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 **«Анализ циркуляционных характеристик атмосферных процессов над ЕТР в осенне-зимний период»**

Исполнитель **Бычкова Мария Дмитриевна ГМ-Б17-1**

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **кандидат физико - математических наук, доцент**

(ученая степень, ученое звание)

Неёлова Людмила Олеговна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«23» мая 2021 г.

Санкт–Петербург
2021

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 3
1. ОСНОВНЫЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ. 5
1.1 Основные понятия 5
1.2. Закономерности общей циркуляции атмосферы 7
1.3. Циркуляция в стратосфере и мезосфере. 8
1.4. Циркуляция в тропосфере. 11
1.5. Типизация форм атмосферной циркуляции. 15
1.5.1 Форма W 17
1.5.2. Форма Е 18
1.5.3 Форма С 19
1.6. Индексы циркуляции 21
1.7. Центры действия атмосферы 22
2. ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ У ЗЕМЛИ И НА ВЫСОТАХ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД ЗА 2019-2020 гг. 23
2.1. Основные особенности атмосферной циркуляции и погоды в северном полушарии в сентябре - ноябре 2019 года. 23
2.1.1 Атмосферная циркуляция на высотах 23
2.1.2. Атмосферная циркуляция и погода на уровне моря. 25
2.2. Основные особенности атмосферной циркуляции и погоды в декабре 2019 г., в январе и феврале 2020 гг. 31
2.2.1 Анализ характеристик атмосферной циркуляции и погоды на высотах 31
2.2.2 Анализ характеристик атмосферной циркуляции и погоды на уровне моря 33
3. АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ИНДЕКСОВ СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО (САК) И АРКТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЙ (АК) В ОСЕННЕ-ЗИНИЙ ПЕРИОД 2019-2020 ГГ. И ИХ СВЯЗЬ С ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИТ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И НАД ЕТР 44
3.1. Естественные колебания климата. Северо-атлантическое колебания (САК) и Арктическое колебание (АК) 44
3.2. Анализ ежедневных изменений индексов САК и АК за осень и 2019 их связь с циркуляционными характеристиками 46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 56

ВВЕДЕНИЕ

Погода на нашей планете формируется под воздействием большого числа факторов. Одним из таких факторов является общая циркуляция атмосферы. Под термином общая циркуляция атмосферы понимается совокупность основных видов движений, благодаря которым осуществляется обмен больших масс воздуха в горизонтальном и вертикальном направлениях. Изучение общей циркуляции атмосферы всегда привлекало внимание исследователей и в настоящее время продолжает оставаться одной из наиболее важных и сложных проблем метеорологии. Это связано с проблемами глобального потепления, которое угрожает человечеству в очень большой степени. В связи с этим, тема выпускной квалификационной работы является весьма актуальной.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование основных циркуляционных характеристик атмосферных процессов над ЕТР в осенне-зимний период.

Работа состоит из трех глав: введения, заключения, списка использованных источников и приложения.

В первой главе на основании обзора литературных источников дается описание основных параметров циркуляции атмосферы северного полушария.

Вторая глава посвящена исследованию основных особенностей циркуляционных характеристик атмосферы всего северного полушария, и, частности, над Европейской частью России (ЕТР), у земли и на высотах в осенне-зимний период за 2019-2020 гг. В данной главе подробно рассмотрены такие параметры, как положение циркумполярного вихря, высотной фронтальной зоны и центров действия атмосферы. Кроме того, в ней приведены примеры синоптических ситуаций, связанных с мощными экстремальными циклонами, которые были особо опасны в данный период

времени. Кроме того, рассмотрены ситуации в блокирующими антициклонами.

В третьей глава представлен анализ колебаний индексов североатлантического колебания (САК) и арктического колебания (АК) в осенне-зимний период за осень 2019 года и зиму 2019 – 2020 годов. В данной главе исследуется их связь с циркуляционными характеристиками атмосферы над всем северным полушарием и над ЕТР. Кроме того, в этой главе приведен анализ некоторых синоптических ситуаций, связанных с определенной фазой САК и АК.

В заключении представлены основные выводы по работе.

Список использованных источников состоит из 22 наименований.

В Приложении представлены карты осредненных за месяц значений геопотенциала и аномалий геопотенциала АТ-500, а также карты осредненных за месяц значений давления и аномалий давления на уровне моря за осенне-зимний период 2019 – 2020 г.

1. ОСНОВНЫЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.

1.1 Основные понятия

Под общей (глобальной) циркуляцией атмосферы (ОЦА) понимают совокупность воздушных течений (ветров) такой горизонтальной протяженности (масштаба), которая сравнима с размерами материков и океанов. [1] К ОЦА относятся такие системы воздушных потоков, как западный перенос в умеренных широтах обоих полушарий, пассатные ветры субтропиков, муссоны, струйные течения, системы движения в планетарных волнах, циклонах и антициклонах [2,3]. Также можно ввести понятие ОЦА как совокупность основных видов движений, благодаря которым осуществляется обмен больших масс воздуха в горизонтальном и вертикальном направлениях. В[4] приведено несколько иное определение общей циркуляции атмосферы. Это - статистический ансамбль крупномасштабных компонент состояний атмосферы. Под ним понимают пространственные неоднородности глобальных полей, описывающих состояние атмосферы, которые имеют масштабы много больше эффективной толщины атмосферы H, которая вычисляется по формуле (1.1)

$$H = \frac{P_s}{g\rho_s} \quad (1.1), \text{ и } H \approx 10 \text{ км}$$

. Глобальными циркуляциями являются зональная циркуляция и муссонные циркуляции. Синоптические процессы тоже входят в понятие ОЦА. Это - волны Россби – Блиновой, баротропные (с типичными горизонтальными масштабами порядка масштаба Обухова) и бароклинные волны с масштабами порядка радиуса деформации Россби L=NH/f. В этих формулах такие обозначения - P_s – давление у Земли, g – ускорение силы тяжести, ρ_s – плотность атмосферного воздуха у Земли, N – частота Брента-

Вяйсяля, f – сила Кориолиса. [4] Кроме того, в системе ОЦА необходимо различать структурные элементы, к которым можно отнести и воздушные массы, и зоны фронтов, а также крупномасштабные атмосферные вихри – циклоны и антициклоны. Однако некоторые структурные элементы являются мезомасштабными. К ним относятся смерчи, местные циркуляционные движения типа бризов и горно-долинных ветров. Подобные структурные элементы при анализе закономерностей ОЦА не рассматриваются.

Таким образом, к определению ОЦА можно подойти как с точки зрения синоптической метеорологии (классическое определение), так и с позиций статистической гидромеханики. [5] С развитием вычислительной техники стали широко разрабатываться численные модели ОЦА и климата. Теория ОЦА и моделирование климата успешно развивалась на базе уравнений гидродинамики и динамической метеорологии. [6,7] С применением данных об основных метеорологических параметрах на изобарических поверхностях появилась возможность изучать циркуляционные процессы в четырехмерном пространственно-временном континууме. В связи с активным использованием численных экспериментов с помощью компьютеров при изучении физики и динамики многомасштабных атмосферных процессов наметился прогресс в изучении ОЦА. Был разработан ряд моделей общей циркуляции атмосферы (МОЦА), которые были дополнены океаническим блоком. При этом возникли более сложные модели – МОЦАО (Модель общей циркуляции атмосферы и океана). В настоящее время математическое моделирование стало основным инструментом изучения и прогнозирования циркуляции атмосферы и океана и их взаимодействия. Основное использование МОЦАО - это разработка сценариев развития климата в XXI-XXII столетиях. При этом они усложняются за счет учета углеродного цикла и процессов, происходящих в биосфере, на подстилающей поверхности, в почве и т.д. [7,8]. При

моделировании климата будущего использовались различные сценарии выбросов парниковых газов в атмосферу. Далее рассмотрим закономерности общей циркуляции атмосферы, факторы возникновения циркуляции в земной атмосфере, особенности циркуляции в мезосфере, стратосфере и тропосфере, типизацию форм атмосферной циркуляции Вангенгейма - Гирса и индексы циркуляции Каца. Кроме того, рассмотрим основные климатические центры действия атмосферы северного полушария. [9,10].

1.2. Закономерности общей циркуляции атмосферы

К основным закономерностям общей циркуляции атмосферы относятся: [9].

- преобладание скоростей горизонтальных движений над вертикальными движениями в крупномасштабных атмосферных процессах. Иными словами, если составляющие скорости ветра по оси x , y приблизительно равны 10 м/сек, то вертикальные скорости W $\approx$ 1 см/сек;

- преобладание зональных воздушных течений над меридиональными воздушными движениями;

- вихревой характер атмосферных движений, часто в сочетании с движениями волновыми;

- нестационарность атмосферных движений, их постоянная изменчивость. Именно этот факт и вызывает непрерывные изменения атмосферной циркуляции и ее структурных элементов;

- изменение воздушных течений при переходе от слоя к слою и неравномерное распределение кинетической энергии, как в горизонтальном, так и вертикальном направлении;

- изменения воздушных течений при переходе от сезона к сезону.

Циркуляция воздушных масс на Земле возникает под действием пяти основных факторов [10]. Этими факторами являются:

- неравномерность притока солнечного тепла по широте;

- особенность поглощения солнечной радиации атмосферой и земной поверхностью;

- отклоняющая сила вращения Земли (сила Кориолиса);
- неравномерное распределение океанов и континентов;
- трение на границе подстилающая поверхность - атмосфера.

Вообще, системой Земля-атмосфера поглощается только 64 % солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы. При этом, 36 % (это - планетарное альбедо Земли) отражается в космос. Проходя через атмосферу задерживаются еще 13 % солнечной радиации. Это поглощение ультрафиолетовой радиации (УФР) озоном в верхней стратосфере, приблизительно на высотах от 50-55 км.

Поглощенная озоном радиация с длинами волн от 0,18 до 0,30 мкм создает практически все тепловые запасы стратосферы и мезосферы и определяет циркуляцию воздуха в слое от 20 до 80 км. Таким образом, на уровне 50-55 км расположена первая поверхность нагревания атмосферы. Оставшаяся радиация (51 %) беспрепятственно достигает поверхности Земли и поглощается ею. Именно поверхность Земли является второй поверхностью нагревания атмосферы. Поэтому и формируются в атмосфере две планетарные системы циркуляции: верхняя - стратомезосферная, и нижняя - тропосферная. [10].

Теперь рассмотрим последовательно формирование циркуляции в каждой из этих систем.

1.3. Циркуляция в стратосфере и мезосфере.

Как и в[10] введем понятие старомезосфера. И будем рассматривать одновременно особенности циркуляции этих слоях атмосферы. Циркуляция в стратомезосфере (в качестве характерного рассмотрим уровень 10 гПа, приблизительно 31 км) зимой и летом принципиально различна. Зимой в полярных районах поглощение УФР озоном отсутствует (полярная ночь), атмосфера отдает тепло путем длинноволнового излучения. Температура воздуха в полярной стратомезосфере опускается до -80 °С. На экваторе

процесс поглощения радиации озоном в течение 12 ч в сутки поднимает температуру до -40 °С. Таким образом, создается планетарный градиент температуры и давления, направленный от экватора к полюсу. Воздушная частица устремляется в направлении градиента давления, но под действием силы Кориолиса отклоняется вправо (в северном полушарии); в итоге на пространстве полушария создается западно-восточный перенос воздушных масс. В поле давления он оформлен в виде циркумполярного циклона с одним или двумя центрами низкого давления в районе полюса. Полярный вихрь (ПВ) представляет собой сильный циркумполярный поток воздуха, возникающий в период зимней полярной ночи в нижней и средней стратосфере. Из-за боковой изоляции воздух внутри этого вихря достаточно сильно охлаждается (температура опускается ниже – 80ºС в Антарктиде). В Арктическом регионе ПВ не так четко выражен, как в Антарктике. Возникновение «озоновых дыр» происходит, в основном, из-за невозможности проникновения богатого озоном среднеширотного воздуха в полярную область [8].

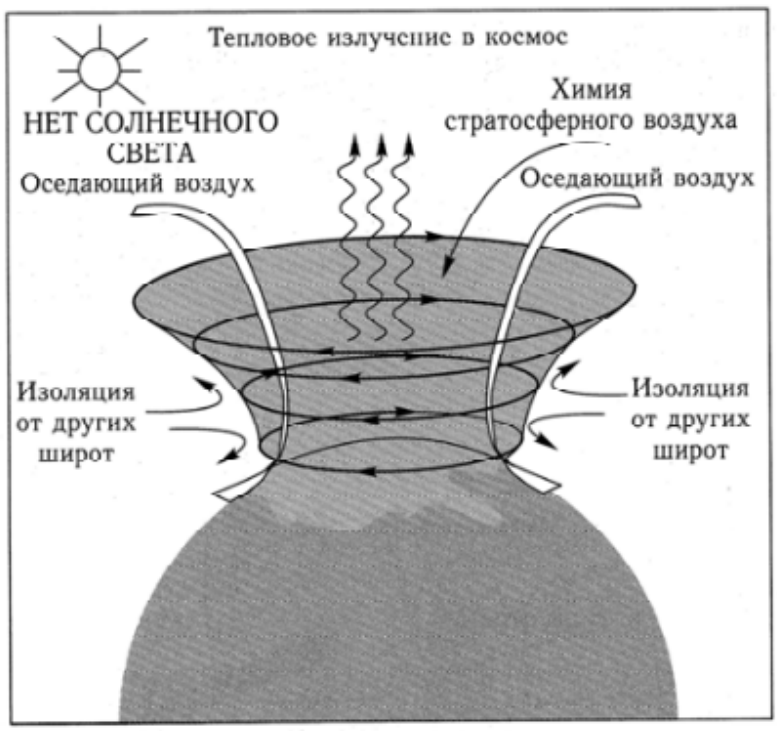

Рис.1. 3. Схематическое представление полярного вихря [8].

Как известно, в зимней стратосфере западно-восточный перенос крайне редко бывает чисто зональным. Что приводит к возмущению зонального переноса? Это возмущение вызывается крупномасштабными волнами. Они могут возникать вследствие волновых процессов в нижней, а именно, тропосферной циркуляционной системе, а также вследствие определенной динамической неустойчивости. [10].

Однако именно приэкваториальные антициклоны усиливаются и в определенной степени смещаются к полюсу. Это и вызывает определенный рост температуры. Данное любопытное явление получило название - зимние стратосферные потепления. [10].

Чем же отличается летнее распределение температуры, давления и ветра в так называемой стратомезосфере? Как показано в [10], максимум температуры в масштабе полушария располагается на полюсе. Это связано с тем, что в условиях полярного дня поглощение УФР озоном идет непрерывно в течение 24 часов. На экваторе поглощение радиации продолжается 12 часов как летом, так и зимой. Поэтому, планетарные градиенты температуры воздуха и давления направлены от полюса к экватору. Над полушарием создается наоборот, восточно-западный перенос. Он оформлен в виде циркумполярного антициклона в поле давления, и никаких волновых возмущений зонального потока в летней стратомезосфере не наблюдается. Значит, что летняя стратосферная циркуляция формируется в условиях лучистого равновесия, а волновые возмущения из тропосферы в летнюю стратомезосферу не имеют возможности проникнуть. Время перестройки циркуляции с зимнего режима на летний режим - март, апрель, май. Она начинается с процесса продвижения приэкваториальных стратосферных антициклонов к полюсу и вытеснения оттуда центра циркумполярного циклона на юг, где он быстро заполняется. Следует отметить, что реальные сроки весенней перестройки стратосферной циркуляции испытывают существенные межгодовые колебания.

1.4. Циркуляция в тропосфере.

Циркуляция в нижней циркуляционной системе, как известно, формируется под влиянием тепловой энергии, которую эта атмосфера, в основном, получает от поверхности земли. Планетарные градиенты температуры и давления в свободной тропосфере в течение всего года направлены от экватора к полюсу. [10]. И именно поэтому, во всей толще нижней циркуляционной системы формируется западно-восточный перенос. Интенсивность его зависит от сезона года. В летние месяцы, когда планетарные градиенты температуры и давления несколько ослаблены, западно-восточный перенос выражен не так сильно, как зимой.

Характерной чертой тропосферной циркуляции является постоянное наличие в западно-восточном переносе крупномасштабных волн давления и температуры, которые вызывают появление меридиональных составляющих движения воздушных масс, их перенос с юга на север и с севера на юг. Существование этих волн, их перемещение в пространстве или даже стационирование являются одной из главных причин формирования крупных аномалий погоды. Длина крупномасштабных волн измеряется тысячами километров и обычно характеризуется так называемым волновым числом – количеством волн, укладывающихся вдоль круга широты на пространстве всего полушария. Американский метеоролог-теоретик Г. Россби, [11,12] вывел фундаментальную зависимость скорости перемещения крупномасштабных волн в средней тропосфере от их длины:

$$C = \bar{U} - \frac{\beta L^2}{4\pi^2} \quad (1.2),$$

где С - скорость смещения волны вдоль круга широты (положительная скорость - с запада на восток); $\bar{U}$ - средняя скорость

западно-восточного переноса; β - изменение параметра Кориолиса с широтой (всегда положительное); L - длина волны. При расчетах по формуле (1.2) получается такой результат: - при заданной скорости западно-восточного переноса U короткие волны Россби (у которых малые волновые числа) имеют положительную скорость, т.е. смещаются с запад на восток, то есть имеет место западно-восточный перенос. При увеличении длины волн их фазовая скорость уменьшается до нуля. При этом западно-восточный перенос оказывается весьма возмущенным. Возникают области мощных меридиональных потоков воздушных масс в передней и тыловой частях волн, где и формируются крупные аномалии погоды. А ультрадлинные волны перемещаются с востока на запад. Такие ситуации называются блокированием западно-восточного переноса, часто приводят к формированию наиболее крупных и длительных аномалий погоды: сильных холодов зимой и засух летом.

Все вышеизложенное нужно отнести к циркуляции воздуха в свободной атмосфере. Именно там ветер просто геострофический, или очень близок к нему. Понятно, что в свободной атмосфере отсутствует сила трения. У поверхности земли, в связи с тем, что там имеет место сила трения, и довольно значительно влияние на термический режим и циркуляцию атмосферы подстилающей поверхности и распределения материков и океанов, то появляются два важных объекта общей циркуляции, которые в свободной атмосфере отсутствуют. Это - планетарный пояс субтропических антициклонов, который хорошо выражен в основном над океанами, и полярный антициклон. Таким образом, в северном полушарии западно-восточный перенос у поверхности земли ограничен с юга субтропическими антициклонами (его южная граница лежит на широтах 35-40°с.ш.). С севера же западно-восточный перенос ограничен восточной и северо-восточной циркуляцией воздушных масс в арктическом антициклоне, т.е. примерно широтой

70°с.ш. Южнее центров субтропических антициклонов над океанами лежит обширная зона пассатных ветров восточных и северо-восточных направлений. Над континентами (Африка, Индия, Юго-Восточная Азия) эти северо-восточные ветры называются зимним муссоном; летом они меняют направление на противоположное направление, и называются летним муссоном. Интенсивность приземных антициклонов, а, следовательно, пассатов и холодных арктических ветров зависит от сезона года, субтропические антициклоны наиболее развиты летом, а полярный антициклон - зимой. В нижнем слое западно-восточного переноса большую роль играет завихренность. Постоянно образующиеся циклоны и антициклоны, так же, как и связанные с ними волны Россби в свободной атмосфере, создают области меридионального переноса воздушных масс. На рис.1.2 представлена общая схема меридиональной циркуляции атмосферы.

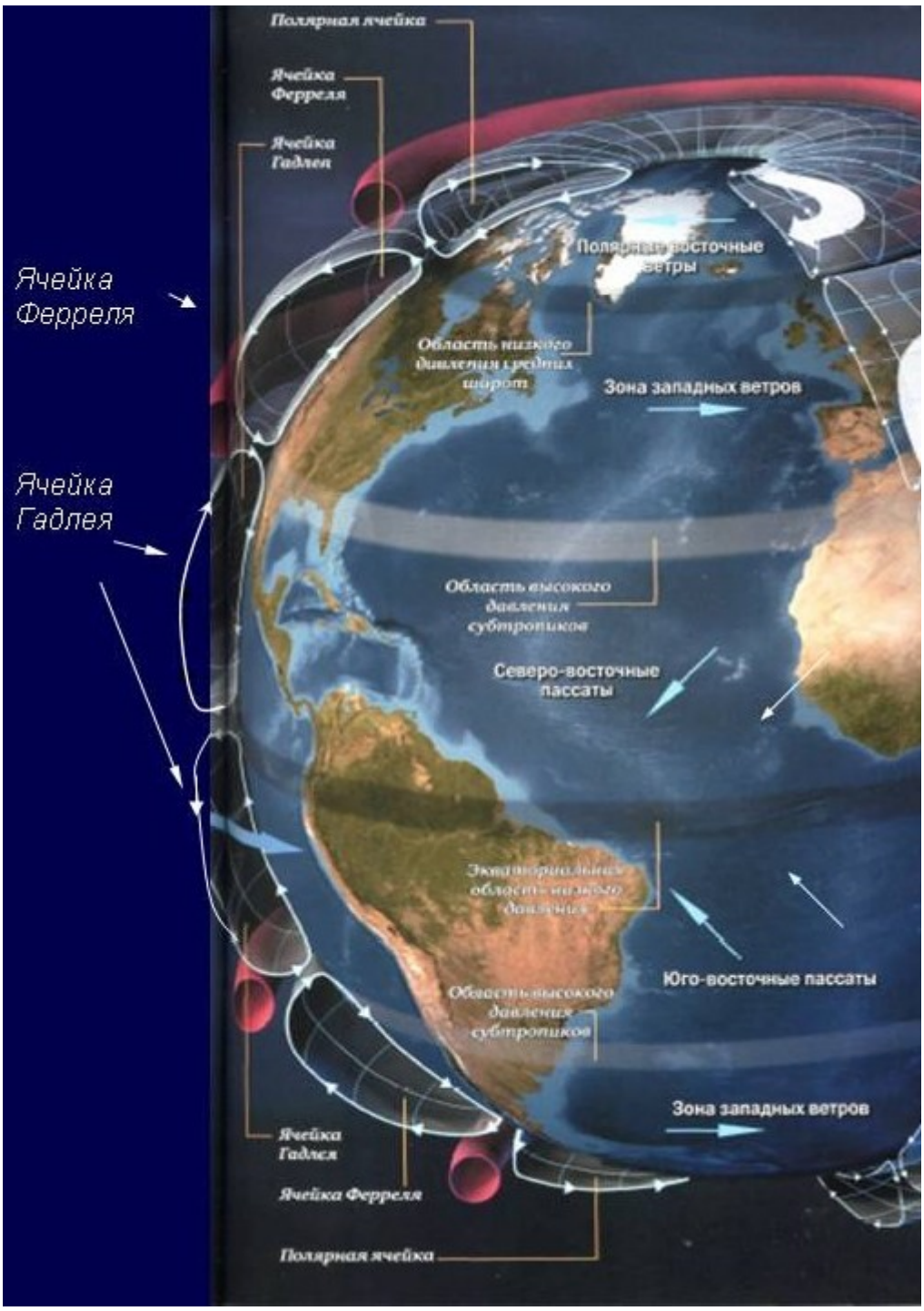

Рис. 1.2. Общая схема меридиональной циркуляции. [10].

Как видно из рис. 1.2 , в умеренных широтах Северного полушария в нижней тропосфере преобладают южные составляющие, а в верхней тропосфере − северные, но их скорости весьма невелики. Если анализировать рис.1.2., то можно отметить наличие в каждом полушарии замкнутых колец циркуляции воздуха. Кольцо, которые мы наблюдаем в тропиках, получило название определенное название. Это - ячейки Гадлея (Хэдли) . [8].

Обсудим теперь второе кольцо в умеренных широтах – ячейку Фарреля. Как она образуется? Опишем эту замкнутую циркуляцию. В тропиках в тропосфере (в ее нижней части, конечно) перенос воздуха к экватору, затем его подъем в экваториальной зоне, а затем обратный перенос в субтропические широты в верхней тропосфере, а там опускание воздуха вниз. Как же формируется третьей кольцо, которое получило название полярной ячейки? Оно возникает в высоких широтах. Следует отметить, что это только модель. В действительности система меридиональных движений значительно более сложная и изменчивая, чем в моделях ячеек. Ведь во внетропической зоне и северного и южного полушарий достаточно сильно развита циклоническая деятельность. Поэтому воздух перемещается из одних широт в другие не в виде замкнутых циркуляций, а в системах меридиональных потоков. Направление этих меридиональных потоков чередуется на каждом отдельном меридиане и на одном и том же уровне. Мы можем наблюдать смену потоков и в верхней половине тропосферы в тропической зоне. Возникновение несколько упрощенного представления о замкнутых меридиональных ячейках циркуляции появилось, как результат статистического осреднения за длительный промежуток времени ежедневных систем меридиональных движений. Поэтому, если и существуют переносы воздуха в нижних и верхних слоях атмосферы, совпадающие по направлению с ячейками Гадлея и Феррeля, то не в виде замкнутых колец циркуляции, а в форме развивающихся в тропосфере волн и вихрей [13]

1.5. Типизация форм атмосферной циркуляции.

Для изучения особенностей атмосферной циркуляции вводится такое понятие, как типизация атмосферной циркуляции. Остановимся более подробно на типизации Вангенгейма – Гирса [10]

В этой типизации авторы рассматривали элементарные синоптические процессы (ЭСП), в которых сохраняется географическое распределение знака барического поля и направление основных переносов воздушных масс в атлантико-евразийском секторе северного полушария. Было получено 26 типов ЭСП, которые затем были обобщены в три основные формы атмосферной циркуляции:

А) западную W, объединяющую 9 типов

Б) восточную Е, объединяющую 10 типов

В) меридиональную С, объединяющую 7 типов.

В дальнейшем типизация была распространена на все северное полушарие. А. А. Гирс [14,15] показал, что каждой форме атмосферной циркуляции соответствует определенный тип высотного барического поля, в частности, определенная географическая ориентация высотных гребней и ложбин на картах АТ500. На рис. 1.3. представлена схема распределения высотных гребней и ложбин в Центральной Арктике при различных типах атмосферной циркуляции: 1—западная (W); 2 — восточная (Е); 3 — меридиональная (С)

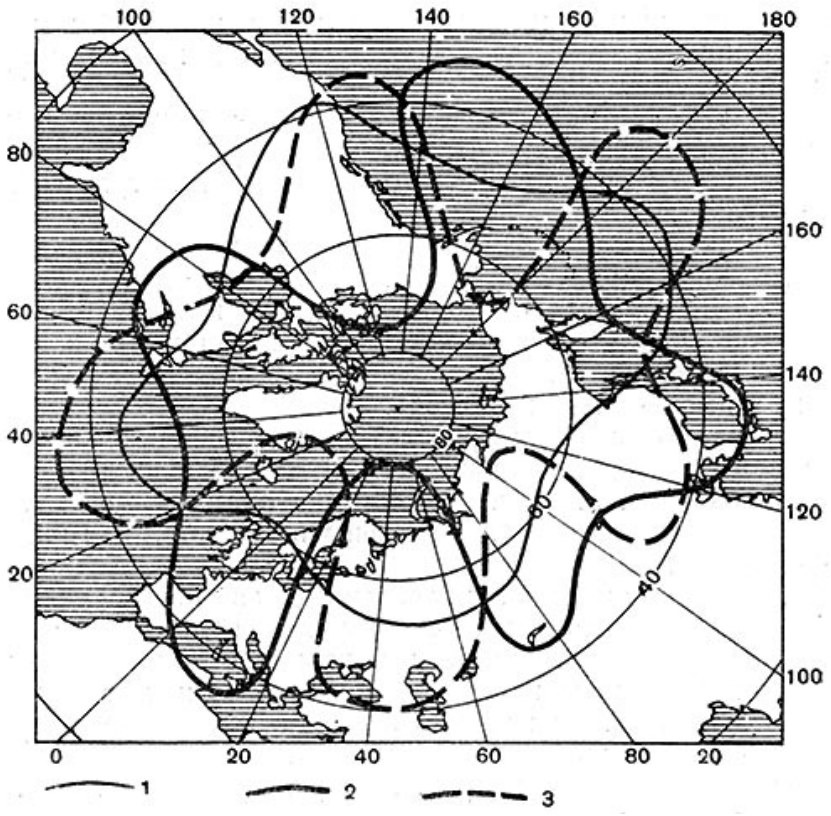

Рис.1.3 - схема распределения высотных гребней и ложбин в Центральной Арктике при различных типах атмосферной циркуляции: 1—западная (W); 2 — восточная (E); 3 — меридиональная (C)

Каждая эта форма характеризуется своими условиями термобарического поля тропосферы, такими как распределение и величина контрастов температуры, распределение наземных и высотных барических полей и их перемещение, распределение аномалий давления и температуры воздуха и т.д. В зависимости от всего этого происходит развитие той или иной формы и преобразование одной формы в другую. В настоящее время есть большое количество литературы, описывающей все характеристики каждой формы циркуляции, поэтому мы остановимся лишь кратко на описании этих форм.

1.5.1 Форма W

Западная форма циркуляции W отражает преобладание зональных процессов, волн малой амплитуды с большими скоростями, при которых барические образования смещаются на Европу преимущественно с Атлантики. При этом данная форма циркуляции характеризуется направлением с юга на запад градиентов давления и температуры в тропосфере. А во внетропических широтах наблюдается перенос воздушных масс с запада на восток. На наземной карте давления эта форма отмечается наличием областей пониженного давления в умеренных и высоких широтах и пояса повышенного давления в субтропиках (рис.1.4) [14,15].

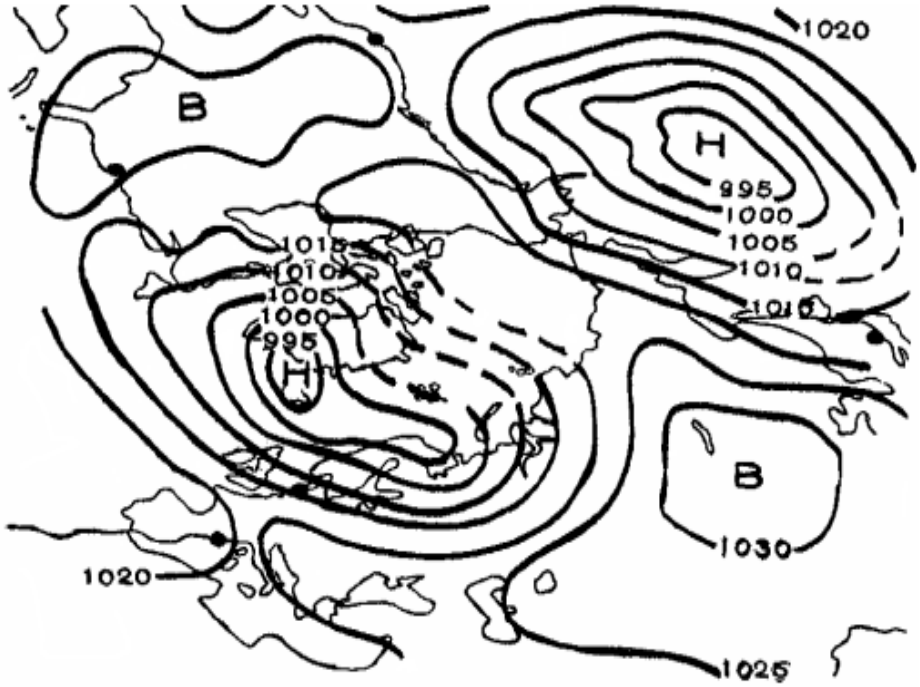

Рис.1.4. –Распределение приземного давления при циркуляции W

1.5.2. Форма Е

При форме Е процессы характеризуются в тропосфере стационарными волнами большой амплитуды. Как пишет [14], над Европейским сектором устанавливается мощный гребень, над Атлантикой и Западной Сибирью отмечаются сопряженные с ним высотные ложбины. С таким положением ВФЗ у поверхности земли часто связано перемещение антициклонов с востока на запад, которое иногда называют «надвиганием сибирского антициклона». Именно оно вместе с юго-восточными ветрами приносит зимой в умеренные широты Европы сибирские морозы. При другом развитии процессов восточного типа ось высотного гребня смещается к западу, западно-сибирская ложбина углубляется, и по ветви ВФЗ, ориентированной с северо-востока на юго-запад, осуществляются так называемые «ультраполярные вторжения» арктических антициклонов в Европу.

Зона максимальных контрастов огибает гребни и ложбины. Циклоны, обходя гребни с востока, перемещаются с юго-запада на северо-восток. В районах, где на высотах располагаются восточные части гребней, у земли формируются стационарные антициклоны. Так, под восточной частью европейского гребня сильный рост наблюдается приземного давления (в направлении Карского и Каспийского морей). В результате этого гребень смещается с востока на запад. Такому смещению способствует еще динамический рост давления в северо-западной части европейского высотного гребня.

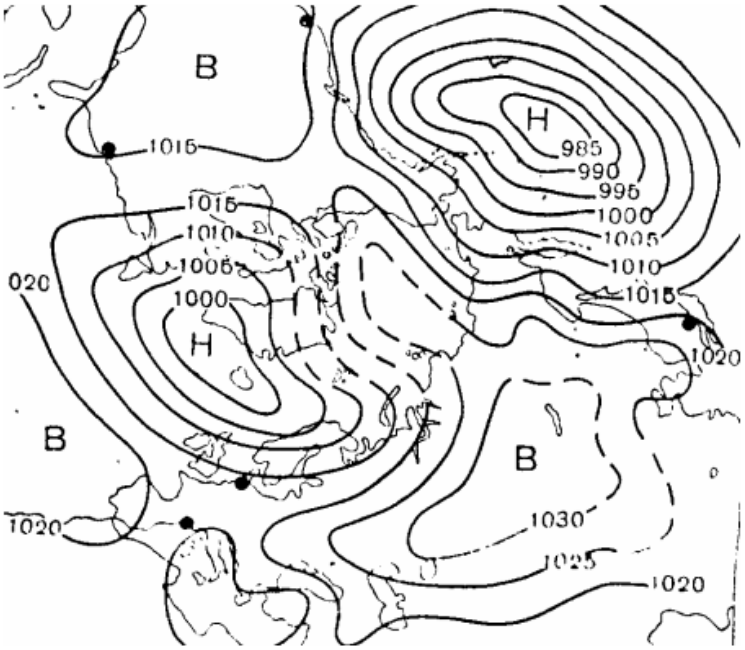

Рис.1.4 – Распределение приземного давления при циркуляции Е

На рис. 1.4. видно, что Исландская и Алеутская депрессии хорошо развиты, а их ложбины распространены к северо-востоку и юго-востоку. Сибирский антициклон зимой ослабевает и смещается к западу [15].

1.5.3 Форма С

При процессах формы С в толще тропосферы наблюдаются стационарные волны большой амплитуды. Над Европой располагается высотная ложбина, а над Атлантикой и Западной Сибирью - сопряженные с ней гребни. Происходит мощный вынос атлантического тепла в Арктику, а на Европу с северо-запада устремляются так называемые «ныряющие циклоны», несущие с собой похолодание и осадки, как зимой, так и летом. По положению основных высотных гребней и ложбин видно, что по западной части гребней происходит вынос тепла в северные широты, где они встречаются с холодными массами арктического происхождения. Это обуславливает здесь большие контрасты, конвергенцию высотных потоков и рост приземного давления. Зоны значительных контрастов температуры являются благоприятными для возникновения и активизации фронтов и циклонов. При этом последние движутся обычно, огибая высотные гребни, т.е к западу от гребней по траектории с юго-запада на северо-восток, а «ныряющие циклоны» с северо-запада на юго-восток.

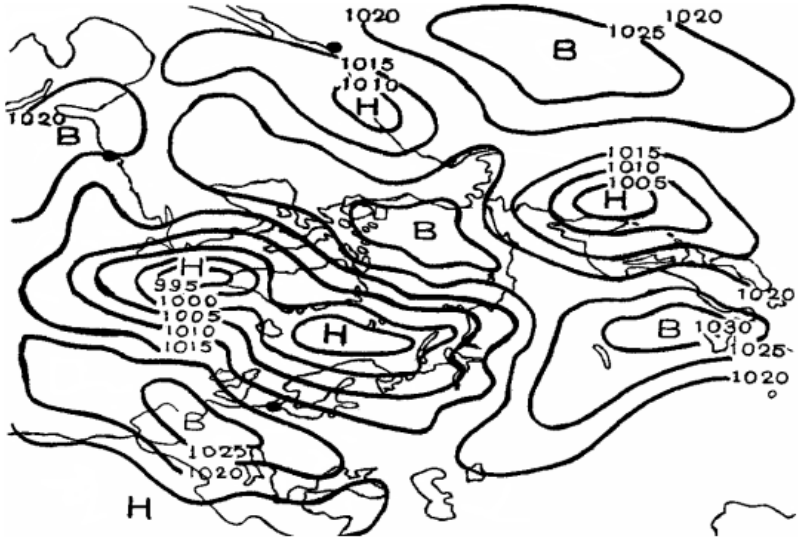

Рис.1.5 - среднее давление при циркуляции С

Как видно по рис. 1.5 Исландский и Алеутский минимумы очень заполнены и на их месте иногда образовывается антициклон субтропического максимума. При этом Сибирский антициклон хорошо развит и его гребень связан с полярным антициклоном, а южная часть находится в субтропиках. По восточной части высотных гребней в тропосфере наблюдается адвекция холода, по западной - адвекция тепла. В этой связи у земли и на высотах формируются области положительных аномалий в западных частях приземного антициклона, а отрицательные – в восточной [15]. Вышеуказанная классификация атмосферных процессов хорошо подходит для атлантико-евразийского района

1.6. Индексы циркуляции

Индексы циркуляции являются числовыми показателями интенсивности зональной и меридиональной циркуляции воздушных масс над северным полушарием Земли или отдельными его регионами. [16,17]. Иногда в виде индексов циркуляции выступают числовые характеристики формы барического поля атмосферы: лапласианы давления; величины, характеризующие интенсивность циклонической и антициклонической деятельности над данным районом. С их помощью процессы делятся на зональные и меридиональные, определяются типы меридиональных процессов. Остановимся более подробно на индексах циркуляции А.Л.Каца [9,19,17]. В целях подробной и разносторонней характеристики крупномасштабных движений в атмосфере А.Л.Кацем создана система индексов, позволяющая отдельно оценить зональную и меридиональную циркуляцию, а также их соотношение как на полушарии в целом, так и для любого заданного района. Индексы меридиональной циркуляции I_m характеризуют перенос воздушных масс через широтные круги, а индексы зональной циркуляции I_s - через

меридианы в широтном направлении. Дополнительно учитывается направление переноса с севера, с юга, с запада и с востока. Величина индекса пропорциональна величине барического градиента или числу пересечений n выбранной параллели (или меридиана) изобарами на приземной карте или изогипсами на картах АТ. Именно индексы Каца позволяют наиболее полно характеризовать условия атмосферной циркуляции.

1.7. Центры действия атмосферы

Существуют центры действия атмосферы, которые находятся в различных регионах земного шара. [9,17]. Были выявлены в результате наблюдений и выделены в следующие категории: перманентные (постоянные) и сезонные (появляющиеся в определенное время года). Так на климатических картах выявляются центры действия атмосферы, к ним относят:

- Азорский антициклон;
- Северо-Тихоокеанский (Гавайский максимум);
- Южно-Атлантический максимум;
- Южно-Индийский максимум;
- Южно-Тихоокеанский максимум;
- Депрессии субполярных широт, к ним относят Исландскую депрессию, Алеутский и Субантарктические минимумы;
- Полярные области высокого давления, это Арктический и Антарктический максимум.

К сезонные центрам действия атмосферы относят образования, которые связаны с интенсивным прогревом или охлаждением внутренних районов материков в летний и зимний периоды. Это -

- Азиатский антициклон;
- Канадский антициклон;

- Сахаро-Аравийский минимум;
- Южно-Азиатский минимум.

2. ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ У ЗЕМЛИ И НА ВЫСОТАХ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД ЗА 2019-2020 гг.

В данном разделе проанализированы основные особенности атмосферной циркуляции в северном полушарии и над ЕТР на высотах и на уровне моря. Для этой цели использовалась информация из архива данных Гидрометцентра России о циркуляции атмосферы Северного полушария у земли и на высотах[18], а также данные сайта [19]. Рассмотрены такие характеристики, как положение циркумполярного вихря, высотной фронтальной зоны. Кроме того, проанализированы положение и интенсивность ЦДА (Исландского минимума и Азорского максимума) у земли и на высотах, а также определенные погодные условия осенью и зимой 2019-2020 гг.

2.1. Основные особенности атмосферной циркуляции и погоды в северном полушарии в сентябре - ноябре 2019 года.

2.1.1 Атмосферная циркуляция на высотах

Прежде всего, обратим внимание на тот факт, что уже к 21 сентября в стратосфере (на изобарическом уровне 10 гПа) завершилась перестройка циркуляции на зимний режим. Можно отметить, что за весь период наблюдений (с 1958 года) данная перестройка была самой длинной по времени, так как она началась еще в последних числах августа. На уровне этом уровне циркумполярный вихрь, который сформировался в сентябре, в октябре продолжал свое углубление и сместился в район Земли Франца-Иосифа. В течение октября геопотенциал в центре циклона был существенно ниже нормы. К ноябрю в стратосфере на том же уровне околополярный циклонический вихрь еще больше углубился и геопотенциал в его центре в

течение всего месяца оставался ниже нормы на 27-42 дам. Но стратосферные антициклоны продолжили свое формирование в Атлантике. В связи с этим, в третьей декаде ноября наблюдалось значительное смещение циркумполярного вихря к югу. Его центр располагался у о. Новая Земля.

Теперь перейдем к рассмотрению особенностей атмосферной циркуляции в средней тропосфере. В Приложении 1 представлены карты распределения геопотенциала и аномалий геопотенциала АТ-500(дам) за сентябрь – ноябрь 2019 года и карта давления и аномалий давления на уровне моря (гПа) за тот же период.

Как видно из рис. 1.1-1.3. в средней тропосфере, а именно, на уровне 500 гПа, в осредненном за сентябрь месяц поле геопотнециала главной особенностью было то, что на полюсе и в канадском векторе Арктики отмечались высокие значения геопотенциала (выше нормы 11 дам). В октябре данная тенденция продолжалась. Достаточно высокие значения геопотенциала сформировались над востоком Канады и востоком США, Гренландией и на полюсе. Аномалии составили значения от +5…+14 дам, и тропосферные гребни на протяжении всего октября распространялись в этот регион из Атлантического океана. Поэтому, околополярный циклон оказался ослаблен. Он разделен на два центра, которые смещены к югу. Один центр циклона располагался в канадском секторе Арктики, в связанной с ним ложбине аномалии геопотенциала достигали 9 дам. Второй центр циклона находился на северной оконечности архипелага Новая Земля, связанная с ним тропосферная ложбина постоянно занимала Британские острова, а также Скандинавию и север Европейской территории России (ЕТР). Например, над Финляндией аномалия составила значение 6 дам. Отличительные аномалии геопотенциала сформировались в субтропиках Атлантического океана (аномалии до -4 дам западнее Азорских островов).

Обратим теперь внимание на тот факт, что в ноябре средней тропосфере (тот же уровень – 500 гПа) в осредненном за месяц поле

геопотенциала самые большие отклонения циркуляции от нормы отмечались в атлантико-европейском секторе. Очень интенсивный и весьма мощный блокирующий антициклон, который сформировался над (ЕТР) в середине ноября (см. рис.1.3.) не покидал данное место до конца месяца. Именно он распространил свое влияние на всю Восточную Европу, Скандинавию и даже на север Атлантики вплоть до Гренландии. Поэтому, на этих территориях и сформировались достаточно большие положительные аномалии геопотенциала. Максимальные их значения (до +17 дам) отмечались на севере ЕТР. А субтропической Атлантике геопотенциал превысил норму на +9 дам. В первые двадцать дней ноября здесь сформировались тропосферные антициклоны, а их гребни тоже распространялись на север до Гренландии, где среднемесячные аномалии геопотенциала были +9 дам.

Остановимся на положении планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) осенью 2019 года. Можно отметить, что ее положение в сентябре и в октябре в определенной мере соответствовало климатическому положению. При этом практически повсюду, за исключением запада Канады, фронтальная зона была гораздо более обострённой, чем обычно. В октябре (см. Приложение 1 рис.1.2) южнее обычного ПВФЗ располагалась на севере Атлантики и Скандинавии ($1\text{-}3^0$). Если говорить о положении ПВФЗ в ноябре (см. Приложение 1 рис.1.3), то и в этом месяце ее положение было близко к норме. Однако именно над Британскими островами и Западной Европой в среднем за месяц оно составило $12\text{-}14^0$.

2.1.2. Атмосферная циркуляция и погода на уровне моря.

Перейдем к рассмотрению осредненных приземных карт за осень 2019 года. На рис.1.4-1.6 (Приложения 1) представлены карты давления и аномалий давления на уровне моря (гПа) за сентябрь – ноябрь 2019 г. Из рис. 1.4. - 1.5 видно, что в сентябре и в октябре все основные центры действия атмосферы (ЦДА) были достаточно хорошо выражены. В сентябре Азорский

максимум и Исландский минимум имели близкое к норме положение. Однако в среднем за месяц азорский максимум оказался более интенсивным (+4 гПа), а исландский минимум был глубже на 3 гПа. Это связано с тем, что при анализе ежедневных карт именно азорский антициклон был более ярко выражен в первой и второй декадах сентября. При этом его влияние часто распространялось практически на всю территорию Европы. Смещение антициклона в это время к северо-востоку (см. рис.1.4, Приложение 1) было обусловило аномалии давления до +4 гПа севернее Азорских островов. Атлантические циклоны перемещались, в основном, из северной Атлантики через Скандинавию в российский сектор Арктики. Они приносили на арктические острова и побережья морей значительное количество тепла и влаги.

Что же наблюдалось во второй половине сентября? Исландский минимум значительно углубился. Это связано с тем, что в циркуляцию умеренных широт были вовлечены экс-тропических циклонов и ураганов Атлантики. Поэтому, главная роль в формировании европейской погоды принадлежала именно атлантическим циклонам. Они вызывали штормовую погоду в северной и центральной Европе. В третьей декаде сентября количество выпавших здесь осадков было значительно выше нормы. А дефицит осадков в сентябре отмечался в районах преобладания антициклональной погоды на западе Испании и в Португалии, в странах Западной Европы, в Италии, на Балканах и на Украине. Значительно меньше нормы выпало осадков также в центральных и северо-восточных областях ЕТР, где в первой половине сентября господствовали антициклоны. Температура воздуха на большей части территории Европы в среднем за месяц оказалась близкой к норме. Положительные аномалии под влиянием частых южных адвекций сформировались лишь на юге Италии и на Балканах.

В октябре (см. рис.1.5) Азорский максимум в среднем за месяц был ослаблен и располагался ближе к Канарским островам. В первой декаде октября центр высокого давления был сдвинут к востоку активными атлантическими циклонами. Среди них был и тропический ураган «Лоренцо», образовавшийся ещё в сентябре. Во второй декаде месяца антициклон снова встал на свое климатическое место вблизи Азорских островов и стал занимать площадь, равную всей Атлантике. Однако это длилось не долго. Именно в третьей декаде азорский антициклон снова был оттеснён на юго-восток активными атлантическими циклонами, которые перемещались по северу Атлантики, а также тропическим ураганом «Пабло» и тропическим циклоном «Ребека», образовавшимися вблизи Азорских островов. Выше названные тропический циклон и ураган стали усилителями усиливали внетропических циклонов. В первые две декады октября атлантические циклоны двигались на Европу, смещаясь затем в центр и на север ЕТР.

В первых двух декадах октября активные циклоны вызывали штормовую погоду в северной и центральной частях Европы, особенно во второй декаде октября. В третьей декаде атлантические циклоны стали двигаться, в основном, из северной Атлантики через Скандинавию в российский сектор Арктики, принося на арктические острова и побережья морей большое количество тепла и влаги. Количество выпавших здесь осадков было значительно выше нормы. Следует отметить также неспокойную погоду на юге центральной Европы, куда нередко опускались полярные фронты, принося сильные дожди. Наиболее сильно в середине октября пострадали северные итальянские провинции Генуя, Александрия и Турин, где прошли сильнейшие дожди, вызвавшие внезапные наводнения и оползни, погибли два человека. Суточные суммы осадков 15 октября достигали 149 мм в Генуя. А 21 октября здесь выпало 108 мм небесной влаги. 20 октября на севере Италии в Лигурии в Альпах выпало 247 мм осадков.

Месячные суммы осадков на севере Италии оказались значительно превышены.

Если внимательно проанализировать октябрьскую карту (рис. 1.5. Приложения 1), то можно отметить, что Исландский минимум занимает свое «климатическое» место, но имеет два центра. Основной центр располагается около Исландии. Аномалии давления в связанной с ним ложбине над Британскими островами достигают -5 гПа. Второй центр сформировался над Карским морем (аномалии – 6 гПа).

По сравнению с сентябрем и октябрем, в осредненном за месяц поле приземного давления в ноябре (см. рис.1.6.) положение и интенсивность основных центров действия атмосферы (ЦДА) имели ряд особенностей. Это относится именно к атлантической паре (Азорский максимум и Исландский минимум). Как видно из рис. 2.6. Азорский максимум в первые две декады ноября весьма обширен. Его интенсивность в центре выше на 7 гПа по сравнению с климатической нормой даже на осредненной карте, хотя его положение оставалось близким к норме. Влияния на погоду Европы он практически не оказывал, если не считать таковым влияние на траектории атлантических циклонов. Но самое большое влияние на траектории барических образований оказал устойчивый блокирующий антициклон. Он сформировавшийся над Восточной Европой в районе 15 ноября и устойчиво держался на своем месте до конца ноября. Как показали ежедневные карты, именно в третьей декаде ноября он был наиболее интенсивен. В центре этого барического образования давление 20-21 ноября превышало 1050 гПа. Приведем карту приземного давления за 21 ноября 2019 года [18](Рис. 2.1.)

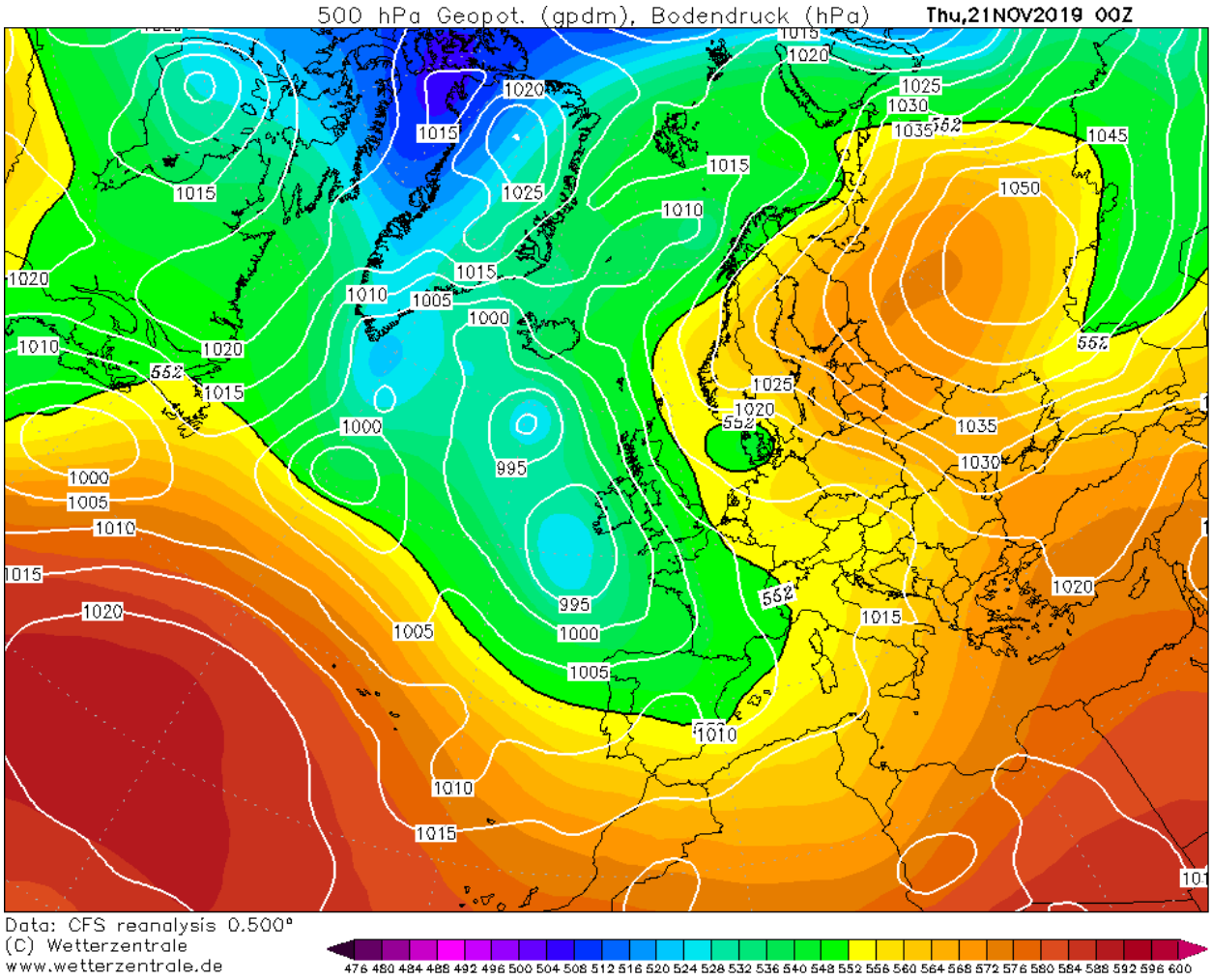

Рис. 2.1. Карта распределения приземного давления и высоты поверхности 500 гПа за 21 ноября 2019 года.

Как видно из рис.2.1. давление в центре блокирующего антициклона составило 1052 гПа, а высота поверхности 500 гПа – 584 дам. Вместе с тем на север Европы, на арктические моря, на Гренландское и Норвежское моря очень велико было влияние подвижных и довольно интенсивных полярных антициклонов и гребней. Огромная область положительных аномалий давления от +5 до +10 гПа занимала всю Восточную Европу, Скандинавию, северные моря, а также Урал и Западную Сибирь. Поэтому, Исландский минимум в таких условиях был деформирован и сильно смещён к югу. Конечно, атлантические циклоны имели соответствующую ноябрю глубину. Но интересное заключалось в том, что траектории их были всего направлены из северной Атлантики на юго-восток. Более всего под влиянием

атлантических циклонов и их ложбин находились Британские острова, Западная и Центральная Европа и средиземноморские страны, где имели место очень большие аномалии давления от -4 до -14 гПа. Как видно из рис. 1.6.(Приложение 1), Исландский минимум представляется как узкая, ориентированной в широтном направлении область низкого давления. Она располагается южнее Исландии и имеет центром на юге Британских островов. А на севере Франции (см. рис. 1.6) аномалия приземного давления составила -14 гПа. И такая синоптическая ситуация сохранялась в течение всего ноября. Постоянные северные адвекции в тыловой части ложбин стали причиной холодной погоды в Западной Европе и в Северной Африке. Бурная циклоническая деятельность в Западной Европе и Средиземноморье часто становилась причиной штормовой погоды и связанных с ней чрезвычайных ситуаций. Сильные ветры, проливные дожди, грозы и даже смерчи терзали Грецию и Италию, юг Франции и север Испании. Наблюдались весьма значительные снегопады и снежные бури в Альпах. Но, понятно, что более всего от ноябрьских циклонов пострадали юг Франции и север Италии. Неоднократно суточные суммы осадков составляли здесь 50-100 мм и более, что приводило к мощным дождевым паводкам, разрушениям и даже гибели людей. Дожди и постоянный сильный южный ветер привели к сильнейшему за 50 лет наводнению в Венеции. 11-12 ноября уровень воды достигал здесь отметок 190 см, что на 50 см выше критических значений; 80% территории города были затоплены. Значительный избыток осадков отмечался также в Скандинавии, в Прибалтике и на севере ЕТР. На остальной же территории и северной Европы количество осадков было близким к норме. В условиях преобладавшей антициклональной погоды большой дефицит осадков сложился на Украине, в Белоруссии, в южной половине ЕТР, а также на территории Казахстане.

2.2. Основные особенности атмосферной циркуляции и погоды в декабре 2019 г., в январе и феврале 2020 гг.

В данном разделе проанализированы основные особенности атмосферной циркуляции в северном полушарии и над ЕТР на высотах и у земли зимой 2019 – 2020 годов. Для этой цели использовалась информация из архива данных Гидрометцентра России о циркуляции атмосферы Северного полушария у земли и на высотах [18]

2.2.1 Анализ характеристик атмосферной циркуляции и погоды на высотах

Если говорить о стратосфере, а именно об уровне 10 гПа, то околополярный циклонический вихрь оставался очень глубоким на протяжении всей зимы. Значение геопотенциала в его центра оставалось ниже климатической нормы в декабре в среднем на 56 дам, в январе на 100 дам, а в феврале на 160 – 210 дам. Особенно удивительно такое углубление в феврале. Ведь в последнем месяце зимы такие тенденции крайне редки. При этом на северо-востоке Тихого океана и на западе Канады формировались стратосферные антициклоны, которые в определенной мере отодвигали циклоническое образование от северного полюса. В третьей декаде декабря антициклон достиг своего максимума. Он значительно продвинулся к северу. При этом создавались определенные предпосылки для стратосферного потепления, но они не произошли, так как циклон хоть и распался сначала, но потом снова раздвоился. Потепления не произошло.

Теперь обратимся к средней тропосфере. На рис. 1 – 3 Приложения 2 представлены карты осредненного за месяц геопотенциала и аномалий геопотенциала АТ-500 (дам) за декабрь 2019, январь и февраль 2020 гг.

При анализе рис. 1 Приложение 2 можно видеть, что в средней тропосфере (на уровне АТ-500 гПа) осредненное за декабрь поле геопотенциала соответствовало климатической норме. Правда есть определенная разница. Она заключается в том, фоновые значения геопотенциала в целом по полушарию оказался заметно выше

климатических значений. Самые большие положительные аномалии (до +10 дам) сформировались вблизи полюса, куда регулярно в первой и второй декадах декабря распространялись тихоокеанские гребни. Но оба центра околополярного циклона при этом сохраняли свое положение. Другое дело, что канадский центр оказался даже более глубоким, чем обычно. Аномалии геопотенциала в нём в среднем за месяц составили -7 дам. Особо стоит отметить, что отрицательные аномалии (до -8 дам) наблюдались и в тропосферной атлантической ложбине. На всей остальной территории северного полушария значения геопотенциала были либо близки к норме, либо превышали её. В субтропиках Северной Америки и Атлантики аномалии составили +3…+6 дам, на западе Средиземного моря и в Северной Африке - +3…+7 дам, в Восточной Европе – до +7 дам, в западных и центральных акваториях Тихого океана - +4…+8 дам.

Если проанализировать данные за январь 2020 года, то следует отметить, что имеет место удивительное «соседство» крупных аномалий разных знаков. Над Европой в субтропических широтах эта аномалия составила +15 дам, а в околополярном циклоне, который состоит из двух центров, аномалия приняла значение соответственно в западном центре - 5 дам, в восточном – 10 дам. Очень глубокими были тропосферные ложбины, связанные с ЦДА. В атлантической ложбине на юге Гренландии средние месячные аномалии были -16 дам.

В феврале (см. рис. 3 Приложения 2) опять наблюдалось соседство двух больших аномалий противоположных знаков. В высоких широтах продолжалась весьма интенсивная циклоническая деятельность. Что же мы наблюдаем в результате углубления околополярного циклона? Южнее Исландии отличие от климатической нормы составило -21 дам, на юге Гренландии – 12 дам. А около Гренландии - -16 дам. Но в субтропиках и отчасти в умеренных широтах значения геопотнциала было выше нормы. Например, в центре Иберийского полуострова и западом Средиземного моря

аномалия составила +19 дам. Если говорить о ЕТР, то там западно – восточный перенос сохранялся.

Положение планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) в зимние месяцы практически полностью соответствовало ее климатическому положению. Но почти на всём своём протяжении ПВФЗ была гораздо более обострённой, чем обычно, особенно в атлантико-европейском секторе и азиатско-тихоокеанском регионе. Это касается декабря, января и февраля (см рис. 1-3 Приложения 2). В феврале месяце это обострение достигла максимума. Его можно считать даже экстремальным. Мощный зональный поток был препятствием возникновению блокинга. Меридиональный перенос был существенно ослаблен. Это касается в большей степени высоких широт. В Европе и на ЕТР ПВФЗ была в феврале смещена на юг в среднем на 3-4 градуса.

2.2.2 Анализ характеристик атмосферной циркуляции и погоды на уровне моря

Рассмотрим теперь поля осредненные за месяц поля давления на уровне моря и аномалий давления на уровне моря в зимние месяцы 2019 – 2020 гг. На рис. 4-6 Приложения 2 представлены карты осредненных значений давления и аномалий давления на уровне моря (гПа) за декабрь 2019, за январь и февраль 2020 гг.

В осредненном за декабрь (см. рис.4 Приложения 2) поле давления на уровне моря можно отметить очень глубокие циклонические центры действия атмосферы (ЦДА). Особенно это касается Исландского минимума. Именно ему принадлежала ведущая роль в циркуляции атмосферы в декабре месяце. В среднем за месяц давление в его центре было на 8 гПа ниже нормы. Этот вихрь занимал всю северную Атлантику и север Европы, часто распространяя своё влияние на юг, восток Европы, на Урал и Западную Сибирь. Исландская депрессия была смещена к югу, что способствовало

формированию аномалий до -10…-12 гПа на Британских островах и в Скандинавии. Что касается Азорского максимума, то можно отметить, что он хоть и очень обширен, но менее интенсивен, чем Исландский минимум. По сравнению с климатической нормой его аномалии доходили только до +3 гПа. Он только влиял на погоду юго-западной Европой и Северной Африкой.

На остальной территории Европы погоду формировали чрезвычайно активные и глубокие атлантические циклоны, поэтому на большей части территории Европы погода в декабре была нестабильной и часто опасной. Давление в одном из атлантических циклонов 10-11 декабря опускалось ниже 950 гПа, т.е. было сопоставимо с давлением в центре тропического циклона.

На рис. 2.2 представлена карта приземного давления и высоты изобарической поверхности 500 гПа за 11 декабря 2019 года.

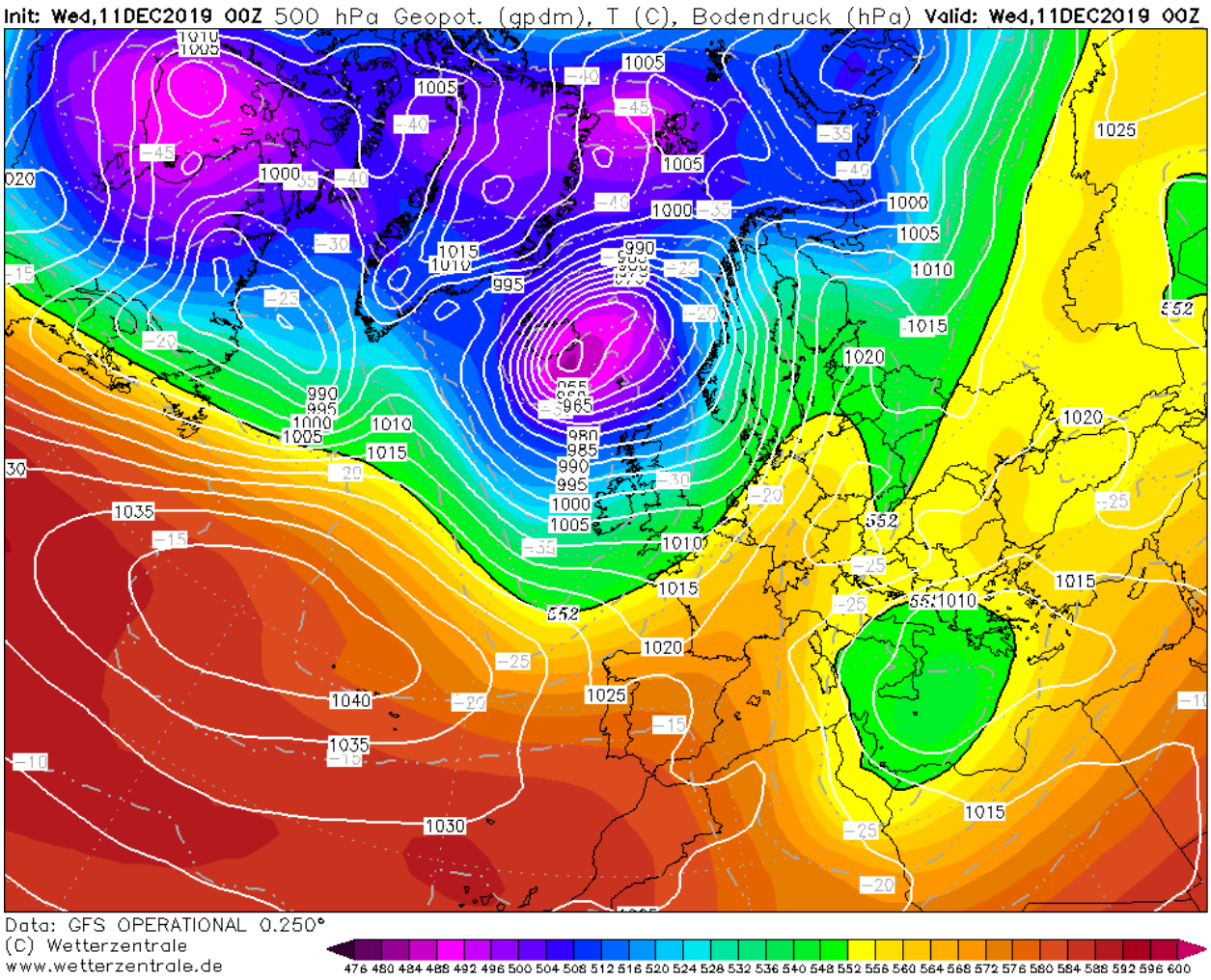

Рис. 2.2 Карта распределения давления и высот изобарической поверхности 500 гПа за 11.12.2019 г.

Из анализа рис. 2.2. видно, что центра циклона находится у южных берегов Исландии, и давление в его центре составляло 949 гПа. Хотя данный циклон большой урон на север Европы не принес, так как ушел в Арктику, но суточные суммы осадков в Норвегии превышали 70 мм, в Англии – 50 мм. Ложбины атлантических циклонов нередко распространялись до Средиземного моря. Во второй и третьей декадах декабря эпицентром непогоды стали страны центрального и восточного Средиземноморья. Особо стоит отметить 22-23 декабря. (рис. 2.3, 2.4)

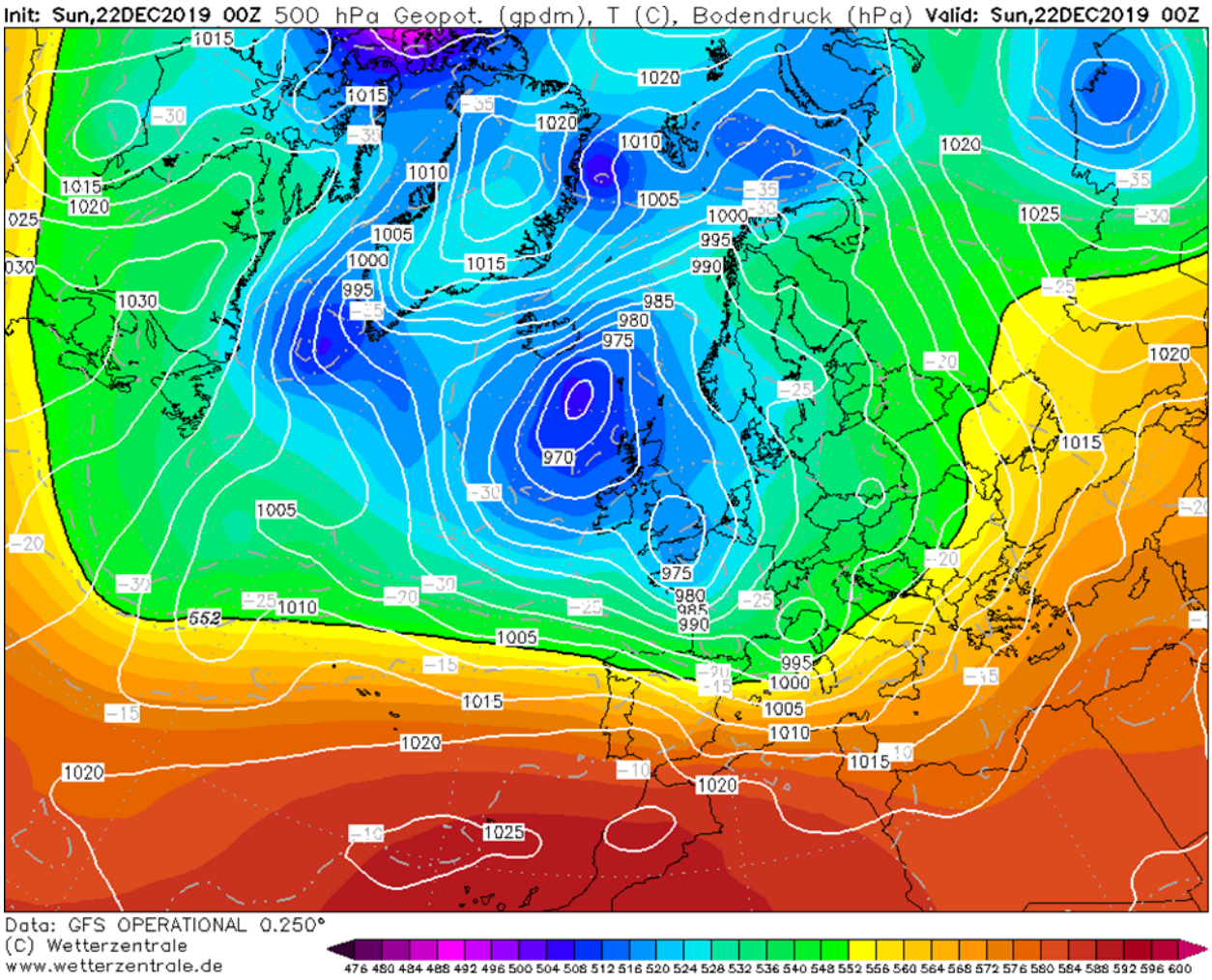

Рис. 2.3 Карта распределения давления и высот изобарической поверхности 500 гПа за 22.12.2019 г.

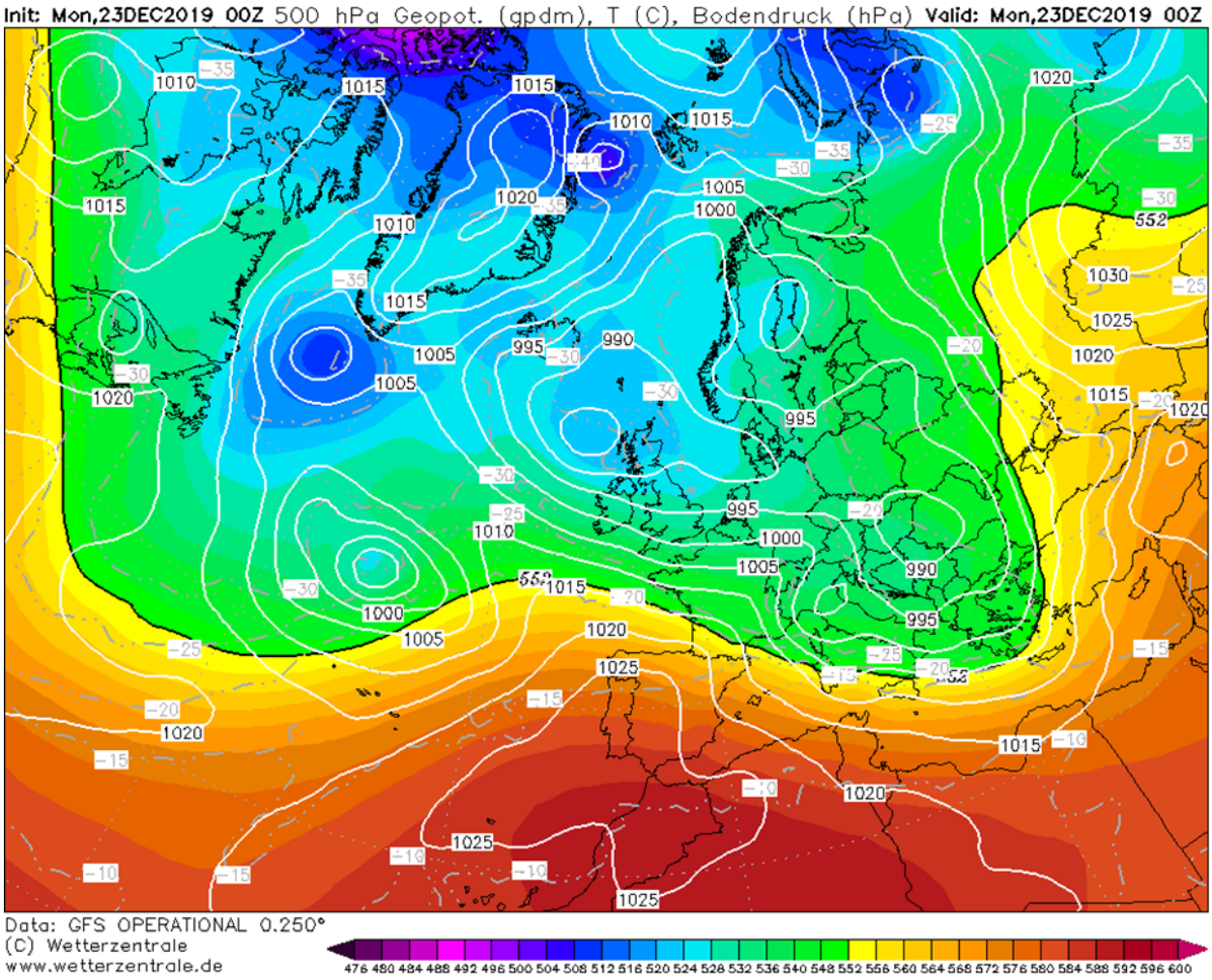

Рис. 2.4 Карта распределения давления и высот изобарической поверхности 500 гПа за 23.12.2019 г.

Глубокая обширная многоцентровая область низкого давления (см. рис.2.3,2.4) заняла практически всю Европу, и штормовые ветры от 20 до 30 м/с отмечались от юга Англии до севера Африки. В Венеции проливные дожди и нагон из лагуны привели к очередному наводнению, когда вода опять поднималась до опасных отметок (144 см). В Восточной Европе была отмечена очень сильна южная адвекция, что стало причиной необычайно тёплой погоды. Абсолютные максимумы температуры были обновлены на многих метеостанциях Украины, Молдавии, Белоруссии, юга и запада Европейской территории России. Как уже отмечалось, в целом декабрь в Европе был очень тёплым, особенно в восточной её части, где сформировались наибольшие положительные аномалии температуры. В

Архангельской области их значения превысили +8ºС, в Москве - +6ºС Но дефицит осадков испытывали причерноморские страны, Кавказ и южная половина ЕТР, часто находившиеся под влиянием антициклонов и гребней.

В январе (см. рис.5 Приложение 2)главной особенностью поля приземного давления стал аномально глубокий исландский минимум. В среднем за январь давление в центре этого ЦДА было ниже нормы на 14 гПа. Аномалии в районе Исландии достигали -20 гПа. Интенсивные атлантические циклоны перемещались чередой на восток по северу Европы и арктическим морям. Они влияли на погоду Северной и Восточной Европы, Урала, Западной и большей части Восточной Сибири. В связи с этим, на данных территориях сформировались обширные отрицательные аномалии давления от -5 до -16 гПа. Максимальные же средние месячные аномалии до -19 гПа отмечались в районе Исландии и до -18 гПа в Карском море. Положение Азорского максимума тоже было весьма оригинальным. Можно отметить, что интенсивность большинства атлантических антициклонов и гребней превышала норму, и в итоге фон давления в субтропической Атлантике и Западной Европе в среднем за месяц оказался значительно выше обычного. Центр антициклона на среднемесячной карте оказался смещённым на запад Средиземного моря.

Чем же характерная погода над Европой в январе? Несмотря на усилившееся влияние антициклонов, она продолжала оставаться нестабильной и в определенной степени опасной. В первой декаде месяца, когда атлантические циклоны были особенно глубоки и непрерывной чередой быстро смещались на восток и северо-восток, страны Скандинавии и Северной Европы сполна испытали на себе постоянные штормовые ветры с сильными осадками. Давление в центре атлантического циклона, смещавшегося по Норвежскому морю 8 января, составляло, к примеру, 944 гПа. (см. рис. 2.5).

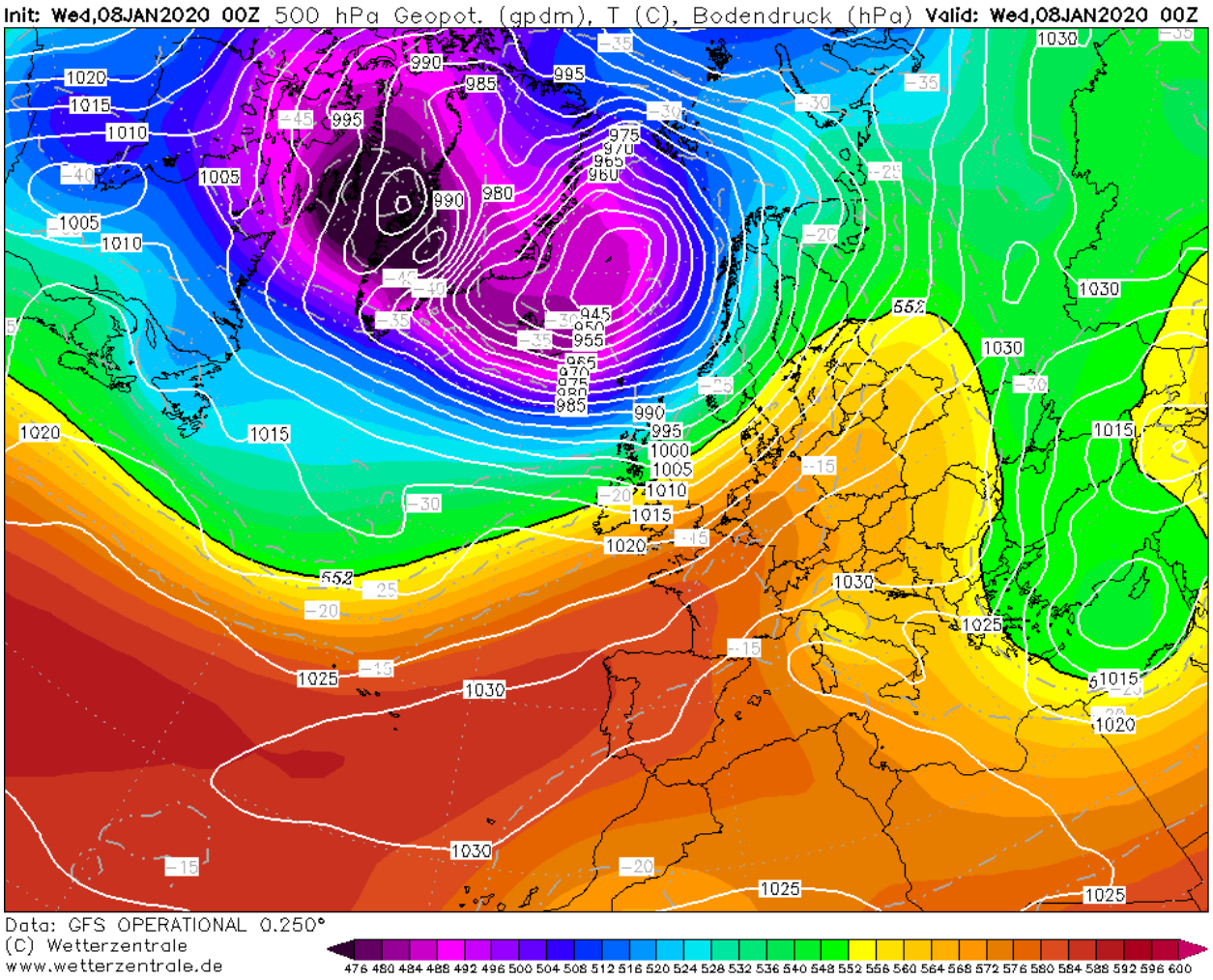

Рис. 2.5 Карта распределения давления и высот изобарической поверхности 500 гПа за 8 января 2020 г.

Связанные с ним ураганные ветры пронеслись по Британским островам, Скандинавии и северным побережьям европейских стран.

В заключении хочется отметить, что в целом же январь на всей территории Европы был очень тёплым. Под влиянием постоянных мощных южных адвекций наибольшие аномалии температуры сформировались в Скандинавии и в Восточной Европе. В Тверской и Вологодской областях, к примеру, их средние месячные значения превысили +10ºС. Дефицит осадков, связанный с преобладанием антициклональной погоды, отмечался в Западной и Центральной Европе, на Балканах и на Украине. На всей остальной территории Европы количество выпавших осадков было либо

близким к норме, либо превышало её, местами (в Северной Европе) значительно.

Февраль 2020 года продолжил историю декабря и января. Опять мы видим феноменально глубокий Исландский минимум (см. рис. 6 Приложение 2). Необыкновенно глубокая область низкого давления имела два центра. Их положение было вполне традиционным. Но давление в них в среднем за месяц оказалось на 20 гПа ниже нормы в районе Исландии и на 24 гПа ниже нормы на севере Скандинавии. (рис. 6. Приложение 2). И атлантические циклоны в течение всего февраля были экстремально глубокими. Давление в их центрах достигало величины 960 гПа. Смещаясь с огромной скоростью на восток по северу Европы и арктическим морям, они формировали погоду практически на всей территории Европы и на большей части территории Азии.

Азорский антициклон, хоть и был значительно интенсивнее обычного, влияния на погоду Европы почти не оказывал. Чаще всего под его опекой находились лишь Пиренейский п-ов и страны центрального Средиземноморья. Центр антициклона был несколько смещён к востоку. Наибольшие положительные аномалии давления в связи с этим отмечались на западе Средиземного моря: в среднем за месяц они составили +10 гПа. Вместе с тем, бóльшая, чем обычно, интенсивность антициклона обусловила положительные аномалии от +2 до +9 гПа и во всей субтропической Атлантике и на севере Африки.

Атлантические циклоны, непрерывной чередой шедшие на восток, стали причиной почти постоянной штормовой погоды на севере Европы. Нередко порывистый сильный ветер с осадками отмечался и в странах Центральной Европы. В целом за месяц на Британских островах, на юге и северо-востоке Скандинавии, на севере и в центре Европы, в Прибалтике количество осадков в несколько раз превысило норму. Значительно больше обычного осадков выпало практически на всей территории Европы, за

исключением южных районов. При этом на севере и востоке Турции, на черноморском побережье Кавказа и на юге Украины и Европейской территории России (ЕТР) под влиянием южных волн и циклонов отмечался огромный избыток осадков. Постоянные мощные южные адвекции стали причиной чрезвычайно тёплой февральской погоды на всей территории Европы, Урала, Западной Сибири и, особенно, в Арктике. На островах Карского моря вблизи побережья Таймыра средние месячные аномалии температуры составили более +14ºС. На европейском континенте наибольшие аномалии (более +8ºС) отмечались на северо-востоке ЕТР. Но область больших аномалий температуры от +5ºС до +9ºС занимала огромные территории от Северной и Центральной Европы до Урала. В начале февраля на юго-западе Франции температура воздуха поднималась даже до летних значений, местами превышая +25ºС.

Хотелось бы остановиться более подробно на разрушительном циклоне, который получил получивший имя «Дэннис». Скорее всего, он займет место в метеорологической истории как один из трёх самых глубоких североатлантических циклонов. Он образовался 15 февраля в результате слияния двух глубоких вихрей южнее Исландии. Давление в центре возникшего огромного циклона резко понизилось (по разным расчётам) до 920-923 гПа, что сопоставимо с глубиной мощных тропических ураганов. Понижение давления в центре вихря за сутки 14-15 февраля составило 50 гПа, т.е. его развитие было взрывным. Устойчивый ветер на юге Исландии достигал 45 м/с, западнее Ирландии были зафиксированы волны высотой до 19 м. Под ударом стихии с 15 по 17 февраля опять находились Британские острова, где возобновились дождевые паводки, а также юг Скандинавии, север Франции и страны Северной Европы с Прибалтикой. В комплексе особо опасных метеорологических явлений были отмечены ураганные ветры на обширных территориях европейских стран (до 50 м/с) на Шотландском нагорье), огромные нагонные волны на побережьях, наводнения и оползни на

юге Англии, а также сильные грозы и крупный град в Ирландии. Циклон прошёл несколько севернее предыдущего, и 18 февраля уже находился в Баренцевом море с давлением в центре менее 950 гПа. Несмотря на своевременные штормовые предупреждения и даже эвакуации населения, гибели людей избежать не удалось.

Циклон «Дэннис» повлиял и на погоду на ЕТР. На рис. 2.6 представлена карта погоды, на которой можно видеть положение циклона и его фронты. На рис. 2.7 отмечены зоны интенсивных осадков. Как видно из рис. 2.6. 16 февраля атмосферные фронты циклона приблизились к границам России, и определяли ненастную погоду уже в Северо-Западном федеральном округе. В Ленинградской области прошли сильные осадки в виде мокрого снега и дождя (23-27 мм), ветер усиливался до 20-23 м/с. Ночью 17 февраля в Архангельской и Мурманской областях порывы ветра достигали 25-27 м/с. 17 февраля продолжалось влияние штормового циклона на северную часть Европейской территории нашей страны. В Ленинградской области, в том числе и в Санкт-Петербурге наблюдался дождь, ветер 17-22 м/с, в прибрежных районах Санкт-Петербурга, на Ладожском озере и на востоке Финского залива порывы достигали 28 м/с. При таком порывистом ветре в некоторых прибрежных районах Финского залива высота волн может достигнуть 3,5 метров. К вечеру 17 февраля в устье реки Невы ожидалось повышение уровня воды до 160-180 см, в Невской Губе до 150-170 см (при открытых затворах КЗС). Еще одной особенностью этого циклона стали температурные рекорды. В Санкт-Петербурге был побит рекорд максимальной температуры за 17 февраля. По сведениям Северо-западного УГМС в 11 часов в северной столице столбики термометров дотянулись до отметки +7,4°, предыдущий максимум этого дня +5,2° отмечался в 1925 году.

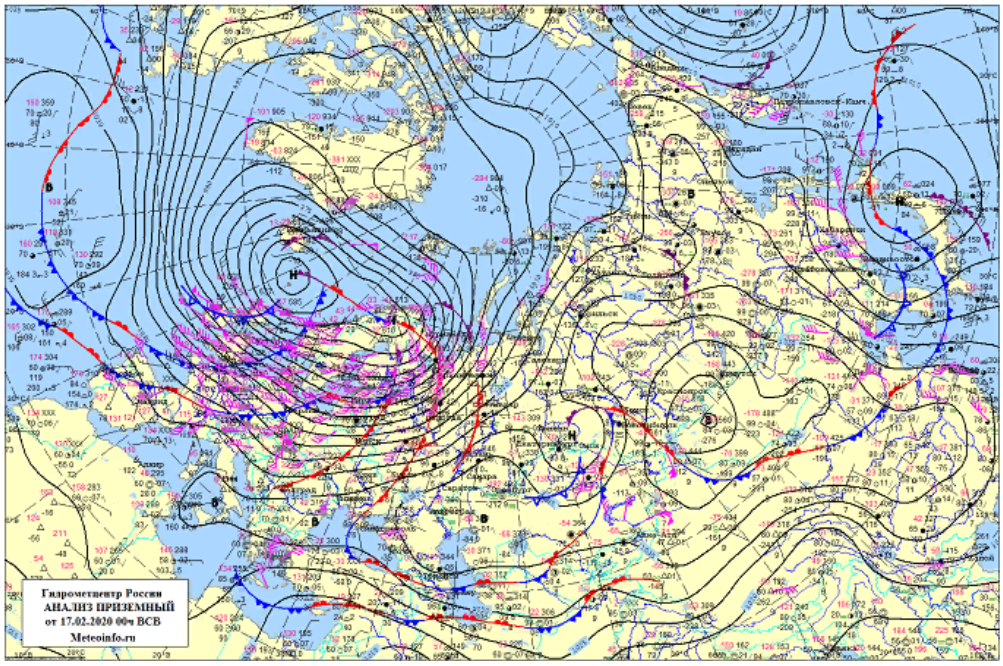

Рис. 2.6. Приземная карта от 16.02.20 00 ВСВ

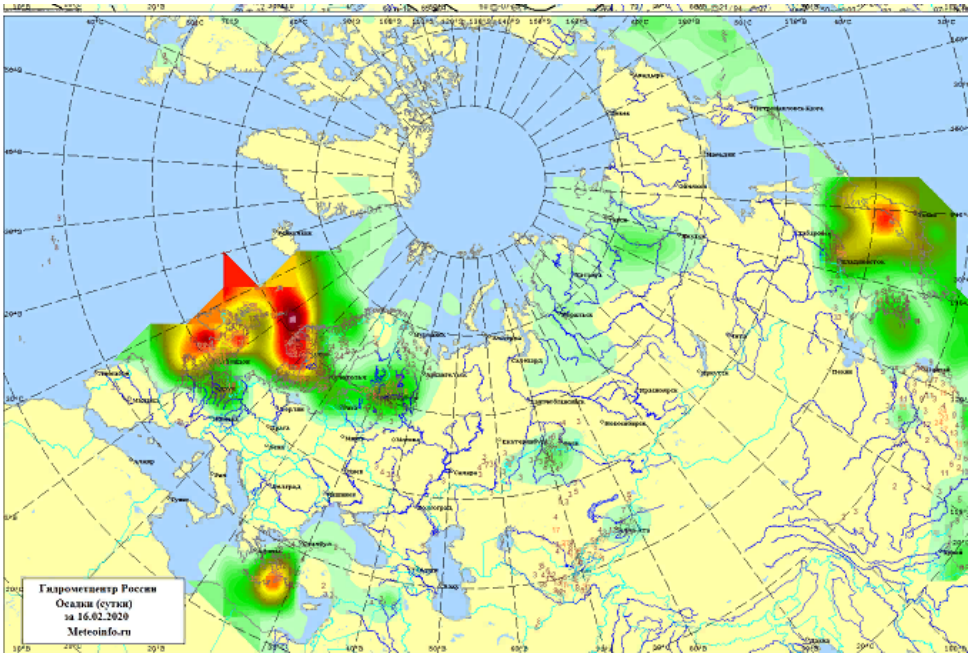

Рис. 2.7 Карта распределения осадков (за сутки) от 16.02.20

Влияние атлантических циклонов и их ложбин распространялось далеко на юг, о чём свидетельствуют отрицательные аномалии давления на Кавказе (до -6 гПа над Каспием), в Казахстане (до -8 гПа) и Средней Азии (до -4 гПа). Это обстоятельство, а также активная циклоническая деятельность в восточном Средиземноморье привели к избыточному количеству осадков в странах Ближнего Востока, на севере Ирака, Ирана, Афганистана, на большей части территории Казахстана и в среднеазиатских республиках. В горах при этом нередко шли сильные снегопады. В зоне обострённого полярного фронта 11 февраля снег выпал даже в столице Ирака г. Багдаде, причём снегопад такой интенсивности отмечался здесь более 100 лет назад.

3. АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ИНДЕКСОВ СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО (САК) И АРКТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЙ (АК) В ОСЕННЕ-ЗИНИЙ ПЕРИОД 2019-2020 ГГ. И ИХ СВЯЗЬ С ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИТ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И НАД ЕТР

3.1. Естественные колебания климата. Северо-атлантическое колебания (САК) и Арктическое колебание (АК)

Как известно, существует определенная зависимость между центрами действия атмосферы (ЦДА) и барическими образованиями, которые определяют погоду в том или ином месте. В северном полушарии на Европу и Европейскую часть России основное влияние оказывает перенос с запада барических образований. Западный перенос связан с Североатлантическим колебанием (САК), благодаря ему образованные циклоны и антициклоны в северной части Атлантического океана определяют погоду и на ЕТР. Но более масштабным колебанием является Арктическое колебание (АК). Арктическое колебание – одно из глобальных структур атмосферной циркуляции. Оно имеет определенные тесные связи с изменчивостью погоды в Северной Европе и ЕТР. Как возникают аномалии АК? Они возникают в верхних слоях атмосферы (в стратосфере) и затем передаются в нижние слои тропосферы[20]. Проникающие из стратосферы в тропосферу аномалии циркуляции сохраняются до двух месяцев. Как сказано в [20]: « Аномалии

АК могут использоваться в качестве предиктора в долгосрочном прогнозе погоды». АК связывают с изменением давления над уровнем моря в северных широтах (выше 20°с.ш.). Один центр давления находится в Арктике, а другой – в области между 37 и 45 градусами северной широты. Арктическое колебание (осцилляция) (АК) считается одним из основных климатических индексов, характеризующих несезонные вариации атмосферного давления над уровнем моря севернее 20° с. ш.

Индекс АК определяется как первая мода разложения на естественные ортогональные функции аномалий высоты поверхности 1000 гПа. Каждое суточное значение было стандартизировано по стандартному отклонению месячного индекса АО за 1979-2000 годы. [17].

В качестве индекса САК рассматриваем разницу высоты поверхности 500 гПа между пунктами в Исландии (64° с. ш., 24° з. д.) и вблизи Азорских островов (39° с. ш., 24° з. д.). Каждое ежедневное значение было стандартизировано по стандартному отклонению месячного индекса NAO с 1950 по 2000 год, интерполированного на соответствующий день [17].

- Североатлантическое колебание имеет две фазы:
    - Положительной фазе соответствует усиления давления в Азорском регионе и углубления Исландского циклона. Возникает большой градиент давления, в результате усиливается ветер, который приносит из океана теплый и влажный воздух на север Европы;
    - Отрицательная фаза, связана с ослаблением барических центров, вследствие этого ослабевают и ветра, их направление изменяется к Средиземноморью. На юге Европы устанавливается теплая и влажная погода, тогда как на севере сухая и холодная.
- Арктическое колебание также имеет две фазы:

- Высокая (теплая) фаза Арктического колебания связана с приходом в Арктику из Атлантического океана, более теплой и соленой воды, которая уменьшает тем самым слои особо холодной вода. Северная Европа становится теплее и более влажной;
- Низкая (холодная) фаза – холодная вода остается в заливах и в северных морях, что затрудняет таяние льда. Погода при этом холодная.

Североатлантическое колебание оказывает наибольшее влияние в зимнее время года, когда Исландский минимум более активен. САК отвечает за силу и направление ветра, температуру и влажность, приносимую барическими образованиями, и за формирование барических образований.

3.2. Анализ ежедневных изменений индексов САК и АК за осень и 2019 их связь с циркуляционными характеристиками

В данном подразделе представлен анализ изменчивости индексов САК и АК за сентябрь, октябрь и ноябрь 2019 года.

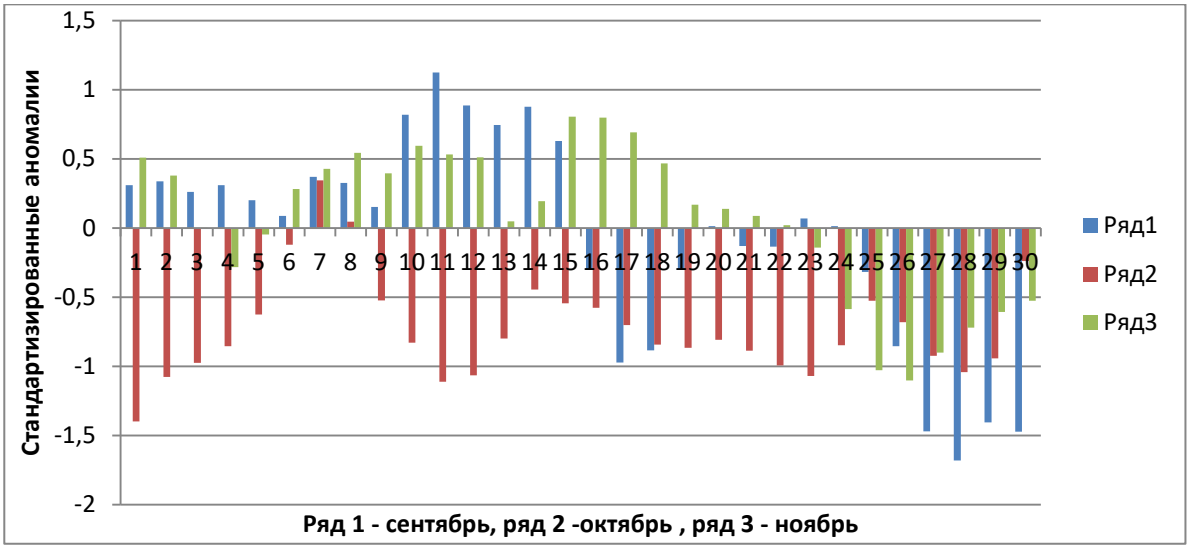

Рис.3.1 Временной ход индекса САК за сентябрь, октябрь и ноябрь 2019 года.

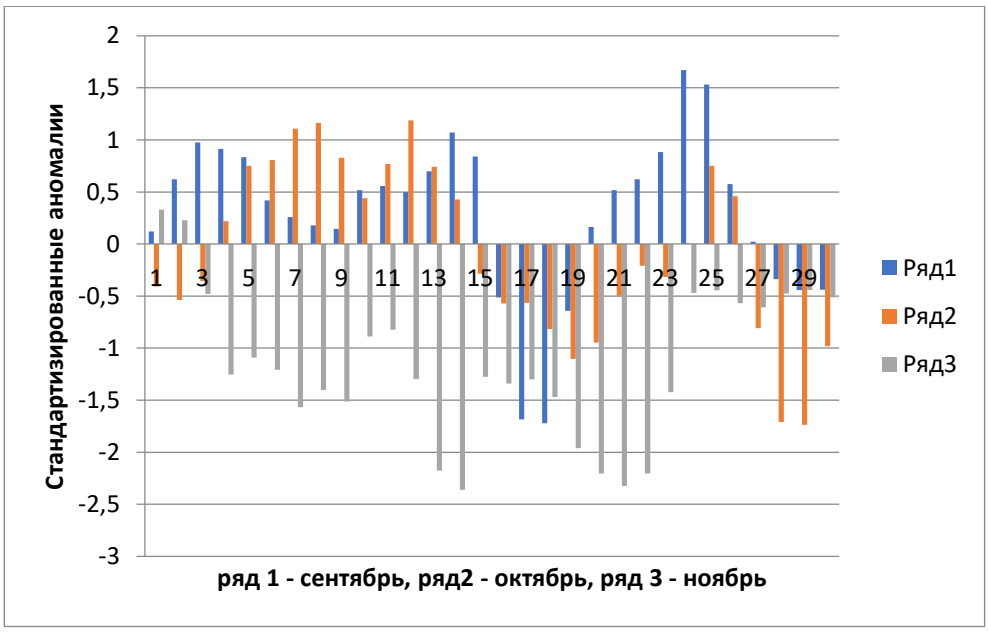

Рис. 3.2. Временной ход индекса АК за сентябрь, октябрь и ноябрь 2019 года

Из анализа рис. 3.1. и 3.2. видно, что в первую половину сентября наблюдались положительные фазы САК и АК. (До 15 числа). Максимальные значения приходятся на средину первой декады месяца. Если обратиться к циркуляционным характеристикам, то в начале месяца атлантические циклоны перемещались, в основном, из северной Атлантики через Скандинавию в российский сектор Арктики. Они приносили на арктические острова и побережья морей значительное количество тепла и влаги. А в это время над ЕТР господствовал антициклон, что следует из анализа карт сайта [19]. Со средины второй декады и практически до конца месяца индекс САК находился, в основном, в отрицательной фазе. Начиная с 10 сентября, северо-запад ЕТР находился под властью циклона. А над большей частью Европы, над Северной Атлантикой господствовал блокирующий антициклон, который и нарушил западно - восточный перенос. (см. рис 3.3)

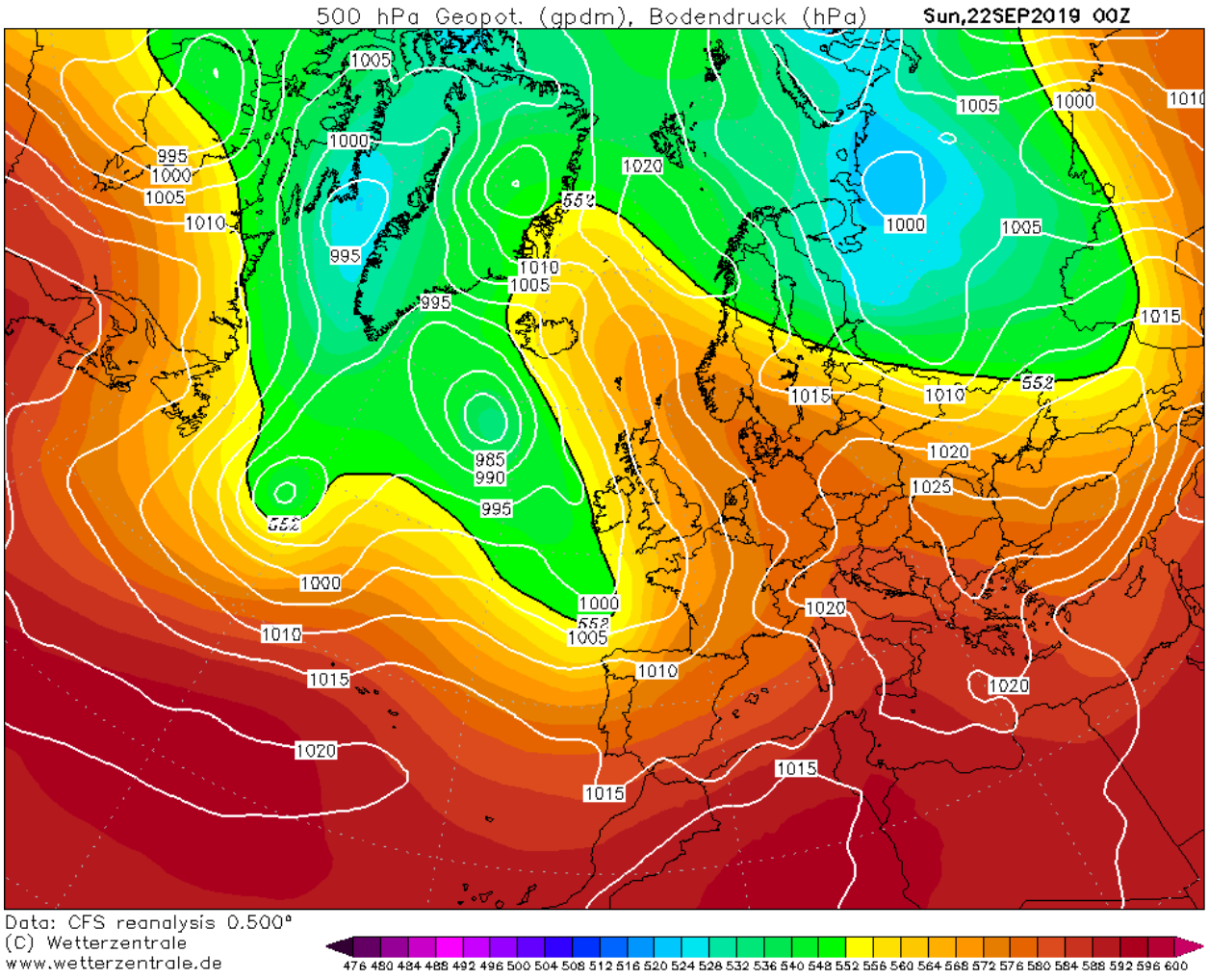

Рис 3.3. Приемный анализ и поле геопотенциала АТ - 500 за 22.09 2019

Что касается АК, то оно именно в этот период находилось в положительной фазе. Максимальное значение составило в период с 22 по 26 сентября более 1,5 . Во время этой фазы зона высокого давления в умеренных широтах вызывает сдвиг западно-восточного переноса на север. Стоит отметить тот факт, что, как было указано выше, сначала аномалии АК возникают в стратосфере и их влияние на тропосферу и приземный слой может запаздывать по фазе.

Как видно из рис. 3.1 (ряд 2 октябрь) в среднем индекс САК весь месяц был в отрицательной фазе. По всей видимости, это связано с тем, что в октябре был ослаблен Азорский максимум, о чем было отмечено во второй

главе. Да и нарушение западно-восточного переноса тоже имело место. Как пример, можно привести карту за 6.10.19.

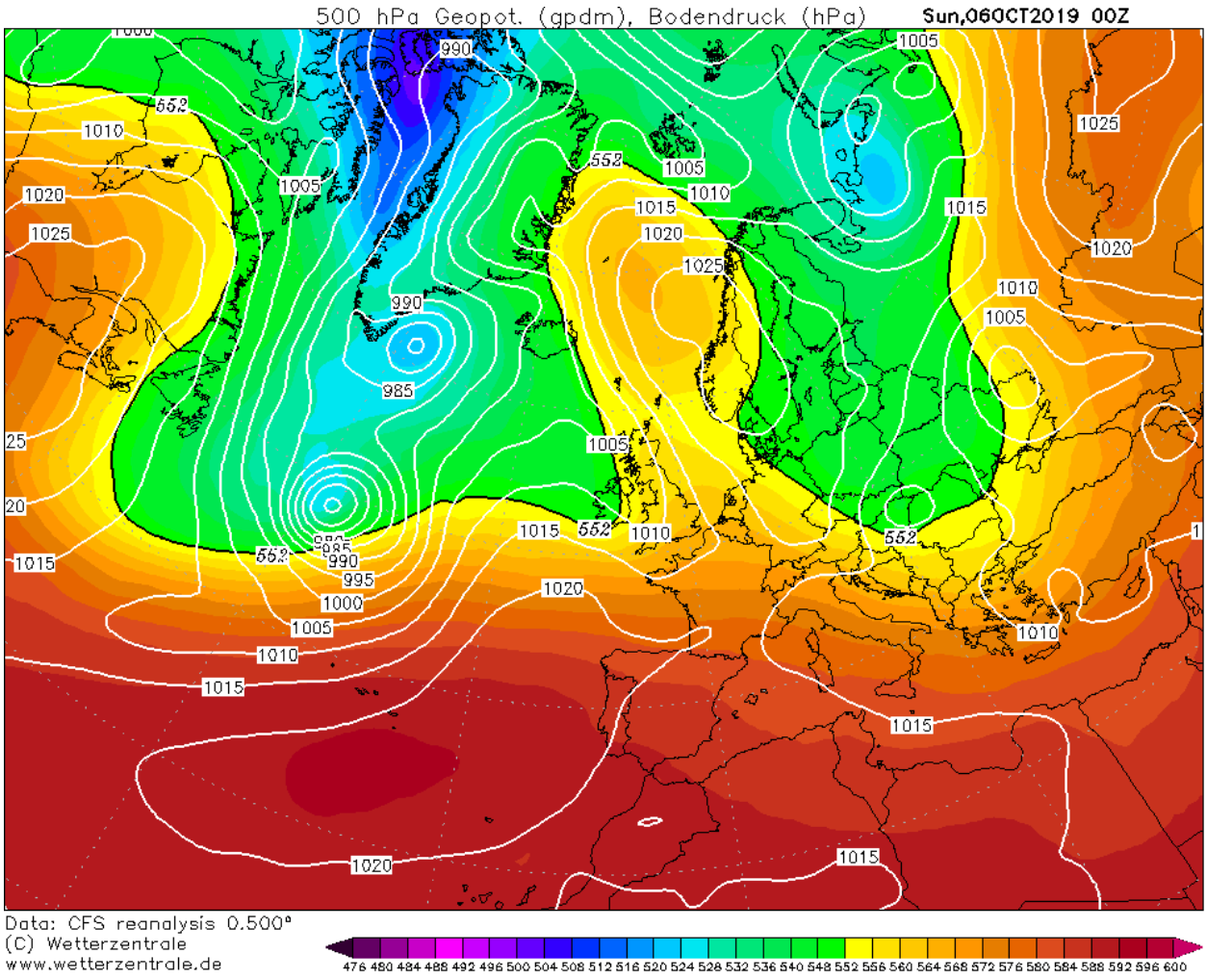

Рис. 3.4. Приемный анализ и поле геопотенциала АТ - 500 за 6.10 2019

В дальнейшем, особенно в третьей декаде, циклоны перемещались, в основном, из северной Атлантики через Скандинавию в российский сектор Арктики, принося на арктические острова и побережья морей большое количество тепла и влаги. (См. рис.3.5)

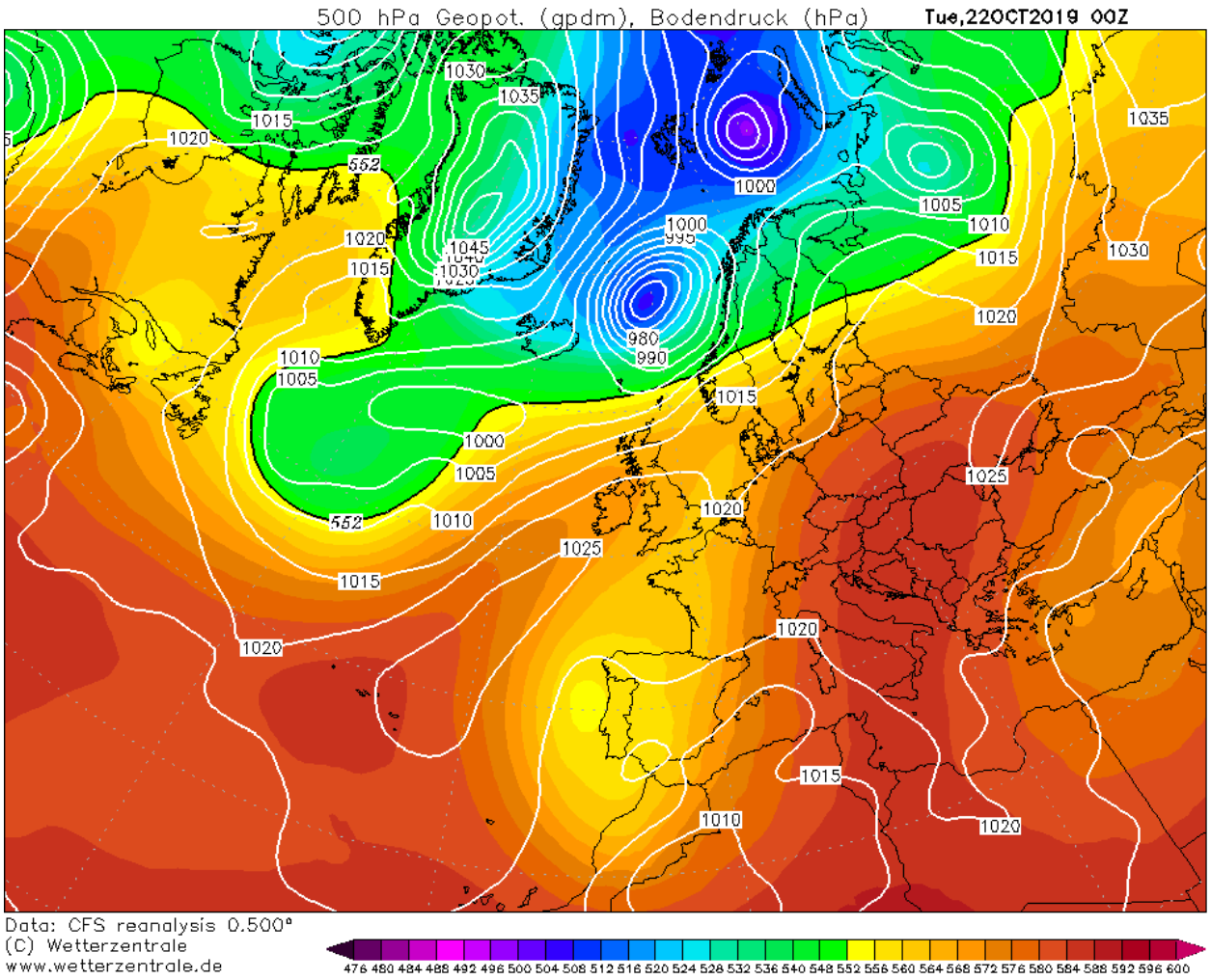

Рис.3.5 Приемный анализ и поле геопотенциала АТ-500 за 22.10.2019г

Что нельзя сказать об индексе АК, который в течение месяца регулярно переходил из одной фазы в другую.

Если проанализировать временной ход индекса САК за ноябрь месяц, то на протяжении начиная со второй половины ноября он перешел из положительной фазы в отрицательную. (см. рис.3.1) И именно в это время наблюдалось существенное нарушение западно-восточного переноса из-за блокинга. В первой половине ноября (при положительной фазе САК) атлантические циклоны (довольно мощные) перемещались с юго-запада на северо - восток, определяя погоду и на ЕТР тоже. В [21] особо указывается, что именно при положительной фазе САК имеет место возникновение и развитие экстремальных циклонов в осенне-зимний период. АК в течение всего ноября находилось в отрицательной фазе. Это можно объяснить тем,

что, как подчеркнуто в [20], «при отрицательной фазе АК вихрь вокруг Арктики ослабевает, что позволяет холодному воздуху не только в центральные, но и в южные районы Европы». Это мы и наблюдаем в ноябре. Постоянные северные адвекции в тыловой части ложбин стали причиной холодной погоды в Западной Европе и над ЕТР, что уже отмечалось во второй главе.

Перейдем теперь к анализу зимних значений индексов САК и АК и самих колебаний. На рис.3.6. и 3.7 представлен временной ход индексов САК и АК за зиму 2019-2020 гг.

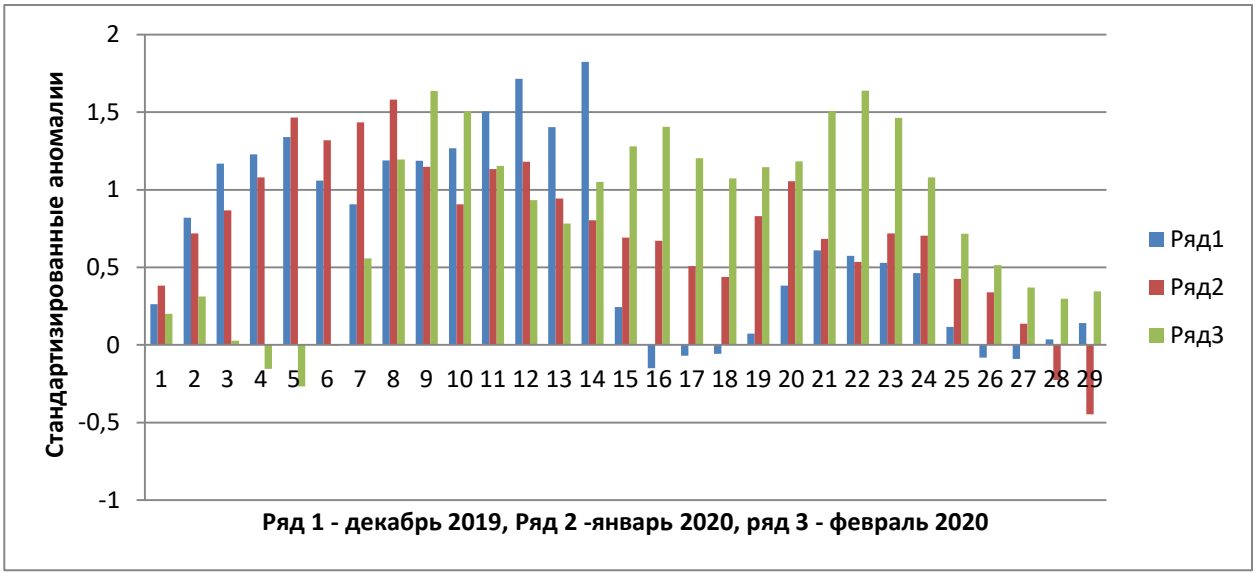

Рис. 3.6. Временной ход индекса САК за декабрь 2019, январь 2020, февраль 2020.

Как мы видим из рис. 3.6, в течение всей зимы данное колебания находилось в положительной фазе. Причем, индексы САК достигали своих максимальных значений и в декабре(1,7) и в январе (1,6) и в феврале (1,6). Эти данные хорошо согласуются с выводами второй главы – обострение ПВФЗ, очень глубокие циклоны и экстремально высокие зимние значения температуры воздуха. Экстремальный циклон «Дэнис», который явно имел взрывной характер возникновения и развития, тоже приходился на положительную фазу САК. Что же касается АК, то при его положительной

фазе холодный арктический воздух не распространяется на юг. К сожалению, процессы, влияющие на образование той или иной фазы АК, еще недостаточно изучены.

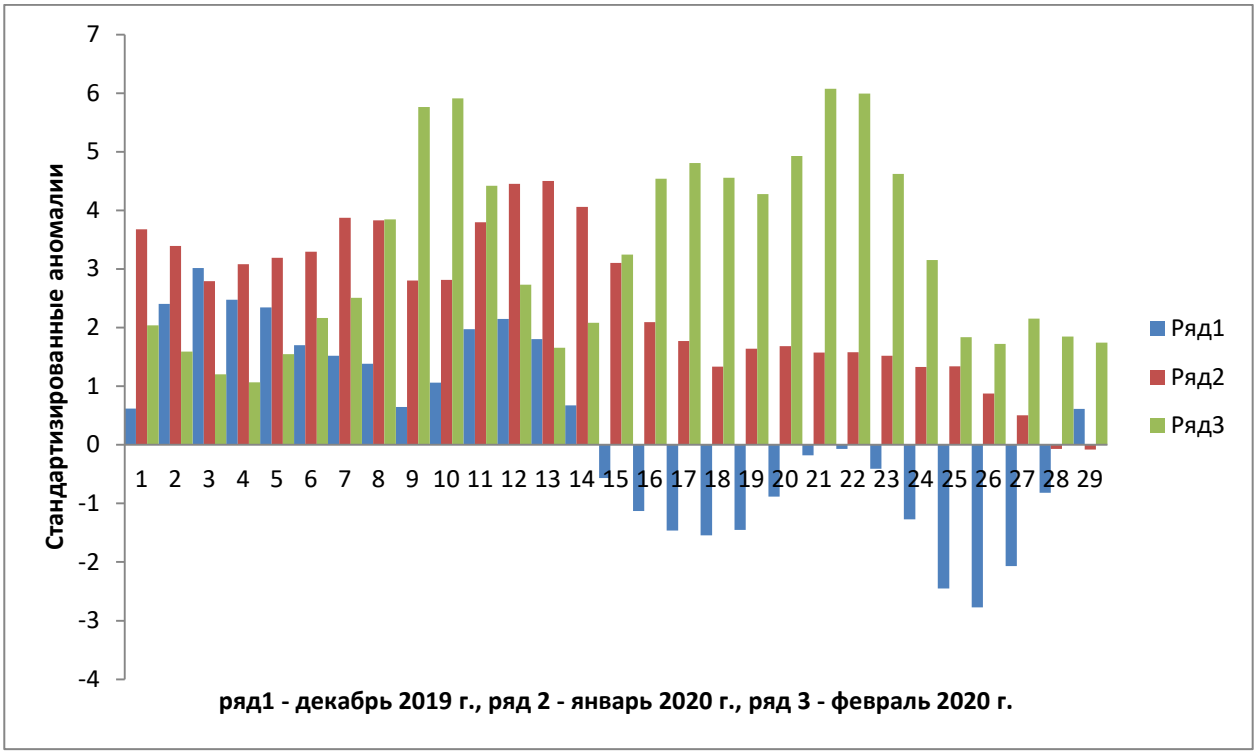

Рис. 3.7. Временной ход индекса АК за декабрь 2019, январь 2020, февраль 2020.

Как видно из рис.3.7 в начале декабря, в январе и, особенно, в феврале АК находилось в положительной фазе. Более того, в начале третьей декады февраля был зафиксирован рекордное положительное значение индекса АК. 6.1 (см. рис.3.7). Что касается отрицательной фазы АК в конце декабря, то этот факт говорит о том, что в этот период именно холодный воздух Арктики простирается далеко на юг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение приведем основные выводы по выпускной квалификационной работе.

1. В верхней стратосфере на уровне 10 гПа наблюдалась самая длительная по времени перестройка циркуляции с осенней на зимнюю, которая завершилась к конце к конце февраля. Околополярный циклонический вихрь оставался очень глубоким на протяжении всей зимы. Значение геопотенциала в его центра оставалось ниже климатической нормы в декабре в среднем на 56 дам, в январе на 100 дам, а в феврале на 160 – 210 дам.
2. На уровне 500 гПа в канадском секторе Арктики завышение геопотенциала составляло 11 дам. В октябре данная тенденция продолжалась. Околополярный циклон был разделен два центра. Один центр циклона располагался в канадском секторе Арктики, в связанной с ним ложбине аномалии геопотенциала достигали 9 дам. Второй центр циклона находился на северной оконечности архипелага Новая Земля, а связанная с ним тропосферная ложбина постоянно занимала Британские острова, а также Скандинавию и север ЕТР.
3. В ноябре в осредненном за месяц поле геопотенциала самые большие отклонения циркуляции от нормы отмечались в Атлантико-европейском секторе. Интенсивный и весьма мощный блокирующий антициклон сформировался и господствовал над ЕТР, начиная середине ноября до конца месяца.
4. Положение планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) в зимние месяцы практически полностью соответствовало ее климатическому положению, но в ней отмечались большие градиенты. В феврале месяце такое обострение достигла максимума. Над Европой и ЕТР ПВФЗ была в феврале смещена на юг по сравнению с климатической нормой в среднем на 3-4 градуса.
5. Из анализа приземных ноябрьских карт можно констатировать, что блокирующий антициклон сформировался 15 ноября и устойчиво держался на своем месте до конца ноября. В третьей декаде ноября он был наиболее интенсивен. В центре этого барического образования давление 20-21 ноября превышало 1050 гПа. Если проанализировать временной ход индекса САК за ноябрь месяц, то со второй половины ноября он перешел из положительной фазы в отрицательную. В это время наблюдалось существенное нарушение западно-восточного переноса из-за блокинга.

6. АК в течение всего ноября находилось в отрицательной фазе. Это можно объяснить тем, что при отрицательной фазе АК вихрь вокруг Арктики ослабевает, что позволяет холодному воздуху не только в центральные, но и в южные районы Европы. Постоянные северные адвекции в тыловой части ложбин стали причиной холодной погоды в Западной Европе и над ЕТР
7. В январе главной особенностью поля приземного давления стал аномально глубокий исландский минимум. В среднем за январь давление в центре этого ЦДА было ниже нормы на 14 гПа. Аномалии в районе Исландии достигали -20 гПа. Январь на всей территории Европы был очень тёплым. Под влиянием постоянных мощных южных адвекций наибольшие аномалии температуры сформировались в Скандинавии и в Восточной Европе. В Тверской и Вологодской областях, к примеру, их средние месячные значения превысили +10ºС.
8. В феврале 2020 года отмечался феноменально глубокий Исландский минимум. Продолжалась мощная адвекция тепла на всю тнрриторию Европы и ЕТР. Глубокая область низкого давления имела два центра. Давление в них в среднем за месяц оказалось на 20 гПа ниже нормы в районе Исландии и на 24 гПа ниже нормы на севере Скандинавии. Февраль стал самым теплым в метеорологической летописи России. Побит рекорд двадцатипятилетней давности.
9. Атлантические циклоны стали причиной почти постоянной штормовой погоды на севере Европы. Сильный ветер с осадками отмечался и в странах Центральной Европы. В целом за месяц на Британских островах, на юге и северо-востоке Скандинавии, на севере и в центре Европы, в Прибалтике количество осадков в несколько раз превысило норму.
10. Разрушительный циклон «Дэннис» образовался 15 февраля в результате слияния двух глубоких вихрей южнее Исландии. Давление в центре возникшего огромного циклона резко понизилось (по разным расчётам) до 920-923 гПа, что сопоставимо с глубиной мощных тропических ураганов. Понижение давления в центре вихря за сутки 14-15 февраля составило 50 гПа, т.е. его развитие было взрывным.
11. Циклон «Дэннис» повлиял и на погоду на ЕТР. В Санкт-Петербурге был побит рекорд максимальной температуры за 17 февраля. По сведениям Северо-западного УГМС в 11 часов в северной столице столбики термометров дотянулись до отметки +7,4°, предыдущий максимум этого дня +5,2° отмечался в 1925 году.

12. В Ленинградской области, в том числе и в Санкт-Петербурге наблюдался дождь, ветер 17-22 м/с, в прибрежных районах Санкт-Петербурга, на Ладожском озере и на востоке Финского залива порывы достигали 28 м/с. При таком порывистом ветре в некоторых прибрежных районах Финского залива высота волн может достигнуть 3,5 метров.
13. Индексы САК достигали своих максимальных значений и в декабре(1,7) и в январе (1,6) и в феврале (1,6). Эти данные хорошо согласуются с выводами второй главы – обострение ПВФЗ, очень глубокие циклоны и экстремально высокие зимние значения температуры воздуха.
14. Экстремальный циклон «Дэнис», который явно имел взрывной характер возникновения и развития, тоже приходился на положительную фазу САК.
15. В начале декабря, в январе и, особенно, в феврале АК находилось в положительной фазе. Более того, в начале третьей декады февраля был зафиксирован рекордное положительное значение индекса АК = 6.1. Отрицательная фаза АК в конце декабря свидетельствует о том, что в этот период именно холодный воздух Арктики простирается далеко на юг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата земли. Л. : Гидрометеоиздат, 1991 , 294 с.
2. Погосян Х.П. Общая циркуляция атмосферы. Л.:Гидрометеоиздат, 1959.- 259 с.
3. Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. Элементы общей циркуляции и распределение влагозапаса атмосферы земли. М.:2008 .- 19 с.
4. Монин А. С. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. - 247 с
5. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат .-1970.-260 с.
6. Модели общей циркуляции атмосферы. Под. Ред. Ю.Чанга. Л.: Гидрометеиздат 1981.-350 с.
7. Кароль И.Л. Введение в динамику климата. Л., Гидрометеоиздат,1988.- 215 с
8. К. Моханакумар. Взаимодействие стратосферы и тропосферы. М.: Физматлит, 2011.-452 с.
9. Зверев А.С. Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1968.-778 с.
10. Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Учебное пособие. - СПб, изд. РГГМУ, 2006. - 84 с.
11. Должанский Ф.В. Основы геофизической гидродинамики/Под общ. ред. Е.Б. Гледзера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 264 с.
12. Швед Г.М. Введение в динамику и энергетику атмосферы. Учебное пособие. СПб.:Изд-во С.-Петерб.ун-та, 2020. -396с.
13. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология . Изд-во Московского ун-та, Наука 2006 , -584 с.
14. Гирс А.А. Основы долгосрочных прогнозов погоды. Гидрометиздат, Ленинград, 1960г. – 378с.
15. Барашкова Н.К., Кужевская И.В., Поляков Д.В. Классификация форм атмосферной циркуляции. Учебное пособие. – Томск, изд. НИТГУ, 2015г. – 124 с.

16. Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеоиздат. 1978. - 343 с.
17. Climate Prediction Center. NAO. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/ Дата обращения: 15.05.2019г.
18. Архив данных Гидрометцентра России о циркуляции атмосферы Северного полушария у земли и на высотах https://meteoinfo.ru/?option=com_content&view=article&id=15457
19. Архив карт сайта https://www.wetterzentrale.de/de/default.php
20. Гейчете И., Погорельцев А.И., Угрюмов А.И. Влияние арктического колебания на температурный режим восточной части Балтийского региона. Солнечно-земная физика. 2016.Т.2, №1, с. 64- 70
21. Нестеров Е.С. Экстремальные циклоны в атлантико-европейском регионе. М.: Гидрометцентр России, 2018.-1-4 с.
22. Полонский А.Б., Кибальчич И.А. Межгодовая изменчивость циркуляции атмосферы и аномалии температуры Восточной Европы в зимний период. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2014.№6 .- с. 100-107

ПРИЛОЖЕНИЕ

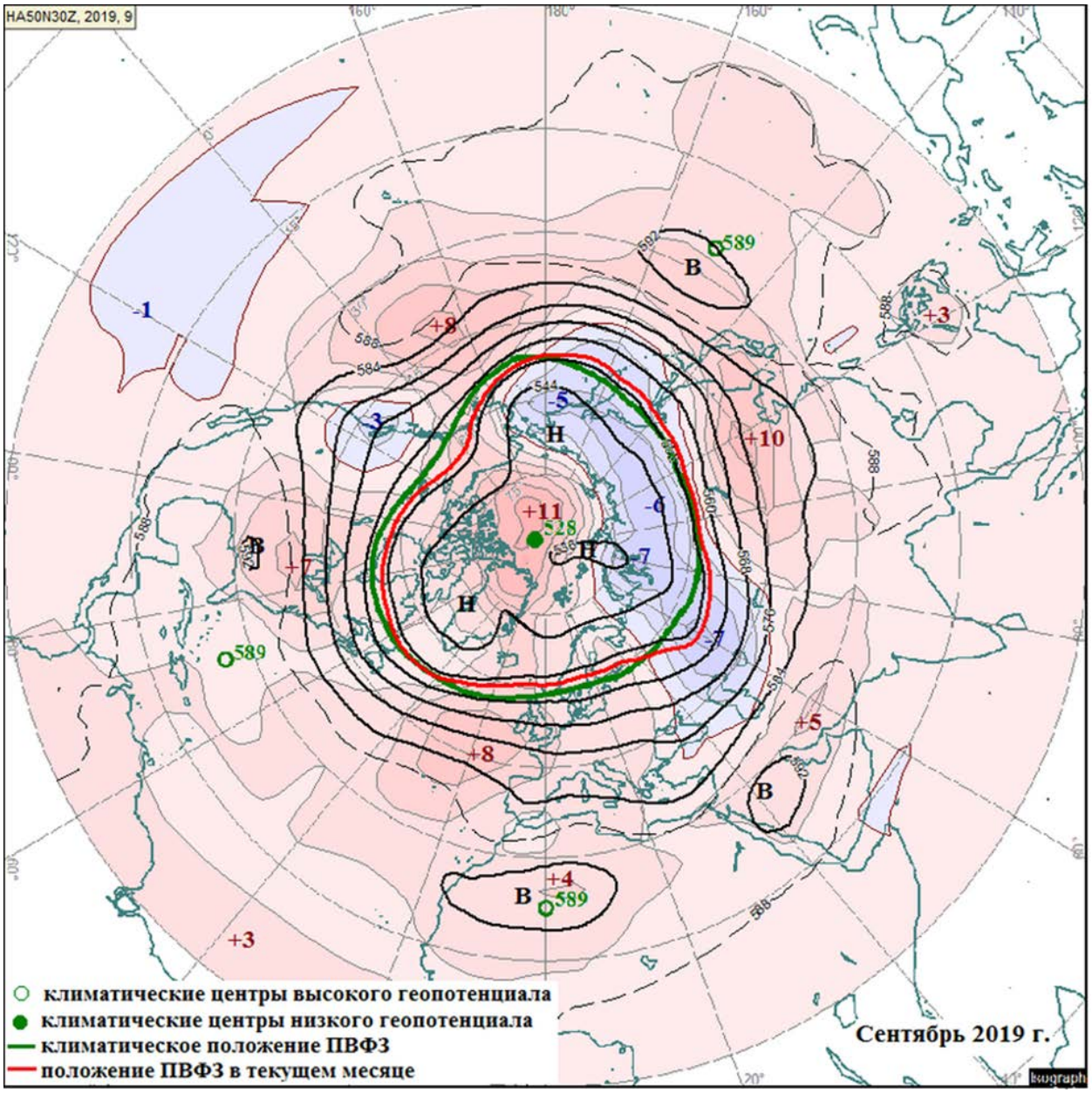

Рис.1.1. Карта геопотенциала и аномалий геопотенциала АТ-500 (дам). Сентябрь 2019г.

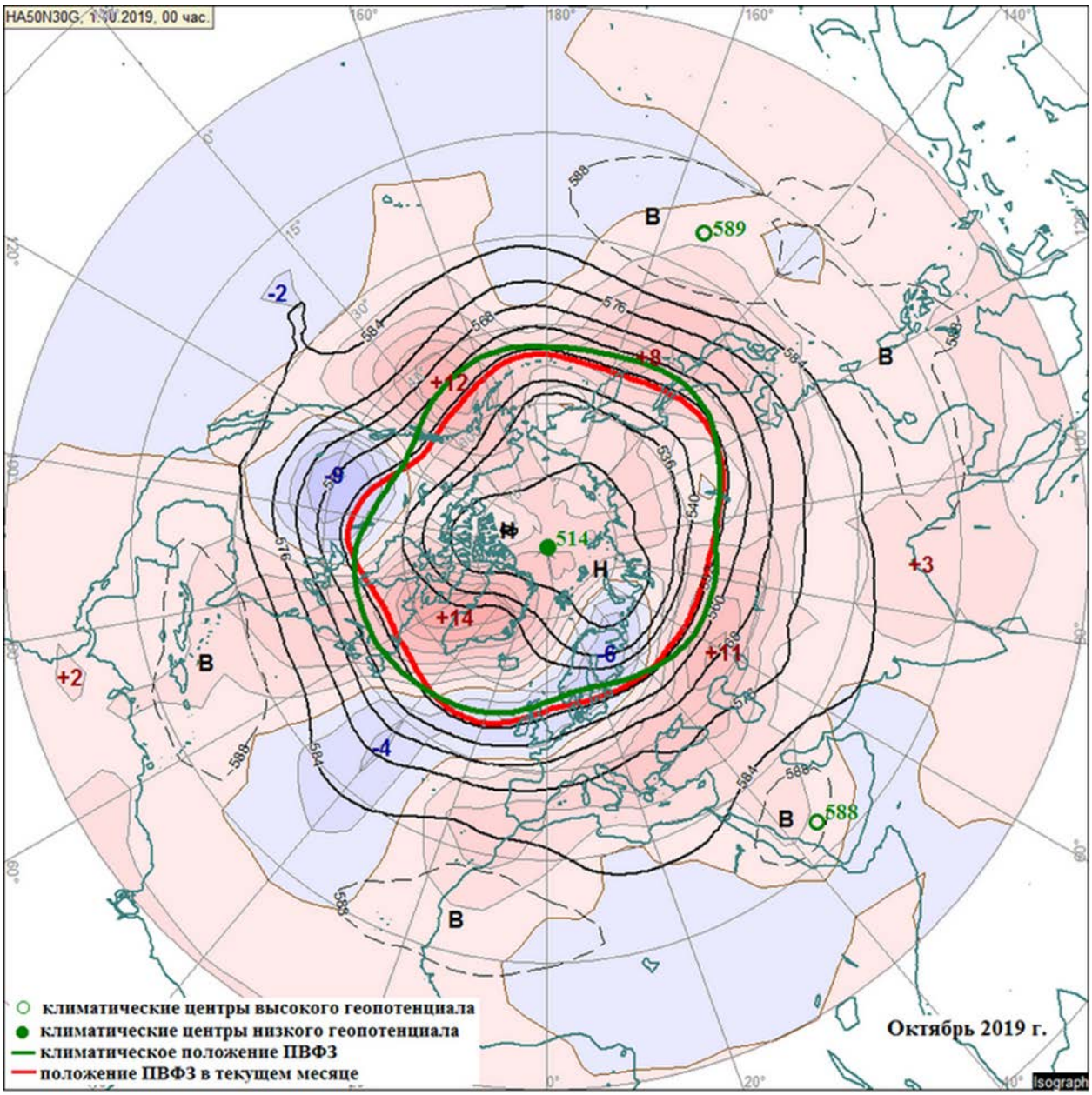

Рис.1.2. Карта геопотенциала и аномалий геопотенциала АТ-500 (дам).
Октябрь 2019г.

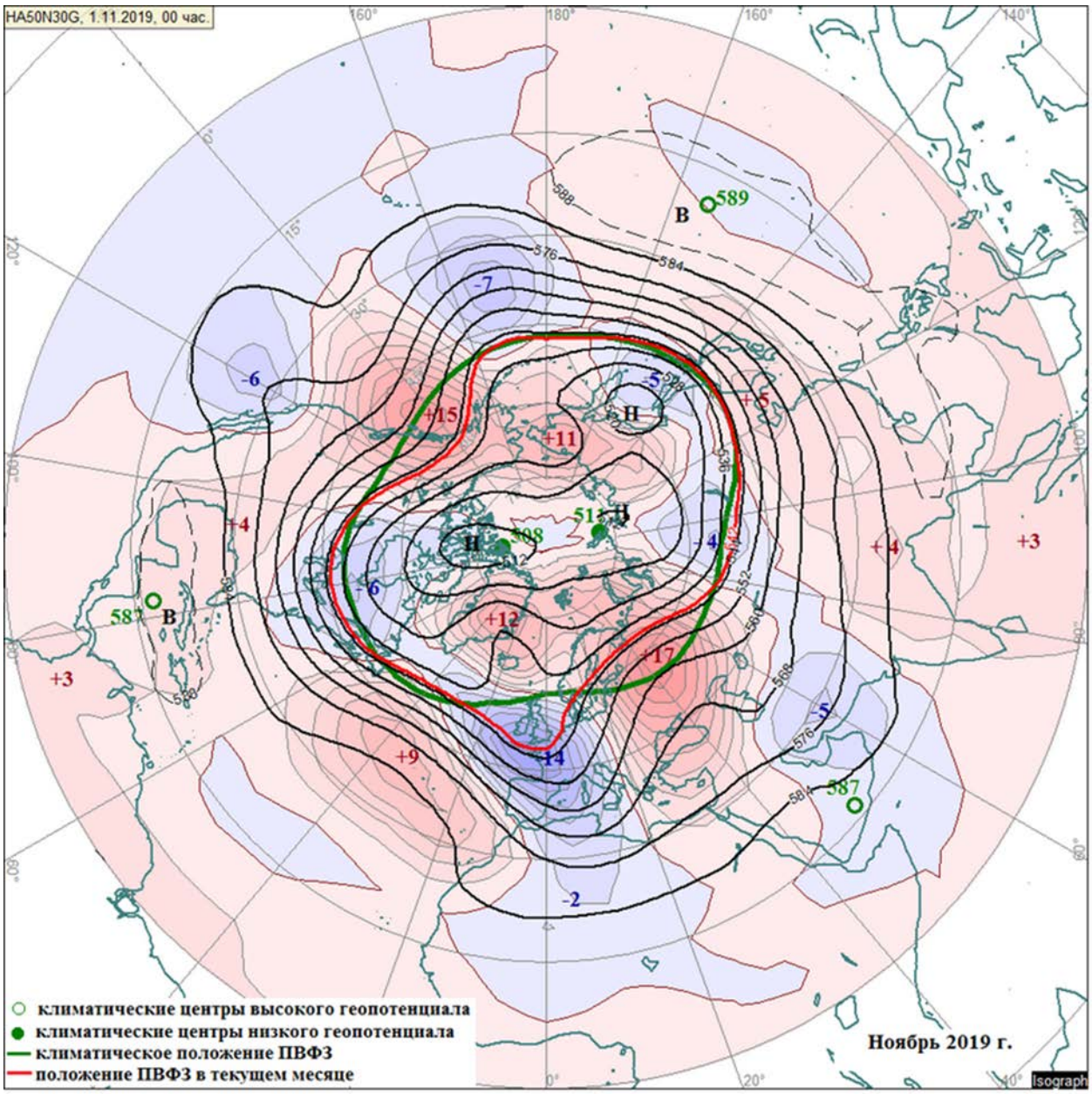

Рис.1.3. Карта геопотенциала и аномалий геопотенциала АТ-500 (дам). Ноябрь 2019г.

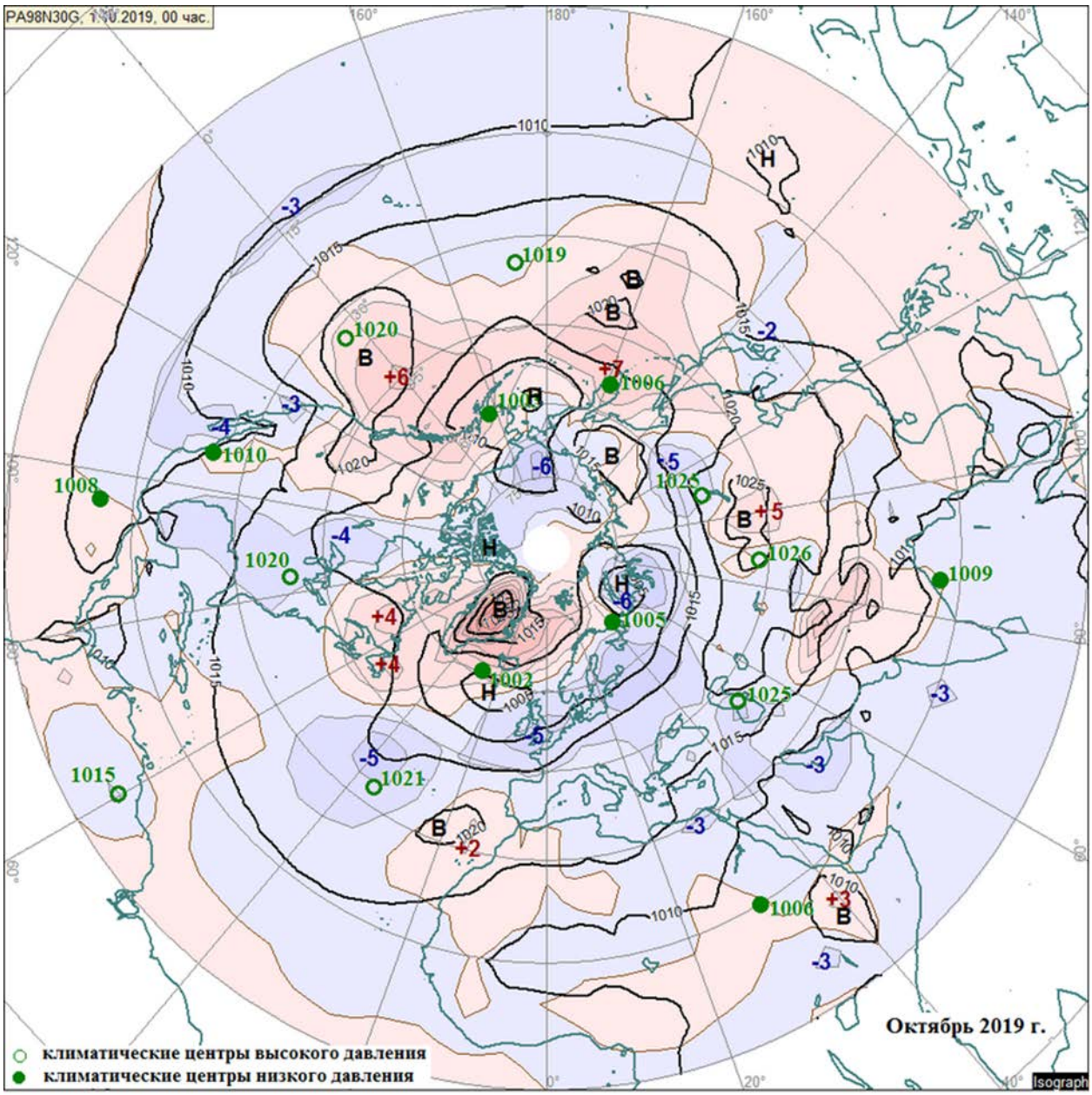

Рис. 1 .4. Карта давления и аномалий давления на уровне моря (гПа). Сентябрь 2019 г.

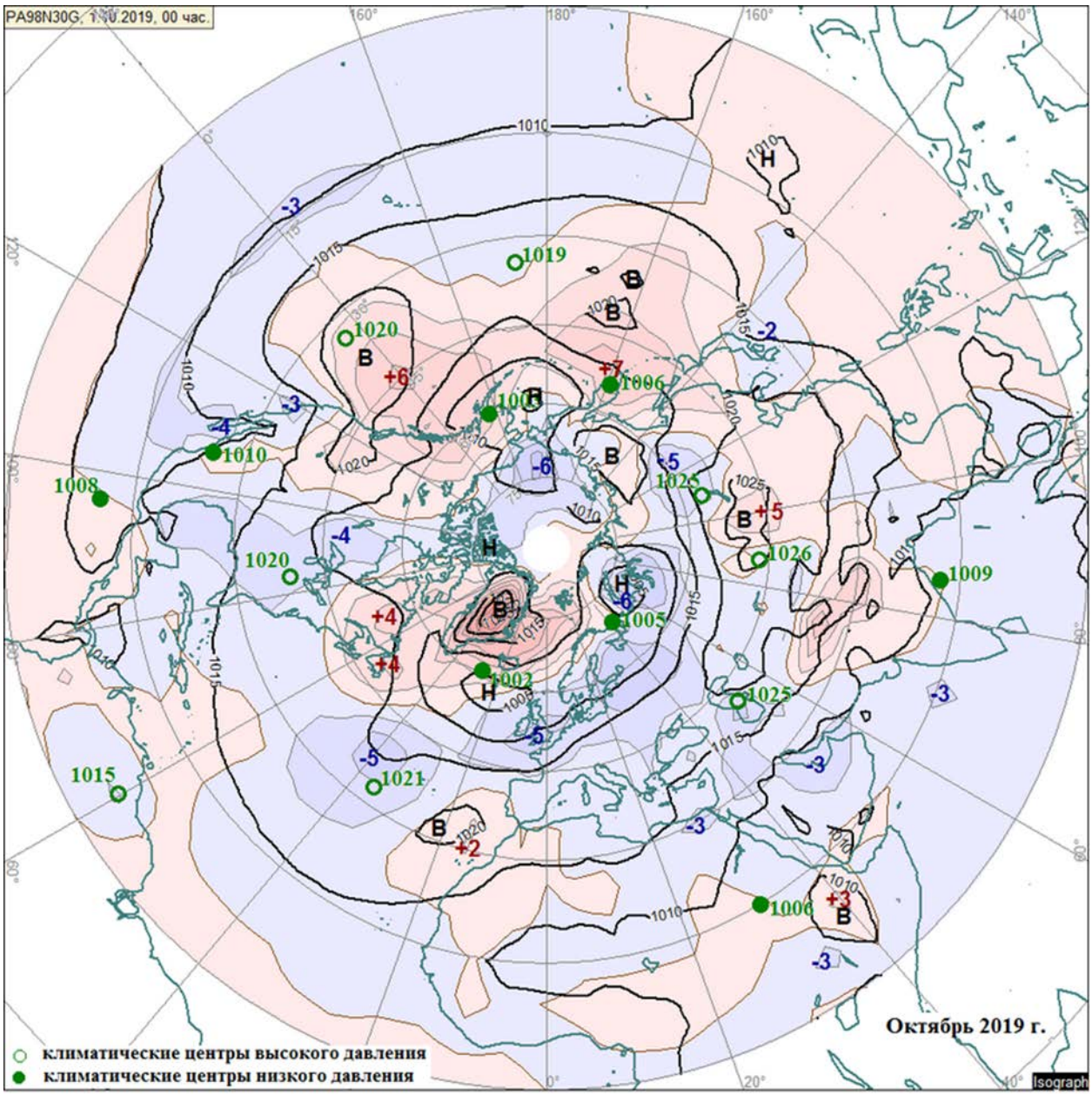

Рис. 1.5. Карта давления и аномалий давления на уровне моря (гПа).
Октябрь 2019 г.

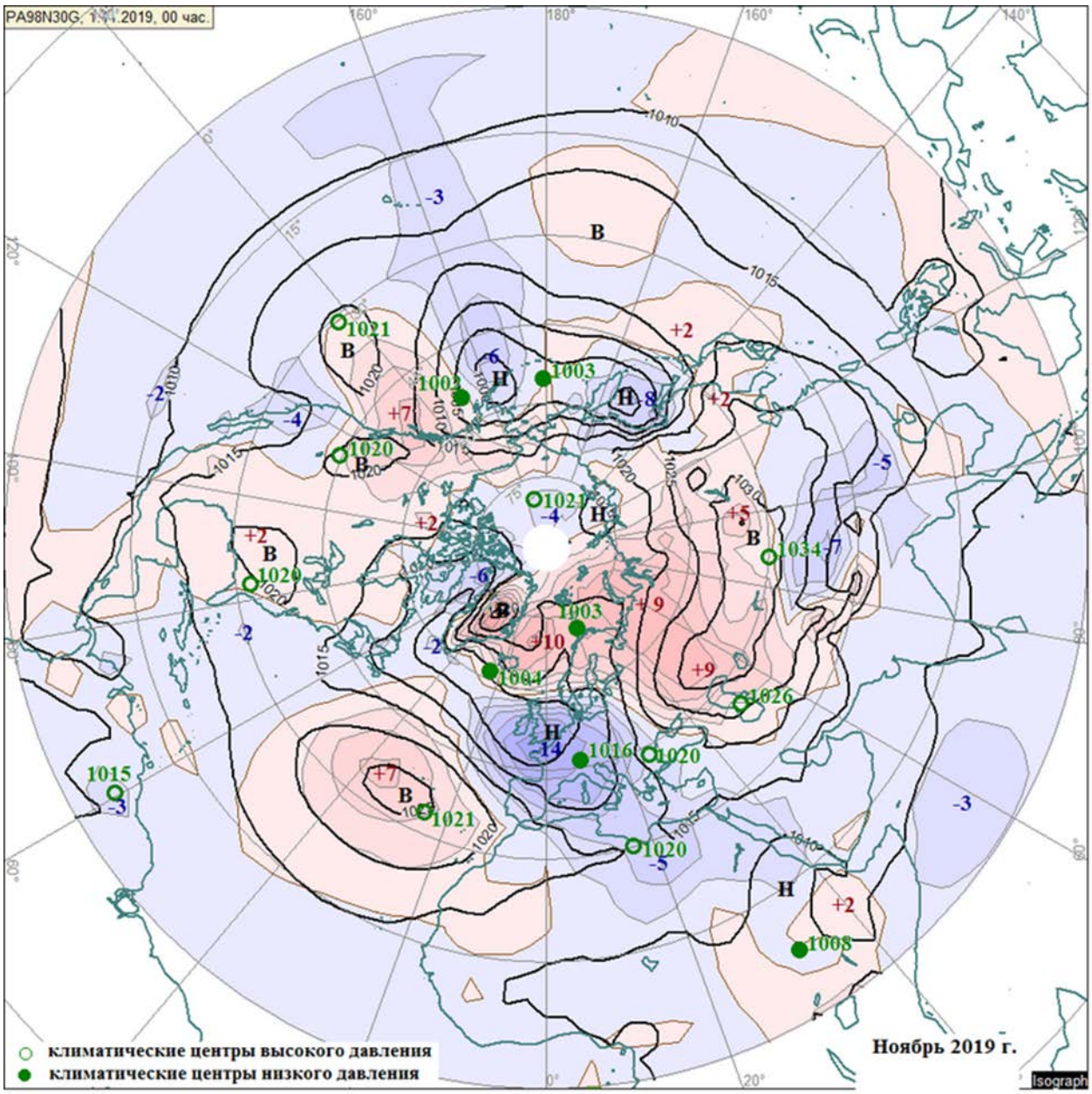

Рис. 1.6. Карта давления и аномалий давления на уровне моря (гПа). Ноябрь 2019 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

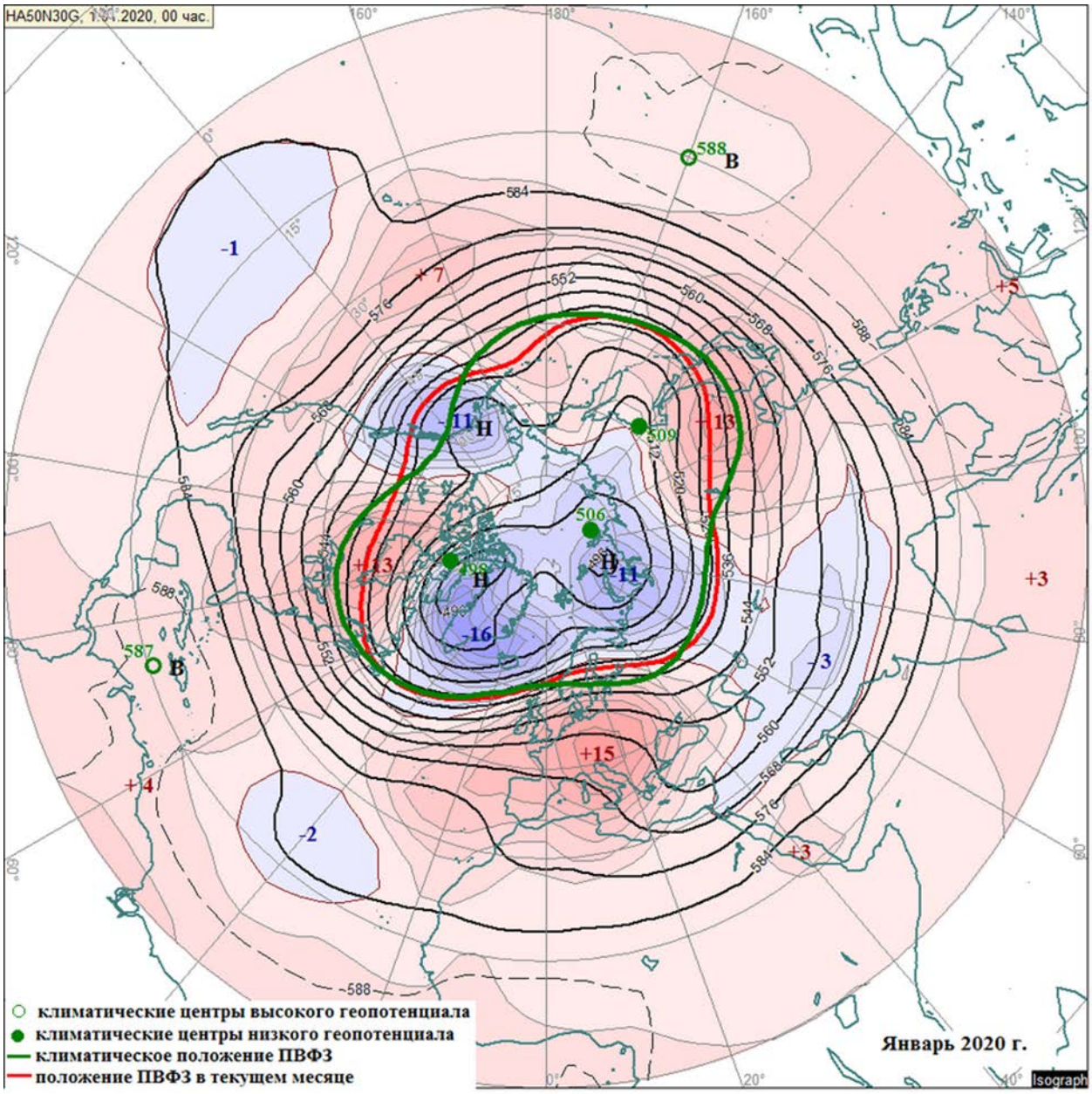

Рис. 1. Карты геопотенциала поверхности 500 гПа и аномалий геопотенциала. Декабрь 2019.

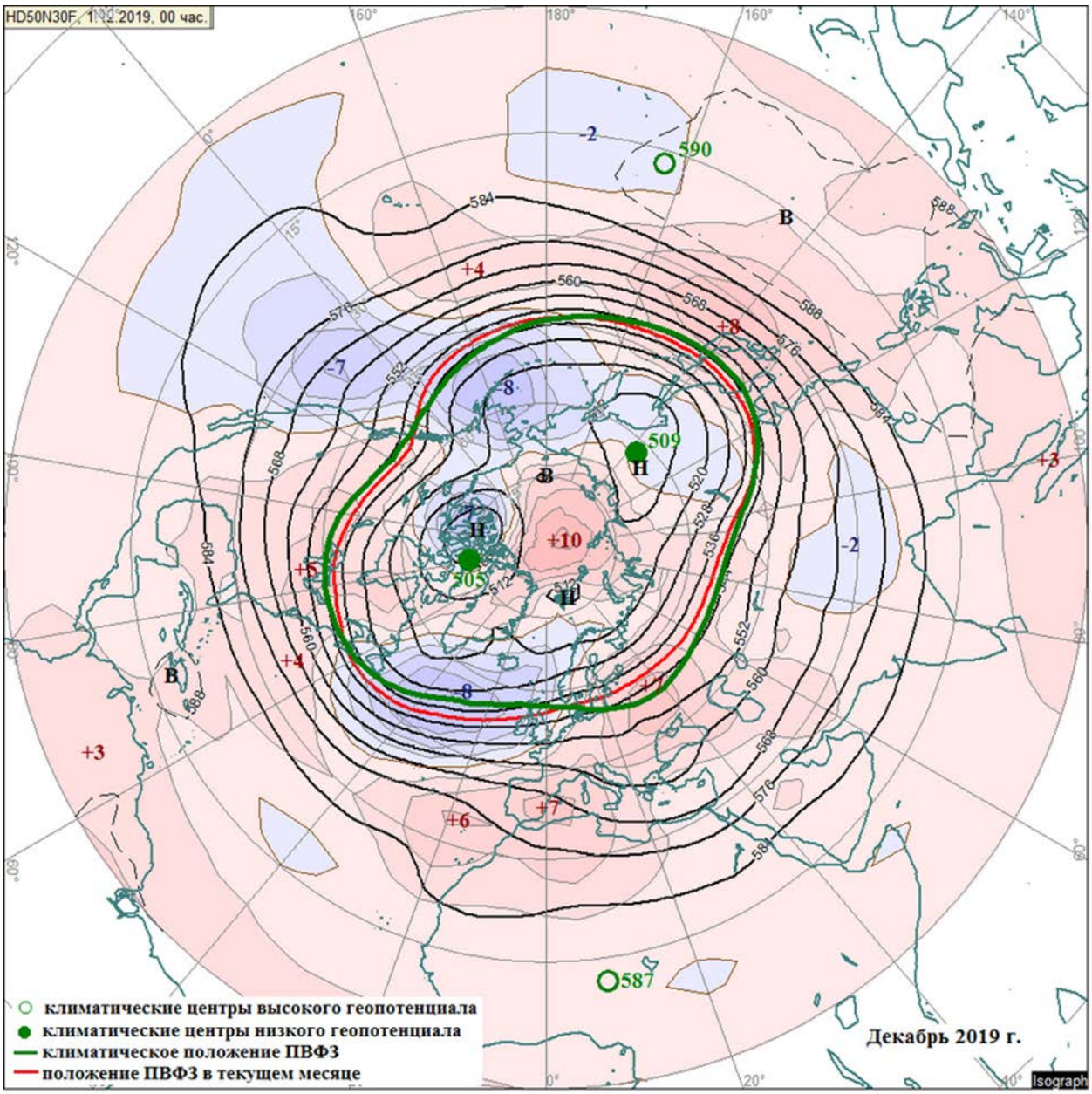

Рис. 2. Карты геопотенциала поверхности 500 гПа и аномалий геопотенциала. Январь 2020.

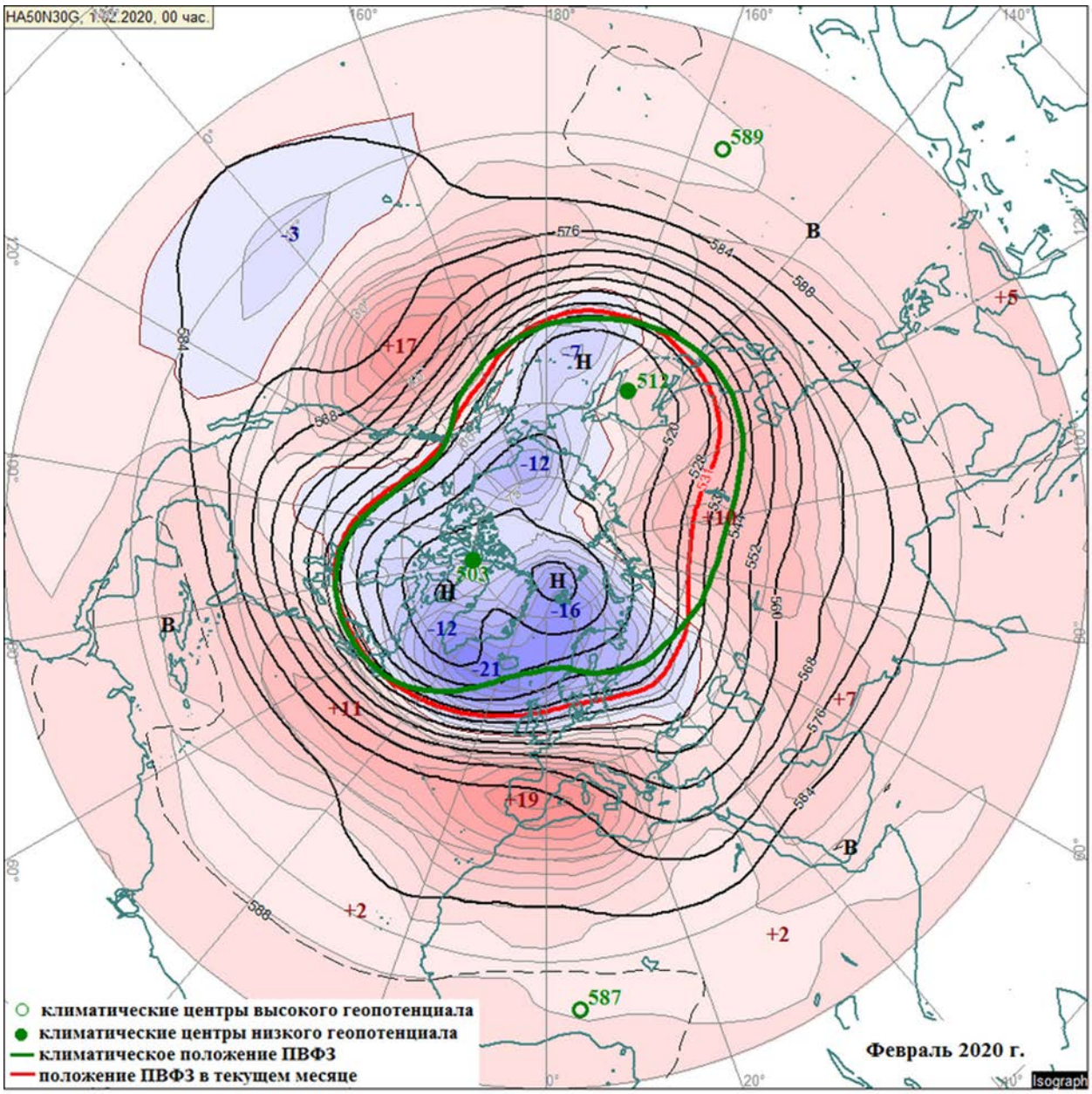

Рис. 3. Карты геопотенциала поверхности 500 гПа и аномалий геопотенциала. Февраль 2020.

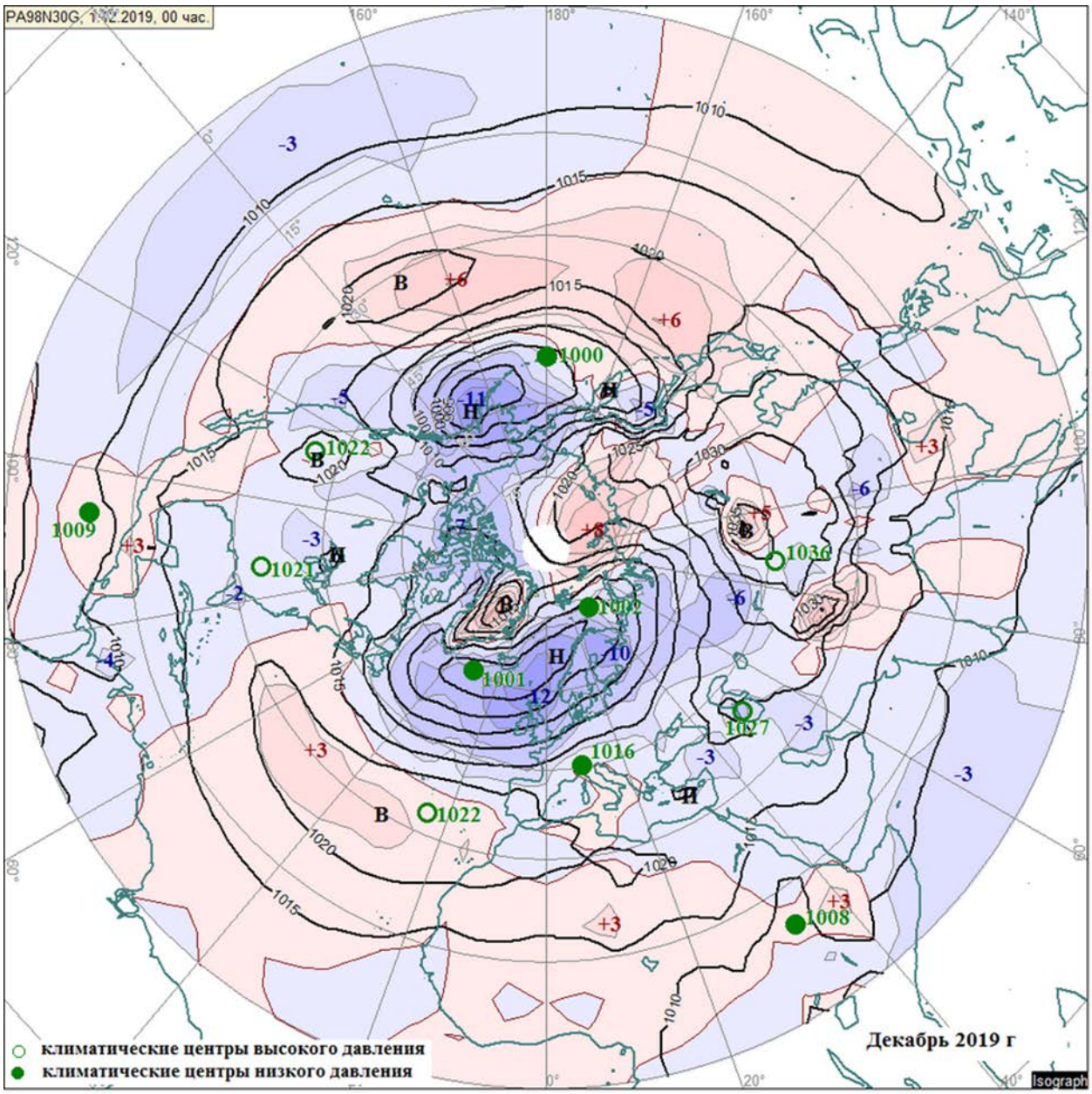

Рис. 4. Карта давления и аномалий давления на уровне моря (гПа). Декабрь 2019 г.

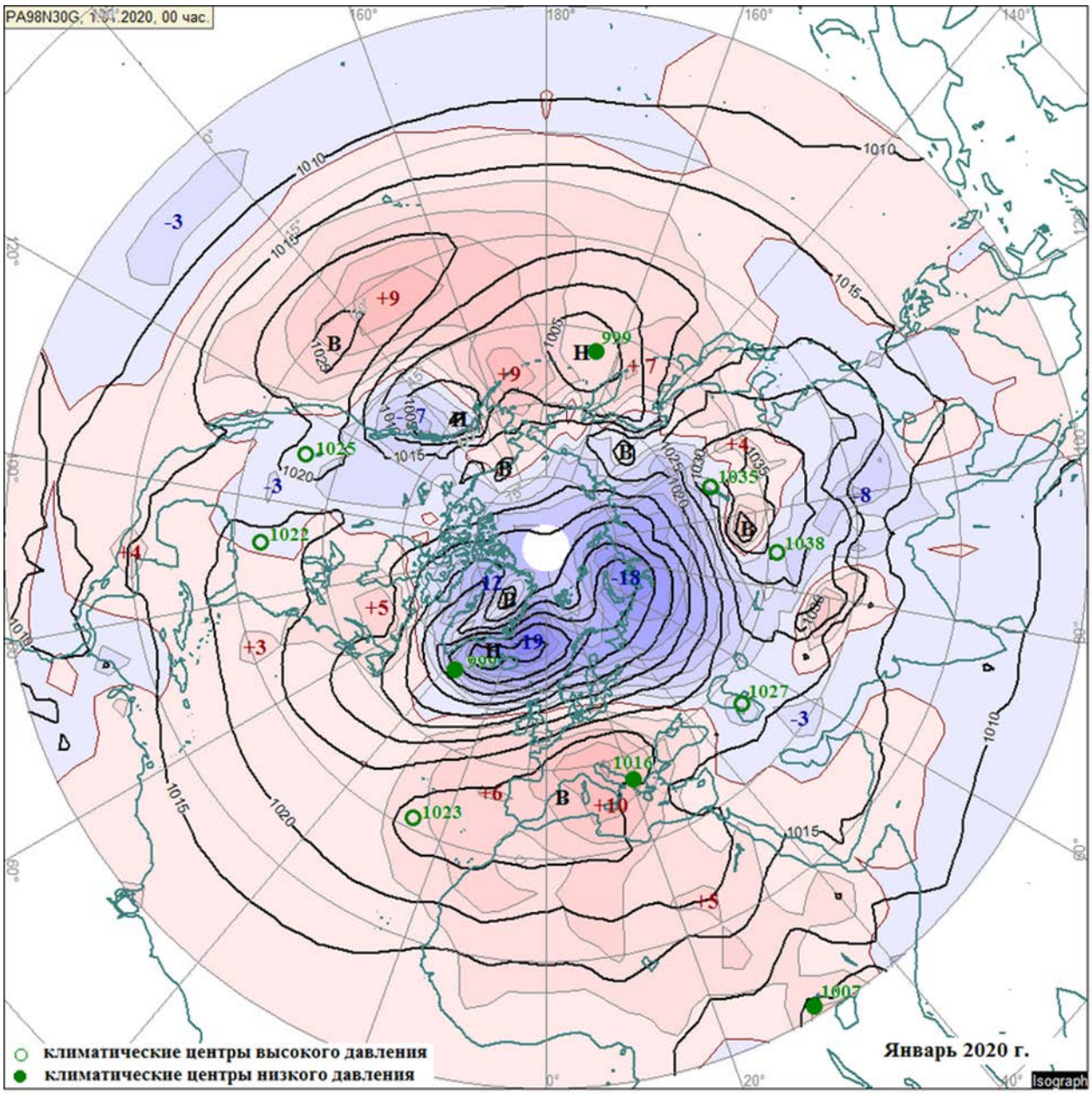

Рис. 5. Карта давления и аномалий давления на уровне моря (гПа). Январь 2020 г.

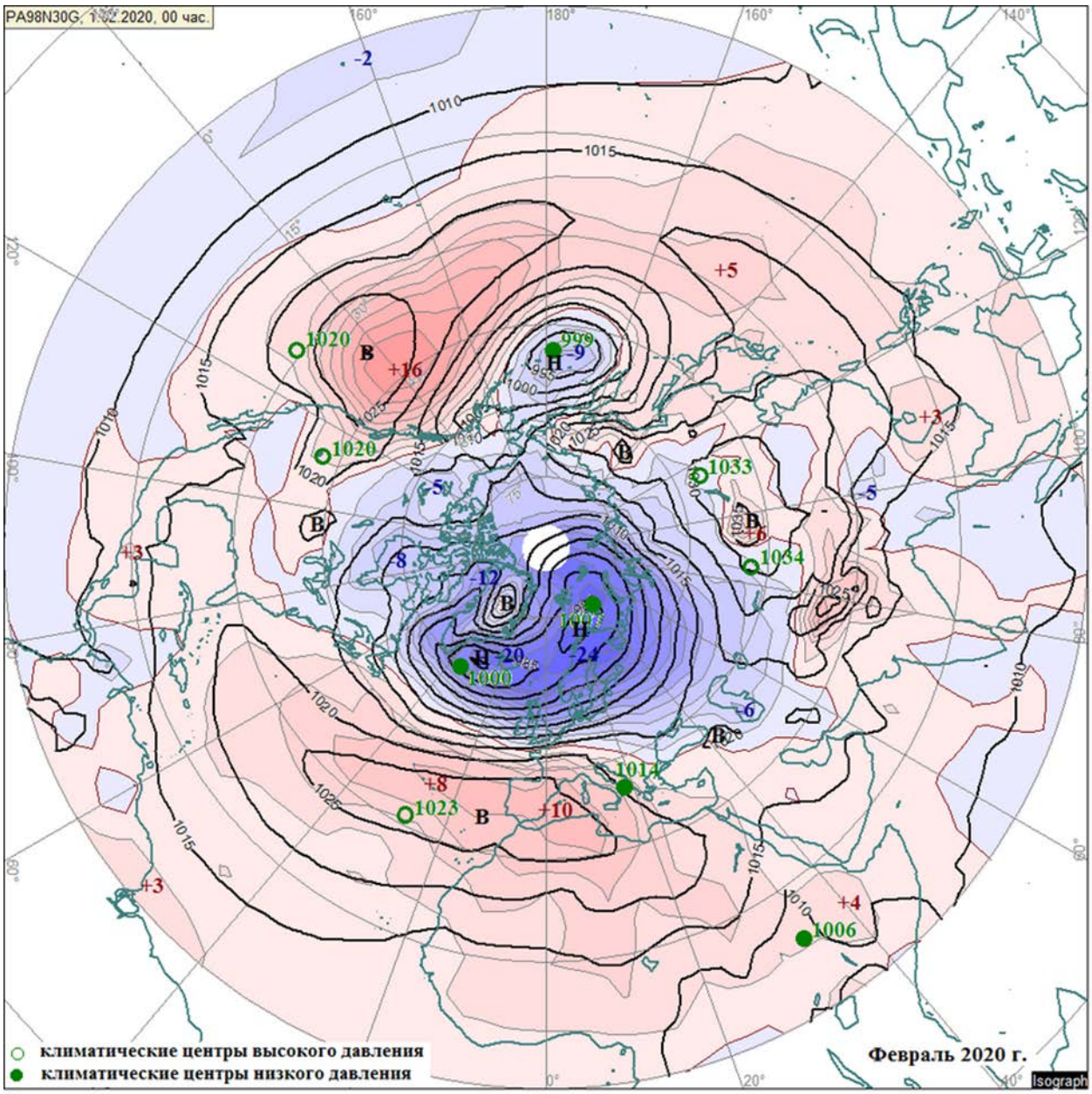

Рис. 6. Карта давления и аномалий давления на уровне моря (гПа). Февраль 2020 г.