



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: «Многолетняя динамика Азорского антициклона»

Исполнитель Петрашкан Эльмира Ринатовна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук

Лаврова Ирина Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна  
(фамилия, имя, отчество)

« 9 » июня 2024 г.

Санкт-Петербург  
2024

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                             | 3  |
| ГЛАВА 1 АЗОРСКИЙ АНТИЦИКЛОН КАК ЦЕНТР СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ .....                                | 5  |
| 1.1 Понятие Азорского антициклона как центра действия атмосферы ....                                       | 5  |
| 1.2 Расположение и интенсивность Азорского антициклона .....                                               | 5  |
| 1.3 Физика ослабления Азорского антициклона .....                                                          | 7  |
| 1.4 Методы расчёта индекса Северо-Атлантического колебания.....                                            | 9  |
| ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ АЗОРСКОГО АНТИЦИКЛОНА .....                                                       | 12 |
| 2.1 Исследование среднегодового распределения характеристик Азорского антициклона .....                    | 12 |
| 2.2 Многолетняя динамика характеристик Азорского антициклона .....                                         | 15 |
| 2.3 Анализ влияния характеристик Азорского антициклона на температуру воздуха над территорией Европы ..... | 28 |
| 2.4 Анализ влияния расположения и интенсивности гребня Азорского антициклона на температуру воздуха.....   | 40 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                                            | 44 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....                                                                      | 47 |

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение климата Земли, его изменения и причины этих изменений – одна из самых актуальных и основных задач в современной науке о Земле, особенно наук об атмосфере. Меняются ли сезонные и межгодовые колебания параметров атмосферы в течение времени и что оказывает на это влияние? Одно из главных направлений в изучении данной отрасли для ответа на этот вопрос – исследование деятельности центров действия атмосферы, в том числе Северо-Атлантического колебания, иными словами, крупномасштабной системы циркуляции, которое представляет собой распределение воздушных масс между двумя центрами: Исландской депрессией и Азорским максимумом. В данной работе рассматривается многолетняя динамика Азорского максимума, а также его влияние на такой важный параметр атмосферы как температура воздуха. Ранее подобные исследования уже проводились другими авторами, однако в данной работе проанализирована динамика за последние года: с 1940 по 2023 гг.

Одно из последних исследований представлено в работе Н.П. Смирнова, В.Н. Воробьёва и С.Ю. Качанова «Северо-Атлантическое колебание и климат», где ряд данных имел временной интервал с 1873 по 1995 года. Авторы рассматривали динамику и Исландского минимума, и Азорского максимума с помощью индекса САК и их влияние на параметры метеорологии и океанологии: температуры воздуха и воды, осадки и речной сток, ледовитость, а также связь Северо-Атлантическими колебаниями с другими центрами атмосферы. Анализ показал, что Северо-Атлантическое колебание действительно определяется интенсивностью его главных составляющих, Азорского антициклона и Исландского циклона, и расположением их центров.

Актуальностью анализа многолетней динамики атмосферы является предположение, что причиной аномалий температур является деятельность Азорский антициклон: его интенсивность или расположение. Принято

считать, что он оказывает влияние на климат Северной Африки и Южной Европы (Испания, Португалия), вызывая засушливое лето в этих районах. В отдельные годы он вызывает жару и засуху также и на юге Англии, во Франции, Северной Германии, восточных районах США и даже в Средней полосе России.

Предполагается, что в настоящее время на аномалии температуры воздуха Западной и Южной частью Европы, влияет интенсивность Азорского антициклона и расположение его центра и гребня.

Целью работы является исследование многолетнюю изменчивость Азорского антициклона за период с 1940 по 2023 гг.

Следовательно, сформулированы следующие задачи:

- Сформировать массив данных по давлению на уровне моря в северной части Атлантического океана.
- Рассмотреть годовой ход характеристик Азорского антициклона;
- Проанализировать изменчивость характеристик Азорского антициклона по годам;

# ГЛАВА 1 АЗОРСКИЙ АНТИЦИКЛОН КАК ЦЕНТР СЕВЕРО-АТЛАНТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ

## 1.1 Понятие Азорского антициклона как центра действия атмосферы

Известно, что в Северном полушарии действуют Исландская и Алеутская депрессии и Азорский, Гонолульский (Северо-Тихоокеанский), Сибирский и Канадский антициклоны. Принято разделять мировое колебание на следующие виды: Южное, Северо-Тихоокеанское и Северо-Атлантическое. Северо-Атлантическое колебание представляет собой циклическое чередование усиления и ослабления воздушных переносов в системе Азорского антициклона и Исландской депрессии [8], названными благодаря своему расположению их центров: юго-западнее острова Исландия и в районе Азорских островов соответственно. Причиной возникновения Северо-Атлантического колебания является взаимодействие океана и атмосферы, когда повышение температуры поверхности океана в тропической зоне приводит к усилению Азорского антициклона и углублению Исландской депрессии.

Североатлантический антициклон, в США его называют Бермудским антициклоном, или как он уже был упомянут в работе под более известным названием - Азорский максимум – это область высокого атмосферного давления, появляющаяся вблизи Азорских островов Атлантического океана. Причина этому является прохождение холодного Канарского течения.

## 1.2 Расположение и интенсивность Азорского антициклона

Изучить расположение Азорского антициклона можно на изображении общего положения центров действия атмосферы (рисунок 1).



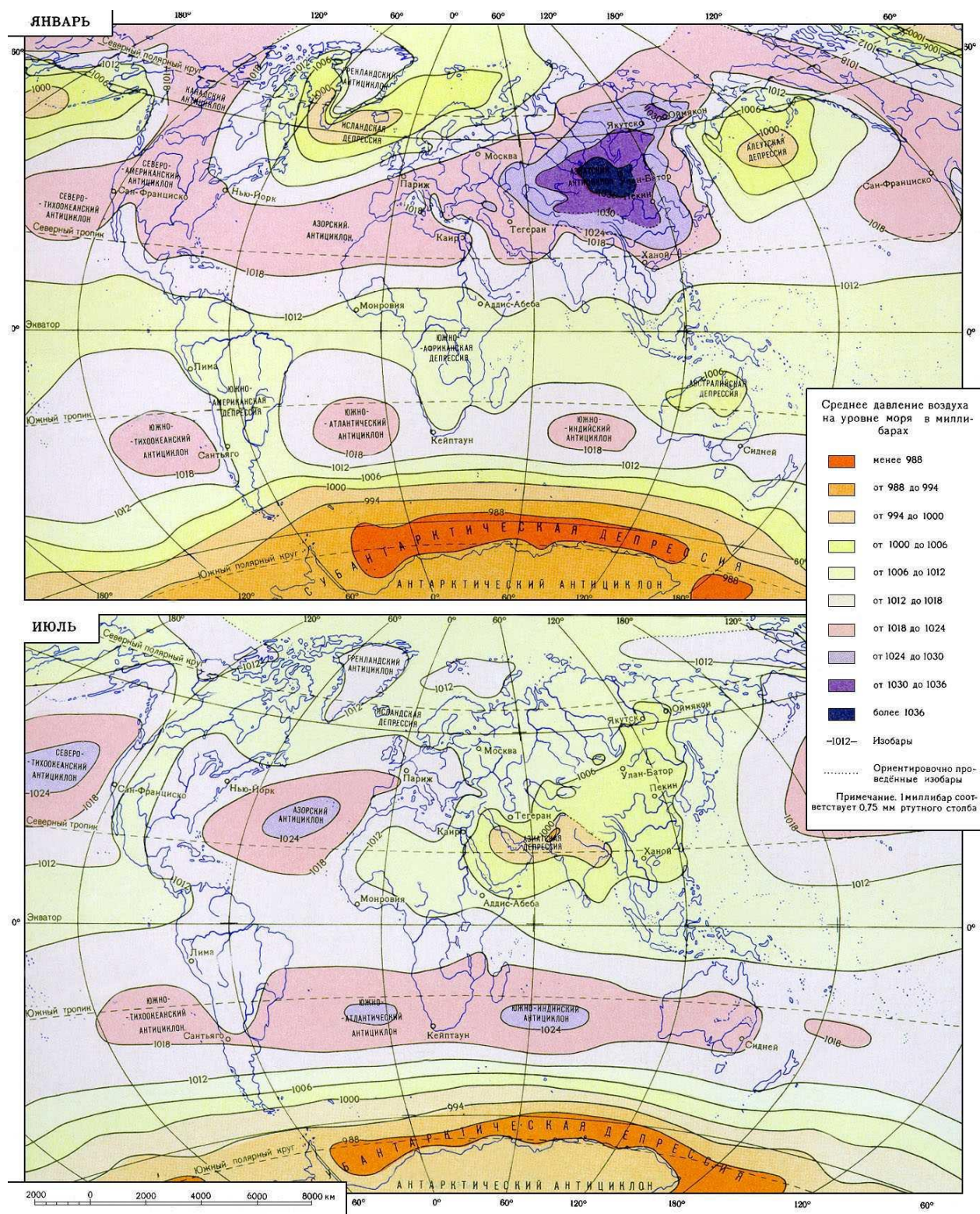


Рисунок 1 - Расположение центров действия атмосферы в январе и в июле

На климатических картах нередко отмечают также Гренландский антициклон вблизи Исландской депрессии. В январе Исландская депрессия, более углублённая со значениями около 994 гПа и имеет замкнутые изобары, центр находится вблизи о. Исландия и о. Гренландия, когда у Азорского

антициклона не наблюдается чётко выраженного центра и значения от 1018 до 1024 гПа. Однако летом наблюдается обратная ситуация: центр Азорского антициклона чётко выражен замкнутыми изобарами и имеет значения от 1024 до 1030 гПа, гребень находится над Южной и Западной Европой, когда Исландская депрессия ослабевает. Гребень Азорского максимума находится над Западной и Южной Европой, в других источниках отмечается, что он распространяется над территорией Средиземного моря, а зимой гребень вытягивается на восток, в более южном положении в отличие от летнего периода. Таким образом Азорский антициклон оказывает влияние на зональную циркуляцию, другими словами – западный перенос, в субтропическом и умеренном климатических поясах, а также на деятельность пассатов в тропическом поясе и меридиональных воздушных потоков. В зимнее время этому способствует циклоническая деятельность, развивающаяся в умеренных и субтропических широтах. В переходные сезоны, по данным Э. А. Исаева [6], характерно усиление меридионального обмена воздушных масс, что является результатом накопления холодного воздуха в Арктике, образующего над северными морями область высокого давления, и прорыва его в направлении с Гренландии на Азорские острова.

### 1.3 Физика ослабления Азорского антициклона

Ослабление Азорского антициклона зимой связано со взаимодействием с деятельностью циклонов, так как в зимний период развитие серий циклонов в Атлантике - характеризуется тем, что циклоны немного опускаются в более южные широты, это в свою очередь связано со смещением внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) – для более наглядного представления сезонное расположение ВЗК показано на рисунке 2. [14]



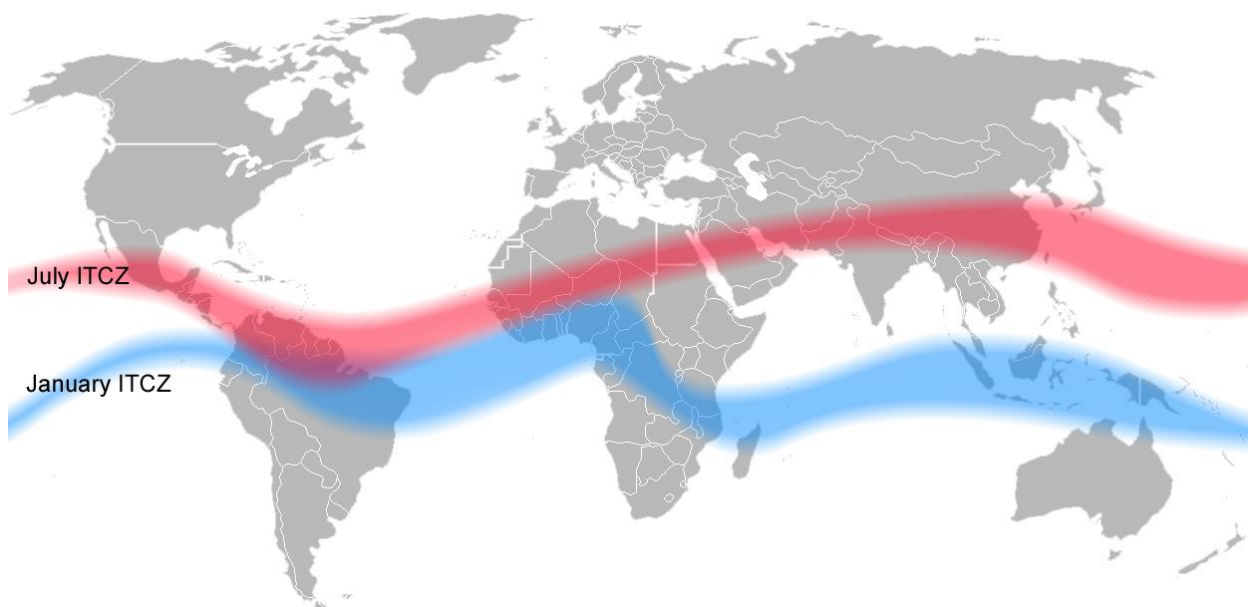


Рисунок 2 - Расположение внутритропической зоной конвергенции в июле и в январе

Механизм данного взаимодействия приводит к смещению Азорского максимума южнее, следовательно, к уменьшению его интенсивности. В результате воздух проникает в воздушные потоки и приводит к незначительному падению температуры пассатных ветров. Однако уменьшение температуры исчезает из-за влияния достаточно тёплой поверхностью океана на воздушную массу. Так довольно подвижный антициклон, который завершает серию действующих циклонов, проникает в субтропики и направляется далее к экватору, а попадая на место Азорского антициклона, становится стационарным, на его периферии возникают новые циклоны, далее процесс повторяется. Так Азорский антициклон «перерождается», другими словами, обновляется, за счёт вхождения других м из более северных широт. Хотя нередко данный механизм взаимодействия Азорского максимума и минимумов умеренных широт приводит к тому, что циклоны разрушают его и проникают в тропическую часть океана. Поэтому часто зимой не только центр Азорского антициклона может быть слабо выражен, но и вовсе может не наблюдаться.



М.В. Шамаев в своей работе [4] пришёл к выводу, что разрушение Азорского антициклона наблюдается чаще происходит в переходные сезоны: весной и осенью - и в редких случаях зимой, когда Азорский антициклон неустойчив и сильно ослаблен под влиянием циклонической деятельности, развивающаяся в умеренных и субтропических широтах. Осенью, в переходные сезоны характерно усиление меридионального обмена воздушных масс, что является результатом накопления холодного воздуха в Арктике, образующего над северными морями область высокого давления, и прорыва его в направлении с Гренландии на Азорские острова.

#### 1.4 Методы расчёта индекса Северо-Атлантического колебания

В книге Н.П. Смирнова, В.Н. Воробьёва и С.Ю. Качанова «Северо-Атлантическое колебание и климат» [1] проанализированы данные за 1873-1995 года. В данном исследовании при анализе сезонных изменений отмечается максимумы значений атмосферного давления Азорского антициклона зимой и осенью и минимумы осенью и весной, когда Исландская депрессия имеет максимум зимой и минимум весной. Авторы связывают годовой ход с таким полугодовым характером центров действия атмосферы с радиационным балансом Земли, но многие исследователи расходятся во мнении, метеорологическое или океанологическое происхождение имеет данный фактор: в первом случае результатом является то, что существует полугодовой режим тепла в атмосфере, а во втором случае фактор связан с появлением полугодового солнечным приливом в морях и океанах. Также из исследования взаимосвязи Азорского максимума и Исландской депрессии сделан вывод о том, что данные атмосферные центры Северной Атлантики перемещаются как единая система в северном и южном направлении по сравнению со средними значениями их координат.

Как уже говорилось, Северо-Атлантическое колебание неразрывно связано с западно-восточным переносом, физика их взаимодействия объясняет

большинство процессов, связанных с данной системой. Для изучения нередко используют индекс Северо-Атлантического колебания (САК, в зарубежной литературе NAO). Чаще всего индекс САК представляет собой разность между давлением двух главных центров данного колебания: разность между осреднёнными за три месяца (например, за зимний период от января по февраль) давлениями над Азорскими островами и Акюрейри в Исландии. Варианты представления данного индекса может быть выражен непосредственно в гПа, а может быть выражен в долях дисперсии, если рассматривается как отклонение от среднего. В некоторых источниках для расчёта используется давление не над пунктом Понта-Делгада, находящийся на Азорских островах, а над столицей Португалии Лиссабон, осреднённое за четыре месяца – к ранее перечисленным зимним месяцам относят также март. Четвёртый вариант, самый редко используемый, представляет собой разность давления между Барселоной – столицей Испании – и городом В Норвегии Тронхейм. Самый простой способ – взять разницу между точками с двумя фиксированными координатами. В упомянутой выше книге благодаря расчёту корреляционной матрицы индексов Северо-Атлантическое колебание пришли к выводу, что последний способ наиболее сильно связан с изменением давления. Отмечается также, что в ранние периоды было ослабление Азорского антициклона, однако с 70-х годов наблюдается значительное усиление, из чего был сделан вывод, что в 50-е года изменения в циркуляции над Севером Атлантики превосходит за последние 150 лет. [1].

Для изучения изменений других характеристик, например, координаты центра действия, индексы, выраженные непосредственно в единицах измерения давления, не смогут отразить их перемещение. Для исследования и интенсивности центра действия циркуляции, и их расположения по широте и долготе лучше всего изучить обобщённый индекс САК. Данный индекс хорош также тем, что он представляет собой временные изменения главной компоненты четырёх индексов: четвёртый подразумевает собой не разность

между столицей Испании и городом Норвегии, так как он не подходит для изучения в области метеорологических исследований, а между фиксированными точками в узлах координатной сетки.

## ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ АЗОРСКОГО АНТИЦИКЛОНА

### 2.1 Исследование среднегодового распределения характеристик Азорского антициклона

В качестве исходных данных использован массив реанализа ERA5 среднемесячных данных атмосферного давления на уровне моря и температуре воздуха за период наблюдений с января 1940 до 2023.

Многочисленными были выбраны и проанализированы данные атмосферного давления на уровне моря, долготы и широты по данным реанализа ERA5 – данные Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [9]. Пространственное разрешение: сетка  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ . С помощью программы Microsoft Access выбраны максимальные значения атмосферного давления с их местоположением по широте и долготе в районе расположения Азорского антициклона. На основе данных по давлению с помощью программ Raporly и Microsoft Excel были сформированы таблицы с характеристиками Азорского антициклона: максимальным давлением в центре, широтой и долготой его центра. Пример таблицы с максимальным давлением в центре антициклона показан в таблице 1.

Таблица 1 - Пример массива данных давления в центре Азорского антициклона

| god_   | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11       | 12       |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| 1940,0 | 1019,8 | 1019,0 | 1019,0 | 1020,1 | 1022,5 | 1025,5 | 1026,8 | 1026,5 | 1022,9 | 1019,4 | 1023,277 | 1027,287 |
| 1941,0 | 1020,1 | 1021,3 | 1021,4 | 1020,6 | 1023,7 | 1024,6 | 1024,6 | 1023,7 | 1023,6 | 1023,7 | 1021,288 | 1027,649 |
| 1942,0 | 1026,2 | 1017,1 | 1020,1 | 1019,4 | 1023,4 | 1024,2 | 1027,2 | 1023,9 | 1021,7 | 1022,4 | 1025,759 | 1022,321 |
| 1943,0 | 1023,6 | 1032,0 | 1023,7 | 1025,0 | 1023,9 | 1025,8 | 1025,2 | 1022,7 | 1026,0 | 1019,3 | 1028,07  | 1025,038 |
| 1944,0 | 1030,9 | 1027,3 | 1024,1 | 1021,9 | 1023,8 | 1023,9 | 1022,5 | 1024,5 | 1023,7 | 1025,4 | 1021,6   | 1025,84  |
| 1945,0 | 1023,7 | 1029,9 | 1029,3 | 1022,5 | 1022,1 | 1024,3 | 1025,1 | 1025,8 | 1023,8 | 1022,2 | 1019,907 | 1022,479 |
| 1946,0 | 1025,1 | 1026,1 | 1022,8 | 1027,0 | 1023,8 | 1027,3 | 1027,4 | 1024,9 | 1022,7 | 1019,9 | 1020,261 | 1025,386 |
| 1947,0 | 1023,2 | 1018,7 | 1020,0 | 1025,6 | 1021,9 | 1023,2 | 1025,5 | 1022,5 | 1025,0 | 1021,3 | 1021,536 | 1022,281 |

На рисунке 3 графически представлен расчёт среднегодовых значений атмосферного давления за каждый месяц по периодам в двадцать лет и среднее значение за весь срок данных.

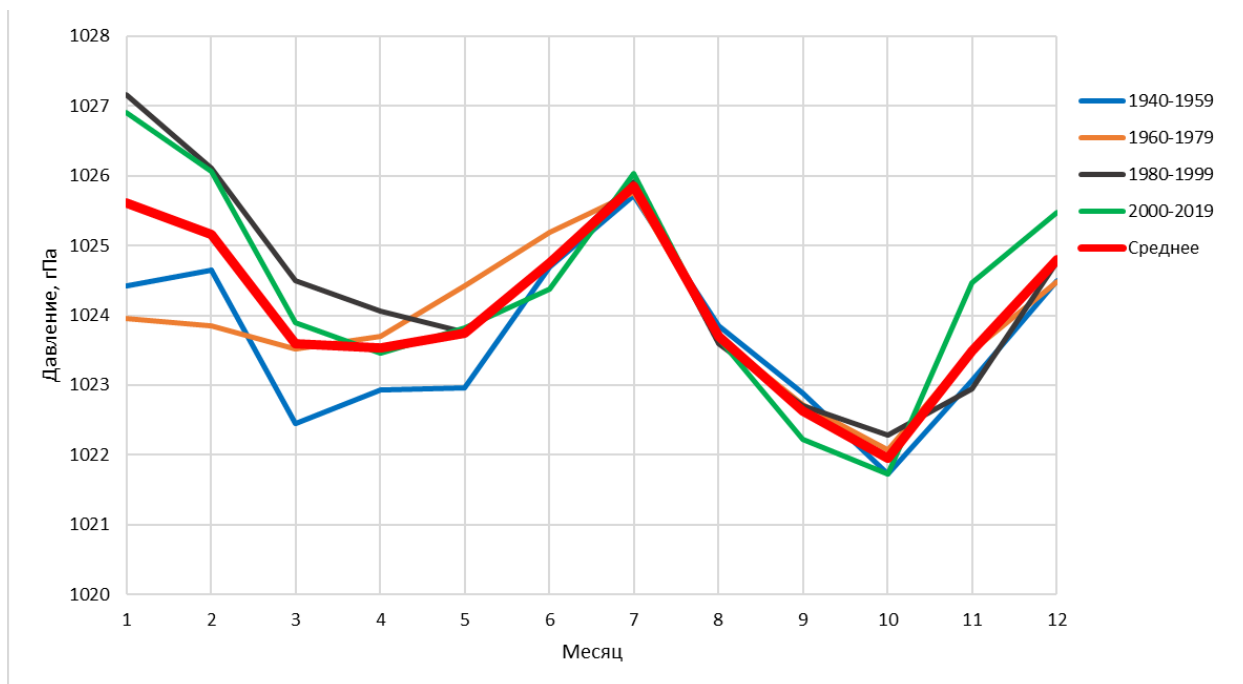


Рисунок 3 - График распределения давление в центре Азорского антициклона по двадцатилетиям

Анализ средних значений показал, что наблюдаются два минимума и два максимума среднегодового хода. Минимум наблюдается в апреле, далее рост значений, до достижения максимума в июле со значением 1025,9 гПа, который совпадает со всеми двадцатилетиями, далее падение до минимального значения в октябре равного 1021,9 гПа, который также совпадает во все года, после него значения увеличиваются, максимум в январе равного 1025,6 гПа. Для более подробного изучения среднегодовые величины за каждый месяц рассчитаны за каждые двадцать лет: с января 1940 по декабрь 1959, аналогично с 1960 по 1979, с 1980 по 1999, с 2000 по 2019 года. В первом двадцатилетии наблюдается то же количество экстремумов, что и за среднее значение за весь период. Максимум наблюдается в феврале и составляет 1024,6 гПа, далее значения убывают до минимума в марте, равного 1022,4 гПа, рост до максимума в июле, далее убывает до минимума в октябре, далее рост. В 1960-1979 года неявно наблюдается минимум в марте, равный 1023,5 гПа. Данный ход носит наименее изменчивый характер, значения меняются на 3,7 гПа. В последние 40 лет отмечается повышение атмосферного давления на уровне моря в центре антициклона.



Аналогичные действия были проделаны с данными по координатам центра Азорского антициклона и представлены на рисунках 4 и 5.

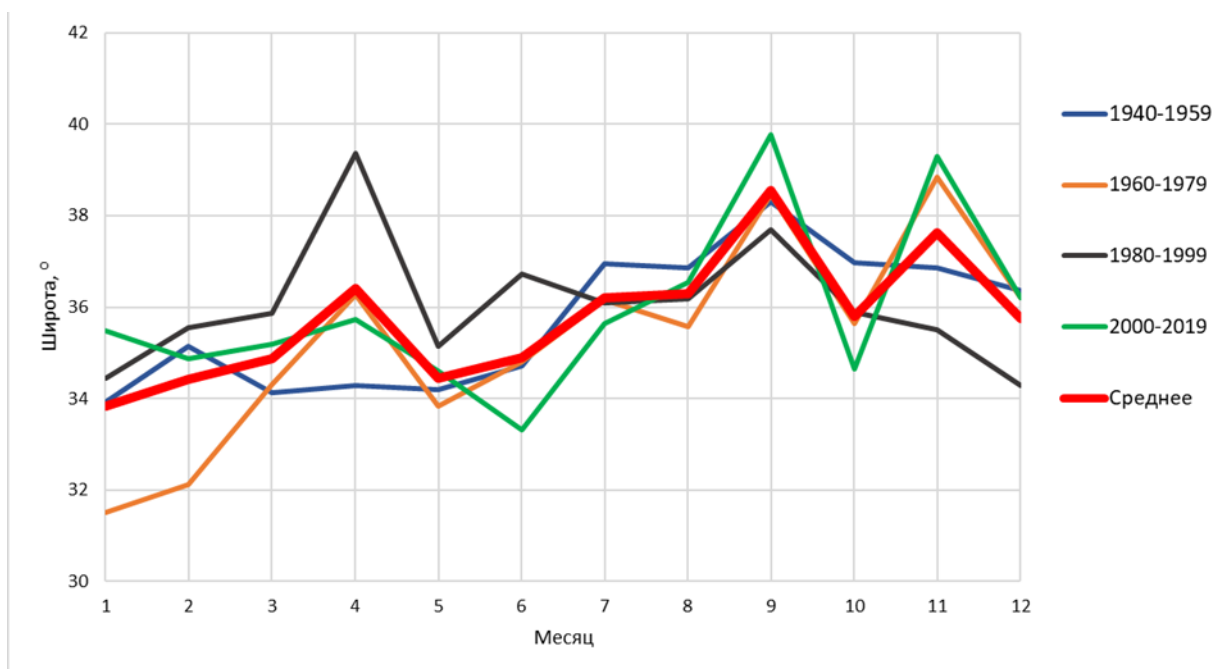


Рисунок 4 - График распределения широты центра Азорского антициклона по двадцатилетиям

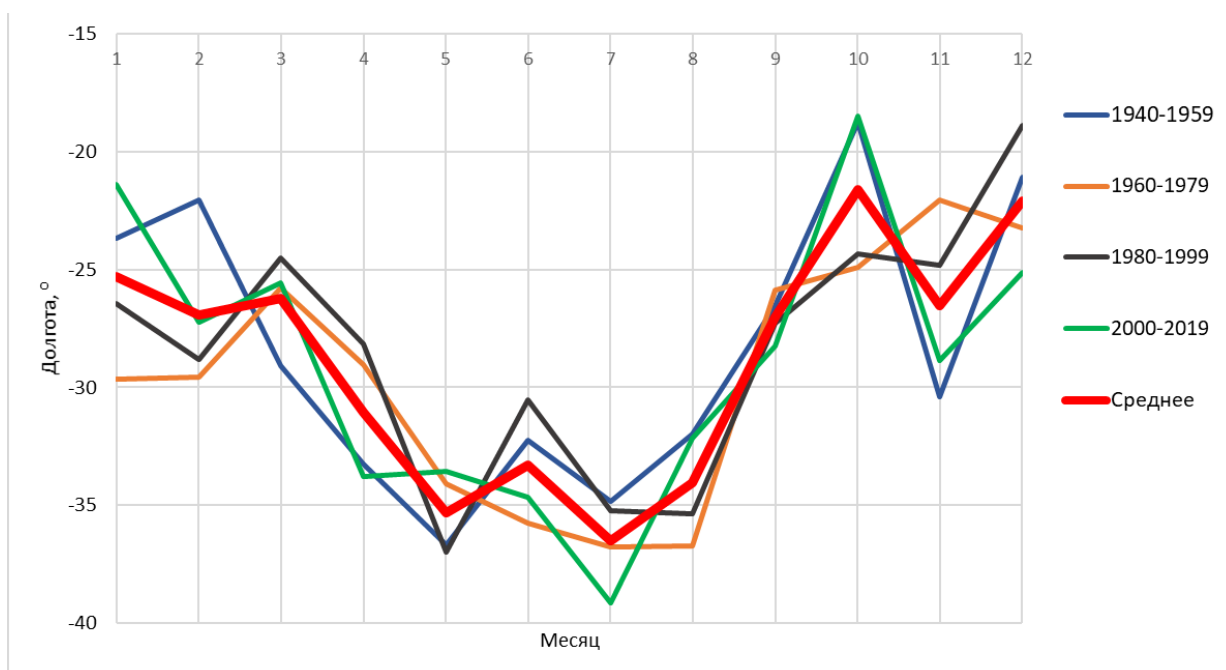


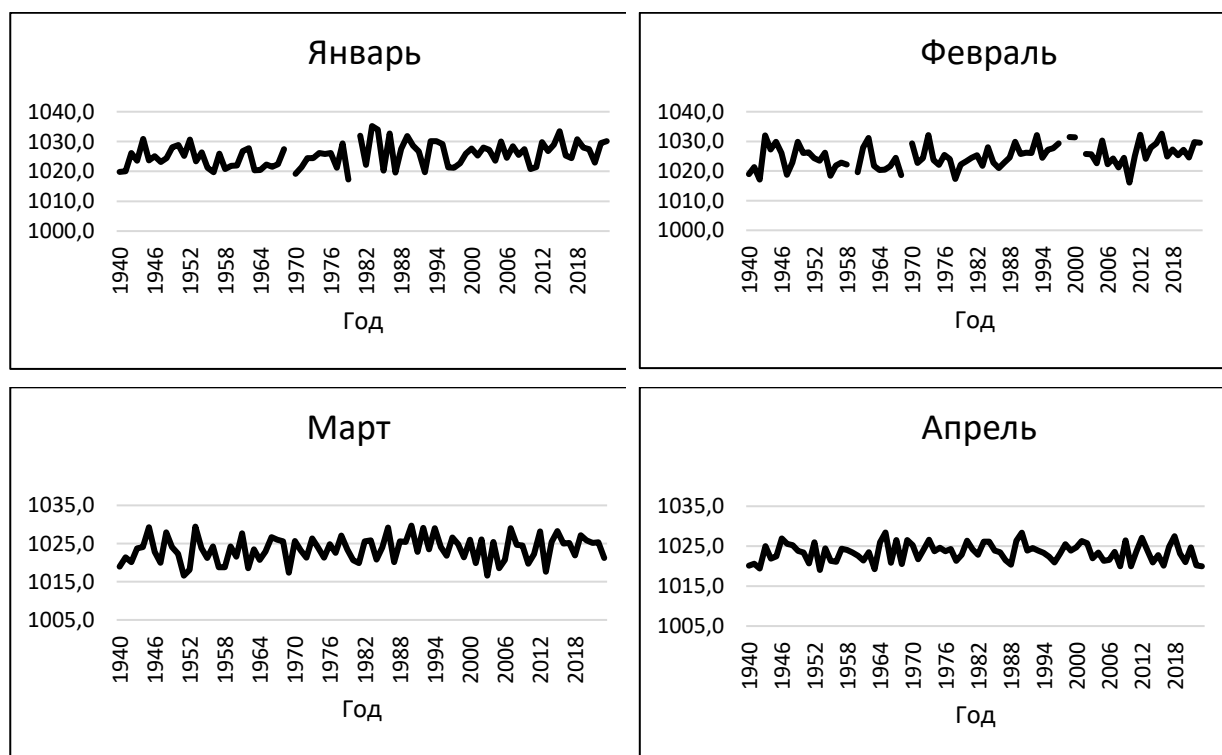
Рисунок 5 - График распределения долготы центра Азорского антициклона по двадцатилетиям

Годовой ход широты центра Азорского антициклона слабо выражен. В январе Азорский антициклон занимает наиболее южное положение в январе –  $33,8^{\circ}$  с. ш. В сентябре и в декабре центр Азорского антициклона занимает наиболее северное положения –  $38,6^{\circ}$  и  $37,6^{\circ}$  с. ш. соответственно.

Однако годовой ход долготы хорошо выражен. Анализ показал, что в летние месяцы центр Азорского антициклона занимает самое западное положение, в июле среднее значение равняется  $36,4^{\circ}$  з. д. Наиболее восточное положение центра антициклона наблюдается в двух максимумах в октябре и декабре –  $26,9^{\circ}$  и  $26,5^{\circ}$  з. д. Годовой ход широты центра Азорского антициклона во все года повторяет ход среднегодовых значений, однако в октябре и в ноябре в 1940-1959 гг. и 2000-2019 гг. наиболее выражены максимумы и минимумы соответственно и совпадают друг с другом.

## 2.2 Многолетняя динамика характеристик Азорского антициклона

Построены графики многолетнего распределения характеристик Азорского антициклона и представлены на рисунке 6.



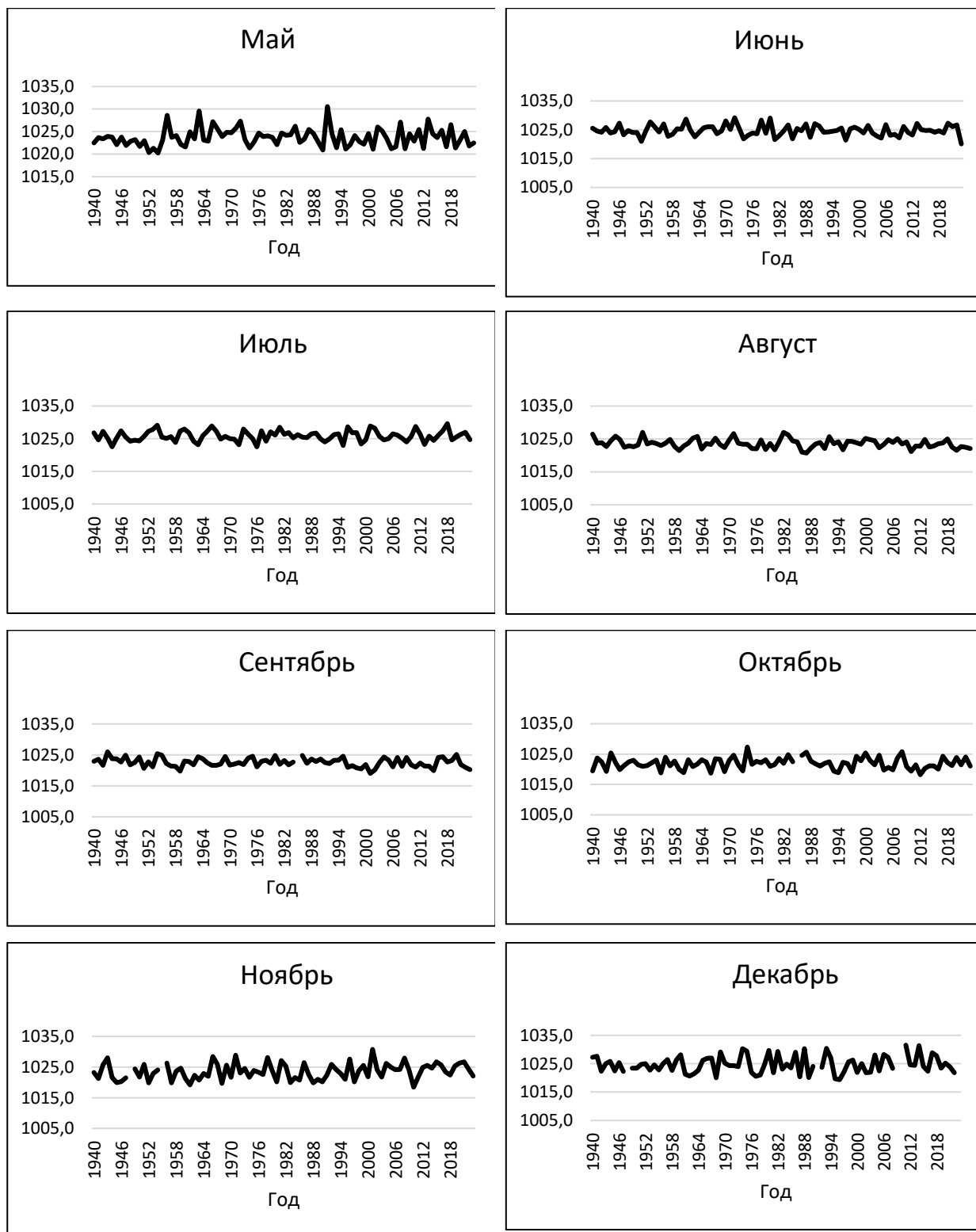


Рисунок 6 - Многолетняя динамика распределения интенсивности Азорского антициклона по месяцам

По вертикальной оси отмечено атмосферное давление на уровне моря. Азорский антициклон наиболее сильно изменчив по своей интенсивности с

января по апрель, однако с мая по август изменение величин уменьшается в диапазоне по значениям и наиболее постоянен в сентябре-октябре, а с ноября-декабря вновь постепенно обретает изменчивый характер распределения давления в центре.

В зимние месяцы, особенно много в феврале, и в некоторых случаях осенью наблюдается разрыв кривой. Это связано с разрушением Азорского антициклона, описание механизма такого процесса описан в главе 1, однако ранее частые случаи отмечались весной и осенью, а зимой - реже. С 2010-х годов таких случаев не наблюдается. Один из случаев отсутствия Азорского антициклона наблюдался в январе 1969 года, в качестве примера он представлен на рисунке 7.

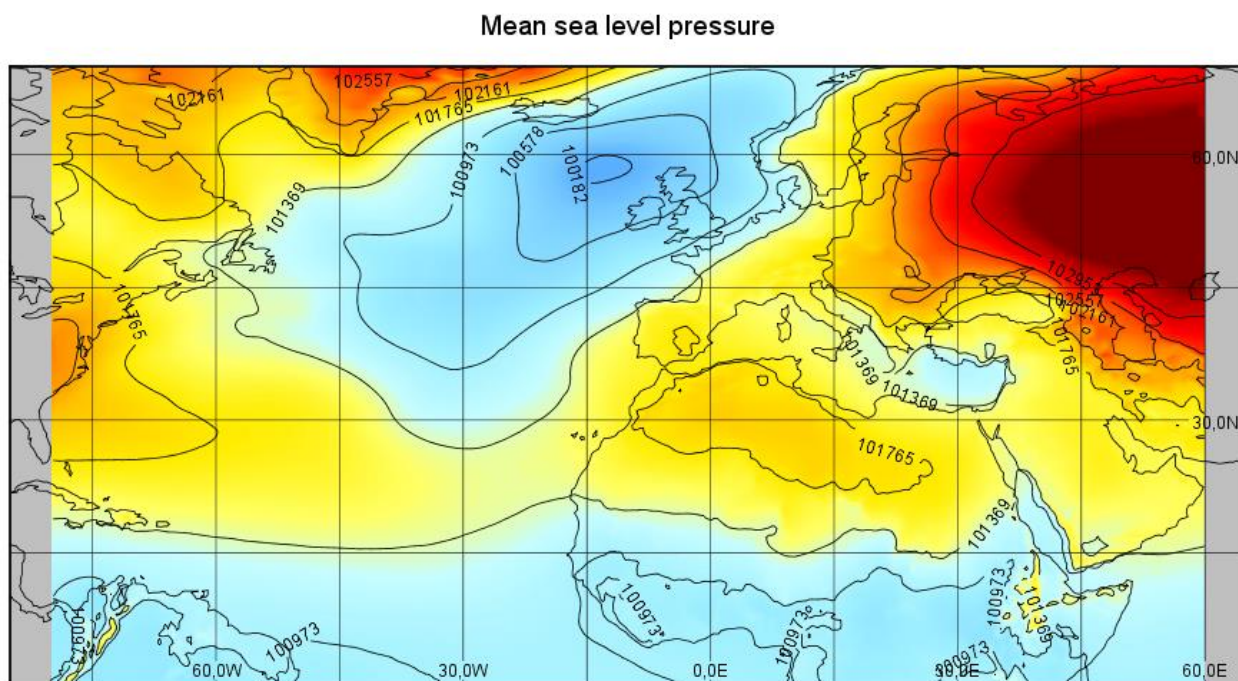
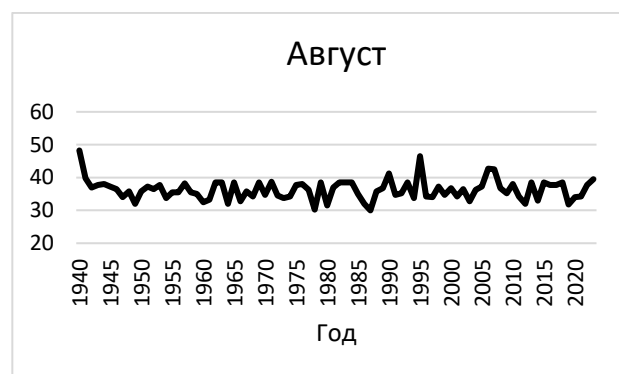
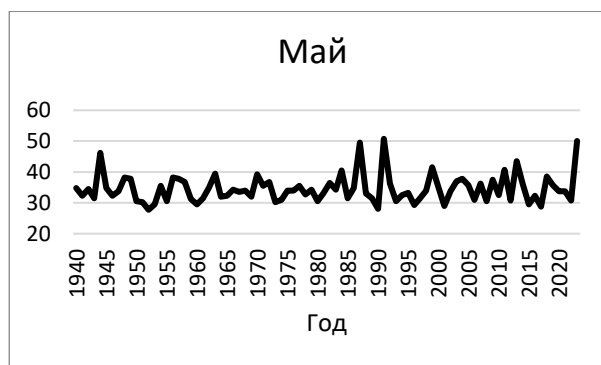
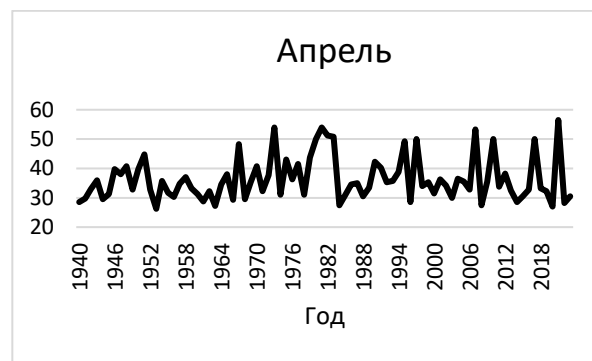
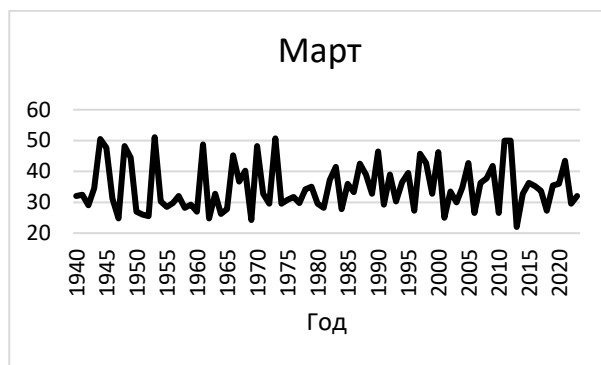
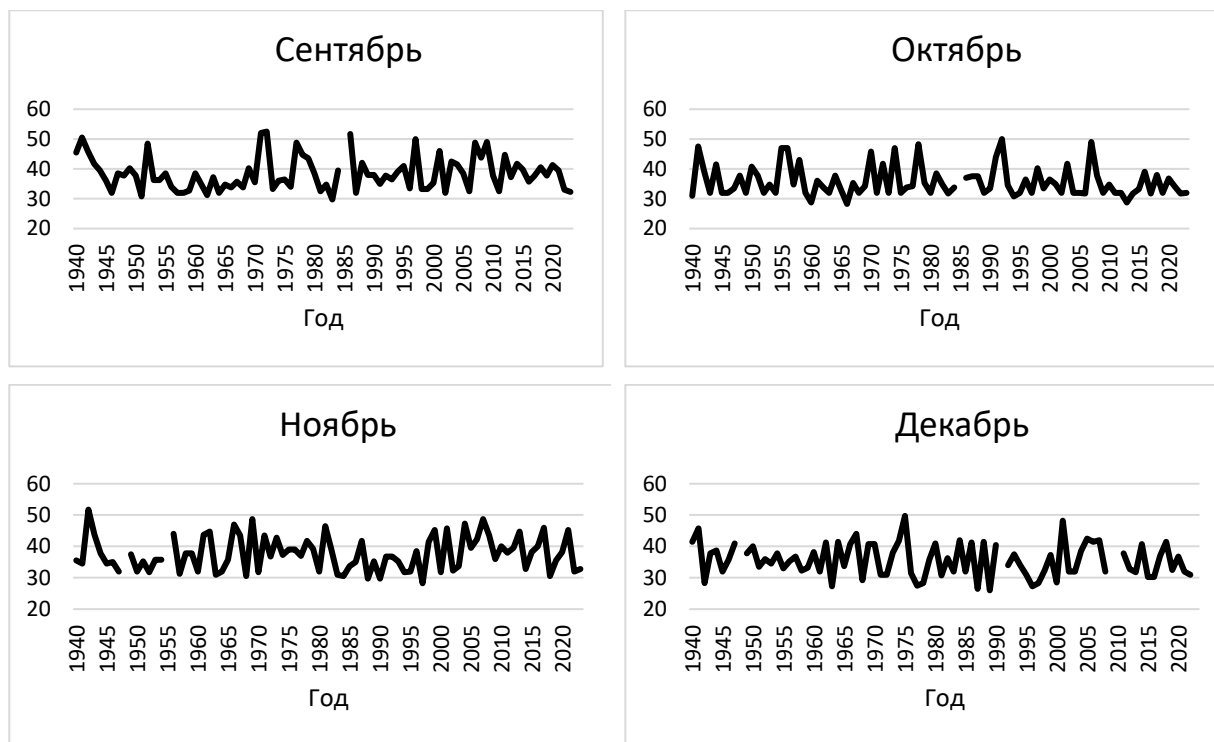


Рисунок 7 - Пример отсутствия Азорского антициклона, январь 1969 г.

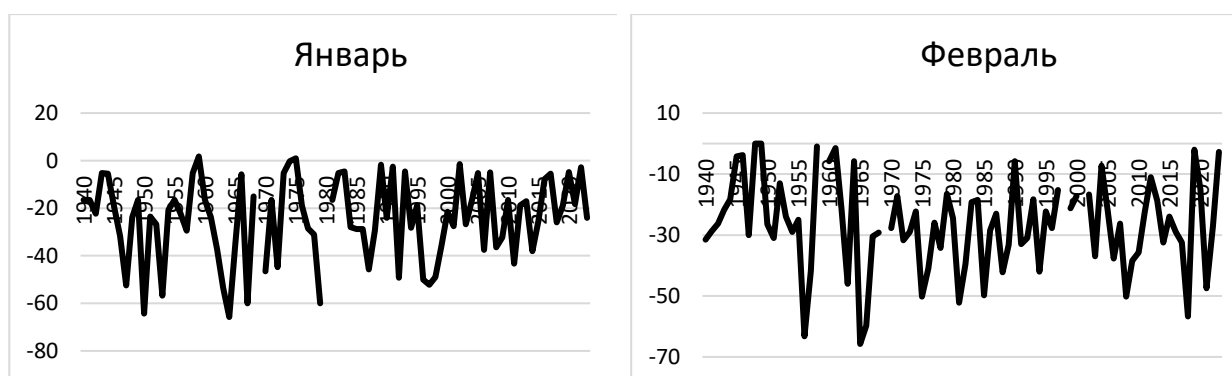
Те же действия были проделаны с данными по месяцам координат центра Азорского максимума и представлены на рисунках 8 и 9.



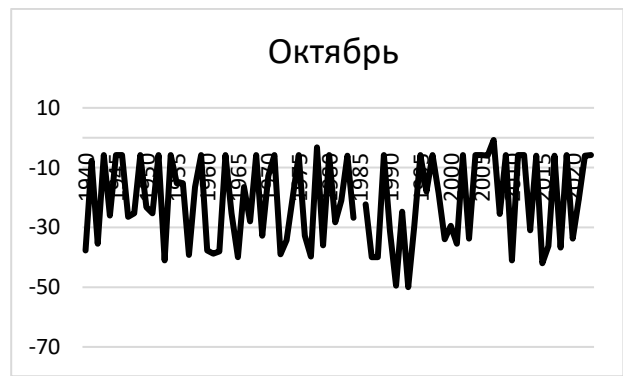
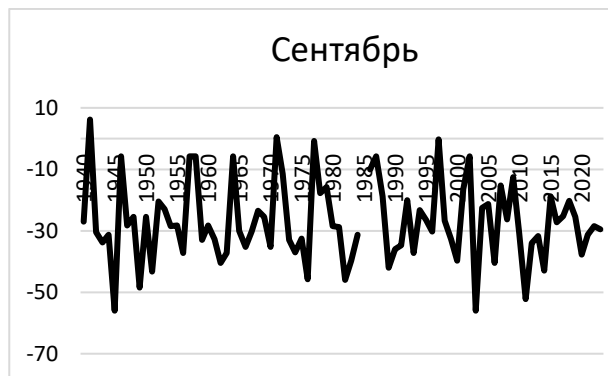
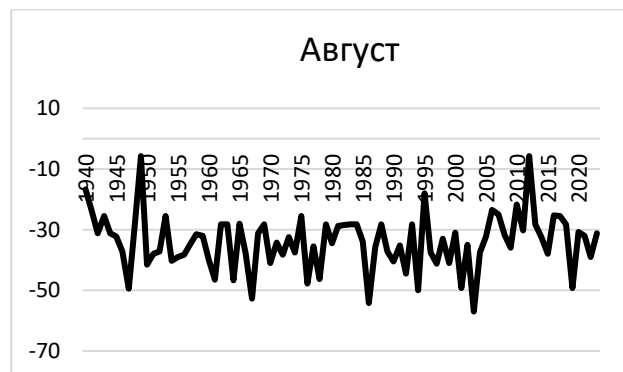
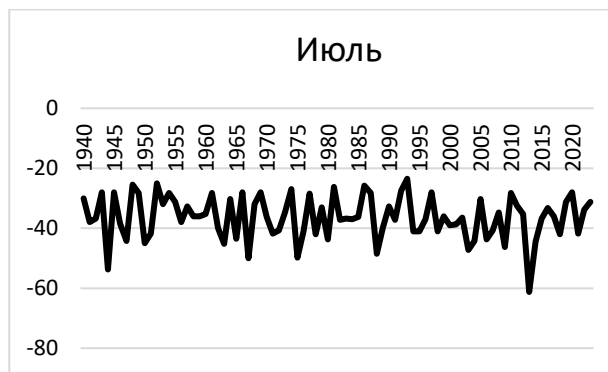
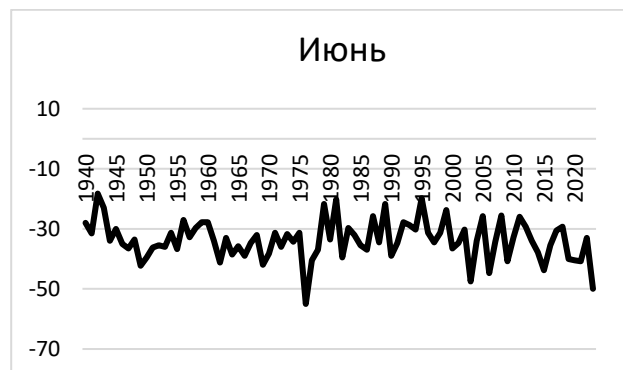
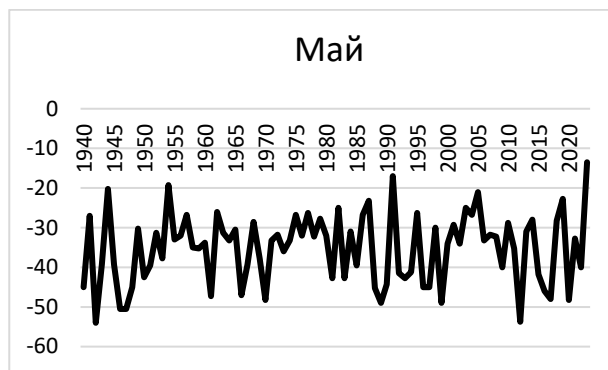
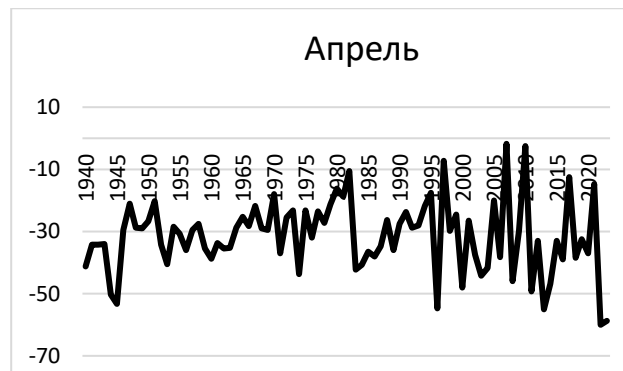
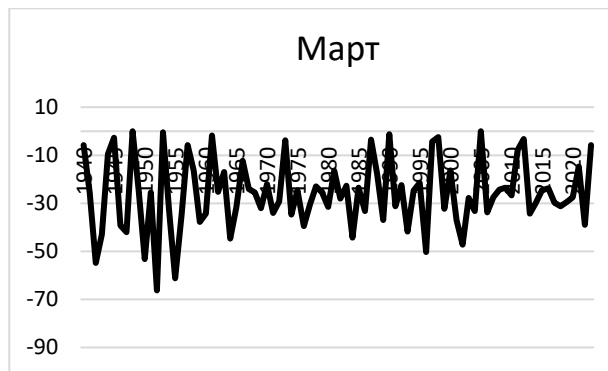


Рисунке 8 - Многолетняя динамика распределения значений широты  
Азорского антициклона по месяцам

В январе центр занимал самое южное положение, в феврале-апреле положение центра по широте неустойчиво, приближаясь к северным широтам, однако к маю ход широты приобретает более стабильный характер, причём хорошо видны максимумы 1944, 1987 и 1991 и 2023 годах. В летние месяцы наиболее стабильное положение центра Азорского максимума, но с сентября отслеживается вновь наиболее нестабильное положение.







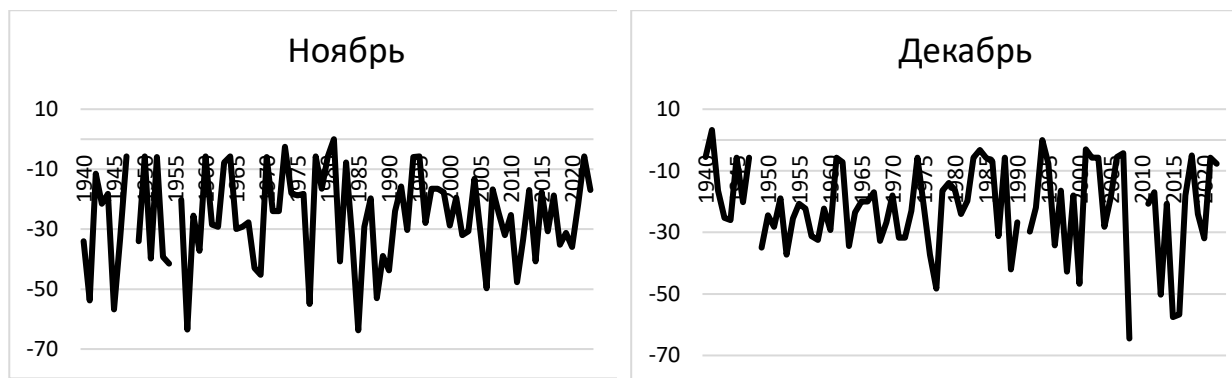


Рисунок 9 - Многолетняя динамика распределения долготы Азорского антициклона по месяцам

С декабря по февраль азорский антициклон находится на востоке, наиболее западное положение прослеживается в марте и в апреле, в мае характер распределения так же становится более стабильным, в июле антициклон наиболее стационарен, с августа он меняет своё положение.

Но тем не менее, выводы распределения среднегодовых характеристик Азорского антициклона по месяцам сделать сложно, кроме подтверждения наличия случаев, когда Азорский антициклон разрушается в зимние месяцы, иногда в сентябре и в ноябре, особенно часто это происходит в феврале. Теперь рассмотрим многолетнюю динамику распределения величин центра Азорского антициклона по сезонам на рисунках 10-21



Рисунок 10 - Многолетняя динамика давления за зимний период

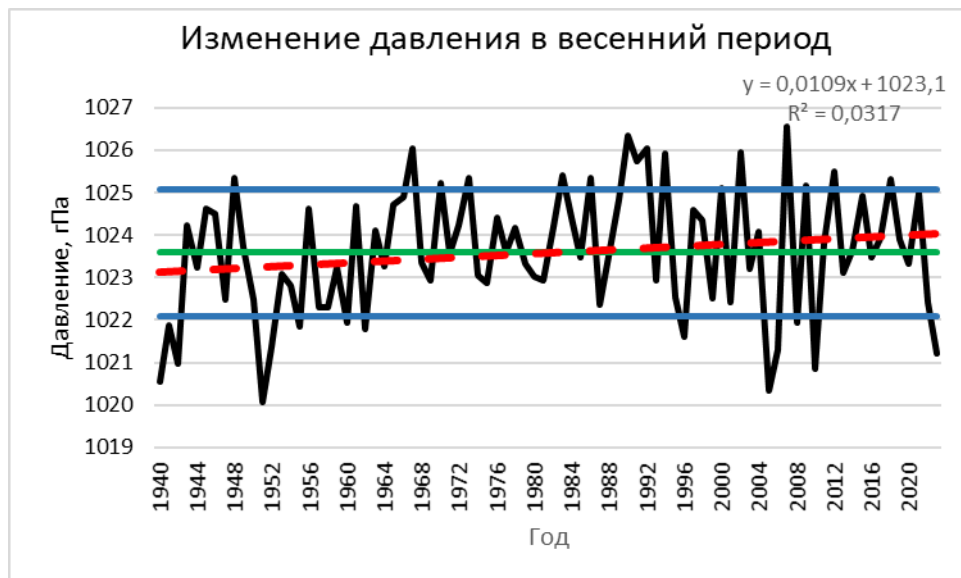


Рисунок 11 - Многолетняя динамика давления за весенний период



Рисунок 12 - Многолетняя динамика давления за летний период

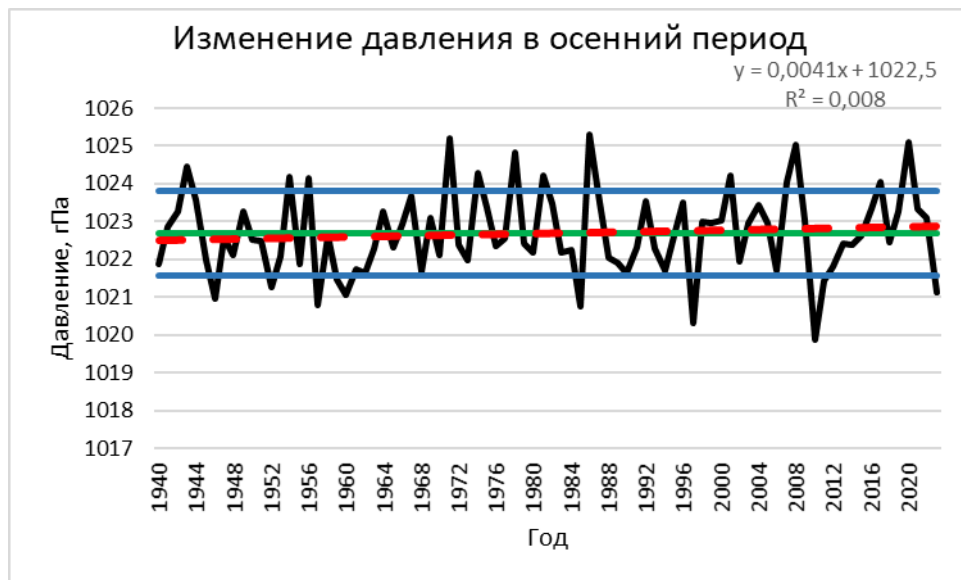


Рисунок 13 - Многолетняя динамика давления за осенний период



Рисунок 14 - Многолетняя динамика широты за зимний период

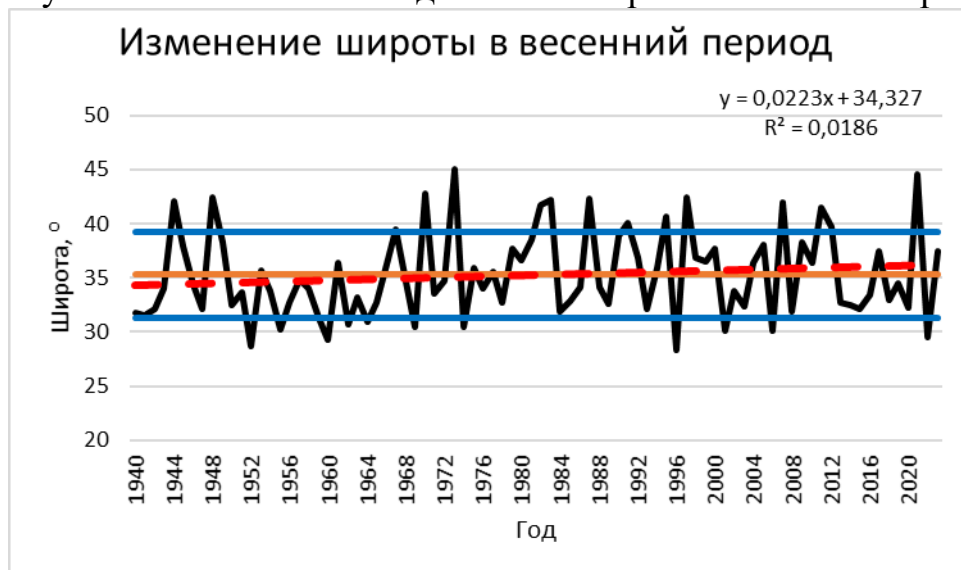


Рисунок 15 - Многолетняя динамика широты за весенний период



Рисунок 16 - Многолетняя динамика широты за летний период



Рисунок 17 - Многолетняя динамика широты за осенний период



Рисунок 18 - Многолетняя динамика долготы за зимний период

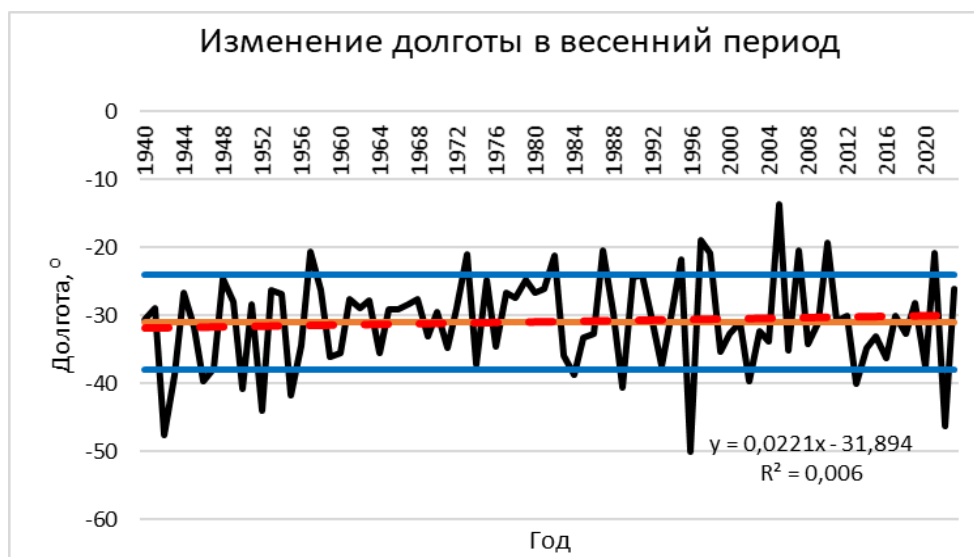


Рисунок 19 - Многолетняя динамика долготы за весенний период

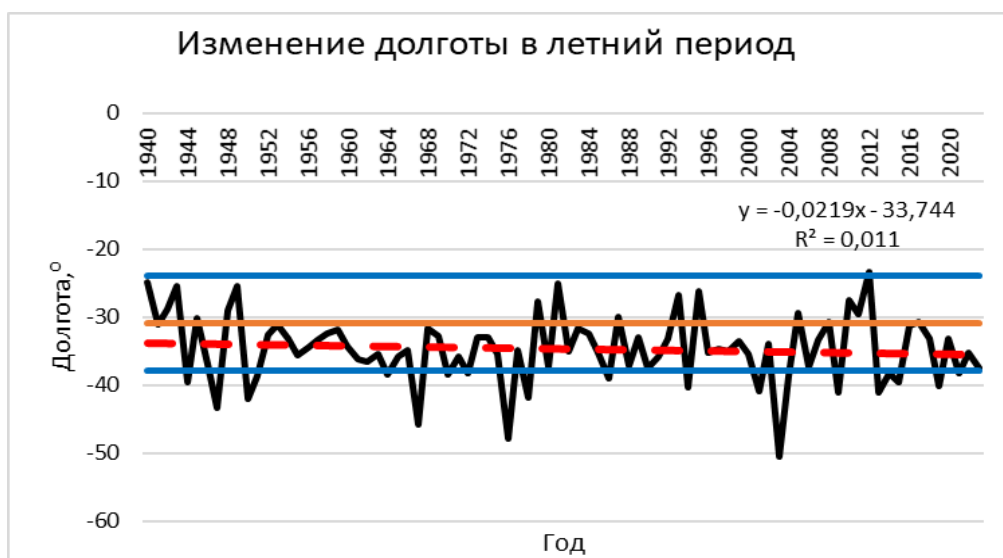


Рисунок 20 - Многолетняя динамика долготы за летний период

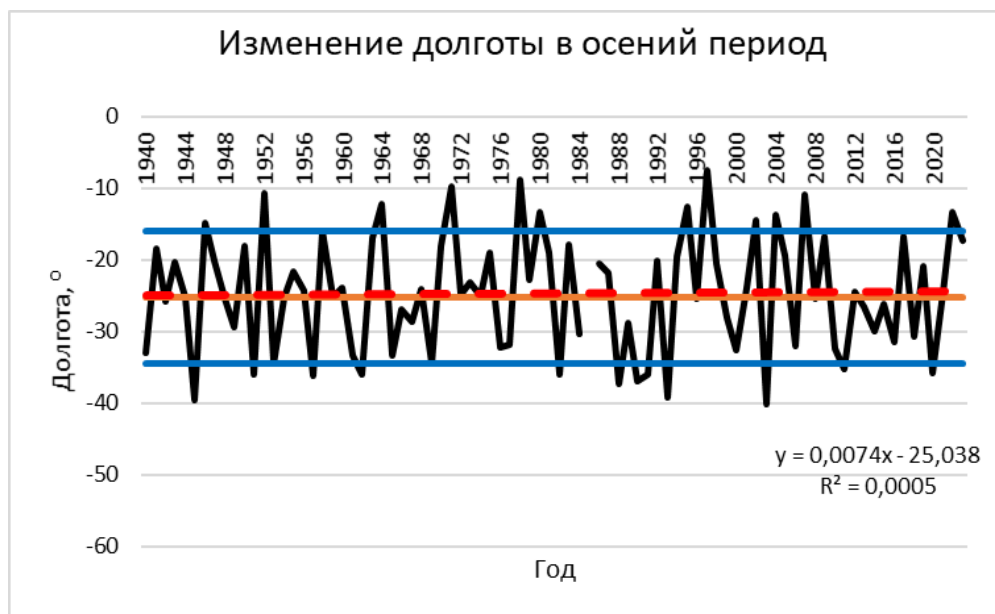


Рисунок 21 - Многолетняя динамика долготы за осенний период

Синие линии на графиках показывает +/-1 СКО от среднего значения. Оранжевая линия – это линия средних значений, красная пунктирная линия – это линия тренда. Таким образом, можно выделить годы, когда характеристики антициклона значительно отклонялись от среднего (более чем на 1 СКО).

Тренд многолетней динамики характеристик антициклона, представленные красной пунктирной линией, проверены на значимость через критерий Фишера по формуле:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} * \frac{N}{(N-1)} \quad (1)$$

Где N – это длина ряда, в данном случае равняется 84. В таблице 1 представлены рассчитанные значения критерия Фишера.

Таблица 1 - Расчёт критерия Фишера для давления в центре Азорского антициклона, его широты и долготы по сезонам

|       | Давление | Широта | Долгота |
|-------|----------|--------|---------|
| Зима  | 0,141    | 0,003  | 0,002   |
| Весна | 0,032    | 0,019  | 0,006   |
| Лето  | 0,011    | 0,232  | 0,011   |
| Осень | 0,010    | 0,005  | 0,001   |



При уровне значимости  $\lambda=5\%$  табличные значения критерия Фишера равняются 1,32. Как видно по результатам, рассчитанные критерии Фишера меньше табличного, следовательно, тренды незначимы. Тем не менее, можно оценить увеличение или уменьшение характеристик центра Азорского антициклона за 10 лет. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Изменение характеристик Азорского антициклона за 10 лет

|       | Давление   | Широта   | Долгота  |
|-------|------------|----------|----------|
|       | гПа/10 лет | °/10 лет | °/10 лет |
| Зима  | 0,35       | 0,09     | -0,16    |
| Весна | 0,11       | 0,22     | 0,22     |
| Лето  | 0,11       | -0,11    | -0,22    |
| Осень | 0,08       | -0,04    | -0,05    |

Таким образом, зимой наиболее сильное увеличение давления в центре – на 0,35 гПа за 10 лет, что и показывает линия тренда, несмотря на свою незначимость, причём центр смещается на 0,16 ° на запад. Однако наиболее сильное смещение по долготе весной и летом на 0,22 ° на восток и на запад соответственно, а по интенсивности давления – значения равны. По широте самое южное положение весной, самое северное – летом, зимой и осенью по широте Азорский максимум имеет устойчивое положение. Осенью характеристики антициклона наименее изменчивы. Линия тренда на всех графиках, кроме зимнего периода, повторяет линию средних значений, однако, как говорилось ранее, доверять результатам коэффициента корреляции и уравнению линейной регрессии не стоит в следствие незначимости ряда.

Результат анализа графиков многолетней динамики по сезонам схож с результатом анализа графиков по месяцам, однако заметно, что ход распределения характеристик Азорского максимума наиболее различен зимой и летом, а осень и весна напоминают первые упомянутые сезоны

соответственно. Для дальнейшего рассмотрения выбраны как два наиболее различные и часто сравниваемые в других исследованиях сезона: лето и зима. Выбраны года, когда величины атмосферное давление центра Азорского максимума и его координаты выходят за границы 1 СКО (см. в рис.10-21), и представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Годы высоких и низких значений характеристик Азорского антициклона

|                                     |                                                                                                |                          |                                                                                          |                           |                                                                                          |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Зима, с минимальной интенсивностью  | 1940, 1942, 1947, 1955, 1958, 1963, 1968, 1969, 1971, 1977, 1978, 1979, 1985, 1987, 1996, 2010 | Зима, южное положение    | 1942, 1955, 1963, 1965, 1972, 1977, 1978, 1979, 1985, 1987, 2009, 2010                   | Зима, восточное положение | 1950, 1953, 1956, 1957, 1963, 1965, 1967, 1972, 1977, 1992, 1996, 1998, 2008, 2009, 2015 |
| Зима, с максимальной интенсивностью | 1944, 1984, 1986, 1993, 1999, 2005, 2012, 2014, 2015, 2018, 2023                               | Зима, северное положение | 1944, 1948, 1949, 1952, 1962, 1969, 1981, 1983, 1984, 1993, 2001, 2004, 2005, 2012, 2023 | Зима, западное положение  | 1941, 1945, 1948, 1958, 1959, 1961, 1983, 1993, 2002, 2007, 2022, 2023                   |
| Лето, с минимальной интенсивностью  | 1944, 1947, 1949, 1958, 1975, 1976, 1987, 1995, 2004, 2009, 2019, 2023                         | Лето, южное положение    | 1950, 1951, 1958, 1963, 1991, 1997, 2001, 2003, 2004, 2009, 2012, 2015, 2019             | Лето, восточное положение | 1947, 1950, 1967, 1976, 1978, 1994, 2001, 2003, 2009, 2013, 2019                         |
| Лето, с максимальной интенсивностью | 1940, 1946, 1953, 1954, 1961, 1966, 1967, 197, 1983, 1996, 2001, 2002, 2006, 2018              | Лето, северное положение | 1940, 1942, 1943, 1952, 1979, 1981, 1983, 1989, 1995, 2006                               | Лето, западное положение  | 1940, 1942, 1943, 1948, 1949, 1979, 1981, 1993, 1995, 2005, 2010, 2012                   |

### 2.3 Анализ влияния характеристик Азорского антициклона на температуру воздуха над территорией Европы

Сформирован массив данных по температуре воздуха с 1940 по 2023 гг. с 15 ° з. д. по 60 ° в. д. с 30 ° по 70 ° с. ш. по данным реанализа ERA [9]. Далее построены поля аномалий температуры воздуха и давления при высокой и низкой интенсивности Азорского антициклона зимой, картосхемы представлены на рисунке 21-22.

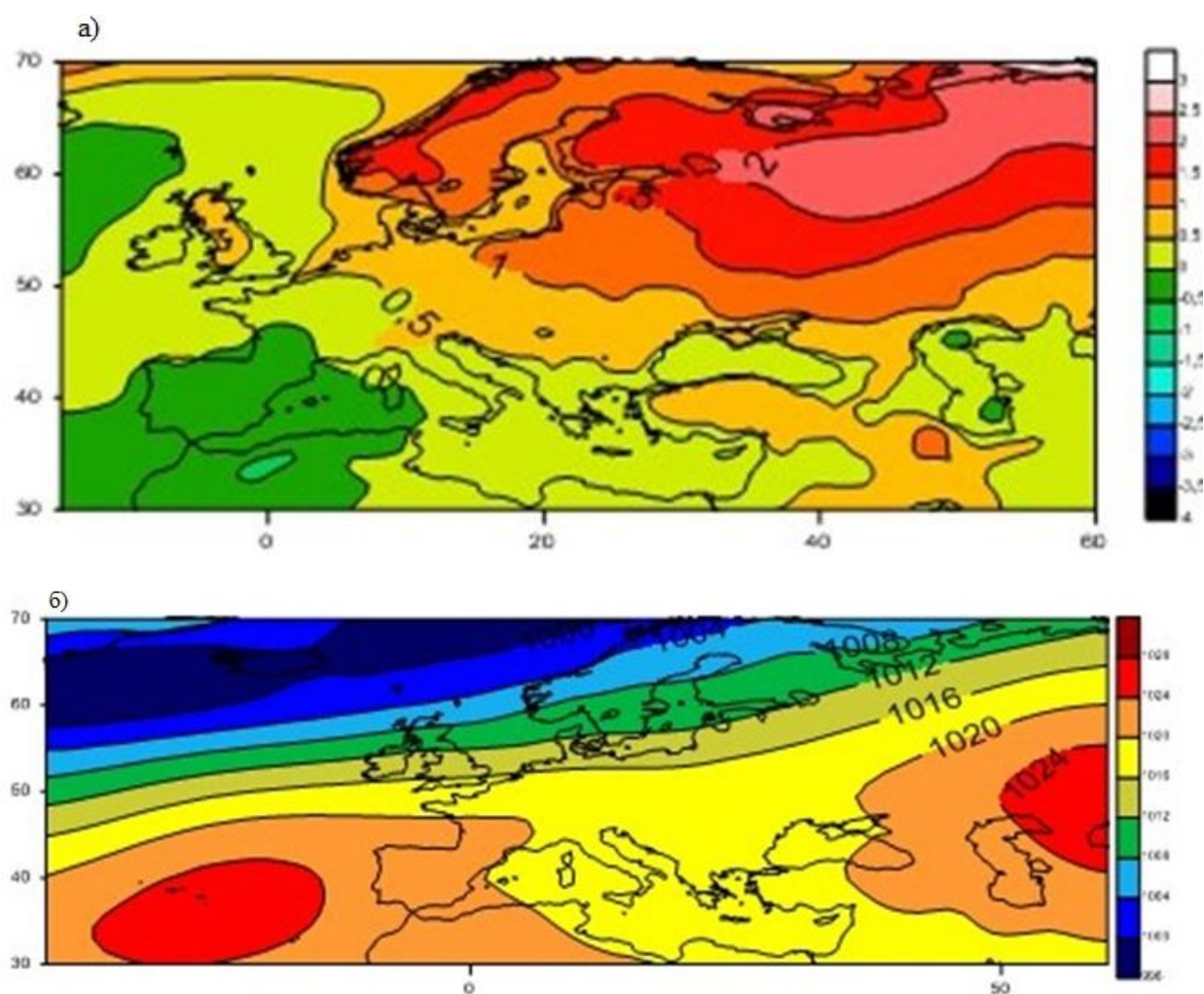
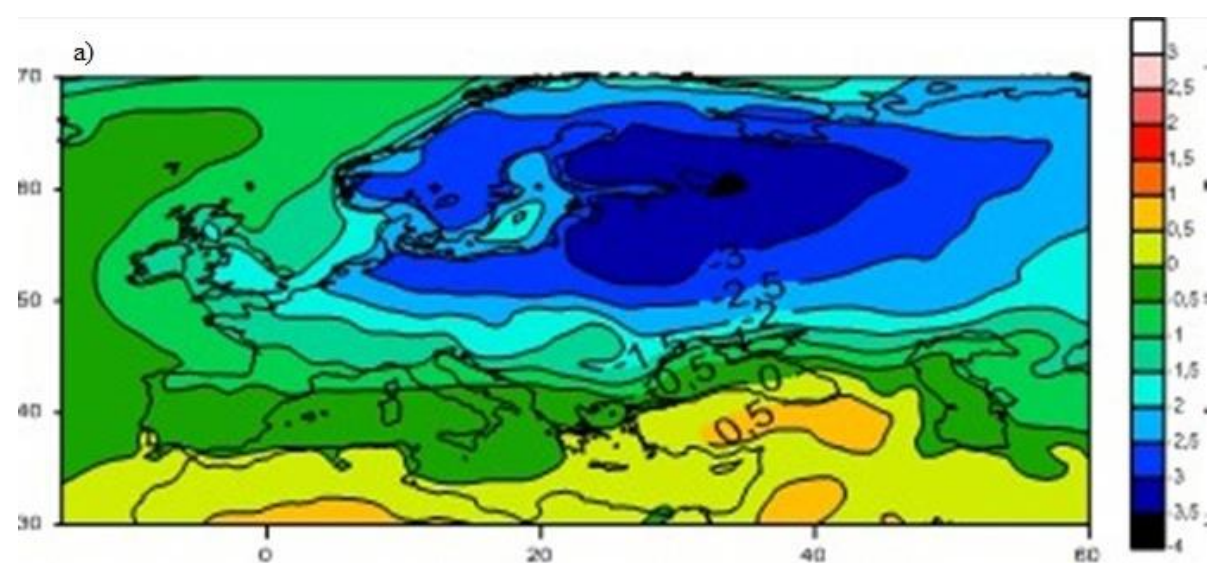


Рисунок 22 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при высокой интенсивности Азорского антициклона зимой



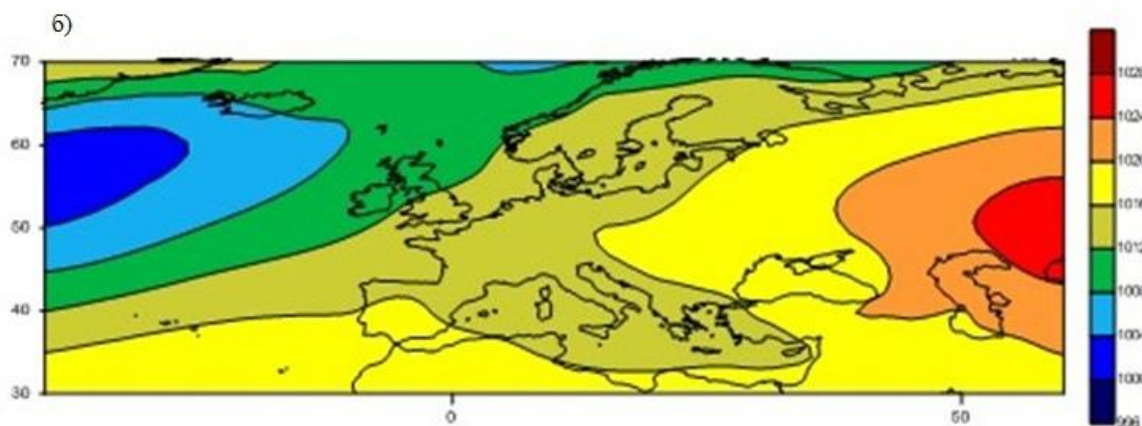


Рисунок 23 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря при низкой интенсивности Азорского антициклона зимой

При высокой интенсивности антициклона отмечаются положительные аномалии температуры на севере Европы с максимумом 2 градуса над северной частью ЕТР. Это обусловлено с тем, что одновременно с усилением Азорского антициклона происходит усилением активности Исландской депрессии, а, следовательно, и западно-восточного переноса. Это подтверждает описанное взаимодействие центров действия Северо-Атлантического колебания в теоретической части. При слабой интенсивности антициклона наблюдается отрицательные аномалий температур над этими территориями с минимумом в районе Ленинградской области до -3,5 гр.

В зоне действия самого антициклона замеченных изменений температур не отмечается.

Далее построены поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря при крайнем западным, восточным, южным и северным расположении антициклона (рисунок 24-33).



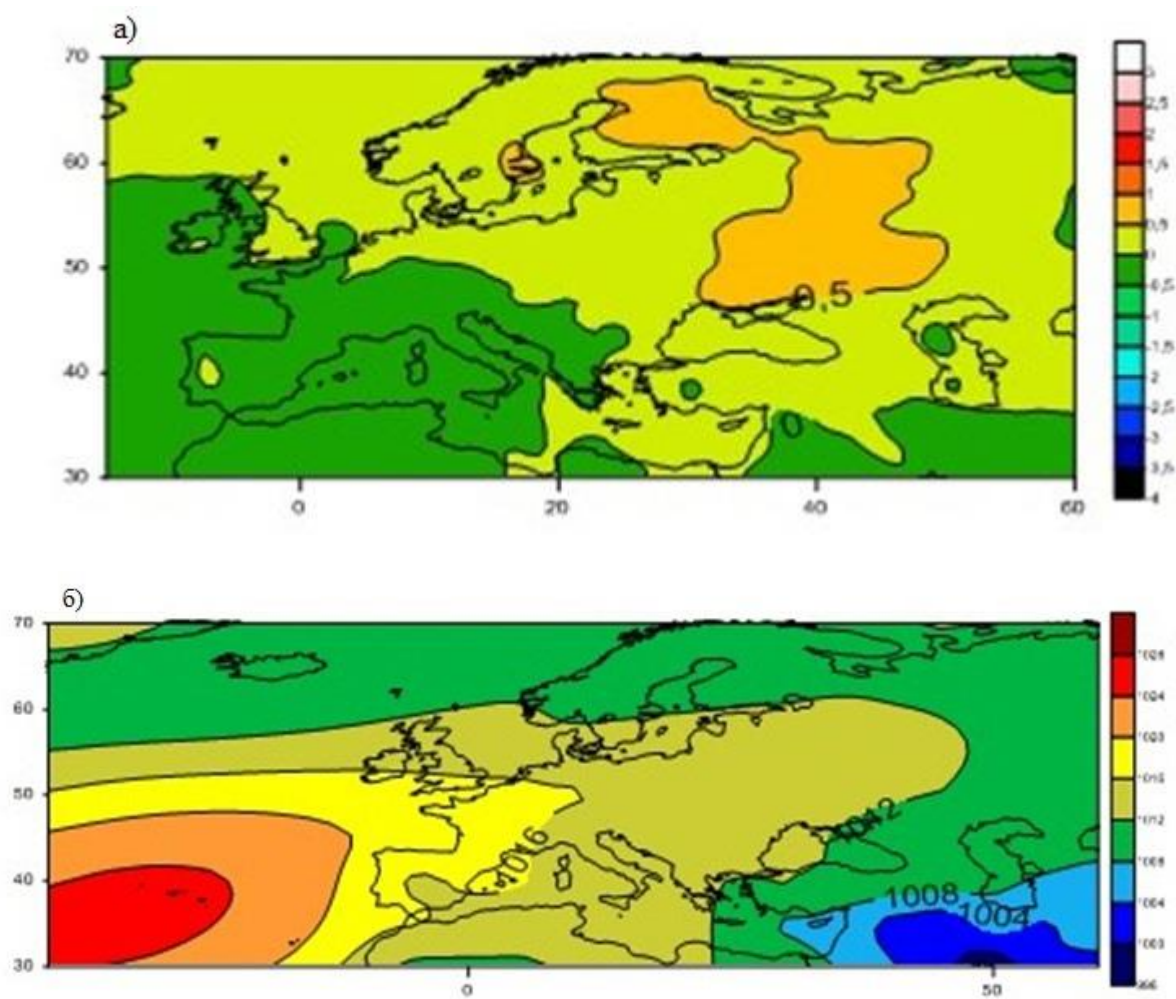
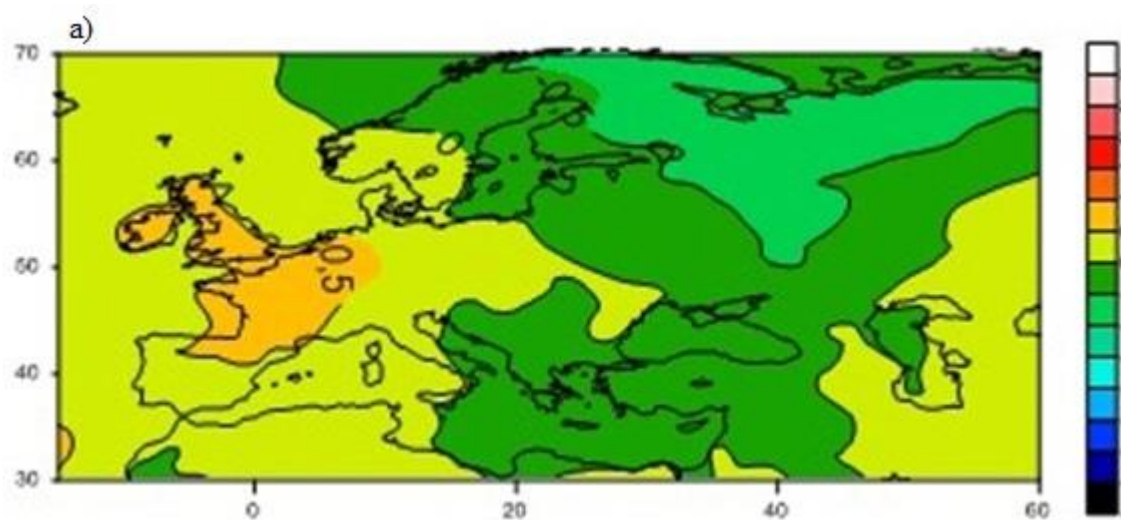


Рисунок 24 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при высокой интенсивности Азорского антициклона летом



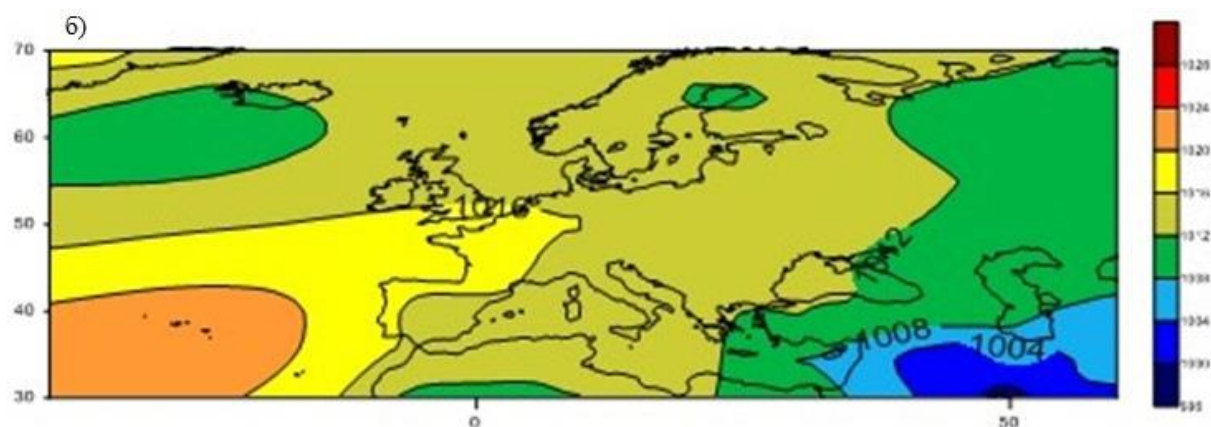
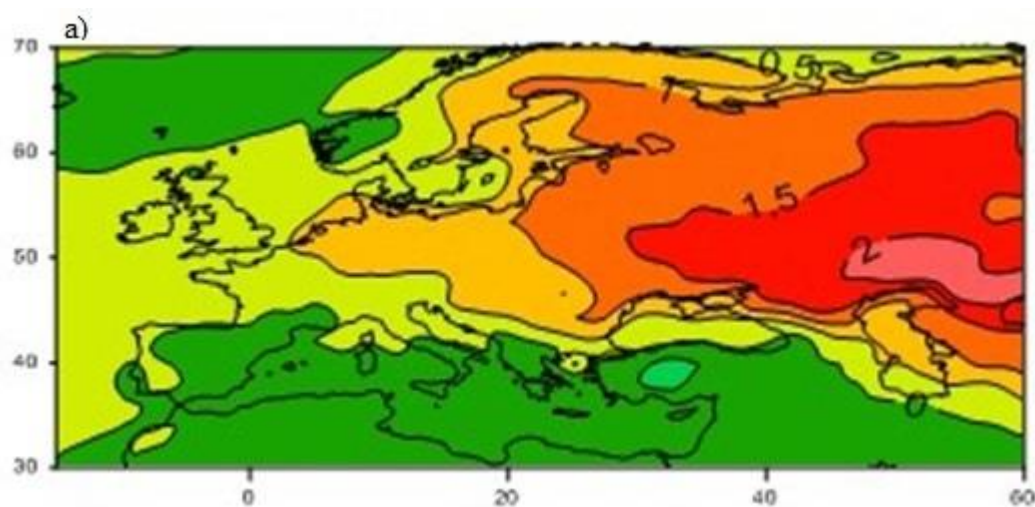


Рисунок 25 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при низкой интенсивности Азорского антициклона летом

В летний период не зависимо от интенсивности антициклона разницы в поле аномалии температуры нет. Над всей территорией Европы значения изменяются в пределах  $\pm 0,5$  гр. Далее рассмотрены поля температуры и давления при разбросе координат центра Азорского антициклона.





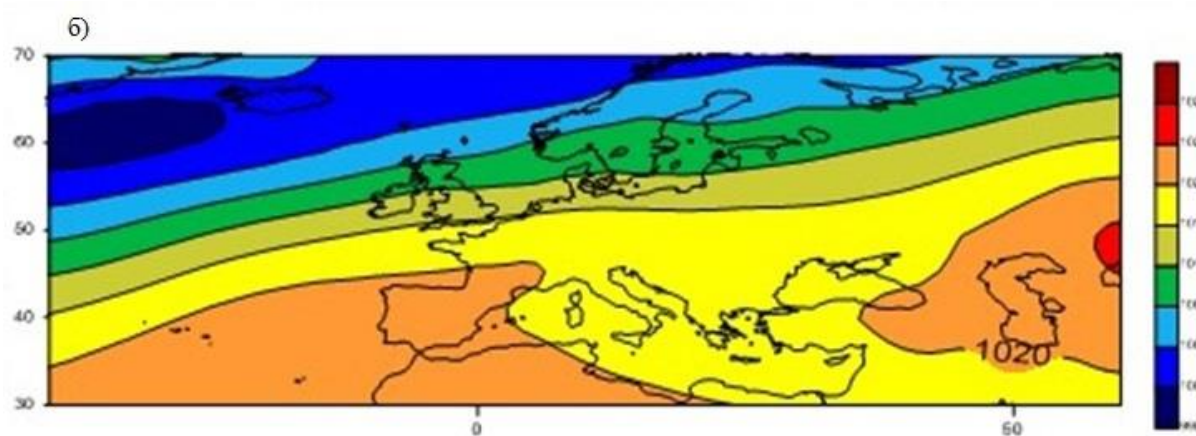


Рисунок 26 - Поля аномалий температуры воздуха а) и давления на уровне моря (б) при восточном положении Азорского антициклона зимой

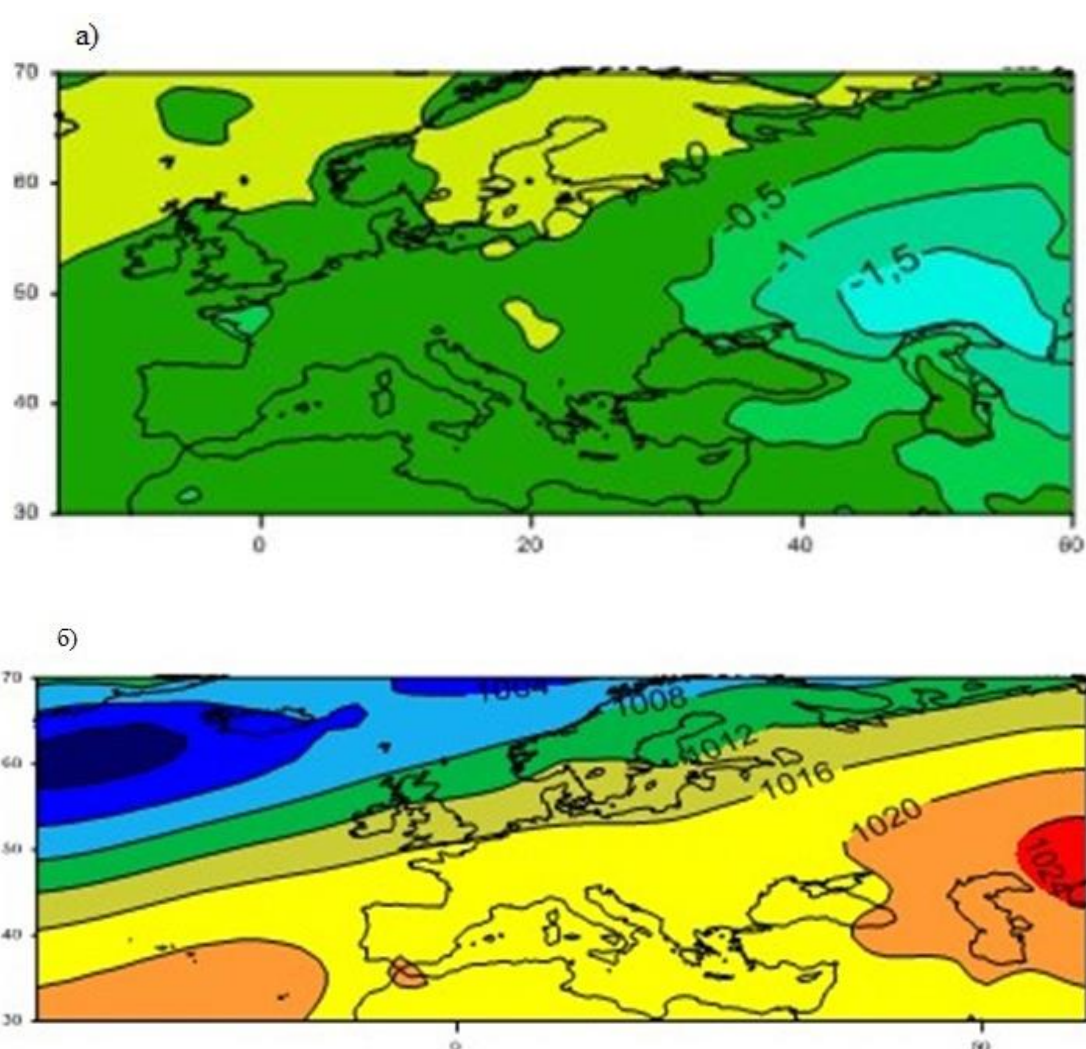


Рисунок 27 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при западном положении Азорского антициклона зимой

При западном положении Азорского антициклона зимой аномалия температуры  $+2$  градуса отмечается над восточной частью Европы, севернее Каспийского моря, поскольку над этими территориями происходит ослабление гребня азиатского антициклона. При более восточном расположении – наоборот, давление на оси гребня азиатского антициклона увеличивается. Положительные аномалии температур над этими же территориями сменяются отрицательными до  $-1,5$  гр. Под влиянием гребня происходит более интенсивное выхолаживание воздуха. В зоне действия самого Азорского антициклона также заметных изменений температур не наблюдается.

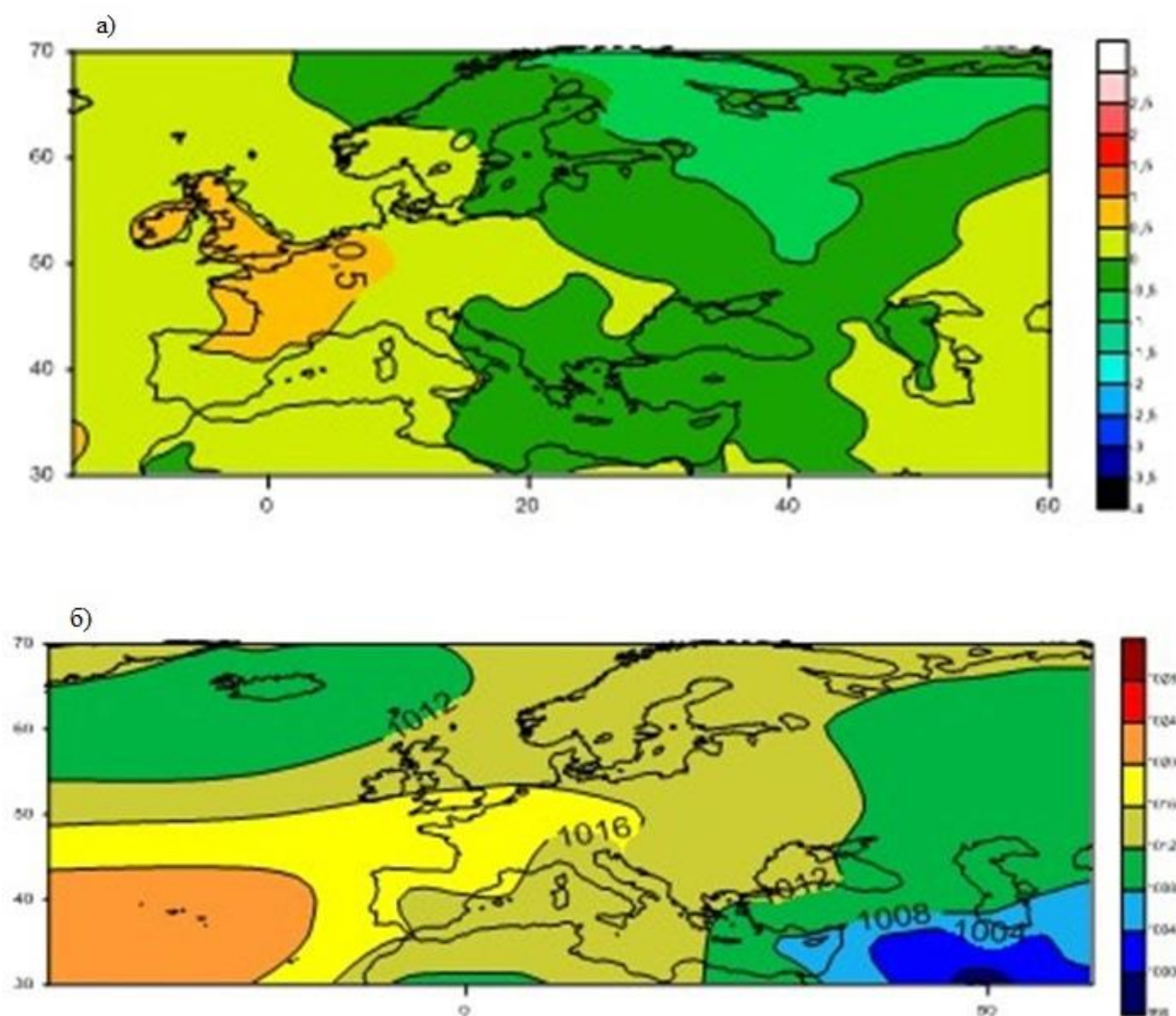




Рисунок 28 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при восточном положении Азорского антициклона летом

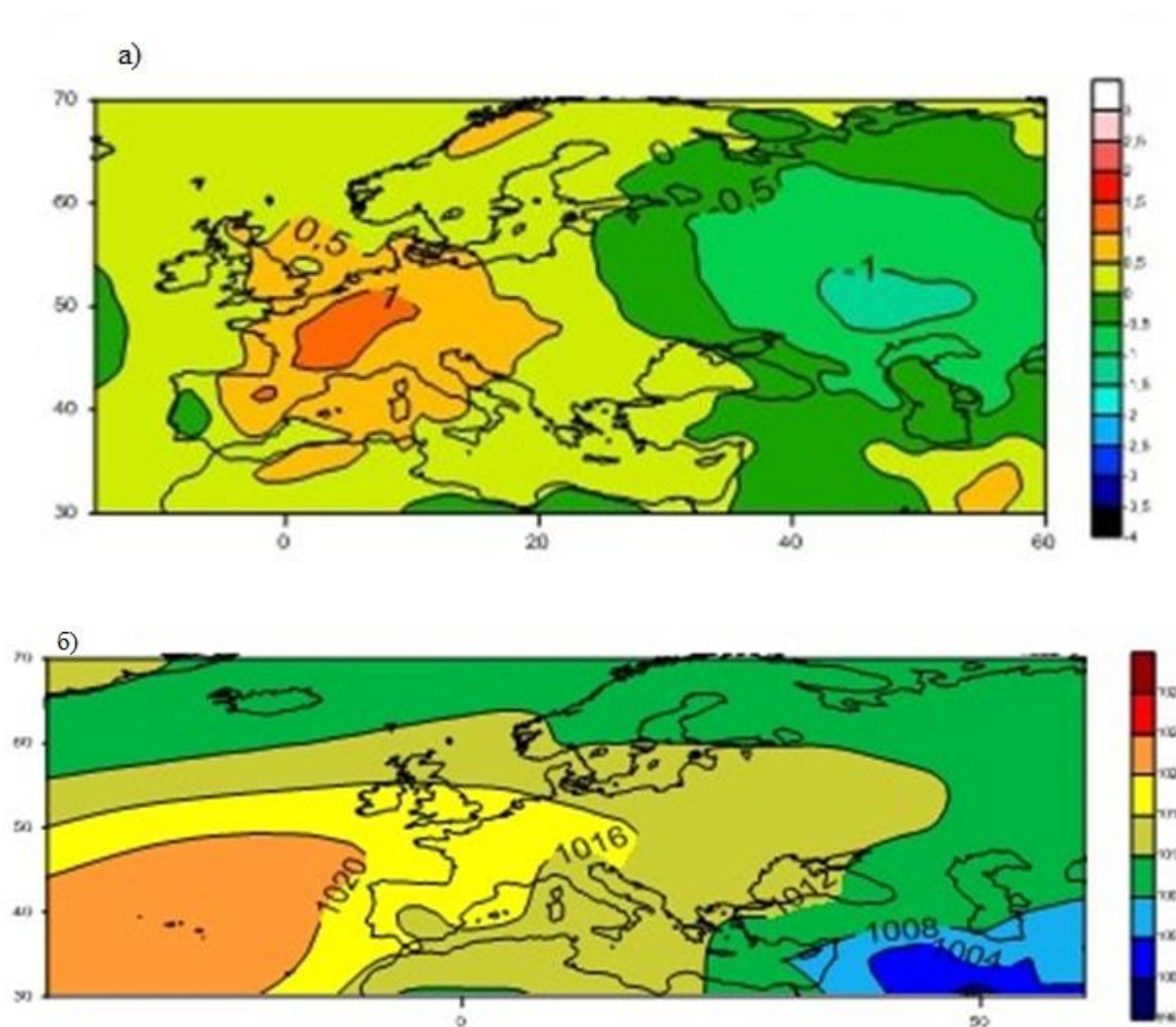


Рисунок 29 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при западном положении Азорского антициклона летом

Летом при более восточном положении аналогичному зимнему периоду с тем отличием, что изобара 1016 гПа, гребень антициклона, захватывает страны западной Европы, заметна слабая аномалия температуры + 0,5 градусов над территорией Великобритании, Ирландии и Франции. При более западном расположении - отмечается аномалии в + 1 градус, над территориями ЕТР понижается на данную величину, а над территорией Франции, между 0 ° и 20 ° в. д., - повышается.

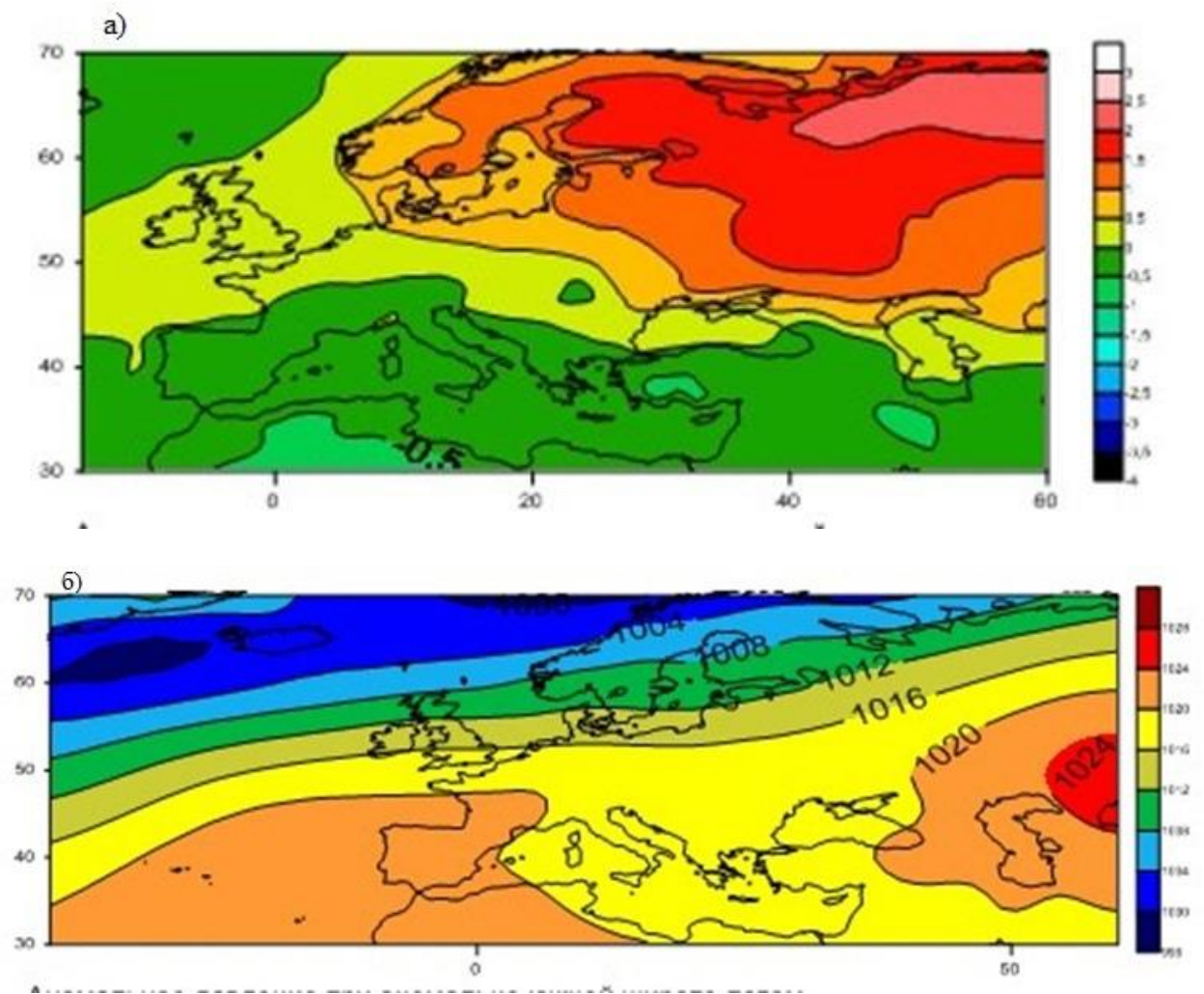
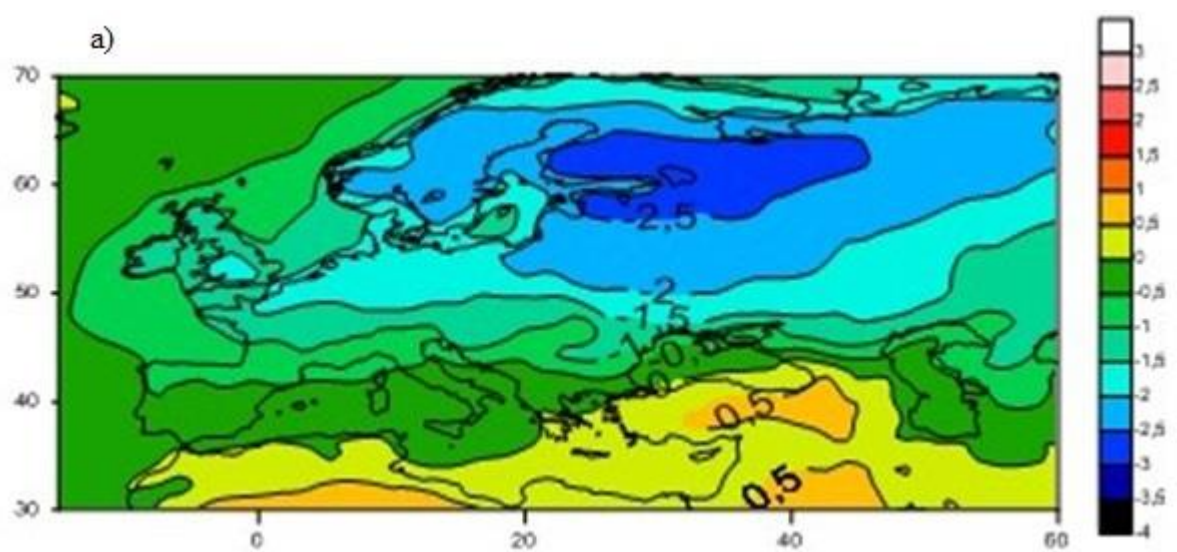


Рисунок 30 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при северном положении Азорского антициклона зимой



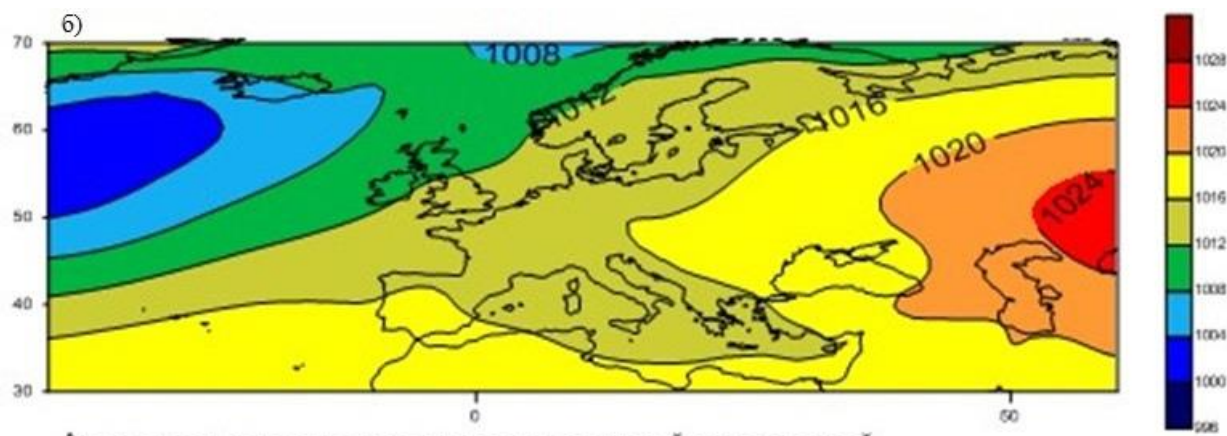


Рисунок 31- Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при южном положении Азорского антициклона зимой

При северном положении Азорского максимума над северным побережьем России температура повышена более, чем на 2 градуса, Азорский антициклон находится над Азорскими островами и Пиренейским полуостровом. При южном расположении Азорского антициклона на поле давления его центр не виден, в основном над Северной Атлантикой господствует Исландская депрессия. Температура над северо-западной частью России и восточной частью Скандинавского полуострова упала на 2,5 градуса, что не является следствием прохождения Азорского антициклона. Таким образом.

При северном положении Азорского максимума зимой над северным побережьем России температура повышена более, чем на 2 градуса. Зона высокого градиента давления между Исландским минимумом и Азорским антициклоном смещается на север, таким образом, это способствует адвекции теплых воздушных масс в более северные регионы Европы. Азорский антициклон находится над Азорскими островами и Пиренейским полуостровом. При южном расположении Азорского антициклона на карте поля давления его центр не виден, в основном над Северной Атлантикой господствует Исландская депрессия. Аномалия температуры над северо-западной частью России и восточной частью Скандинавского полуострова



составляет +2,5 градуса, что возможно является результатом усиления меридиональной циркуляции.

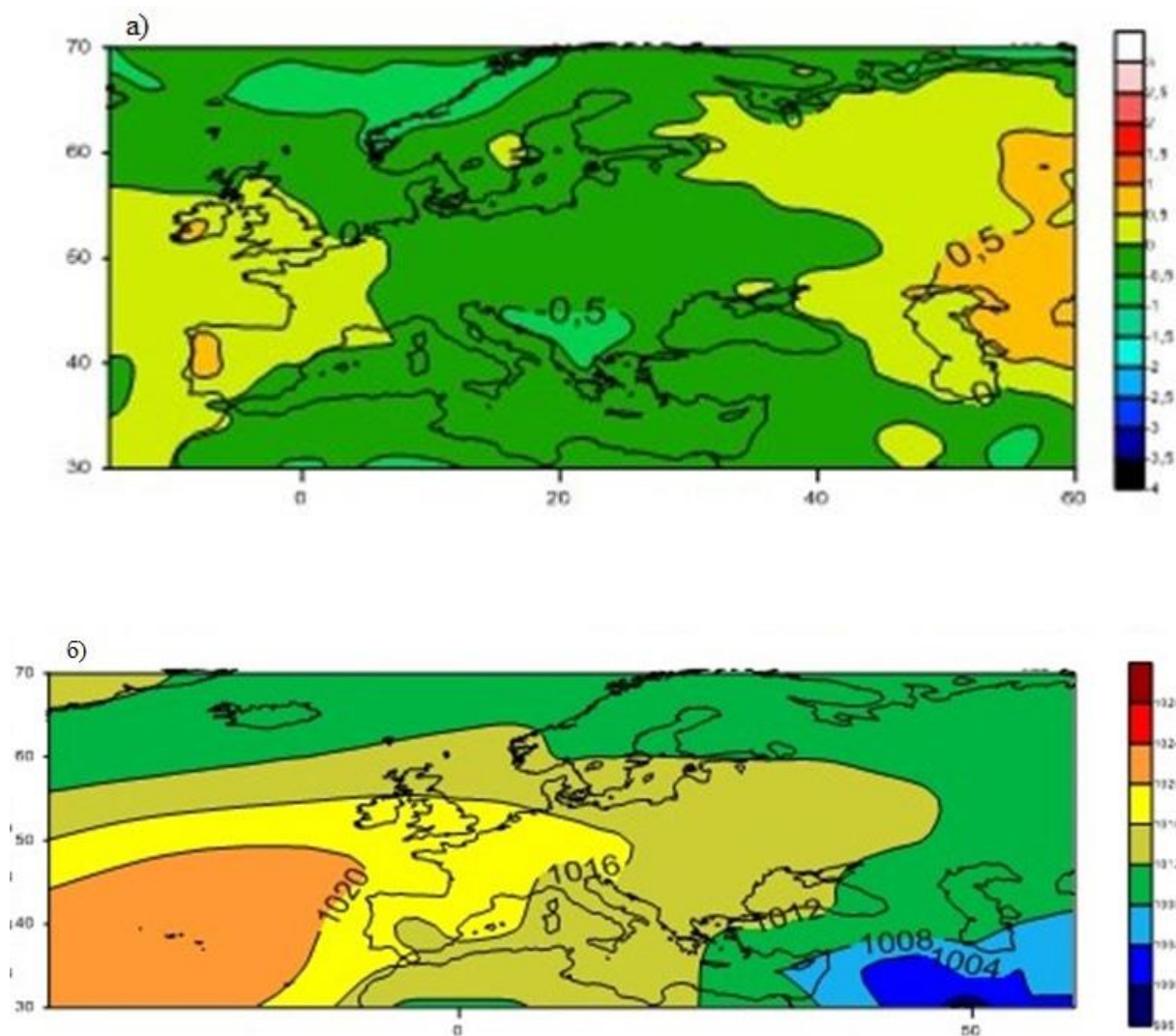


Рисунок 32 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при северном положении Азорского антициклона летом

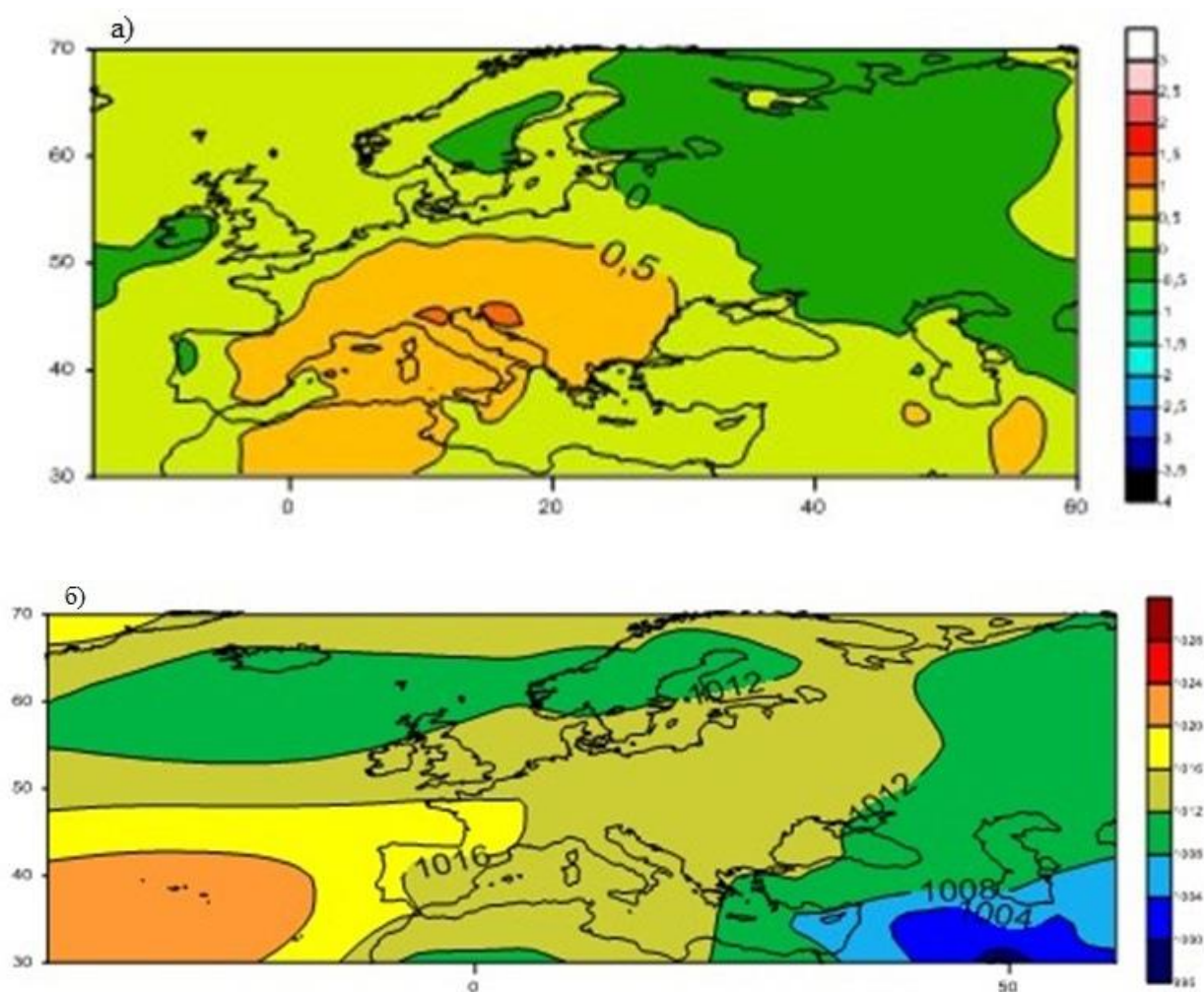


Рисунок 33 - Поля аномалий температуры воздуха (а) и давления на уровне моря (б) при южном положении Азорского антициклона летом

При северном положении Азорского антициклона летом изобара со значением 1020 гПа затрагивает Азорские острова и акваторию вблизи Западной Европы, однако существенных аномалий не наблюдается, местами температура повысилась на 0,5 градусов, однако это не связано с рассматриваемым максимумом. При южном расположении летом максимум находится над Азорскими островами, центр не затрагивает побережье Европы. Над севером Италии температура повысилась на 1 градус.

При северном положении Азорского антициклона летом изобара со значением 1020 гПа затрагивает Азорские острова и акваторию вблизи Западной Европы, однако существенных аномалий не наблюдается, аномалии

температуры находятся в пределах  $\pm 0,5$  градусов, и вероятно не связаны с рассматриваемым максимумом. При южном расположении летом максимум находится над Азорскими островами, центр не затрагивает побережье Европы. Над севером Италии аномалия температуры составляет  $+1$  градус.

Однако на данных полях распределения температуры и давления рассматривался центр Азорского антициклона, следовательно, возможно, что влияние могло бы оказывать расположение его гребня на территорию Западного и Южного Европы.

Таким образом, при любом отклонении от среднего значения рассматриваемых характеристик Азорского антициклона: атмосферного давления над уровнем моря, широтой и долготой – в зоне влияния самого антициклона не было отмечено заметных отклонений температур от средних значений.

Поскольку в летний период, как было показано, температуры не зависят от интенсивности и положения самого антициклона, следовательно, возможно, что влияние на температурный режим могло бы оказывать расположение его гребня на территорию Западного и Южного Европы.

#### 2.4 Анализ влияния расположения и интенсивности гребня Азорского антициклона на температуру воздуха

Сформирован массив данных аномалий температуры воздуха с 1940 по 2023 гг. над территорией западной и южной Европы (в квадрате от  $37^{\circ}$  до  $55^{\circ}$  с. ш. от  $-10^{\circ}$  до  $15^{\circ}$  з. д. только над сушей) для летних месяцев (июнь, июль, август). Источник данных - Национальное управление океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration, сокращенно NOAA) [10]. Выбор месяцев с максимально сильными



аномалиями температуры воздуха сделан визуально по графикам (рисунок 34).

Аномалии рассчитаны относительно периода 1991-2000 гг.

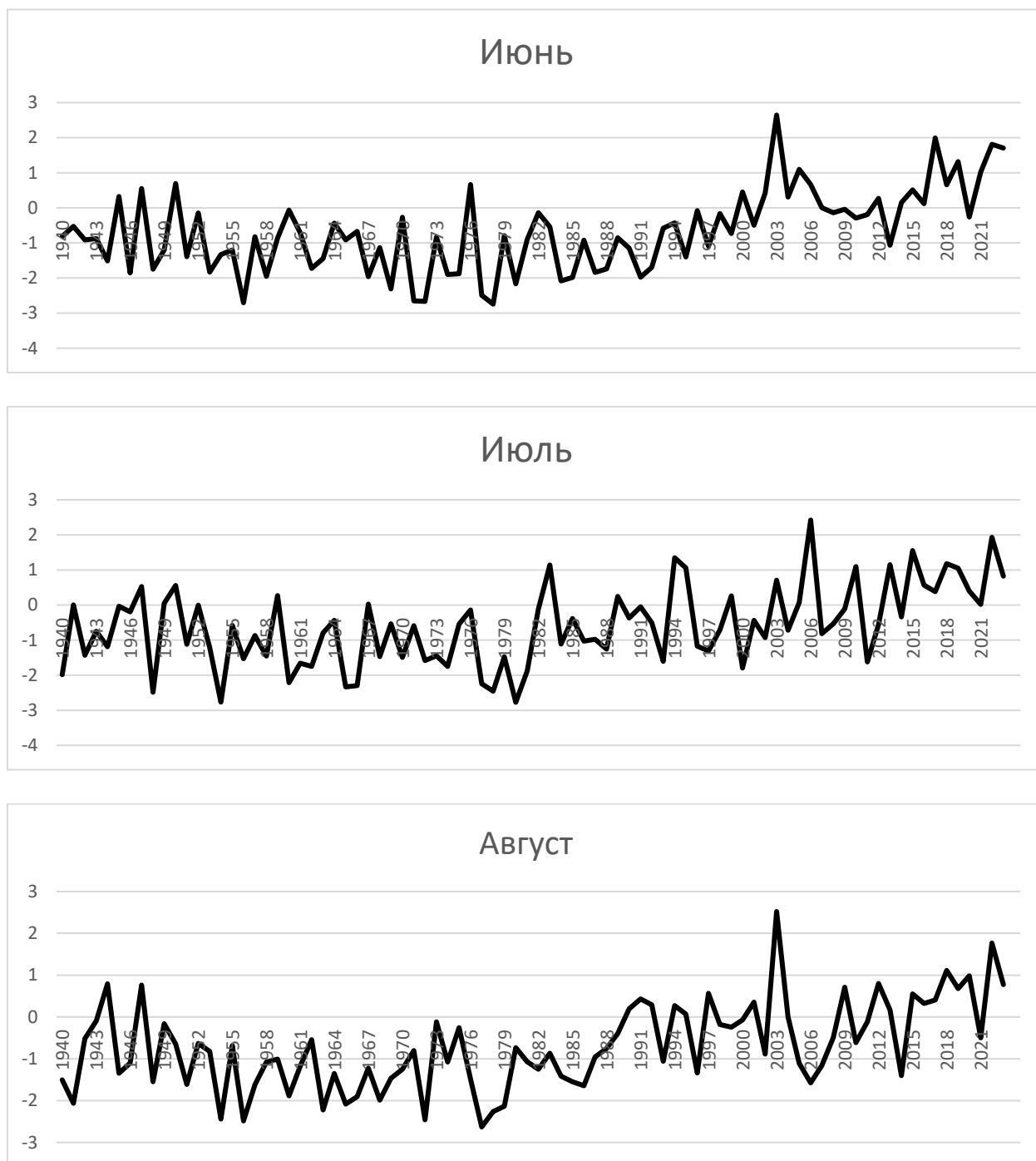


Рисунок 34 - График распределения значений повышения и понижения температуры воздуха в летние месяцы

Самое жаркое лето было в июне 2003 года, температура в том месяце была повышена относительно нормы на 2,6 градусов, а самое холодное лето

наблюдалось в августе 1972 года, температура была понижена на 2,4 градуса. Именно эти сроки выбраны для дальнейшего анализа. Поле распределения температуры и давления в данные сроки представлены на рисунках 34-35.

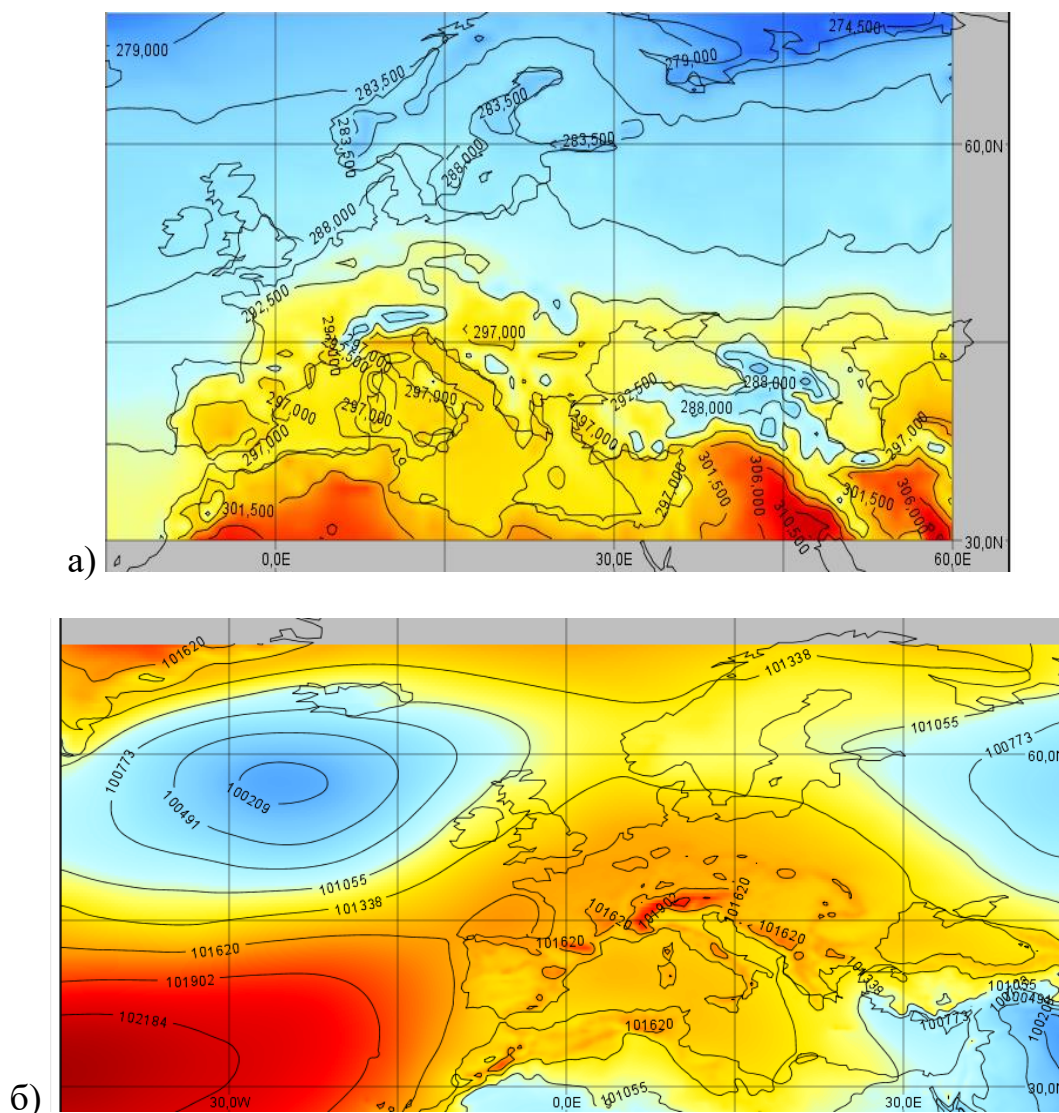


Рисунок 35 - Поля температуры воздуха (а) и давления (б) в аномально жаркое лето над территорией южной и западной Европы

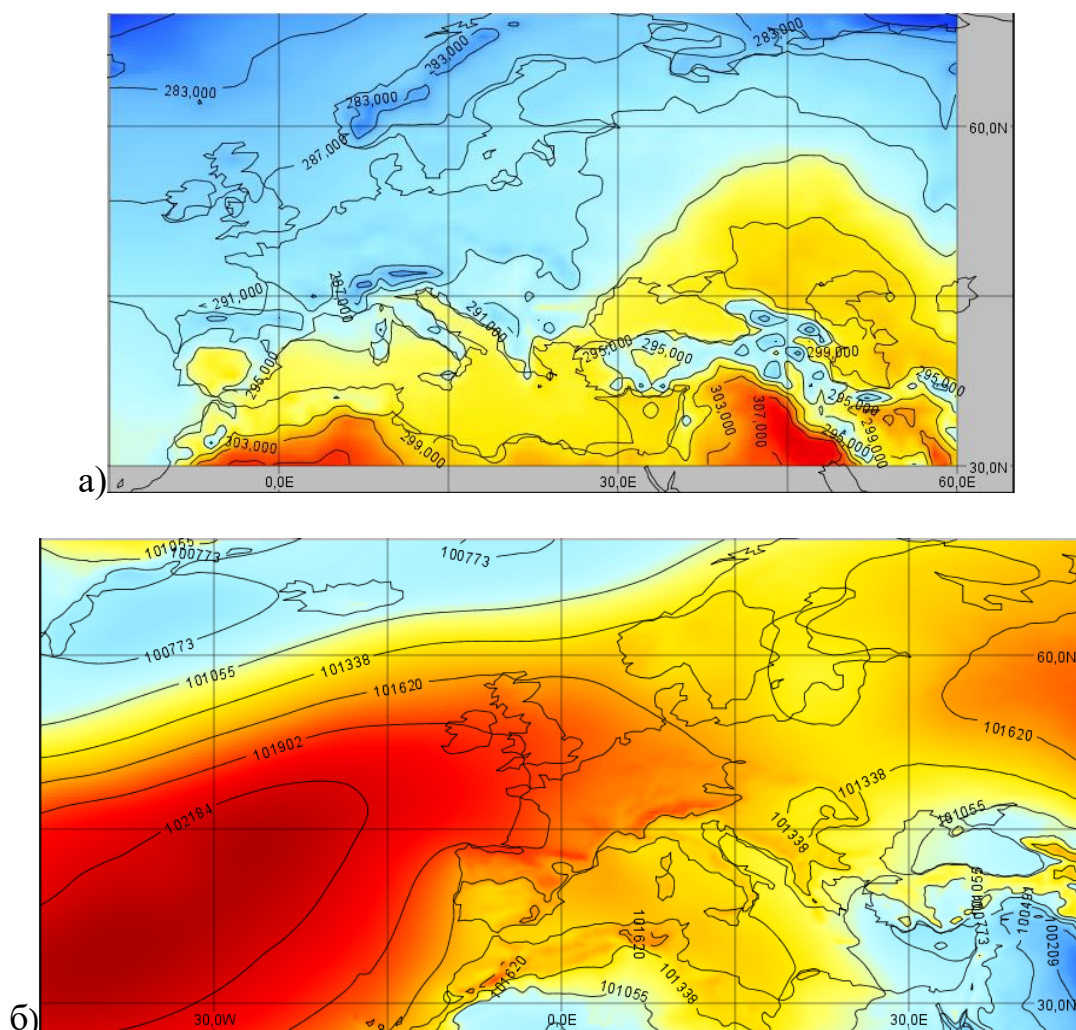


Рисунок 36 - Поля температуры воздуха (а) и давления (б) в аномально холодное лето над территорией южной и западной Европы

Летом гребень антициклона вытягивается на северо-восток. В июне 2003 года (см. рис. 35) гребень Азорского антициклона вытянут до побережья Пиренейского полуострова. В августе 1972 года (см. рис. 36) гребень охватывает западно-южную часть Ирландии и западно-южное побережье Великобритании, а также акваторию Бискайского залива и побережье Пиренейского полуострова. Наиболее высокое давление в гребне отмечается в холодные месяцы, пониженное – в жаркие месяцы. Таким образом, обосновать аномалии температуры здесь также довольно сложно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной выпускной квалификационной работы являлось исследование многолетней изменчивости Азорского антициклона за период с 1940 по 2023 гг. Было выдвинуто предположение, что в настоящее время на аномалии температуры воздуха западной и южной частью Европы, влияет интенсивность Азорского антициклона и расположение его центра и гребня.

В ходе работы был сформирован массив данных реанализа ERA5 среднемесячных данных атмосферного давления на уровне моря и температуре воздуха за период наблюдений с января 1940 до 2023, аномалий температуры воздуха за тот же период на территории.

Были построены и проанализированы графики распределения характеристик Азорского антициклона: максимального давления на уровне моря в центре, широте и долготе. Из анализа можно сделать следующие выводы:

- Максимумы интенсивности Азорского антициклона отмечаются в январе и июле и минимумы в марте и октябре. Наибольшая изменчивость интенсивности Азорского антициклона отмечается зимой в январе, наименьшая - в июле. С 1980 г. значения максимального давления на уровне моря в центре антициклона стали выше;

- Годовой ход широты центра Азорского антициклона прослеживается слабо, долготы - более хорошо выражен. Самое южное положение в январе, северное – в сентябре, западное – в июле, восточное – в октябре-декабре.

Анализ изменчивости характеристик по месяцам показал:

- В зимние месяцы происходили случаи разрушения Азорского антициклона, в редких случаях это происходит в осенний период, но начиная с 2010-х годов эти разрушения не наблюдались.

- В августе и сентябре значения максимального давления в центре Азорского антициклона наиболее устойчивые в отличие от зимних месяцев.

Таким образом, это подтверждает вывод о его ослаблении и неустойчивости зимой.

Проанализирована изменчивость характеристик Азорского антициклона по годам за рассматриваемый период. Отмечается устойчивое положение и интенсивность центра Азорского антициклона. Незначительное увеличение интенсивности наблюдается в зимние месяцы. Лето и зима – противоположные друг другу сезоны по распределению параметров Азорского антициклона.

В отобранные годы минимальной и максимальной активности Азорского антициклона построены поля аномальной температуры воздуха. Наиболее сильные отличия наблюдаются в зимний период. При высокой интенсивности наблюдаются положительные аномалии температур над территорией северной Европы, при низкой – отрицательные. Это обусловлено тем, что с усилением Азорского антициклона происходит усилением активности Исландской депрессии и, следовательно, западного переноса. В летний период и другие сезоны таких отличий не наблюдается.

По построенным графикам распределения температуры были выбраны случаи самого жаркого и самого холодного лета за период 1940-2023 гг. Так как поля давления также показали то, что Азорский антициклон нередко находится не только над Азорскими островами, но и нередко над территорией Испании и Португалии, для рассмотрения влияния гребня на аномалии температур была выбрана территория южной и западной Европы.

Проанализировав поле давления при аномально тёплых и аномально холодных летних месяцев над территорией Южной и Западной Европы, можно сделать вывод о том, что, несмотря на близкое положение гребня Азорского антициклона, его интенсивность и положение не влияют на температурный режим этих территорий.

Таким образом, несмотря на усиление интенсивности центра Азорского максимума за последние 40 лет, ни расположение, ни интенсивность центра и



гребня Азорского антициклона не являются непосредственной причиной аномалий температур.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Качанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. - РГГМУ, 1998.
2. Ю.П. Переведенцев, И.И. Мохов, А.В. Елисеев «ТЕОРИЯ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ» - КАЗАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ 2013 – 224 с.
3. Зубков, Р. Б., и Тихомиров, А. М. (2012). "Прогноз погоды: методическое руководство."
4. М.В. Шамаев «Вопросы климатографии, нарушение пассатной циркуляции на востоке Атлантического океана» - Главное управление Гидрометеорологической службы при совете министров СССР, труды главной геофизической обсерватории им. А . И . Воейкова, выпуск 142 - Ю.П. Переведенцев, И.И. Мохов, А.В. Елисеев «ТЕОРИЯ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ» - Казанский университет, 2013
5. Петрова, Н. Н. (2008). "Изменение климата: региональные аспекты."
6. Кондратович К.В. «Долгосрочные гидрометеорологические прогнозы в Северной Атлантике.» - ЛГМИ, 1983.
7. Е.С. Нестеров «Североатлантическое колебание: атмосфера и океан» - ФГБУ «Гидрометцентр России», 2013
8. U.S. National Science Foundation. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds633.0/> (дата обращения: 12.05.2022).
9. National Oceanic and Atmospheric Administration. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.noaa.gov/> (дата обращения: 12.05.2022).
10. Северо-атлантическое колебание и долгосрочный прогноз осадков по Европейской территории России / И.С. Манжулей, Л.А. Куликова – Текст: непосредственный // УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ РГГМУ. – 2018. – № 43. – С. 148–153

11. Зайцева Н. А. АЗОРСКИЙ АНТИЦИКЛОН // Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс]. – URL: <https://old.bigenc.ru/geography/text/1804920> (дата обращения: 12.05.2022).
12. ЭкоЦентр "Экосистема" [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.geonature.ru/geoslov/010.htm> (дата обращения: 12.05.2022).
13. WIKI 2. Переиздание. [Электронный ресурс]. – URL: [https://wiki2.org/ru/Внутритропическая\\_зона\\_конвергенции](https://wiki2.org/ru/Внутритропическая_зона_конвергенции) (дата обращения: 12.05.2022).
14. КЛИМАТ // Большая Советская энциклопедия. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rus-bse.slovaronline.com/35356> (дата обращения: 12.05.2022).