



**ФАКУЛТЕТ ПО АГРОНОМСТВО
КАТЕДРА РАСТЕНИЕВЪДСТВО**

ГЕОРГИ КРАЕВ СТАНЧЕВ

Изследване потенциалните възможности на естествени и изкуствени
тревостои за усвояване на CO₂

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация за присъждане на образователна и научна степен
„Доктор“

Научна специалност „Фуражно производство и ливадарство“

Научни ръководители:

Доц. д-р Атанас Севов

Доц. д-р Любка Колева-Вълкова

Пловдив
2026

Изследванията са проведени през периода 2019-2021 година на четири полигона Пловдив, Розино, Беклемето и Девин.

Дисертацията е с обем 176 страници и съдържа 37 таблици и 61 фигури. Цитираната литература включва 288 източника от тях 10 на кирилица и 278 на латиница.

Дисертационният труд е обсъден на разширен катедрен съвет на катедра „Растениевъдство“ при Агрономически факултет на Аграрен университет - Пловдив.

Защитата на дисертацията ще се състои на 08.06.2026 г. от 11:00 часа в 1^{-ва} аудитория на АУ – Пловдив пред Специализирано научно жури, утвърдено със Заповед на Ректора РД – 16-475 от 02.04.2026 г.

Рецензенти:

Проф. д-р Боряна Георгиева Чуркова

Проф. д-р Татяна Иванова Божанска

Становища:

Проф. д-р Христофор Кирчев Кирчев

Проф. д-р Танко Пеев Колев

Доц. д-р Катя Спасова Узунджалиева

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в библиотеката на Аграрен университет – Пловдив, бул. „Менделеев“ № 12.

Моля отзивите и бележките да се изпращат на email:
Joro_stanchev@abv.bg

1. УВОД

Тревните растения фиксират въглероден диоксид (CO_2), чрез фотосинтетичния процес, при който неорганичният въглерод се трансформира в органични съединения. Част от синтезираните въглехидрати се включват в структурата на надземната и подземната биомаса (листа, стъбла, корени), а друга част постъпва в почвата чрез коренови ексудати, отмираща растителна маса и микробна трансформация, формирайки стабилни форми на почвен органичен въглерод. Именно почвата в тревните екосистеми представлява значим дългосрочен резервоар на въглерод, често акумулиращ по-големи количества в сравнение с надземната биомаса.

По последни данни тревните екосистеми (ливади и пасища) в света заемат приблизително 3,2 милиарда хектара, което представлява около 70% от общата селскостопанска площ (Ramankutty et al., 2008; Tubiello et al., 2013). Тези екосистеми изпълняват важна функция в общия въглероден баланс, като акумулират приблизително 20% от световните запаси на въглерод, предимно под формата на почвен органичен въглерод (Schlesinger, 1977; Conant, 2010).

В нашата страна тревните съобщества също заемат значителен дял от земеделския фонд, като площта на ливадите, пасищата и мерите възлиза на приблизително 1,7 милиона хектара или около 33,5% от използваемата земеделска земя (Meshinev et al., 2005; Apostolova et al., 2006). Този дял подчертава потенциала на тревните екосистеми в страната, както по отношение на поддържането на биоразнообразието и екосистемите, така и като потенциален ресурс за съхранение на въглерод във връзка с устойчивото управление на земеделските ландшафти.

Функционалността на тревните площи далеч надхвърля тяхната роля само като източник на фураж. Те имат важно значение в опазването на почвата от ерозия, регулирането на водния режим и допринасят за биоразнообразието в тревните съобщества (Porqueddu and Roggero, 1994). През последното десетилетие тревните екосистеми се разглеждат и като възможност за улавяне и съхранение на CO_2 , който е основен парников газ и фактор със значим ефект върху промените на климата.

Въз основа на настоящите данни, става ясно, че тревните площи могат да бъдат мощен инструмент в борбата с климатичните промени. Идентифицирането на компонентите, които стимулират усвояването на въглерод, както и разработването на иновативни практики за управление, са от ключово значение за увеличаване на капацитета на тези екосистеми да поглъщат CO_2 . В контекста на изменящия се климат, усилията за насърчаване на устойчиво управление на тревните площи ще бъдат важни за намаляване на емисиите и за намаляване на негативните ефекти от глобалното затопляне. Тази разработка има за цел да изследва

потенциалните възможности на естествени и изкуствени тревостои за улавяне на въглерод, което може да допринесе за дългосрочното екологично равновесие.

2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Целта на настоящата дисертация е да се проучи капацитета на естествени и изкуствени тревостои за усвояване на въглерод. За изпълнението на поставената цел са изпълнени следните конкретни задачи:

1. Проучена е способността за усвояване и съхраняване на въглерод в естествени тревостои.
2. Проучена е способността за усвояване и съхраняване на въглерод в изкуствени тревостои.
3. Установена е връзката между климата, видовия състав и натрупването на въглерод в растенията и почвата.

3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

3.1. Обект на изследването

Обект на изследването са четири различни полигона, характеризиращи се с определени специфики.

- 1) Полигон 1 – изкуствен тревостой в района на опитното поле на АУ-Пловдив
- 2) Полигон 2 – естествен тревостой в района на с. Розино, обл. Пловдив
- 3) Полигон 3 – естествен тревостой в местността Беклемето, района на гр. Троян
- 4) Полигон 4 – естествен тревостой в района на гр. Девин

3.2. Определяне на видовия състав

Видовият състав на тревостоите е определен по методът на Braun-Blanquet. Това е класически фитоценотичен подход за изучаване и класифициране на растителността чрез описване на състава и пространственото разпределение на растителните видове в определена пробна площ (метровка) като броят им зависи от типа растителност и площта.

Таблица 1. Скала на Braun-Blanquet: за обилие и покритие

Стойност	Значение
r	single plants, very low cover
+	few plants, cover <1%
1	cover 1–5%
2	cover 5–25%
3	cover 25–50%
4	cover 50–75%
5	cover >75%

Методът използва скала за оценка на обилието и покритието на видовете, която позволява бързо, визуално оценяване на техния дял в растителната общност (Braun-Blanquet, 1964).

3.3. Определяне съдържание на органичен въглерод в почвата

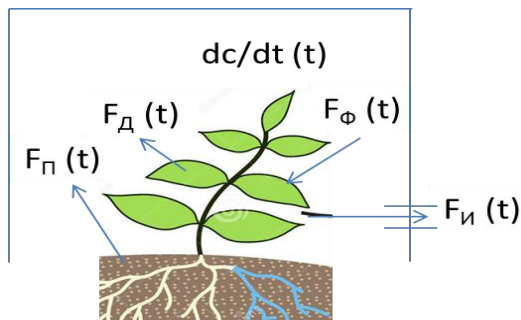
Определянето на органичен въглерод е извършено в акредитираната лаборатория към Аграрен университет – Пловдив, по стандартизиран метод (БДС ISO 14235:2002).

3.4. Определяне приосновно покритие на тревостоите

Приосновното покритие е определено чрез мрежеста метровка (50 x 50 cm). Във всеки полигон са разположени по 4 метровки поставени на няколко места, за да се установи гъстотата и равномерността на тревното покритие в обследваната площ. Едно квадратче от метровката се равнява на 1 % от площта. Сумират се (субективно) незаетите с растителност участъци и се вижда какъв процент (А) заемат те в метровката. Общият процент на покритата площ се изчислява, чрез формулата - $X = (25 - A) \times 4$, (Янчева Хр., 1994).

3.5. Проследяване динамиката на потоците CO_2

За определяне активността на поглъщане на CO_2 на единица площ от проследяваните обекти е използвана камера, позволяваща измерването на съдържанието на CO_2 в ограничен обем.



Фиг. 1. Схематично представяне на потоците CO_2 в камерата, представляващи динамиката на CO_2 (F_{net})

Легенда: $F_\Pi(t)$ е дифузият ефлукс от почвата, $F_\Phi(t)$ е фотосинтеза, $F_D(t)$ е надземно дишане на растенията, $F_{И}(t)$ е поток на изтичане от камерата. $dc / dt(t)$ е изменението на концентрацията на CO_2 с течение на времето t в горната част на камерата (по Kutzbach et al., 2007).

3.6. Климатични данни

За анализиране на агрометеорологичните условия са използвани данни: температура на въздуха и валеж на ежедневна база за периода 1991-

2020 г. За целта е използван наборът от данни на Data climate store от програма Коперник, компонент за наблюдение на Земята от космическата програма на Европейския съюз, която разглежда планетата и нейната околна среда в полза на всички европейски граждани. Информационните услуги, предлагани от Програмата се основават на спътникови наблюдения на Земята и данни от *in-situ* (некосмически) данни. Наборът от данни се основава на почасовите данни на ECMWF ERA5 на повърхностно ниво и се нарича AgERA5. Променливите, предоставени в този набор от данни, отговарят на входните нужди на повечето селскостопански и агроекологични модели, (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-agrometeorological-indicators?tab=overview>).

3.7. Статистическа обработка

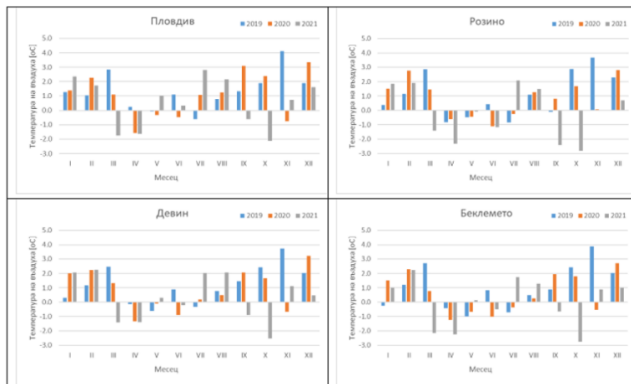
Статистическата обработка на експерименталните данни е извършена по метода на множествената регресия (**Multiple Regression**). Това е статистически метод, чрез който се изследва връзката между една зависима променлива (резултат) и две или повече независими променливи (фактори).

4. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

4.1. Агрометеорологична характеристика на метеорологичните условия на изследваните райони през периода на експеримента

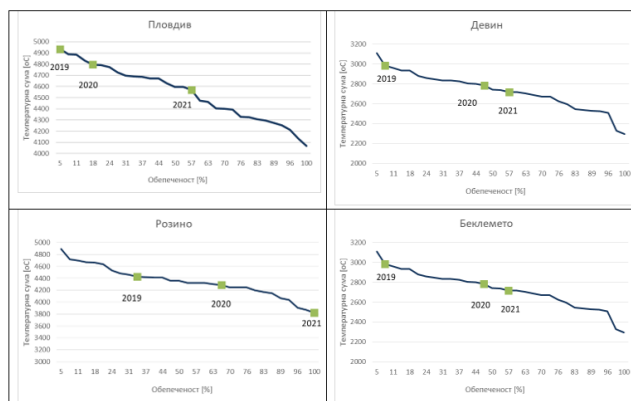
4.1.1. Отклонение на средната месечна температура на въздуха през годината на експеримента

Анализът на стойностите на температурата на въздуха през годините на проучване показва положителни отклонения и през трите зимни месеца, с изключение на стойностите на показателя през месец януари 2019 г. в района с по-голяма надморска височина (фиг. 2). Общото отклонение през февруари достига и надвишава 2°C. През март, с изключение на 2021 г. отклоненията също са положителни, което води до по-ранно начало на вегетационния сезон от нормално. През останалите пролетни месеци – април и май отклоненията, с малки изключения са отрицателни. През юни температурните колебания са в рамките на 1°C, а след това се повишават и трайно се задържат по-високи от климатичната норма. Най-големи (повече от 3°C) са отклоненията през ноември 2019. Изключение се наблюдава през месеците септември и октомври на 2021 г., както и през летните месеци на 2021 г., когато положителните отклонения достигат и надвишават 2°C.



Фиг. 2. Отклонение на средната месечна температура на въздуха през годините на експеримента спрямо референтния период

Вероятностните оценки определят 2019 г. като гореща (с най-голяма температурна сума) в района на Девин, Беклемето и Пловдив, докато в Розино тя е средно топла. Близка до нормата е 2020 г. в Девин, Беклемето и Розино, докато в Пловдив годината се характеризира като средно-студена (фиг.3). Студена е 2021 г. в района на Розино, а в останалите полигони тя покрива климатичната норма.

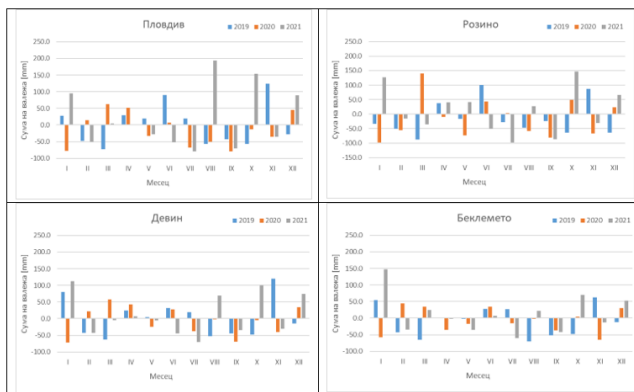


Фиг. 3. Характеристика на топлинните условия за годините на експеримента

4.1.2. Отклонение на средните месечни суми на валежите през годините на експеримента

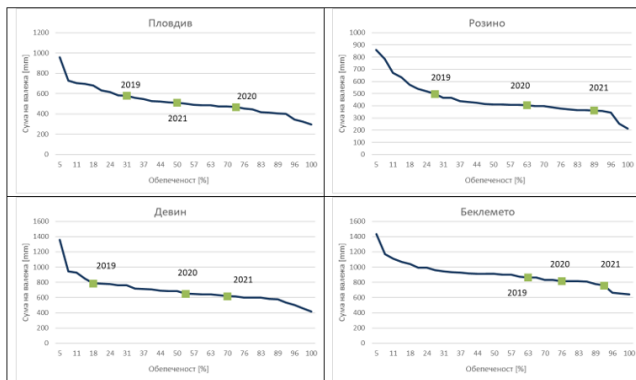
Значими положителни отклонения на валежите се забелязват през ноември на 2019 година във всички станции, докато отклонението през юни е само в Пловдив и Розино. Отрицателни отклонения се наблюдават през март и август във всички полигони (фиг.4). През март 2020 г. са отчетени

значителни положителни отклонения. Отрицателни се наблюдават през септември и ноември във всички полигони, а в Пловдив и Розино и през юли и август. Най-големи са положителните отклонения през 2021 г. – през януари и октомври, с изключение на Беклемето. Отрицателни са отклоненията през лятото в Пловдив.



Фиг. 4. Отклонение на средните месечни суми на валежите през годините на експеримента спрямо референтния период

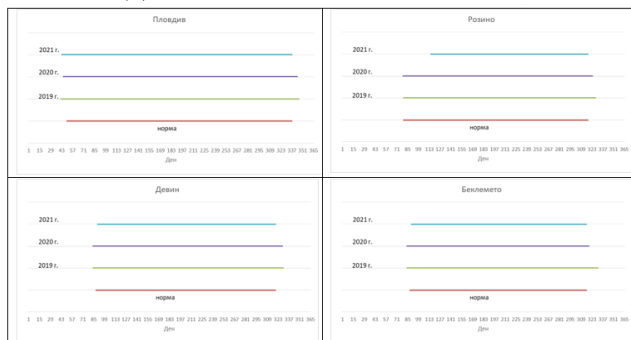
Средногодишните суми на валежите определят 2019 г. като близка до нормалното за района на Беклемето и средно влажна в останалите. Нормална е 2020 г. в полигоните Розино и Девин и средно суха в Пловдив и Беклемето (фиг.5). В Пловдив 2021 г. е нормална, средно суха в Розино и Девин, а суха в Беклемето.



Фиг. 5. Характеристика на условията на овлажнение през годините на експеримента

4.1.3. Продължителност на вегетационния сезон

През 2019 г. вегетационният сезон във всички разглеждани райони е по-дълъг от нормата с приблизително 10 до 20 дни. Удължаването на периода се дължи на по-късното прекратяване на вегетацията през есента (фиг. 6). През 2020 г. вегетационният сезон е също по-дълъг от нормата, докато през 2021 г. в Девин и Беклемето е близък до нея, а в Розино е по-къс.



Фиг. 6. Продължителност на вегетационния сезон в наблюдаваните участъци през годините на експеримента

Най-голям брой безвалежни периоди през 2019 г. са отчетени в Розино – два периода през пролетта и един през лятото. През 2020 г. също в Розино са отчетени три периода, през късна пролет, лято и ранна есен. През 2021 г. са отчетени продължителни летни и есенно засушаване, с изключение на района на Беклемето (Таблица 2).

Таблица 2. Продължителност на безвалежни периоди през периода на експеримента

Локация	2019		2020		2021	
	Прод.(дни)	Период	Прод.(дни)	Период	Прод.(дни)	Период
Пловдив	33	18.08-19.09	16	5-20.05	23	4.07-25.08
	22	10.10-30.10	49	20.08-7.10	38	31.08-7.10
Розино	26	14.03-8.04	18	4.05-21.05	47	3.07-18.08
	16	21.04-6.05	16	28.07-12.08	39	31.08-8.10
	47	4.08-19.09	34	5.09-8.10		
Девин	34	17.08-19.09	21	5-25.09	36	21.07-25.08
Беклемето	38	17.08-23.09	21	5-25.09		

4.2. Проучване на видовия състав и приосновно покритие на тревостоите

Полигон 1- Пловдив

Анализът на данните за периода 2019–2021 г. позволява да се проследят както устойчивостта на първоначално внесените културни видове, така и степента на естествено обогатяване на тревостоя с бобови и разнотревни компоненти (табл. 3).

Таблица 3. Описание на видовия състав и приосновното покритие на полигон – Пловдив

Полигон - Пловдив			
Година	2019	2020	2021
Общо приосновно покритие (%)	97	95	95
Средна височина на тревостоя (cm)	35	40	30
Брой видове	9	15	15
Житни			
1. <i>Phleum pratense</i>	3	2a	2a
2. <i>Lolium perenne</i> - BARRAGE	3	2a	2a
3. <i>Festuca rubra rubra</i>	2b	2a	2a
4. <i>Lolium perenne</i> – BARFLIP	2b	2a	2a
5. <i>Poa pratensis</i>	2b	1	1
Бобови			
6. <i>Trifolium repens</i>	+	+	+
7. <i>Trifolium arvense</i>		+	+
8. <i>Medicago lupulina</i>		+	+
Разнотревие			
9. <i>Chondrilla juncea</i>		r	r
10. <i>Cichorium intybus</i>	+	1	1
11. <i>Convolvulus arvensis</i>	+	2a	1
12. <i>Galium verum</i>		r	+
13. <i>Hypochaeris radicata</i>	+	2a	1
14. <i>Linum bienne</i>		+	+
15. <i>Moenchia mantica</i>	+	1	+

На базата на анализа в полигона могат да бъдат открити няколко ясно изразени тенденции в развитието на тревостоя.

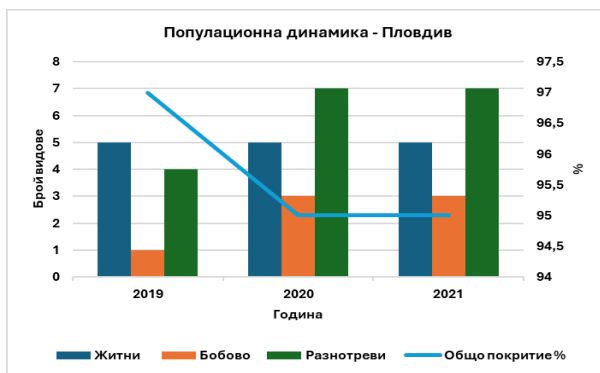
1. Съхраняване на високо приосновно покритие. През целия период тревостоят поддържа много висока степен на покритие – 95–97%, с минимално наличие на оголени участъци и с висока устойчивост срещу разреждане. От друга страна, подобно покритие ограничава ерозията, понижава риска от вторично заплевеляване и създава предпоставки за по-ефективно използване на влагата.

2. Увеличаване на видовото разнообразие. Преходът от 9 към 15 вида е една от най-важните характеристики на наблюдавания период. Наблюдава се увеличение както на бобовата растителност, така и на разнотревите.

3. Стабилност на житните доминанти.

Въпреки навлизането на нови видове, житните треви остават водещата група. Това е признак за добра устойчивост на първоначално заложената тревна смеска и за успешна адаптация на културните видове към местните условия.

4. Постепенно увеличаване на видовото разнообразие (фиг. 7). Наблюдава се преход към по-разнообразна и по-устойчива на променящите се климатични условия структура.



Фиг. 7. Динамика на основните параметри на растителността

Получените резултати позволяват да се направи извод, че тревостоят в полигона се характеризира с висока структурна устойчивост, добро приосновно покритие и изразена тенденция към видово обогатяване. За периода 2019–2021 г. не се наблюдава деградация на тревната площ, а напротив - приосновното покритие остава трайно високо, житните видове запазват ролята си на основен компонент, бобовите растения увеличават участието си, общият брой видове нараства значително и се стабилизира, (Фиг. 7). Всичко това дава основание полигонът да бъде определен като устойчив тревостой с благоприятен ценотичен състав.

Полигон 2 - Розино

Полигон Розино се характеризира с тревостой, в който се наблюдава сравнително високо ценотично разнообразие от житни, бобови и разнотреви. Данните за периода 2019–2021 г. очертават тенденциите в развитието на тревното съобщество, стабилността на основните функционални групи и изменението на структурните показатели (табл. 4).

Анализът на основните структурни показатели показва, че тревостоят в полигон 2 (Розино) се характеризира с относително висока, но динамична степен на приосновно покритие (табл. 4). През 2019 г. то е 87%, през 2020 г. намалява до 85%, а през 2021 г. се увеличава до 90%. Тези колебания не са големи, но са показателни за протичащи вътрешни ценотични промени и за известна чувствителност на тревостоя към условията на средата. Намаляването на приосновното покритие през 2020 г. може да се тълкува като резултат от временна редукция в плътността на част от доминиращите компоненти. Последвалото им увеличение през 2021 г. до 90% показва, че тревостоят не само се възстановява, но дори подобрява структурата си. Това е признак за добра възстановителна способност и относително висока екологична пластичност на тревната растителност в този район.

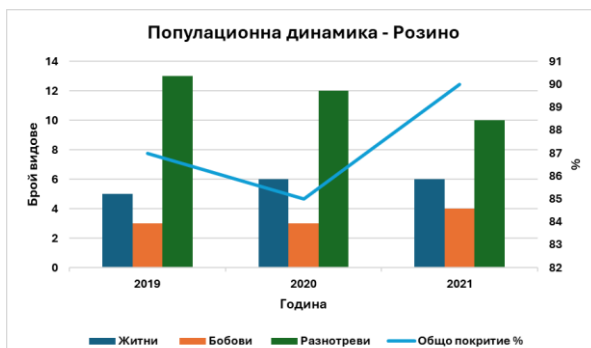
Таблица 4. Описание на видовия състав и приосновното покритие на полигон 2 – Розино

Полигон 2 - Розино			
Година	2019	2020	2021
Общо приосновно покритие (%)	87	85	90
Средна височина на тревостоя (cm)	40	30	45
Брой видове	21	21	20
Житни			
1. <i>Agrostis capillaris</i>	2a	3	2m
2. <i>Anthoxanthum odoratum</i>	1	+	1
3. <i>Cynosurus echinatus</i>		+	1
4. <i>Danthonia alpina</i>	+		
5. <i>Festuca valesiaca</i>	2a	+	1
6. <i>Poa pratensis</i>		+	2m
7. <i>Nardus stricta</i>	1	1	1
Бобови			
8. <i>Chamaespartium sagittale</i>	1	+	1
9. <i>Genista depressa</i>	+	+	1
10. <i>Lotus corniculatus</i>	+		+
11. <i>Trifolium alpestre</i>		1	+
Разнотревце			
12. <i>Achillea millefolium</i>	+	2a	2m
13. <i>Asperula cynanchica</i>	+	+	1
14. <i>Centaureum erythraea</i>		+	+
15. <i>Galium verum</i>	2a	+	1
16. <i>Hieracium hoppeanum</i>		+	
17. <i>Linum bienne</i>	+		
18. <i>Plantago lanceolata</i>	+		+
19. <i>Potentilla argentea</i>	+		+
20. <i>Rumex acetosa</i>	1	+	+
21. <i>Rumex acetosella</i>	+		
22. <i>Scabiosa ochroleuca</i>	1	+	+
23. <i>Scleranthus perennis</i>	+		
24. <i>Silene frivaldskyanana</i>		+	
25. <i>Silene roemerii</i>	+	1	+
26. <i>Stellaria graminea</i>		+	
27. <i>Teucrium chamaedrys</i>	+	+	
28. <i>Thymus jankae</i>	+	1	+

През периода на проучването не се наблюдава рязка промяна в броя на видовете в полигона, а съчетано с добро приосновно покритие потвърждават, че в анализирания период не протичат деградационни процеси. Констатираме по-скоро динамично равновесие, при което отделни видове променят участието си, но тревостоя запазва общата си структура.

На фиг. 8. са представени данните от приосновното покритие и съотношението на групите растения в тревостоя и тяхната тенденция на развитие. Получените резултати показват, че тревостоят в района на Розино се характеризира с богато видово разнообразие, относително стабилно приосновно покритие и ясно изразено участие на разнотревците. За периода 2019–2021 г. не се установява деградация на тревната покривка, а по-скоро

се наблюдава динамично стабилизиране на съобществото при запазване на по-сложна ботаническа структура.



Фиг. 8. Динамика на основните показатели на растителността

Това характеризира полигонът като ценен обект за анализ по отношение на продуктивността и устойчивото управление на тревните ценози.

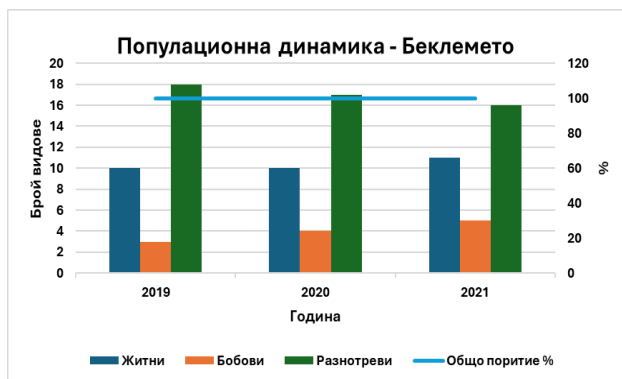
Полигон 3 – Беклемето

Районът на Беклемето се характеризира като тревостой с изключително висока степен на приосновно покритие и богато видово разнообразие. Данните за периода 2019–2021 г. показват сравнително стабилно участие на житните треви и богат набор от бобови и разнотревни видове, което придава на полигона сложна и екологично устойчива структура (табл. 5).

Таблица 5. Описание на видовия състав и приосновното покритие на полигон 3 – Беклемето

Полигон 3 - Беклемето			
Година	2019	2020	2021
Общо проективно покритие (%)	100	100	100
Средна височина на тревостоя (cm)	30	30	25
Брой видове	32	32	33
Житни			
1. <i>Agrostis capillaris</i>	2b	2a	+
2. <i>Aira elegantissima</i>	+	1	1
3. <i>Anthoxanthum odoratum</i>	+		+
4. <i>Chrysopogon gryllus</i>	2b	2a	2b
5. <i>Festuca valesiaca</i>	1	2a	2a
6. <i>Koeleria macrantha</i>		+	1
7. <i>Phleum subulatum</i>	+	1	+
8. <i>Poa bulbosa</i>	1	1	1
9. <i>Sieglingia decumbens</i>	+	+	+
10. <i>Vulpia myurus</i>	+	1	1
11. <i>Deshampsia flexuosa</i>	1	1	2b
Бобови			
12. <i>Genista depressa</i>	+		+
13. <i>Lotus angustissimus</i>		+	
14. <i>Medicago lupulina</i>	+		+
15. <i>Trifolium arvense</i>		+	+
16. <i>Trifolium campestre</i>		+	+
17. <i>Lotus corniculatus</i>	+	+	+
Кисели треви			
18. <i>Luzula campestris</i>	1	+	+
Разнотреви			
19. <i>Achillea millefolium</i>	+	1	+
20. <i>Anthemis austriaca</i>		+	+
21. <i>Asperula cynanchica</i>	+		
22. <i>Chondrilla juncea</i>	+	1	+
23. <i>Dianthus armeria</i>		+	+
24. <i>Eryngium campestre</i>	+	r	
25. <i>Euphorbia cyparissias</i>	+	1	1
26. <i>Galium tenuissimum</i>		+	
27. <i>Galium verum</i>	+		
28. <i>Hieracium hoppeanum</i>	2b	1	1
29. <i>Hypericum olympicum</i>	+	1	
31. <i>Hypochoeris radicata</i>	+		+
32. <i>Jasione heldreichii</i>	+		
33. <i>Logfia arvensis</i>		+	+
34. <i>Petrorhagia prolifera</i>		+	+
35. <i>Pinus sp.</i>	r		
36. <i>Plantago lanceolata</i>	+		+
37. <i>Plantago subulata</i>	+	2a	1
38. <i>Rumex acetosella</i>	+		
39. <i>Sanguisorba minor</i>		+	+
40. <i>Scabiosa ochroleuca</i>	+	1	1
41. <i>Scleranthus perennis</i>	+	1	1
42. <i>Thymus jankae</i>	1	1	1
43. <i>Verbascum phlomoides</i>	+	1	1

Анализът на данните за видовия състав и тревното покритие на полигона показват изключително висока и постоянна степен на приосновно покритие - 100% през целия период на наблюдение (фиг. 9). Много високо и стабилно видово разнообразие. Добре развит житен компонент със стабилна доминация, което осигурява добра структурна основа на тревостоя. Умерено, но стабилно участие на бобовите растения с тенденция към обогатяване.



Фиг. 9 Динамика на основните показатели на растителността

Полигон 4 – Девин

Полигонът край Девин се характеризира с висока степен на приосновно покритие, добро видово разнообразие и ясно изразено участие на отделните групи житни, бобови и разнотревни видове (табл. 6).

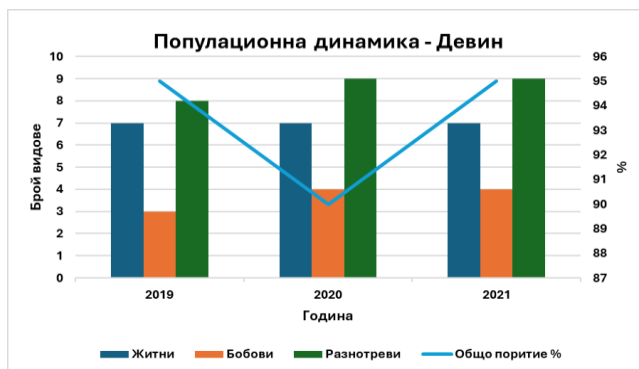
Анализът на данните показва, че приосновното покритие през 2019 г. е 95%, през 2020 г. намалява до 90%, а през 2021 г. отново достига 95%. Това е показателно за стабилно добро тревно покритие през целия период на проучването. Средната височина на тревостоя варира в границите 20–25 cm, с леко увеличение през 2020 г. и връщане през 2021 г. (табл. 6). Това показва относително стабилна вертикалната структура на тревната покривка. Броят на видовете също варира, като нараства от 18 през 2019 г. до 19 през 2020 и 2021 г. и също показва стабилност по отношение на наблюдавания показател през целия период на изследването. Отново, както при другите полигонали наблюдаваме участие на трите основни ценотични групи.

Таблица 6. Описание на видовия състав и приосновното покритие на полигон 4 – Девин

Полигон 4 - Девин			
Година	2019	2020	2021
Общо приосновно покритие (%)	95	90	95
Средна височина на тревостоя (cm)	20	25	20
Брой видове	18	19	19
Житни			
1. <i>Agrostis capillaris</i>	+	+	+
2. <i>Anthoxanthum odoratum</i>	1	1	+
3. <i>Deschampsia caespitosa</i>	+	1	+
4. <i>Festuca pratensis</i>	1	2b	1
5. <i>Lolium perenne</i>	+	+	+
6. <i>Poa pratensis</i>	2a	1	+
7. <i>Nardus Stricta</i>	1	1	+
Бобови			
8. <i>Lotus corniculatus</i>		+	+
9. <i>Trifolium hybridum</i>	1	+	+
10. <i>Trifolium patens</i>	3	1	+
11. <i>Trifolium pratense</i>	1	+	1
Разнотревиче			
12. <i>Achillea millefolium</i>		+	+
13. <i>Hypochaeris radicata</i>	+	+	+
14. <i>Mentha longifolia</i>	+	+	+
15. <i>Moenchia mantica</i>	2a	2a	1
16. <i>Myosotis scorpioides</i>	+		
17. <i>Plantago lanceolata</i>	+	1	+
18. <i>Prunella laciniata</i>	+	+	+
19. <i>Ranunculus acris</i>	1	+	+
20. <i>Rumex acetosa</i>	+	+	+

На база на извършения анализ на видовия състав и тревно покритие в полигона край Девин може да се направи следното обобщение:

През тригодишния период тревостоят показва добра структурна устойчивост като запазва висока степен на приосновно покритие (фиг.10). Броят на видовете не варира в широки граници, показател за добър видо баланс на тревното покритие. Водещо е участието на житните видове, които доминират в структурата на тревното съобщество през целия период на проучването, независимо от колебанията в участието на някои от видовете. Бобовите растения са по-слабо представени, но имат ясно изразено присъствие и важно влияние върху качеството на тревостоя. Наблюдава се годишна вътревидова динамика по отношение на участие на отделните диници. Разнотревните видове допълват видовото разнообразие в полигона.



Фиг. 10 Динамика на основните показатели на растителността

Извършеният сравнителен анализ при пасищата в четирите изследвани полигона (Пловдив, Розино, Беклемето и Девин), с акцент върху потенциала за акумулиране на въглероден диоксид показва, че разликите във видовия състав, приосновното покритие, височината на тревостоя и наблюдаваното видово разнообразие са пряко свързани не само с екологичната устойчивост на съответните пасищни съобщества, но и с техния потенциал за фиксиране на въглероден диоксид и натрупване на въглерод.

Един от най-важните показатели, свързани с потенциала за натрупване на въглерод, е степента на покритие с растителност на почвената повърхност. Колкото е по-добро приосновното покритие и по-гъста е растителността, толкова по-голяма е фотосинтетично активната площ и толкова по-ефективно се осъществява абсорбирането на въглерод.

На базата на това се наблюдават значителни разлики между четирите полигона:

- Полигон 3 – Беклемето се отличава с 100% приосновно покритие през целия период на проучването;
- Полигон 1 – Пловдив поддържа много високо приосновно покритие – 95–97%;
- Полигон 4 – Девин също се характеризира с високи стойности по този показател – 90–95%;
- Полигон 2 – Розино показва относително по-ниски стойности – 85–90%.

В резултат на анализа на потенциалната възможност за акумулиране на CO₂, може да се направи извода, че Беклемето има най-благоприятните структурни предпоставки за интензивна фотосинтетична активност, тъй като растителната покривка е непрекъсната, без оголени участъци и с потенциално максимално оползотворяване на площта. Това допринася за

интензивно натрупване на надземна биомаса и корени, което е от голямо значение за натрупването на органичен въглерод в почвата.

Видовото разнообразие е вторият ключов фактор, определящ въглеродния потенциал на пасищните фитоценози. Пасищата с по-висока флористична хетерогенност обикновено използват по-пълно екологичните ресурси на местообитанието, тъй като различните видове заемат различни екологични ниши, имат различна дълбочина на кореновата система, различни темпове на растеж и различна сезонна активност. Това води до по-пълноценно усвояване на светлина, влага и хранителни вещества и в крайна сметка до по-висока обща продуктивност на биомасата.

Сравнението между полигоните показва ясно разграничение по този показател:

- Беклемето: 32–33 вида
- Розино: 20–21 вида
- Девин: 18–19 вида
- Пловдив: 9–15 вида

Най-високото видово разнообразие е установено в полигон 3 – Беклемето, което го определя като най-богатото фитоценологично съобщество. Това е особено важно от гледна точка на натрупването на въглерод, тъй като високото биоразнообразие предполага наличието на функционално допълване между отделните растителни компоненти. Някои видове образуват гъста надземна биомаса, други развиват по-дълбока или по-разклонена коренова система, а трети имат по-дълъг период на активна вегетация.

Розино също се отличава с високо видово богатство, макар и в по-малка степен от Беклемето. Голяма част от видовото разнообразие там обаче се дължи на различни тревисти видове, които не винаги имат еднакъв принос за образуването на продуктивна надземна маса. Следователно, големият брой видове в този полигон е безспорно положителен от екологична гледна точка, но не означава автоматично най-висока способност за натрупване на въглерод.

Девин заема междинна позиция, съчетавайки относително добро видово разнообразие с по-компактна и балансирана структура.

Пловдив, въпреки че в началото на проучването има най-малък брой видове, показва ясна тенденция към флористично обогатяване. Това е особено важно, тъй като означава, че въглеродният потенциал на пасищата не е статичен, а се увеличава с развитието на по-сложна фитоценотична организация.

Не само броят на видовете, но и структурата на видовия състав по функционални групи има решаващо значение за способността на тревните съобщества да натрупват въглероден диоксид. Акумулираните количества

зависят от съотношенията между житни треви, бобови растения, разнотревие и в някои случаи – кисели треви.

Житните видове са основният структурен и продуктивен компонент на пасищата. Те съставляват значителна част от надземната биомаса, формират добре развита коренова система и осигуряват висока степен на приосновното покритие. Поради това те са от първостепенно значение за акумулирането на CO_2 и последващото натрупване на органичен въглерод в почвата.

Най-добре развита е групата на житните треви в Пловдив, където пасищата са първоначално формирани от тревна смеска от културни видове, които имат силно изразена доминираща роля. Следва полигона на Беклемето, житните изобилстват по видов състав и групата е добре диференцирана. В района на Девин, житните треви са стабилен и структурно важен елемент и Розино, където групата е също със стабилно присъствие, но разнотревието е много силно изразено.

На база на анализа с максимален потенциал за акумулация на въглерод, Пловдив и Беклемето показват най-благоприятна структура на житния компонент.

Бобовите култури са от особено значение за натрупването на въглерод, въпреки че често не доминират количествено. Тяхната роля се изразява основно в биологично фиксиране на атмосферния азот, подобряване на азотното хранене в пасищата, подобряване на продуктивността на съпътстващите житни видове, подобряване на качеството на растителната биомаса, косвено подпомагане на натрупването на органична материя в почвата. От тази гледна точка пасищата, в които бобовият компонент е стабилно представен, без да е задължително количествено доминиращ, са особено благоприятни

От гледна точка на комбинирания ефект между житните, като основа и участието на бобовите растения, Пловдив има особено добри предпоставки за ефективно усвояване на CO_2 , тъй като условията за напояване и изкуствено създадената тревна смеска вероятно подпомагат както продуктивността, така и стабилността на бобовия компонент.

Разнотревите нямат едностранна роля по отношение на натрупване на въглерод. От една страна, те увеличават биоразнообразието, подобряват структурната сложност на пасищата и могат да подпомогнат по-пълноценното използване на екологичните ресурси. От друга страна, при прекомерно участие на растения от тази група е възможно намаляване на относителния дял на високопродуктивните житни видове. От тази гледна точка с най-силно развито разнотревие се открояват Беклемето и Розино. Девин има умерено участие на групата, а Пловдив показва контролирано и постепенно включване на разнотреви, без да се нарушава основата от житни

видове. Следователно, разнотревите допринасят в най-голяма степен за екологичната устойчивост и видовото разнообразие на тревостойките и косвено – за тяхната способност да натрупват въглерод в дългосрочен план.

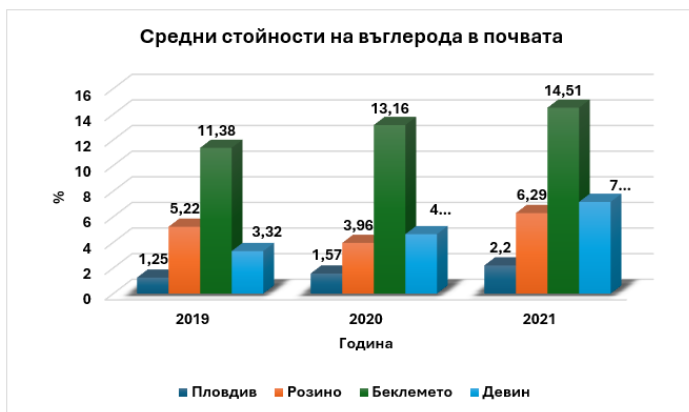
Натрупването на въглероден диоксид е неразривно свързано с натрупването на биомаса. В пасищните екосистеми значителна част от фиксирания въглерод се съхранява не само в надземната растителна маса, но и в кореновата система и в органичната материя на почвата. Следователно, при оценката на въглеродния потенциал трябва да се вземат предвид не само височината на пасищната растителност, но и нейната плътност и функционална структура.

Според този показател Беклемето показва най-благоприятната комбинация от пълно покритие, изключително високо видово разнообразие и стабилен житеен компонент, което предполага голям потенциал за образуване както на надземна, така и на подземна биомаса. Пловдив се отличава с много високо приосновно покритие и ясно изразена продуктивна база, формирана от културни житни треви, което предполага висока интензивност на фиксиране на въглерод. Полигонът в Девин също има и добра и балансирана структура на тревното покритие, което му дава стабилна, макар и вероятно по-умерена способност за акумулиране на въглерод. Розино има добро видово разнообразие, но по-ниско приосновно покритие, което съчетано със силното участие на разнотреви вероятно ограничават потенциала му по проучвания показател в сравнение с другите полигонали.

Важно е да се подчертае, че планинските и по-малко нарушени тревни съобщества, като тези в Беклемето и до известна степен в Девин, често акумулират значителна част от въглерода в почвата благодарение на устойчивата коренова маса и относително бавната минерализация на органичната материя. Това увеличава тяхната стойност като дългосрочни въглеродни депа.

4.3. Определяне на съдържанието на въглерод в почвата

Обобщеният анализ на резултатите за периода 2019–2021 г. (фиг. 11), показва ясно изразена сезонна зависимост, като най-високи стойности на органичен въглерод се установяват през пролетта и есента, когато климатичните условия са най-благоприятни за фотосинтетична активност и натрупване на биомаса.



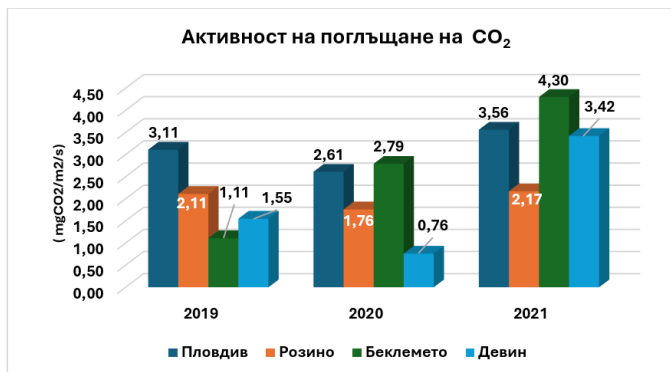
Фиг. 11 Стойности на органичен въглерод в почвата 2019-2021 г.

Най-висок потенциал за акумулиране на въглерод е установен в полигона Беклемето, което се обуславя от специфичните почвено-климатични условия, високото съдържание на органична материя и добре развитата тревна растителност. Полигоните Девин и Розино също демонстрират добър потенциал, като Девин се отличава със стабилност на показателите, а Розино с по-изразена динамика, но добра възстановителна способност.

4.4. Определяне активността на поглъщане на CO₂ от единица площ

За проследяване динамиката на усвояване на CO₂ през годините, резултатите за всяка година са осреднени и са представени на фиг. 12. При различните полигони се забелязва вариране в този показател през годините, но 2021 г. се отличава с най-високите стойности при всички полигони, в сравнение с 2019 и 2020 г., а най-ниската активност е отчетена през 2020 г. с изключение на Беклемето, където активността на фотосинтезата се запазва относително висока. Равнинните тревостои показват висок потенциал за усвояване на въглерод, но са силно зависими от влагата и температурата, за това има толкова силно изразени сезонни колебания във фотосинтетичната активност. Това се потвърждава от резултатите получени на полигон Пловдив, при който най-високи средни стойности са отчетени през 2021 г. (3,559 mgCO₂/m²/s), а най-ниски през 2020 г. (2,611 mgCO₂/m²/s). Това отново потвърждава полученото и от други автори, че климатичните колебания имат сериозно въздействие върху горепосочените процеси (Austin et al., 2004, Liu et al., 2016, Merbold et al., 2009, Nielsen and Ball, 2015). На полигона в Розино, типичен предпланински район, се наблюдава стабилна фотосинтетична активност и усвояване на CO₂, с близки стойности между годините.

Най-високи стойности също са отчетени през 2021 г. (2,171 mgCO₂/m²/s), а най-ниски през 2020 г. (1,761 mgCO₂/m²/s). Стойностите на поглъщане на CO₂ са близки и варират в тесен диапазон със слаби междугодишни колебания. На полигон Беклемето най-висока стойност е регистрирана през 2021 г. (4,302 mgCO₂/m²/s), а най-ниска (1,115 mgCO₂/m²/s) през 2019 г.



Фиг. 12 Средни стойности на усвояния CO₂ от тревна растителност

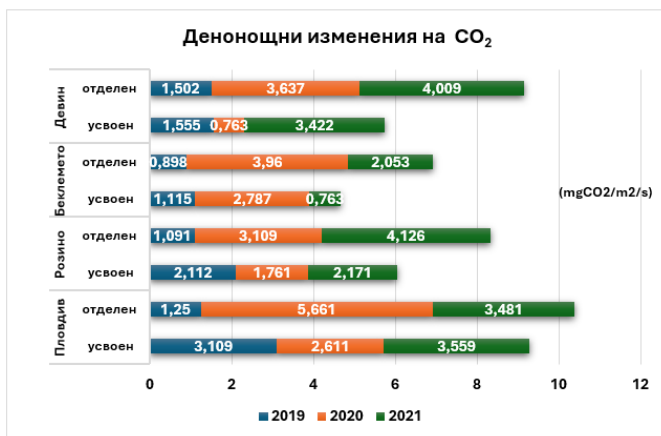
Резултатите потвърждават, че планинските тревостои са изключително чувствителни към климатичните условия, но при оптимални параметри достигат максимална фотосинтетична ефективност. На полигон Девин най-високи стойностите са отчетени отново през 2021 г. от (3,422 mgCO₂/m²/s), а най-ниски (0,763 mgCO₂/m²/s) през 2020 г.

Данните от тригодишния период показват силна зависимост на интензивността на поглъщане на CO₂ от метеорологичните условия и надморската височина. Анализът разкрива ясно изразени вариации в усвояването на CO₂ между полигоните (фиг. 12).

4.5. Определяне на денонощното изменение на потоците CO₂

Денонощните изменения в потоците CO₂ през трите години на експеримента показват, както сезонни така и годишни колебания (фиг. 13). През 2019 г. е регистриран отрицателен баланс на потоците CO₂ поради по-високите стойности на усвояване в сравнение с тези на отделяне на CO₂ от растителността на всички полигони. През 2020 г., поради силно неблагоприятните климатични условия, се наблюдава обратна тенденция и се отчита положителен баланс на потоците CO₂. През 2021 г. се наблюдава разлика между полигоните. Пловдив и Беклемето са с отрицателен баланс, а

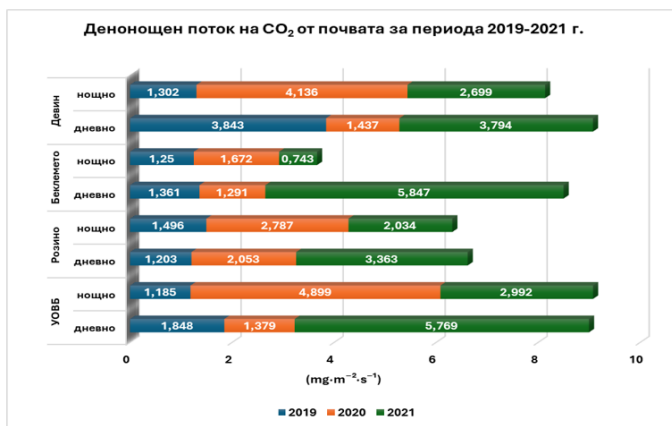
Розино и Девин с положителен, тъй като при тях се отчита по-високо отделяне на CO₂.



Фиг. 13 Средногодишни денонощни изменения на потоците CO₂ от тревостойите през периода 2019-2021 г.

4.6. Определяне денонощните колебания на почвеното дишане

Обобщените средногодишни данни за денонощните колебания в почвеното дишане в четирите изследвани района - Пловдив, Розино, Беклемето и Девин, за периода 2019–2021 г. са представени на фигура 14. Показателят почвено дишане отразява интензивността на микробната и кореновата активност, които силно зависят от климатичните и екологичните фактори.



Фиг. 14 Денонощен поток на CO₂ от почвата за периода 2019-2021 г.

През годините се забелязва тенденция за повишаване на почвеното отделяне на CO_2 . През 2019 г. стойностите на показателя са относително ниски и стабилни както през деня, така и през нощта, което свидетелства за умерена и равномерна биологична активност на почвата. През втората (2020) година се отчита повишено нощно дишане във всички полигони, особено в Пловдив и Девин, където нощните стойности надвишават дневните. През 2021 г. се наблюдава рязък скок в дневното дишане в Пловдив и Беклемето, което е индикатор за засилена микробна активност и/или ускорено разлагане на органичната материя, вероятно вследствие на по-високи дневни температури. За сметка на това нощните стойности спадат, което подчертава влиянието на температурата върху дихателните процеси. Розино показва най-умерена динамика с постепенно увеличение на стойностите през годините и относително малка разлика между ден и нощ, което предполага стабилни микроклиматични условия. Девин се отличава с най-висока нощна активност през 2020 г., което може да се дължи на специфичния хидротермичен режим на района.

В заключение можем да кажем, че почвеното дишане е основен показател за биологичната активност. Получените резултати показват ясно изразена сезонна и годишна вариабилност на почвеното дишане, като ключови фактори се явяват температурата и влажността, тип растителност и съдържание на органично вещество. Това твърдение напълно се потвърждава от резултатите получени в редица други изследвания, че температурата и валежите силно влияят на почвеното дишане.

4.7. Проучване способността за усвояване и съхраняване на въглерод в естествени и изкуствени тревостои

Изследването обхваща периода 2019–2021 г. и включва четири локации: Пловдив, Розино, Беклемето и Девин, разположени по ясно изразен надморски градиент и представящи различни типове тревостои.

Резултатите от регресионните анализи доказват, че усвояването на CO_2 е силно чувствително към температурата, като при повишаването и се наблюдава тенденция към намаляване на нетното усвояване. Влажността проявява двойствен ефект – стимулиращ при умерени нива и ограничаващ при преовлажняване. Данните за органичния въглерод в почвата разкриват ясна пространствена диференциация между локациите. Полигонът Беклемето регистрира най-високи и устойчиви стойности през целия период, като средните годишни концентрации на органичен въглерод нарастват от 11,38% (2019) до 14,51% (2021). Полигоните Розино и Девин се характеризират с умерени стойности и ясно изразен нарастващ тренд, особено през 2021 г. Полигонът Пловдив демонстрира най-ниски стойности, но също показва постепенно увеличение през периода.

Тези резултати ясно доказват, че географското разположение, типът тревстой и начина на използване оказват силно влияние върху дългосрочното съхраняване на въглерод в почвата.

4.8. Установяване на връзката между климат, видов състав и натрупването на въглерод в растенията и почвата

Получените резултати ясно показват, че климатичните фактори, температура и валежи, имат определящо значение за интензивността на въглеродния обмен в екосистемата. Температурата оказва двоен ефект: от една страна, стимулира фотосинтетичната активност и растежа на тревната растителност до оптималните стойности, а от друга – високите температури над оптималните им, усилва дихателните процеси и минерализацията на органичната материя. Това е особено изразено в нископланинските и равнинни полигони, където по-високите летни температури водят до по-ниска ефективност на акумулация на въглерод в почвата.

Валежите се проявяват като втори ключов климатичен фактор, чието влияние е тясно свързано с въглеродния цикъл. В планинските райони валежите осигуряват стабилна почвена влажност, както за добро развитие на тревната растителност, така и за стабилизацията на органичния въглерод. В същото време резултатите показват наличие на прагова реакция, при която прекомерното количество на валежите не води до пропорционално нарастване на въглеродното усвояване, а обратно инхибира се процеса на усвояване и акумулация на CO_2 .

Видовият състав на тревните съобщества се проявява не толкова като директен определящ фактор на количеството усвоен или натрупан въглерод, а като фактор, който определя устойчивостта на системата към климатични колебания. Повишеното видово и функционално разнообразие, особено участието на бобови видове, допринася за по-равномерно усвояване на въглерод през вегетационния период и за по-стабилно натрупване на органична материя в почвата.

Този ефект е ясно изразен в полигон Беклемето, където високото видово богатство компенсира междугодишните различия в климатичните условия. Обратно, в полигон Пловдив относително ниското видово разнообразие ограничава способността на екосистемата да смекчи екстремни температурни и влажни условия, което се отразява в по-ниско съдържание на органичен въглерод в почвата.

Планинските райони се отличават с по-висок потенциал за дългосрочно въглеродно съхранение, което може да се обясни с по-ниските температури, по-бавната минерализация и по-стабилните почвени условия. Това съответства на резултатите, разграничаващи екосистемите с висок въглероден запас от тези с висока, но по-малко устойчива продуктивност.

Комбинацията от климатични, биотични и почвени данни показва, че въглеродният цикъл в тревните екосистеми е резултат от сложни взаимодействия между фактори с различна времева и пространствена динамика. Климатът задава границата, растителността определя ефективността на въглеродния поток, а почвата го акумулира, тази стабилност зависи от връзката между отделните фактори.

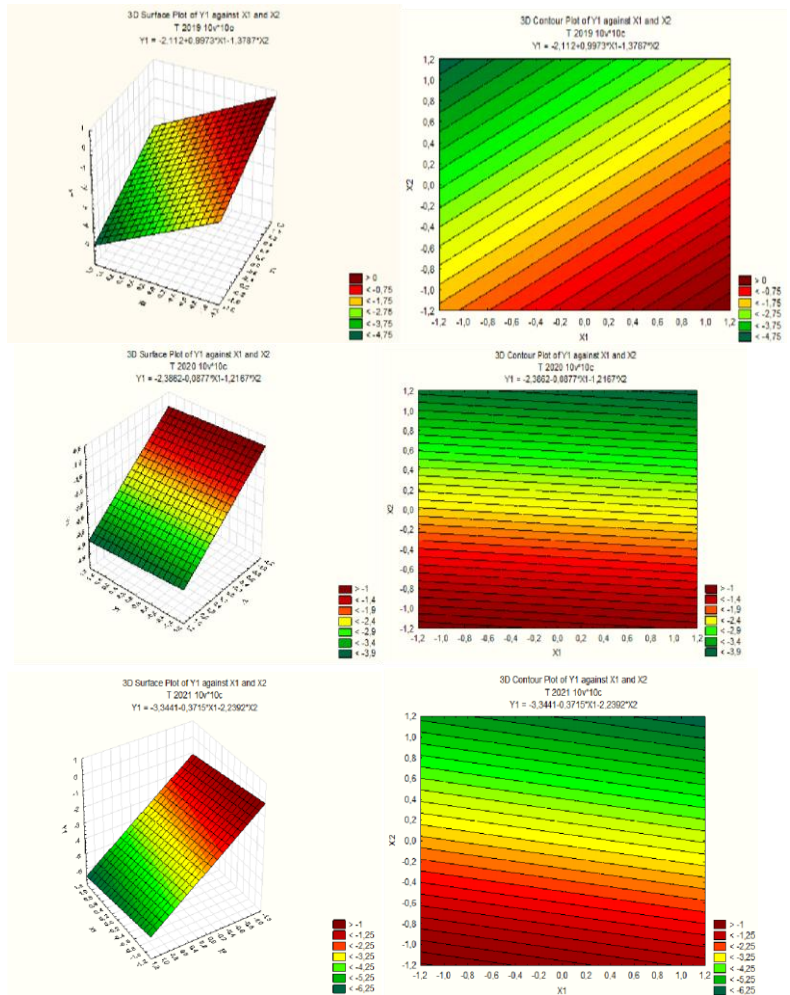
В условията на климатични промени тези взаимодействия придобиват особено значение. Резултатите от настоящото изследване подчертават необходимостта от интегриран подход при управлението на тревните екосистеми, насочен към поддържане на растително разнообразие, оптимизиране на използването и съхраняване на почвените въглеродни запаси, който е ключов елемент от стратегиите за смекчаване на климатичните промени.

4.9. Статистическа обработка на резултатите

За статистическата обработка са използвани данните от динамиката и активността на усвояване на CO_2 и почвено дишане на тревните площи през периода 2019-2021 г. Анализирани са климатичните факторите (температура, влажност) и видов състав. Целта на анализите е да се покаже връзката между факторите, както и кой от тях е с най-голяма тежест при акумулирането на CO_2 , фотосинтетичната активност и видовия състав по години. Резултатите от анализите позволяват да се оцени устойчивостта на тревните екосистеми при условия на климатичните промени.

4.9.1. Регресионен модел между факторите X_1 - видов състав и X_2 - температура върху усвояването на CO_2

За трите години на изследването регресионните модели показват силна линейна връзка между факторите X_1 и X_2 (видов състав и температура) и зависимата променлива Y (усвояването на CO_2). Анализът на отделните регресионни коефициенти доказва, че с увеличаването на видовия състав се оказва положително и статистически значимо влияние върху усвояването на CO_2 . Температурата има по-силно отрицателно влияние върху усвояването на CO_2 , а повишаването ѝ води до намаляване на интензивността на усвояване и се увеличава фотодишането (фиг. 15).

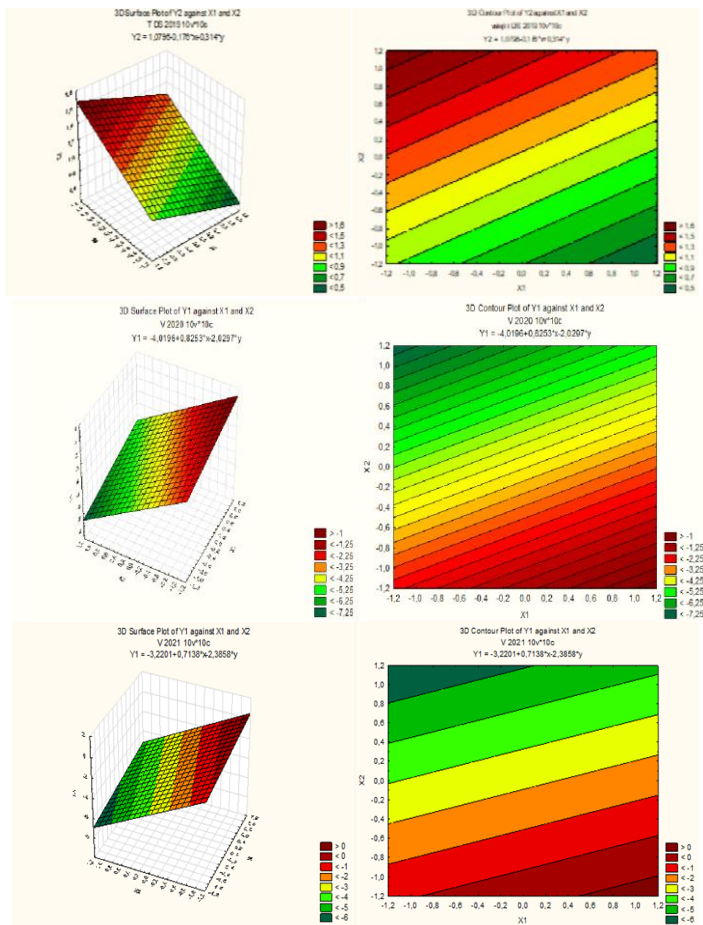


Фиг. 15. Тризмерни и контурни графики отразяващи влиянието на видовия състав и температурата върху усвояването на CO_2 за 2019 (a), 2020 (b) и 2021 (c)

4.9.2. Регресионен модел между факторите X_1 - видов състав и X_2 - влажността на почвата върху усвояването на CO_2

За периода на изследване (2019–2021 г.) са разработени множество линейни регресионни модели, при които зависимата променлива Y – усвояване на CO_2 от растителната покривка, е анализирана спрямо два основни екологични фактора: X_1 – видов състав и X_2 – влажност на почвата. Чрез прилагането на регресионния анализ е оценено влиянието на тези

фактори върху интензивността на усвояване на CO_2 и са установени основните зависимости между тях. Анализ доказва, че влажността на почвата (X_2) има слабо положително влияние върху усвояването на CO_2 , а видовият състав (X_1) оказва слабо отрицателно влияние върху зависимата променлива (Y) (Фиг. 16).

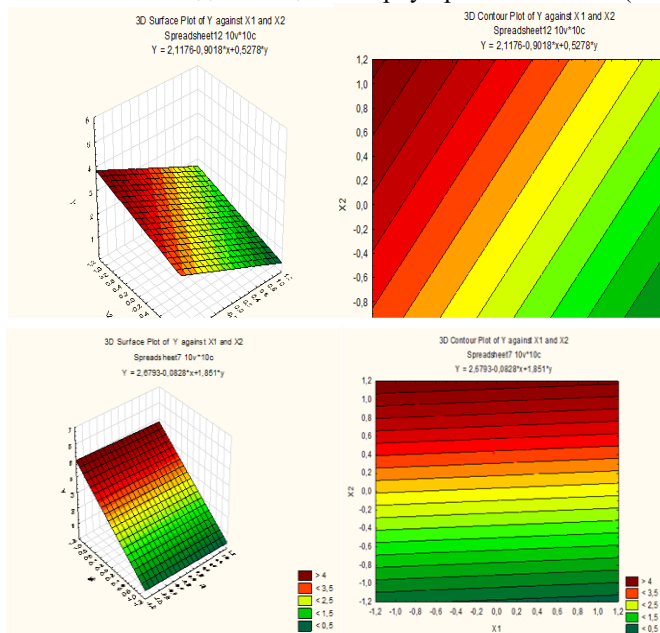


Фиг. 16. Триизмерни и контурни графики отразяващи влиянието на видовия състав и влажността върху усвояването на CO_2 за 2019 (a), 2020 (b) и 2021 (c)

4.9.3. Регресионен анализ между факторите X_1 - влажност на почвата и X_2 - температура на въздуха върху денонощното изменение на CO_2 от тревните площи

От получените данните за денонощните изменения на CO_2 за периода на изследване се установи, че фактора на X_1 има по-голямо отрицателно влияние върху потока на CO_2 през светлата част на денонощието като с увеличаване на стойностите ѝ се наблюдава намаляване на CO_2 . Температурата на въздуха (X_2), оказва по-силно положително влияние върху променлива. С увеличаване на стойността на фактора X_2 се увеличава и потока на CO_2 при условие че останалите фактори остават постоянни.

Анализът доказва, че факторите X_1 и X_2 оказват различно влияние през различните части на денонощието върху променливата Y (Фиг. 17).



Фиг. 17. Триизмерни и контурни графики отразяващи влиянието на влажността на почвата и температурата на въздуха върху денонощното изменение на CO_2 от тревните площи

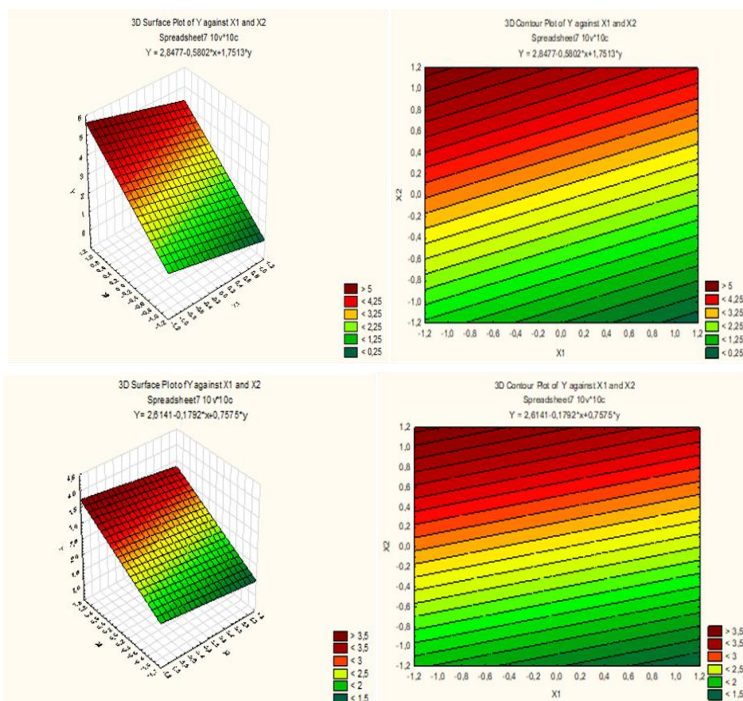
4.9.4. Регресионен анализ между факторите X_1 - влажност на почвата и X_2 - температура на въздуха върху почвеното дишане

Регресионният модел показва влиянието на двата фактора върху почвеното дишане през денонощието. Факторът X_2 , има най-силно положително влияние върху почвеното дишане през денонощието. При

увеличаване на стойностите на X_2 се наблюдава ясно изразено увеличение на стойностите на Y . Влажността на почвата оказва слабо отрицателно влияние зависимата Y . Това определя фактора X_2 (температура на въздуха) като доминиращ върху почвеното дишане през денонощието (Фиг. 18).

В заключение, анализът на данните от 2019–2021 г. доказва, че усвояването на CO_2 от тревната растителност е резултат от динамично взаимодействие между климатичните условия, видовият състав и географското разположение. Докато при умерени и благоприятни условия влажността стимулира акумулацията на въглеродния баланс, при екстремни или неблагоприятни условия предизвикват обратен ефект.

От обобщения анализ на данните, регресионните модели и графики, е установена доминиращата роля на температурата и влажността като ключови климатични фактори при усвояването на CO_2 от тревната растителност.



Фиг. 18. Тризмерни и контурни графики отразяващи влиянието на влажността на почвата и температурата на въздуха върху почвеното дишане

Във всички регресионни анализи, факторът температура се проявява като статистически значим индикатор, като в повечето случаи ефектът му е

отрицателен. С повишаването на температурата се намалява усвояването на CO_2 , което може да се интерпретира като резултат от температурен стрес (ускорено фотодишане и ниска фотосинтетична активност). Тези резултати доказват, че температурата действа не само като регулиращ, но и като ограничаващ фактор, особено при стойности, надхвърлящи оптималните за протичане на физиологическите процеси на растенията.

Влажността също показва сложен и нелинеен характер на влияние в сравнение с температурата. Данните ясно очертават два функционални режима:

Стимулиращ режим – при умерени нива на влажност се наблюдава повишаване на усвояването на CO_2 , свързано с подобрен воден баланс и активен газообмен.

Стресов режим – при много високи и прекалено ниски стойности влажност ефектът става отрицателен.

Комбинираният анализ показва, че влажността не може да компенсира негативния ефект на високата температура, а в определени случаи дори го усилва. При сценарии с едновременно висока температура и висока влажност се наблюдават най-ниските стойности на тревните екосистемни, което ясно се проявява в регресионните повърхнини като „депресирани зони“. Това взаимодействие подчертава наличието на климатичен праг, отвъд който тревните съобщества преминават от режим на адаптация към режим на стрес.

Видовият състав не се проявява като универсално доминиращ предиктор, но има важна роля. Данните показват, че нейното влияние се свързва с това, че при увеличаване на броя видове се повишава и усвояемостта на CO_2 . Това се дължи на промяната на видовия състав (по-голям процент на бобовите растения), пространственото разположение и благоприятните климатични условия. Но при надморска височина над 1600 усвояването на CO_2 започва да намалява. Това се дължи на по-ниските температури, по-бавния метаболизъм на растенията и по късия вегетационен период. Това ясно се визуализира в регресионните повърхнини, където той определя „рамката“ на процеса, но не и неговата динамика.

Направените анализи доказват, че лимитиращи фактори при усвояването на CO_2 са температурата и влажността, а видовият състав на растителността стимулира усвояването. Този анализ подчертава високата чувствителност на тревните съобщества към промяната на климата.

5. ИЗВОДИ

1. Агроклиматичните условия показват ясно изразена разлика между равнинните и планинските райони. В равнинните (Пловдив и Розино) средногодишните валежи са 638–654 mm, температурните суми достигат 4350–4500°C и вегетационният период е 286–288 дни, а в планинските

райони (Беклемето и Девин) валежите са значително по-високи (870–1020 mm), вегетационният период е по-кратък (около 232 дни) при значително по-ниски температурни суми (2727°C).

2. През изследвания период са установени положителни температурни отклонения до и над 2–3°C, както и неравномерно разпределение на валежите, което води до удължаване на вегетационния сезон с 10–20 дни и формиране на продължителни безвалежни периоди, достигащи в отделни райони до 47–49 дни.

3. Анализът на климатичните фактори показва съществена пространствена диференциация в условията на развитие на растителността, като равнинните райони се характеризират с по-висок риск от засушаване (летни валежни минимума и чести сухи периоди), докато планинските райони се отличават с по-благоприятен воден режим, по-високи валежи и по-устойчиви екологични условия.

4. Установена е тенденция към увеличаване и стабилизиране на видовото разнообразие, което се изразява в развитие на по-сложни, устойчиви и саморегулиращи се полуестествени тревостои.

5. Житните треви доминират във всички полигони и формират основата на тревостоя, бобовите имат ключова роля за азотното обогатяване и продуктивността, а разнотревите допринасят за биоразнообразието и екологичната пластичност.

6. Най-висока екологична устойчивост, видово разнообразие и структурна завършеност е установена в полигона Беклемето, докато останалите полигони показват балансиран, но по-слабо диференцирани фитоценози.

7. Потенциалът за акумулиране на CO₂ е в пряка зависимост от приосновното покритие, видовото разнообразие и функционалната структура, като най-висок е при тревостоите с плътна покривка и добре развит житно-бобов компонент.

8. Съдържанието на органичен въглерод в почвата е най-високо в планинските райони и показва сезонна динамика, обусловена от климатичните условия, като тревните ценози демонстрират висока способност за натрупване на въглерод и екологична устойчивост.

9. Съдържанието на органичен въглерод в почвата през периода 2019–2021 г. варира значително по сезони и по полигони. Най-високи стойности се наблюдават през пролетта и есента, като Беклемето показва най-висок потенциал за натрупване, следвано от Девин и Розино, а в полигон Пловдив е отчетено ограничено натрупване, дължащо се на неблагоприятните климатични условия.

10. Установени са високи стойности на фотосинтетичната активност през май и октомври и значително понижение през юли. Това ясно показва,

че усвояването на CO₂ в голяма степен зависи от температурата и влагозапасеността на почвата. Най-високи стойности на показателя са отчетени през 2021 г., а най-ниски през 2020 г. което доказва силното влияние на климатичните условия върху въглеродния баланс.

11. Денонощният баланс на потоците на CO₂ показват доминиране на усвояването през светлата част, а през нощта преобладава отделянето. Сезонните и локалните климатични фактори определят преходите между усвояване и отделяне, доказвайки комплексното взаимодействие между процесите фотосинтеза и дишане.

12. Почвеното дишане е ключов компонент във въглеродния цикъл, с ясно изразена денонощна и сезонна динамика. Интензивността на процеса силно се влияе от температурата, влажността и съдържанието на органична материя и заедно с фотосинтезата определя способността на фитocenозите да акумулират органичен въглерод.

13. Резултатите от регресионния анализ потвърждават доминиращата роля на метеорологичните условия при определяне на интензивността на въглеродното усвояване от растенията. За разлика от това, запасите от въглерод в почвата се формират под въздействието на климатичните и екологични условия.

14. Установена е ясна разлика между фитocenозите с висока моментна продуктивност и тези с по-висок потенциал за дългосрочно въглеродно съхранение. Планинските тревни съобщества изпълняват ролята на стабилни въглеродни резервоари, докато равнинните и нископланинските системи са по-чувствителни към климатични промени.

15. Поддържането на високо растително разнообразие и устойчиво управление на тревните площи са ключови условия за оптимизиране на въглеродния баланс и за повишаване на адаптивния капацитет на фитocenозите в условията на климатични промени.

6. НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧНИ ПРИНОСИ

1. Развита е концепция за пространствената диференциация на агроклиматичните условия в зависимост от надморската височина, като е доказано влиянието им върху продължителността на вегетационния период, температурните суми и валежния режим.

2. Обогатени са теоретичните представи за въздействието на климатичните промени върху тревостоите, като са установени тенденции към повишаване на температурите, удължаване на вегетационния период и увеличаване на честотата на засушаванията.

3. Установени са закономерности в пространствената организация и структурно-функционалната диференциация на тревните фитocenози в зависимост от климатичните фактори.

4. Доказана е връзката между видовото разнообразие, функционалната структура на растителните съобщества и тяхната екологична устойчивост и саморегулация.

5. Показана е ролята на основните функционални групи растения (житни, бобови и разнотреви) в изграждането на продуктивни и устойчиви тревни екосистеми.

6. Разширени са теоретичните познания за процесите на въглеродния цикъл в тревните ценози чрез анализ на връзката между фотосинтеза, почвено дишане и въглеродно натрупване.

7. Установени са зависимости между климатичните фактори и интензивността на въглеродния обмен, като е доказана водещата роля на температурата и влагата.

8. Обосновано е разграничението между тревостои с висока моментна продуктивност и такива с висок потенциал за дългосрочно съхранение на въглерод.

9. Доразвита е концепцията за планинските тревни съобщества като стабилни въглеродни резервоари в контекста на глобалните климатични промени.

7. НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Извършена е комплексна агроклиматична оценка на различни по надморска височина райони, която може да се използва при планиране и управление на земеползването.

2. Оценен е рискът от засушаване в равнинните райони и са идентифицирани зони с по-благоприятен воден режим, което има практическо значение за адаптивното управление на тревните площи.

3. Предложен е подход за оценка на екологичната устойчивост на тревните екосистеми въз основа на видово разнообразие, структурни характеристики и климатични условия.

4. Количествено е оценен потенциалът на различни тревни съобщества за акумулиране на CO₂, което дава възможност това да се използва при изготвяне на различни мерки за регулиране на климатичните промени.

5. Установена е сезонната динамика на органичния въглерод в почвата, която може да се използва при мониторинг и оценка на почвеното плодородие и въглеродния баланс.

6. Доказано е влиянието на климатичните фактори върху фотосинтетичната активност и почвеното дишане, което може да се използва при разработване на устойчиви екологични практики.

7. Разработен е регресионен модел за оценка на влиянието на климатичните и екологичните фактори върху въглеродния обмен в тревните съобщества.

8. Установени са фитоценози с висок потенциал за дългосрочно съхранение на въглерод, подходящи за различни практики, свързани с възстановяване на въглеродния баланс.

9. Установено е значението на поддържане на високо биоразнообразие и устойчивото управление на тревните площи върху оптимизирането на въглеродния баланс.

10. Получените резултати могат да се използват при разработване на стратегии за адаптация към климатичните промени и за устойчиво управление на агроecosystemите.