



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: «Исследование связи погодных условий на ЕТР и динамики
стратосферы»

Исполнитель Плотникова Ксения Александровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)
Ефимова Юлия Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(фамилия, имя, отчество)

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«30» мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ДИНАМИКА СТРАТОСФЕРЫ И ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ТРОПОСФЕРОЙ.....	4
1.1 Строение и вертикальная структура атмосферы.....	4
1.2 Квазидвухлетние колебания.....	15
1.3 Исходные данные и методы расчета	19
2. АНАЛИЗ ПОГОДЫ (ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА) НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ.....	22
2.1 Выделение дат сильных аномалий на исследуемой территории	22
2.2 Связь выявленных аномалий с циркуляцией в тропосфере.....	36
3. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В СТРАТОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ АНОМАЛИЙ ПОГОДЫ В ТРОПОСФЕРЕ.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	73
Список используемых источников.....	75
Приложение.....	77

ВВЕДЕНИЕ

Человеческая жизнь на Земле сильно зависит от погодных условий. Влияние стихии, её воздействие на все сферы человеческой жизни неоспоримо – всё, начиная от возможности передвижения на кораблях, самолётах, поездах, заканчивая физическим комфортом, находится под влиянием погоды. Отсюда возникает необходимость прогноза столь сильно воздействующих на человеческую жизнь условий, вместе с этим требуется информация о процессах, происходящих в атмосфере: условия формирования различных метеорологических ситуаций, влияние различных параметров на возможный сценарий развития явления – то есть физику и химию атмосферы.

Так как синоптические процессы происходят в тропосфере – слое, ближайшем к поверхности Земли, она подвергается самому тщательному изучению. Некоторое время назад считалось, что взаимодействие тропосферы и стратосферы незначительно, отчего более детально рассматривали факт задерживания в стратосфере различных выбросов, влияющих на доступ солнечной радиации к поверхности Земли. В конце XX века была обнаружена взаимосвязь процессов происходящих в тропосфере и стратосфере, началось изучение влияния динамики стратосферных процессов на погодные условия, играющие столь важную роль в жизни человека.

В данной работе рассматривается влияние динамических процессов стратосферы на погодные условия тропосферы. В качестве объекта исследования рассматриваются квазидвухлетние колебания и аномалии температуры в зимний период на Европейской территории России.

1. ДИНАМИКА СТРАТОСФЕРЫ И ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ТРОПОСФЕРОЙ.

1.1. Строение и вертикальная структура атмосферы

Атмосфера – воздушная оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов и имеющая слоистую структуру. Разделение на слои происходит в зависимости от совокупности различных факторов, в которые входит состав, распределение температуры, плотность слоя. Так, по мере удаления от поверхности, выделяют тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу.



Рисунок 1.1 – Строение атмосферы

Тропосфера – приземный слой атмосферы, средней толщиной 14 километров – толще на экваторе, ниже к полюсам. Температура в слое – в большинстве своём – падает с высотой, иногда отмечаются инверсии – тонкие слои, в которых температура растёт с высотой, препятствующие вертикальному движению. В тропосфере содержится много водяного пара,

как в газообразном, так и в капельном состоянии – в виде облаков. Водяной пар играет огромную роль в формировании погодных условий – помимо формирования облачности и осадков, он регулирует температуру воздуха, поглощая солнечную энергию и тепловое излучение подстилающей поверхности. Концентрация водяного пара уменьшается как с высотой, так и от экватора к полюсам.

Второй слой после тропосферы – стратосфера – слой до 50 километров от поверхности Земли, отделяемый от тропосферы тропопаузой. В стратосфере температура с высотой растёт, что препятствует развитию конвективных движений, стабилизируя атмосферные условия и ограничивая турбулентность тропосферы. В отличие от тропосферы, в стратосфере значимую роль играет озон – поглощая ультрафиолетовое излучение Солнца, он преобразует полученную энергию, разогревая стратосферу, с чем связаны температурные градиенты в слое и, как следствие, рост температуры. Ввиду практической невозможности условий для конвективных движений стратосфера является устойчивым стабильным слоем, отчего попавшие в неё аэрозоли распределяются на своих изначальных высотах, образуя слоистую структуру.

Между тропосферой и стратосферой есть пограничный слой – тропопауза. Это переходный слой, в котором изменение метеорологических величин с высотой незначительно. Традиционное метеорологическое определение тропопаузы – термическое: слой толще 2 км с градиентом температуры меньше 2 К/км. Если выше верхней границы тропопаузы градиент больше 3 К/км, то это значит, что есть вторая тропопауза. Четких границ тропопауза не имеет и может подниматься за счёт мощных гроз, расширяющих тем самым тропосферу. Данный пограничный слой имеет высокую стабильность, подавляя вертикальные движения крупных и мелких масштабов. Самый яркий пример – кучево-

дождевые облака с наковальней – верхняя граница мощного облака, не имея возможности подняться выше, распространяется вширь, отчего верх облака становится плоским.

Вертикальное распределение температуры и структура ветров в нижней и средней атмосфере неоднородна – нельзя однозначно сказать, что температура падает с высотой, а скорость ветра растёт. Так у температуры существует временная и пространственная изменчивость – широтная и сезонная.

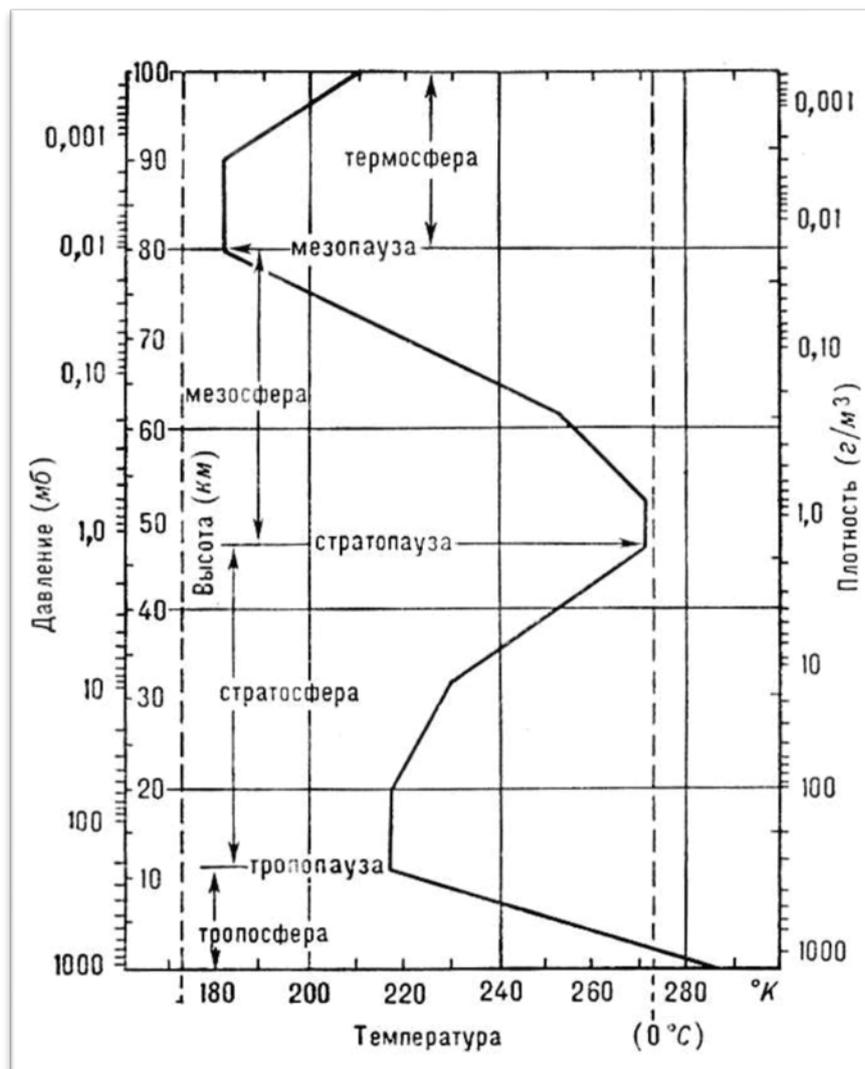


Рисунок 1.2 – Вертикальное распределение температуры в атмосфере

В нижней стратосфере распределение температур сложнее, чем в тропосфере, где в верхних широтах температура ниже. В стратосфере летнее полушарие имеет холодный экватор и тёплый полюс, а зимнее холодное и там и там, а очаг тепла располагается в средних широтах. Над зимним полюсом образуется так называемый купол холодной воздушной массы, который может исчезать в период середины зимы, что связывают с внезапным стратосферным потеплением (ВСП). [1]

Атмосфера состоит из смеси различных газов, преобладающей компонентой в ней является азот – более трёх четвертей от общей массы атмосферного воздуха. После азота по уменьшению количества следуют кислород (порядка 20%) и аргон (около 1%). Остальная часть (менее 1%) – углекислый газ, водород, озон, водяной пар и другие газы. Отдельная группа газов являются парниковыми – это водяной пар, метан и углекислый газ. Эти газы поглощают инфракрасную часть излучения, являясь регуляторами температурного режима планеты – благодаря парниковому эффекту выхолаживание поверхности происходит не так эффективно, отчего средняя температура составляет +15 градусов. [2]

Глобальная атмосферная циркуляция существует в виде масштабных ячеек, по три с каждой стороны от экватора – ячейка Хэдли (Гадлея) – от экватора к средним широтам (около 30 градусов), ячейка Ферреля – ячейка умеренных широт – от 30 до 60 градусов, и полярная ячейка – от 60 градусов до полюса. Ячейка Хэдли, заканчиваясь около 30-х широт, становится динамически нестабильной, отчего в этом районе образуются вихри. Ближе к полюсу от оси субтропического струйного течения образовавшиеся вихри усиливают нисходящее движение – начало формирования ячейки Ферреля, заканчивающейся около 60 градусов из-за вихрей, усиливающих восходящее движение. Поднимаясь в этом районе,

часть воздушной массы доходит до полюса, опускаясь ввиду сильного охлаждения и образуя полярную ячейку.

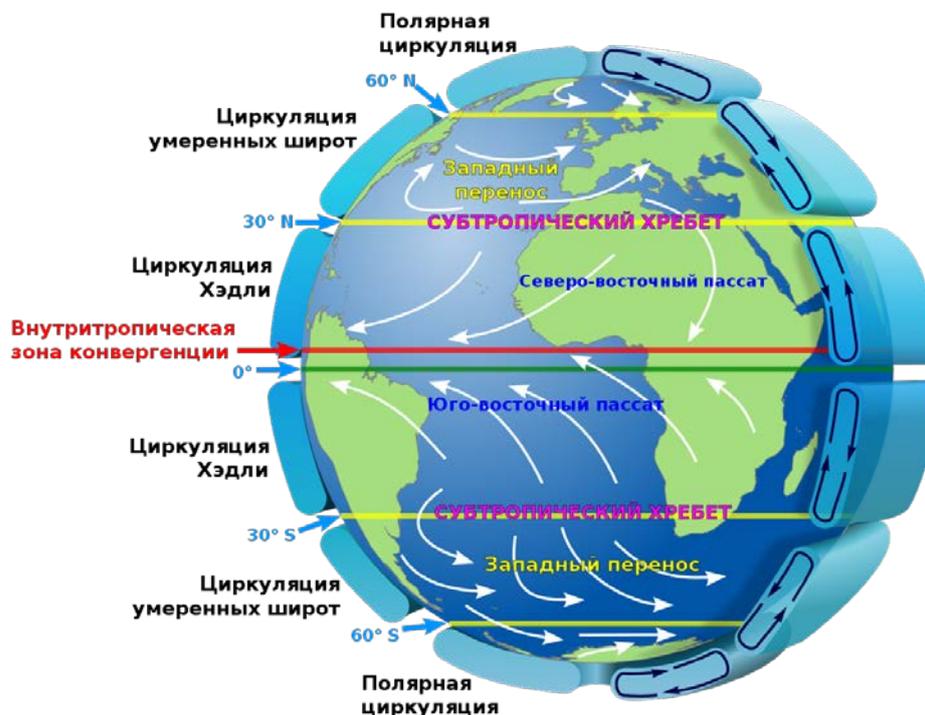


Рисунок 1.3 – Ячейки атмосферной циркуляции.

Взаимодействие тропосферы и стратосферы происходит через динамическое влияние. При воздействии стратосферы на тропосферу, происходящем через деформацию высоты тропопаузы, в меридиональном направлении смещаются тропосферные струйные течения. Арктический стратосферный полярный вихрь влияет на положение шторм-треков – путей, на которых зарождаются и живут шторма, – при сильном полярном вихре они смещаются к более высоким широтам, в то время как ослабление вихря, наоборот, приводит к перемещению шторм-треков к более низким широтам. Так как оценить интенсивность полярного вихря довольно трудно, также непросто становится предсказать перемещение синоптических вихрей в стратосфере ввиду смещения шторм-треков, что приводит к снижению точности получаемого прогноза.

Воздействие тропосферы на стратосферу осуществляется вертикально распространяющимися волнами – низкочастотными планетарными и высокочастотными гравитационными. Внутренняя изменчивость стратосферы и тропосферные условия регулируют интенсивность распространения волн. Взаимодействие нелинейно и лежит в основе формирования экстремальных состояний циркумполярного вихря. Планетарные волны генерируются орографической неоднородностью подстилающей поверхности, крупномасштабными источниками и стоками тепла – крупномасштабными аномалиями температуры поверхности океана, которые включают в себя явление Эль-Ниньо, Тихоокеанское десятилетнее колебание. Последнее является наиболее распространённым предиктором динамики в умеренных широтах Северного полушария Тихого океана, как следствие тихоокеанское колебание оказывает сильное влияние в местах формирования планетарных волн, что приводит к его воздействию на стратосферно-тропосферное взаимодействие. [3]

В стратосфере заметен максимум западного тропосферного ветра, располагающийся между 50 и 60 градусами южной широты. Потепления в середине зимы сопровождаются ослаблением западных ветров в стратосфере, что незначительно влияет на ветра в тропосфере.

Существуют различные периодичности атмосферного ветра: квазидвухлетняя осцилляция, суточный и годовой ход. Суточный и годовой циклы являются следствием внешнего воздействия на планету – её вращения вокруг оси и движения по орбите. Примеры суточного цикла – бризы, горнодолинные ветры, годового – чередование сухих и влажных сезонов в муссонном климате.

Также существует годовая осцилляция – тенденция, прослеживаемая у нижнестратосферных ветров – в летнем полушарии они становятся более восточными, в зимнем – более западными; полугодовая осцилляция

зонального ветра низкоширотной верхней стратосферы, ограниченная тропиками.

Квазидвухлетние колебания – смена направления зональных ветров на уровне стратосферы. Более подробно они будут рассмотрены в соответствующем разделе.

Стратосфера, ввиду роста в ней температуры с высотой, ограничивает восходящие потоки тропосферных ячеек. В результате закона сохранения массы, говорящем о постоянном перераспределении масс, возникает меридиональная циркуляция.

Существование полярного – или же циркумполярного – вихря обусловлено полярными ночами зимнего полушария, из-за чего земная поверхность на полюсах не прогревается, что приводит к разнице температур с более низкими – средними – широтами. Данный вихрь развивается в нижней и средней стратосфере, изолируя воздух, отчего тот, оказавшись в стационарной циклональной завихрённости, не имеет возможности прогрева. Также изоляция полярного вихря считается одним из ключевых элементов потери полярного озона, но в Северном полушарии такие потери не столь значимы, ввиду большей волновой активности.

Ранее упоминалось явление, известное как внезапное стратосферное потепление (ВСП). В случае его возникновения полярный вихрь западного ветра замедляется в течение нескольких дней, в некоторых ситуациях даже меняя своё направление. Данный процесс сопровождается рост температуры в стратосфере на несколько десятков градусов Цельсия – иногда скорость роста температуры достигает 70 градусов за несколько дней. Планетарные волны, распространяясь из тропосферы в стратосферу, взаимодействуют с зональной циркуляцией, запуская процесс ВСП. От внезапного стратосферного потепления зависит изолированность и активность циркумполярного вихря в течение сезона, что влияет на силу разрушения

стратосферного озона в районе полюса – чем сильнее ВСП, тем менее активен полярный вихрь, как следствие – меньше вероятность возникновения полярных облаков и разрушения стратосферного озона.

Процессы, подавляющие возмущения, происходят в стратосфере очень медленно, из-за чего возникнувшие возмущения сохраняются на протяжении большого количества времени. В первую очередь это касается внезапного стратосферного потепления,

Сильные внезапные стратосферные потепления в среднем появляются каждую вторую зиму, приводя не только к росту температуры к северу от 60 градусов северной широты, но и к смене направления зонального ветра. Таким образом, на высоте около 10 гПа (примерно 32 км – высота, на которой отслеживается влияние ВСП) появляется меридиональный градиент температуры. ВСП характерны для Северного полушария, так как планетарные волны Южного полушария имеют значительно меньшую амплитуду.

ВСП связано со стратосферой в районе тропиков – во время потепления в высоких широтах, наблюдается небольшое понижение температур в тропической стратосфере. По данным измерений в районе экватора обнаружилось сильное стратосферное похолодание, проникающее в тропосферу в периоды максимальной интенсивности ВСП.

Рассматривая осцилляции ветра и температур, следует упомянуть об Арктической и Северо-Атлантической осцилляциях, связанных с давлением.

Суть Арктической осцилляции заключается в разнице давления на полюсе и над средними широтами, иными словами – давление над полюсом находится в противофазе с давлением над средними широтами. Арктическая осцилляция охватывает всю тропосферу, в период с января по

март также расширяясь в стратосферу. Осцилляция имеет положительную фазу в случае низкого давления над полюсами и относительно высокого над средними широтами, в обратном случае фаза отрицательна. Положительная фаза областями высокого давления ведёт к смещению океанских штормов к северу, приносит влажную погоду, в то время как южнее установится сухая погода. В отрицательной фазе холодный воздух распространяется к низким широтам, отчего погода в тех регионах становится холоднее, а в более высоких широтах, наоборот, теплее обычной – это происходит за счёт ослабленного, чаще всего в результате ВСП, стратосферного вихря. В отрицательной фазе Арктическая осцилляция смещает шторм-треки к экватору, что происходит в результате смещения в меридиональном направлении связанных с ними струйных течений, ослабляя их, отчего к югу Северной Америки и Европы доходят холодные воздушные массы с сильными осадками. [1, 4]

Северо-Атлантическая осцилляция – крупномасштабное колебание давление между Азорским центром высокого давления и Исландским центром низкого давления. Западные ветры Северной Атлантики активизируются под действием давления у поверхности, пригоняя на восток зимние штормы через океан, влияя тем самым на климат от Великобритании до Центральной Сибири, охватывая даже Западную Африку. Северо-Атлантическая осцилляция тесно связана с Арктической осцилляцией.

Рассматривая взаимодействие стратосферы и тропосферы нельзя не коснуться также химического состава. Так в расщеплении озона не последнюю роль играют полярные облака, образующиеся в стратосфере, из-за химических процессов, происходящих на них. В результате реакций образуются хлориды и бромиды, а также другие вещества, разрушающие молекулы озона. Чаще всего такие облака состоят из азотной и серной кислот, реже они могут содержать воду или лёд – такие облака

формируются только при температурах ниже -90 градусов Цельсия, благоприятным условием будет изолированный полярный вихрь. Полярные стратосферные облака можно увидеть – они отражают солнечный свет из-за горизонта, отчего возникает яркое сияние. Такие облака также называются перламутровыми. [1]

Относительно химического состава атмосферы, следует разобрать также содержание такого парникового газа как водяной пар в различных слоях. Так уменьшение количества водяного пара в нижней стратосфере компенсирует рост приземной температуры, в то время как рост влажности может привести к росту температуры. На перенос водяного пара из тропосферы в стратосферу в тропиках влияет внезапное стратосферное потепление – в случае его наличия в Арктике перенос влаги становится слабее, по сравнению с зимами без ВСП.

Сильное влияние на климат оказывают вулканические выбросы – распространяясь до стратосферы, они накапливаются и задерживаются в ней до двух лет, не имея возможности стать ядрами конденсации и осесть с осадками. Оставаясь в стратосфере, частицы выбросов представляют собой слой, задерживающий солнечное излучение, отчего на поверхности Земли происходит понижение температуры. Подобный эффект может иметь как положительные так и отрицательные качества. Так его рассматривают как противовес влиянию парниковых газов, приводящих к росту температуры, но в то же время увеличение количества аэрозолей может негативно влиять на стратосферный озон, изменять режим осадков в некоторых регионах.

Извержения вулканов влияют также и на стратосферную температуру – вулканический аэрозоль, поглощая солнечную радиацию, вызывает потепление в стратосфере. Парниковые газы также оказывают влияние на температуру стратосферы, понижая её в среднем на два градуса за десять лет, в то время как озон её наоборот повышает. [4]

Существует такое понятие как режим циркуляции стратосферы. Можно выделить два режима – летний и зимний, но также существует переходный процесс – сезонная перестройка стратосферной циркуляции с одного режима на другой.

Зимний режим циркуляции характеризуется обширным очагом холода около полюса, вызванным полярной ночью, в результате чего отсутствует процесс поглощения солнечной радиации озоном, приводящий к нагреву стратосферы. В это время формируется и глобальный очаг тепла – в тропических и экваториальных районах, циркумполярный вихрь. Эти очаги формируют поле давления – так у полюса образуется зона низкого давления, а в тропиках – высокого. В результате данного распределения давления, а также направления градиента температуры, в зимней стратосфере устанавливается характерный для тропосферы глобальный геострофический западно-восточный перенос.

По мере установления летнего режима происходит изменение направления градиентов температуры и давления – на полюсе устанавливается высокое давление и относительное тепло, в то время как у экватора ситуация обратная – относительный холод и низкое давление. В связи с этим над летним полушарием устанавливается восточно-западный стратосферный перенос.

Перестройка с одного режима на другой происходит осенью и весной ввиду изменения радиационных условий. Если осенняя перестройка с летнего на зимний режим происходит примерно в одно и то же время каждый год – конец августа – начало сентября, то весенняя смена с зимнего на летний режим может произойти как в марте, так и в мае – диапазон дат более двух месяцев. Из-за столь большого разброса весеннюю перестройку разделили на три типа: ранняя (20 марта – 1 апреля), средняя (10-20 апреля) и поздняя (1-10 мая). Типы перестройки зависят от физических причин

прогрева стратосферы у полюсов. Так поздний тип перестройки бывает в случае прогрева стратосферного воздуха только радиационным путём, т.е. через поглощение солнечной радиации озоном. [5]

1.2. Квазидвухлетние колебания

Квазидвухлетние колебания (КДК) или же квазидвухлетняя осцилляция – перемена направления зонального ветра в стратосфере с определённым временным периодом.

Зональные ветры для экваториальной и среднеширотной стратосферы различны. Так средние зональные ветры в тропиках определяются квазидвухлетней осцилляцией – выше 30 километров западный ветер сменяет восточный, при этом восточная и западная фазы постепенно опускаются так, что над одной какой-либо выбранной точкой восточный ветер располагается над западным, а этот западный, в свою очередь, над восточным. Данный процесс ярче заметен в границах 10-15 градусов от экватора к полюсам, но его эффекты прослеживаются в субтропиках (30 градусов) и на более высоких широтах, хотя при удалении от экватора амплитуда осцилляции значительно затухает. Средняя продолжительность осцилляции около 28 месяцев, максимальная скорость восточного ветра около 30 м/с, а западного около 20 м/с. С квазидвухлетней осцилляцией связано изменение полярного вихря, которое может влиять на состояние тропосферы.

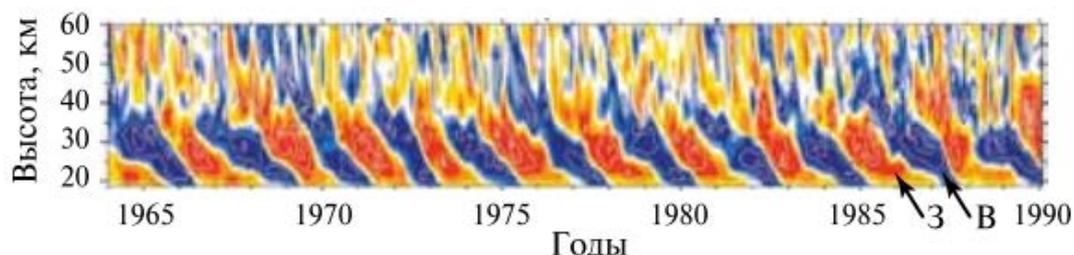


Рисунок 1.4 – Распределение фаз КДК по высоте со временем.

В стратосфере средних широт зимнего полушария господствуют западные ветры, на широте 40 градусов и высоте 65 километров максимальная скорость около 80 м/с. В летнем полушарии ветры становятся восточными и на тех же координатах скорость достигает 50 м/с. В Северном полушарии процесс смены направления с западного на восточный происходит в мае, начинаясь в более высоких широтах и на большей высоте, затем передвигаясь вниз к тропикам. Смена направления с восточного на западное происходит таким же образом в сентябре. [1]

Квазидвухлетние колебания, воздействуя на планетарные волны, оказывают значительное влияние на атмосферные процессы средних широт, генерацию и циркуляцию озона и других примесей, взаимодействуют с явлением системы океан-атмосфера – Эль-Ниньо. Помимо скорости зонального ветра и распределения озона, КДК выражаются и в других атмосферных параметрах – в распределении давления, облачности, температуры.

КДК были открыты в конце 19 – начале 20 веков, чему поспособствовало извержение вулкана Кракатау: тогда попавший в стратосферу в экваториальных широтах вулканический пепел за две недели обогнул Землю с востока на запад. Восточные ветры, открытые в результате данного извержения, назвали в честь вулкана восточными ветрами Кракатау. Западная фаза была открыта спустя более 20 лет в

результате запуска метеозондов над озером Виктория в Африке – они получили название в честь учёного, открывшего их – западные ветры Берсона.

В ходе наблюдений, проводимых в экваториальных широтах, была выявлена смена направления скорости зонального ветра, прослеживаемая на высотах 20-40 километров.

У смены фаз присутствует сезонный характер – переход между восточной и западной фазами на высоте 21 километра наблюдается в основном в конце весны – начале лета. Больше всего переходов наблюдается в мае.

Существует связь квазидвухлетних колебаний зонального ветра с аналогичными колебаниями температуры стратосферы в тропических широтах. Исследования межгодовой изменчивости распределения температуры у земли, в тропосфере и в стратосфере показали четкое проявление квазидвухлетних колебаний в средних и высоких широтах. (стр. 13) Следует отметить сильное влияние глобального потепления на данное явление, в результате чего уменьшается амплитуда годового хода температуры, а квазидвухлетняя цикличность ослабляется или вовсе исчезает.

Квазидвухлетние колебания ветра имеют связь с меридиональной циркуляцией атмосферы. Они вызывают отклонение направленных к экватору потоков воздушных масс: при западной фазе в тропических широтах происходит нагрев и опускание тропосферы, в то время как во внетропических это влияет на тропопаузу – она поднимается и охлаждается. Восточная фаза КДК приводит к обратному процессу – происходит подъём тропопаузы в районе экватора и опускание в субтропиках. Влияние КДК также прослеживается в циркуляции тропосферы и стратосферы высоких и умеренных широт, что происходит в

результате изменения вертикального и меридионального распространения планетарных волн вне тропиков. Смещение восточного ветра в более высокие широты ограничивает меридиональное распространение планетарных волн, что приводит к ослаблению полярного вихря в результате взаимодействия волны со средним потоком в стратосфере вне тропиков – данная ситуация наблюдается при восточной фазе. При западной фазе ситуация обратная – стратосферный полярный вихрь усиливается, о чём свидетельствует также то, что средняя высота геопотенциальных поверхностей в полярной области меньше, чем при восточной, в то время как в умеренных широтах наоборот – больше. [6]

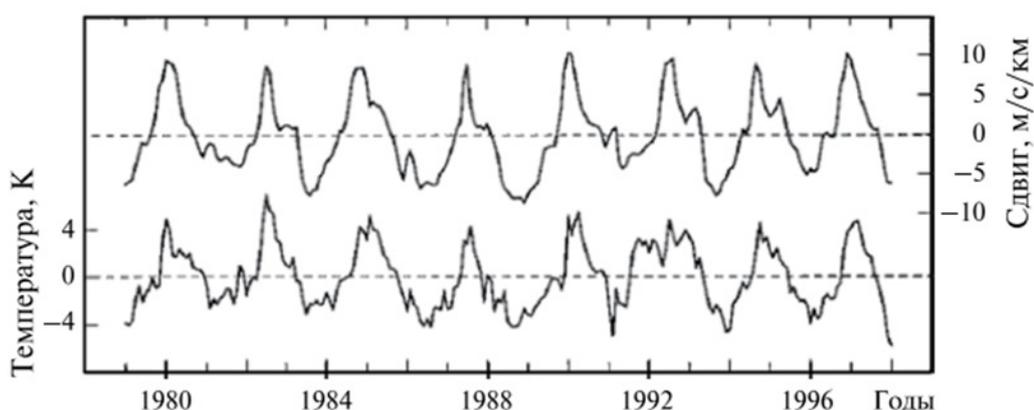


Рисунок 1.5 – Изменение вертикального сдвига ветра и экваториальной температуры

В результате воздействия КДК на целостность полярного вихря и планетарные волны, было выдвинуто предположение о влиянии также на даты перестройки стратосферной циркуляции. Для изучения данного предположения было проведено исследование, в котором рассматривались среднемесячные данные о зональном ветре за 37 лет (с 1971 по 2008 года) на уровне весенней перестройки, разрушения полярного вихря – 10 гПа. Значения сравнивались со сроками весенней перестройки, которые были рассчитаны по данным UK Met Office и NCEP/NCAR реанализа. В результате исследования был сделан вывод о положительной корреляции

КДК ветра с датами перестройки – эта связь не прослеживается в ранние годы. [7]

1.3 Исходные данные и методы расчета

Для проведения исследования были взяты данные из базы European Climate Assessment & Dataset project (ECA & D) [9] содержащей метеорологическую информацию от метеослужб и со станций в Европе и Средиземноморье – список участников включает в себя метеорологические центры из 44 стран. ECA & D, помимо сбора данных, занимается контролем качества, анализом экстремальных значений, и распространением ежедневно собираемых данных и полученных в ходе анализа результатов. Рассматривается раздел Blended ECA dataset, содержащий временные ряды для каждой из представленных станций – данные обновляются в реальном времени, в случае наличия пропусков используются наблюдения с близлежащих станций, соответствующие условиям расстояния не более 12,5 км и перепаду высот не более 25 метров относительно станции, на которой обнаружен пропуск. Если данные на станции становятся доступными, они заменяются или подтверждаются – все изменения отображаются в архивном файле. Временные ряды подвергаются контролю качества, данные проверяются на однородность статистическими методами.

Для выявления аномалий были использованы данные о максимальной суточной температуре воздуха на ряде метеорологических станций с максимально длинными временными рядами. По данным о максимальной суточной температуре выявлены аномалии тепла для 48 станций, расположенных на территории России (рисунок 1.6). Большая часть

располагается на европейской территории, 7 станций за Уралом – в Сибири, также одна станция островная – находится на Острове Визе на севере страны.



Рисунок 1.6 – Расположение метеорологических станций, данные которых участвуют в анализе.

Рассчитывались аномалии через параметр разницы максимальной температуры и многолетнего среднего, делённой на среднеквадратическое отклонение этого параметра:

$$ANOM = \frac{(x_i - \bar{X})}{\sigma} \quad (1)$$

Где среднеквадратическое отклонение – корень из дисперсии, рассчитанной по формуле:

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

N – длина ряда, x_i – максимальная температура воздуха для определенного дня, месяца и года; \bar{X} – многолетняя среднемесячная максимальная температура воздуха (максимальная для расчетов аномалий тепла), рассчитанная как сумма x_i , поделённая на длину ряда.

Величину нормировали на среднеквадратическое отклонение для возможности сравнения полученных результатов на разных метеостанциях. [8]

В работе использовались данные о фазах КДК, представленные в работе «Климатическая изменчивость стратосферно-тропосферных взаимодействий, наблюдаемая в последние десятилетия». [10]

Для анализа аномалий температуры воздуха с КДК также использовались данные реанализа ERA-interim (геопотенциальная высота на уровне 10 гПа (30 км)) с разрешением по долготе 3° , по широте 2° . [11]

Для каждого года были рассчитаны аномалии геопотенциальной высоты.

2. АНАЛИЗ ПОГОДЫ (ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА) НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ.

2.1 Выделение дат сильных аномалий на исследуемой территории

Для выделения дат аномалий были взяты многолетние ряды данных по станциям за декабрь-март. Из ряда выделялись года с аномалиями продолжительностью от пяти дней. В результате сортировки, при использовании таблицы годов наличия КДК (таблица 1), была составлена таблица, отображающая года различной фазы КДК за декабрь-март на всех рассматриваемых станциях (приложение, таблица 2).

Таблица 1 – Года фаз КДК

Восточная	Западная
1987	1983
1989	1985
1996	1993
1998	1995
2000	1997
2003	1999
2005	2002
2007	2004
2010	2008
2012	2013

Для анализа аномалий по полученным данным были составлены карты для тех лет, аномалии которых прослеживались на большинстве станций. Карты были составлены для таких параметров как день начала потепления, продолжительность потепления, максимальное и минимальное значение аномалий. Весь массив полученных карт для каждой фазы КДК был проанализирован, и в данной работе отобрано по три случая (год, месяц) самых сильных аномалий приземной температуры воздуха.

Полученные данные были разделены по фазам КДК. В данной работе западная фаза представлена для марта 1983 г., февраля 2002 г., марта 2008 г.

Март 1983 года

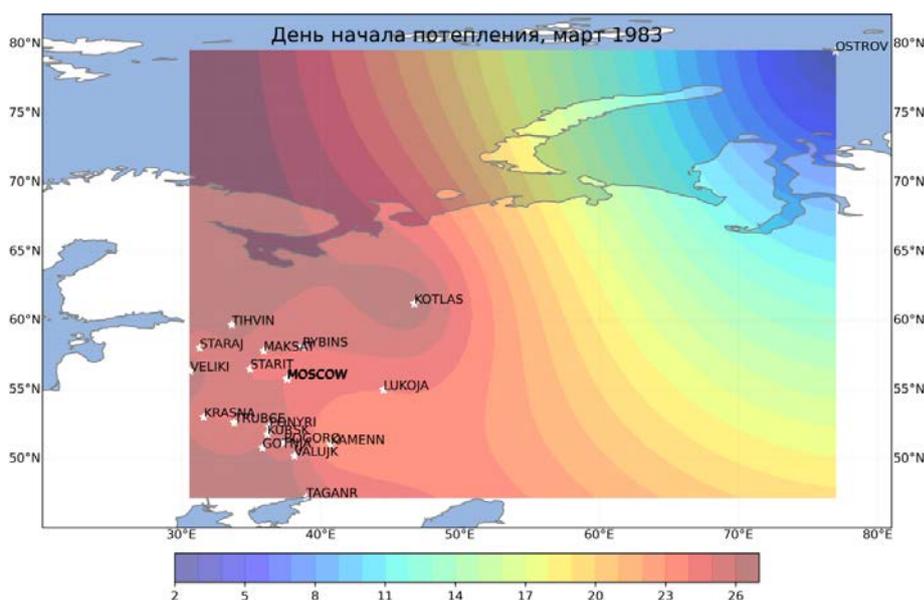


Рисунок 2.1 – День начала потепления для марта 1983 г.

Потепление в марте 1983 года началось в районе Острова Визе, где наблюдалось 2-го числа. На Европейскую территорию России оно распространилось к концу месяца – начавшись с юго-востока – 23-го аномалия температуры была зафиксирована на станции Каменная Степь – к 25-27 марта потепление распространилось западнее, охватив центральную и южную часть Европейской территории страны.

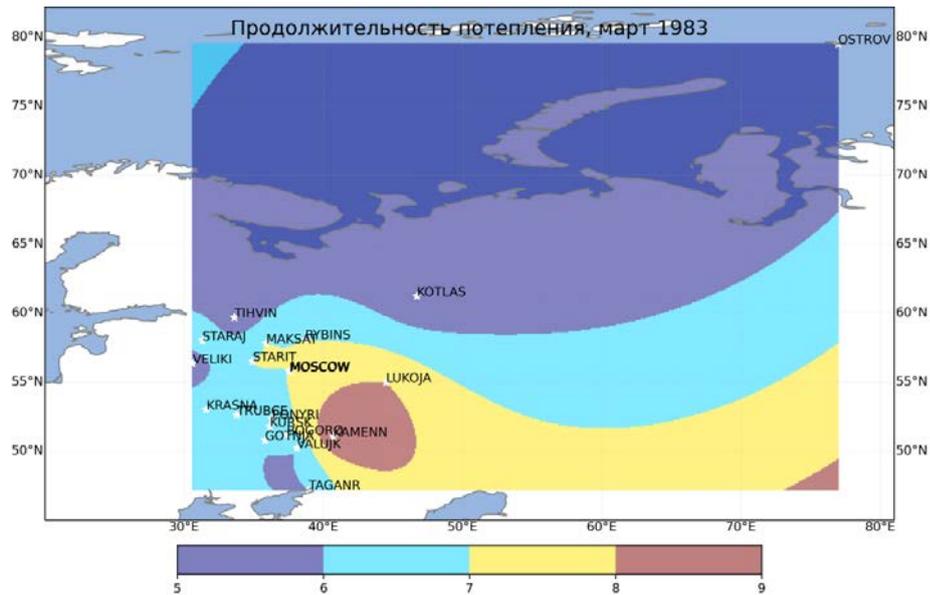


Рисунок 2.2 – Продолжительность потепления для марта 1983 г.

В марте 1983 года потепление наблюдалось на протяжении от 5 до 9 дней, дольше всего продержавшись на станции Каменная Степь. Минимальная продолжительность аномалии наблюдалась на станциях Котлас, Великие Луки, Тихвин и Остров Визе.

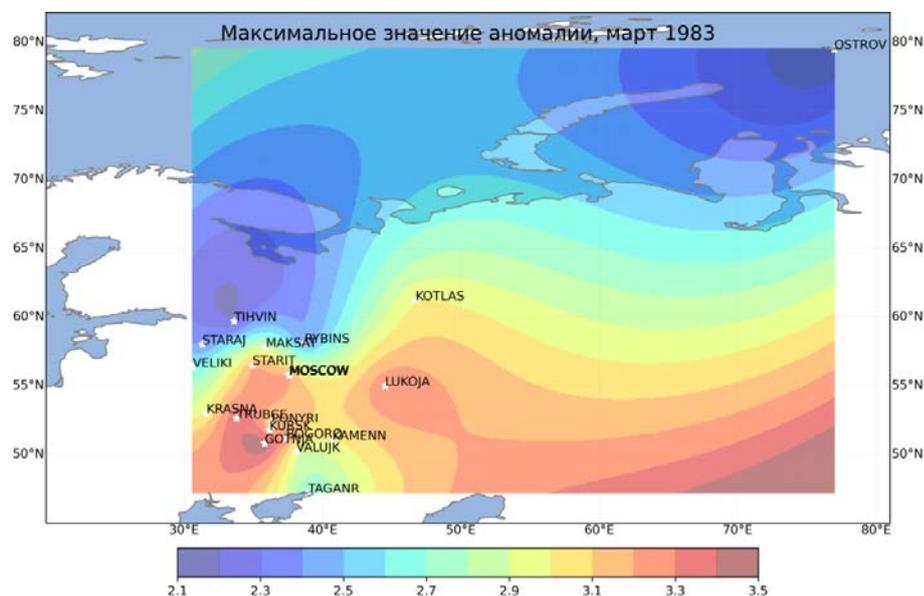


Рисунок 2.3 – Максимальное значение аномалии для марта 1983 г.

Максимум аномалии наблюдался на юго-востоке и юго-западе ЕТР, в частности наибольшее превышение средней климатической температуры

воздуха в марте 1983 года было зафиксировано на станции Готня Белгородской области и составляло 3,5. Наименьший максимум наблюдался на северо-западе и северо-востоке рассматриваемой территории – минимальное из представленных значений было в районе Острова Визе – 2,1.

Минимум наблюдался в центральной части ЕТР – минимальное отклонение в 1,2 наблюдалось на станциях Старая Русса, Лукоянов и Максатиха. Максимум минимального значения наблюдался в Белгородской области на станции Валуйки и составлял 2,7.

Февраль 2002 года

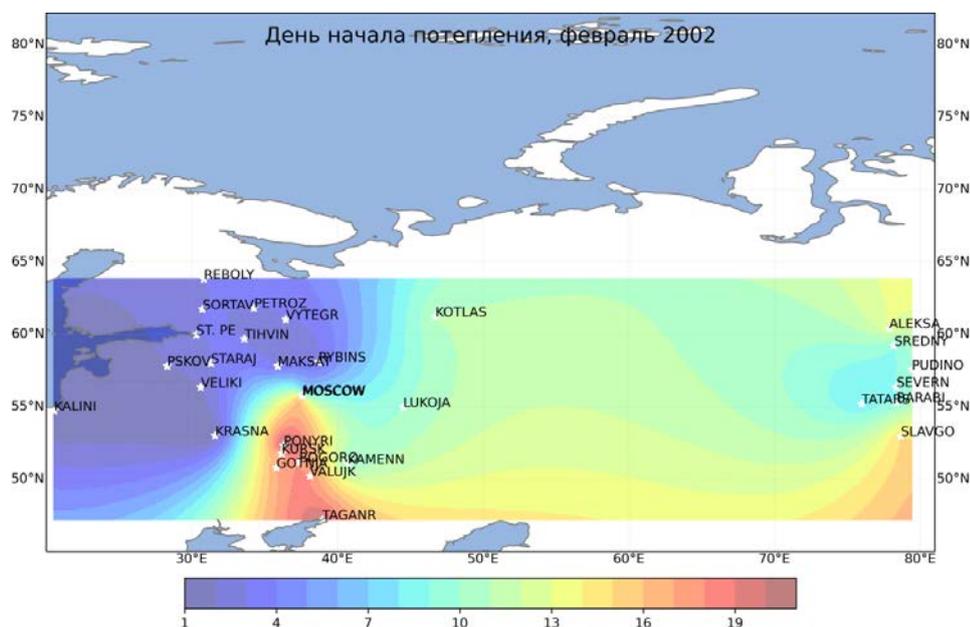


Рисунок 2.4 – День начала потепления для февраля 2002 г.

Аномалии февраля 2002 года начали распространения с запада и северо-запада ЕТР, чуть позже пришло на территорию Сибири и к 20-м числам распространилось на юг страны. Следует отметить, что на станциях Каменная Степь, Красная Гора и Средний Васюган температурная аномалия была зарегистрирована дважды – на станции Каменная Степь с разницей в 10 дней (10 и 20), на Красной Горе разницы между аномалиями составляла неделю, в то время как первая аномалия на станции Средний

Васюган началась 9-го февраля, а вторая – 21-го. Также аномалии на станциях Москвы были зафиксированы с разницей в 8 дней – 8 и 16-го февраля.

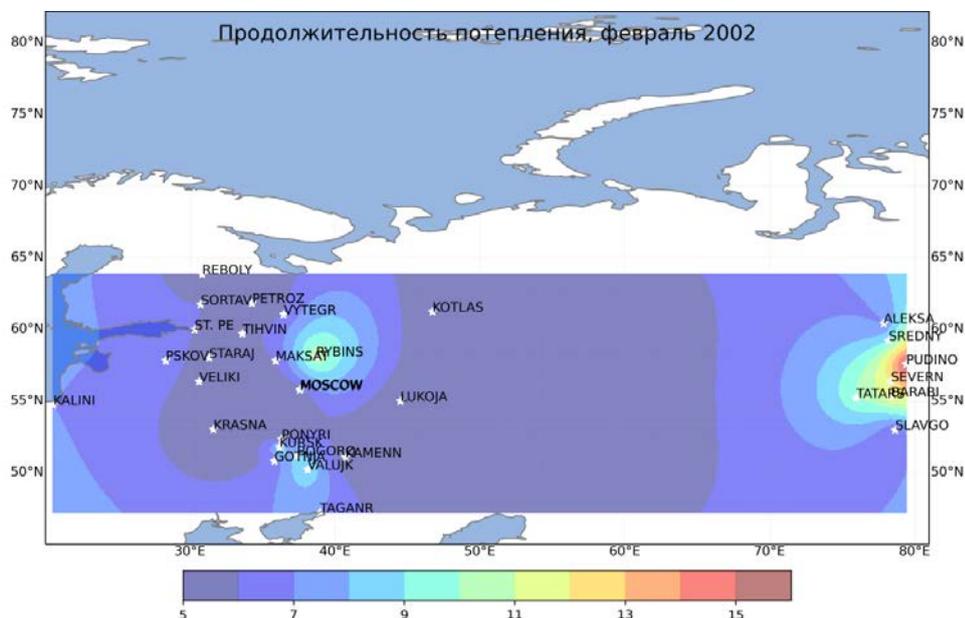


Рисунок 2.5 – Продолжительность потепления для февраля 2002 г.

На большей части рассматриваемой территории потепление наблюдалось в течение 5-7 дней, больше 10 дней оно длилось в Сибири и в Рыбинске. Максимальная продолжительность – 16 дней – была на станции Пудино. На станциях, зарегистрировавших аномалии дважды, на ЕТР первая аномалия длилась меньше второй, в то время как в Сибири ситуация была обратная – на станции Средний Васюган первая аномалия фиксировалась 9 дней, повторная – 5.

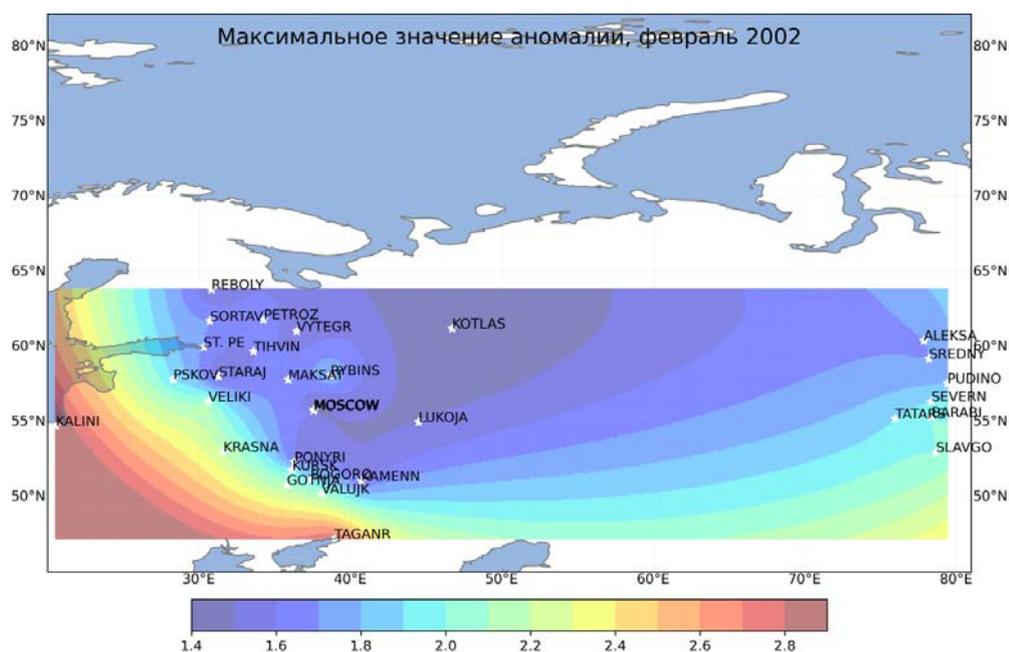


Рисунок 2.6 – Максимальное значение аномалии для февраля 2002 г.

На юго-западе значения аномалии приблизились к 3 – в Калининграде 2,9, в Таганроге – 2,8. На большей части территории максимум аномалии не превышал 2, минимум максимального значения был зафиксирован на станции Котлас и составлял 1,4. Таким образом, можно сказать, что потепление в северных районах было слабее, чем в более южных.

Минимум аномалии варьировался в пределах 1,1-1,5. На большинстве станций минимальное значение потепления было 1,2-1,3, наблюдается два выраженных минимума, охватывающие станции на юго-западе, северо-западе и востоке ЕТР. На большинстве Сибирских станций минимальное значение равнялось 1,3, при этом на станции Средний Васюган первая аномалия была на 0,1 теплее второй – минимум первой был 1,4, второй – 1,3. На ЕТР на станциях с повторными аномалиями наблюдалась обратная ситуация – минимум первой был меньше, чем минимум второй.

Март 2008 года

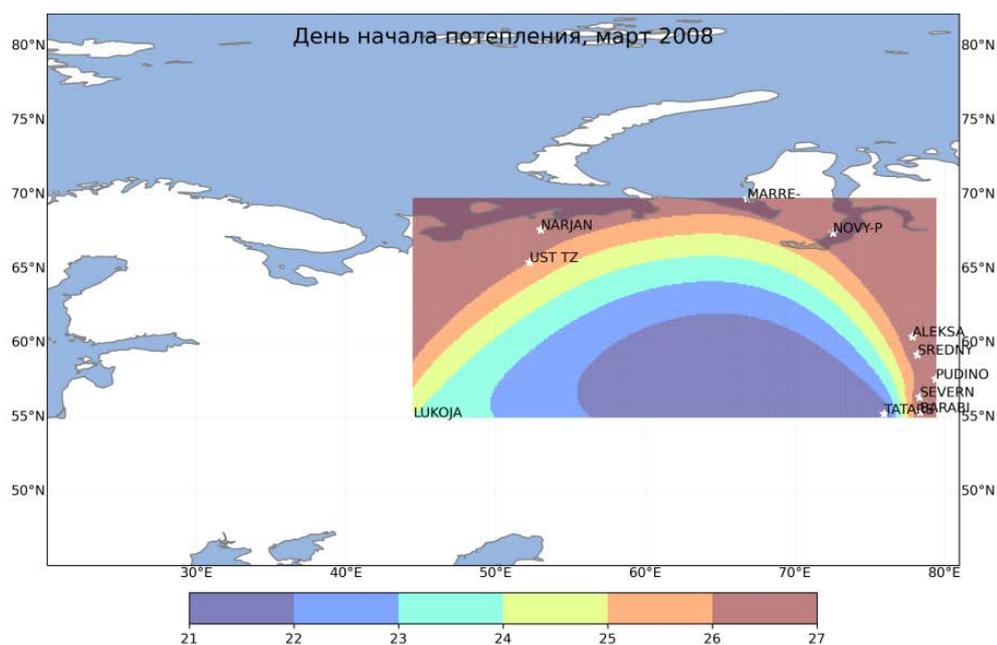


Рисунок 2.7 – День начала потепления для марта 2008 г.

В марте 2008 года потепление наблюдалось на 11 станциях, в большинстве своём расположенных за Уралом – самой западной точкой оказалась станция Лукоянов. 21 марта аномалия была зафиксирована в Татарске, откуда распространилась на север, к 27-му числу охватив всю рассматриваемую территорию. До Лукоянова, находящегося на ЕТР, потепление распространилось за три дня, там его зарегистрировали 24-го марта.

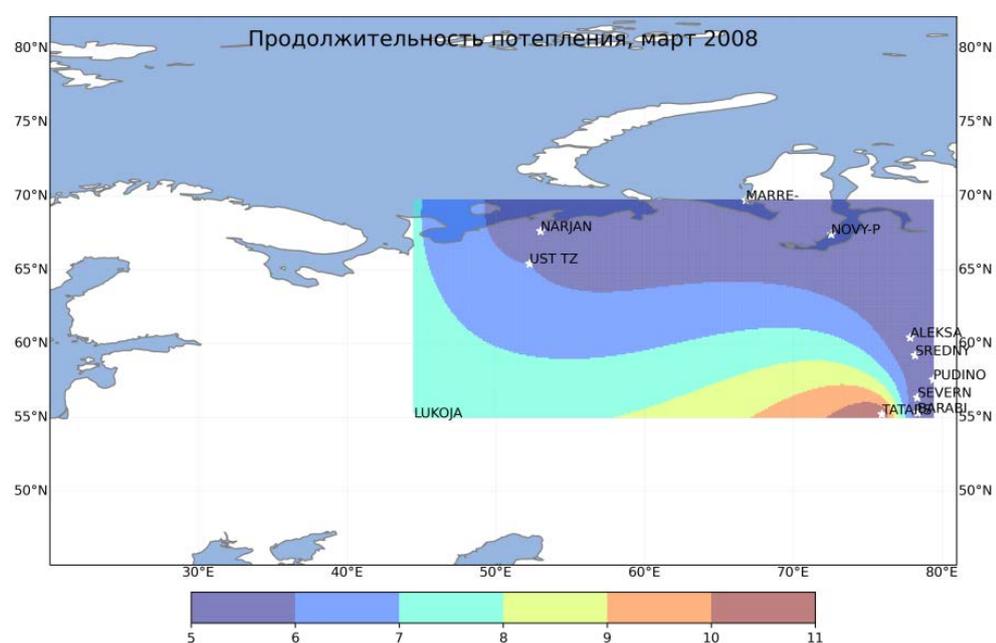


Рисунок 2.8 – Продолжительность потепления для марта 2008 г.

На всех станциях потепление длилось до конца месяца, следовательно, длительность его зависела от даты начала. Так дольше всего – на протяжении 11 дней – аномалия наблюдалась в Татарске, где была зафиксирована в первую очередь, и меньше – в течение 5 дней – там, где её зарегистрировали 27 марта – на севере и востоке рассматриваемой территории.

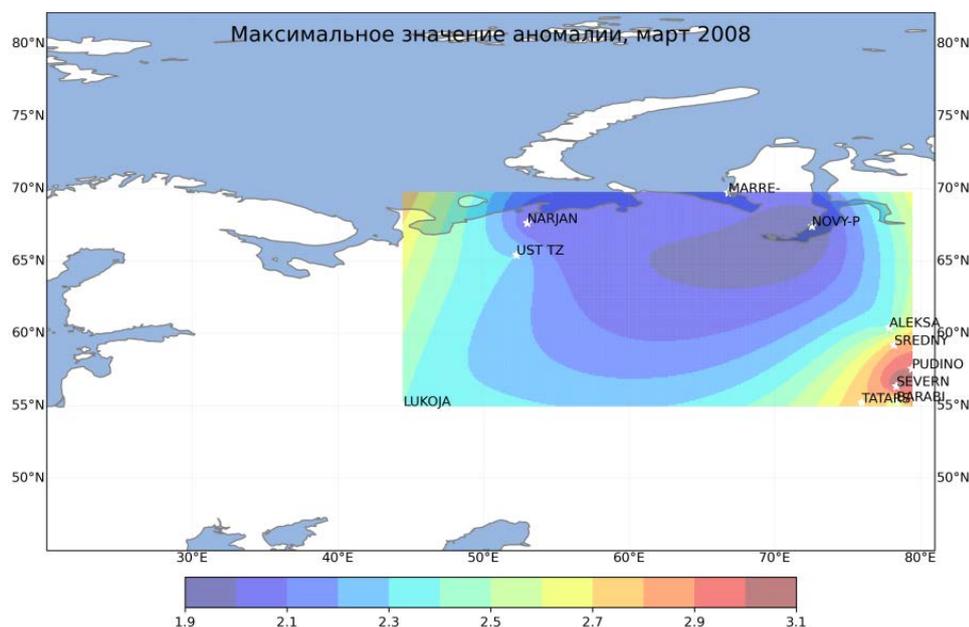


Рисунок 2.9 – Максимальное значение аномалии для марта 2008 г.

Максимальное значение аномалии варьировалось от 1,9 до 3,1. Самое слабое потепление было в районе Нового Порта, где аномалия составила 1,9, самое сильное – на станции Северное – 3,1. Относительно окружающих станций, на севере потепление было слабее – среднее максимальное значение аномалии там составило 2.

Минимальное значение минимума аномалии было зафиксировано на станциях Нарьян-Мара и Усть-Вязьмы, где потепление началось от 1,2. Наибольшее значение минимума было зафиксировано на станции Пудино в Томской области – 1,9.

Восточная фаза КДК представлена для февраля 1989 г., января 2007 г., марта 2007 г.

Февраль 1989 года

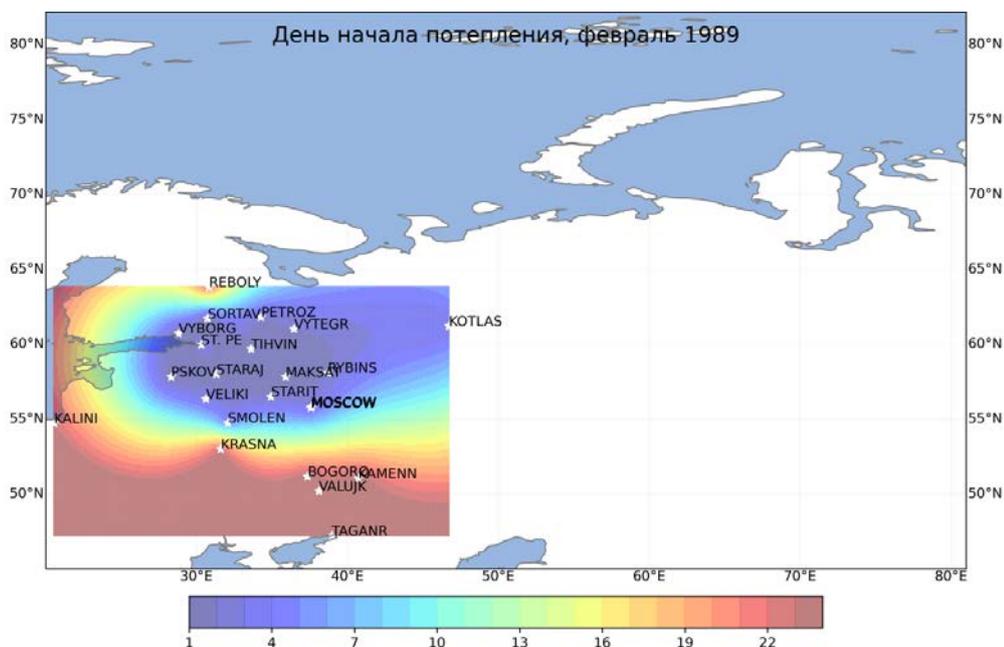


Рисунок 2.10 – День начала потепления для февраля 1989 г.

Потепление в феврале 1989 года началось на северо-западе и в центральной части ЕТР, распространяясь на юг, запад и северо-запад. 1 февраля его зарегистрировали в Пскове, Сортавале и Выборге. Аномалия распространялась на протяжении 24 дней, к 24 февраля её зафиксировали на юге – на станциях Каменная Степь, Богородицкое Фенино, Валуйки и Таганрог. Также 24-го была зафиксирована повторная аномалия на станции Великие Луки – первая была с 3 по 8 февраля. Повторная аномалия наблюдалась на станции Красная Гора – первая регистрировалась с 5 по 9, вторая – с 23 по 28 февраля.

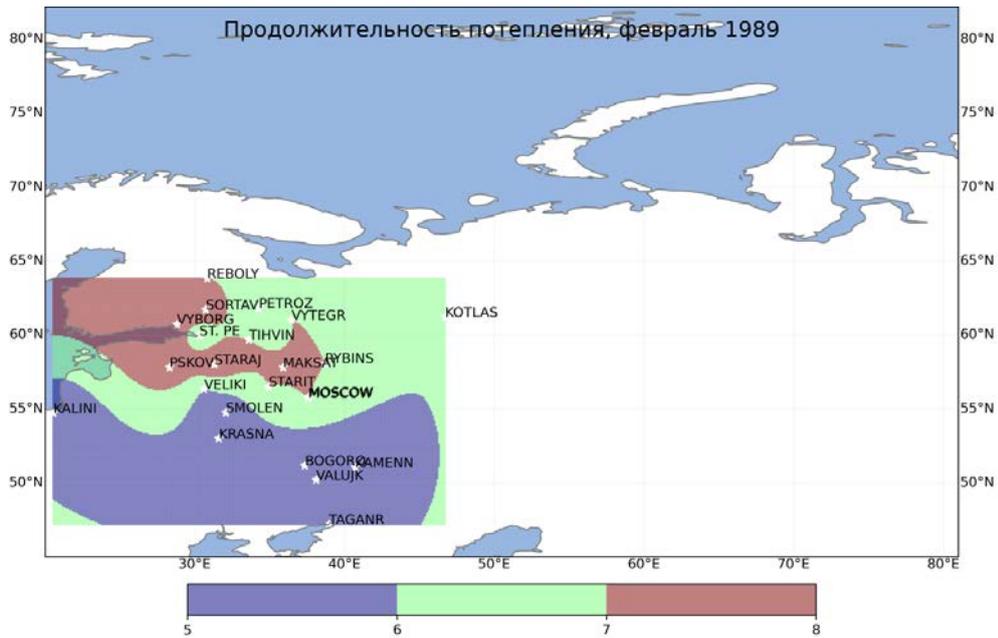


Рисунок 2.11 – Продолжительность потепления для февраля 1989 г.

Самые непродолжительные аномалии были на юге и юго-западе страны – 5 дней, такую же длительность имели первая аномалия в районе станции Красная Гора и вторая на станции Великие Луки. Аномалии наибольшей продолжительности находились в центральной части ЕТР и на северо-западе – на станциях Псков, Сортавала, Выборг и Старая Руса потепление длилось 8 дней.

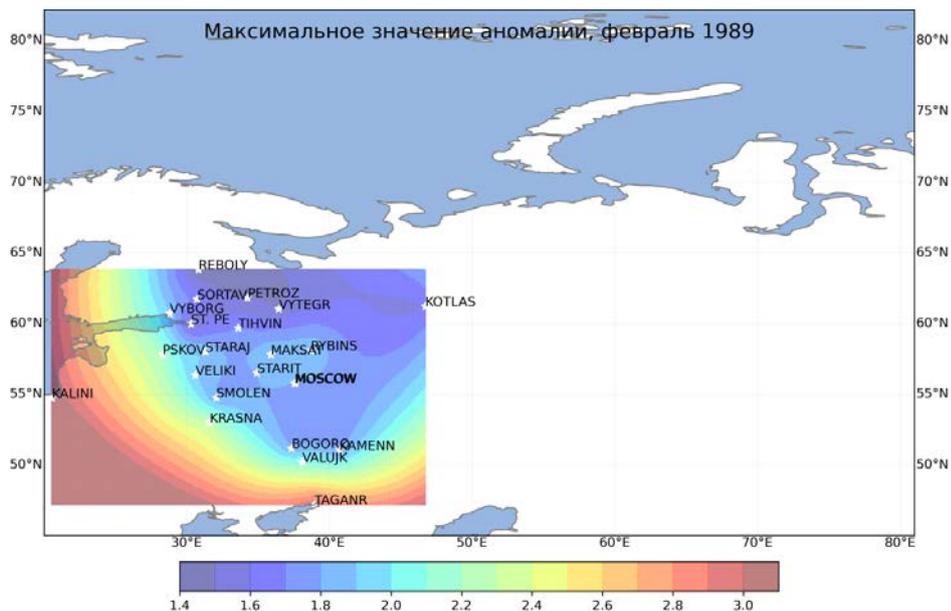


Рисунок 2.12 – Максимальное значение аномалии для февраля 1989 г.

Абсолютного максимума за февраль 1989 год аномалия достигла в Калининграде – её значение составило 3,1. Минимум максимальных значений наблюдался в Реболах – 1,4. Таким образом, на севере аномалии были относительно слабыми, по сравнению с западом и югом ЕТР. Повторные аномалии были более активными – по сравнению с первыми разница на станции Великие Луки была 0,1, на станции Красная Гора – 0,2.

Минимум аномалии варьировался от 1,1 до 1,3, максимальное значение было на станции Валуйки, а минимальное наблюдалось на 7 станциях.

Январь 2007 года

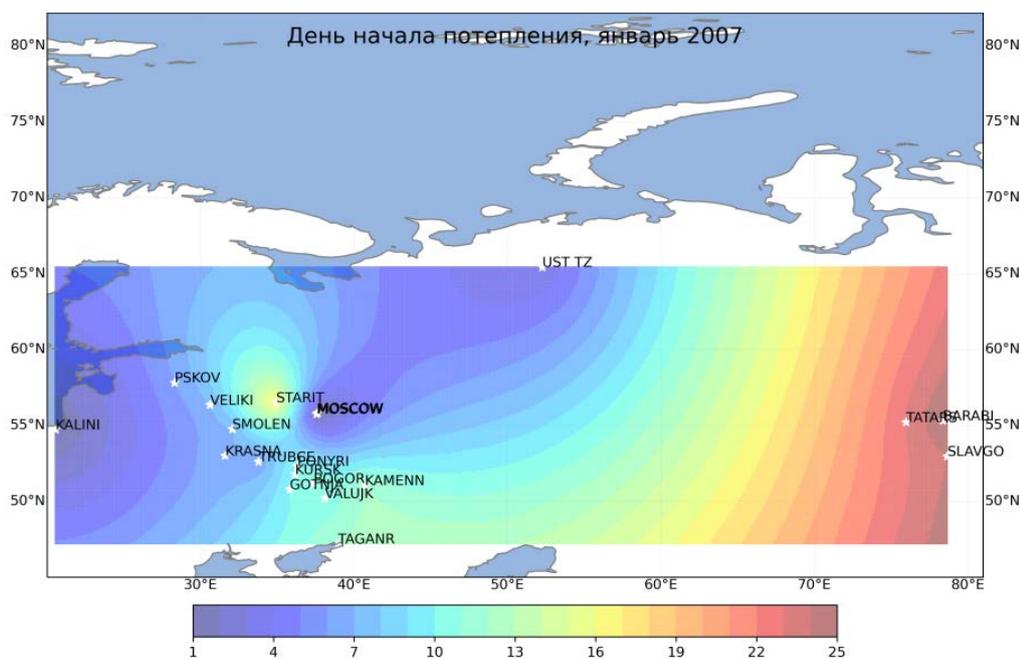


Рисунок 2.13 – День начала потепления для января 2007 г.

Аномалия в январе 2007 года 1-го числа была зафиксирована в Калининграде и Москве, откуда распространялась на восток и юг страны, охватив также территорию Сибири, где потепление зарегистрировали после 20-х чисел: 23 января в Татарске, 24 в Славгороде и 25 в Барабинске.

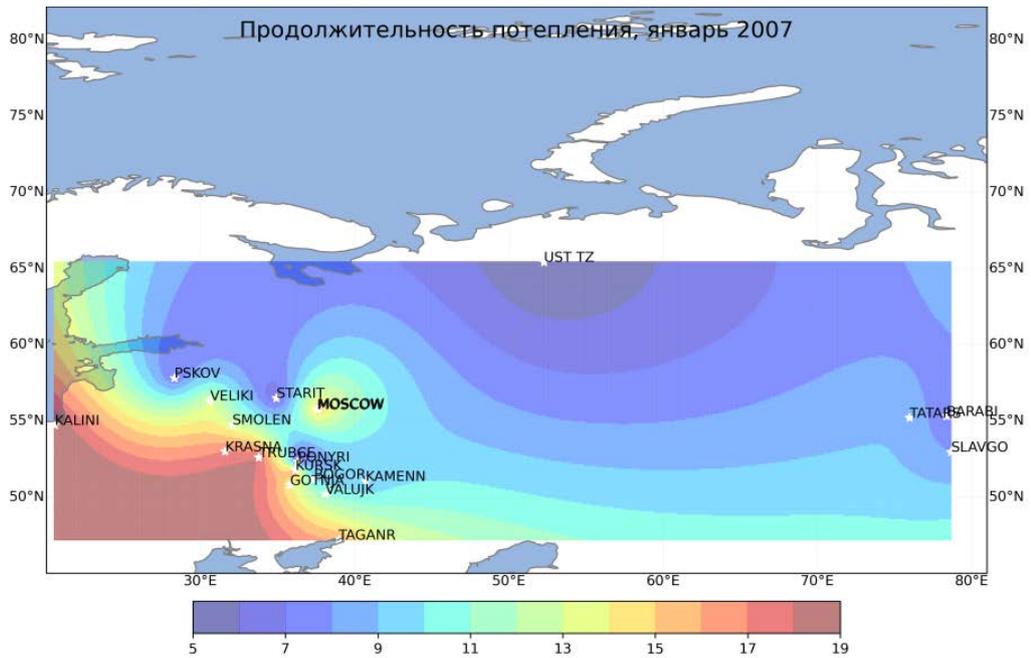


Рисунок 2.14 – Продолжительность потепления для января 2007 г.

На севере и востоке страны аномалии были менее продолжительными, чем на юго-западе и в районе Москвы. Самая непродолжительная аномалия длилась 5 дней и была зарегистрирована в Усть-Вязьме, самая длительная – 19 дней – наблюдалась в Калининграде.

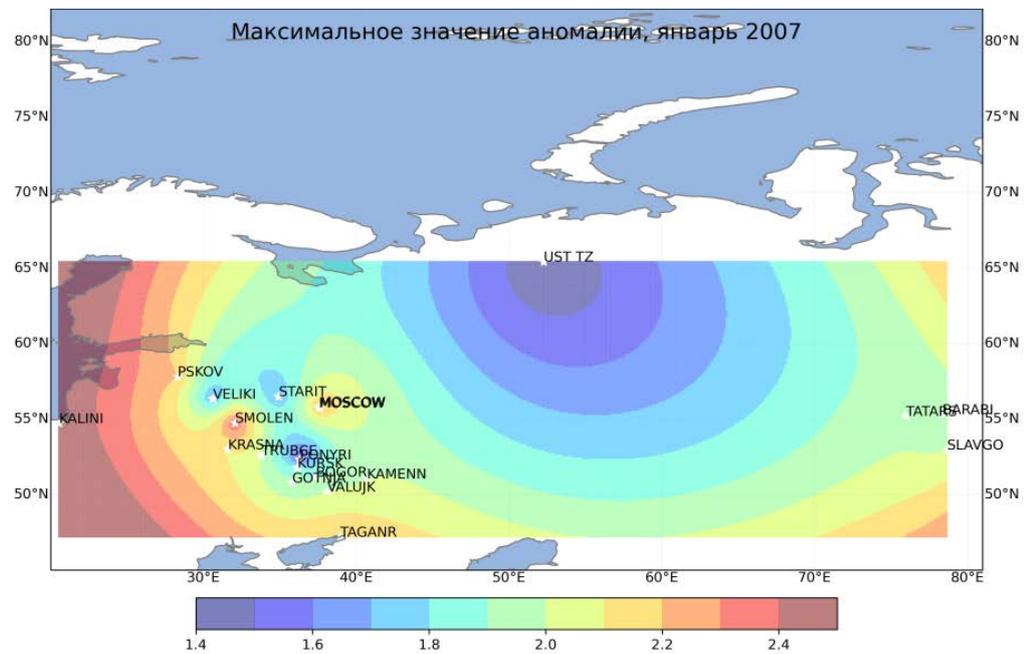


Рисунок 2.15 – Максимальное значение аномалии для января 2007 г.

Самые слабые аномалии в январе 2007 года наблюдались на станциях Усть-Вязьма, где максимальное значение достигло 1,4, и Поньри – 1,5. На остальных станциях преобладал максимум больше 2. Самое сильное потепление – 2,5 наблюдалось в Калининграде.

Минимальное значение аномалии 1,1 наблюдалось на большинстве станций, где в январе 2007 года была зафиксирована аномалия. Максимум минимальных значений – 1,6 – был зафиксирован на станции Барабинск Новосибирской области.

Март 2007 года

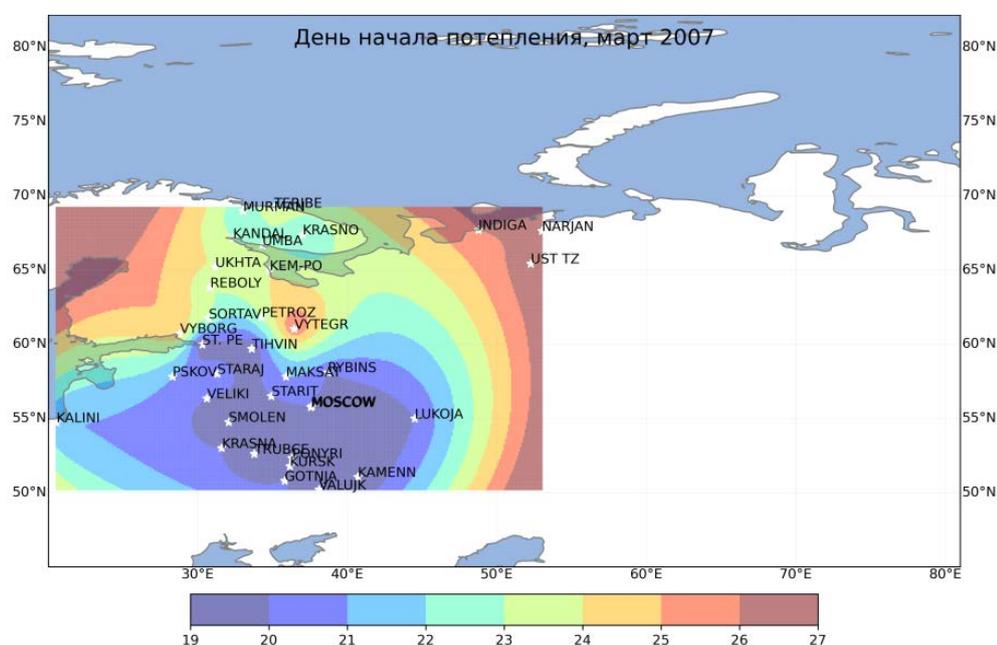


Рисунок 2.16 – День начала потепления для марта 2007 г.

Аномалия марта 2007 года начала распространяться с юга и северо-запада ЕТР – 19 числа потепление было зафиксировано на 7 станциях из 35, на которых в марте 2007 была аномалия. Потепление охватило всю ЕТР, и 27 января было зарегистрировано на станции Усть-Вязьма. Следует отметить наличие повторных аномалий на станциях Трубчевск, Поньри и Готня – они были зафиксированы 27 марта.

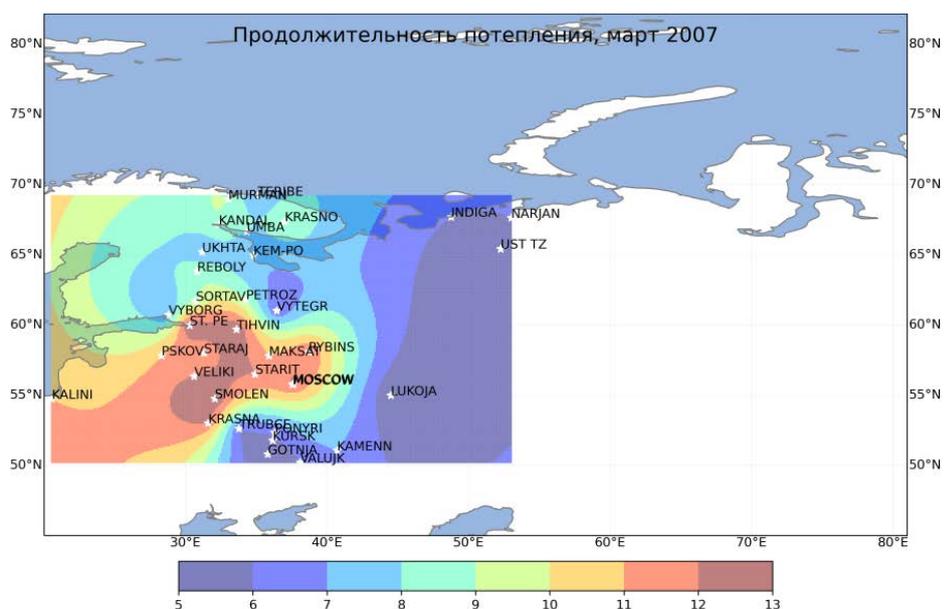


Рисунок 2.17 – Продолжительность потепления для марта 2007 г.

Наименьшую продолжительность имели аномалии на севере, востоке и юго-востоке ЕТР. В течение 5 дней потепление регистрировали на станциях Усть-Вязьма, Готня и Лукоянов. Также 5 дней длилось повторно зафиксированное потепление на трёх упомянутых станциях. Долше всего оно наблюдалось в Тихвине, Смоленске и Санкт-Петербурге – на протяжении 13 дней.

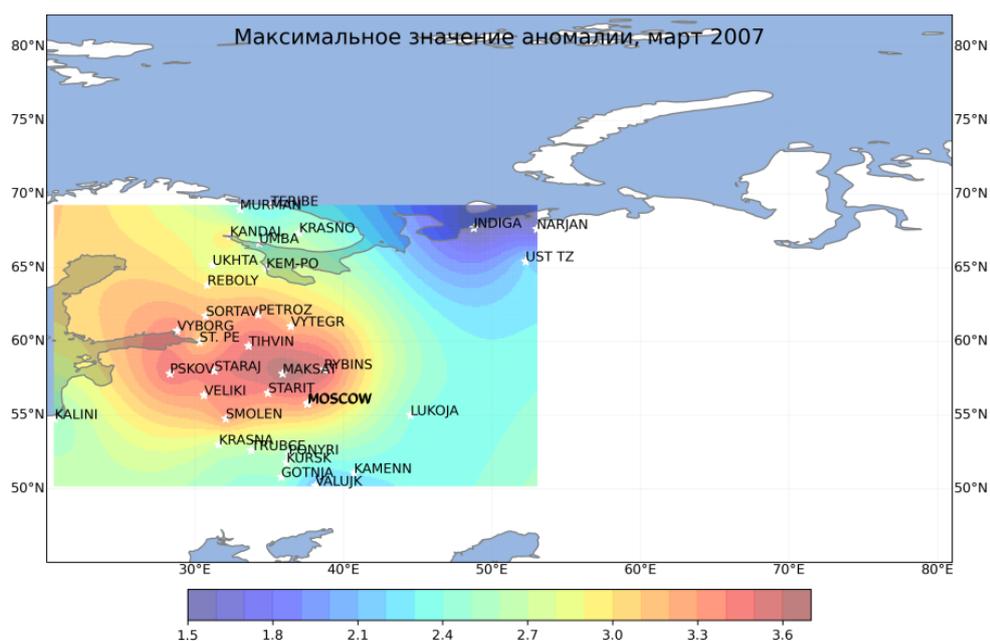


Рисунок 2.18 – Максимальное значение аномалии для марта 2007 г.

Наименее сильные аномалии наблюдались на северо-востоке – на станции Индига максимум достиг 1,5, а в Нарьян-Маре – 1,6. Наиболее сильное потепление наблюдалось в центральной части ЕТР – в Москве аномалия достигла значения в 3,3, а абсолютный максимум марта 2007 года фиксировался на станции Максатиха – 3,7. Вторые потепления на станциях Трубчевск и Поньри были сильнее – с разницей в 0,1 и 0,6 соответственно.

Значения минимума варьировались от 1,1 до 2,2. Минимальное значение из минимумов – 1,1 – наблюдалось на северо-востоке на станции Индига, максимальное (2,2) – на станции Максатиха. Минимумы повторных потеплений станций Трубчевск и Поньри были больше, чем у первых, в Готне наблюдалась обратная ситуация.

2.2 Связь выявленных аномалий с циркуляцией в тропосфере.

Рассматривая тропосферные процессы необходимо упомянуть об особенностях циркуляции воздушных масс в данном слое атмосферы.

В связи с распределением градиентов давления и температуры от экватора к полюсам, в тропосфере наблюдается западно-восточный перенос, сила которого зависит от времени года – летом он почти в два раза слабее, чем зимой. В западно-восточном переносе немалую роль играет меридиональная компонента, возникающая в результате длинных волн, порождённых чередованием океан-суша, влиянием океанической температуры и гидродинамической неустойчивостью зонального потока. Ввиду возникающего южно-северного переноса, компоненты ветра – зональную и меридиональную – рассматривают по отдельности.

На зональный перенос Северного полушария сильно влияет большое количество материков, искажая зональную составляющую скорости ветра.

В тёплое и в холодное время года преобладает перенос с запада на восток, хотя присутствуют ветры обратного направления.

Зимой восточные ветры занимают меньшую область, чем летом, располагаясь в основном ниже 5 километров, называются эти ветра зимними пассатами. Летом на восточные ветры оказывается влияние активных в это время года азорского и гавайского максимумов – область ветров расширяется в сторону севера до 30 градусов, а также кверху, где на высоте около 10 км они соединяются с восточными стратосферными ветрами летнего периода.

Западные ветры в зоне максимума скорости образуют субтропическое струйное течение. Его положение зависит от времени года – ослабевая летом, струйное течение смещается в более высокие широты. Также существуют менее статичные струйные течения умеренных широт, располагающиеся севернее субтропического струйного течения.

Струйные течения средних широт возникают в связи с уменьшением с высотой температурного градиента и ростом барического, иными словами в зоне атмосферного фронта, с коим неразрывно связаны, поэтому струйные течения средних широт также называют полярно-фронтальными. Они могут находиться на области между 40 и 60 градусами северной широты.

Меридиональная циркуляция в тропосфере связана с центрами действия атмосферы – областями пониженного и повышенного давлений. Так зимой отмечаются такие центры циклогенеза как исландский и алеутский минимумы, возникновение которых связано с перемещением холодного воздуха с суши на относительно тёплый океан. Летом над океанами ситуация обратная – с суши на море приходит более нагретый воздух, отчего, при его охлаждении, происходит рост давления – образуются азорский и гавайский максимумы. При этом зоны низкого

давления не пропадают, но сильно ослабляются. Над сушей всё происходит наоборот – летом господствуют обширные циклоны, зимой – холодные низкие антициклоны (пример – сибирский антициклон). Так меридиональный перенос связан с центрами действия атмосферы, которые играют значительную роль в тропосферной циркуляции, – он образует ячейки атмосферной циркуляции.

Благодаря меридиональной циркуляции происходит обмен энергией между экваториальными и полярными широтами, что влияет на распределение температуры на планете. [5]

Основываясь на рассмотренных данных об аномалиях температуры, можно сделать вывод, что на них существует влияние описанных тропосферных процессов. Влияние тропосферной циркуляции выражено в западно-восточном переносе – в большинстве случаев распространение аномалии начиналось с запада. Также оно прослеживается и в распределении температуры – влияние меридионального переноса – аномалии северной части зачастую были слабее южных, но всё равно присутствовали, что говорит о распределении энергии и, соответственно, более равномерном нагреве для существования потеплений на севере страны. Также можно отметить влияние подстилающей поверхности, что хорошо заметно в районе станций Сибири в начале переходного периода – марте месяце. Аномалии Сибирских станций сильнее, по сравнению с потеплениями на северных станциях примерно той же долготы, находящихся на берегу моря.

3. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В СТРАТОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ АНОМАЛИЙ ПОГОДЫ В ТРОПОСФЕРЕ.

Циркумполярный вихрь (он же околполярный или полярный вихрь) – обширный циклон в районе полюса зимнего полушария, возникающий в результате распределения температуры и давления в условиях зимней циркуляции. Полярный вихрь распространяется от тропопаузы до стратопазузы, занимая всю толщу стратосферы.

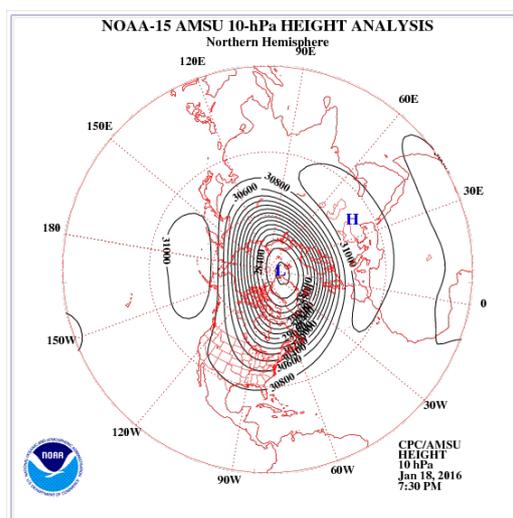


Рисунок 3.1 – Циркумполярный вихрь 18 января 2016 г. (уровень 10 гПа) [13]

Циркумполярный вихрь описывается через поля различных метеорологических величин. Так граница и сила циркумполярного вихря характеризуется через поля зонального ветра и температуры – внутри температура низкая – чем ниже, тем сильнее вихрь, в то время как у внешних границ преобладают тёплые воздушные массы. Динамику характеризует потенциальная завихрённость, в Северном полушарии она определяется со знаком плюс. Также к характеристикам полярного вихря относится поле геопотенциала. Геопотенциал – работа, которую нужно затратить для подъёма частицы единичной массы в поле силы тяжести от уровня моря на выбранную высоту. Внутри вихря давление низкое, как

следствие – этой области будут соответствовать пониженные значения геопотенциала, таким образом, геопотенциал будет характеризовать форму полярного вихря. Также, вследствие связи изменения геопотенциала с температурой, он будет характеризовать границы полярного вихря – на внешних границах температура выше, а изменение геопотенциала будет меньше.

Формируется околополярный вихрь в начале холодного периода – осенью – зимой, весной разрушаясь. В зимней субполярной стратосфере преобладают сильные западные воздушные течения. В Северном полушарии – над Арктикой – полярный вихрь формируется в октябре и наиболее устойчив в период с ноября по февраль, так как в этот период в нижней стратосфере усиливается зональный ветер и понижается температура. Наиболее активным он становится в начале – середине зимы – в период с декабря по январь, когда наблюдаются самые низкие температуры и сильные зональные ветры. Причиной разрушения, помимо роста поступающей солнечной радиации, нагревающей стратосферу, также является распространение волн Россби, сопровождающееся ВСП, которое может послужить более раннему переходу с зимнего на летний режим, если полярный вихрь не восстановится. На усиление или ослабление полярного вихря оказывает влияние КДК – они оказывают влияние на расположение линии перехода среднезональных значений скорости ветра через ноль, влияющей на распространение в стратосферу планетарных волн. В результате при западной фазе полярный вихрь усиливается, а при восточной – ослабляется.

Арктический вихрь имеет вытянутую форму, занимает в среднем 40 млн км кв. Он значительно слабее вихря на Южном полюсе, продолжительность его существования почти в 2 раза короче. Полярный вихрь Северного полушария больше подвержен межгодовым изменениям. Он считается относительно устойчивым, если зональная скорость ветра на

60 градусах широты на высоте 50 гПа (около 20 км) не менее 15 м/с, при скорости более 20 м/с он считается устойчивым. Среднее положение полярного вихря – рядом с полюсом, при ослаблении он может расщепляться или смещаться – в том числе в результате возникновения ВСП. Вихрь Северного полушария претерпевает изменения по всем высотам стратосферы практически синхронно – максимумы наблюдаются в декабре, а разрушается он в марте. Задержка распространения по высотам – около 6-14 дней. [5, 12]

Анализ стратосферных процессов происходил на основе данных о геопотенциальной высоте на уровне 10 гПа, по которым были построены карты аномалий геопотенциальной высоты.

Восточная фаза

Сначала будут рассмотрены года, фигурировавшие во второй главе. Для восточной фазы это февраль 1989, январь и март 2007 годов.

Фаза КДК восточная, 1989 февраль. Потепление с 1 февраля, максимальное значение 3,1, продолжительность 8 дней, область потепления большая

Начиная с декабря, над территорией РФ преобладала отрицательная аномалия. В январе она усиливается и достигает максимума примерно 23 января (за неделю до потепления). Максимальная аномалия наблюдается на большей части Северного полушария. Максимум на территории РФ. 3 февраля ситуация меняется область отрицательных аномалий уменьшается и к 7 февраля большая часть полушария это область положительных аномалий.

В конце января – начале феврале над рассматриваемой территорией России установился обширный центр отрицательной аномалии геопотенциала. К 6 февраля очаг отрицательной аномалии сместился через северо-запад к Канаде, в то время как с юго-запада и востока на юго-

восточную южную часть ЕТР. Распространяясь к северу, к 10 февраля положительная аномалия образовала второй центр в районе Северного моря. Расширяясь, очаг курсировал на восток и обратно, 18-19 февраля занимая всю ЕТР, 19 февраля на востоке России образовался второй центр отрицательной аномалии. К концу месяца очаг положительной аномалии сместился к Канаде, оставив над ЕТР отрог незначительной положительной аномалии.

Январь 2007, начало потепления 1, максимальная продолжительность 19 дней, обширная территория, максимальное значение 2,5.

В декабре над территорией РФ преобладала отрицательная аномалия геопотенциальной высоты, достигнувшая максимума 18 числа над центральной частью ЕТР и Урала. К январю её центр сместился на северо-запад и уменьшился, с востока пришла положительная аномалия. К концу потепления положительная аномалия сместилась на восток к Канаде, в то время как над РФ преобладала незначительная отрицательная.

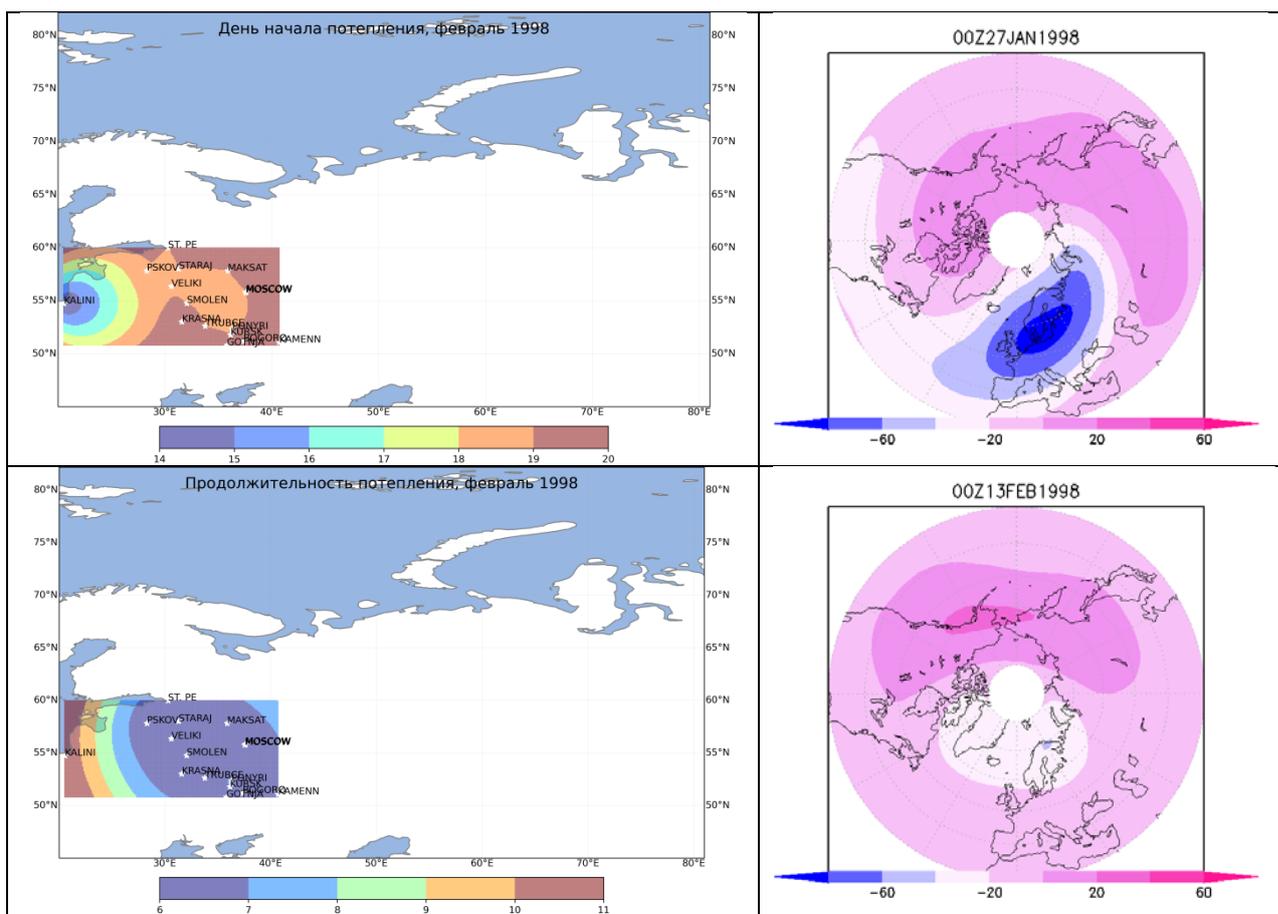
В конце декабря над ЕТР располагалась отрицательная аномалия геопотенциальной высоты, на востоке – обширная положительная аномалия, смещавшаяся на восток. Центр отрицательной аномалии уменьшился, сместившись на северо-восток, над Атлантикой в районе Гренландии появился второй, который, также смещаясь на восток, 8 января оказался над Скандинавией. Над Россией установились незначительные отрицательные аномалии, усиливающиеся к северу.

Март 2007, начало потепления 19, максимальная продолжительность 13 дней, аномалия занимала большую часть ЕТР, максимальное значение 3,7.

С середины февраля до начала марта над западной территорией РФ располагалась сильная отрицательная аномалия, в первых числах марта она

ослабла, её центр сместился на север РФ. С 7 по 11 марта отрицательная аномалия углубилась, а к началу потепления над РФ установилась положительная аномалия геопотенциала.

Центр отрицательной аномалии, находившийся над ЕТР и территориями за Уралом в конце февраля, уменьшился, 4 марта исчезнув в районе северного Урала. Вновь центр отрицательной аномалии возник 7 марта, не углубляясь стационарировал над Центральной Россией, и исчез к середине месяца. 15 марта с северо-запада на ЕТР пришла положительная аномалия, распространившись на всю территорию России и усилившись в северных районах. К 24 марта она начала движение на север, к концу месяца оставшись только на северо-западе страны, в то время как в Сибири образовался центр отрицательной аномалии.



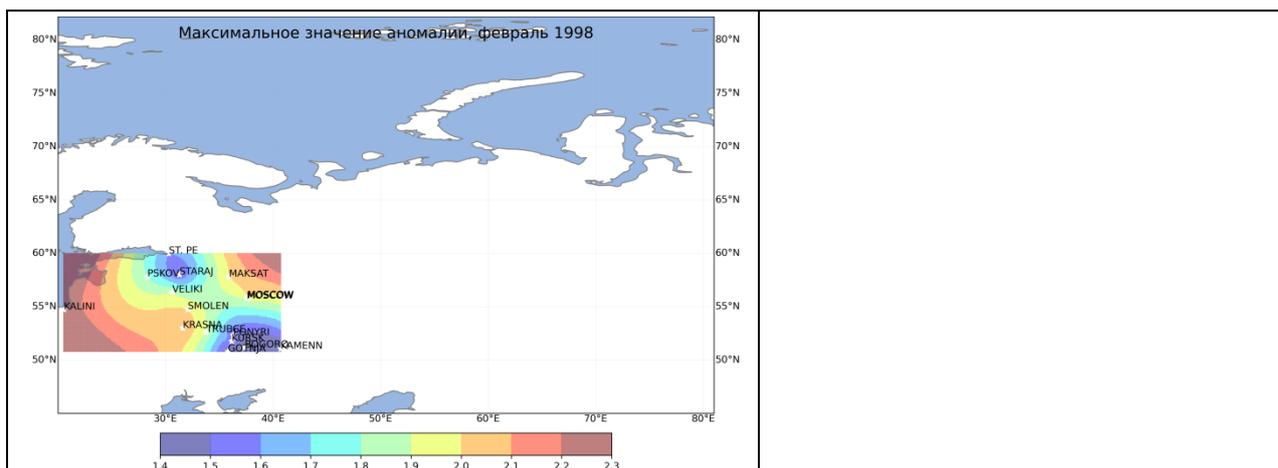


Рисунок 3.2 – Сопоставление характеристик потепления у подстилающей поверхности и поля геопотенциала на уровне 10 гПа. Февраль 1998 год

Фаза КДК восточная, 1998 февраль, началось 14, продолжалось 11 дней, максимальное значение 2.3, область потепления небольшая

Начиная с декабря, присутствует очаг отрицательных аномалий, меньшей силы, чем в 1989 году. Сильный очаг положительной аномалии 27 января, уменьшается к 8 февраля, за неделю до потепления большая часть полушария это область положительных аномалий.

Потепление в феврале 1998 года первоначально было зафиксировано 14 числа в Калининграде, откуда стало распространяться на восток. 19 февраля аномалия температуры была зарегистрирована на большинстве представленных станций. Позже всего потепление распространилось к станциям Каменная Степь, Красная Гора, Богородицкое Фенино и Готня – там его зафиксировали 20 февраля.

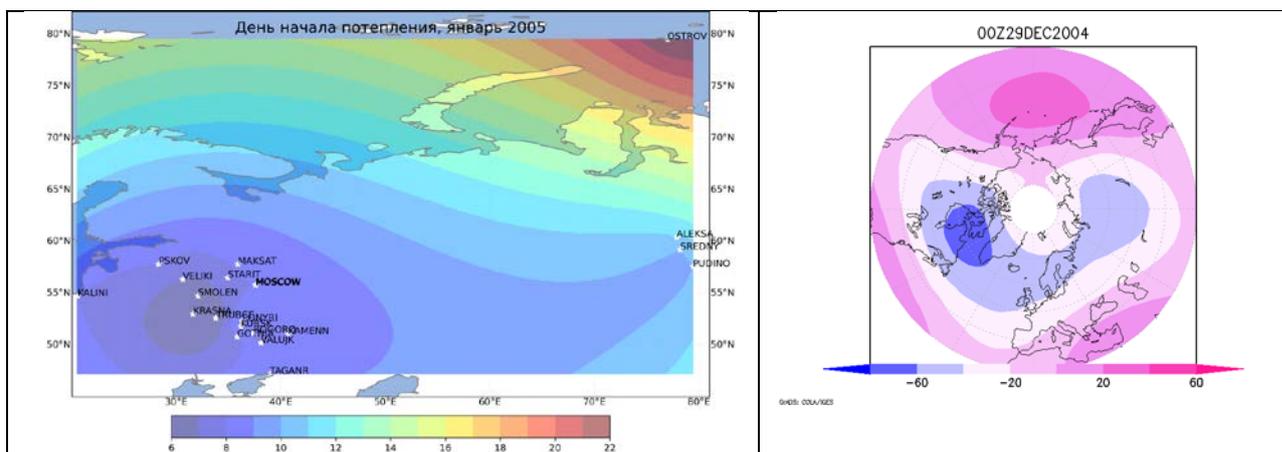
На большинстве станций – в центральной части ЕТР – аномалия длилась в течение 6 дней, на станциях Курск, Готня и Поньри – 7 дней. Максимальной продолжительности потепление наблюдалось в Калининграде, длясь на протяжении 11 дней.

Максимум аномалии варьировался от 1,4 до 2,3. Самые слабые потепления наблюдались на севере и юго-востоке рассматриваемой территории – на станциях Каменная Степь, Богородицкое Фенино и Готня

аномалия достигла минимума из максимальных значений – 1,4. На станциях Старая Русса и Поньри максимум достиг 1,5. Самое сильное потепление наблюдалось на западе – в Калининграде – там аномалия температуры достигла 2,3.

Абсолютный минимум аномалии в 1,1 наблюдался на четырёх станциях, расположенных на юго-востоке. Самое большое минимальное значение аномалии было зафиксировано на станции Максатиха – 1,5.

В начале февраля восточный очаг положительной аномалии сместил центр отрицательной аномалии с запада страны. На ЕТР преобладала незначительная отрицательная аномалия, на востоке часть рассматриваемой территории занимала обширная положительная, к 10 февраля сместившаяся западнее. К середине месяца началось движение отрицательной аномалии на восток, к 14 февраля её центр достиг Белого моря, расширился и углубился, достигнув максимальных отрицательных значений 19 февраля южнее Ладожского озера. Там он держался до конца месяца, распространяясь на восток, 28 февраля сильные аномалии ушли и к марту выраженный центр отрицательной аномалии располагался на севере России.



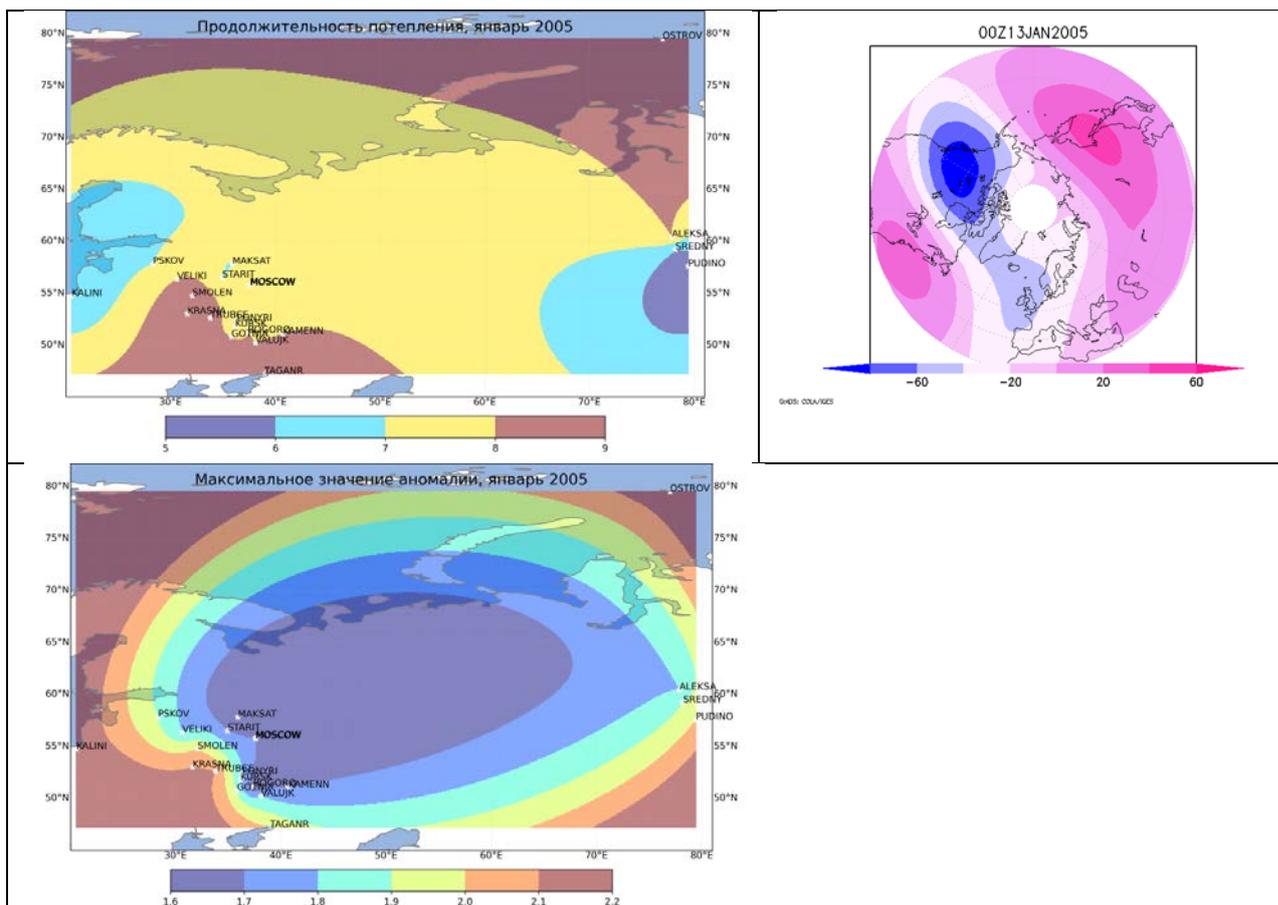


Рисунок 3.3 – Сопоставление характеристик потепления у подстилающей поверхности и поля геопотенциала на уровне 10 гПа. Январь 2005 год

2005 январь, потепление началось 6, максимальная продолжительность 9 дней, область потепления обширная, максимальное значение 2,2.

В конце декабря над территорией РФ преобладала отрицательная аномалия, заняв наибольшую площадь 29 числа. В январе она смещается на запад и усиливается, достигнув максимального значения и его площади к началу потепления – 5 января. К 13 января очаг отрицательной аномалии отходит к западу, большую часть Восточного полушария занимает положительная аномалия.

Потепление января 2005 года получило распространение из юго-западной части ЕТР, в частности из района Смоленска, Красной Горы и Трубчевска, где было зарегистрировано 6 января. Оттуда аномалия температуры распространилась во все стороны, дойдя до Сибири, где

потепление зарегистрировали впервые 10 января (Пудино и Средний Васюган), а также до Острова Визе – 22 января.

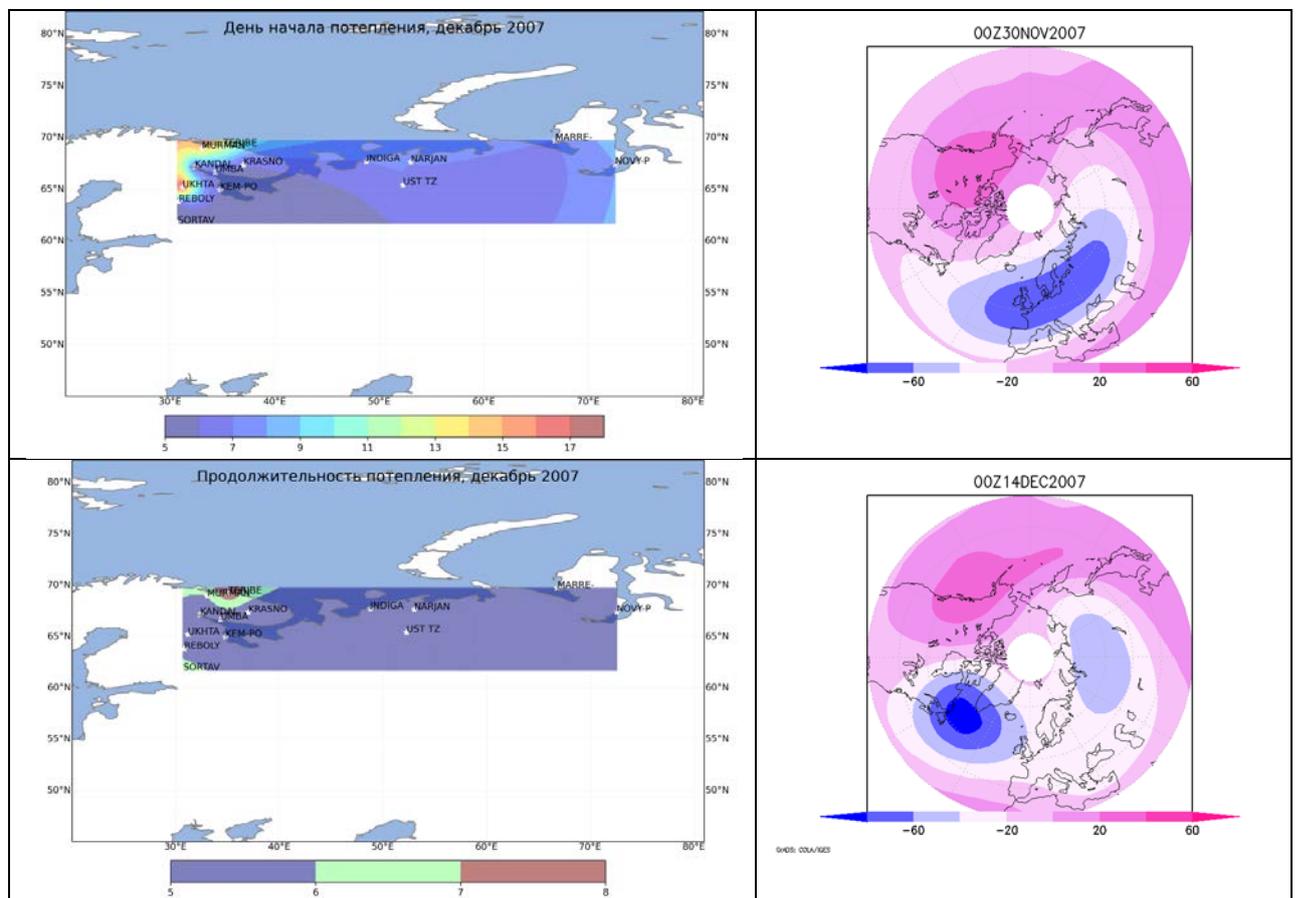
В среднем потепление длилось 7-8 дней. Наименьшей продолжительности аномалия была на станции Пудино – 5 дней, максимальная же наблюдалась на юге и юго-западе ЕТР, где потепление в течение 9 дней регистрировалось на станциях Смоленск, Красная Гора, Трубчевск и Таганрог, а также на Острове Визе.

Аномалии января 2005 года достигали значений 1,6-2,2. Наибольший разброс максимумов был на территории ЕТР – минимальное из ряда максимальных значение наблюдалось на станциях Богородицкое Фенино и Максатиха, максимальное – в Калининграде. Среднее значение максимума в Сибири было 1,9. Абсолютного максимума аномалия достигла также на станции Остров Визе – 2,2.

Разброс минимальных значений составлял 0,5 – от 1,1 до 1,6. На большей части станций с аномалиями минимум был 1,1, значения 1,6 он достигал только на станции Остров Визе.

На конец ноября – начало декабря над рассматриваемой территорией России установилась отрицательная аномалия геопотенциальной высоты с центром в Центральной Сибири. В начале месяца она ослабевала, смещаясь на запад, и 3 января слилась с обширным центром на западе, распространившемся на ЕТР. После 7 января отрицательная аномалия стала смещаться на запад, с востока пришла положительная аномалия, охватив южные районы и Сибирскую территорию. 18 января в Северном полушарии наблюдалось три центра аномалий геопотенциальной высоты – два положительных и один отрицательный, над рассматриваемой территорией господствовали незначительные отрицательные аномалии на юге и чуть более сильные на севере и в центральной части ЕТР. К 19 января центр отрицательной аномалии стал расщепляться, одна часть его

сместилась на восток на ЕТР, где углубилась и расширилась, несколько сместившись на восток, к 24 января охватив ЕТР и область за Уралом. После 25 января отрицательная аномалия стала смещаться на запад, с востока двигалась положительная аномалия, и к концу месяца отрицательная аномалия занимала ЕТР и часть территорий за Уралом, в то время как в районе восточных станций рассматриваемой территории проходила граница положительной аномалии.



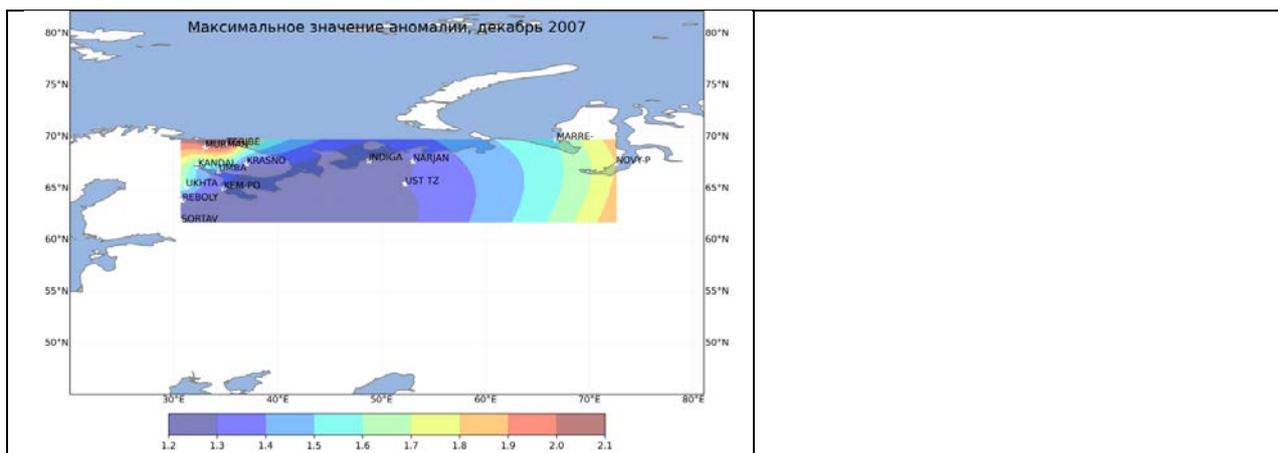


Рисунок 3.4 – Сопоставление характеристик потепления у подстилающей поверхности и поля геопотенциала на уровне 10 гПа. Декабрь 2007 год

Декабрь 2007, начало потепления 5, максимальная продолжительность 8 дней, располагалось на севере, занимая значительную его часть, максимум 2,1.

В конце ноября – декабре над РФ находилась отрицательная аномалия, в первых числах декабря ослабляющаяся и смещающаяся на восток, максимальная площадь центра наблюдалась 30 ноября. В 10-х числах декабря появился второй центр отрицательной аномалии, 15 декабря слившийся с первым, после чего отрицательный очаг занял местоположение над территорией РФ, углубившись к концу потепления

Аномалия в декабре 2007 года наблюдалась на 14 станциях, располагающихся на севере России. 5 декабря её зафиксировали в Сортавале, откуда она распространилась на север и северо-восток, 8 декабря потепление началось в районе станции Новый Порт, 18 его зарегистрировали в Ухте. Также на станциях Порт Кемь и Умба были зарегистрированы повторные аномалии – 25 и 15 декабря соответственно.

На большинстве станций потепление фиксировалось на протяжении 5 дней, на северо-западе на станции Териберка оно держалось дольше всего – на протяжении 8 дней. Повторные аномалии были на день дольше первых – по 6 дней.

Аномалии декабря 2007 года не отличались сильным ростом температур – на большинстве станций максимум не превышал 2. Самое сильное потепление наблюдалось на станции Териберка, где аномалия составила 2,1. Значения повторных аномалий были больше, так в Умбе вторая аномалия достигла 2.

Минимальное значение лежало в пределах 1-1,3. Абсолютный минимум наблюдался на юго-западе рассматриваемой территории – на станциях Сортавала и Реболы, тогда как максимум из ряда минимумов – 1,3 – фиксировался на станциях Териберка, MARRE-SALE и Новый Порт. Минимум повторных аномалий на обеих станциях был на 0,1 меньше, чем у первых аномалий.

В декабре над рассматриваемой территорией находилась отрицательная аномалия геопотенциальной высоты. В начале месяца её центр затрагивал ЕТР и центральный Урал, он смещался на восток, ослабевая, 7 декабря, оказавшись в Сибири, вновь углубился, к середине месяца ослабнув и соединившись с новым центром, чей отрог распространился с Атлантики на восток. 17 декабря центр сместился на север рассматриваемой области и углубился, расширяясь к югу. После 20-х чисел он стал уменьшаться, смещаясь на восток, и к концу месяца его центр оказался в центральной Сибири, в то время как над Атлантикой, западнее Гренландии, образовался новый центр отрицательной аномалии.

Большинство аномалий (февраль 1998, январь 2005, январь и март 2007 годов) при восточной фазе КДК распространялись с запада на восток, лишь в двух из шести рассмотренных случаев начав распространение с востока – в феврале 1989 года, когда потепление распространялось с северо-востока, и в феврале 2007 года. В четырёх случаях (январь 1998, январь, март, декабрь 2007 годов) аномалии наибольшей продолжительности наблюдались западнее, аналогично распределились

аномалии с наибольшими значениями – на западе – в районе Калининграда – потепления были сильнее, чем на востоке.

Дважды из всех случаев потепление длилось максимально 8 дней – в феврале 1989 года и декабре 2007 года, в среднем аномалия температуры при восточной фазе длилась 11 дней – такому среднему значению способствует потепление января 2007 года, длившееся 19 дней. Абсолютный максимум превышал 2, в двух случаях – феврале 1989 и марте 2007 – он был больше 3. Как и при западной фазе, в большинстве случаев потепления восточной фазы оно прекращало распространение в 20-х числах, только в декабре 2007 года последним днём начала потепления было 18-е число.

Западная фаза

Аналогично восточной фазе, вначале будут рассмотрены март 1983, февраль 2002 и март 2008 годов. Для подробного сравнения, как и в случае с восточной фазой, будут представлены три случая с картами, описывающими происходящее в тропосфере и в стратосфере в одно время.

Март 1983, начало потепления 2, максимальная продолжительность 9 дней, охватывает большую территорию РФ, максимальное значение 3,5.

В конце февраля – начале марта над рассматриваемой территорией располагалась отрицательная аномалия с центром на северо-западе ЕТР, пришедшая туда 19 февраля и остававшаяся до начала потепления (2 марта), после начавшая уменьшаться. В это время в начале марта с востока надвигалась положительная аномалия, 6 марта охватившая всю рассматриваемую территорию РФ. После 8 марта над Европой возник центр отрицательной аномалии, к концу потепления смещавшийся на восток.

В конце февраля – первых числах марта очаг отрицательной аномалии геопотенциальной высоты, перемещаясь по ЕТР, сместился на запад и к 4 марта исчез. Положительная аномалия с востока распространилась на юг, центр её к двадцатым числам покинул Сибирь, сместившись на Канаду. Рассматривая карту аномалий геопотенциала за 25 марта следует отметить, что в местах более сильной положительной аномалии геопотенциала аномалии температуры были слабее.

Февраль 2002, начало 1, максимальная продолжительность 16 дней, температурная аномалия занимала большую часть территории, максимальное значение 2,9.

В середине-конце января над РФ находилась отрицательная аномалия геопотенциала. К началу февраля область её максимальных значений сместилась на север, исчезнув к востоку от Урала. 4 февраля с северо-запада пришёл новый очаг отрицательной аномалии, усиливающийся по мере смещения на восток и достигнувший максимального развития за 10 дней до окончания потепления.

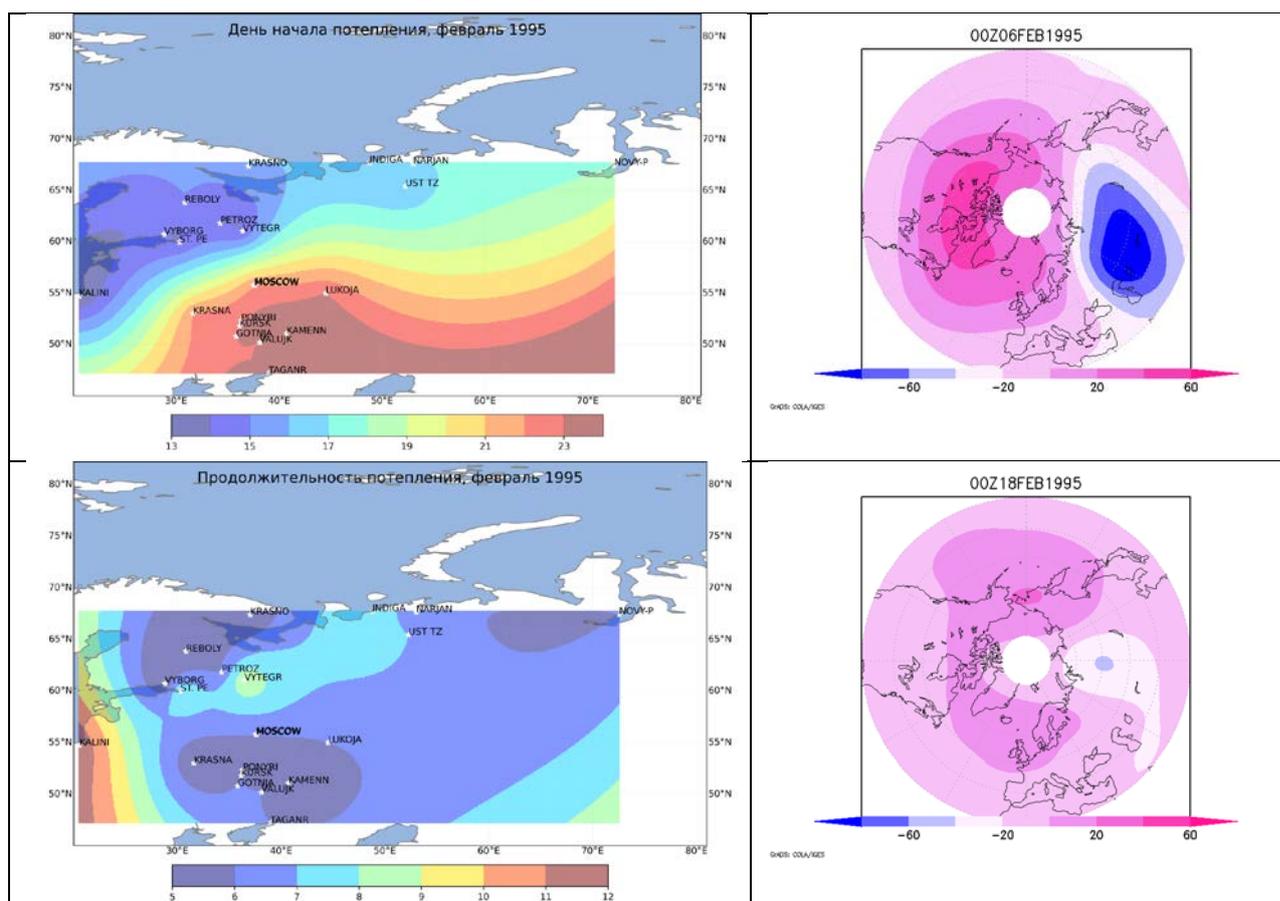
В январе над территорией России наблюдалась отрицательная аномалия геопотенциала: она пришла после 5-го числа, охватила центральную и северо-восточную часть ЕТР, в течение 7-10 дней распространилась по всей ЕТР и на восток, а также обрела центр с аномалией больше -60, господствующий на севере ЕТР и Урала. После 15-го числа минимум сместился на восток, уменьшаясь

Март 2008, начало 21, максимальная продолжительность 11 дней, потепление охватило территории за Уралом и Нижегородскую область, максимальное значение 3,1.

В конце февраля – начале марта над территорией РФ наблюдалась отрицательная аномалия геопотенциальной высоты. 10 марта на востоке

ЕТР и западе Сибири её очаг вырос и стал усиливаться, 14 марта она уменьшилась, с севера стала спускаться положительная аномалия, затрагивая северные и северо-западные районы. К 20-м числам положительная аномалия распространилась на юг, охватывая большие территории.

Очаг отрицательной аномалии на юге России уменьшился, первую треть месяца на территории России наблюдались незначительные отрицательные аномалии, ослабевшие после 15 числа, когда с северо-запада начала движение положительная аномалия геопотенциальной высоты. До конца месяца она смещалась к югу, в итоге, после 21 марта, охватив всю рассматриваемую территорию России..



В феврале 1995 года потепление длилось от 5 до 12 дней, на большей части рассматриваемой территории оно длилось 5-6 дней. Наибольшая продолжительность фиксировалась в Калининграде – аномалия там наблюдалась в течение 12 дней, в то время как наименьшая продолжительность была на северо-западе и юге ЕТР.

Максимальное значение аномалии в феврале 1995 года варьировалось от 1,3 до 2,6, максимум из которых наблюдался на станции Таганрог. Минимальные значения наблюдались на севере северо-западе рассматриваемой территории, при этом минимальное значение максимума аномалии было на станции Выборг и составляло 1,3.

Абсолютное минимальное значение аномалии в феврале 1995 года было 1,1 и наблюдалось на пяти станциях на северо-западе и юге ЕТР. Максимум из минимальных значений – 1,4 – наблюдался в Таганроге. Подобное распределение минимальных значений создаёт два очага минимумов, занимающих большую часть рассматриваемой территории, занятой станциями, передававшими данные.

В конце января – начале февраля над Россией наблюдался очаг отрицательной аномалии геопотенциальной высоты, смещающийся с запада на восток. К 9 февраля он ослаб и 10 февраля исчез, на его место 11 февраля пришла незначительная положительная аномалия, распространявшаяся с востока. Отрицательная аномалия геопотенциальной высоты расположилась над Европой в районе Скандинавии. К середине месяца отрицательная аномалия, усиливаясь, смещалась на восток, следом за ней смещался отрог положительной аномалии. К концу месяца на территории станы господствовала незначительная отрицательная аномалия геопотенциала.

Март 1995, начало потепления 2, максимальная продолжительность 10 дней, потепление занимало большую часть территории – восток ЕТР и территории Сибири, максимальное значение 2,9.

За 10 дней до начала потепления на северной и центральной частях ЕТР и Урала наблюдалась положительная аномалия геопотенциальной высоты, к концу февраля исчезнувшая. В начале потепления – 2 марта – над Балтийским морем возник очаг положительной аномалии, на протяжении 10 дней разраставшийся и продвигающийся на восток. 14 марта над рассматриваемой территорией установилась отрицательная аномалия, продержавшись до конца потепления.

В марте 1995 года потепление распространялось с юга Европейской территории России на северо-восток и восток – за Урал, охватив северные станции и Новосибирскую и Томскую области. 2 марта аномалию зафиксировали в Курске, Трубчевске, Готне и Валуйках, 3-го числа в Таганроге, в Новосибирскую область потепление пришло после 20-х чисел, с 22 марта из Татарска распространяясь к северу и северо-востоку. Позднее всего аномалия была зафиксирована в Нарьян-Маре – 26-го марта 1995 года.

Аномалии температуры в марте 1995 года длились от 5 до 10 дней. На большинстве станций потепление продолжалось в течение 5-6 дней – такая длительность аномалии была, в большинстве своём, на Европейской территории, но также 5 дней потепление длилось в Барабинске Новосибирской области. Дольше всего аномалия наблюдалась в Татарске – там потепление регистрировали на протяжении 10 дней.

На большинстве станций аномалия превысила или была равна 2 градусам, лишь в пяти случаях она была ниже – на станции Новый Порт она составляла 1,9, в то время как минимальное значение максимума

наблюдалось в Нарьян-Маре – 1,4 градуса. Максимум температурная аномалия достигла на станции Пудино Томской области и составила 2,9.

Минимальное значение аномалий варьировалось от 1,2 до 1,4, минимум из которых наблюдался в Нарьян-Маре, Барабинске и Татарске, а максимум – в Пудино.

Ближе к 20-м числам февраля на южной части России установилась незначительная положительная аномалия геопотенциала. К концу февраля положительная аномалия ушла с территории России, отрицательная стала распространяться с северо-востока на юго-запад, к 5 марта усилилась, но к 10-му числу снова ослабла, окружаемая с востока и запада положительной аномалией. 15 марта положительная аномалия геопотенциальной высоты сомкнулась с востока и запада над территорией России, более сильная часть, находившаяся над Аляской, получила смещение на запад, дойдя чуть дальше озера Байкал. 19 марта положительная аномалия геопотенциала начала движение на восток, уступая место на западе незначительной отрицательной аномалии геопотенциала, которая, по мере продвижения на восток, усилилась, к 22 марта её центр установился на севере России. 23 марта положительная аномалия ушла с южной части ЕТР, к концу месяца снова продвинувшись на запад по северной части страны.

Февраль 1997, начало 8, максимальная длительность 6 дней, потепление охватывало от 54 до 63 градусов северной широты от ЕТР до Сибири, максимальное значение 2.

За неделю до начала потепления на ЕТР с запада пришла положительная аномалия геопотенциала, уменьшавшаяся по мере продвижения на юго-восток. К началу потепления на севере РФ образовался очаг отрицательной аномалии, 8 февраля слившийся с очагом на западе, положительная аномалия над РФ полностью уступила место отрицательной, вновь вернувшись на юг рассматриваемой территории

только 15 февраля, после чего очаг отрицательной аномалии с Атлантики начал смещаться на восток.

В феврале 1997 года положительные аномалии температуры наблюдались с 8 по 24 числа месяца. Рассматривая карту, основанную на данных о дате начала аномалии, можно отметить, что потепление началось на юге и северо-западе России, к середине месяца распространившись на центральную часть ЕТР. Наблюдалось оно как на Европейской территории, так и за Уралом – на карте отмечены станции Новосибирской (Барабинск и Северный) и Томской областей (Пудино). Следует отметить также, что в Москве располагаются две станции, и на одной из них начало потепления было зафиксировано и 11 числа и 23-го, в то время как на другой только 23-го. Таким образом, в Москве наблюдалось две аномалии, но одну из них – ту, которая случилась раньше, зафиксировали только на одной из станций.

Аномалии февраля 1997 года длились 5 дней на семи из 15 рассматриваемых станций, на остальных – 6 дней.

Максимальное значение аномалии варьировалось от 1,4 до 2, минимум из которых наблюдался в первую аномалию на второй московской станции, а максимум в Смоленске, Великих Луках и в Северном. По карте видно, что наименьшей максимальной температуры аномалия достигла на центральной части ЕТР – в районе Москвы и Лукоянова (Нижегородская область) – стоит отметить, что эти аномалии на данных станциях наблюдались почти в одно время с разницей в день – в Москве она началась 11-го, а в Лукоянове 12-го февраля.

Минимальное значение аномалии в феврале 1997 года было между 1,1 и 1,3. Минимум наблюдался на западе рассматриваемой территории, в то время как по мере продвижения на восток значение минимума аномалии росло.

В конце января над Россией в пределах рассматриваемой территории наблюдалась как положительная, так и отрицательная аномалии. Положительная аномалия смещалась с северо-запада на юго-восток, в то время как на севере отрицательная аномалия расширялась на запад и усиливалась, к 8 февраля полностью сместив положительную аномалию с территории России. Вновь на территорию России положительная аномалия вернулась 15 февраля, распространившись отрогом с востока на юго-запад, к 20-м числам вновь переместившись на восток. После 18 февраля над Россией установилась отрицательная аномалия геопотенциала, продержавшаяся там до конца месяца, центр которой смещался на восток, 26 февраля ослабнув и 27 разделившись на две части.

Март 1999, начало потепления 25, максимальная продолжительность 7 дней, потепление занимает юг и центр ЕТР, максимальное значение 3,3.

В начале марта на территорию РФ с севера пришла положительная аномалия геопотенциала, опускаясь к югу и распространяясь на всю рассматриваемую часть РФ. Постепенно смещаясь к западу, аномалия ослабилась и распространилась на большие территории, к концу потепления занимая большую часть Северного полушария.

В марте 1999 года аномалии температуры наблюдались только на Европейской территории России, охватив территорию в пределах Калининграда, Тихвина, Лукоянова и Таганрога. Потепление началось 25-27 марта, распространяясь из Калининграда на восток, где аномалию зафиксировали 25-го, и до большинства рассматриваемых станций дойдя к 27-му марта.

Потепление марта 1999 года длилось от 5 до 7 дней. На большей части рассматриваемой территории аномалия наблюдалась 5 дней, лишь в Калининграде, где превышение температуры было зафиксировано раньше всего, она продолжалась на протяжении 7 дней.

Потепление достигало максимума от 2,2 до 3,3 градусов. Наименьшее отклонение температуры наблюдалось на юге на станции Таганрог – там оно составило 2,2, в то время как наибольший максимум регистрировался в Калининграде – 3,3. Также температурный порог в 3 градуса был преодолен на станциях Тихвин и Максатиха – там максимум аномалии составлял 3,1 градус.

Минимальное значение аномалии варьировалось от 1,5 в Пскове и Старице до 2,2 в Курске. В марте 1999 года на большом количестве станций минимальная температурная аномалия фиксировалась со значений выше 2.

В конце февраля на территории России установилась положительная аномалия геопотенциала, на 26 февраля обладавшая 2 центрами. К началу марта положительная аномалия сместилась на север страны, на юге установилась отрицательная, но к 10-м числам положительная аномалия сдвинулась к югу России, 12 марта заняла всю ЕТР. Продвигаясь на юго-запад, к 14-му числу она начала ослабевать, после 20-го чуть сместившись севернее. До 27 марта положительная аномалия занимала всю рассматриваемую территорию, после на самые южные районы с юго-востока сместилась отрицательная аномалия, 30 марта исчезнув.

Январь 2002, начало 10, максимальная продолжительность 10 дней, потепление охватывает большую территорию, максимальное значение 2.

В конце декабря над восточной частью рассматриваемой территории находилась положительная аномалия, над западной – отрицательная. К началу января обе аномалии ослабели и сдвинулись на запад, в начале января от отрицательной отделился второй центр, сдвинувшись на восток – теперь отрицательная аномалия занимала ЕТР. К 13 января отрицательная аномалия продвинулась вглубь территорий РФ, разрастаясь и усиливаясь.

Потепление января 2002 года распространялось с севера на юг страны, 10-го числа начавшись на станциях Порт Кемь, Ухта и Реболы и к 26-му дойдя до Сибири и юга ЕТР. В этом году аномалии температуры наблюдались на большой территории – от Калининграда до Томской области, от республики Коми до Белгородской области.

На большинстве рассматриваемой территории аномалия длилась 6 дней – данная продолжительность наблюдалась как на Европейской территории России, так и за Уралом – на Сибирских станциях. Меньше всего потепление продержалось на станциях Котлас и Реболы – на протяжении 5 дней, в то время как дольше всего аномалия фиксировалась в Калининграде и Ухте – 10 дней.

Абсолютного максимума аномалия достигла в Сибирских районах – на станциях Пудино и Средний Васюган (Томская область) и Северное и Татарск (Новосибирская область) она составила 2. Минимум максимального значения наблюдался в центральной части ЕТР – на станции Старица максимум аномалии составил 1,3.

Минимальное значение варьировалось от 1,1 до 1,4 – на севере и в центральной части ЕТР преобладало минимальное значение в 1,1, в то время как максимальная минимальная аномалия фиксировалась на Сибирских станциях – Александровское, Барабинск, Пудино и Северное.

В конце декабря над ЕТР установилась отрицательная аномалия геопотенциала. Расширяясь к югу, её центр с Атлантики сместился на восток, к 10-м числам установившись над Скандинавией и севером ЕТР и, углубляясь, перемещался на восток, после 17 января начав ослабевать и смещаться на запад, оставляя на востоке менее сильную отрицательную аномалию. 28 января очаг отрицательной аномалии разделился на два центра, один из которых сместился в сторону Сибири. К концу января очаг начал углубляться.

Март 2002, начало 16, максимальная продолжительность 8 дней, потепление охватило северо-восток ЕТР и территории Сибири, максимальное значение 2,6.

В конце февраля – начале марта над Сибирской территорией располагался очаг отрицательной аномалии, сильно ослабившийся к 8 марта. За 6 дней до начала потепления с запада северо-запада пришла положительная аномалия, распространившаяся на восток. В начале потепления исчезнув с центральной части рассматриваемой территории, спустя 4 дня положительная аномалия вновь пришла на большую часть ЕТР. 24 марта положительная аномалия ушла на запад и восток, образовав два центра, между которыми на территории Сибири расположился очаг отрицательной аномалии.

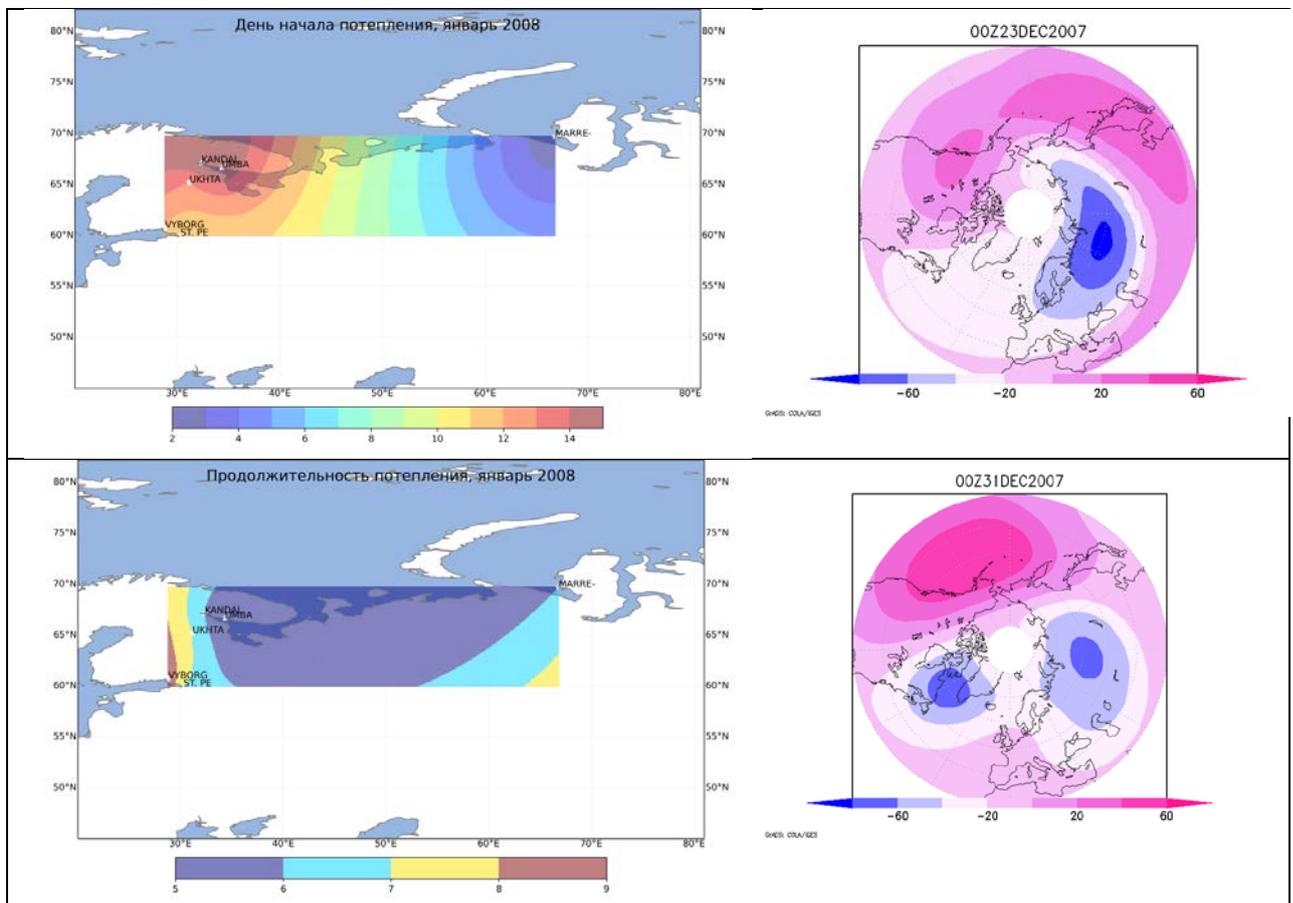
Аномалия в марте 2002 года наблюдалась на девяти станциях с довольно большим разбросом – на ЕТР и за Уралом. Потепление начало распространяться 16 марта с северо-запада – первоначально его зарегистрировали на станции в Петрозаводске, после чего оно продвинулось на юго-восток – на станции Славгород его зафиксировали 22 марта. Ближе к 30-м числам аномалия добралась до южных районов ЕТР, 27 марта потепление зарегистрировали на станциях Курск, Смоленск, Поньри и Старица.

На 8 из 9 станций потепление фиксировалось на протяжении 5 дней, лишь в Сибири – на станции Славгород – оно продержалось 8 дней.

Слабее всего аномалия была на северо-западе страны – на станции Вытегра максимальное значение достигло 1,9. На остальных станциях максимум превысил 2, но самая сильная аномалия была зафиксирована в Смоленске и Курске – там максимум аномалии составил 2,6.

Минимальные значения наблюдались на северо-западе и в центральной части ЕТР, на большинстве станций варьируясь от 1,2 до 1,3. На фоне не превышающего 2-х минимума выделяется Курск – там минимальная температурная аномалия составила 2,2.

Отрицательная аномалия с центром в центральной части России стала ослабевать, к 12 марта на ЕТР с юго-запада пришла положительная аномалия, распространявшаяся на восток. 15 марта с севера и юга её сместила незначительная отрицательная аномалия, которая к 18 марта заняла территорию ЕТР. 19 марта положительная аномалия распространилась с востока на запад, к 21-му заняв ЕТР и после смещаясь на северо-запад, отчего после 25 марта над южными территориями России установилась отрицательная аномалия. Уменьшаясь, отрицательная аномалия сдвигалась на северо-восток, к концу месяца остался незначительный очаг над центральной частью России.



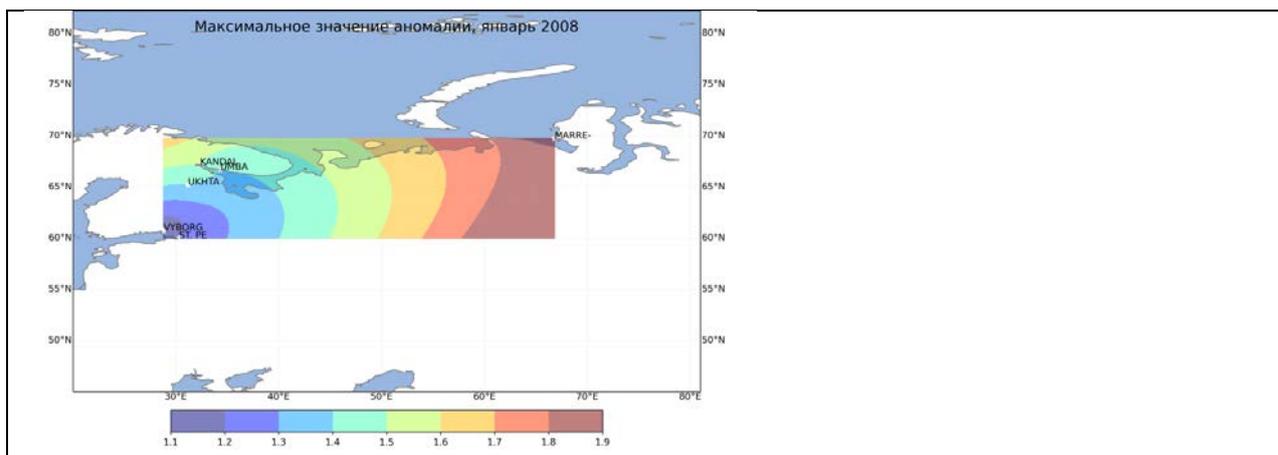


Рисунок 3.6 – Сопоставление характеристик потепления у подстилающей поверхности и поля геопотенциала на уровне 10 гПа. Январь 2008 год

Январь 2008, начало 2, максимальная продолжительность 9 дней, потепление охватило северную часть рассматриваемого района РФ, максимальное значение 1,9.

В декабре над территорией РФ наблюдалась отрицательная аномалия геопотенциальной высоты, начавшая ослабляться 23 декабря. За неделю до начала потепления очаг сместился к северу Центральной Сибири, в то время как около Канады образовался второй, усиливавшийся к началу января. 8 января два очага отрицательной аномалии слились.

Потепление в январе 2008 года наблюдалось в северной части страны – самой южной точкой был Санкт-Петербург. Первоначально зарегистрированное на станции MARRE-SALE (2-го января), оно распространилось на запад на Европейскую территорию, 11 января аномалия была зафиксирована в Санкт-Петербурге и к 15-му дошла до Кандалакши и Умбы.

Потепление длилось на протяжении 5-9 дней, продолжительность увеличивалась по мере продвижения на юго-запад. Меньше всего аномалия наблюдалась на станции Умба, дольше она продержалась в Выборге (5 и 9 дней соответственно).

Максимум аномалии увеличивался по мере продвижения на северо-восток от Санкт-Петербурга. Минимальное значение аномалии было в Выборге – 1,1, наиболее сильное потепление – на станции MARRE-SALE – 1,9.

Распределение минимальных значений схоже с распределением максимумов – самая слабая аномалия была в Выборге – её минимум составлял 1, в то время как на станции MARRE-SALE минимальное значение потепления было 1,4.

В конце декабря над западной частью России установилась двуцентровая отрицательная аномалия геопотенциальной высоты. В январе, до 20 числа, её очаги углублялись, западный смещался на восток, после 14 января слившись с восточным в один центр. С 21 января положительная аномалия на востоке начала перемещение на запад, смещая уменьшающийся по площади центр отрицательной аномалии на северо-запад ЕТР. После 24 января отрицательная аномалия вновь начала движение на восток, её центр перемещался по югу страны, после 29 сместившись на север, к концу месяца оказавшись над Атлантикой.

Февраль 2008, начало 1, максимальная продолжительность 9 дней, потепление охватывает большую часть территории, максимальное значение 2,8.

В 20-х числах января над ЕТР находилась отрицательная аномалия геопотенциальной высоты. К февралю она ослабела, смещаясь на восток, откуда в сторону Аляски смещалась положительная аномалия. 1 февраля отрог положительной аномалии распространился с востока, не затронув ЕТР, над Атлантикой был центр сильной отрицательной аномалии. Отрицательная аномалия сместилась, к 10-м числам её центр находился над Сибирью, углубляясь, 16 января вновь сдвинулся на Европу, с востока пришла положительная аномалия.

В феврале 2008 года распространение положительной аномалии температуры наблюдалось с северо-запада, северо-востока и юга ЕТР. К 20-м числам аномалия распространилась на значительную часть ЕТР, охватит центральную, юго-западную, восточную и северную части. Дважды температурная аномалия фиксировалась на станции Новый Порт – 1 и 10 февраля.

На большинстве станций аномалия держалась на протяжении 7-8 дней. В целом продолжительность потепления варьировалась от 5 до 9 дней, при этом менее продолжительная аномалия фиксировалась на севере и в центральной части ЕТР, в то время как на юге средняя продолжительность составила 8 дней. На протяжении 9 дней потепление наблюдалось на станциях Усть-Вязьма и Красная Гора.

В феврале 2008 года самые сильные аномалии были на юго-западе страны – максимальное значение на станции Трубчевск достигло 2,8, в то время как на севере и юго-востоке ЕТР аномалии были значительно слабее – минимум максимальных значений наблюдался на станции Каменная Степь и составлял 1,3. На станции Новый Порт максимальное значение первой аномалии было на 0,2 меньше второй и составило 1,6.

Минимальное значение варьировалось от 1,1 до 1,5, в большинстве находясь между 1,2-1,3. Наблюдаются два выраженных минимума, охватывающих станции Готня, Красная Гора и Усть-Вязьма, где минимальное значение составляло 1,1. Наибольшее значение минимума было зафиксировано при повторной аномалии на станции Новый Порт – 1,5.

В первых числах февраля положительная аномалия распространялась на запад, очаг отрицательной ослабевал и 6 февраля разделился на два. Один из центров отрицательной аномалии смещался на восток, 9 февраля остановился над западной Сибирью и углубился, расширяясь. К 15 февраля

он сместился на северо-запад, после установился над северной Европой, с востока начала двигаться положительная аномалия. К концу февраля очаг отрицательной аномалии сместился на юг России.

Декабрь 2008, начало потепления 1 число, максимальная продолжительность 9 дней, потепление занимало большую территорию, максимальное значение 2,8.

В конце ноября над территорией РФ располагалась отрицательная аномалия геопотенциальной высоты, в начале декабря начавшая усиливаться и продвигаться на восток, 7 декабря её центр оказался западнее озера Байкал, а её отрог распространился на запад, охватывая всю рассматриваемую территорию.

Аномалия декабря 2008 года наблюдалась на 29 станциях, начав распространяться с запада-северо-запада на восток страны. На большинстве станций Европейской территории России потепление было зарегистрировано 1-2 декабря, к 6-7 декабря оно распространилось за Урал. Последней – 7 декабря – аномалию зафиксировала станция Татарск.

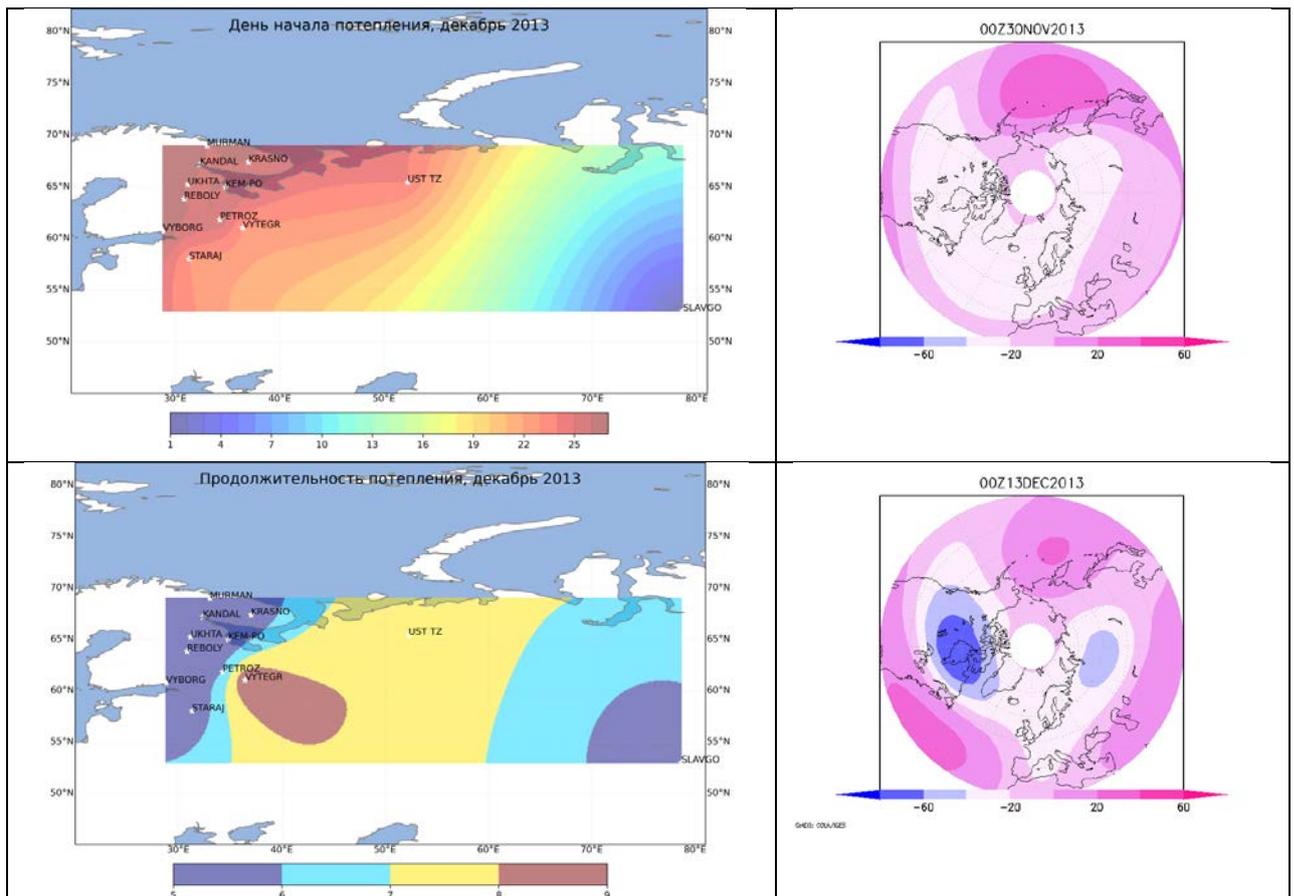
Потепление продолжалось в течение 5-9 дней. Наименьшую продолжительность оно имело на севере и на Сибирских станциях, в то время как максимальная длительность была зарегистрирована на станции Курск.

По карте видно, что наиболее сильные аномалии были на юге ЕТР – в Таганроге максимум составил 2,8. На северо-западе же аномалии были значительно слабее – минимальное значение в 1,1 максимум достигал на станциях Индига и Реболы.

Минимум аномалии наблюдался на северо-западе – там наименьшее значение составляло 1, такая же ситуация наблюдалась в Трубчевске. По мере продвижения на юго-восток минимальная аномалия увеличивалась,

дойдя до 1,4, в Готне было зарегистрировано максимальное значение минимума – 1,5.

В конце ноября – декабре аномалии геопотенциальной высоты над территорией России были отрицательными. Первоначально на Северном полюсе был разделённый на два ядра вихрь. В начале декабря отрицательная аномалия начала углубляться, смещаясь с Балтики на восток. 6 декабря очаг отрицательной аномалии установится над Центральной Сибирью. К 20 декабря появился второй центр отрицательной аномалии, а находящийся в районе Сибири ослаб, сместившись на северо-запад. К 25 декабря центр отрицательной аномалии переместился на восток, к 27-му охватив всю ЕТР и углубившись, стал уменьшаться.



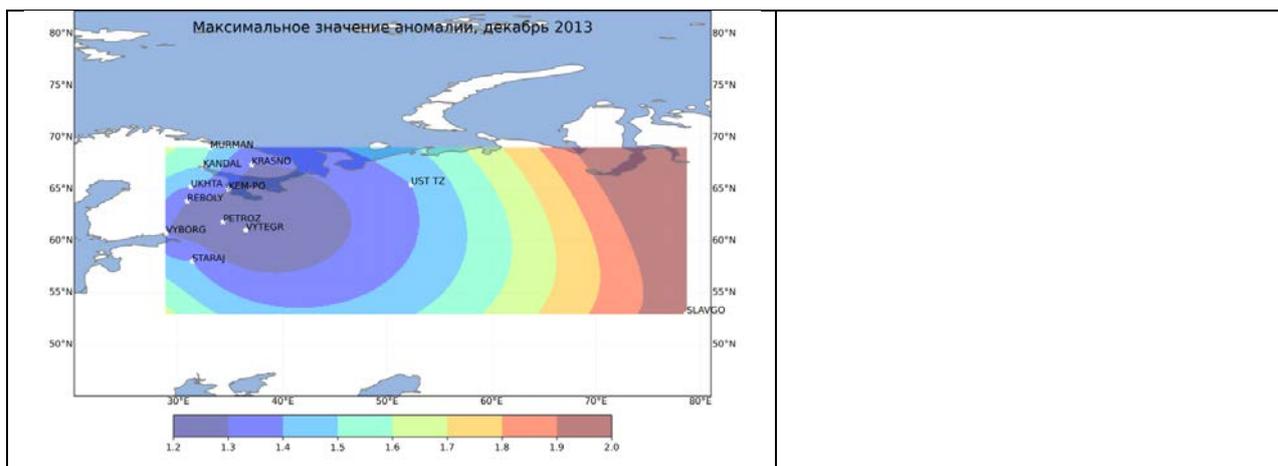


Рисунок 3.7 – Сопоставление характеристик потепления у подстилающей поверхности и поля геопотенциала на уровне 10 гПа. Декабрь 2013 год

Декабрь 2013, дата начала 1, максимальная продолжительность 9 дней, потепление охватывает большую часть территории, максимальное значение 2.

В конце ноября над рассматриваемой территорией располагалась отрицательная аномалия геопотенциальной высоты, более сильная её часть находилась на севере и западе РФ. В начале декабря над Канадой появился более сильный центр, распространяющийся на восток. 6 декабря он дошёл до запада северо-запада ЕТР, 8 декабря сместился чуть севернее, с юга страны распространился отрог одного из центров положительной аномалии. 9 декабря центр отрицательной аномалии разделился, и более слабая его часть сместилась на восток. 21 декабря отрицательная аномалия разделилась на два центра, один из которых расположился над ЕТР.

В декабре 2013 года большая часть станций, на которых была зафиксирована аномалия, располагалась на северо-западе страны, одна станция за Уралом – на станции Славгород, где первого декабря было зафиксировано потепление. К 23-му декабря потепление распространилось на северо-запад, и было зафиксировано на станциях Вытегра и Старая Русса. Последняя станция, на которой было зарегистрировано потепление, находилась в Выборге – аномалию там зафиксировали 27 декабря.

На большинстве станций потепление наблюдалось на протяжении 5 дней – как на ЕТР, так и в Сибири. Дольше всего аномалия температуры держалась в районе Вытегры – там её фиксировали на протяжении 9 дней.

Максимального значения за декабрь 2013 года аномалия достигла в Славгороде – 2. Наименее активные аномалии наблюдались в районе Петрозаводска и Вытегры, где максимальное отклонение составило 1,2.

Минимальное значение аномалии варьировалось от 1 до 1,3, на большинстве станций принимая среднее значение 1,1-1,2. Максимум минимального значения – 1,3 – наблюдался на станциях Кандалакша, Порт Кемь и Славгород, также и минимум в 1 наблюдался на трёх станциях – в Вытегре, Выборге и Старой Руссе.

В конце ноября – начале декабря над Россией наблюдались незначительные отрицательные аномалии геопотенциала. К 6 декабря с северо-запада сместился очаг отрицательной аномалии, отчего на западе ЕТР она усилилась. В это время с востока по югу на запад сместилась положительная аномалия, приведя к тому, что очаг отрицательной переместился на запад, разделившись и оставив небольшой центр на севере ЕТР 10 декабря. Этот центр, расширяясь, смещался на восток и к 20-м числам исчез, а с запада на ЕТР пришёл отрог более сильного центра отрицательной аномалии. Расширяясь на юг, он обособился, образовав новый очаг, и углубился, охватив всю ЕТР к 21 декабря, после – сместившись на восток и к 23 объединившись со вторым центром. К концу месяца очаг над Сибирью углубился и расширился.

Ниже представлен пример (таблица 3), составленный с использованием отсортированных данных. По подобным таблицам были нарисованы карты для дальнейшего анализа.

Таблица 3 – Данные месяца сильной аномалии (март 2008 год)

Название станции	Начало	Конец	Продол- жит.	Макс.	Мин.
NARJAN MAR	27	31	5	2	1,2
UST TZILMA	26	31	6	2,3	1,2
LUKOJANOV	24	31	8	2,4	1,6
MARRE-SALE	27	31	5	2,1	1,6
NOVY-PORT	27	31	5	1,9	1,5
ALEKSANDROVSKOE	27	31	5	2,4	1,7
BARABINSK	27	31	5	2,6	1,6
SREDNY VASJUGAN	27	31	5	2,8	1,7
PUDINO	27	31	5	3	1,9
SEVERNOE	27	31	5	3,1	1,7
TATARSK	21	31	11	2,8	1,4

Рассматривая проанализированные данные, следует отметить, что в большинстве случаев потепление распространялось с запада на восток. Реже отмечалась ситуация распространения с восточных территорий на запад (март 1983, февраль 1997, январь-февраль 2008 и декабрь 2013), в некоторых случаях при таком раскладе всё равно имело место незначительное распространение с запада – пример – февраль 2008 года. Только в одном случае – март 2008 года – температурная аномалия распространялась с юга. Также в большинстве случаев наименее продолжительные и наименее сильные аномалии были в северных районах.

В пяти из тринадцати случаев максимальная длительность потепления была 9 дней, в двух случаях – 10 дней. Средняя продолжительность в марте – месяце, в котором чаще всего наблюдалась аномалия – 7 дней. Абсолютный максимум аномалий в большинстве случаев был равен или больше 2, только в январе 2008 года он был равен 1,9. В большинстве случаев самое позднее потепление начиналось после 20-х чисел – средняя дата 25-26 число месяца. В двух случаях потепление охватывало всю территорию в районе первой декады: в январе 2008 оно

При сравнении аномалий температуры при восточной и западной фазах КДК следует отметить, что в обоих случаях преобладало западно-восточное распространение.

В ходе анализа рассмотренных во второй главе случаев было выявлено разделение аномалий геопотенциальной высоты на два очага, отрицательная аномалия геопотенциальной высоты располагалась в Восточном полушарии. Данная перестройка стратосферы наблюдалась за 7-10 дней до начала аномалии температуры.

Следует отметить также, что для аномалий температуры, наблюдавшихся в середине марта, отрицательный очаг аномалий геопотенциала был слабее, стратосферные процессы рассматривались в том же месяце, в котором наблюдалась аномалия температуры в тропосфере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимосвязь процессов тропосферы и стратосферы вызывает интерес у людей, занимающихся исследованиями в сфере метеорологии.

В результате проведенного анализа положительных аномалий температуры воздуха в холодный период — с декабря по март — выявлено, что практически на всех станциях самым аномальным месяцем, с точки зрения продолжительных потеплений, является февраль.

Именно в феврале чаще всего наблюдались аномалии температуры, а также присутствовали периоды сильных аномалий — как по продолжительности, так и по значению максимума. Ярко выраженные аномальные периоды тепла выявлены на станциях Калининград, Санкт-Петербург, Псков. При этом наиболее продолжительные зимние потепления наблюдаются после 1990 года.

В декабре и январе практически на всех исследуемых станциях наблюдались длительные аномалии тепла, но в то же время продолжительность и амплитуда аномалий меньше, чем в феврале. Для марта также прослеживаются положительные аномалии тепла, порой достигавшие больших значений максимума и продолжительности (как март 2008 года).

В результате анализа влияния стратосферных процессов на тропосферные потепления была выявлена связь между аномалиями температуры тропосферы на ЕТР в холодный период (с декабря по март) в года квазидвухлетних колебаний и аномалиями стратосферной циркуляции. На стандартной высоте стратосферы — 10 гПа (30-31 км) — наблюдается перестройка полей геопотенциальной высоты, после чего, с задержкой в 7-10 дней, в тропосфере наблюдается потепление. Данная связь лучше всего прослеживается у потеплений зимних месяцев и начала марта. Данная ситуация не прослеживалась в марте 1999 года, когда за 7-10

дней до потепления не наблюдался очаг отрицательной аномалии геопотенциальной высоты, как это было в остальных случаях.

Список используемых источников

1. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы / Пер. с англ. Р.Ю. Лукьяновой; Под ред. Г.В. Алексева. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 452 с.
2. Ильинш В.В. Химия окружающей среды. Лекция 2. Химический состав атмосферы, 10 с.
3. Зюляева Ю. А. Стратосферно-тропосферное взаимодействие в различные фазы тихоокеанского десятилетнего колебания. – М., 2020. – 27 с.
4. Варгин П.Н. О стратосферно-тропосферных взаимодействиях / Варгин П.Н., Володин Е.М., Карпечко А.Ю., Погорельцев А.И., Вестник российской академии наук, 2015. том 85, № 1, с. 39–46
5. Угрюмов А.И., Лаврова И.В. Основные закономерности общей циркуляции атмосферы: учебное пособие / А.И. Угрюмов, И.В. Лаврова. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. – 72 с.
6. Хайруллина Г.Р. Квазидвухлетние колебания в атмосфере Земли. Обзор: наблюдение и механизмы формирования / Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. – М. Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), 2011. – 60 с.
7. Погорельцев А.И. Межгодовая и климатическая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции атмосферы / Погорельцев А.И. Савенкова Е.Н. Ученые записки РГГМУ. 2009.- №11 – С. 53-62
8. Алексева Е. Г. Колебания циркуляции стратосферы и их связь с температурой воздуха в нижней тропосфере / Алексева Е. Г., Анискина О. Г. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием «Земля и Космос». – 2020. – С. 13 –15

9. URL: <https://www.ecad.eu/> (база данных со станций)
10. Диденко К. А., Ермакова Т. С., Погорельцев А. И., Ракушина Е. В. Климатическая изменчивость стратосферно-тропосферных взаимодействий, наблюдаемая в последние десятилетия // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2021. Т. 37. № 4. С. 159-170
11. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim> (данные реанализа)
12. Зуев В.В. Динамика стратосферных полярных вихрей / Зуев В.В., Е.С. Савельева; Сиб. отд-ние Рос. акад. наук, Институт мониторинга климатических и экологических систем. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2020. – 115 с. (в пер.)
13. URL: <http://meteoweb.ru/news/2016/03/wn2016030800.php> (рисунок циркумполярного вихря)
14. URL: <https://geographyofrussia.com/sloi-atmosfery-2/> (рисунок вертикального разреза атмосферы)
15. URL: <https://geography-a.ru/menu-1-20/701-atmosfera-zemli.html> (график распределения температуры)
16. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_Global_Circulation_-_ru.svg (рисунок ячеек атмосферной циркуляции)

Приложение

Таблица 2 – Года с аномалиями температуры и фазой КДК

город	Западная КДК				Восточная КДК			
	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Дек.	Янв.	Февр.	Март
Калининград		2002	1995	1999	2000	2005	1989	2003
			2002			2007	1998	2007
			2008					
Кандалакша	2004	1993			2007	1989	2003	2007
	2013	2008						
Порт Кемь	2013	2002	2008		2007	1989	2003	2007
Курск	2008		1995	1983		2005	1998	2007
			2002	1995		2007		
			2008	1999				
				2002				
				2004				
Котлас	2008	2002	1997	1983		2000	1989	
			2002	1985				
				2002				
Санкт-Петербург		1999	1995		2000		1989	2007
		2008	1997				1998	
			2002					
Мурманск	2013				2003	1987	2003	2007
					2007	1989		
Москва	2008	2002	1995	1983		2005	1989	2007
			1997	1999		2007	1998	2010
			2002					
			2008					
Нарьян-Мар	2008		1995	1995	1996			2007
			2008	2008	2007			
Петрозаводск	2008	1999	1995	2002	1996	2000	1989	2007
	2013		2002				2003	
Псков			1993	1997	2000	2005	1989	2003
			2002	1999		2007	1998	2007
			2008					
Смоленск	1985	1993	1997	2002		2005	1989	2007
	2008		2008			2007	1998	2010
Сортавала			2002		2007	2000	1989	2007
Усть-Вязьма	2008	1993	1995	1985	2007	2007	1996	2007
	2013		2008	2002				
				2008				

Продолжение таблицы 2

Великие Луки	2008	1993	1997	1983	1996	2005	1989	2007
			2002	1999		2007	1998	
			2008				2000	
			2013					
Вытегра	1999		1995	1985		2003	1989	1989
	2008		1997	2002				2007
	2013		2002					
Каменная Степь	2008	1983	1995	1983		2005	1989	2007
		2002	2002	1999		2007	1998	
			2008	2004				
Териберка					2007	1987	2003	2007
Красноселье	2004		1995		2003	1989	2003	2007
	2013				2007			
Индига	2008		1995		2007			2007
			2008					
Умба		2008			2007	1989	2003	2007
Калевала	2013	2002			2003	1998	2003	2007
		2008			2007			
Реболы	2008	1999	1995		2003	2000	1989	2007
	2013	2002	2002		2007			
Выборг	2008	2008	1995		2000	2000	1989	2007
	2013		1997					
Тихвин	2008		2002	1983	1996		1989	2003
				1985	2000			2007
				1999				
Старая Русса	2008		1997	1983	1996		1989	2003
	2013		2002		2000		1998	2007
			2008					
Красная Гора	1985	1993	1995	1983	1996	2005	1989	2007
	2008		2002	1999		2007	1998	2010
			2008	2004				
Трубчевск	2008	1983	2008	1983		2005	1998	2007
				1995				
				1999				
				2004		2007		
Рыбинск	2008		1997	1983		1989	1989	2007
			2002			2003		
			2008					

Продолжение таблицы 2

Лукоянов	2008		1995	1983	2012			1998
			1997	1999				2007
			2002	2008				
			2008					
Поныри	2008		1995	1983		2005	1998	1989
			2002	2002		2007		2007
			2008	2004				
Богородицкое Фенино	2008	1999	2002	1983		2005	1989	1989
		2002	2008			2007	1998	
Готня	2008		1995	1983		2005	1998	1989
			2002	1995		2007		2007
			2008	2004		2012		
Валуйки	2008	1993	1995	1983		2005	1989	2007
		2002	2002	1995		2007		
			2008	1999				
				2004				
Таганрог	2008		1983	1983	2010	2005	1989	
			1995	1993		2007	2000	
			2002	1995			2007	
				1999				
Москва	2008	2002	1995	1983		2005	1989	2007
			1997	1999		2007	1998	2010
			2002					
			2008					
MARRE- SALE		2008		1995	1996		1996	
				2008	2007			
Новый Порт			1995	1993	1996	2007	1996	
				1995	2007			
			2008	2008				
Александровское	1999	1995	2002	1993	1996	2005		
		2002		1995				
				2008				
Барабинск		1983	1997	1995		2007		
		2002	2002	1997				
			2004	2008				
Остров Визе				1983	2012	2005	2005	2012
						2012	2010	
							2012	

Продолжение таблицы 2

Старица	2008	1993	2008	1983		2005	1989	2007
		2002		1999		2007		
				2002				
Максатиха	2008		1997	1983	2000	2003	1989	2007
			2002	1999		2005	1998	2010
Средний Васюган	1999	1995	2002	1985		2005		1989
		2002		1993				
				1995				
				2008				
Пудино		1995	1997	1995	1987	2005	1987	
		2002	1999	1997	1998			
			2002	2008				
Северное	2008	1993	1997	1995	1987		1987	
		1995	2002	1997				
		2002		2008				
Татарск	2008	1995	1983	1995	1998	2007		
		2002	2002	1997				
				2008				
Славгород	2013	1995	1983	2002		2007		
			2002					
			2004					