

**СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ  
„СВЕТИ КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“  
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ  
КАТЕДРА „КЛИМАТОЛОГИЯ, ХИДРОЛОГИЯ И  
ГЕОМОРФОЛОГИЯ“**

---

**Вълчо Петров Попхристов**

**КЛАСИФИКАЦИЯ НА ТИПОВЕТЕ  
АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛАЦИЯ ЗА РАЙОНА  
НА БЪЛГАРИЯ И ВРЪЗКАТА ИМ С  
ЕДРОМАЩАБНИ ЦИРКУЛАЦИОННИ  
ПРОЦЕСИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертация за придобиване на образователната и научна  
степен „доктор“ по област на висшето образование 4.  
Природни науки, професионално направление 4.4. Науки за  
земята (научна специалност: Климатология)**

**Научен ръководител: проф. д-р Георги Рачев**

**София, 2024**

## СЪДЪРЖАНИЕ

<b>УВОД</b> .....	<b>03</b>
Актуалност на темата.....	03
Цел и задачи на изследването.....	03
Ограничения на изследването.....	05
<b>ГЛАВА ПЪРВА. ЧЕСТО ИЗПОЛЗВАНИ КЛАСИФИКАЦИИ НА ТИПОВЕТЕ АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛАЦИЯ В РАЗЛИЧНИ ЧАСТИ НА СВЕТА</b> .....	<b>06</b>
<b>ГЛАВА ВТОРА. КЛАСИФИКАЦИЯ НА ТИПОВЕТЕ АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛАЦИЯ ЗА РАЙОНА НА БЪЛГАРИЯ</b> .....	<b>06</b>
<b>ГЛАВА ТРЕТА. СЕЗОНЕН, ГОДИШЕН РЕЖИМ И ТЕНДЕНЦИИ ПРИ ЦИРКУЛАЦИОННИТЕ ТИПОВЕ И ВРЪЗКАТА ИМ С ТЕМПЕРАТУРАТА И ВАЛЕЖИТЕ</b> .....	<b>10</b>
3.1. Годишни честоти на циркуляционните типове.....	10
3.2. Сезонни честоти на циркуляционните типове.....	13
3.3. Тенденции при различните циркуляционни типове.....	15
3.3.1. Тенденции при циркуляционните типове на 500 hPa.....	16
3.3.2. Тенденции при циркуляционните типове на приземното ниво.....	18
3.4. Връзка между циркуляционните типове с температурата и валежите.....	23
3.4.1. Връзка между приземните антициклонални типове и температурата...	23
3.4.2. Връзка между долините на 500 hPa и валежите.....	28
<b>ГЛАВА ЧЕТВЪРТА. ВРЪЗКА НА ЦИРКУЛАЦИОННИТЕ ТИПОВЕ С НЯКОИ ОСНОВНИ ЕДРОМАЩАБНИ ЦИРКУЛАЦИОННИ ПРОЦЕСИ</b> .....	<b>30</b>
4.1. Връзка на циркуляционните типове с Атлантическата мултидесетилетна осцилация АМО.....	30
4.2. Връзка на циркуляционните типове със Северно Атлантическата осцилация NAO .....	33
4.3. Връзка на циркуляционните типове с Арктическата осцилация АО.....	35
4.4. Връзка на циркуляционните типове с IOD.....	38
<b>ГЛАВА ПЕТА. ИЗВОДИ</b> .....	<b>43</b>
<b>Приноси на дисертационното изследване</b> .....	<b>46</b>
<b>Публикации по дисертационното изследване</b> .....	<b>47</b>
<b>Благодарности</b> .....	<b>47</b>

## УВОД

### Актуалност на темата

Климатът в определена точка от земната повърхност се определя на първо място от географската ширина, от релефа и надморската височина, от растителността и от близостта на малки и по-големи водни басейни. Взаимодействието на всички тези фактори влияе съществено на атмосферната циркулация.

Необходимостта от типизация на многообразието на синоптичните обстановки и анализирането на тяхната честота на появяване на месечна, сезонна и годишна база налага възникването т.нар. динамична или синоптична климатология.

Класификацията на типовете атмосферна циркулация за определен период от време е необходима, за да може да се оцени нейното влияние над определена територия. Това влияние не е еднозначно и зависи от редица метеорологични и географски фактори. Синоптичната климатология е подразделение в метеорологията и климатологията, което се занимава с типизацията на атмосферните процеси в по-дългосрочен (от няколко, до няколко десетки години) климатичен мащаб. Тя е възникнала вследствие на желанието за по-добро познание на синоптичните процеси в умерените ширини, а именно движението на въздушните маси, на центрoвете на баричните образувания и атмосферните фронтове във времето и пространството.

### Цел и задачи на изследването

Целта на дисертацията е да класифицира типовете циркулация за всеки един ден в периода 1871–2020 г. както на приземното ниво, така и на ниво 500 hPa за района на България, а също и да анализира честотата на появяване на всеки циркулационен тип за този 150 годишен период. След изработването на класификацията, ще се потърси взаимовръзка между циркулационните типове с най-важните метеорологични елементи – температурата на въздуха

и количеството на валежите в избрана представителна метеорологична станция на територията на България, както и връзка между всеки един от циркулационните типове от извършената класификация с някои известни едромасщабни циркулационни процеси и свързаните с тях циркулационни индекси.

За реализирането на тази цел е необходимо да се решат следните задачи:

- Преглед на изследванията по темата, както и на по-известните извършени класификации на атмосферната циркулация по света. По-специално внимание да се отдели на класификациите на територията на Европейския континент и особено на Балканския полуостров.
- Да се направи кратък исторически обзор на изследванията по тематиката за района на България.
- Да се разгледат основните методи използвани при класификациите и да се направи обосновка за избора на метода в настоящото изследване.
- Да се направи избор на реанализ за картите на баричната топография по които да се извърши класификацията.
- Да се направи описание на всеки един от циркулационните типове на двете изобарни нива, на посоката на движение на въздушните маси при неговото наличие и на тяхното климатично влияние.
- Да се изследват тенденциите/трендовете на типовете в 150 годишния период, както и по 30 годишните климатични периоди
- Да се извърши групиране (обединение) на някои циркулационни типове с цел да се подчертае тяхното климатично значение
- Да се извърши корелационен анализ на сезонна и годишна база на циркулационните типове и на групи от типове с температурата и валежите в избрана представителна метеорологична станция
- Да се проучат базите данни с архиви на циркулационните индекси и за всеки от тях да се определи периодът на изследване в зависимост от тяхното наличие и надеждност, за да се изследват взаимовръзките с извършената типизация на атмосферната циркулация за България.

- Да се извърши корелационен анализ на всеки един от циркулационните типове на двете изобарни нива с всеки един от гореспоменатите едромащабни циркулационни индекси.

### **Ограничения на изследването.**

Настоящото изследване се отнася за териториален район заключен между четиридесетия и четиридесет и петия паралел и двадесетия и тридесетия меридиан, включващ изцяло територията на България и части от съседните страни, а именно северна Гърция и Европейската част на Турция, източните части на Сърбия и северна Македония и южна Румъния. Разделителната способност на използваните синоптични карти от реанализите за изработката на ежедневната класификация на атмосферната циркулация е 2.5 X 2.5 географски градуса. Точната идентификация на отделните циркулационни категории се съпътства от някои проблеми, като определянето на границата между отделните типове може да се окаже трудна в някои случаи или поради голяма динамика на атмосферните процеси или при някои гранични условия. Този проблем е минимизиран до голяма степен от използването на карти на баричното поле през шест часа или четири пъти в денонощието. Също така баричните системи може да са с различна интензивност и при по-слабо изразените такива, най-вече през лятото, класификацията би могла да се окаже по-трудна.

**Научната новост** на изследването е ежедневната класификация на атмосферната циркулация над България на две изобарни нива (приземното ниво и на ниво 500 hPa в средната тропосфера), за първи път и за толкова голям – 150 годишен период (1871–2020).

**Научната значимост** на резултатите от изследването се състоят в установяването на определени изменения в циркулационните типове в сезонен и годишен аспект и съответните промени в атмосферната циркулация над България. Тези изменения са оценени и в контекста на климатичните промени. За показване на значимостта на подобно изследване, като примери са показани и взаимовръзките на циркулационните типове с

метеорологичните елементи температура и количество на валежите. Установени са определени взаимовръзки между едромашабните циркуляционни процеси и честотата на появяване на циркуляционните типове над България и по какъв начин те оказват пряко влияние на климата в България чрез влиянието на атмосферната циркуляция.

## **ГЛАВА ПЪРВА**

### **ЧЕСТО ИЗПОЛЗВАНИ КЛАСИФИКАЦИИ НА ТИПОВЕТЕ АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛАЦИЯ В РАЗЛИЧНИ ЧАСТИ НА СВЕТА**

В тази глава са разгледани основополагащи и утвърдени през годините класификации на атмосферната циркуляция като: Вангенгейм-Гирс (Vangengeim, 1935), първоначално за Атлантико-Европейския регион, а покъсно и за Тихоокеанско-Американския сектор (Girs, 1948); Хес-Брезовски (Hess and Brezowsky, 1952), (James et al., 2007), – отразяваща атмосферната циркуляция в централна Европа и Ламб (Lamb, 1972), (Jenkinson and Collison, 1977) – за Британските острови. Направен е исторически обзор на различни разработки в Националния Институт по Метеорология свързани с атмосферната циркуляция. Особено внимание е обърнато на фундаменталния за България труд по синоптична/динамична климатология „Типове време над България“ (Стефанов и др., 1960), както и на класификацията на атмосферната циркуляция за района на Гърция (Maheras et al., 2000), на чиято база е и разработената класификация за България в настоящия труд.

## **ГЛАВА ВТОРА**

### **КЛАСИФИКАЦИЯ НА ТИПОВЕТЕ АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛАЦИЯ ЗА РАЙОНА НА БЪЛГАРИЯ**

Съществуват два основни подхода при класификацията на атмосферните циркуляционни типове – субективен и обективен. **Субективният метод** (подход) се базира изцяло на опита на специалиста при

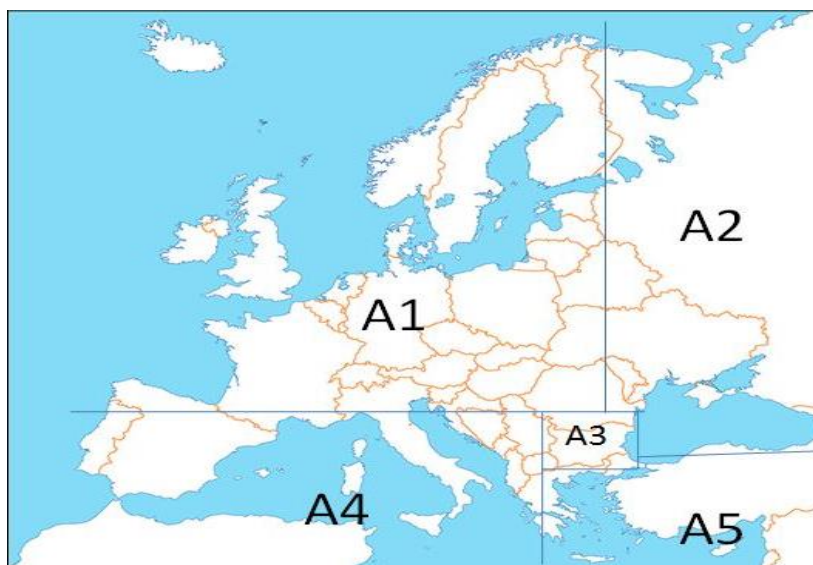
неговата преценка на определяне на дадена ситуация и класифицирането и в определен тип. **Обективният метод** от своя страна, изисква удовлетворяването на някакви условия и точно определени правила при класификацията. Най-общо, изисква се изпълнението на някакъв числен алгоритъм, за да може даден тип да бъде точно определен.

На следващия етап при съставянето и наименоването на циркулационните типове е необходимо да се вземе решение дали водеща ще е **посоката на движение на въздушните маси** над района на интерес или **посоката на центъра на баричното образувание** (циклон или антициклон) спрямо района за който се извършва класификацията. Класификацията обект на настоящата работа се базира на посоката на центъра на циклона или антициклона спрямо района за който се извършва класификацията.

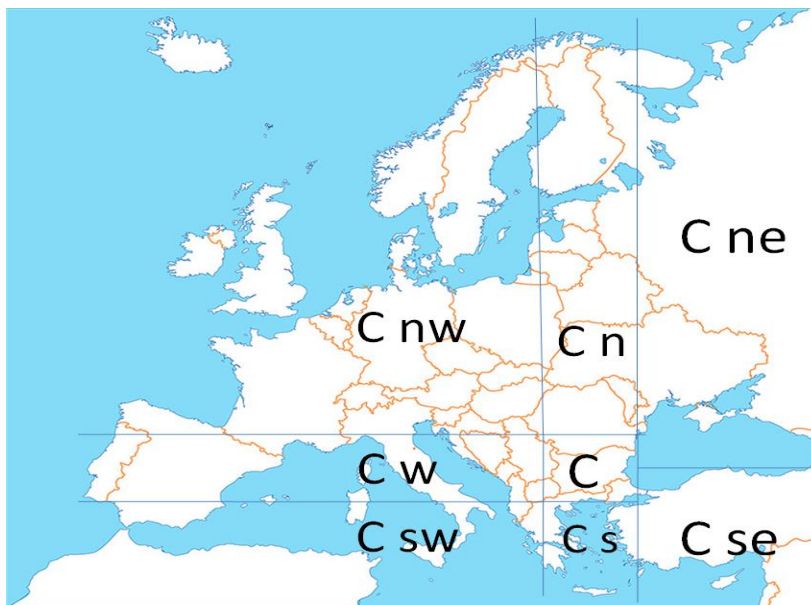
След запознаване с всички по-значими и общоприети типизации и класификации на атмосферната циркулация, както и на използваните методи за тяхното съставяне, бе избран **субективният метод**. При дефинирането на циркулационните типове също така е използван методът на посоката на **центъра на баричното образувание** спрямо България. Сложният релеф не само на територията на България, но и на околните територии в целия Балкански полуостров предопредели изборът на този метод като далеч по-подходящ, поради това, че релефът силно деформира посоката на вятъра във всяка конкретна точка и по тази причина другият метод на посоката на вятъра при определяне и дефиниране на циркулационните типове би бил много неподходящ за територията на България.

За извършване на класификацията са използвани данни за баричното поле на изобарно ниво 500 hPa и на приземното ниво (SLP) от метеорологичните реанализи на „20th century reanalyzes“ (Compo GP, Whitaker JS et al., 2011), NCEP CFSR/GFS Reanalyses (Saha S. et al., 2010) и NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). За всеки ден в 150 годишният период 1871–2020 са определени типовете на 500 hPa и на приземното ниво, по данни от баричните карти в 0, 6, 12 и 18 часа GMT, в зоната (30°–75° с.ш. и 20° з.д.–50° и.д.). Използвани са главно визуализациите на

(<http://www1.wetter3.de/Archiv/>). Обособени **13** типа за ниво **500 hPa** (5 антициклонални и 8 циклонални) и **16** типа за **приземното ниво** (6 антициклоални, 8 циклонални и 2 слабо градиентни). Повечето от тях схематично са представени на (фиг. 28) за антициклоналните и на (фиг. 29) съответно за циклоналните типове, като водеща е посоката на центровете на баричните образувания спрямо България и в същото време обхващащи нейната територия. За естествени разделители между циркулационните типове са използвани 45ти паралел между антициклоналните типове A1 и A4; 25ти меридиан, между A1 и A2; 40ти паралел между A4 и A5; 20ти меридиан, между A4 и A5; A3, ограничен между 20ти и 30ти меридиан и 40ти и 45ти паралел. Подобна е логиката и при циклоналните типове, но там разделителните линии между типове са 20ти и 30ти меридиан и 40ти и 45ти паралел, а между Cne и Cse – 43ти паралел. Трите типа, които не са изобразени на (фиг.28 и 29) са Mt2 – антициклонален тип обхващащ целия Европейски континент, Mb1 – слабоградиентен циклонален тип с баричен градиент по-малък от  $2.0\text{hPa}/2.5^\circ$  и Mb2 – слабоградиентен антициклонален тип с градиент по-малък от  $2.5\text{hPa}/2.5^\circ$ .



**Фигура 28 – Схема на разположението спрямо България на центровете на антициклоналните типове на 500 hPa и на приземно ниво (SLP)**



Фигура 29 – Схема на разположението спрямо България на центрите на циклоналните типове на 500 hPa и на приземно ниво (SLP)

**Климатични проявления на циркулационните типове на двете изобарни нива:** **A1** – посоката на вятъра е от северната четвърт на хоризонта, свързан е с нахлуване на студен въздух, особено на приземното ниво. **A2** – вятъра е от изток, североизток или север, асоциира се със студени континентални нахлувания през зимата и пролетта (гребен от Сибирския антициклон). **A3** – вятърът е слаб или липсва, свързва се с инверсионни обстановки, мъгли и слоеста облачност през студената част на годината. **A4** – западен или югозападен вятър на двете изобарни нива, топъл е през всички сезони (гребен от Азорския антициклон). **A5** – югоизточен поток, при земята е топъл тип, но във височина, особено през летния сезон би могъл да пренася и по-хладен въздух. **Cnw, Cw** – България е в топлата, челна част на тези циклони, възможни са съществени валежи пред топлия фронт, но и фьонове обстановки при големи барични градиенти. **Csw** – типичен Средиземноморски циклон, повече валежи в южните райони на България. **Cs** – валежни обстановки, по-значителни в югоизточна България. **Cse** – валежите са по-значителни в източна България, през зимата са възможни снежни виелици. **Cn** – възможни са големи температурни разлики между западна и източна България, значителни валежи **C** – значителни валежи в

цялата страна. **Cne** – по-значителни валежи са възможни в североизточна България, силен северозападен и северен вятър в северна България и районите в източна България, южно от Стара планина, податливи на „бора“ като сливенско. **Mb1** – възможни са значителни валежи през лятото, явява се най-често в комбинация с висок циклон или долина на 500 hPa. **Mb2** – по-малко вероятни са валежите отколкото при Mb1. **Mt2** – нахлуване на много студен въздух над цяла Европа, в комбинация обикновено с висока долина от североизток.

**Изследването на тенденциите** при циркулационните типове в изследвания период е извършено с помощта на широко използвания непараметричен метод на Mann-Kendal (Mann, 1945) за оценки на трендовете на различни параметри в метеорологията и климатологията. За определяне на стръмността и посоката на трендовете е използван методът на Sen-slope (Sen, 1968). Статистическата значимост на трендовете е изчислена при избрано ниво на значимост от 5%.

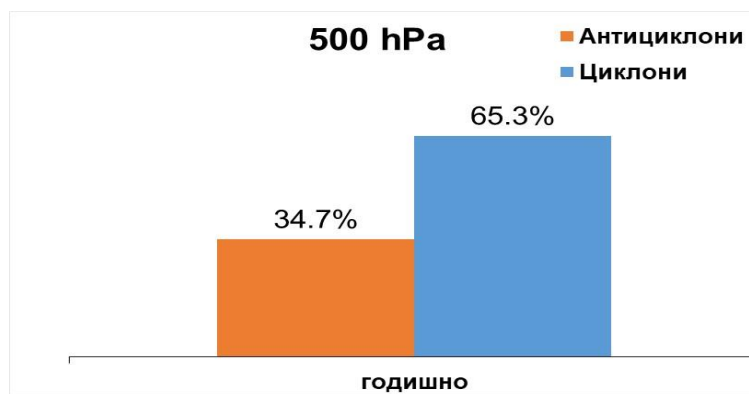
**Корелационният анализ** между честотите на циркулационните типове и индексите на едромашабните циркулационни процеси, както и с дадените примери със сезонните температури и количествата на валежите са извършени с помощта на методът на Пиърсън (SHAQIRI et al., 2023). Статистическата значимост на получените коефициенти на корелация са оценени при ниво на значимост от 5%.

## ГЛАВА ТРЕТА

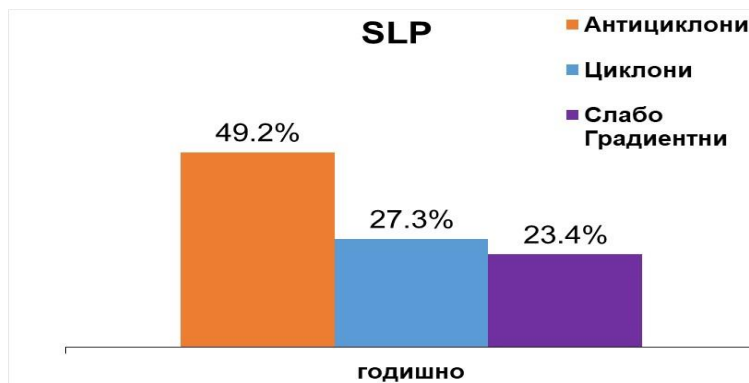
### ГОДИШЕН, СЕЗОНЕН РЕЖИМ И ТЕНДЕНЦИИ ПРИ ЦИРКУЛАЦИОННИТЕ ТИПОВЕ И ВРЪЗКАТА ИМ С ТЕМПЕРАТУРАТА НА ВЪЗДУХА И ВАЛЕЖИТЕ

#### 3.1. Годишни честоти на циркулационните типове

Средно за 150 годишния период (1871–2020) на изобарно ниво 500 hPa в над 65% от дните в годината атмосферната циркулация над България е циклонална, а в почти 35% от дните тя е антициклонална (фиг.57).



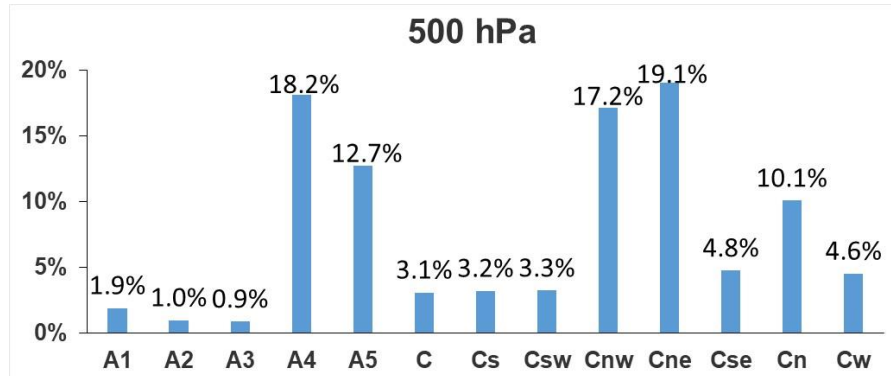
Фигура 57 – Сумарни честоти на циркуляционните типове на ниво 500 hPa (1871–2020)



Фигура 58 – Сумарни честоти на циркуляционните типове на приземното ниво (1871–2020)

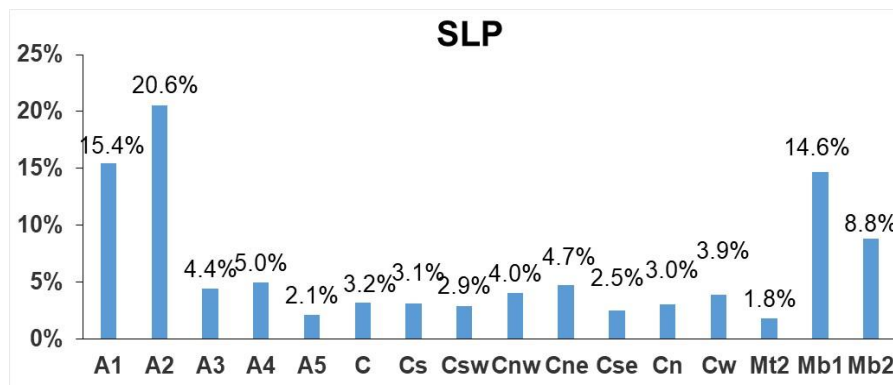
На приземното ниво обаче преобладават антициклоналните типове в почти половината от дните средногодишно, циклоналните типове присъстват в над 27% от случаите, а двата слабоградиентни типа се появяват в над 23% от дните в годината (фиг.58). Високите циклонални типове южно от страната са така наречените (cut off) циклони, откъснати от високата полярна фронтална зона и съществуващи отделно от нея в по-южните ширини около Средиземноморието. Както се забелязва и от (фиг.59), тяхната честота е значително по-малка от тази на северните циклонални типове. Същото, но с обратен знак се отнася за антициклоните на това изобарно ниво, южните антициклони са с далеч по-голяма честота от тези разположени северно от

страната, които представляват самостоятелни откъснати антициклони от зоната на по-високо атмосферно налягане от по-южните ширини.



**Фигура 59 – Честоти на циркуляционните типове на ниво 500 hPa (1871–2020)**

На приземното ниво ситуацията е доста по-различна, което става ясно и от (фиг.60).



**Фигура 60 – Честоти на циркуляционните типове на приземното ниво (1871–2020)**

Антициклоналните типове разположени на северозапад (A1 – 15,4%) и на североизток от страната (A2 – 20,6%) са доминиращите циркуляционни типове, средно сумарно съществуващи в повече от една трета от дните в годината. Слабоградиентните типове също имат сравнително голяма годишна честота, но тяхното влияние е значително по-голямо през топлото полугодие. Различните циклонални типове на приземното ниво по отделно са с годишни честоти по-малки от 5%, но въпреки това, всеки един от тях е от много голямо климатично значение поради факта, че по тези барични обстановки падат една съществена част от валежите над страната.

### 3.2. Сезонни честоти на циркулационните типове

За определяне на сезонните честоти на циркулационните типове, сезоните в настоящата работа са дефинирани според климатичното им определение, а именно: зима (декември, януари, февруари), пролет (март, април, май), лято (юни, юли, август) и есен (септември, октомври, ноември).

В сезонно отношение циркулационните типове на ниво 500 hPa и на приземното ниво също показват своите особености. Сумарно като цяло честотата на антициклоните, циклоните, а на приземното ниво и на слабоградиентните типове, има сезонен ход. На ниво 500 hPa циклоналната циркулация в 150 годишният период на изследването се среща най-често през зимата – средно в 68,8% от зимните дни и най-рядко през летния сезон – 61,2%. На приземното ниво, антициклоналните типове се срещат най-често през есента в 56,6% от дните и най-рядко през лятото – 43,4%. Циклоните са най-често явление в България през зимата в 37,8% от дните средносезонно, докато най-рядко те се срещат в летния сезон в едва 13,9% от случаите. Слабоградиентните типове се срещат най-често през лятото – 42,7% и най-рядко през зимата – 9,0%. В табличен вид са представени годишните и сезонните честоти за всеки циркулационен тип поотделно на изобарно ниво 500 hPa (табл. 5) и на приземното ниво (табл. 6). Със син, зелен, жълт и кафяв цвят са представени съответно зимния, пролетния, летния и есенния сезон, в който съответния циркулационен тип има максимум. С червен цвят е обозначено числото на типът, който има максимум измежду всички останали типове в съответния сезон, както и през годината. През зимата и пролетта на ниво 500 hPa, това е Cpe, докато на приземното ниво през тези два сезона доминира A2. През лятото с най-голяма честота от всички типове на 500 hPa се отличава A4, а на приземното ниво това е слабо градиентният тип Mb1. През есента на ниво 500 hPa най-често срещан е Cpw, а на приземното ниво, A2. На годишна база, типове Cpe и A2 доминират над всички останали, съответно на 500 hPa и на приземното ниво. В (табл.5) е показано, че почти половината от типовете на 500 hPa (6 от 13) имат максимум през зимата.

**Таблица 5. Годишни и сезонни честоти на циркулационните типове на 500 hPa над България в периода (1871–2020)**

	годишно	зима	пролет	лято	есен
A1	1.9%	2.7%	1.6%	1.5%	1.9%
A2	1.0%	0.8%	0.9%	1.4%	1.0%
A3	0.9%	0.6%	0.6%	1.5%	0.9%
A4	18.2%	12.3%	15.4%	26.9%	17.9%
A5	12.7%	14.9%	14.2%	7.5%	14.3%
Антициклони	34.7%	31.2%	32.7%	38.8%	36.1%
C	3.1%	2.3%	3.8%	3.3%	3.0%
Cs	3.2%	3.0%	3.9%	3.0%	2.9%
Csw	3.3%	4.1%	4.0%	2.1%	2.8%
Cnw	17.2%	16.2%	17.0%	16.8%	18.8%
Cne	19.1%	22.4%	17.7%	18.2%	18.0%
Cse	4.8%	4.3%	6.4%	4.7%	3.7%
Cn	10.1%	11.3%	9.4%	10.1%	9.7%
Cw	4.6%	5.2%	5.1%	3.0%	5.0%
Циклони	65.3%	68.8%	67.3%	61.2%	63.9%

**Таблица 6. Годишни и сезонни честоти на циркулационните типове на приземното ниво над България в периода (1871–2020)**

	годишно	зима	пролет	лято	есен
A1	15.4%	15.2%	11.0%	18.7%	16.7%
A2	20.6%	18.1%	22.2%	14.6%	27.2%
A3	4.4%	6.3%	3.1%	3.2%	5.0%
A4	5.0%	6.4%	3.5%	6.3%	3.6%
A5	2.1%	3.4%	2.6%	0.5%	2.1%
Mt2	1.8%	3.8%	1.3%	0.1%	1.9%
Антициклони	49.2%	53.2%	43.6%	43.4%	56.6%
C	3.2%	2.9%	4.3%	2.6%	2.9%
Cs	3.1%	5.6%	3.0%	1.5%	2.5%
Csw	2.9%	6.2%	2.9%	0.2%	2.5%
Cnw	4.0%	4.5%	5.5%	1.9%	4.1%
Cne	4.7%	5.7%	5.3%	3.3%	4.5%
Cse	2.5%	3.1%	3.4%	2.0%	1.6%
Cn	3.0%	3.5%	4.1%	1.5%	2.8%
Cw	3.9%	6.4%	4.2%	0.8%	4.3%
Циклони	27.3%	37.8%	32.6%	13.9%	25.3%
Mb1	14.6%	4.8%	15.9%	26.5%	11.4%
Mb2	8.8%	4.2%	7.8%	16.2%	6.7%
Сл. Градиентни	23.4%	9.0%	23.8%	42.7%	18.1%

Точно половината от типовете на приземното ниво (8 от 16), също имат максимум през зимата (табл.6). Това са четири антициклонални (A3, A4, A5, Mt2) и четири циклонални типа (Cs, Csw, Cne, Cw). През пролетта максимум имат три циклонални типа на 500 hPa (C, Cs, Cse) и четири типа на приземното ниво (C, Cnw, Cse, Cn). С максимум през лятото са антициклоналните типове на 500 hPa (A2, A3, A4), двата слабоградиентни

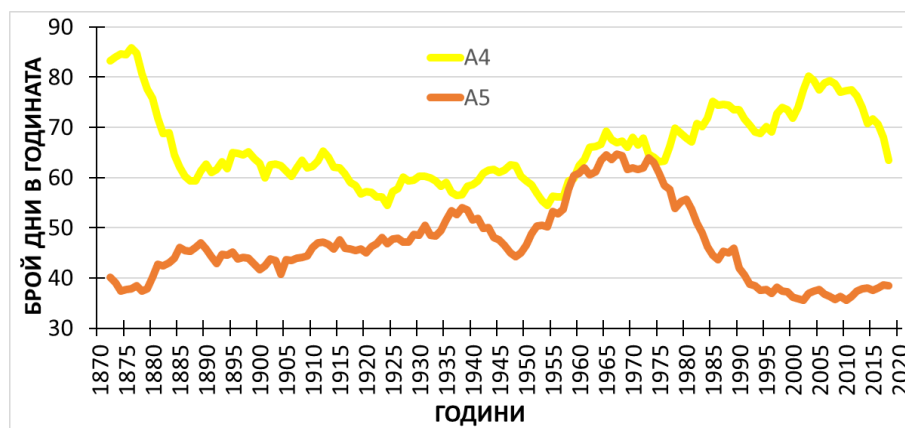
типа на приземното ниво (Mb1, Mb2) и антициклоналният тип A1. През есента максимумите имат само типове Cnw на 500 hPa и антициклоналният приземен тип A2. От (табл.5) става ясно, че на изобарно ниво 500 hPa най-голямата сезонна честота имат гребените от Азорския антициклон през лятото (тип A4), който се появява средно в 26,9% от дните през лятото в изследвания период. През зимата обаче това не е така и най-голямата честота сред антициклоналните типове на 500 hPa има тип A5. В (табл. 6) се забелязват летните минимуми и зимните и пролетни максимуми в повечето южни и западни циклонални типове на приземното ниво, асоциирани със Средиземноморските циклони. Освен това, през пролетта честотата им е по-висока отколкото през есенния сезон.

### **3.3. Тенденции при различните циркулационни типове**

Изследвани са трендовете при годишните и сезонните честоти на всеки един циркулационен тип на двете изобарни нива в изследвания 150 годишен период (1871–2020). Освен това са изследвани трендовете и в петте 30 годишни периода (1871–1900; 1901–1930; 1931–1960; 1961–1990 и 1991–2020) съдържащи се в него. Последното е направено с цел да се изследват промените при циркулационните типове и по приетите от Световната Метеорологична Организация 30 годишни климатични периоди. За оценка на статистическата значимост и големината/стръмността на трендовете са използвани методите на Mann-Kendal (Mann, 1945) и Sen-slope (Sen, 1968). Изчисленията са направени при избрано ниво на значимост от 5% ( $\alpha=0,05$ ). Ако изчислената стойност на p-value е по-малка от тази стойност, то трендът е статистически значим. За посоката и стръмността на тренда пък се съди по знакът и стойността на оценката по метода на Sen-slope (т.нар. Sen-slope estimator) Qm.

### 3.3.1. Тенденции при циркуляционните типове на 500 hPa

Трендовете при типове A1, A2 и A3 на 500 hPa не са представени, защото поради техните малки годишни и особено сезонни честоти, в редиците им съществуват много нулеви стойности, което води до некоректни резултати при изчисляване на тренда. В изследвания 150 г. период се наблюдава положителна тенденция на годишна база, макар и статистически незначима при тип A4. Този тип е със затоплящо влияние и е една от причините, допринасящо за затоплянето в климатичен аспект. При A5 не се наблюдава тренд в изследвания период като цяло, но в последните 60 години той е отрицателен през лятото и есента, за разлика от A4. На (фиг.68) са представени годишните разпределения на типове A4 и A5 на 500 hPa, като за прегледност и по-отчетлива визуална преценка на техните тенденции в изследвания период са използвани техните 11 годишни пълзящи средни стойности. Става ясно, че около шестдесетте и седемдесетте години на 20 век, стойностите на двата типа годишно са били почти изравнени, докато в последните десетилетия честотата на A4 се увеличава, докато на A5 намалява значително. Подобна голяма разлика между двата типа е имало в началото на изследвания период около седемдесетте години на 19 век.

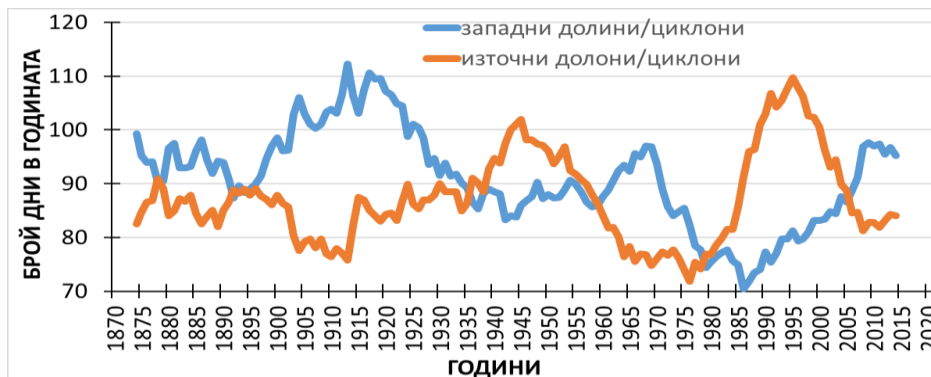


Фигура 68 – Годишно разпределение на циркуляционните типове A4 и A5 на 500 hPa (1871–2020)

Комбинациите на определена група от циркуляционните типове, независимо на кое изобарно ниво, е сравнително трудна задача. Такова

комбиниране се прави с цел да се обединят типовете по някакъв показател, най-често географски, спрямо територията за която са създадени, за да се подчертаят общите черти на тяхното климатично влияние. Относно циклоналните типове на 500 hPa, са подбрани три групи от типове, на циклоните разположени западно от страната (Cnw, Cw и Csw), с ос над нея (Cn, C и Cs) и източно от България (Cne и Cse) . При типовете с ос западно се предполага, че страната се намира в челната част на тези високи долини или циклони и че това води до циклогенез в по-ниските части на тропосферата в близост до земната повърхност, а съответно това в повечето случаи води до образуването на облачност и евентуално до валежи. Сумарно трите типа също имат статистически значимо намаление. При високите долини (циклони) на ниво 500 hPa разположени източно, България се намира в тяхната тилна част и това води до антициклогенез и подпомага развитието на антициклонална циркулация на приземното ниво. Ето защо, наличието на тези два циклонални типа на 500 hPa (Cne и Cse), обикновено не се асоциира със сериозни валежни обстановки.

Годишното разпределение на долините или циклоните разположени с ос западно от страната (типове Cnw, Cw и Csw) и тези източно от нея (типове Cne и Cse) са изобразени на (Фиг.70), като отново за прегледност са използвани 11 годишните пълзящи средни стойности. Долините с ос над страната не са изобразени тук ( типове Cn, C, Cs), защото те заемат междинна позиция между източните и западните долини, тяхната честота е относително по-малка, а и климатично им влияние не е така ясно изразено.

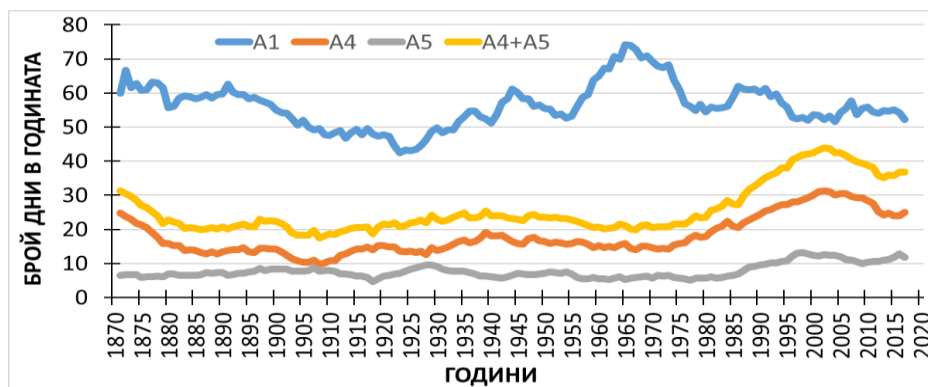


**Фигура 70 – Годишно разпределение на западните и източните барични долини/циклони на 500 hPa (1871–2020)**

Анализът на данните показва, че сумарно трендът на западните долини е отрицателен и статистически значим, а на източните е положителен, макар и да не е статистически значим. На (Фиг.70) се забелязват 50, 60 годишни цикличности и при източните и при западните долини, като интересното тук е, че двата типа долини са почти в противофаза, т.е общо взето минимумът на едните почти съвпада с максимума на другите. Доказателство за това, че има връзка между западните високи (на 500 hPa) долини и количеството на валежите са максимумите, които се наблюдават през шестдесетте години на двадесети век и в последните години, както и минимумът около 1990 година, които много добре съвпадат с режима на валежите в някои метеорологични станции в България. Този резултат би могъл до известна степен да има и прогностична стойност в близкото или по-далечно бъдеще, след сегашния максимум на валежите в следващите 2, 3 десетилетия би трябвало да следва известно понижение! За механизмите, които стоят зад тази цикличност на високите долини е необходимо разбира се да се извършат допълнителни изследвания, защото връзките в климатичната система не винаги са еднозначни.

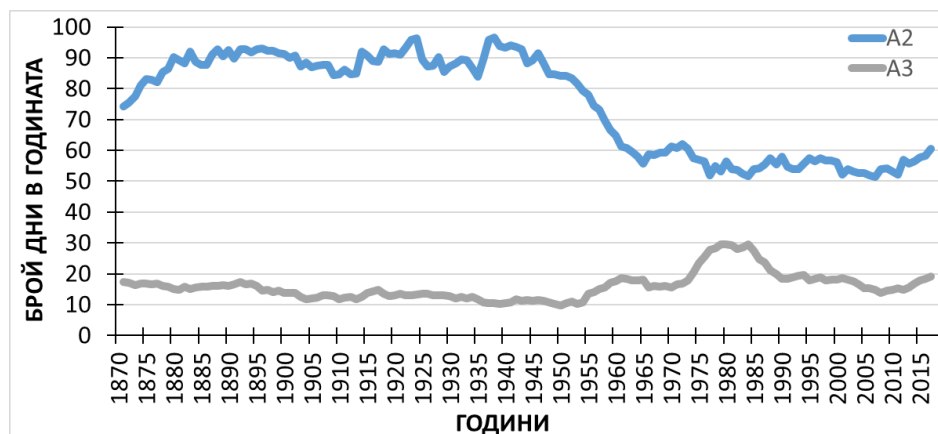
### **3.3.2. Тенденции при циркулационните типове на приземното ниво**

Антициклоните над страната (тип А3) и тези южно от нея (А4 и А5), претърпяват статистически значимо увеличение в изследвания период. Това са циркулационни типове, които в повечето случаи водят до затопляне при тяхното наличие. А2 като антициклон разположен в източно европейската равнина, би могъл да представлява и гребен от Сибирския антициклон и принципно се асоциира с пренос на студен въздух към България. Неговият негативен тренд е статистически значим. На (Фиг.71) са изобразени годишните разпределения на приземните антициклонални типове А1, А4, А5, както и сумарната честота на (А4+А5).



**Фигура 71 – Годишно разпределение на приземните антициклонални типове A1, A4, A5 и A4+A5 (1871–2020)**

Тип A1 като разположен северозападно от страната, в повечето случаи е причина по източната му периферия да се спускат въздушни маси от по-северни ширини, което като резултат води до по-хладно или студено време над Балканите и в частност България. Типове A4 и A5, като южно разположени, обратно, спомагат по-топли въздушни маси от района на Средиземноморието или северна Африка да достигат страната. По тази причина е приложена на графиката и тяхната сумарна честота, като освен това разпределението на двата типа е доста сходно. Забелязва се подчертано тяхно увеличение след 1980 г. като сумарно те почти достигат честотата на A1 след 2000 г. като в миналото разликата в честотите им е била 2, 3 пъти в полза на A1. Честотата на A1 слабо се увеличава за целия 150 г. период, но особено в предпоследния климатичен период 1961–1990 бележи статистическо значимо намаление. Антициклоните с център североизточно от страната (тип A2) претърпяват статистически значимо намаление в 150 годишния период, а тези с център над България имат статистически значимо увеличение, най-вече заради по-честото му появяване през втората половина на 20 век (Фиг.72). Това, че честотата на южните антициклони на приземното ниво се увеличава през последните няколко десетилетия, а на северните намалява, е още една от причините за затоплянето над България от гледна точка на атмосферната циркулация.

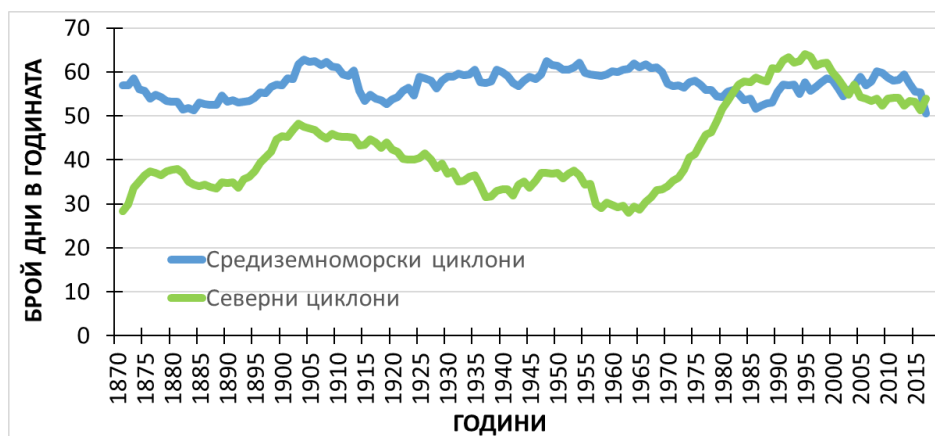


**Фигура 72 – Годишно разпределение на приземните антициклонални типове A2 и A3 (1871–2020)**

При циклоналните типове на приземното ниво беше избран подход при който те да бъдат разделени на два типа – Средиземноморски (Cw, Csw, C, Cs, Cse) и северни (Cnw, Cn, Cne). Презумпцията е, че циклоните с център над страната или южно и западно от нея със сигурност имат Средиземноморски произход и биха могли да бъдат класифицирани като такива. Циклоните с център северно от страната са най-често с Атлантически произход, преминаващи северно от страната през централна и източна Европа. Разгледани по отделно, при Средиземноморските циклонални типове се забелязва слабо понижение при циклоните разположени западно от страната, като то е най-значително в периода 1961–1990. Статистически значимо е понижението при циклоните с център над България, а повишение се наблюдава при циклоните с център южно и особено югоизточно от нея. Съществуват и някои сезонни различия в еднакви периоди, като например това, че при Cse зимата се наблюдава слабо повишение, докато в същото време техният брой намалява значително през пролетния сезон в последния климатичен период 1991–2020. Цялостно за 150 годишния период при Средиземноморските циклони не се забелязва тренд, през есента и зимата намалява броя им, а през пролетта и лятото се увеличава.

Северните циклонални приземни типове претърпяват статистически значимо увеличение в периода на изследване и това е най-големия тренд от всички типове и на двете изобарни нива. Поотделно разгледани, Cn и Cne

имат статистически значими трендове, докато само при Spw не се наблюдава такъв на годишна база. Годишните разпределения на Средиземноморските и северните циклони са представени на (фиг.73).



**Фигура 73 – Годишно разпределение на приземните средиземноморски и северни циклонални типове (1871–2020)**

Една от вероятните причини за значителното увеличение на циклоните разположени северно от страната след седемдесетте години на 20 век е свързана с арктичния и полярния фронтове от високата фронтална зона на ниво 500 hPa. Арктичния фронт схематично разделя, най-общо, полярните по-студени въздушни маси от по-топлите в умерените ширини, а т.нар. полярен фронт е разположен по-южно и разделя въздушните маси на умерените ширини от субтропичните въздушни маси. Това са условни разделения, които не са строго разпределени по паралелите в северното полукълбо, а тези фронтални зони меандрират, по някой път дори не се забелязват или не са ясно различими на баричните карти. Те имат средносезонно пространствено разпределение, като най-общо през топлото полугодие се придвижват на север, а в студеното се разполагат в по-южни ширини. Предполага се, че в следствие на глобалното затопляне в последните десетилетия, техните средни сезонни позиции в северното полукълбо са се придвижили до някаква степен в северна посока.

Разгледани заедно слабоградиентните типове увеличават статистически значимо своята честота. През последния 30 годишен климатичен период и

двата типа увеличават честотата си. Много проливни валежи със значителни валежни количества през летния сезон падат именно при барични обстановки със слабо градиентно циклонално поле на приземното ниво в комбинация с наличие на долина или циклон в средната тропосфера на изобарно ниво 500 hPa.

В (табл. 15) са представени тенденциите за целия изследван период сумарно на всички антициклонални и циклонални типове и на двете изобарни нива, а също и на слабоградиентните типове на приземното ниво.

**Таблица 15. Тенденции при типовете на 500 hPa и при типовете на приземното ниво (SLP) в периода (1871–2020).**

<b>500 hPa</b>	<b>1871 – 2020</b>
Антициклони	+
Циклони	–
<b>SLP</b>	<b>1871 – 2020</b>
Антициклони	– –
Циклони	+ +
Сл. Градиентни	+ +

На 500 hPa се наблюдава увеличение на антициклоналната циркулация и реципрочно намаление на циклоналната. Въпреки че тенденциите на 500 hPa не са статистически значими за разглеждания 150 годишен период, може да се предположи, че увеличаването на антициклоналната циркулация в средната тропосфера над нашите ширини е продиктувана до някаква степен и от затоплянето на климата. Разширяването на обхвата на Азорския антициклон се доказва и за двете изобарни нива от настоящото изследване, в частност за района на България, но съществуват изследвания, които свързват това с антропогенното затопляне (Cresswell-Clay et al., 2022) в индустриалната ера, след втората половина на 19 век и особено в последните десетилетия на 20 век. От друга страна е известно, че високите антициклони са топли барични образувания и по-честото им наличие би трябвало да води до по-високи температури и на земната повърхност, което е особено характерно за топлото полугодие.

На приземното ниво се наблюдава статистически значим отрицателен тренд при антициклоните и статистически значим положителен тренд при

циклоните и слабоградиентните типове. Това също е логичен резултат с оглед на настоящото затопляне, защото по-топлата земна повърхност инициира възходящи движения, което е в основата на приземния циклогенез. Положителната тенденция при слабоградиентните типове също може да се счете като следствие от затоплянето на климата, защото намаленият температурен контраст между екватора и полюсите води до по-слаби барични градиенти в умерените ширини. Това твърдение е валидно за всички сезони, но най-вече за летния сезон.

### **3.4. Връзка между циркулационните типове с температурата на въздуха и валежите**

Целта на настоящата точка в тази глава е да покаже някои от откритите взаимовръзки между циркулационните типове на двете изобарни нива с двата най-основни метеорологични елемента – температурите и количеството на валежите. За изпълнение на настоящата цел е подбрана централната метеорологична станция на НИМХ в гр. София, като такава с надеждна и коректна метеорологична информация, достъпна и достатъчно дълга редица от климатични данни.

#### **3.4.1. Връзка между приземните антициклонални типове и температурата**

Изследвана е зависимостта между всички шест антициклонални приземни типа и сезонната температура. Избрани са сезонните стойности на температурата, като се има предвид климатичните сезони. Зимата се формира от трите календарни месеца (Декември, Януари и Февруари), пролетта (Март, Април, Май), лятото (Юни, Юли, Август) и есента (Септември, Октомври, Ноември). Сезонните температури се формират като средни от месечните температури, а месечните съответно от средно денонощните температури. Изследвания период е 1952–2020 година и бележи първата година откакто метеорологичната станция в София е разположена на сегашната си локация.

За изследване на зависимостите между циркулационните типове и температурата са изчислени коефициентите на корелация на Пиърсън

Пресметната е и статистическата значимост на коефициента на корелация с помощта на t-test при избрано ниво на значимост  $\alpha = 0.05$ . Направен е и тест на Ман-Кендъл за оценка на значимостта на тренда на типовете в периода 1952–2020 г. Стойностите на значимите коефициенти на корелация са означени с червен цвят за положителна (права) корелация и със син цвят за отрицателна (обратна) корелация. Със стрелки са означени посоките на тренда, а с лилав цвят са подчертани само значимите трендове. Преди това, информативно е представена таблица с честотите на антициклоналните типове на приземното ниво в периода 1952–2020 (табл. 17).

**Таблица 17. Сезонни честоти на антициклоналните приземни типове в периода (1952–2020).**

	зима	пролет	лято	есен
A1	17.1%	10.8%	17.4%	19.0%
A2	14.1%	16.5%	11.3%	22.9%
A3	6.1%	3.7%	4.7%	5.8%
A4	7.4%	4.2%	7.0%	5.0%
A5	3.5%	2.9%	0.6%	2.1%
Mt2	1.9%	1.1%	0.2%	1.2%
Антициклони	50.0%	39.2%	41.2%	56.0%

По-честото наличие на антициклонален тип А1 води до застудяване през всички сезони като най-отчетливо това се случва през есента и зимата (табл.22). През тези два сезона студените въздушни маси, с произход централна, северна Европа, Гренландия или районите на Северно или Балтийско море, достигат по-южни ширини и наличието на подобен антициклон спомага за транспортирането им на юг, по източната му периферия. Над Балканите и в частност България такива въздушни маси нахлуват от северозапад, север или североизток в зависимост от разположението на изобарите на конкретното барично образувание. Тенденцията на този тип е отрицателна през всички сезони, но не е статистически значима.

**Таблица 22. Сезонни корелации с температурата и тенденции на тип А1**

A1	зима	пролет	лято	есен
Корелация	-0,286	-0,182	-0,209	-0,343
Тенденция	↓	↓	↓	↓

В (табл. 23) са показани корелацията и тенденциите през различните сезони при тип А2. Тип А2 влияе на Балканите и България транспортирайки континентални въздушни маси от източната четвърт на хоризонта. Тези въздушни маси могат да бъдат формирани в районите на източно Европейската равнина, западен Сибир или по-южно в Казахските степи и дори Мала Азия. Интересното при тип А2 е, че през пролетта той носи пониски температури, а през есента по-високи. Това от една страна вероятно се дължи отчасти на инерцията на температурата на морската вода на Черно море, но също така и на това, че поне през първата половина на есента континенталните въздушни маси идващи към Балканите от тези ширини са все още сравнително топли, докато поне през първата половина на пролетта значителна част от същите тези площи са заети все още от снежна покривка.

**Таблица 23. Сезонни корелации с температурата и тенденции на тип А2**

A2	зима	пролет	лято	есен
Корелация	-0,003	<b>-0,249</b>	0.165	<b>0.256</b>
Тенденция	↓	↓	↓	↔

През лятото положителната корелация е по-слаба, а през зимния сезон корелация със сезонната температура в София липсва. Тенденцията при този тип е отрицателна с изключение на есенния сезон. Статистически значима е отрицателната му тенденция само през пролетта. Тези резултати показват, че и при тип А2 тенденциите спомагат за затоплянето на климата.

Антициклоналният тип А3 се формира над Балканите и над страната, но също така преди това може да е бил тип А1 или А2. Характерно при него е, че вятър почти отсъства и постепенно въздушната маса приема свойствата на подложната повърхност в която е формиран. Корелация със средната температура в София няма през пролетта и лятото, през есента тя е леко отрицателна, а през зимата положителна, но през никой сезон не е статистически значима. Това показва, че този тип може да се проявява по различни начини в зависимост от състоянието на подложната повърхност преди неговото формиране, наличието на влага в атмосферата, а през зимата

и на снежна покривка. Трендът е положителен през пролетта и лятото и отрицателен през зимата, но не е статистически значим (табл. 24).

**Таблица 24. Сезонни корелации с температурата и тенденции на тип А3**

А3	зима	пролет	лято	есен
Корелация	0,125	0.008	0.003	-0.139
Тенденция	↓	↑	↑	↔

Статистически значима е корелацията на тип А4 със сезонната температура в София само през летните месеци, но тя е най-голяма от всички типове и всички сезони. Този тип води до най-значимо повишение на средната температура през лятото. Трендът също е статистически значим в три от сезоните. По-честото появяване на този тип в съвременето е най-вероятно една от съществените причини за затоплящите се лета през последните близо четиридесет години. Липсата на корелация през пролетта може да се дължи на по-ниската температура на морската вода в Средиземноморието в сравнение с по-бързо затоплящата се суша, а през есента обратното, като вероятно влиянията се компенсират в зависимост от това дали въздушните маси достигащи България са от морски или континентален произход (табл. 25).

**Таблица 25. Сезонни корелации с температурата и тенденции на тип А4**

А4	зима	пролет	лято	есен
Корелация	0,159	0,055	<b>0,557</b>	0.083
Тенденция	↑	↑	↑	↑

При тип А5, разположен югоизточно от страната посоката на въздушния поток е от юг и югоизток, от района на източното Средиземноморие, от където през зимата и пролетта нахлуват по-топли и влажни въздушни маси, като това става ясно и от коефициентите през тези сезони. През лятото корелацията е отново положителна, но малко по-слаба, а през есента не се наблюдава корелация със сезонната температура. Тенденцията на този антициклонален тип е положителна и статистически значима през всички сезони (табл. 26).

**Таблица 26. Сезонни корелации с температурата и тенденции на тип А5**

A5	зима	пролет	лято	есен
Корелация	0,415	0,236	0,197	-0.026
Тенденция	↑	↑	↑	↑

В (табл. 27) е представен тип Mt2. Този тип се среща предимно през зимата и есента, но все пак в миналото се е появявал през всички сезони, честотата му е най-малка – малко над 1% от всички типове. Въпреки това зависимостта му със средната температура е подчертано значителна през зимния сезон. По същество той представлява огромен антициклон над целия континент, включително южните полуострови, Британските острови и Скандинавието. Като такъв той би могъл да има характеристиките на по-малките по размер антициклони типове А1, А2 или А3. През зимния сезон е съпроводен с нахлуване на много студени полярни въздушни маси над големи площи от континента, като в антициклоналната среда въздушните маси могат още да се охладят по радиационни причини. В повечето случаи е съпроводен от обширна висока долина на 500 hPa, което означава, че въздухът над големи райони от Европа е студен не само при земята, но и във височина. През всички сезони Mt2 бележи статистически значим спад.

**Таблица 27. Сезонни корелации с температурата и тенденции на тип Mt2**

Mt2	зима	пролет	лято	есен
Корелация	-0.508	-0,173	-0,075	-0,189
Тенденция	↓	↓	↓	↓

През разглеждания 68 годишен период намалява броя на дните с антициклонална циркулация на приземното ниво! Намалява броя на дните с типовете антициклони, които биха могли да са причина за по-студено време, докато дните на антициклоните водещи до нахлуване на по-топли въздушни маси над България се увеличават. Това доказва, че съществуват и циркулационни причини за настоящото затопляне, поне що се отнася до приземните антициклони.

### 3.4.2. Връзка между долините на 500 hPa и валежите

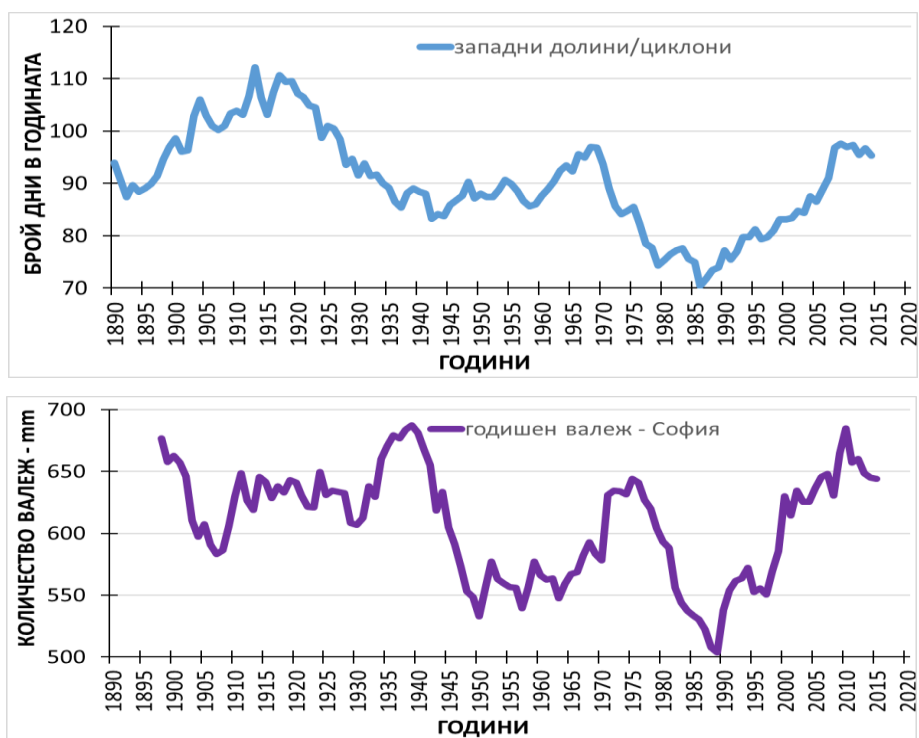
За показване на взаимовръзката между циркуляционните типове и валежите беше подбрано изобарното ниво на 500 hPa и по-специално баричните долини или циклони. За данни за количеството валеж отново бе избрана метеорологичната станция в гр. София, но този път периодът започва от 1893 г. от началото на съществуването на станцията. В (табл. 28) са представени годишните и сезонни корелационни коефициенти на Пиърсън между количеството на валежите и броя дни с долини/циклони, разположени западно от България – типове ( $C_{nw}+C_w+C_{sw}$ ) и долини на изток от страната – типове ( $C_{ne}+C_{se}$ ). Статистически значимите коефициенти на корелация са представени в по тъмен цвят.

**Таблица 28. Годишна и сезонна стойност на коефициента на корелация на Пиърсън между валежите в София и западните ( $C_{nw}+C_w+C_{sw}$ ) и източните ( $C_{ne}+C_{se}$ ) долини на 500 hPa**

	западни	източни
годишно	<b>0.38</b>	<b>-0.19</b>
зима	<b>0.44</b>	<b>-0.19</b>
пролет	<b>0.33</b>	<b>-0.20</b>
лято	<b>0.20</b>	<b>-0.44</b>
есен	<b>0.45</b>	-0.17

Данните недвусмислено показват, че корелацията между валежите и западно разположените долини е положителна и статистически значима през всички сезони. Най-голяма е тя през есента и зимата. През лятото е най-ниска макар и статистически значима. Това вероятно е така, защото през летния сезон в района на София падат и доста валежи от вътрешномасов характер, а не толкова свързани с фронтовете на баричните системи. През есента и зимата баричните долини и фронтовете свързани с тях по-лесно достигат ширината на България от север и оказват по-голямо влияние на валежите. Обратно, при високите долини на 500 hPa на изток от страната, връзката е отрицателна и наличието им се асоциира с по-сухо време, като коефициентът на корелация е с най-голяма абсолютна стойност през лятото, което означава, че през този сезон е най-малко вероятно да има валеж в София при появата им.

На (фиг.82) са показани 11 годишните пълзящи средни стойности на годишна база на броя дни с долини западно от България и на годишните стойности на валежа в София. Пълзящите средни стойности са използвани за по-добро графично представяне и визуализация на тенденциите и проявите на периодичност при циркулационните типове, а в случая и на валежа. Изчисленията на корелационните коефициенти и тенденциите обаче са направени с истинските, а не с изгладените стойности на двата сравнявани параметъра.



**Фигура 82. Брой дни в годината с долини/циклони западно от България и годишни суми на валежа в София (11 годишни пълзящи средни)**

Минимумът в броя на високите западни долини съвпада с минимумът на валежите в края на осемдесетте и началото на деветдесетте години на 20 век. Максимумите им около шестдесетте и седемдесетте години и от началото на 21 век, също така съвпадат с режима на годишните количества валеж поне в София. Тъй като в разглеждания над 120 годишен период в случая, а както стана ясно и от (фиг.70) и в последните 150 години, се забелязва статистически значимо намаление на честотата на западните долини/циклони на 500 hPa, може да се предположи, че този цикъл с периодичност от 50, 60

години е част от някакъв по-дългопериодичен режим, чийто тренд обаче в този времеви период е отрицателен. В настоящите години все още се намираме в максимум на високите западни долини, както и в период на относително по-големи валежи, но в близките 20, 30 години те би трябвало като цяло да намаляват.

## **ГЛАВА ЧЕТВЪРТА**

### **ВРЪЗКА НА ЦИРКУЛАЦИОННИТЕ ТИПОВЕ С НЯКОИ ОСНОВНИ ЕДРОМАЩАБНИ ЦИРКУЛАЦИОННИ ПРОЦЕСИ**

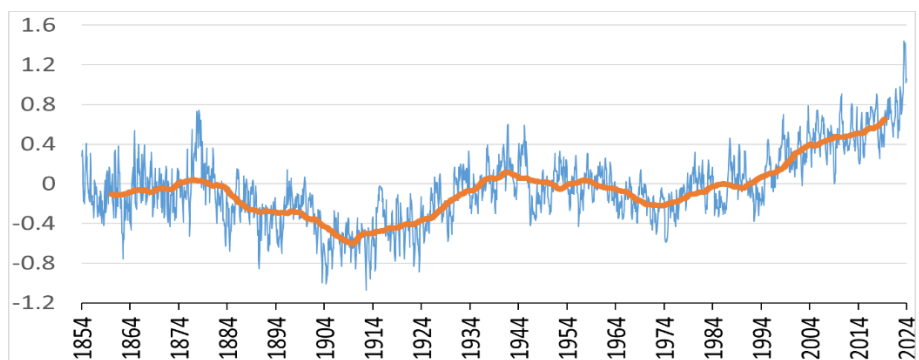
Едромашабните циркуляционни процеси в по-голяма или по-малка степен имат основна климатообразуваща роля във всички точки от земното кълбо. Те обхващат огромни площи и по този начин имат голямо климатично влияние не само в териториите в които се формират, но в определени случаи и на големи разстояния от тях възлизаци на хиляди километри. В по-голямата си част те са свързани с температурата на океанската вода, която има голям акумулиращ ефект и съответно тези влияния биха могли да надхвърлят времеви мащаб на един месец, сезон, или дори на повече от година. Има едромашабни циркуляционни процеси като NAO (North Atlantic Oscillation), които са свързани и с атмосферното налягане. Всички едромашабни циркуляционни процеси получават своето физическо и математическо изражение чрез въведените за всеки един от тях съответни индекси. За целта на настоящата работа са изследвани евентуалните взаимовръзки между едромашабни циркуляционни процеси в Атлантическия, Тихия, Индийския и Северния ледовит океани с циркуляционните типове от разработената класификация на атмосферната циркуляция за района на България.

#### **4.1. Връзка на циркуляционните типове с Атлантическата мултидесетилетна осцилация АМО**

Наблюдаваните широкомащабни мултидесетилетни флуктуации в температурата на повърхността на водата в Северния Атлантически океан от

0 до около 60–70 градуса северна ширина, се наричат Атлантическа мултидесетилетна осцилация (АМО – Atlantic Multidecadal Oscillation) (Kerr, 2000). Установени са 60–80 годишни цикли на АМО. За да се изчисли индексът на АМО и да се потърси връзка между АМО и циркулационните типове, е използван ресурсът на NOAA (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature – ERSST, Version 5) за температурата на морската вода в Северния Атлантически океан.

На (Фиг.86) е представен индексът на АМО чрез своите месечни стойности в синьо, както и пълзящите 11 годишни (131 месечни) средни стойности с кафяв цвят. Забелязват се две положителни и две отрицателни



**Фигура 86. АМО – месечни стойности 1854–2024 (ERSST, Version 5)**

фази през XIX и XX век, както и силна положителна фаза, започнала в края на миналия век и продължаваща до настоящия момент през XXI век. Корелационните коефициенти на АМО и циркулационните типове са изчислени по годишните им стойности, по формулата на Пиърсън. В (табл. 29) са представени коефициентите на типовете на 500 hPa, като са използвани оригиналните редици от данни. Интерпретацията на резултатите показва статистически значими и отрицателни корелационни коефициенти на АМО с антициклоналните типове A1, A2 и A5, както и с циклоналния Spw. Това означава, че тяхното появяване е толкова по-често, колкото е по-ниска температурата на водата в Северния Атлантически океан. Позитивна и статистически значима е корелацията на типове A4 и Sp, т.е тяхното по-често наличие е свързано с по-високи температури на водата в Атлантика. Сумарно,

западните (Cnw+Cw+Csw) и източните (Cne+Cse) долини или циклони на 500 hPa не са в статистически значима корелация с АМО.

**Таблица 29. Корелация на АМО с циркулационните типове на 500 hPa, както и сумарно на западните (Cnw+Cw+Csw) и източните (Cne+Cse) долини.**

A1	A2	A3	A4	A5
<b>-0.21</b>	<b>-0.26</b>	<b>-0.02</b>	<b>0.22</b>	<b>-0.21</b>
Cnw	Cw	Csw	Cn	C
<b>-0.16</b>	<b>0.14</b>	<b>-0.07</b>	<b>0.23</b>	<b>0.00</b>
Cs	Cne	Cse	Западни	Източни
<b>-0.13</b>	<b>0.15</b>	<b>0.02</b>	<b>-0.11</b>	<b>0.14</b>

Корелациите на АМО с циркулационните типове на приземното ниво са показани в (табл. 30). Статистически значими негативни корелации се наблюдават при антициклоналните типове A2 и Mt2. Тяхната по-честа поява над България при по-ниски температури в океана е логична, тъй като при високи температури циклоналната циркулация над Атлантическия океан е по-активна и това пречи на развитието на гребените от Сибирския и източно Европейския антициклон в западна посока. Статистическа значима отрицателна корелация имат още типовете Mb1 и C. Положителни и значими са корелациите на южните антициклони A4 и A5, което означава, по-висока температура на океанската вода, по-честа поява на тези типове и съответно, по-висока температура на въздуха над България.

**Таблица 30. Корелация на АМО с циркулационните типове на приземното ниво, както и сумарно на северните и Средиземноморските циклони.**

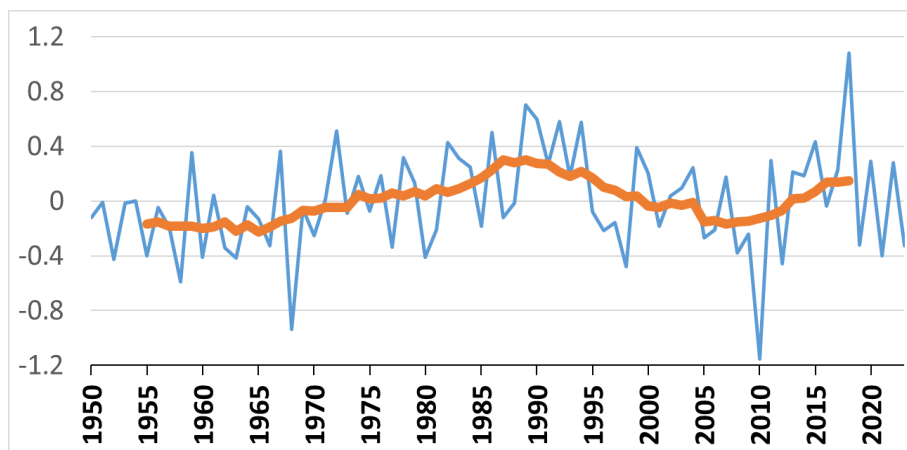
A1	A2	A3	A4	A5
<b>0.01</b>	<b>-0.44</b>	<b>0.13</b>	<b>0.56</b>	<b>0.32</b>
Mt2		Mb1	Mb2	
<b>-0.16</b>		<b>-0.27</b>	<b>0.19</b>	
Cw	C	Csw	Cs	Cse
<b>0.04</b>	<b>-0.23</b>	<b>-0.07</b>	<b>0.25</b>	<b>0.13</b>
Cnw	Cn	Cne	Северни Ц.	Средиз.Ц.
<b>0.00</b>	<b>0.38</b>	<b>0.36</b>	<b>0.32</b>	<b>0.03</b>

Положителна е и корелацията с циклоналните типове  $C_n$ ,  $C_{ne}$  и  $C_s$ . Като цяло северните циклони ( $C_{nw}+C_n+C_{ne}$ ) са в положителна корелация с АМО, т.е тяхната по-честа поява се асоциира с по-високи океански температури, но общо при Средиземноморските циклони ( $C_w+C+C_{sw}+C_s+C_{se}$ ) не се наблюдава връзка с АМО.

#### **4.2. Връзка на циркулационните типове със Северно Атлантическата осцилация NAO**

Северно Атлантическата осцилация (NAO) е метеорологичен феномен над Северния Атлантически океан на колебания в разликата в атмосферното налягане приведено към морското равнище (SLP) между Исландската циклонална област на ниско атмосферно налягане и Азорската антициклонална област на високо атмосферно налягане. Чрез колебанията в интензитета на тези две барични области, се контролира силата и посоката на западните ветрове и местоположението и траекториите на циклоните и бурите през Северния Атлантик (Hurrell et. al, 2003). Голяма разлика в налягането в двете станции (година с висок индекс, означена като NAO+) води до по-изразени и по-силни западни ветрове и, следователно, прохладни лета и меки и влажни зими в Централна и Западна Европа. За разлика от това, ако индексът е нисък (NAO-), западните ветрове са потиснати, в северните европейски райони зимите са студени и сухи, докато циклоналната активност е изместена на юг към Средиземно море.

На (фиг.90) са показани средните годишни стойности на NAO в периода 1950–2023 г. и 11 годишните пълзящи средни стойности. Може да се забележи, че в последните две десетилетия на 20 век осреднените стойности на индекса са относително по-високи, което може да се асоциира с относително по-малките количества на валежите в този период в района на България, въпреки сравнително слабата отрицателна корелация с валежите. Също така, в началото на 21 век и около шестдесетте години на 20 век, стойностите на NAO са по-често отрицателни, което кореспондира с относително по-големите количества валеж в България в тези периоди.



Фигура 90. NAO – средни годишни стойности 1950–2023 (NOAA/NCEP)

В Таблицы 31 и 32 са представени изчислените корелационни коефициенти между индекса на NAO и циркуляционните типове. Тъй като периодът на изследване е значително по-къс от този при АМО, прагът над който корелационните коефициенти са значими (при избраното ниво на значимост  $\alpha = 0.05$ ) е по-висок и е почти 0.24. Прави впечатление, че броят на циркуляционните типове, които са със значима корелация с NAO е значително по-малък отколкото при АМО, което най-общо би могло да означава, че NAO индекса е в относително по-слаба връзка с баричните образувания над България, а оттам и с най-важните метеорологични елементи температура и количество на валежа. На ниво 500 hPa, NAO има положителна и статистически значима връзка единствено с антициклоните разположени на северозапад от България и над България (типове А1 и А3) (табл. 31).

Таблица 31. Корелация на NAO с циркуляционните типове на 500 hPa, както и сумарно на западните (Cnw+Cw+Csw) и източните (Cne+Cse) долини.

A1	A2	A3	A4	A5
<b>0.24</b>	<b>0.03</b>	<b>0.24</b>	<b>0.19</b>	<b>-0.14</b>
Cnw	Cw	Csw	Cn	C
<b>-0.44</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>	<b>-0.13</b>	<b>-0.01</b>
Cs	Cne	Cse	Западни	Източни
<b>0.02</b>	<b>0.18</b>	<b>0.16</b>	<b>-0.34</b>	<b>0.23</b>

Отрицателна и статистически значима е корелацията на NAO сумарно на типовете разположени западно от страната Cnw, Cw и Csw, като

разгледани по отделно обаче, единствено с тип Cnw тя е статистически значима. С циркулационните типове източно от страната Cne и Cse, връзката е положителна, но не достатъчно за да е статистически значима.

При циркулационните типове на приземното ниво (табл. 32) се наблюдава статистически значима, отрицателна корелация само с циклоналните типове, разположени западно и югозападно от страната (Cw и Csw), което обаче е достатъчно и като цяло Средиземноморските циклони да са в отрицателна и статистически значима корелация с NAO. При циклоните на север от страната, по отделно сигналът е отрицателен с типовете на северозапад и север от страната и слабо положителен с типът на североизток от България, което резултира в почти нулева корелация общо при тях. С антициклоналните типове A1, A3, A4 и A5, връзката е положителна, но не е статистически значима. Тези резултати са в съответствие с положителната корелация между NAO и атмосферното налягане на приземното ниво (Фиг.87).

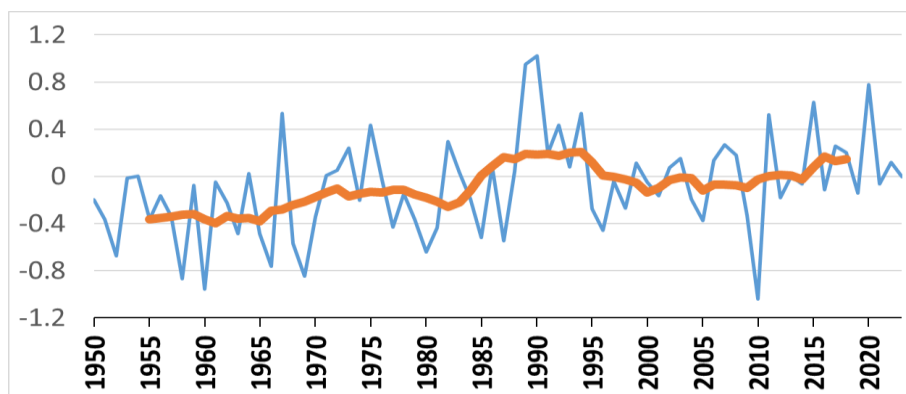
**Таблица 32. Корелация на NAO с циркулационните типове на приземното ниво, както и сумарно на северните и Средиземноморските циклони.**

A1	A2	A3	A4	A5
<b>0.19</b>	<b>-0.01</b>	<b>0.18</b>	<b>0.08</b>	<b>0.15</b>
Mt2		Mb1	Mb2	
<b>-0.04</b>		<b>-0.03</b>	<b>-0.06</b>	
Cw	C	Csw	Cs	Cse
<b>-0.32</b>	<b>-0.13</b>	<b>-0.31</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.03</b>
Cnw	Cn	Cne	Северни Ц.	Средиз.Ц.
<b>-0.17</b>	<b>-0.12</b>	<b>0.11</b>	<b>-0.03</b>	<b>-0.35</b>

#### **4.3. Връзка на циркулационните типове с Арктическата осцилация АО**

Арктическата осцилация се основава на аномалиите на приведеното към морското ниво атмосферно налягане в Арктика от една страна, и аномалиите на налягането, но с обратен знак в областта между 37 и 45 градуса северна ширина.

По време на положителната фаза на АО преобладава зоналният пренос. По време на отрицателната (студена) фаза, преобладава по-високо атмосферно налягане в района на Арктика, което води до отслабване на западните ветрове във високата атмосфера. Като следствие, студеният арктичен въздух достига по-южни ширини в Северна Америка, Европа и Азия. По-ниското от нормалното атмосферно налягане в централния Атлантически океан и по-слабите западни ветрове в северна Европа допринасят за развитие на циклонална активност в района на Средиземноморието. По време на отрицателната фаза в по-голямата част от умерените ширини на северното полукълбо преобладава меридионалният въздушен пренос. На (фиг.95) са показани средните годишни стойности на АО в периода 1950–2023 г. и 11 годишните пълзящи средни стойности. Забелязва се приликата на кривите с тези на индекса на NAO от (фиг.90).



**Фигура 95.** АО – средни годишни стойности 1950–2023 (NOAA/NCEP)

В Таблицы 33 и 34 са представени изчислените корелационни коефициенти между индекса на АО и циркулационните типове, като отново в червен и син цвят са показани положителните и отрицателни статистически значими стойности. Както на 500 hPa, така и на приземното ниво, корелационните коефициенти са близки по стойност, но почти при всички типове, са по-високи отколкото при индексът на NAO. Това показва, че като цяло индексът на АО има по-силна връзка с циркулационните типове от настоящата класификация на атмосферната циркулация, тъй като вероятно пространствените му характеристики описват по-добре баричните образувания конкретно в района на Балканския полуостров. На 500 hPa (табл.

33) има три циркуляционни типа със статистически значима корелация с АО (колкото и при индексът NAO) – A4, A5 и Cnw. Връзката е положителна само при A4, т.е при високи положителни стойности на АО и наличието на зонална циркулация над Европа, има добри предпоставки и условия за съществуването на този тип и неговото затоплящо климатично влияние по отношение на България.

**Таблица 33. Корелация на АО с циркуляционните типове на 500 hPa, както и сумарно на западните (Cnw+Cw+Csw) и източните (Cne+Cse) долини.**

A1	A2	A3	A4	A5
<b>0.22</b>	<b>-0.04</b>	<b>0.21</b>	<b>0.39</b>	<b>-0.30</b>
Cnw	Cw	Csw	Cn	C
<b>-0.53</b>	<b>0.05</b>	<b>-0.01</b>	<b>-0.09</b>	<b>-0.08</b>
Cs	Cne	Cse	Западни	Източни
<b>0.15</b>	<b>0.23</b>	<b>0.09</b>	<b>-0.42</b>	<b>0.25</b>

Тип A5, както и долините/циклоните на северозапад от страната (тип Cnw) имат отрицателна корелация с АО, което означава, че техните по-чести появи са свързани повече с наличието на меридионална атмосферна циркулация. При наличието на A5 на 500 hPa южно от страната, това означава, че над централното Средиземноморие и вероятно над централна Европа се е настанила висока барична долина, което само по себе си говори за меридионална циркулация над континента. Сумарно, долините разположени западно от страната имат отрицателна статистически значима корелация с АО, докато най-общо тези разположени източно от нея са в положителна връзка с индекса.

На приземното ниво 7 типа имат статистически значима корелация с АО – антициклоналните A2 (отрицателна), A3 и A4 (положителна) и всички циклони западно и над страната. Средиземноморските циклони са в отрицателна корелация с АО, в съответствие с техните благоприятни условия за възникване предимно при меридионална циркулация и нахлуване на студен въздух от северната четвърт на хоризонта (табл. 34).

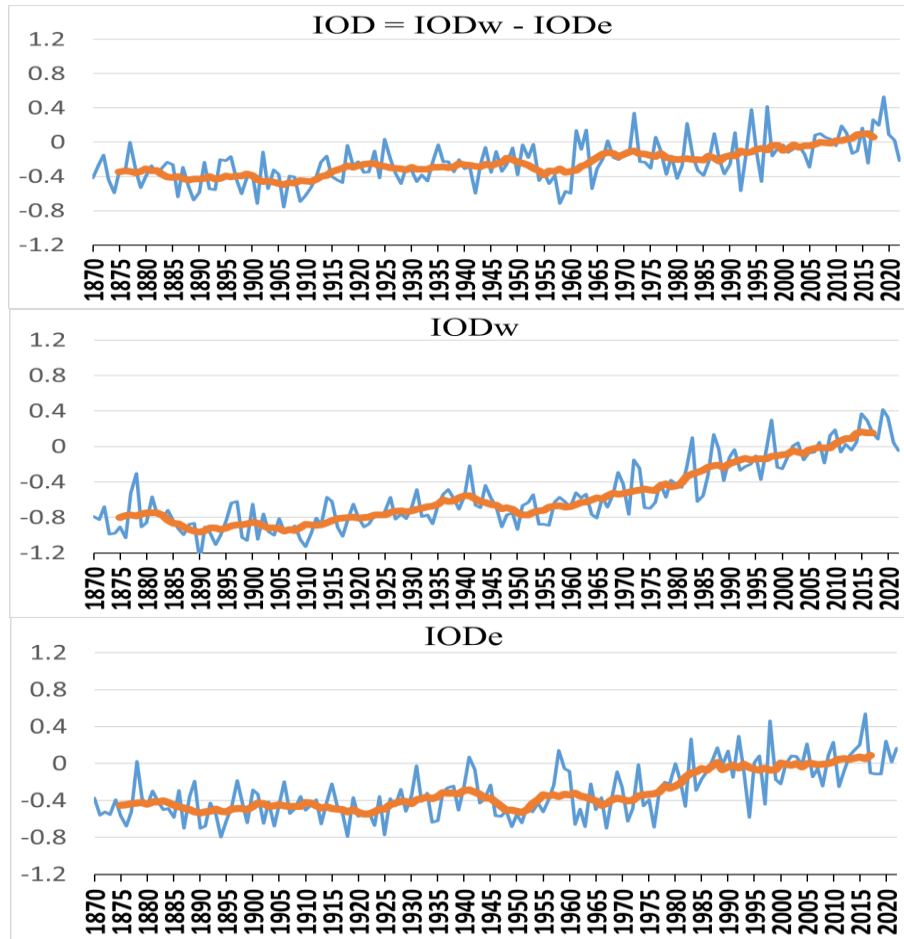
**Таблица 34. Корелация на АО с циркуляционните типове на приземното ниво, както и сумарно на северните и Средиземноморските циклони.**

A1	A2	A3	A4	A5
<b>0.21</b>	<b>-0.28</b>	<b>0.24</b>	<b>0.28</b>	<b>0.17</b>
Mt2		Mb1	Mb2	
<b>-0.07</b>		<b>0.21</b>	<b>-0.06</b>	
Cw	C	Csw	Cs	Cse
<b>-0.46</b>	<b>-0.32</b>	<b>-0.29</b>	<b>0.08</b>	<b>-0.06</b>
Cnw	Cn	Cne	Северни Ц.	Средиз.Ц.
<b>-0.28</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.20</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.48</b>

#### 4.4. Връзка на циркуляционните типове с IOD

IOD (Indian Ocean Dipole) е природен феномен в Индийския океан, открит едва през 1999 г. (Webster et. al, 1999), (Saji et. al, 1999). Той се изразява като разликата в аномалиите на повърхностната температурата на морската вода между западната (50°и.д.– 70°и.д. и 10°ю.ш. – 10°с.ш.) и източната (90° и.д. – 110° и.д. и 10° ю.ш. – 0°) част, приблизително около екваториалните му области. Съществуват две фази на тази осцилация – положителна и отрицателна (IOD+ и IOD-). По време на положителната фаза (IOD+), температурата на водата е по-висока от нормалната в западната част на океана и по-ниска от нормалната в източната му част. IOD индексът се изчислява като разликата в температурните аномалии между западния и източния домейн, чиито области са заключени в координатите споменати по-горе. След като бяха изчислени корелационните коефициенти с циркуляционните типове на така дефинирания индекс, бяха изчислени и коефициентите по отделно за западната и източната области на Индийския океан. Установи се, че по абсолютни стойности те са най-високи за западната област на Индийския океан с малки изключения при някои типове. Най-ниски бяха коефициентите при оригиналния индекс поради което бе взето решение да бъдат визуализирани корелационните коефициенти между температурата на водата само в западната и източната области, На (фиг.100) са представени общият IOD индекс, представен като разлика между западния и източния домейн, както и по отделно западния IOD<sub>w</sub> и източния IOD<sub>e</sub> индекси. Забелязва се

най-голямо увеличение на температурата на водата в западната част на Индийския океан след средата на 20 век.



Фигура 100. IOD – средни годишни стойности 1870–2022 (HadISST1.1)

Според прогнозите на повечето климатични модели, именно западната част на Индийския океан ще се затопля с най-ускорени темпове вследствие на климатичните промени, което ще води до по-големи периоди с положителни стойности на индекса. Това е твърде вероятно да доведе до по-интензивни валежи в източна Африка по време на краткия валежен период там (Chu et al., 2014), (Zheng et al., 2013), (Cai et al., 2018), (Kendon et al., 2019). Както беше споменато по-горе, именно тази част на Индийския океан оказва най-голямо климатично влияние на баричните образувания на Балканите. Стойностите на индексите са по-често отрицателни, защото са изчислявани спрямо средните им стойности за периода 1981–2010, който е по-близо до съвременното и е относително по-топъл.

В Таблицы 35 и 36 са приложени корелационните коефициенти на IODw вляво от наклонената черта и IODe, вдясно от нея, съответно с циркулационните типове на 500 hPa и на приземното ниво. С малки изключения почти навсякъде корелационните коефициенти са по-високи за IODw. За типовете на 500 hPa статистически значима отрицателна корелация се наблюдава при типовете Cnw и A5 и при двата индекса, докато статистически значими положителни са връзките при A4 и Cse само при IODw (табл. 35). Като цяло западните и източните долини на 500 hPa, не са в статистически значима връзка с повърхностните температури в Индийския океан.

**Таблица 35. Корелация на IODw/IODe с циркулационните типове на 500 hPa, както и сумарно на западните (Cnw+Cw+Csw) и източните (Cne+Cse) долини.**

A1	A2	A3	A4	A5
<b>-0.13 / -0.16</b>	<b>-0.15 / -0.12</b>	<b>0.10 / 0.11</b>	<b>0.23 / 0.12</b>	<b>-0.25 / -0.21</b>
Cnw	Cw	Csw	Cn	C
<b>-0.22 / -0.16</b>	<b>0.12 / 0.15</b>	<b>-0.01 / -0.04</b>	<b>0.10 / 0.10</b>	<b>0.18 / 0.12</b>
Cs	Cne	Cse	Западни	Източни
<b>-0.14 / -0.12</b>	<b>0.04 / 0.09</b>	<b>0.19 / 0.13</b>	<b>-0.15 / -0.10</b>	<b>0.12 / 0.14</b>

В (табл. 36) е показано, че на приземното ниво повечето типове имат значителни корелации и с двата индекса IODw и IODe. Забелязват се някои интересни закономерности, като например, че топлите приземни антициклони A3, A4 и A5, както и циклоналните типове, северно, южно и източно от България са в статистически значима положителна връзка с температурите в Индийския океан. В същото време циклоналният тип над България показва статистически значима отрицателна връзка с IODw. От друга страна типовете A2 и Mt2, които особено през студеното полугодие биха могли да бъдат причина за продължително и дори екстремно студено време, са в силна отрицателна корелация с температурите в Индийския океан. Това означава, че тяхното по-продължително съществуване и съответното им по-продължително охлаждащо влияние би могло да се осъществи при по-

ниски температури на морската вода в Индийския океан. Слабоградиентния тип Mb1 в разрито циклонално поле е в отрицателна корелация с IODw и IODe. Това вероятно косвено е свързано с областта на ниско налягане през лятото над района на Персийския залив, която със своята северозападна периферия често обхваща и Балканския полуостров под формата на слабоградиентно циклонално поле. Слабоградиентния циркуляционен тип Mb2 в разрито антициклонално поле е в положителна корелация с двата индекса, което е логичен резултат, поради факта, че по своето съществуване, той се доближава до антициклоналните типове A3, A4 и A5.

**Таблица 36. Корелация на IODw/IODe с циркуляционните типове на приземното ниво, както и сумарно на северните и Средиземноморските циклони.**

A1	A2	A3	A4	A5
<b>-0.01 / -0.11</b>	<b>-0.58 / -0.46</b>	<b>0.24 / 0.18</b>	<b>0.54 / 0.42</b>	<b>0.30 / 0.27</b>
Mt2		Mb1	Mb2	
<b>-0.38 / -0.24</b>		<b>-0.31 / -0.33</b>	<b>0.37 / 0.27</b>	
Cw	C	Csw	Cs	Cse
<b>-0.07 / 0.01</b>	<b>-0.27 / -0.10</b>	<b>-0.14 / -0.11</b>	<b>0.22 / 0.21</b>	<b>0.39 / 0.29</b>
Cnw	Cn	Cne	Северни Ц.	Средиз.Ц.
<b>0.10 / 0.23</b>	<b>0.43 / 0.46</b>	<b>0.58 / 0.49</b>	<b>0.49 / 0.51</b>	<b>0.02 / 0.11</b>

Корелационните коефициенти на PDO – Тихоокеанската декадна осцилация, SOI – южната Тихоокеанска осцилация и Средиземноморската осцилация (MOi), с циркуляционните типове, са представени заедно с всички разгледани по-горе индекси в таблици 44 и 45. На последните два реда в (табл. 44) са представени корелациите сумарно на западните долини (Зап.) и на източните долини (Изт.) на ниво 500 hPa. С червен цвят навсякъде в таблиците са означени положителните и статистически значими корелационни коефициенти, със синьо са статистически значимите отрицателни такива, а с черен цвят са коефициентите при които не е установена статистическа значимост. Корелационните коефициенти на

циркуляционните типове с едромашабните циркуляционни индекси на приземното ниво са представени в (табл. 45). Със (Ср.) са означени сумарните честоти на Средиземноморските циклони, а със (Сев.) са означени циклоните с център северозападно, северно и североизточно от България.

**Тихоокеанската декадна осцилация (PDO)** е устойчив, повтарящ се климатичен феномен в системата земя-атмосфера над средните ширини в северния Тихи Океан. По време на топлата или положителна фаза западните части на Тихия океан стават по-студени, а източните му части в близост до бреговете на северна Америка – по-топли. Отрицателната фаза се характеризира с обратния режим, а именно, по-топли води в западната част на океана и по-хладни в източната му част.

**Индексът на южно Тихоокеанската осцилация (SOI)** е стандартизиран индекс, базиран на наблюдаваните разлики в налягането на морското равнище (SLP) между Таити и Дарвин, Австралия. SOI е атмосферен индекс и е мярка за широкомащабните колебания в атмосферното налягане, възникващи между западния и източния тропически Тихи океан по време на епизодите на Ел Ниньо и Ла Ниня.

**Средиземноморската осцилация (MOi)** се описва като двуполярно поведение на атмосферата между Западното и Източното Средиземноморие. Индексът, измерващ интензитета на дипола, се определя като аномалии на разликата във височината на геопотенциала на 500 hPa между Алжир и Кайро (Conte et al., 1989), (Palutikof et al., 1996). Алтернативна дефиниция (Palutikof, 2003) оценява (MOi) индекса като разликата в приведено атмосферно налягане към морското ниво SLP между северната граница на Гибралтарския проток и летище Лод в Израел.

## ГЛАВА ПЕТА. ИЗВОДИ

### Изводи относно класификацията на атмосферната циркулация над България:

- В 150 годишният период на проведеното изследване, над България се забелязва увеличение, макар и не статистически значимо, на сумарната честота на антициклоналните циркулационни типове на изобарно ниво 500 hPa и реципрочо намаляване при честотата на циклоналните типове. Високите антициклони са топли барични образувания и по-честото им наличие има връзка с повишаващите се температури както във височина, така и на земната повърхност.
- На приземното изобарно ниво се наблюдават статистически значимо сумарно намаление при антициклоналните циркулационни типове и статистически значимо увеличение при циклоналните и слабоградиентните типове. Това също е свързано с настоящото затопляне, защото по-топлата земна повърхност инициира възходящи движения, което е в основата на приземния циклогенез. Положителната тенденция при слабоградиентните типове също може да се обясни като следствие от затоплянето на климата, защото намаленият температурен контраст между екватора и полюсите води до по-слаби барични градиенти в умерените ширини.
- Честотата на долините/циклоните на 500 hPa, с център западно от България са в статистически значима, положителна корелация с годишните количества на валежите в София, като този факт се отнася за по-голямата част от страната. При годишните честоти на тази група долини се наблюдава определена цикличност с период около 50–60 години, като това може да се използва като дългосрочна прогноза от порядъка на няколко десетки години за сумарните годишни количества на валежите и евентуални по-продължителни сухи периоди. На тази база може да се очаква следващите 20-30 години да са с по-малки средно годишни количества на валежа от тези от началото на 21 век до сега.

- При изследване на тенденциите при антициклоналните приземни циркуляционни типове и на корелациите между честотите им и сезонните температури в София се установи без изключение, че честотите на типовете, които водят до застудявания намаляват и обратно – честотите на типовете водещи до затопляне се увеличават. Това е доказателство, че атмосферната циркулация поне по отношение на приземните антициклони се е променила в посока на затопляне на климата.
- При Средиземноморските приземни циклони оказващи влияние над България не се забелязва тренд на годишна база, през есента и зимата намалява броя им, но през пролетта и лятото като цяло се увеличава.
- Приземните циклони с център северно от България се увеличават статистически значимо на годишна база, като това е групата циркуляционни типове с най-значимо увеличение в периода 1871–2020. Една от вероятните причини за значителното увеличение на циклоните разположени северно от страната след седемдесетте години на 20 век е свързана с арктичния и полярния фронтове, които вероятно са променили своето средносезонно пространствено положение в по-северна посока поради затоплянето на климата.

**Изводи относно връзката на едромасщабните циркуляционни процеси с атмосферните циркуляционни типове:**

- По честото проявление на гребенът от Азорския антициклон (тип А4) и на 500 hPa и при земя, носител на по-топло време над Балканите, се благоприятства от по-топлите океански води в Атлантическия и Индийски океани (положителни АМО и IOD), от положителните стойности на Арктическата осцилация (АО), което благоприятства зоналната циркулация над Европа (по-ниско атмосферно налягане от нормалното в северна Европа и по-високо в южна Европа), както и логично от по-високо атмосферно

налягане в западното Средиземноморие в сравнение с източното, което се забелязва и при двата MOi индекса.

- По-голямата честота на  $C_{pw}$  на ниво 500 hPa над България се обуславя от по-ниски температури на океанската вода както в Атлантическия, така и в Индийския океан, а също и при отрицателни стойности на AO и NAO, т.е при преобладаваща меридионална циркулация над Европа.
- Сезонния баричен център, най-често гребен от Сибирски или източно Европейски антициклон (приземен тип A2) е в отрицателна връзка с температурите на Атлантическия и Индийския океан, по-високите температури на водата в последните десетилетия водят до по-ниски честоти на циркулационните типове свързани с него.
- Средиземноморските приземни циклони засягащи България са свързани не толкова с температурата на океанската вода, колкото със зоналността или меридионалността на атмосферната циркулация намираща количествен израз чрез индексите AO и NAO и тяхната отрицателна връзка с тези циркулационни типове. Т.е по-голяма честота на тези циклони логично може да се очаква при меридионална циркулация над Европа.
- Честотата на приземните циклони разположени северно от България са в силна положителна връзка с температурата на водите в Атлантически и Индийския океан и следователно тяхната нарастваща честота също е следствие на глобалното затопляне като следствие на по-високите температури не само на тези водни басейни, но и на световния океан като цяло. Този резултат още веднъж доказва по-скоро затоплящото влияние на тези циклони за района на централните Балкани, в частност България.

## **ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ**

### **Научен принос**

Установени са статистически значими позитивни тенденции при честотите на едни и негативни тенденции при честотите на други циркуляционни типове и са оценени тези изменения в контекста на климатичните промени и глобалното затопляне. Доказана е връзката между циркуляционните типове с двата най-важни метеорологични елемента – температурата на въздуха и количеството на валежите на територията на България. Доказана е и връзката между редица циркуляционни типове с някои от най-широко използваните едромасабни циркуляционни процеси и по какъв начин те оказват пряко влияние на климата в България чрез влиянието на атмосферната циркулация.

### **Научно-приложен принос**

Резултатът по отношение на установената цикличност при високите долини на изобарно ниво 500 hPa и съществената им връзка с годишната сума на валежите би могла да бъде използвана и като дългосрочна прогноза в това важно направление с оглед на определени политики по обезпечаване на нуждите и преценка на приоритетите при използването на водните ресурси и превенция при опазването на горския фонд на страната.

### **Научно-методологичен принос**

Принос към типизацията на атмосферната циркулация за района на България е съставянето на ежедневна класификация за 150 годишен период (1871–2020), за първи път за две изобарни нива, с обособяването на 13 циркуляционни типа на изобарно ниво 500 hPa и 16 типа на приземното ниво с използването на субективния метод за класификация на атмосферната циркулация. Последната класификация на атмосферната циркулация в България е извършена през далечната 1960 г.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

Bocheva, L., & Pophristov, V. (2021). REGIONAL ANALYSIS OF HAIL PRECIPITATION IN BULGARIA. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 21(4.1), 319-326.

Pophristov, V. (2023). Some dependences between surface anticyclones and summer temperatures in Sofia (Bulgaria). CLIMATE, ATMOSPHERE AND WATER RESOURCES IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE, Volume 5, 13-20.

Pophristov, V. (2024). NAO and atmospheric circulation types in central Balkan peninsula, “Global Warming’s Imprints on the Elements of the Climatic System”, 24–28 September 2024

### Благодарности

Изказвам дълбока благодарност и признателност на всички колеги от катедра „Климатология, хидрология и геоморфология“ към Геолого-географски факултет на Софийски университет „Св. Климент Охридски“ за предоставената възможност за академично развитие.

Благодарен съм на научния ми ръководител проф. д-р Георги Рачев за точните, интуитивни и навременни съвети по време на дисертационния труд, както и на проф. д-р Нина Николова и гл.ас. д-р Симеон Матев за помощта и съвместната работа през годините на докторантурата.

Благодарности за предоставените за свободно ползване ресурси от NOAA, без които тази работа не би била възможна.

Благодаря не на последно място и на семейството ми за проявените търпение, разбиране и подкрепа.

Таблица 44. Корелация между циркуляционните типове и едромашабните циркуляционни индекси на 500 hPa.

type	AMO	NAO	AO	IOD <sub>w</sub>	IOD <sub>e</sub>	PDO	SOI	MOi <sub>AC</sub>	MOi <sub>GI</sub>
A1	-0.21	0.24	0.22	-0.13	-0.16	0.05	-0.07	0.09	0.12
A2	-0.26	0.00	-0.04	-0.15	-0.12	0.09	-0.06	0.08	0.15
A3	-0.02	0.24	0.21	0.10	0.11	0.18	-0.18	0.13	0.16
A4	0.22	0.19	0.39	0.23	0.12	-0.07	-0.03	0.42	0.30
A5	-0.21	-0.14	-0.30	-0.25	-0.21	0.02	0.16	-0.19	-0.07
Cnw	-0.16	-0.44	-0.53	-0.22	-0.16	-0.05	0.11	-0.24	-0.36
Cw	0.14	0.03	0.05	0.12	0.15	-0.09	0.13	-0.19	-0.20
Csw	-0.07	0.02	-0.01	-0.01	-0.04	0.01	-0.12	0.10	0.04
Cn	0.23	-0.13	-0.09	0.10	0.10	-0.02	0.06	0.01	-0.04
C	0.00	-0.01	-0.08	0.18	0.12	0.05	-0.09	-0.11	-0.12
Cs	-0.13	0.02	0.15	-0.14	-0.12	0.01	0.03	0.12	0.06
Cne	0.15	0.18	0.23	0.04	0.09	0.05	-0.04	-0.08	-0.10
Cse	0.02	0.16	0.09	0.19	0.13	-0.03	-0.25	0.07	0.09
Зап.	-0.11	-0.34	-0.45	-0.15	-0.10	-0.06	0.10	-0.24	-0.21
Изт.	0.14	0.23	0.25	0.12	0.14	0.04	-0.13	-0.05	-0.06

Таблица 45. Корелация между циркуляционните типове и едромашабните циркуляционни индекси на приземното ниво.

type	AMO	NAO	AO	IOD <sub>w</sub>	IOD <sub>e</sub>	PDO	SOI	MOi <sub>AC</sub>	MOi <sub>GI</sub>
A1	0.01	0.19	0.21	-0.01	-0.11	-0.10	-0.05	0.12	0.01
A2	-0.44	-0.01	-0.28	-0.58	-0.46	0.03	0.11	-0.38	-0.20
A3	0.13	0.18	0.24	0.24	0.18	0.08	-0.17	0.41	0.36
A4	0.56	0.08	0.28	0.54	0.42	-0.04	-0.04	0.40	0.24
A5	0.32	0.15	0.17	0.30	0.27	0.07	0.08	-0.04	-0.04
Mt2	-0.16	-0.04	-0.07	-0.38	-0.24	0.00	-0.02	-0.03	0.03
Mb1	-0.27	-0.03	0.21	-0.31	-0.33	-0.23	0.17	0.07	0.08
Mb2	0.19	-0.06	-0.06	0.37	0.27	0.00	0.19	0.15	0.16
Cw	0.04	-0.32	-0.46	-0.07	0.01	0.03	-0.02	-0.40	-0.35
C	-0.23	-0.13	-0.32	-0.27	-0.10	0.06	0.03	-0.29	-0.25
Csw	-0.07	-0.31	-0.29	-0.14	-0.11	0.02	0.08	-0.08	-0.06
Cs	0.25	0.01	0.08	0.22	0.21	0.12	-0.03	-0.01	-0.11
Cse	0.13	-0.03	-0.06	0.39	0.29	0.05	-0.01	0.03	0.06
Cnw	0.00	-0.17	-0.28	0.10	0.23	0.07	-0.08	-0.27	-0.17
Cn	0.38	-0.12	-0.06	0.43	0.46	0.08	-0.15	0.06	-0.01
Cne	0.36	0.11	0.20	0.58	0.49	0.16	-0.23	-0.00	-0.07
Ср.	0.03	-0.35	-0.48	0.02	0.11	0.13	-0.20	-0.34	-0.32
Сев.	0.32	-0.03	0.00	0.49	0.51	0.12	0.02	-0.06	-0.09

Таблица 46. Брой на значимите корелационни коефициенти по отношение на циркуляционните индекси.

Индекс	AMO	NAO	AO	IOD <sub>w</sub>	IOD <sub>e</sub>	PDO	SOI	MO <sub>iAC</sub>	MO <sub>iGI</sub>
Период	1871-2020	1950-2020	1950-2020	1871-2020	1871-2020	1871-2020	1951-2020	1948-2020	1948-2020
500 hPa	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
SLP	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

Таблица 47. Брой на значимите корелационни коефициенти по отношение на циркуляционните типове.

type	Значими коеф. на корелация 500 hPa	+		-		Значими коеф. на корелация SLP	+		-	
		+	-	+	-		+	-		
A1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0
A2	1	0	1	5	5	0	0	5	5	0
A3	2	2	0	5	6	5	5	0	0	0
A4	5	5	0	3	3	3	3	0	0	0
A5	4	0	4	3	3	0	0	3	0	0
Mt2				3	3	0	0	3	0	3
Mb1				4	4	0	0	4	0	4
Mb2				3	3	3	3	0	0	0
Cw	0	0	0	4	4	0	0	4	0	4
C	0	0	0	5	5	0	0	5	0	5
Csw	0	0	0	2	2	0	0	2	0	2
Cs	0	0	0	3	3	3	3	0	0	0
Cse	2	1	1	2	2	2	2	0	0	0
Cnw	7	0	7	3	3	1	1	2	2	2
Cn	1	1	0	3	3	3	3	0	0	0
Cne	0	0	0	3	3	3	3	0	0	0
Зап.	3	0	3							
Изт.	1	1	0							
Ср.				4	4	0	0	4	0	4
Сев.				3	3	3	3	0	0	0

## ДЕКЛАРАЦИЯ

### ЗА ОРИГИНАЛНОСТ И ДОСТОВЕРНОСТ

(съгл.чл.66 ал.(2) от ПУРПНСЗАД на СУ „Св.Кл.Охридски“)

От Вълчо Попхристов, докторант към катедра „Климатология, Хидрология и Геоморфология“, на Софийски университет „Св.Климент Охридски“, декларирам, че представената от мен за защита дисертация на тема: „КЛАСИФИКАЦИЯ НА ТИПОВЕТЕ АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛАЦИЯ ЗА РАЙОНА НА БЪЛГАРИЯ И ВРЪЗКАТА ИМ С ЕДРОМАЩАБНИ ЦИРКУЛАЦИОННИ ПРОЦЕСИ“ за присъждане на образователната и научна степен "доктор" е оригинална разработка и съдържа оригинални резултати, получени при проведени от мен научни изследвания (с подкрепата и/или съдействието на научния ми ръководител).

Декларирам, че резултатите, които са получени, описани и/или публикувани от други учени, са надлежно и подробно цитирани в библиографията, при спазване на изискванията за защита на авторското право.

Уведомен съм, че в случай на констатиране на плагиатство в представената дисертация, комисията по защитата е в правото си да я отхвърли.

Декларирам, че настоящата дисертация не е представяна пред други университети, институти и други висши училища за придобиване на образователна и научна степен.

Дата: 9 ноември 2024 г.

София, България

Декларатор:

Вълчо Попхристов