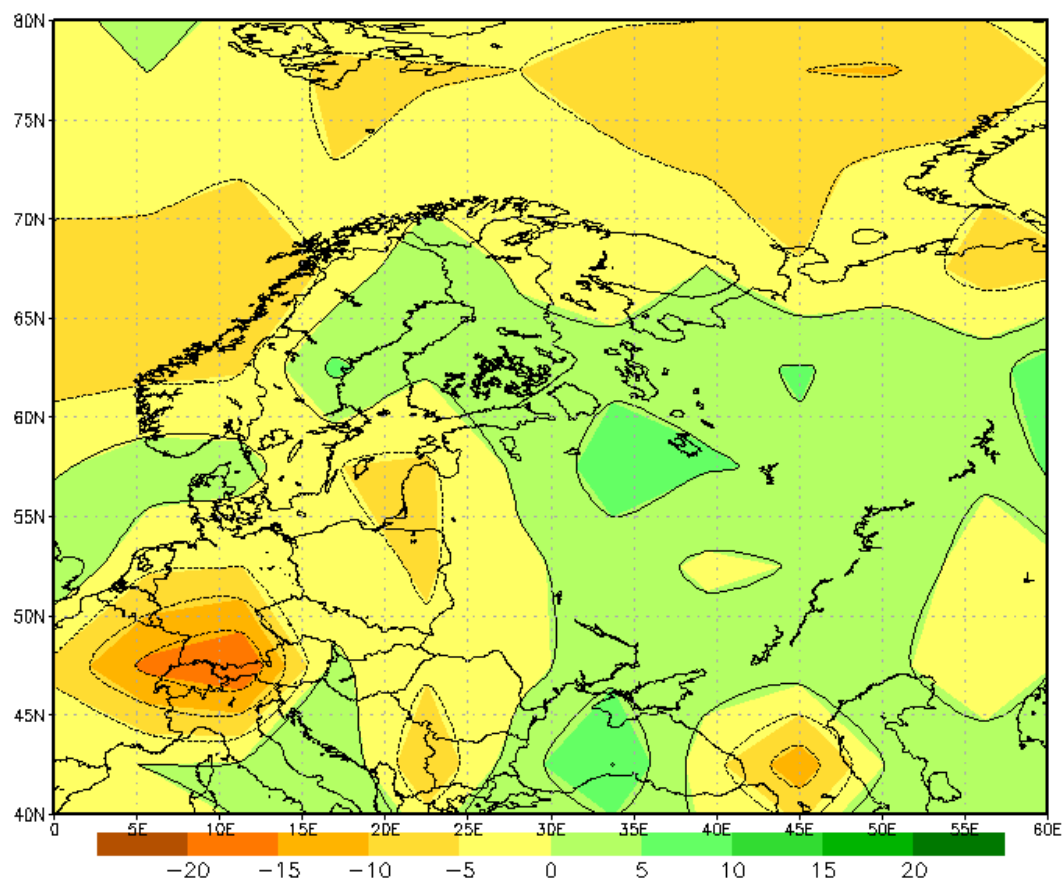


Рисунок 3.15 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Август

Меньше нормы осадков в этот период наблюдались над территориями Атлантики, юго-запада России, Норвежского моря, центральной части Европы. Часть Финляндии, Финского залива и центральной части России были довольно влажными территориями.

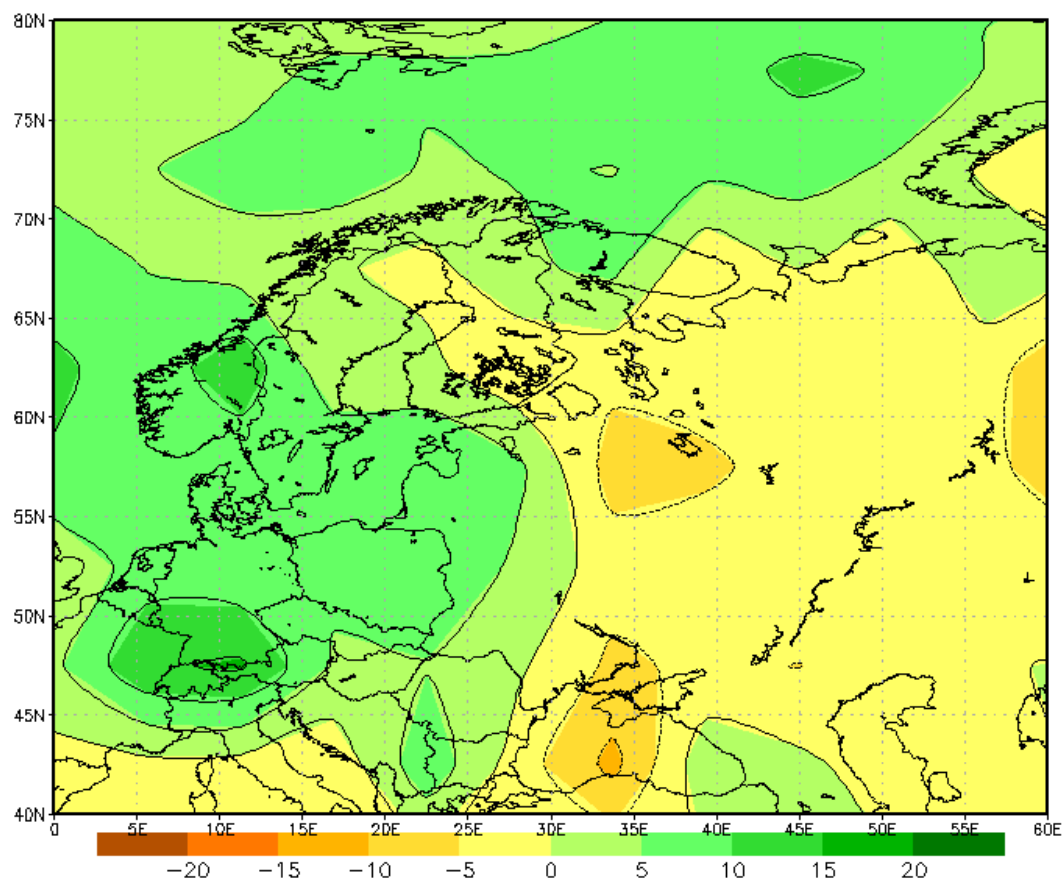


Рисунок 3.16 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Август

В период с 2005 по 2024 гг. основная часть Европы, а также Атлантического океана стали влажнее, остальная часть исследуемой территории стала испытывать дефицит осадков в это время года.

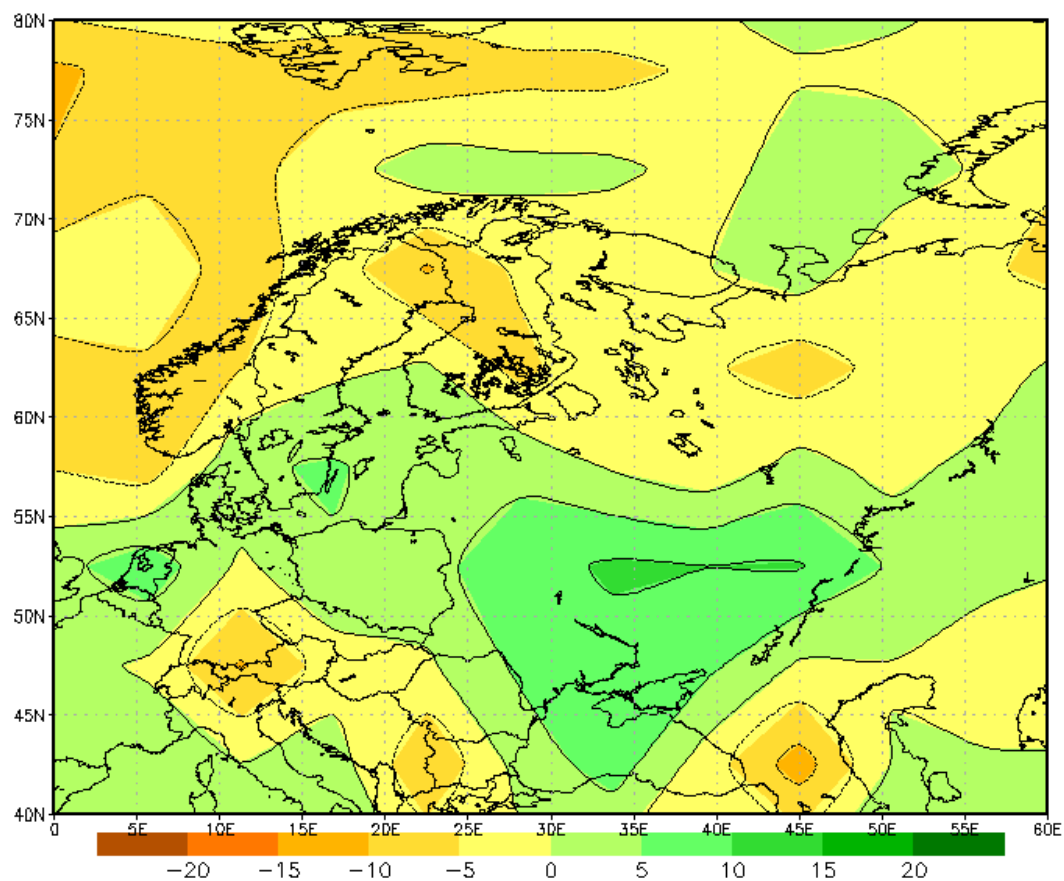


Рисунок 3.17 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Сентябрь

Территория Атлантики, северная часть Европы и России в прошлое двадцатилетие испытывали дефицит осадков. Осадков выше нормы было в центре Европы, а также на юге России.

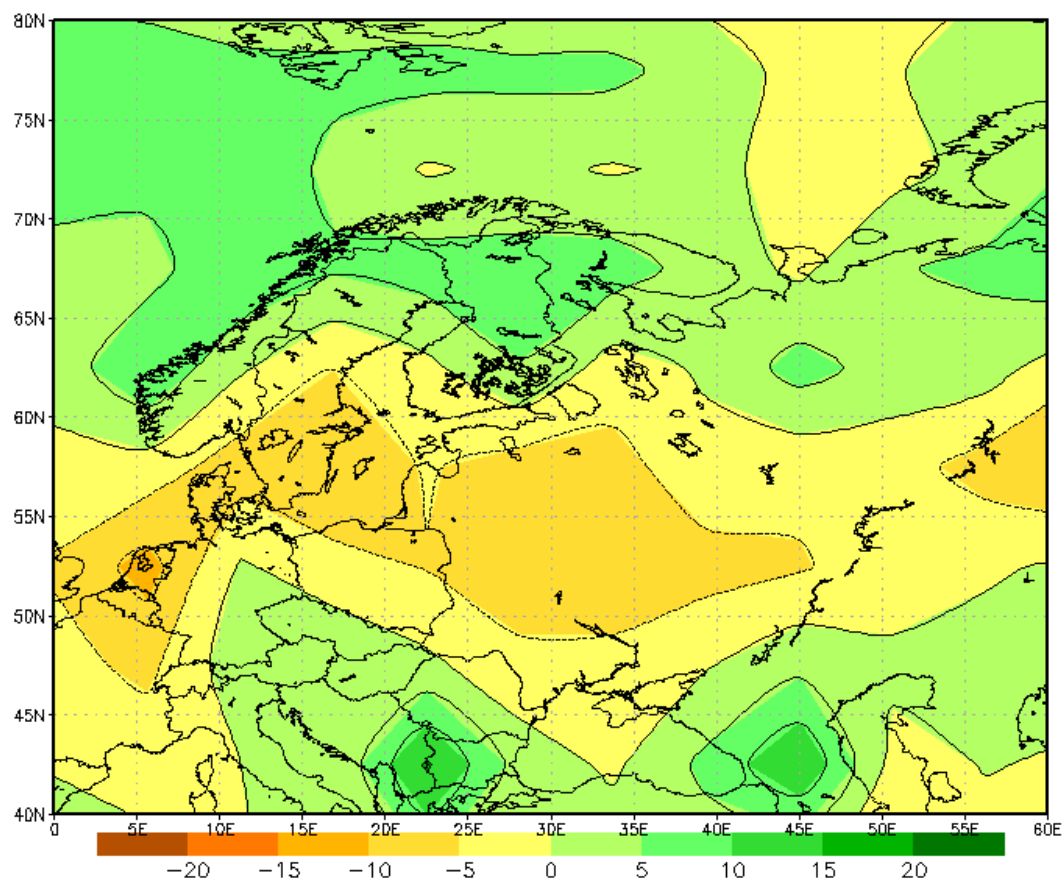


Рисунок 3.18 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Сентябрь

В настоящее время наблюдаются сильные изменения в режиме осадков. Территория Атлантического океана, север России и юг стали более влажными, по сравнению с прошлым годом. Центральная часть территории Европы и России стали более сухими.

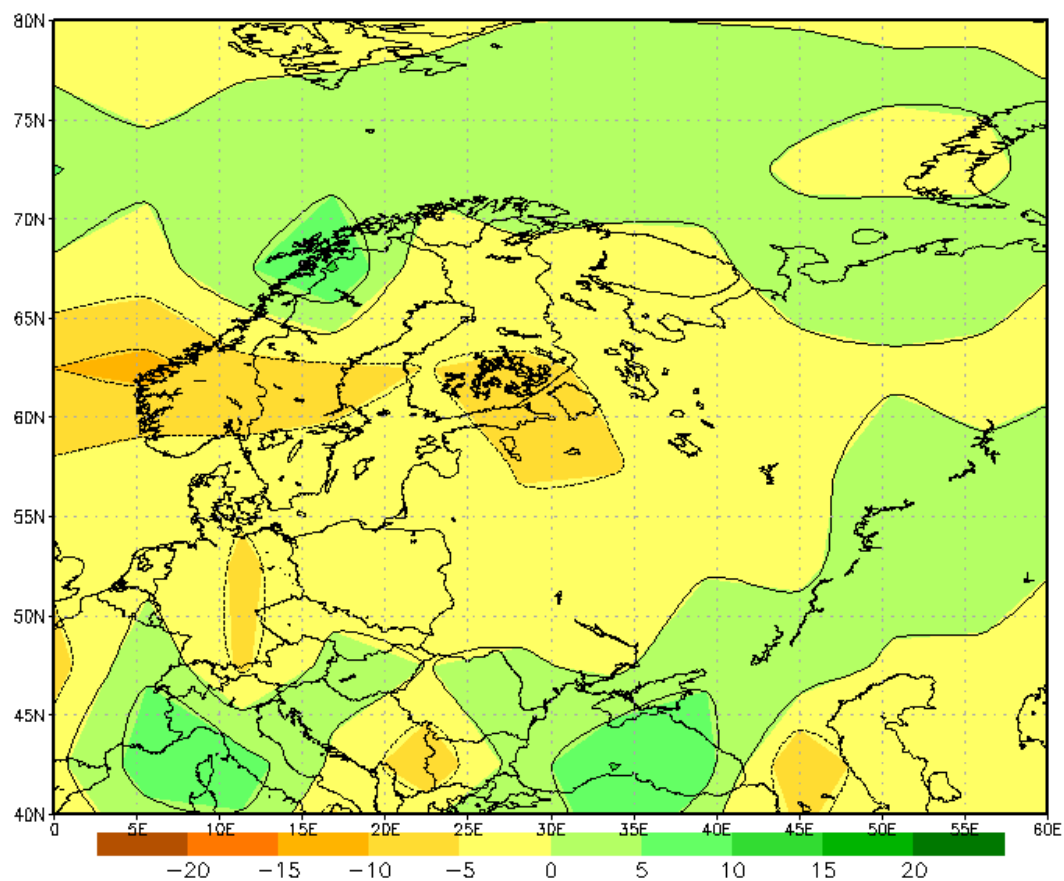


Рисунок 3.19 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Октябрь

В период с 1985 по 2004 год осадков ниже нормы почти на всей исследуемой территории, за исключением юга Европы, севера Норвегии и территории Атлантического океана.

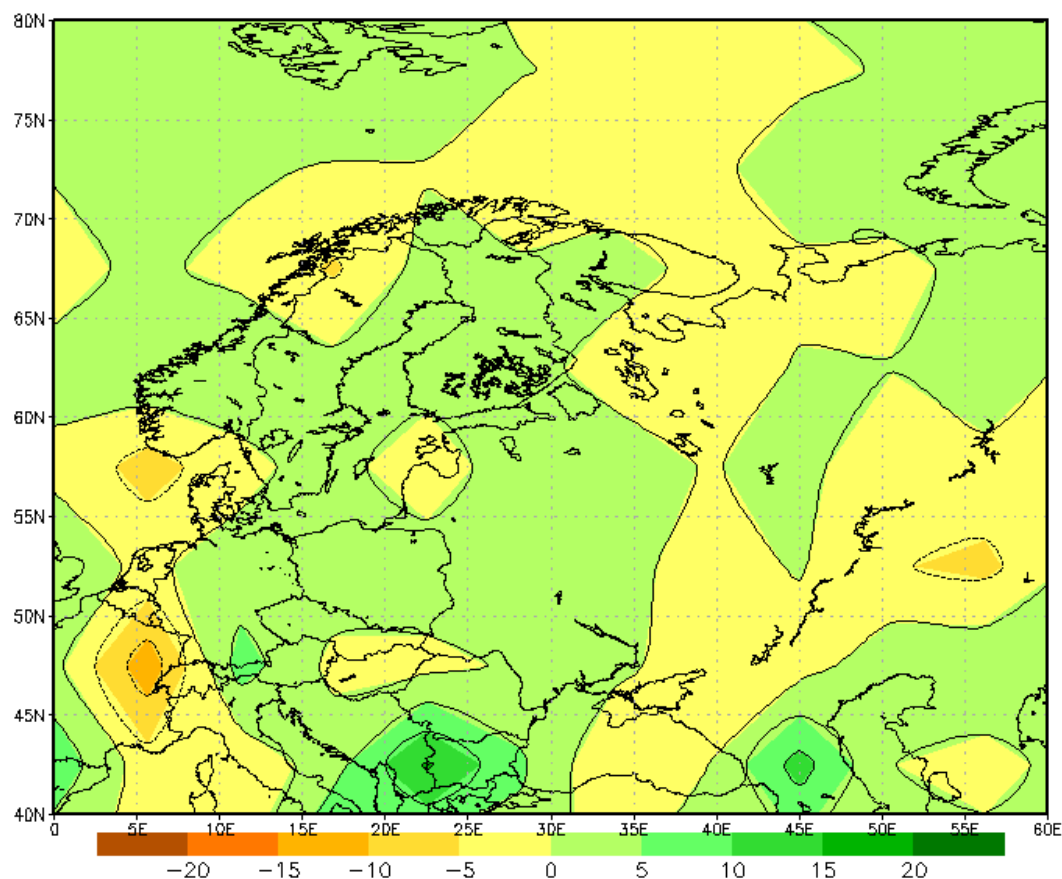


Рисунок 3.20 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Октябрь

В октябре в период с 2005 по 2024 год территория Европы, за исключением центральной части и запада была с осадками выше нормы, остальная часть исследуемой территории стала ниже нормы, по сравнению с прошлым двадцатилетием.

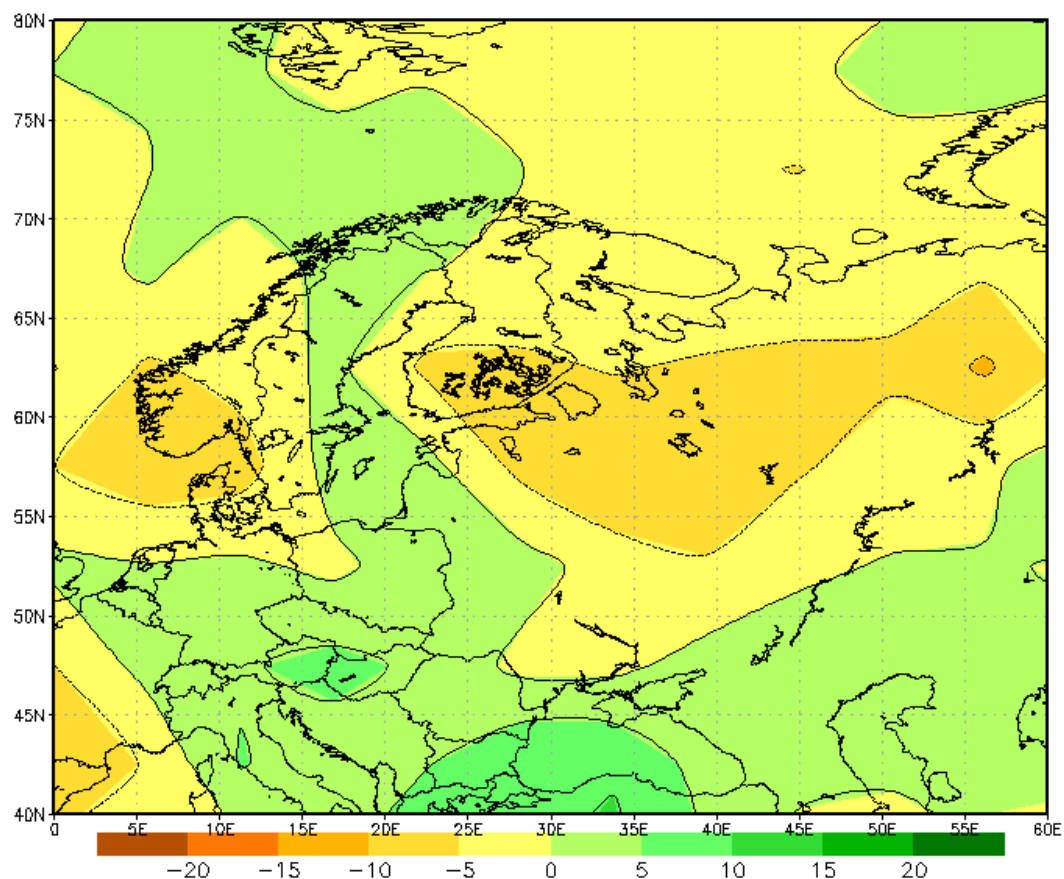


Рисунок 3.21 – Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Ноябрь

В прошлом двадцатилетии в ноябре в центральной части России и на юге России, над частью Атлантики и западом Европы осадков было ниже нормы. На части Норвегии, центра Европы и юг Европы, а также юга России и частью Атлантического океана осадков было выше нормы.

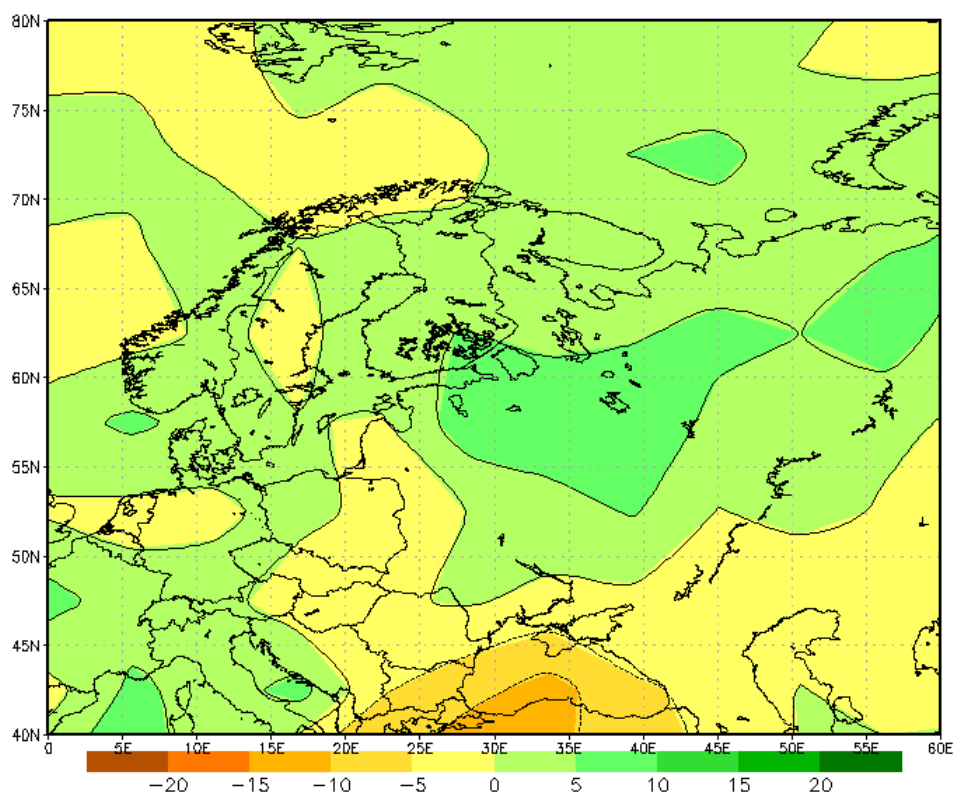


Рисунок 3.22 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Ноябрь

Режим осадков по сравнению с прошлым двадцатилетием изменился. Над большей частью России, над частью Атлантического океана и основной частью Европы стало влажнее. Над южной частью исследуемой части, частью Атлантического океана и норвежским морем осадки стали ниже нормы.

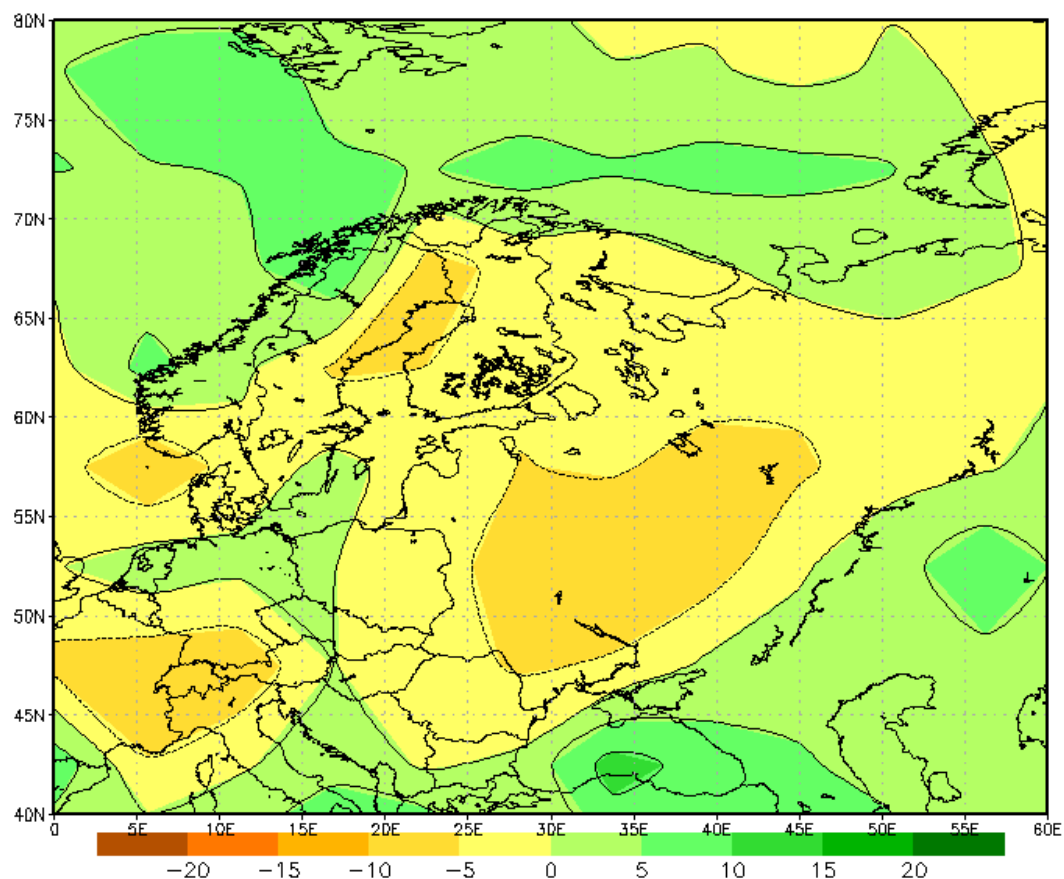


Рисунок 3.23– Аномалии осадков за период 1985-2004гг. Декабрь

Территория Атлантического океана, юг Европы и восточная часть России были более влажными территориями, а центральная часть Европы и России, а также юго-запад Европы в прошлом двадцатилетии были суше.

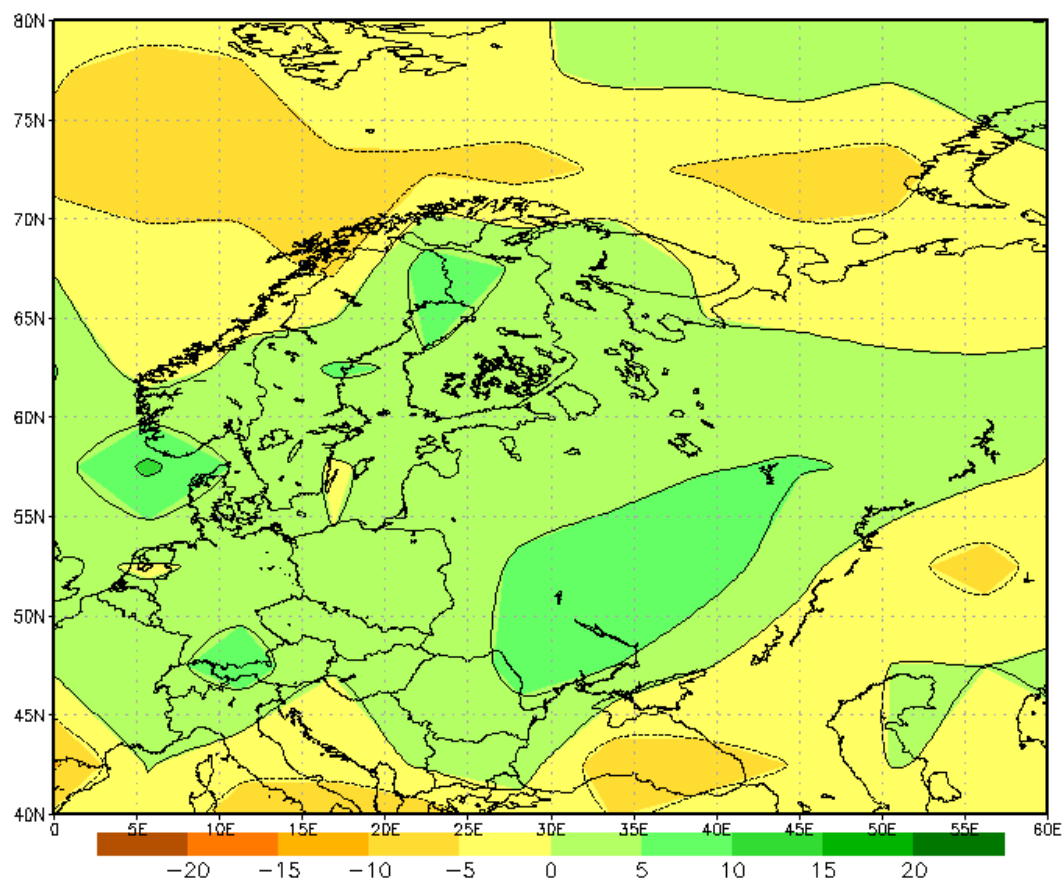


Рисунок 3.24 – Аномалии осадков за период 2005-2024гг. Декабрь

В период с 2005 по 2024 год территория над Атлантическим океаном и югом Европы были с осадками ниже нормы, а остальная часть Европы и России стали с положительными аномалиями.

Проанализировав полученные данные, получилось увидеть, что распределение осадков зимой в Европе сильно меняется не только от месяца к месяцу, но и на масштабах десятилетий. Наиболее тревожный сигнал замечен в январе и феврале - это смещение зон дефицита осадков в более поздний период (2005-2024гг) на север Европы и северо-запад России, включая региона, традиционно считавшиеся влажными (Скандинавии, особенно запад Норвегии).

Основным фактором крупномасштабной атмосферной циркуляции, который мог способствовать уменьшению зимних осадков в Скандинавии, - отрицательная фаза Североатлантического колебания. (убывает давление в Исландском циклоне и Азорском антициклоне, уменьшается выраженная зональность переноса с Атлантики). То есть возникают более выраженные меридиональные залоки над Скандинавией. Из Арктики они приносят холодный, но сухой воздух (арктический воздух содержит мало влаги). С материка (Евразии): также приносят более холодный и сухой воздух по сравнению с атлантическим.

В контексте глобального потепления Арктическое усиление (усиленное потепление в Арктике) может способствовать большей частоте и устойчивости отрицательных фаз САК, так как уменьшение разницы температур между Арктикой и средними широтами ослабляет струйное течение, делая его более меандрирующим (что соответствует ослаблению зонального переноса и отрицательной САК).

Летом картина обратная: переувлажнение запада/центра + дефицит осадков относительно нормы на юге/востоке (особенно в июне и августе). Причинами могут быть: Атлантические циклоны активнее проникают вглубь континента, рост испарения с океана: из-за глобального потепления - больше влаги в циклонах.

3.2 Сравнительная характеристика расчетных данных с визуализированными данными

Так как в большинстве случаев по данным реанализа картина вышла почти противоположная, то было решено пересчитать аномалии по реальным данным для некоторых из станций, доступных во ВНИИГМИ-МЦД.

Расчетные данные по Мурманску за каждый месяц

Таблица 3.1 Аномалии осадков(1985-2004гг)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
-4.70	-0.58	-6.48	-2.76	-1.58	-7.05	-4.64	0.65	-1.71	-0.09	1.17	-2.58

Таблица 3.2 Аномалии осадков (2005-2024гг)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
4.85	3.40	8.06	3.80	4.05	-0.10	0.70	2.12	6.30	2.85	-1.94	2.65

Сравнивая визуализированные данные, полученные при помощи MERRA-2 было выяснено, что расчетные данные за все месяцы, за исключением февраля, марта и мая совпали. В месяцы, когда данные не совпали, по данным с метеостанции данные показывают противоположные результаты.

Расчетные данные по Санкт-Петербургу за каждый месяц:

Таблица 3.3 Аномалии осадков(1985-2004гг)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
-4.88	-1.83	-1.21	-1.31	1.09	2.95	3.15	-2.18	1.30	-4.93	-4.46	-6.65

Таблица 3.4 Аномалии осадков(2005-2024гг)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
4.23	4.58	1.79	4.12	0.16	-3.70	1.38	8.85	-5.97	-2.01	3.06	0.43

Проанализировав данные по аномалиям режима осадков, выяснилось, что данные MERRA-2 не во все месяцы совпадают с расчетными данными. Отклонения проявились в октябре в период с 2005 года по 2024 год, в сентябре с 1985 года по 2004 год, а также в августе, марте и феврале.

Расчетные данные по Архангельску за каждый месяц:

Таблица 3.5 Аномалии осадков(1985-2004гг)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
-1.49	1.24	1.57	-3.24	1.51	0.25	-10.44	-2.28	1.39	0.06	4.24	-1.70

Таблица 3.6 Аномалии осадков (2005-2024)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
2.09	0.31	0.26	4.84	-0.03	3.03	7.90	6.53	-0.60	1.77	-6.71	1.26

Расчетные данные по городу Архангельск во многих месяцах имеют расхождение с визуализированными данными в такие месяцы как май, июнь, август, сентябрь и ноябрь.

Расчетные данные по Калининграду за каждый месяц:

Таблица 3.7 Аномалии осадков(1985-2004гг)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
-6.38	4.41	-0.64	2.93	-2.86	7.27	-56.59	-8.12	9.34	-0.12	-0.89	3.90

Таблица 3.8 Аномалии осадков (2005-2024)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
4.10	0.18	0.32	-3.55	2.82	-10.67	71.72	8.74	-11.01	-7.24	-0.77	-5.88

Данные по MERRA-2 имеют схожие значение с расчетными, но имеют ряд отклонений в такие месяцы как январь (2005-2024гг.), март, май, декабрь (2005-2024гг.).

Расчетные данные по Минску за каждый месяц:

Таблица 3.9 Аномалии осадков (1985-2004)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
-4.47	2.12	2.18	2.33	-11.41	2.26	1.57	-2.25	15.20	11.80	-0.45	-2.55

Таблица 3.10 Аномалии осадков (2005-2024)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
4.30	0.76	-2.70	0.43	8.93	-5.99	5.40	5.63	-11.11	-10.98	1.85	-1.20

По городу Минск расчетные данные отличаются от визуализированных в декабре (2005-2024гг.), ноябре(1985-2004гг.) и октябре.

Расчетные данные по Нижнему Новгороду за каждый месяц:

Таблица 3.11 Аномалии осадков (1985-2004)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
-1.43	-0.08	2.87	-2.91	1.55	7.42	0.93	11.92	0.77	-0.02	0.36	-6.18

Таблица 3.12 Аномалии осадков (2005-2024)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
0.88	1.67	0.70	3.65	-2.88	-9.54	-1.64	-12.84	-1.70	1.31	-2.12	7.13

Проанализировав данные по городу Нижний Новгород, получилось, что визуализированные данные почти полностью совпали с данными, которые были рассчитаны. Исключением стали такие месяцы как ноябрь и август.

Расчетные данные по Астрахани за каждый месяц:

Таблица 3.13 Аномалии осадков (1985-2004)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1.68	0.04	-1.38	-1.28	-5.32	6.26	8.28	9.55	-0.47	-2.21	3.69	1.31

Таблица 3.14 Аномалии осадков (2005-2024)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
-1.01	1.68	2.70	2.57	2.37	-6.38	-7.21	-9.02	-0.02	2.28	-2.41	0.29

Данные по городу Астрахань совпали не во все месяцы. Расхождения в аномалиях были в такие месяцы как январь, декабрь, июль, июнь и ноябрь.

Рассмотрев все случаи по выбранным городам, можно сделать вывод о том, то данные, полученные по MERRA-2 не во все месяца совпадают. Причины различий могут быть в следующем: для оценки общего хода

аномалий в качестве исходных данных бралась достаточно грубая сетка 5×5^0 . Такие данные уже имелись в архиве лаборатории по гидродинамическому моделированию и их не нужно было скачивать дополнительно. Более высокое разрешение в разрезе 40 лет бы имело бы очень большой объем, когда как задача работы – оценить общий фон аномалий. Для анализа согласованности со стационарными данными в будущем следует привлечь их большее количество и также осреднить по ячейкам сетки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была проведена оценка режима осадков на территории Европы. Исследование помогло выявить изменения режима осадков за период с 1985 по 2024.

Исследование включило в себя анализ временных и пространственных изменений осадков. Анализ данных показал, что режим осадков полностью изменился с прошлого десятилетия: территории, которые испытывали дефицит осадков стали более влажными и наоборот. На эти изменения повлияли как антропогенные факторы, так и глобальное потепление, которое сыграло ключевую роль в распределении осадков на территории Европы и европейской территории России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климат Европы в условиях глобального потепления / А.И. Золотокрылин, Е.А. Черенкова. – СПб.: Гидрометеиздат, 2019. – 320 с.
2. Семенов В.А. "Экстремальные осадки в Европе: роль блокирующих антициклонов" // Известия РАН. Серия географическая. – 2021. – № 3. – С. 78-92.
3. Семенов В.А. "Экстремальные осадки в Европе: роль блокирующих антициклонов" // Известия РАН. Серия географическая. – 2021. – № 3. – С. 78-92.
4. База данных Всемирной метеорологической организации (WMO)[Электронный ресурс]: <https://climatedata-catalogue.wmo.int>
5. Метра-2 [Электронный ресурс]– База данных Всемирной метеорологической организации (WMO): <https://climatedata-catalogue.wmo.int>
6. Официальный сайт Росгидромета [Электронный ресурс]: <http://www.meteorf.ru>
7. Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2023 год / Росгидромет. – М., 2024.
8. "Изменение сезонного распределения осадков в Центральной Европе" / K. Trnka et al. // International Journal of Climatology. – 2020. – Vol. 40. – P. 1234-1250.