



---

ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“  
БИОЛОГИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ • КАТЕДРА „ЕКОЛОГИЯ И ООС“

**Никола Стаменов Ангелов**

**„ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА УСТОЙЧИВО  
УПРАВЛЕНИЕ НА ГРАДСКИ ПОЧВИ ЧРЕЗ  
БУФЕРНИ ТРЕВНИ ИВИЦИ“**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**на дисертационен труд  
за придобиване на образователна и научна степен „доктор“**

**Област на висше образование: 4. Природни науки, математика и информатика  
Професионално направление: 4.3. Биологически науки  
Научна специалност: Екология и опазване на екосистемите**

**Научни ръководители:  
Проф. д-р Илиана Велчева<sup>†</sup>  
Доц. д-р Екатерина Вълчева**

**Пловдив  
2024 год.**

Дисертационният труд съдържа 132 страници, 20 таблици, 46 фигури, както и 188 литературни източници. Списъкът на авторските публикации се състои от 2 заглавия.

Дисертационният труд е обсъден и предложен за защита на заседание на катедра „Екология и опазване на околната среда“, Биологически факултет, ПУ „Паисий Хилендарски“, проведено на 03.12.2024 г. (Протокол № 246/03.12.2024 г.).

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 12.02.2025 г. от 11:00 часа в 14 аудитория на Биологически факултет, ПУ „Паисий Хилендарски“, ул. „Тодор Самодумов“ № 2, на открито заседание на научното жури в състав:

**Доц. дбн Дилян Георгиев Георгиев**  
**Доц. д-р Славя Тенчева Петрова**  
**Проф. дбн Нели Христова Грозева**  
**Проф. д-р Георги Георгиев Беев**  
**Проф. д-р Мариана Генова Дончева-Бонева**

Материалите по защитата са на разположение в отдел „Развитие на академичния състав и докторантури“ към ПУ „Паисий Хилендарски“ и в Централната библиотека на ПУ „Паисий Хилендарски“.

**Автор:**  
Никола Стаменов Ангелов

**Заглавие:**  
ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА УСТОЙЧИВО УПРАВЛЕНИЕ НА ГРАДСКИ ПОЧВИ  
ЧРЕЗ БУФЕРНИ ТРЕВНИ ИВИЦИ

## 1. УВОД

Урбанизацията е един от основните процеси, предизвикващ непрекъсната промяна на природните ландшафти, като темпът ѝ все повече се интензифицира. Всяко подобно въздействие, което променя физико-химичните параметри на средата, неминуемо е свързано и с промени в състава и структурата на екосистемите. Така се нарушава тяхното екологично равновесие, тяхното биологично разнообразие, тяхната способност за самоподдържане, а следователно – и техният потенциал за предоставяне на екосистемни услуги, което в крайна сметка засяга човешкото здраве и благополучие.

Липсата на регулярни комплексни мониторингови програми относно състоянието на градските почви се регистрира в почти всички населени места у нас. Необходимостта от детайлни изследвания на почвите в големите градове, включително и в гр. Пловдив, е обусловена от факта, че почвите са подложени на много силен натиск поради нарастващия интензитет на урбанизацията, а също така и състоянието на градската зелена инфраструктура е тясно обвързано с почвите, в които се развива растителността. В крайна сметка, качеството на градските почви се оказва определящо за предоставяните екосистемни услуги в урбанизираната среда, а по тази причина – и за качеството на живота в населените места.

Тъй като почвите дават основата за развитието на зелената инфраструктура и се явяват ключов елемент от градския ландшафт, устойчивото управление на градските почви е от изключителна важност за опазването на почвата, нейното ползване и възстановяване с цел дългосрочно подобряване качеството на почвите и условията за живот в населените места.

## 2. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Обилието от източници на замърсители в урбанизираните системи води до засилване на химичния натиск върху средата, което в последствие оказва разрушително действие върху здравето на хората и екосистемата (Wong et al., 2006; Taylor and Owens, 2009). Мобилизацията на тежки метали и други потенциално токсични елементи в биосферата в следствие от антропогенната дейност става все по-значим процес в геохимичния кръговрат на тези елементи. Градските почви се превръщат в резервоар на замърсявания в наземните екосистеми, поради което опазването на качеството им и устойчивото им управление придобиват все по-голям приоритет (Li et al., 2013).

Развитието на инфраструктурата и урбанизацията е една от основните заплахи за биоразнообразието и нарушаването и изменянето на микробните съобщества. Микроорганизмите са чувствителни към условията на средата и антропогенното въздействие, затова намират все по-широко приложение за установяването на аномалии в средата. Едни от ключовите параметри за обезпечаване на нормалното функциониране на почвите са количеството на

микроорганизмите, съотношенията между различните функционални групи, ензимните им активности (Dec, 2014), и присъствието на индикатори за фекално-битово замърсяване като фекални колиформи (FC), фекални ентерококи (FE) и *Escherichia coli* (Nogueira et al. 2006; Malik et al., 2016; Hitzl et al., 1997; Song et al., 2015). Микробиомът на градските почви участва в разнообразни процеси като разграждане на органичната материя, синтезиране на хумуса, отделяне на нутриенти и азот-фиксация (Beare et al., 1995), обезвреждане на замърсители и др., поради което оказва силно влияние върху почвените характеристики и качество (O'Donnell et al., 2001).

Фиторемедиацията е ефективна стратегия, която често намира приложение в интегрирания подход, използван в програмите за екологично възстановяване на замърсени земи (Zurek et al., 2014; Azimi et al., 2019). Това технологично решение позволява чрез използване на спецификата на растителния генотип да се минимизират различни стресови фактори в почвата. Тя се прилага успешно в засегнати от замърсявания с тежки метали и органични замърсители почви (Динев, 2009). Методът включва както фиксирането на замърсителите в почвата и предотвратяване на ерозионните процеси, така и извличането на метали в биомасата, чиято концентрация почвата надхвърля значително санитарния праг (Динев, 2009). Едно от основните предимства на фиторемедиацията е, че тя се осъществява на самото място на замърсяването, но като основен нейн недостатък може да се посочи, че изисква дългосрочен ангажимент, тъй като процесът е зависим от способността на растенията да растат и да се развиват в среда, която не е съвсем подходяща за нормалния им растеж.

Създаването и използването на зелени площи се разглежда като ефективен, екологичен, икономически устойчив и рентабилен подход за отстраняване на замърсители от замърсени почви (терени), който има и естетически ползи (Ahmad et al, 2012; Hussain et al., 2018; Masu et al., 2014).

Икономически ефективно и едно от добрите технологични решения е да се използва способността на някои растителни видове да метаболизират, натрупват и детоксикират тежки метали или други вредни органични или неорганични замърсители, акумулирани в почвения слой (Besalatpour et al., 2008; Langella et al., 2014; Gołda and Korzeniowska, 2016; Pandey and Bajpai, 2019; Pandey and Singh, 2020). Важни фактори за успешен резултат от фиторемедиацията са способността на растенията да усвояват тежките метали и тяхната фитодостъпност (Gul et al., 2018, 2019; Zhang et al., 2018).

Изборът на видове и сортове растения, използвани за затревяване на тревни площи и буферни зони край интензивно натоварени градски пътни артерии, се определя от биологичните особености на видовете, свързани с интензивността им на нарастване, натрупване на биомаса, акумулиране на замърсители в корените и надземната биомаса, както и от биологичният им потенциал за детоксикация на замърсителите (Akinci et al., 2010; Pandey, 2012; Pandey et al., 2015; Niknahad et al., 2018).

Създаването и поддържането на зелени площи е свързано със спазване на редица технологични решения и изисквания, които определят ефективното им използване при затреввяване и формиране на естествен чим от многогодишни треви (Vasilev, 2012). Формирането на тревостоите се основава на множество фактори: климатични и метеорологични особености на дадения район, почвени характеристики, естествена растителност (вид и степен на заплевеляване на площите), видов състав на локалното биоразнообразие и нуждите от опазването и възстановяването му.

### 3. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

**Целта на настоящия дисертационен труд** е да се проучат възможностите за устойчиво управление на градски почви чрез буферни тревни ивици.

**Обект на изследване** в настоящия дисертационен труд са почвите на територията на град Пловдив.

**Предмет на изследване** е потенциалът на буферните тревни ивици за устойчиво управление на почвите в населени места.

**Научна хипотеза:** на базата на предвидените комплексни проучвания на градските почви, подбора и тестването в реални условия на ефективни тревисти растения с биоакумулационни способности, чрез изградените и функциониращи буферни зелени ивици около транспортните артерии (апробирани в условията на град Пловдив), може да бъде конструиран модел за устойчиво управление на градските почви, водещ до дългосрочно подобряване качеството на почвите и условията за живот в града.

За изпълнение на посочената цел са поставени следните задачи:

- 1) Подбор на експериментални площадки в регулационните граници на гр. Пловдив
- 2) Подбор на подходи и видове растения за изграждане на буферни тревни ивици
- 3) Създаване и поддръжка на буферни тревни ивици в избраните експериментални площадки
- 4) Анализ на физико-химичните параметри на почвите в експерименталните площадки
- 5) Анализ на съдържанието на избрани химични елементи в почвите и изпитваните тревисти видове
- 6) Анализ на свойствата и характеристиките на почвените съобщества в експерименталните площадки
- 7) Анализ на биоремедиационните способности на изпитваните тревисти видове
- 8) Анализ на възможностите за устойчиво управление на градски почви чрез буферни тревни ивици.

## **4. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ**

### **4.1. Подбор на експериментални площадки в регулационните граници на гр. Пловдив**

За целите на настоящото изследване във всеки от шестте административни района на гр. Пловдив (Тракия, Източен, Южен, Западен, Северен, Централен) бяха избрани по две площадки. Едната площадка е разположена в голяма паркова площ и е интерпретирана като фонова за района. Другата площадка е разположена по протежение на някоя от основните пътни артерии в съответния район и в нея са изградени вегетативните зелени ивици, които са предмет на изследване в хода на дисертацията (Фиг. 1). По този начин са подбрани общо 12 експериментални площадки, отразяващи различен тип антропогенни въздействия върху средата, съобразно урбанистичния градиент, роза на ветровете и други фактори.

### **4.2. Подбор на подходи и видове растения за изграждане на буферни тревни ивици**

Отчитайки почвените характеристики и климатичните особености на района на гр. Пловдив, бяха подбрани следните растителни видове за изграждане на буферните тревни ивици: Гребенчат житняк (*Agropyron cristatum* L.) сорт „Свежина“, Многогодишен райграс (*Lolium perenne* L.) сорт „ИФК Хармония“, Тръстиковидна власатка (*Festuca arundinacea* Schreb) сорт „Албена“ и многогодишната бобова култура Звездан (*Lotus corniculatus* L.) сорт „Лео“. Семена от тях са закупени от сертифицирани производители.

### **4.3. Създаване и поддръжка на буферни тревни ивици в избраните експериментални площадки**

Във всяка от шестте експериментални площадки са обособени по 5 карета с размери 1 × 1 m, в които съответно са заложили 5 експериментални варианта: Вариант 1 – Многогодишен райграс (*Lolium perenne* L.) сорт „ИФК Хармония“ (монокултура); Вариант 2 – Гребенчат житняк (*Agropyron cristatum* L.) сорт „Свежина“ (монокултура); Вариант 3 – Тръстиковидна власатка (*Festuca arundinacea* Schreb) сорт „Албена“ (монокултура); Вариант 4 – Звездан (*Lotus corniculatus* L.) сорт „Лео“ (монокултура); Вариант 5 – смесен посев от четирите вида в съотношение 1:1:1:1.

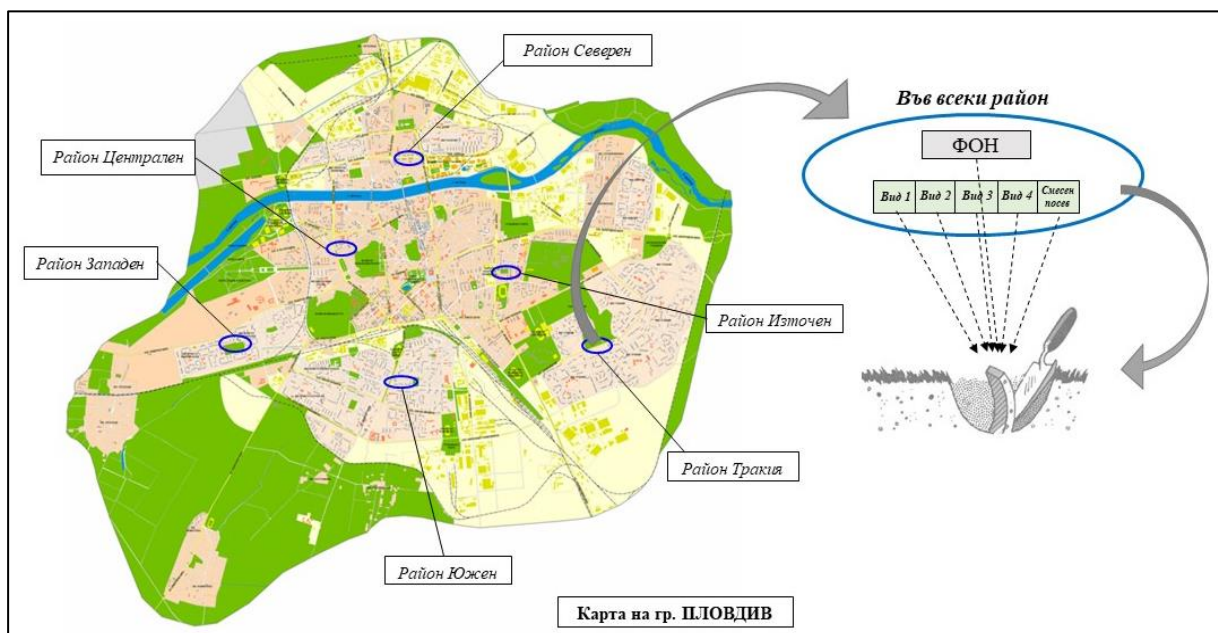
### **4.4. Анализ на физико-химичните параметри на почвите в изследваните площадки**

Преди стартиране на експерименталната работа (2019 г.), както и време на проучването, е осъществявано регулярно пробонабиране в рамките на всяка година (2019 – 2022 г.) – двукратно (пролет и есен).

По стандартизирана методика (Фиг. 1) са събирани представителни почвени проби от шестте фонови и шестте експериментални, във всяка от

които поотделно са пробонабирани пет карета, за да се отчете влиянието на засадените тревисти видове от петте експериментални варианта. Пробите са поставяни в стерилни полиетиленови пликосе, надписани и транспортирани до съответната лаборатория (микробиология, агроекология, аналитична химия, биохимия) за пробоподготовка и анализиране.

Влажността на почвите е измервана *in situ* посредством Soil Humidity Meter TR 46908 (Turoni, Italy), а в лабораторни условия е определена посредством тегловния метод. Реакцията на почвените проби е определена потенциометрично в лабораторни условия чрез pHotoFlex Set, 2512000 (WTW-Germany), а електропроводимостта е определена кондуктометрично чрез Multiset, F340 (WTW-Germany).



**Фиг. 1. Карта на гр. Пловдив с локации на избраните площадки и схема на пробонабиране**

Пробоподготовката на почвените проби за анализа на физико-химични показатели е извършена в лабораторията по „Агроекология“ (Факултет по растителна защита и агроекология, Аграрен университет) съгласно ISO 11464, където са анализирани: органичен въглерод (Angelova et al., 2014), органична материя (изчислителен метод), общ азот (БДС ISO 11261:2002), съотношение C/N (изчислителен метод), подвижен азот (ISO/TS 14256-1:2003), подвижен фосфор и подвижен калий (ГОСТ 26209:1991), механичен състав (Đamić et al., 1996).

#### **4.5. Анализ на съдържанието на избрани химични елементи в почвите и изпитваните тревисти видове**

Като целеви елементи, които представляват интерес от гледна точка на проучването за потенциално замърсяване на почвите в гр. Пловдив, както и за оценка на ефективността на мерките за ремедиация на почвите в градската

среда, са избрани: P, S, Mg, Fe, Al, Ca, Mn, Na, Cu, Zn, Pb, Cr, Co, Ni, As, Mo, Cd, V и U. Определянето на съдържанието на подбраните химични елементи в почвени и растителни проби е осъществено в лаборатория по Аналитична химия (Химически факултет, ПУ „Паисий Хилендарски“) чрез два съвременни плазмено-спектрални метода – ICP-OES (оптико-емисионен спектрометър с индуктивно свързана плазма Thermo Scientific iCAP 6300 Duo) и ICP-MS (квадруполен масспектрометър с индуктивно свързана плазма ICP-MS Agilent 7700 (Tokyo, Japan) с октополна реакционна система). За контрол на качеството на аналитичните резултати с всяка серия проби се подлага на анализ и порция от сертифицирания референтен материал ERM-CC141.

#### ***4.6. Анализ на развитието и адаптацията на изпитваните тревисти видове***

**Физиологични параметри.** Интензивността на процесите фотосинтеза и транспирация, както и устичната проводимост на изследваните растения, са измервани периодично в хода на вегетацията посредством портативна фотосинтетична система Q-box CO650 (Quibit Systems Inc., Canada).

**Фотосинтетични пигменти.** Съдържанието на фотосинтетични пигменти е анализирано в лабораторията по Екология (Биологически факултет, ПУ „Паисий Хилендарски“) след извличането им с ацетон, а абсорбцията е измервана чрез спектрофотометър CamSpec M108.

**Биохимични параметри.** Пробоподготовката и анализите са извършени в лабораторията по Биохимия (Биологически факултет, ПУ „Паисий Хилендарски“). Първата стъпка включва подготвяне на извлекци от събраните растителни проби (отделно от подземна и надземна биомаса), както следва: изходна проба от 0,2 g свеж растителен материал се стрива в хапан и се прехвърля количествено в бехерова чашка с 10 ml фосфатен буфер (100 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$ ). Извлекът се центрофугира при 10 000 g за 15 min, при температура 4°C. След това са анализирани съдържанието на общ разтворим белтък (Bradford, 1976) и свободен пролин (Carillo & Gibon, 2011), както и активността на ензимите каталаза (Aebi, 1984), глутатион пероксидаза (Wendel, 1990), глутатион редуктаза (Mavis & Stellwagen, 1968).

#### ***4.7. Анализ на свойствата и характеристиките на почвените съобщества в експерименталните площадки***

Микробиологичните анализи са провеждани два пъти годишно в хода на експерименталната работа в избраните 12 площадки. Почвените проби са събрани в стерилни контейнери и транспортирани на тъмно в хладилни условия до лабораторията по Микробиология (Биологически факултет, ПУ „Паисий Хилендарски“). Анализирани са следните параметри: брой жизнеспособни микроорганизми (ISO 6222:1999), *Escherichia coli* и фекални колиформи (ISO 9308-1:2014), чревни ентерококи (ISO 9308-1:2004),



актиномицети (Zhang, 2011), общ брой плесенни гъби (Pitt & Hocking, 2009), почвено дишане (ISO 16072:2001), почвена микробна биомаса (Alef & Nannipieri, 1995), ензимна активност на почвените съобщества (von Mersi & Schinner, 1991; Belser, 1979; Hart et al., 1994), физиологичен профил (CLPP) на микробни съобщества (Biolog Inc., Hayward CA, USA), метагеномен анализ (Illumina PE250, Novogene – UK).

#### **4.8. Анализ на биоремедиационните способности на изпитваните тревисти видове**

За оценяване ефективността на тревистите видове за фиторемедиация са използвани два фактора – Фактор на биоаккумуляция (BAF) и Фактор на транслокация (TF). Те са препоръчани като особено подходящи за подобни цели, защото технологията за фиторемедиация използва потенциала на биоакмулирането на тежки метали в растенията за очистване на замърсени с тежки метали райони (Baker & Walker, 1990; Schnoor, 2002).

**Факторът на биоаккумуляция (BAF)** на изследваните потенциално токсични елементи (PTE) се изчислява чрез съотношението на нивото на елемента в корените на растенията към нивото на същия елемент в почвата, като се използва формулата на Yoon et al. (2006):

$$BAF = \frac{PTE \text{ корен}}{PTE \text{ почва}}$$

Стойности на BAF > 1 показват, че даденият елемент се натрупва в корените на растенията от почвата.

**Факторът на транслокация (TF)** се използва като мярка за транспортирането на елемента от подземните органи към надземните органи на растенията и се изчислява чрез формулата на Yoon et al. (2006):

$$TF = \frac{PTE \text{ надземна биомаса}}{PTE \text{ подземна биомаса}}$$

Когато TF>1 е очевидно, че елементът се транспортира ефективно от корените до надземните растителни органи.

#### **4.9. Математико-статистическа обработка на данните**

Всички данни, получени в хода на физиологичните измервания и анализите на физико-химичните, биохимичните и химичните параметри, са подложени на математическа обработка чрез статистически пакет Statistica 7.0. (StatSoft Inc., 2006) и SPSS Ver.22 (Microsoft Com, 2022). Анализите на ензимните активности и физиологичните профили на микроорганизмите съобщества са извършени с Primer 6 (E-Primer), Statistica v.10 (StatSoft) и Microsoft Excell 2016 с допълнителен статистически пакет XLSTAT (Addinsoft).

## 5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

### 5.1. Създаване и поддръжка на буферни тревни ивици в избраните експериментални площадки

Успешно бяха създадени шест експериментални площадки с буферни тревни ивици, разположени в непосредствена близост покрай едни от най-натоварените пътни артерии в гр. Пловдив (за всеки от шестте административни района). Всяка площадка включва по пет парцелки – по една с монокултура от съответния изпитван вид и една със смесен посев от четирите изпитвани вида в съотношение 1:1:1:1. Снимки на експерименталните площадки в район Северен 25 дни след сеитбата (05.04.2019 г.), 3 месеца след сеитбата (19.06.2019 г.) и 1 година по-късно (29.04.2020 г.) са представени на Фиг. 2.



Фиг. 2. Буферни тревни ивици в район Северен

## ОБОБЩЕНИЕ

Предложеният в дисертационния труд технологичен модел за изграждане на буферни тревни ивици е разработен и валидиран в условията на гр. Пловдив, но може лесно да се адаптира към други населени места според локалните условия.

### *5.2. Анализ на физико-химичните параметри на почвите в експерименталните площадки*

Реакцията на изследваните почвени проби от експерименталните площадки се движи от средно кисела – 5,57 (Тракия, фон) до слабо алкална – 7,62 (Тракия, експеримент). Това е районът с най-голяма разлика в рН на фоновата и експерименталната площадка ( $p < 0,05$ ). В останалите 5 района измерените стойности са близки и в диапазона на слабо кисела реакция на почвите. Влажността на изследваните почви е в границите на 56,9% (Южен, експеримент – Вариант 2, житняк) до 69,5% (Източен, фон), а получените резултати определят степента на влажност като добра. Почвите от изследваните площадки във всички райони имат ниска електропроводимост. Статистически достоверни различия в почвените параметри рН, влажност и електропроводимост между изпитваните варианти в отделните парцелки в границите на една площадка не бяха доказани.

Анализът на запасеността на почвата с биогенни елементи е направен по райони с оглед отчитане на локални специфики в почвените условия.

**Район Тракия.** Почвата, която е използвана като фон, е с много високо съдържание на органичен С, общ азот и органична материя (ОМ). Съотношението С:N е ниско. Съдържанието на подвижен азот и подвижен фосфор е средно, а запасеността с подвижен калий – много силна. Почвата, на която е заложен експеримента в същия район, е средно запасена с орг. С, общ азот и ОМ. Съотношението С:N е ниско. Съдържанието на подвижен азот е недостатъчно, на подвижен фосфор – много добро. Запасеността с подвижен калий е много силна.

**Район Централен.** Почвата, използвана като фон, е с високо съдържание на орг. С и ОМ, със средна запасеност на общ азот (0,159%). Съотношението С:N е средно. Съдържанието на подвижен азот е недостатъчно. Запасеността с подвижен фосфор е много добра, а с подвижен калий – много силна. Почвата, на която е заложен експеримента в района, е също с високо съдържание на орг. С и ОМ, със средна запасеност на общ азот. Съотношението С:N е средно. Запасеността с подвижен азот е средна, с подвижен фосфор – много добра, с подвижен калий – много силна.

**Район Източен.** Почвата, използвана за фон, е с много високо съдържание на орг. С, висока запасеност с общ азот (0,259%) и ОМ. Съотношението С:N е средно. Запасеността с подвижен азот е недостатъчна, с подвижен фосфор – много голяма, с подвижен калий – много силна. Запасеността на почвата, на която е заложен експеримента, е висока по

отношение на орг. С и ОМ, за общ азот – средна (0,151%), а съотношението С:N е високо. Съдържанието на подвижен азот е също средно, на подвижен фосфор – много добро, на подвижен калий – много високо.

**Район Северен.** Почвата, използвана като фон в района, е с високо съдържание на орг. С и ОМ, средно запасена с общ азот (0,169%) и подвижен азот, с високо съотношение С:N. Запасеността с подвижен фосфор е много добра, а с подвижен калий – много силна. Почвата, на която е заложен експеримента, има много голяма запасеност с орг. С и общ азот – 0,302%, високо съдържание на ОМ и ниско съотношение С:N. Тя е средно запасена с подвижен азот, с много високо съдържание на подвижен фосфор и подвижен калий.

**Район Западен.** Почвата, използвана като фон, е с високо съдържание на орг. С, общ азот и ОМ. Съотношението С:N е много ниско. Почвата е недостатъчно запасена с подвижен азот, много добре запасена с подвижен фосфор и има много силна запасеност с подвижен калий. Почвата, на която е заложен експеримента, е с много високо съдържание на орг. С, с високо съдържание на общ азот – 0,221% и ОМ, средна запасеност с подвижен азот, много добра запасеност с подвижен фосфор и много силна запасеност с подвижен калий. Съотношението С:N е средно.

**Район Южен.** Почвата, използвана като фон, е с много голяма запасеност с орг. С и ОМ. Съдържанието на общ азот (0,256%) е високо, а съотношението С:N – средно. Почвата е средно запасена с подвижен азот, има много високо съдържание на подвижен фосфор и подвижен калий. Почвата, на която е заложен експеримента, е средно запасена с орг. С, ОМ, общ азот (0,149%) и подвижен азот, много добре запасена с подвижен фосфор и подвижен калий. Съотношението С:N е ниско.

## **ОБОБЩЕНИЕ**

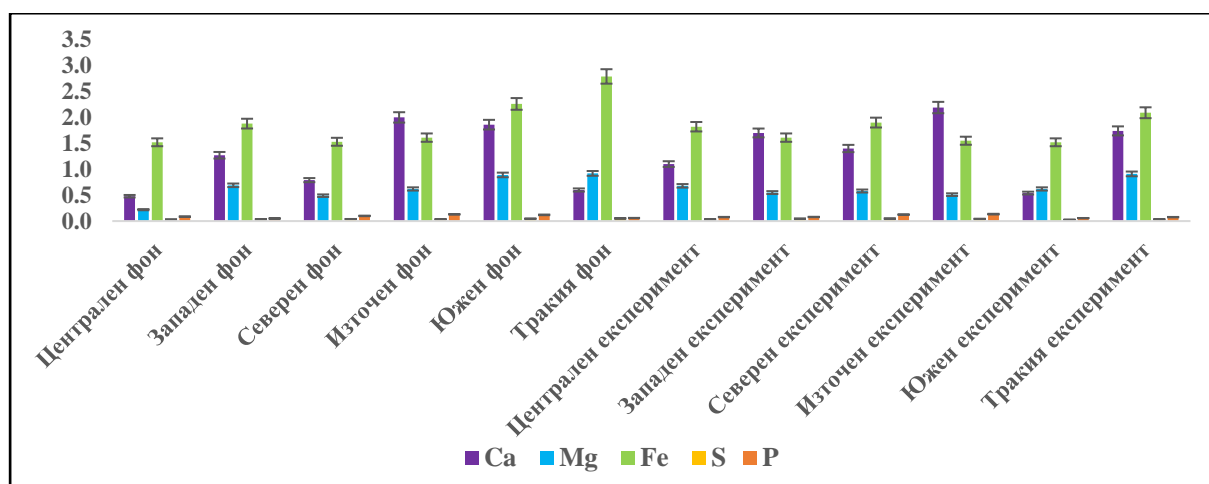
Съдържанието на органичен С и общ азот в почвите, в които са изградени буферните тревни ивици, варира в границите от средно до много високо, а това на органична материя (ОМ) – от средно до високо. Съотношението С:N в някои райони е ниско, в други средно, а в трети – високо. В почти всички райони, в които са заложили експерименталните площадки, съдържанието на подвижен азот е средно, а това на подвижен фосфор и подвижен калий – много високо.

Анализ на механичния състав на почвите от избраните площадки е направен само през първата година на проучването (2019 г.), тъй като поради своите специфики този параметър не се очаква да се промени във времето. Всички почви са с високо съдържание на пясък и ниско съдържание на глина, което потенциално може да повиши мобилността на замърсителите. От друга страна, високото съдържание на орг. С, органична материя и подвижен фосфор създава сравнително добри възможности за възпрепятстване мобилността на замърсителите, попаднали в почвите.

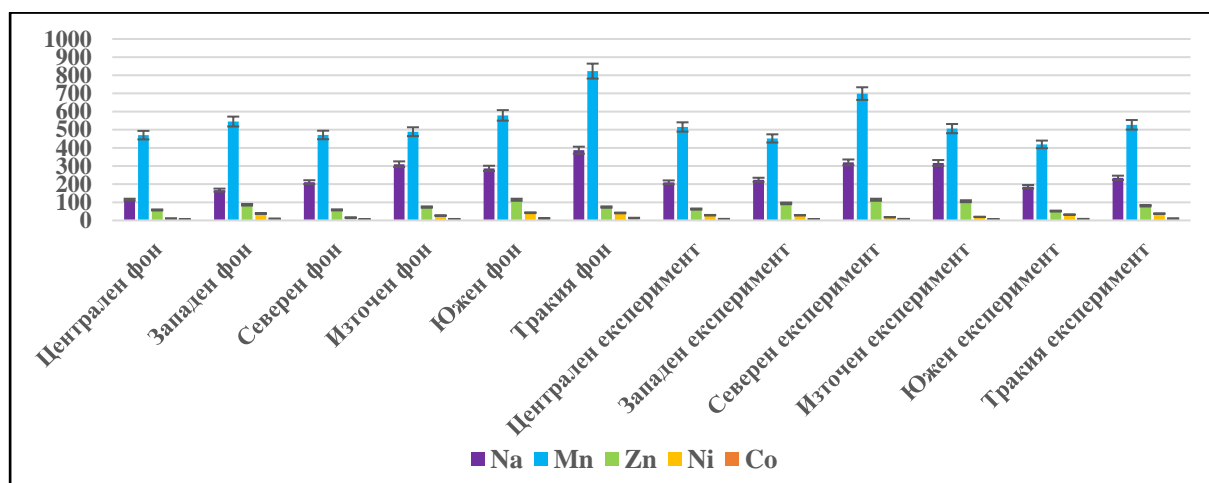
### 5.3. Анализ на съдържанието на избрани химични елементи в почвите и изпитваните тревисти видове

Като цяло, съдържанието на Mn в изследваните градски почви варира между 333 mg/kg и 813 mg/kg, Zn варира между 49 mg/kg и 179 mg/kg, Ni варира от 14 mg/kg до 44 mg/kg, докато Cu и Pb варират съответно в диапазона 16 – 55 mg/kg и 22–103 mg/kg (Фиг. 3 – 5). Останалите потенциално токсични елементи също демонстрират значителна вариабилност в изследваните градски почви, както следва: Co варира от 5,6 mg/kg до 11 mg/kg, Mo от 0,19 mg/kg до 0,92 mg/kg, As от 2,8 mg/kg до 5,9 mg/kg, Cd от 0,21 mg/kg до 0,77 mg/kg и U от 1,7 mg/kg до 2,8 mg/kg. Статистическата оценка разкри, че съществуват силни зависимости и синергизъм между изследваните елементи в почвите ( $p < 0,05$ ).

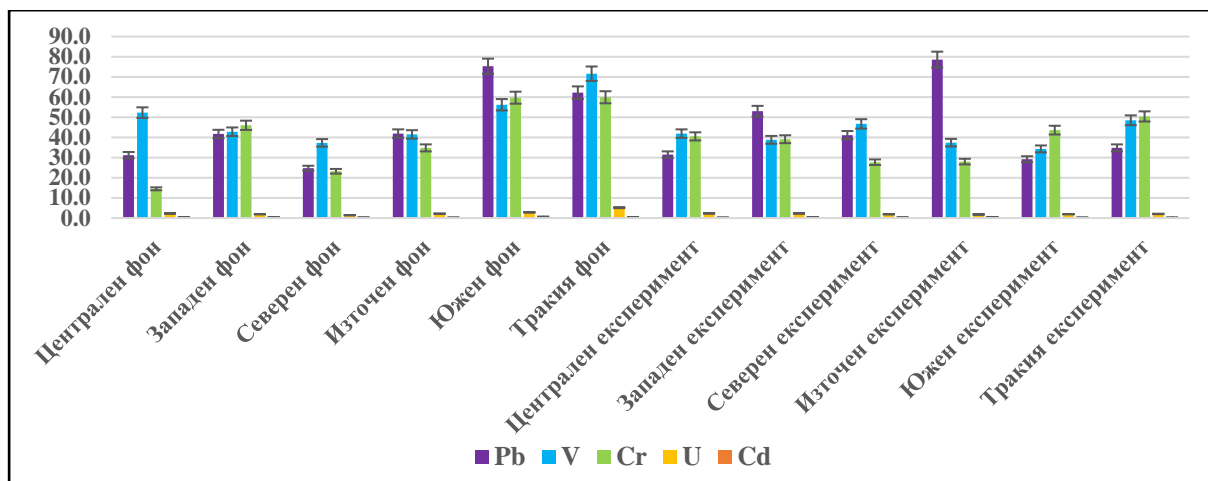
В растителната биомаса на изследваните тревисти видове с най-високо съдържание е макроелементът Ca (0,61 – 1,08%), следван от Fe (0,12 – 0,77%), като количеството им е достоверно по-високо в надземните органи (Фиг. 6). В подземните органи преимуществено се натрупват Mn, Zn, V, Cr, U и Cd, като техните нива са по-високи при многогодишните житни треви (Фиг. 7 – 8).



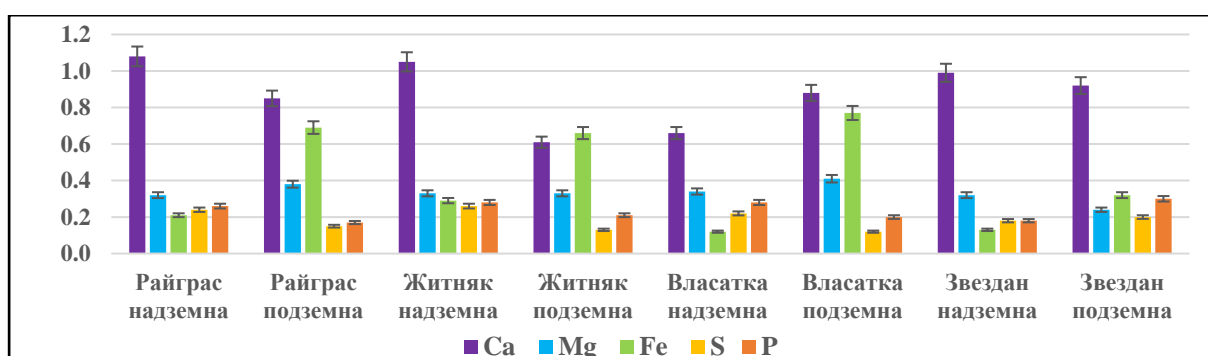
Фиг. 3. Съдържание на макроелементи в почвите, %



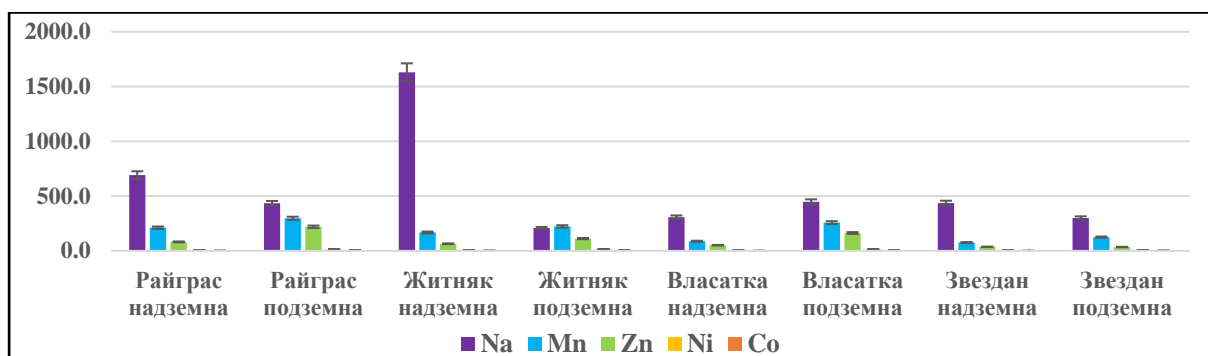
Фиг. 4. Съдържание на микроелементи в почвите, mg/kg



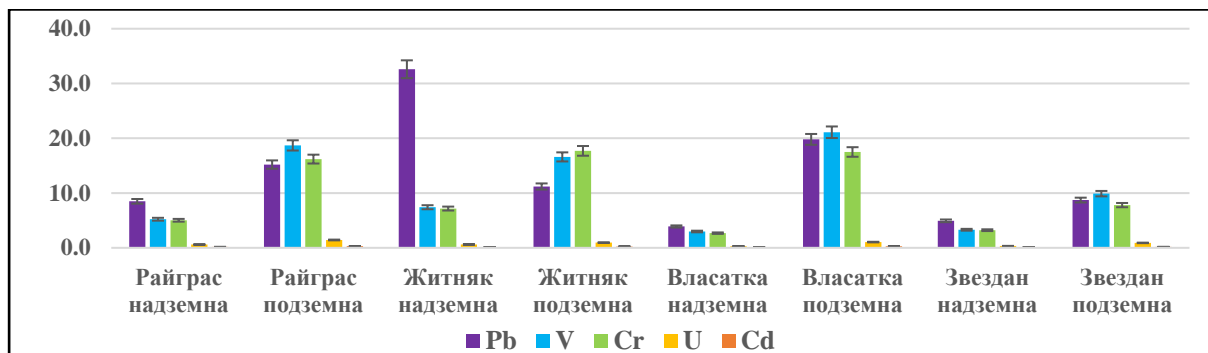
Фиг. 5. Съдържание на потенциално токсични елементи в почвите, mg/kg



Фиг. 6. Съдържание на макроелементи в растителна биомаса, %



Фиг. 7. Съдържание на микроелементи в растителна биомаса, mg/kg



Фиг. 8. Съдържание на потенциално токсични елементи в растителна биомаса, mg/kg

Въз основа на средните стойности на съдържанието на потенциално токсични елементи в техните подземни и надземни органи, изследваните растителни видове могат да бъдат подредени в следните низходящи редове:

Mn – житняк > власатка > райграс > звездан

Zn – власатка > райграс > житняк > звездан

Ni – житняк > власатка > райграс > звездан

Cu – власатка > житняк > звездан > райграс

Pb – власатка > житняк > райграс > звездан

Co – житняк > власатка > райграс > звездан

Mo – звездан > райграс > власатка > житняк

As – житняк > власатка > райграс > звездан

Cd – райграс = житняк = власатка > звездан

U – житняк > власатка > звездан > райграс

## **ОБОБЩЕНИЕ**

По отношение на съдържанието на потенциално токсични елементи състоянието на изследваните градски почви може да се определи като задоволително, т.е. към момента то не представлява риск за нарушение на почвените функции и опасности по отношение на околната среда и човешкото здраве. Въпреки това, следва да се обърне внимание на завишените нива на олово, хром, никел, мед и т.н. спрямо целевите и интервенционни концентрации, въведени в някои европейски държави (VROM – Circular on target values and intervention values for soil remediation. Annex A, 2000)

### ***5.4. Анализ на свойствата и характеристиките на почвените съобщества в експерименталните площадки***

#### **Анализ на числеността на основните таксономични групи**

Един от масово използваните индикатори за оценка степента на натоварване на почвите с органично вещество е общият брой на хетеротрофните микроорганизми, определен чрез култивиране при 22°C (TVC22). Данните показват, че броят на хетеротрофните микроорганизми е по-висок във всички експериментални варианти в сравнение с фоновите площадки. Най-голяма численост се наблюдава при Вариант 5, който е смес от всичките тревисти видове – между  $6 \times 10^6$  и  $279 \times 10^6$  cfu.g<sup>-1</sup>.

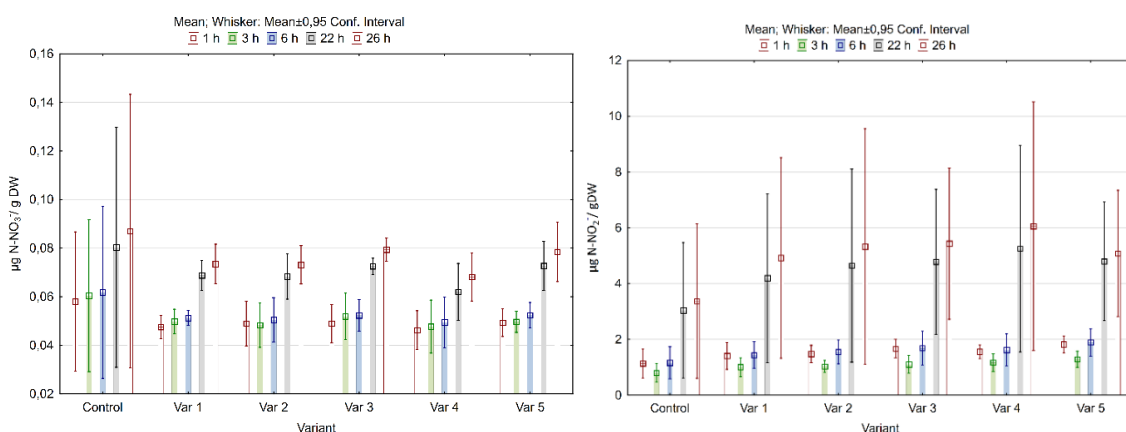
Друг съществен елемент от почвения микробиом са плесенните гъби, участващи активно в кръговрата на вещества и енергия в почвените екосистеми (De Ruyter et al., 1993). През 2020 г. данните за отделните варианти показват, че при Вариант 1 (райграс) се наблюдава по-ниска стойност на плесенните гъби ( $15 - 69 \times 10^3$  cfu.g<sup>-1</sup>), а най-висока стойност се отчита при Вариант 3 (власатка) и Вариант 5 смесен посев (между  $105 \times 10^3$  cfu.g<sup>-1</sup> и  $24 \times 10^3$  cfu.g<sup>-1</sup>).

Анализът на броя на почвените актиномицети при различните опитни

площадки показва повишаване спрямо фоновите площадки, като най-многобройни са при Вариант 2 (житняк) и Вариант 3 (власатка). Броят им варира между  $25 \times 10^3$  и  $299 \times 10^3$  cfu.g<sup>-1</sup>. Анализът на експерименталните площадки показва доминиране на плесените спрямо актиномицетите с няколко порядъка (между 2 и 20 пъти) спрямо фоновите почви, което доближава много опитните почви до горските по тази характеристика.

### Активност на почвената микробиота

Минерализацията на азота обикновено се счита за ключов процес в сухоземните екосистеми. Проведеното изследване не показва значими разлики в нитрификационния потенциал на съобществата както между зоните на изследване, така и между отделните варианти при така конструираната опитна постановка (Фиг. 9А и Фиг. 9Б). Установените стойности са средна концентрация от 76 µg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/g DW и 5 µg N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/g DW. Достоверни разлики се отчитат единствено за 1h (p = 0,0488) за нитритната концентрация при вариантите със затревяване. С напредване на времето стойностите на показателя се запазват високи спрямо фоновите нива в паркова среда, но при липса на достоверност (p > 0,05).



**Фиг. 9. Динамика на концентрацията на нитрати (А) и нитрити (Б) в изследвани почви от различни райони на гр. Пловдив.**

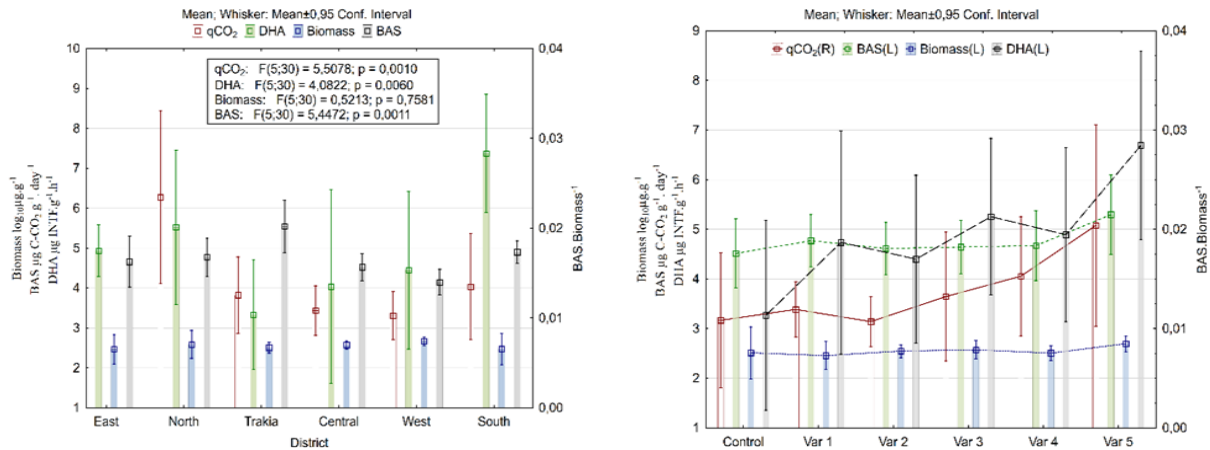
*Легенда:* Control – паркова среда; Var 1 – пасищен райграс (*Lolium perenne* L.), Var 2 – гребенчат житняк (*Agropyron cristatum* L.), Var 3 – Тръстиковидна власатка (*Festuca arundinacea* Schreb.), Var 4 – звездан (*Lotus corniculatus* L.), Var 5 – тревна смес от всички видове.

Нивата на почвено дишане, дехидрогеназна активност и стойностите на микробната биомаса се характеризират със значими пространствени разлики при едни и същи варианти на затревяване в границите на гр. Пловдив (Фиг. 10), със средни нива на вариране от 33% за почвената биомаса до 52% за дехидрогеназната активност на микробните съобщества.

В частност, дишането е в границите от 3,47 µgCO<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup> до 6,61 µgCO<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup> при средна стойност от 4,68 µgCO<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup>. Нивата на

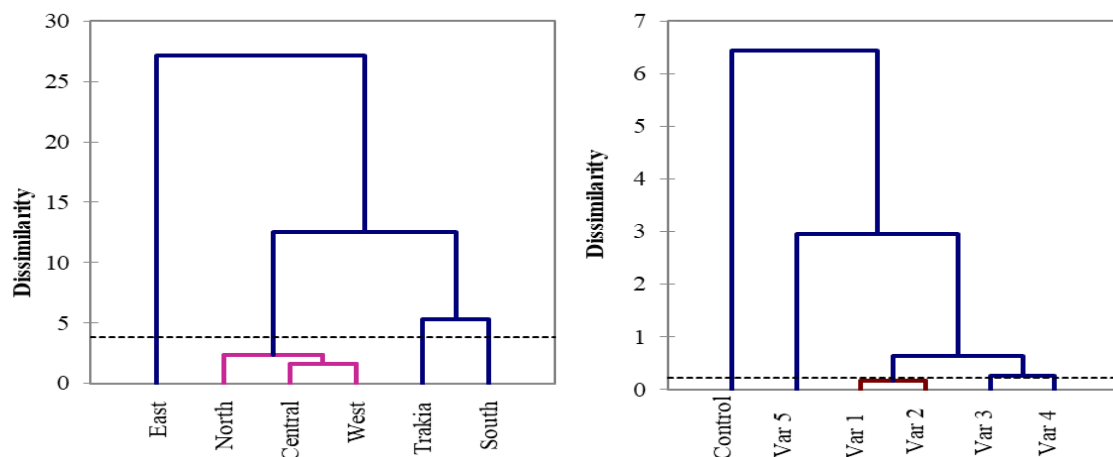


дехидрогеназна активност варира от 1,49 до 7,25  $\mu\text{g INTF}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  при средна стойност от 4,87  $\mu\text{g INTF}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ . Двата параметъра са значимо по-ниски от стойностите ( $36 \mu\text{gCO}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ ), наблюдавани за естествените пасища и гори (Trasar-Serpeda et al., 2008; Gomez-Brandon et al., 2022), но са в долния диапазон на земеделските земи ( $5,5 - 32,8 \mu\text{gCO}_2\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ ), което е показателно за ниски нива на биологична активност в изследваните проби.



**Фиг. 10.** Нива на почвено дишане, дехидрогеназна активност и микробна биомаса по зони (А) и варианти (Б) на изследване.

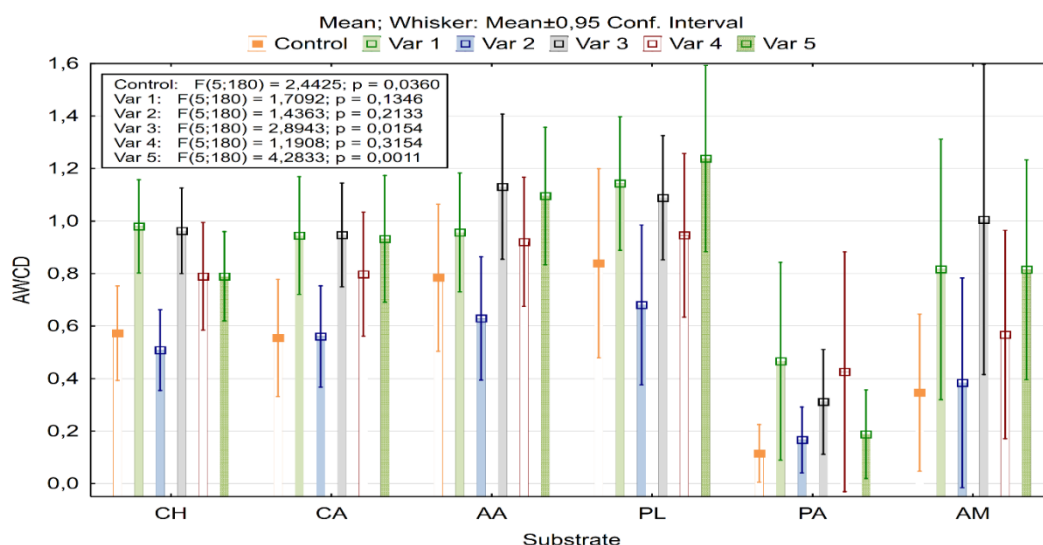
За изследвания период нивата на обща биологична активност във фоновите проби се различават достоверно от опитните варианти ( $p < 0,05$ ). Клъстерният анализ, генериран на база на корелационна матрица на общата биологична активност, потвърждава значимите пространствени вариации (Фиг. 11А), като ясно отделя контролните зони и Var 5 в самостоятелни клъстер, докато всички останали варианти не показват значими разлики (Фиг. 11Б).



**Фиг. 11.** Агломеративен йерархичен клъстерен анализ, отразяващ сходството (квадратни Евклидови разстояния) между съобществата, на база на биологичната активност на микробиома по зони (А) и варианти (Б) на изследване.

## Метаболизъм на почвените съобщества

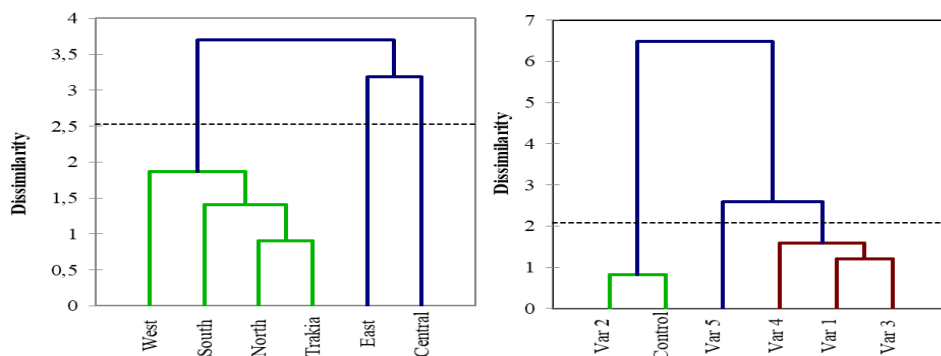
Физиологичният профил на съобществата (CLPP) е изготвен на база на метаболитната активност на съобществата и способността им да усвояват специфични въглеродни източници (Gomez et al., 2004). Получените кинетични криви разкриват разлики в скоростта на усвояване на субстратите между отделните варианти. Средногеометричната прагова стойност  $AWCD_{0.8}$  за отделните варианти, избрана като референтна база за статистическите анализи на физиологичните профили съгласно Garland et al. (2001), се достига на в рамките от 72 h (за Var 1, Var 3, Var 4 и Var 5), до 120 h (за фоновите проби и Var 2). Нивата на усвояване по класове субстрати от съобществата при различните варианти на затревяване са представени на Фиг. 12.



**Фиг. 12.** Ниво на усвояване на анализирани въглеродни източници, изразено като процент от общата метаболитна активност, по категории субстрати: амини (AM); аминокиселини (AA); фенолни киселини (PA); карбоксилни киселини (CA); въглехидрати (CH); многоатомни алкохоли (PL)

Клъстерният анализ демонстрира, че степента на усвояване на въглеродните източници по-скоро се определя от местообитанието, отколкото е биохимично детерминирана (Фиг. 13А). При анализът по варианти се диференцират три основни клъстера (Фиг. 13Б). Първият клъстер включва почвени проби с ниска обща физиологична активност и ниски нива на усвояване на тестваните субстрати и откроява Var 2 (Гребенчат житняк *Agropyron cristatum* L.) като-най-слабо подходящ за биоремедиация при тестваните условия. Вторият клъстер включва единствено варианта със смесено затревяване и се доближава по активност и метаболитен профил до третия клъстер (Var 1, Var 3 и Var 4). Резултатите потвърждават, че при комбиниран посев трите вида (Многогодишен райграс (*Lolium perenne* L.), Тръстиковидна власатка (*Festuca arundinacea* Schreb.) и Звездан (*Lotus corniculatus* L.), успяват да създадат подходящи условия за повишаване на микробното биоразнообразие.

Генерираният чрез PERMANOVA дизайн сочи, че съществена част от вариациите в метаболитния профил са резултат от пространствени разлики ( $p(\text{perm}) < 0,001$ ), като високите нива на вариация не позволяват достоверно да се потвърдят отчетените разлики между отделните варианти на затревяване ( $p(\text{perm}) = 0,436$ ).



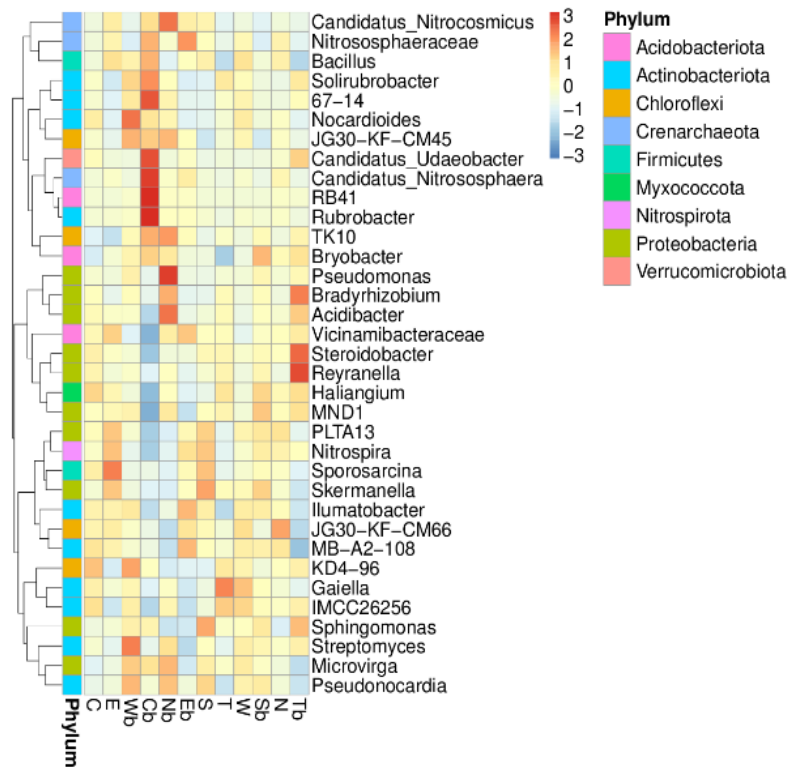
**Фиг. 13.** Клъстерен анализ, отразяващ групирането на анализираниите проби според нивата на усвояване на въглеродни източници по зони (А) и варианти (Б) на изследване

### Метагеномен анализ

В продължение на анализите за тестване на хипотезата, че обработката на почвата и засаждането на тревни видове растения влияе пряко върху почвения микробиом във връзка с почвеното „здраве“ и повишава значимите за растенията бактериални видове, е извършено двукратно масово паралелно секвениране на хипервариабилният регион V4-V5 от 16S рНК-гена на платформа Illumina PE250. Получени са индивидуални секвенции, които са редуцирани с 3% след отстраняване на нискокачествените секвенции. След етап на филтриране те са отнесени към 3612 оперативни таксономични единици (OTU). Назначените OTUs са групирани в общо 853 таксона на ниво род. В резултат на анализите, получените OTU могат да бъдат причислени към общо 44 таксона на ниво Отдел, Клас – 124 таксона, Семейство – 476 таксона и Род или кандидат за род – 1708 таксона.

Общият брой получени OTUs е използван за изчисляване на индексите на алфа-разнообразие (вътре в съобществото) и бета-разнообразие (разнообразие между съобществата). Сравнението на микробните съобщества чрез PERMANOVA сочи идентична структура на доминантния комплекс и на минорно представените таксони в почвите на всички изследвани райони на гр. Пловдив ( $p(\text{perm}) = 0,197$ ). Таксономичният състав е относително постоянен в отделните варианти ( $p(\text{perm}) = 0,602$ ). Това показва, че различията между отделни проби са по-скоро със случаен характер и се дължат на промяна в числения състав на отделните таксони, отколкото на изчезване или поява на нови видове. Сходството в структурата на съобществата се потвърждава и от проведененият принципен компонентен анализ.

Доминантният комплекс при изкуствено затревените варианти се формира от едва 3,3% от общия брой идентифицирани таксони и включва 36 бактериални рода, представени с > 1% (Фиг. 14). Те формират средно около 42% от общото обилие и присъстват както във всички варианти на засаждане, така и в пробите от градските паркове. Качественият анализ на представените видове не показва достоверни различия между съобществата в изследваните почвени образци ( $p > 0,05$ ).



**Фиг. 14. Heatmap – анализ на бактериалните съобщества на ниво род (родове), съставляващи > 1% от общия брой**

## ОБОБЩЕНИЕ

Представени са първи за страната данни относно таксономичния състав и физиологичната активност на микробиома в урбанизираната зона на гр. Пловдив, като са взети под внимание възможността за моделиране на микробните съобщества чрез изменение на предназначението на териториите и изграждане на нови зелени зони. Изследването е фокусирано върху повърхностния почвен слой, тъй като тази зона най-често е обект на антропогенно въздействие. Оценката на индексите на разнообразие е извършена при сходни условия за всички варианти, което е от ключово значение при анализиране на ефекта от пространствените вариации и извършените озеленителни дейности (Chen et al., 2017). Резултатите разкриват високи нива на индексите на разнообразие, въпреки че изследването на физиологичните профили (CLPP) и новогенерационно секвениране не показват статистически значими различия в сезонен аспект

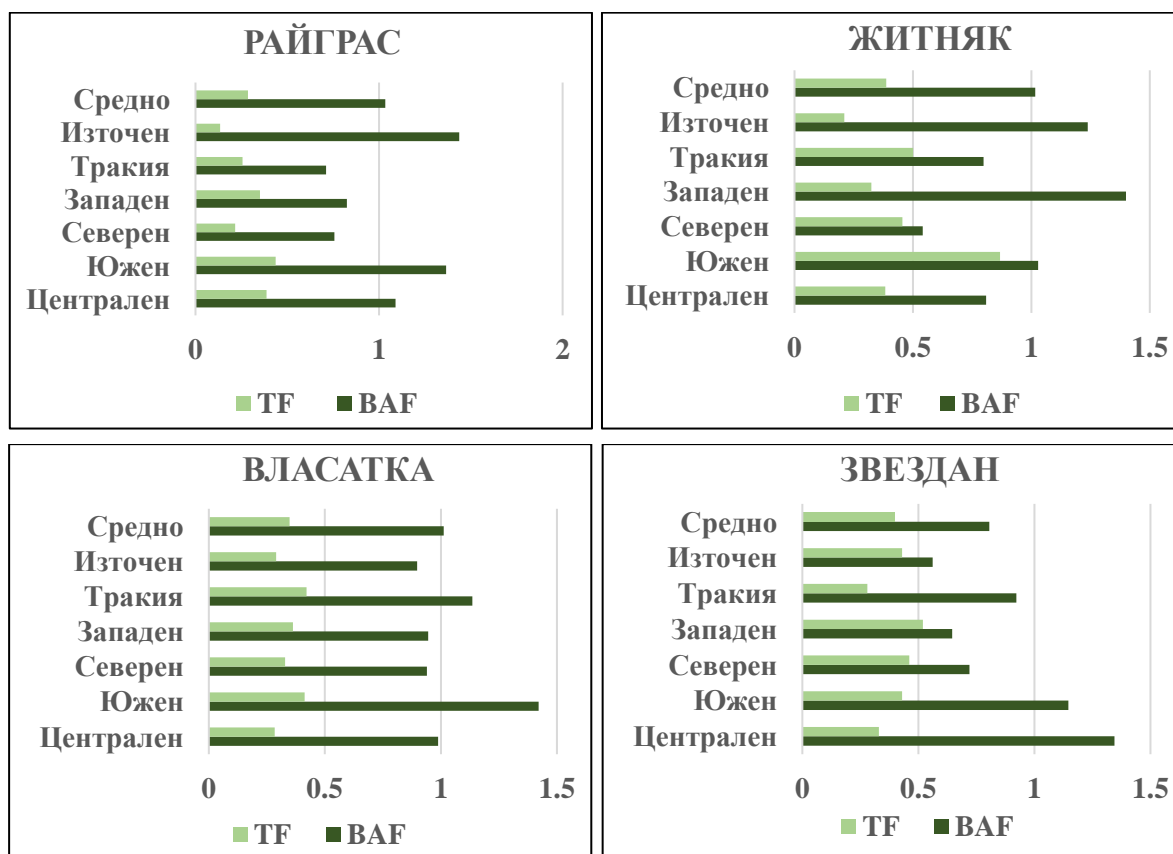
в структурата и функциите на почвения микробиом. Това се потвърждава и от проведените мултивариационни анализи. Отчита се тенденция към задържане на нивата на индексите на разнообразие в новообособените буферни тревни ивици, като липсата на достоверност на резултатите може да е резултат от краткия период на изследване.

### 5.5. Анализ на биоремедиационните способности на изпитваните тревисти видове

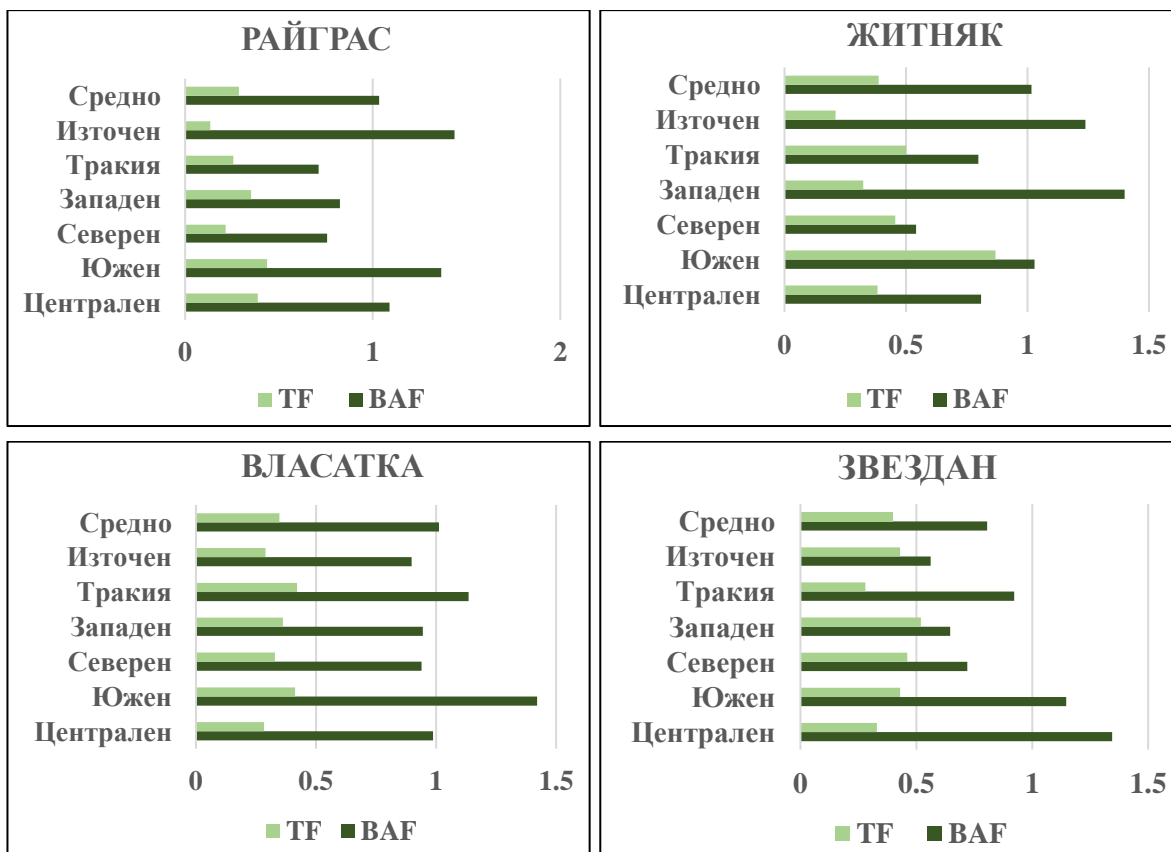
#### Оценка на биоаккумуляционния потенциал

Процесът на фитоекстракция обикновено изисква придвижване на тежки метали от почвата в корените и от корените към лесно прибиращи се растителни части (стъбла и листа). Чрез сравняване на BAF и TF можем да сравним способността на различни растения да поемат химични елементи от почвите и да ги пренасят към надземните органи. Трябва да се отбележи, че факторите на натрупване за всички изследвани потенциално токсични елементи са значително по-високи за корените, отколкото за надземните части, с изключение на молибдена. За този елемент са изчислени най-високите стойности на BAF (2,16 – 15,69) и TF (0,69 – 1,42).

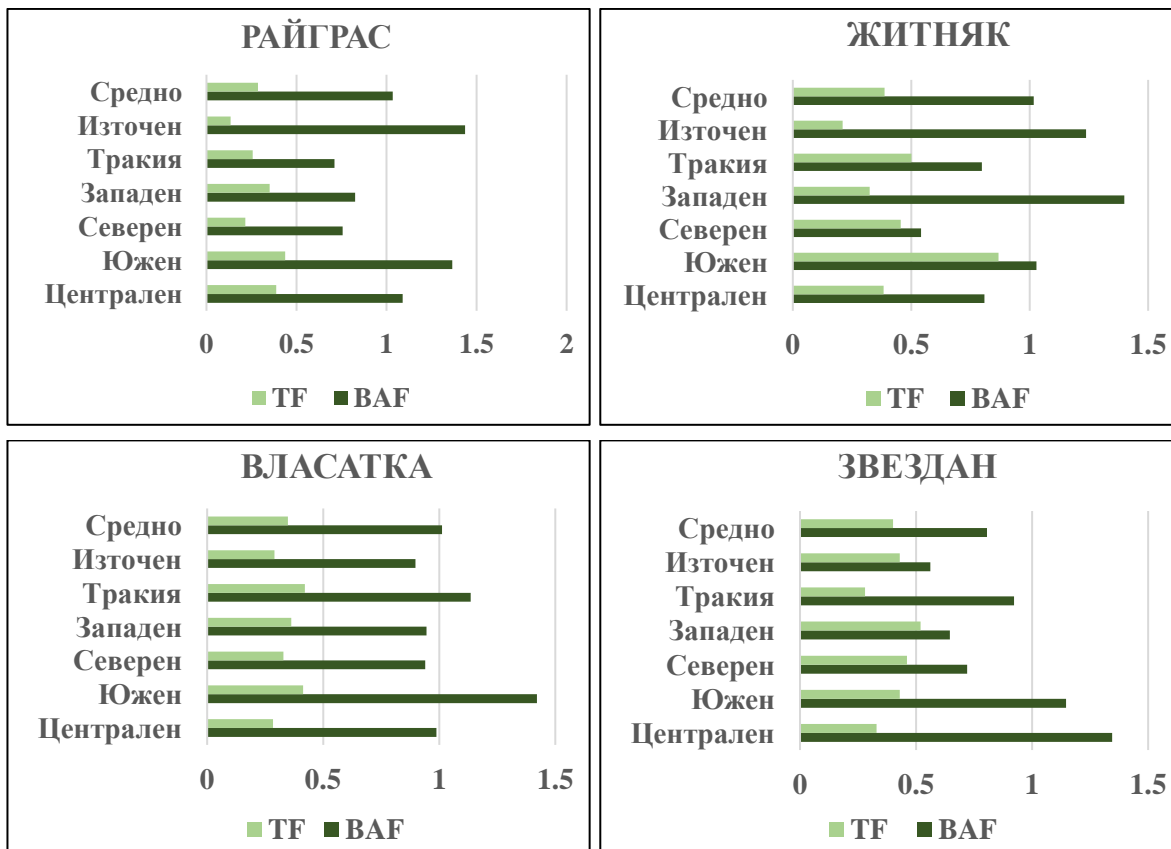
На следващите Фиг. 15 – 18 е представен съответно биоаккумуляционният потенциал на всеки от четирите изпитвани вида по отношение на химичните елементи, за които бе установено, че се съдържат в по-високи количества в градските почви.



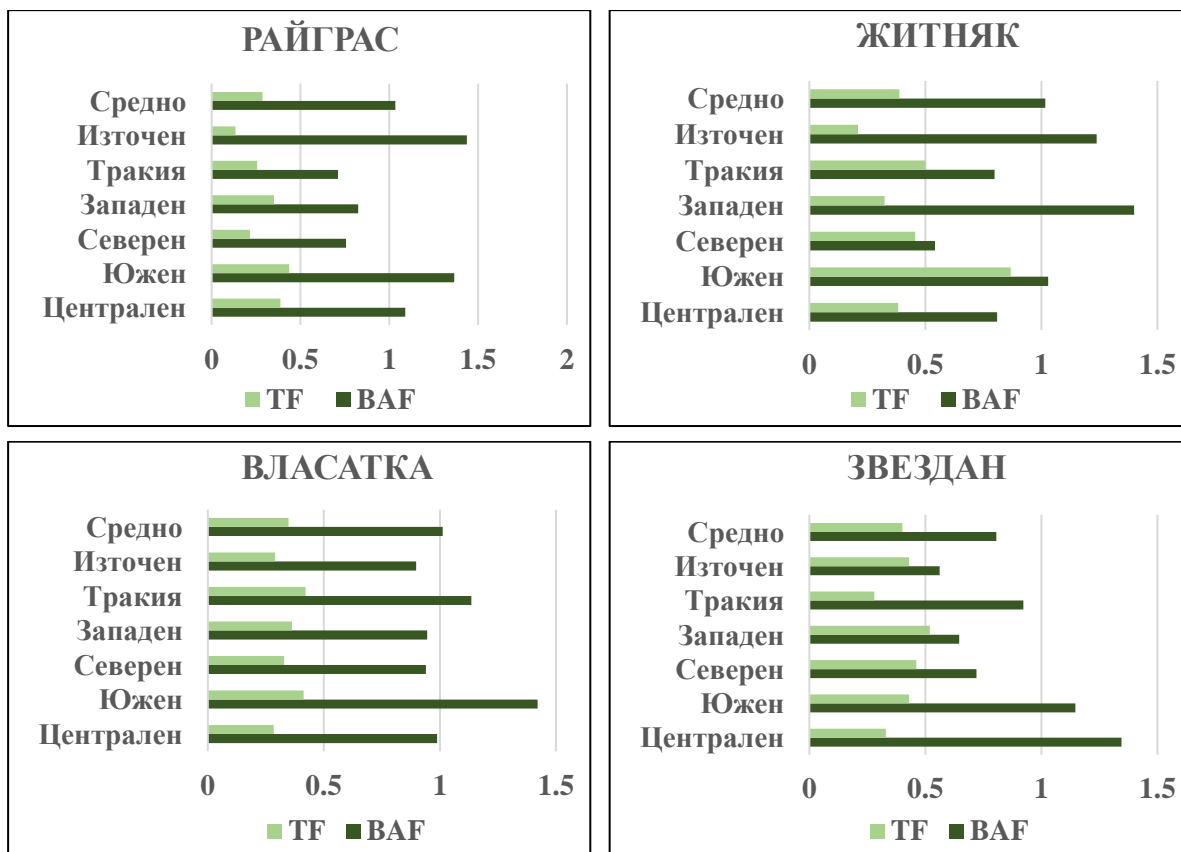
Фиг. 15. Биоаккумуляционен потенциал по отношение на олово



Фиг. 16. Биоакмулационен потенциал по отношение на цинк



Фиг. 17. Биоакмулационен потенциал по отношение на мед



Фиг. 18. Биоакумулационен потенциал по отношение на кадмий

Според скалата, използвана за оценка на капацитета за биоакмулиране на изследваните растителни видове, резултатите показват, че Многогодишният райграс (*Lolium perenne* L.) сорт „ИФК Хармония“ има силен биоремедиационен потенциал за Mo (5,46), Zn (1,81), Cd (1,03) и среден потенциал за биоакмулиране за останалите потенциално токсични елементи. Освен това, стойностите на BAF за U (0,88), Cu (0,71) и Mn (0,70) са доста обещаващи за приложението му в изграждането на буферни тревни площи. Гребенчатият житняк (*Agropyron cristatum* L.) сорт „Свежина“ е с висок биоакмулативен потенциал за Mo (2,16), Zn (1,56), U (1,05), Cd (1,02) и със среден потенциал за другите изследвани PTE, въпреки че стойностите на BAF за Mn (0,82) и Cu (0,81) са доста завишени. Тръстиковидната власатка (*Festuca arundinacea* Schreb) сорт „Албена“ демонстрира силна биоакмулация на Mo (4,72), Zn (2,05), Cd (1,01) и обещаващ потенциал за U (0,98), Cu (0,86) и Mn (0,74). Звезданът (*Lotus corniculatus* L.) сорт „Лео“ е лидер по натрупване на Mo (15,69) и U (1,05), но не толкова изразен като биоакмулатор на другите PTE. Обещаващи са стойностите на BAF за Cd (0,81), Cu (0,75) и Zn (0,74).

Данните от смесеното отглеждане на тези четири вида растения показват, че едновременното засаждане може да подобри потенциала за биоакмулиране в сравнение с монокултурата. Най-високите BAF стойности на Zn (2,32), Cd (1,19), Mn (0,89), Cu (0,92), Co (0,65) и Ni (0,63) са получени

при смесен посев, като са статистически значими за Zn, Cu, Co и Cd ( $p < 0,05$ ). Този факт ясно демонстрира, че по-високото биоразнообразие на фитоценозата може не само да увеличи биоразнообразието на животни и микроорганизми, но има и положително влияние върху свойствата на почвата.

### **Оценка на ефективността на фотосинтезата и състоянието на растенията в буферните зелени ивици около транспортни артерии**

По-високо съдържание на общ хлорофил и каротиноиди като цяло установихме при райграс, следван от житняк и власатка, а при звездан стойностите са значително по-ниски. По отношение влиянието на района върху тези параметри, може да се отбележи, че като цяло по-високи стойности се отчитат в районите Централен, Северен и Южен. Съотношението хлорофил *a*/хлорофил *b* е със сходни стойности при изследваните тревисти видове и в различните райони, с изключение на стойностите при райграс в район Северен, власатка и звездан в район Централен.

### **Динамика на ензимната активност в подземна и надземна растителна биомаса от изградените буферни зелени ивици**

Получените резултати показват, че активността на каталазата, като цяло, е най-висока при използваните многогодишни житни треви (власатка и житняк), следвани от райграс, а при звездан (многогодишни бобови) активността на каталазата е значително по-ниска – около 1,5 – 2 пъти. Вероятна причина за инхибирането на активността на каталазата, наблюдавано при растенията от отделните експериментални площадки, е по-силното антропогенно натоварване, причиняващо окислително модифициране на белтъците (Willekens et al., 2007).

По отношение на двата изследвани ензима от глутатионовия цикъл може да се посочи, че като цяло, най-високи стойности за активността на глутатион пероксидазата бяха наблюдавани при власатка и звездан, а по отношение на глутатион редуктазата – при райграс и житняк. Глутатионът е широко използван маркер за оксидативен стрес в растенията (Tausz et al., 2004), като завишени нива в количествата му са измерени при различни стресови въздействия (Leipner et al., 1999; Koscy et al., 2001).

В хода на настоящото проучване бяха наблюдавани завишени нива на свободен пролин в растенията от изградените буферни тревни ивици, които корелират с литературните данни за драстично покачване на нивото му при различни стресови въздействия (Saradhi et al., 1995; Alia et al., 2001). В контекста на експерименталната установка и резултатите от комплексните анализи на почви и биота, високите концентрации на свободен пролин могат да бъдат интерпретирани като общ, неспецифичен защитен отговор на растенията към развитието на оксидативни процеси в техните тъкани поради влошените почвено-екологични условия в градските почви.



## ОБОБЩЕНИЕ

Изследваните многогодишни житни треви (райграс, житняк и власатка) имат по-висок биоаккумуляционен коефициент в сравнение със звездана (сем. Бобови) по отношение на олово, цинк и кадмий. При звездана се отчита по-висок транслокационен фактор на акумулираните олово и цинк в посока от кореновата система към надземните органи в сравнение с останалите три вида. По отношение на техния капацитет за биоаккумуляция и фиторемедиация, изследваните 4 тревисти вида растения образуват следния низходящ ред: Власатка > Житняк > Райграс > Звездан.

Анализът на адаптационните процеси в четири тревисти вида, индуцирани от засаждането им в експериментални площадки на територията на град Пловдив, характеризиращи се с висока степен на антропогенно въздействие (покрай натоварени пътни артерии), е на база измененията на ензимните и неензимните компоненти от антиоксидантната защитна система в растенията във връзка със съдържанието на потенциално токсични елементи в почвата.

Четири вида изследвани (райграс, житняк, власатка, звездан) са в сравнително добро състояние и показват добри адаптационни реакции към въздействието на урбанизираната среда. Проследените параметри, пряко свързани с физиологичния статус, показват, че в сравнение с останалите изследвани видове, власатката се отличава като най-жизнена и физиологично активна, което предполага и по-голяма устойчивост и приспособимост.

Установените по-високи нива на свободен пролин при звездана, като цяло, го определят като по-уязвим към неблагоприятните условия на средата, в сравнение с останалите изследвани видове. Въпреки това, в смесен посев той се развива успешно и не показва толкова високи нива на оксидативен стрес.

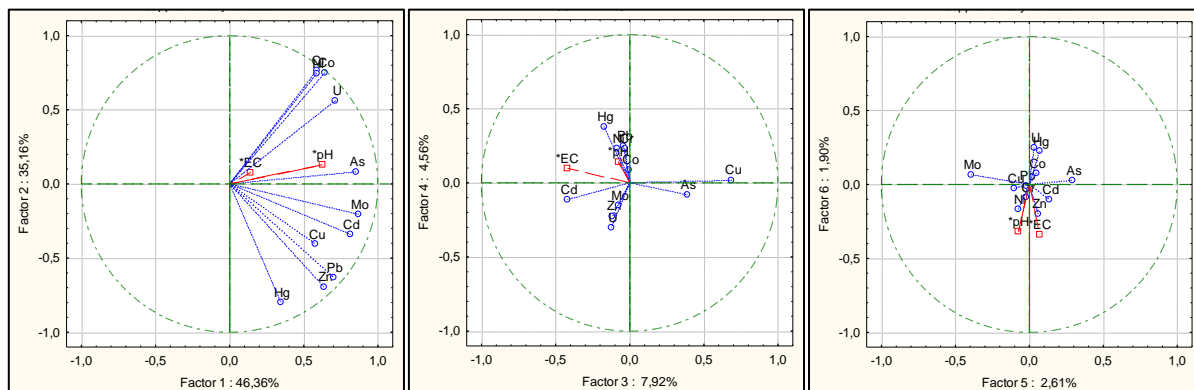
По отношение на активността на каталазата установихме, че при инхибирането на нейната активност, в процеса на обезвреждане на силно завишената концентрация на водороден пероксид се повишават активностите на глутатион пероксидазата и глутатион редуктазата, вероятно като компенсаторен механизъм ( $p < 0,05$ ).

Наблюдаваните изменения в антиоксидантната защитна система на четирите тревисти вида се дължат на комбинацията между антропогенните въздействия в урбанизираната среда и сезонните изменения в стойностите на екологичните фактори. С цел оптимално продължаване на вегетацията при растенията се установява непрекъснат процес на адаптиране чрез активиране на различни сигнални пътища в клетките, чийто точен механизъм остава все още неизяснен. Като цяло, експериментите показват, че растенията реагират по специфичен начин и разполагат с диференцирани механизми за защита спрямо вида на въздействащия външен стресор.

### 5.6. Анализ на възможностите за устойчиво управление на градски почви чрез буферни тревни ивици

За идентифициране и ранжиране на факторите, определящи поведението на изследваните елементи в различните почвени проби и връзките между тях, е приложен многофакторен статистически анализ – Анализ на главните компоненти (РСА), съдържащ шест фактора: 1) „Тип на площадката“ с категории „фон/контрола“ и „експеримент“; 2) „Физико-химични параметри на почвите“ с категории „pH“ и „ЕС“; 3) „Произход на елементите“ с категории „литогенен (фоново ниво)“ и „антропогенен“; 4) „Местоположение“ с категории 6-те административни района на гр. Пловдив; 5) „Роза на вятъра“; 6) „Други антропогенни дейности“.

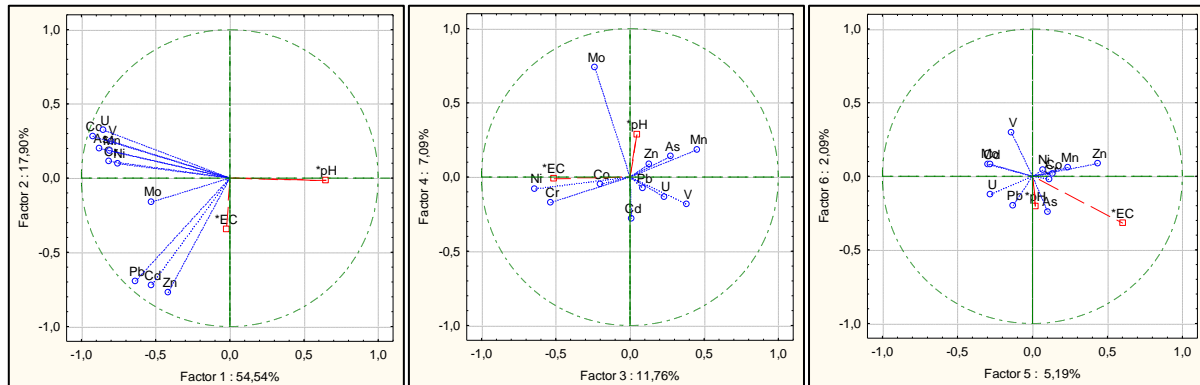
На Фиг. 19 са представени резултати относно факторите, повлияващи съдържанието на потенциално токсични елементи в изследваните почви от 12-те площадки в гр. Пловдив през 2019 год. С най-голяма значимост от тях установихме, че е „Тип на площадката“ – контрола или експериментална (Factor 1 = 46,36%), следван от „Физико-химични параметри на почвите“ (Factor 2 = 35,16%). „Произход на елементите“ (Factor 3 = 7,92%) и „Местоположение“ (Factor 4 = 4,56%) имат изключително слабо въздействие върху разпределението на изследваните потенциално токсични елементи в почвите. Останалите два фактора – „Роза на вятъра“ (Factor 5 = 2,61%) и „Други антропогенни дейности“ (Factor 6 = 1,90%) имат пренебрежимо ниски стойности.



**Фиг. 19. Многофакторен анализ (РСА) на факторите, влияещи върху разпределението на потенциално токсични елементи в изследваните почви през 2019 г.**

На Фиг. 20 са представени резултати относно факторите, повлияващи съдържанието на потенциално токсични елементи в изследваните почви от 12-те площадки в гр. Пловдив през 2022 год. С най-голяма значимост от тях установихме, че е „Тип на площадката“ – контрола или експериментална (Factor 1 = 54,54%), следван от „Физико-химични параметри на почвите“ (Factor 2 = 7,90%), но с доста по-малка тежест. Този резултат съвсем ясно индикира, че изградените буферни тревостои в експерименталните площадки ефективно намаляват съдържанието на потенциално токсични

елементи в почвите. При сравняване тежестта на тези два фактора през 2019 г. и през 2022 г. се забелязва нарастване в значението на първия фактор, което показва, че в дългосрочна перспективна ефектът от буферните тревни ивици нараства.

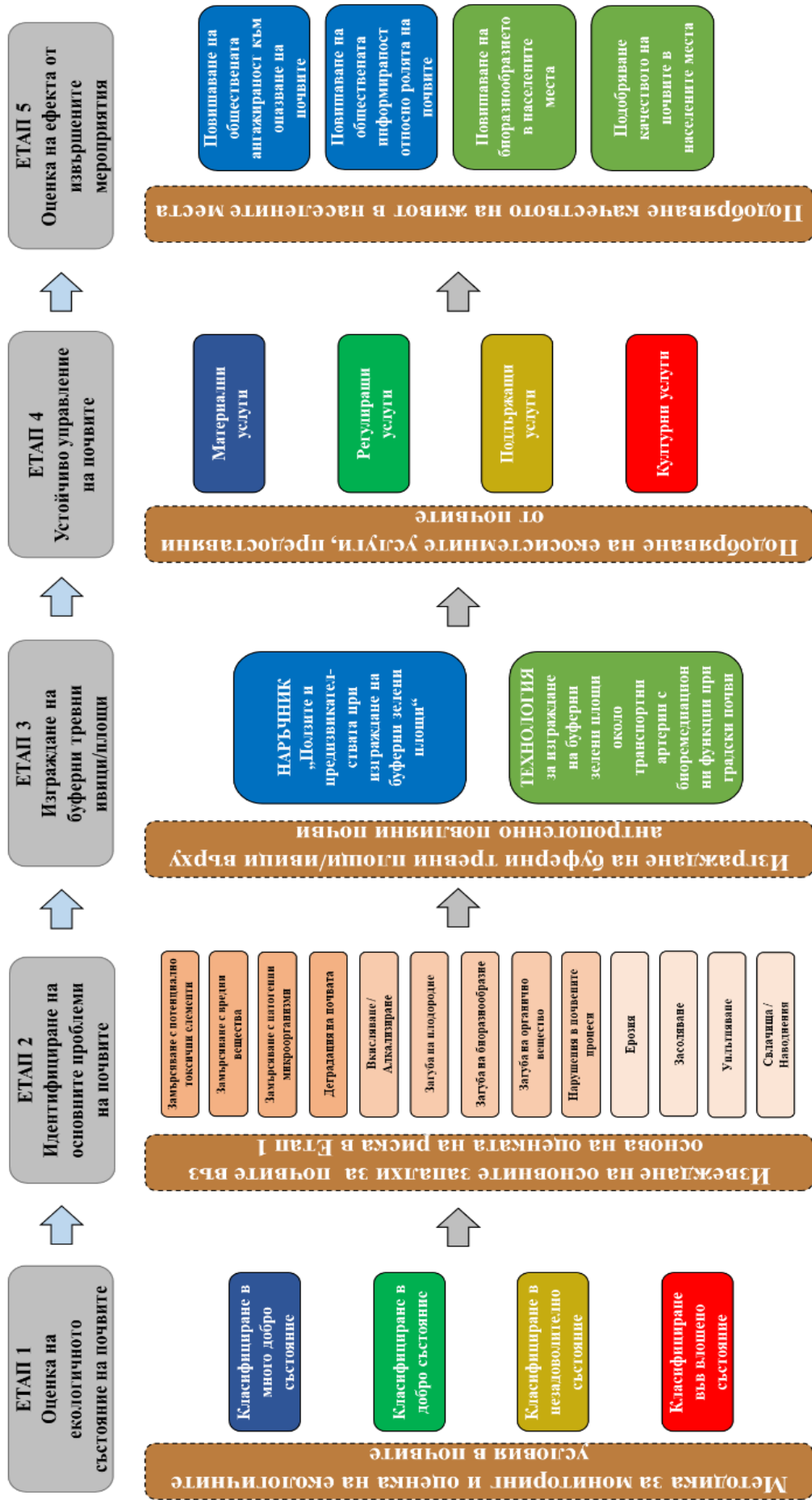


**Фиг. 20. Многофакторен анализ (РСА) на факторите, влияещи върху разпределението на потенциално токсични елементи в изследваните почви през 2022 г.**

Установените различия в биоакумулационните способности на подвижни форми на тежките метали на включените в изследването многогодишни житни тревни гребенчат житняк (*Agropyron cristatum* L.) сорт „Свежина“, многогодишен райграс (*Lolium perenne* L.) сорт „ИФК Хармония“, тръстиковидна власатка (*Festuca arundinacea* Schreb) сорт „Албена“ и многогодишната бобова култура – звездан (*Lotus corniculatus* L.) сорт „Лео“, отглеждани както самостоятелно, така и в смесен тревостой определят диференциран подход при избора им за затревяване на урбанизирани територии в зависимост от вида и дяловото участие при замърсяване с различни тежки метали в почвата. При основно натрупване в повърхностния почвен слой на Pb, Zn и Cd е препоръчително за биоакумулирането им е да се използва монокултуралното отглеждане на многогодишният райграс (*Lolium perenne* L.) сорт „ИФК Хармония“ и тръстиковидна власатка (*Festuca arundinacea* Schreb) сорт „Албена“ при изграждането на градски тревни площи. При замърсяване на повърхностния почвен слой с подвижни форми на тежките метали Mo, Zn, U и Cu обещаващи култури със способност за биоакумулирането им са гребенчатият житняк (*Agropyron cristatum* L.) сорт „Свежина“ и звезданът (*Lotus corniculatus* L.) сорт „Лео“, отглеждани монокултурално.

### **Валидиране на модела за устойчиво управление на градски почви**

Въз основа на резултатите от всички изследвания е разработен и валидиран модел за устойчиво управление на градските почви чрез изграждане на буферни зелени площи около транспортни артерии включва 5 етапа, визуализирани на Фиг. 21.



Фиг. 21. Модел за устойчиво управление на градските почви чрез изграждане на буферни зелени ивици

## ОБОБЩЕНИЕ

Факторният анализ доказва, че определяща роля за съдържанието и разпределението на елементите в градските почви играе типът на площадката (контрола или експериментална), следван от местоположението ѝ (административен район). Това подчертава приложимостта на буферните тревни ивици с подходящо подбран видов състав за устойчиво управление на екологичното състояние на почвите в урбанизирани територии.

Поради комплексното замърсяване на повърхностния почвен слой с различни подвижни форми на тежки метали Zn, Cd, Mn, Cu, Co, Ni е препоръчително да се създават смесени тревостои с участие на многогодишни житни и бобови треви с което, от една страна да се подобри потенциала за биоакумулирането им в сравнение с монокултурното им отглеждането, и от друга да се повиши биоразнообразие във фитоценозата, увеличи биоразнообразието на животни и микроорганизми, както и да се подобрят водно-физичните свойства на почвата, предпазване от ветрова и водна ерозия при изграждане на затревените буферни зони на наклонени терени.

## 6. ИЗВОДИ

1. Четирите изследвани вида (Гребенчат житняк (*Agropyron cristatum* L.) сорт „Свежина“, Многогодишен райграс (*Lolium perenne* L.) сорт „ИФК Хармония“, Тръстиковидна власатка (*Festuca arundinacea* Schreb) сорт „Албена“ и Звездан (*Lotus corniculatus* L.) сорт „Лео“) показват добри адаптационни реакции към въздействието на урбанизираната среда. Власатката се отличава като най-жизнена и физиологично активна, което предполага и по-голяма устойчивост и приспособимост.

2. Наблюдаваните изменения в антиоксидантната защитна система на четирите тревисти вида се дължат на комбинацията между антропогенните въздействия в урбанизираната среда и сезонните изменения в стойностите на екологичните фактори. Като цяло, експериментите показват, че растенията реагират по специфичен начин и разполагат с диференцирани механизми за защита спрямо вида на въздействащия външен стресор.

3. Изградените буферни тревостои в експерименталните площадки имат способността да извличат потенциално токсични елементи от почвите, като в дългосрочна перспективна ефектът от буферните тревни ивици нараства.

4. Доказано е, че изградените буферни тревни ивици край главните транспортни артерии в гр. Пловдив ефективно повлияват съдържанието и миграцията на потенциално токсични елементи в почвите ( $p < 0,05$ ).

5. Изследваните многогодишни житни треви (райграс, житняк и власатка) имат по-висок биоакумуляционен коефициент в сравнение със звездана (сем. Бобови) по отношение на олово, цинк и кадмий. Комбинираният посев от четирите вида – Многогодишен райграс (*Lolium perenne* L.), Гребенчат житняк (*Agropyron cristatum* L.), Тръстиковидна

власатка (*Festuca arundinacea* Schreb.) и Звездан (*Lotus corniculatus* L.) успява да създаде подходящи условия за повишаване на микробното разнообразие и биоремедиационния ефект.

6. Данните показват, че броят на основните групи почвени микроорганизми е по-висок във всички експериментални варианти в сравнение с фоновите площадки. В тази връзка препоръчваме комбинирано засаждане на различни тревисти видове при изграждането на буферни зелени ивици, тъй като заедно те ще формират по-добър ризосферен микробиом в сравнение със самостоятелно засетите видове (монокултури).

7. Урбанизацията оказва значително влияние върху екологичното състояние и биологичните процеси в почвите на град Пловдив. Количествените индекси на микробната биомаса и съотношенията между тях са важни отличителни белези на урбанизираните почви и могат да намерят приложение като критерии за тяхната екологична оценка. В резултат от комплексните проучвания са открити градски зони с по-силно повлияни почвени характеристики и изменени свойства на микробиалните съобщества.

8. Разработеният и валидиран в условията на гр. Пловдив модел за устойчиво управление на градски почви посредством буферни тревни ивици успешно може да бъде прилаган за подобряване качеството на почвите в населените места.

## **7. ПРИНОСИ**

### ***Приноси с оригинален научен характер***

1. Получени са оригинални научни данни за елементния състав на изследваните проби от градски почви и на изследваните проби подземна и надземна биомаса от изградените буферни зелени ивици около транспортни артерии с цел оценка на ефекта от биоремедиацията.

2. Създадени са първи по рода си за гр. Пловдив буферни зелени площи около транспортните артерии с подбрани многогодишни бобови и житни култури с доказана толерантност към условията на градската среда и високи биоаккумуляционни способности.

### ***Приноси с научно-приложен характер***

1. Валидирана е технология за изграждане на буферни зелени площи около транспортни артерии с биоремедиационни функции при градски почви (град Пловдив) чрез изследване на стресови отговори за оценка на физиологичното им състояние.

2. Апробиран е модел за устойчиво управление на градските почви чрез буферни зелени площи около транспортни артерии, водещ до дългосрочно подобряване качеството на почвите и условията за живот в града.

Разработеният модел за устойчиво управление на градските почви ще

бъде безвъзмездно предоставен на заинтересованите държавни и общински структури, за да послужи като научна основа за разработване на нормативни документи на регионално и национално ниво и за предприемане на ефективни управленски решения.

## **8. ПУБЛИКАЦИИ И УЧАСТИЯ В НАУЧНИ ФОРУМИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### *Публикации*

1) Petrova S., Nikolov B., Velcheva I., Angelov N., Valcheva E., Katova A., Golubinova I., Marinov-Serafimov P. (2022). Buffer Green Patches around Urban Road Network as a Tool for Sustainable Soil Management. *Land*, 11, 343, 1-23. <https://doi.org/10.3390/land11030343>

2) Petrova S., Velcheva I., Nikolov B., Angelov N., Hristozova G., Zapryanova P., Valcheva E., Golubinova I., Marinov-Serafimov P., Petrov P., Stefanova V., Varbanova E., Georgieva D., Stefanova V., Marhova M., Tsankova M., Iliev I. (2022). Nature-Based Solutions for the Sustainable Management of Urban Soils and Quality of Life Improvements. *Land*, 11, 569, 1-22. <https://doi.org/10.3390/land11040569>

### *Участия в научни форуми*

1) Ангелов, А., Николов, Б., Петрова, С., Велчева, И., Желева, Е., Петров, П., Стефанова, В., Запрянова, П., Христева, Г., Вълчева, Е. (2020). Геохимични спектри на някои химични елементи в градски почви. Дванадесета научна конференция за студенти и млади учени „Екологията – начин на мислене” 12, 1 ноември 2020 г., Пловдив

2) Ангелов, А., Вълчева, Е., Велчева, И., Петрова, С., Николов, Б. (2021). Биоаккумуляционен потенциал на някои тревисти видове. Тринадесета научна конференция за студенти и млади учени „Екологията – начин на мислене” 13, 9 октомври 2021 г., Пловдив.

3) Nikolov, B., Petrova, S., Velcheva, I., Angelov, N., Valcheva, E., Zapryanova, P., Hristozova, G., Varbanova, E., Georgieva, D., Stefanova, V. (2020). Accumulation and mobile forms of some heavy metals in roadside urban soils. CBU International Conference on Innovations in Science and Education, 23-25 March 2020, Prague, Czech Republic.

4) Nikolov, B., Petrova, S., Velcheva, I., Angelov, N., Valcheva, E., Zapryanova, P., Hristozova, G., Varbanova, E., Georgieva, D., Stefanova, V. (2020). Macro- and microelements content of urban soils from Plovdiv (Bulgaria). Agriculture for Life, Life for Agriculture, 4-6 June 2020, Bucharest, Romania.

## 9. БИБЛИОГРАФИЯ

- 1) БДС ISO 11261:2002. Soil quality – Determination of total nitrogen – Modified Kjeldahl method
- 2) БДС EN ISO 6222:2002 Качество на водата. Определяне на броя на жизнеспособните микроорганизми. Изброяване на колонии чрез посяване в хранителна среда агар (ISO 6222:1999). Достъпен на: <https://bds-bg.org/bg/project/show/bds:proj:29553>
- 3) БДС EN ISO 9308-1:2014/A1:2017 Качество на водата. Определяне броя на бактерии *Escherichia coli* и колиформни бактерии. Част 1: Метод чрез мембранно филтриране на води с нисък бактериален фон на флората. Изменение 1 (ISO 9308-1:2014/Amd 1:2016). Достъпен на: <https://bds-bg.org/bg/project/show/bds:proj:100421>
- 4) ГОСТ 26209:1991. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Egner-Riem method (DL-method).
- 5) Динев, Н. (2009). Фиторемедиацията – технологично решение за натоварени почви. Съставяне на проект за ремедиация на замърсени земи. Екология и бъдеще, VIII(2), 7 – 10.
- 6) Aebi, H. (1984). Catalase in vitro, *Methods Enzymol.*, 105, 121–126.
- 7) Ahmad, F., Iqbal, S., Anwar, S., Afzal, M., Islam, E., Mustifa, T., Khan, Q.M. (2012). Enhanced remediation of chlorpyrifos from soil using ryegrass (*Lolium multiflorum*) and chlorpyrifos-degrading bacterium *Bacillus pumilus* C2A1. *Journal of Hazardous Materials*, 237–238, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.08.006>.
- 8) Akinci, I.E., Akinci, S., Yilmaz, K. (2010). Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to lead toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll and water content. *Afr. J. Agric. Res.*, 5, 416–423.
- 9) Alef, K., Nannipieri, P. (1995) *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press.
- 10) Alia, P.S.P., Mohanty, P., Matysik, J. (2001). Effect of proline on the production of singlet oxygen. *Amino Acids*, 21, 195-200
- 11) Angelova, V., Akova, V., Ivanov, K., Licheva, P. (2014). Comparative study of titrimetric methods for determination of organic carbon in soils, compost and sludge. *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*, 8, 430-440.
- 12) Azimi, R., Heshmati, G., Farzam, M., Goldani, M. (2019). Effects of mycorrhiza, zeolite and superabsorbent on growth and primary establishment of *Agropyron desertorum* in mining field (Case Study: Mashhad's Shargh Cement Factory, Iran. *J. Rangel. Sci.*, 9, 172–183.
- 13) Baker, A.J.M., Walker, P.L. (1990). Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants: Heavy metal tolerance in plants. In *Evolutionary Aspects*; Shaw, A.J., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 155–177.
- 14) Beare, M.H., Coleman, D.C., Crossley Jr., D.A., Hendrix, P.F., Odum, E.P. (1995). A hierarchical approach to evaluating the significance of soil



biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant Soil*, 170, 5–22. doi: 10.1007/BF02183051

15) Belser, L.W. (1979). Population Ecology of Nitrifying Bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 33(1), 309-333.

16) Besalatpour, A.A., Hajabbasi, M.A., Khoshgoftarmanesh, A.H., Afyuni, M. (2008). Remediation of petroleum contaminated soils around the Tehran oil refinery using phytostimulation method. *J. Agric. Nat. Resour. Sci.*, 15, 22–37.

17) Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72, 248–254.

18) Carillo, P., Gibon, Y. (2011). Protocol: extraction and determination of proline. PrometheusWiki

19) Chen, Y., Kuang, J., Jia, P., et al. (2017). Effect of environmental variation on estimating the bacterial species richness. *Front Microbiol.*, 8: 680.

20) Đamić, R., Stevanović, D., Jakovljević, M. (1996). *Agrochemistry practicum*. Zemun, Beograd: Faculty of Agriculture press (In Serbian)

21) De Ruiter, P.C., Moore, J. C., Zwart, K. B., Bouwman, L. A., Hassink, J., Bloem, J., de Vos, J. A., Marinissen, J. C. Y., Didden, W. A. M., Lebbink, G., Brussaard, L. (1993). Simulation of nitrogen mineralization in the below-ground food webs of two winter wheat fields. *Journal of Applied Ecology*, 30: 95–106.

22) Dec, D. (2014). Assessment of the microbiological activity in agricultural and urban soils. *Soil Science Annual*, 65(4), 156–160. doi: 10.1515/ssa-2015-0009

23) Garland, J. L., Mills, A. L., Young, J S. (2001). Relative effectiveness of kinetic analysis vs single point readings for classifying environmental samples based on community-level physiological profiles (CLPP). *Soil Biol Biochem.*, 33(7-8), 1059–1066.

24) Gołda, S., Korzeniowska, J. (2016). Comparison of phytoremediation potential of three grass species in soil contaminated with cadmium. *Ochr. Srodowiska I Zasobów Nat.*, 27, 8–14.

25) Gomez, E., Garland, J., Conti, M. (2004). Reproducibility in the response of soil bacterial community-level physiological profiles from a land use intensification gradient. *Applied Soil Ecology*, 26, 21–30.

26) Gómez-Brandón, M., Herbón, C., Probst, M., Fornasier, F., Barral, M.T., Paradelo, R. (2022). Influence of land use on the microbiological properties of urban soils. *Applied Soil Ecology*, 175, 104452, <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104452>.

27) Gul, I., Manzoor, M., Hashim, N., Kallerhoff, J., Arshad, M. (2018). Comparison of EDTA, citric acid and TiO<sub>2</sub> nanoparticles to support Cd phytoaccumulation in spiked soil *Proceedings of the 2nd International Conference of Recent Trends in Environmental Science and Engineering (RTESE)*, 18 (2018), p. 119, 10.11159/rtese18.119

- 28) Gul, I., Manzoor, M., Hashim, N., Yaqoob, K., Kallerhoff, J., Arshad, M. (2019). Comparative effectiveness of organic and inorganic amendments on cadmium bioavailability and uptake by *Pelargonium hortorum*. *J. Soils Sediments*, 19(5), 2346–2356
- 29) Hart, S., Nason, G., Myrold, D., Perry, D. (1994). Dynamics of Gross Nitrogen Transformations in an Old-Growth Forest: The Carbon Connection. *Ecology*, 75(4), 880–891.
- 30) Hitzl, W., Rangger, A., Sharma, S., Insam, H. (1997). Separation power of the 95 substrates of the BIOLOG system determined in various soils. *FEMS Microbiology Ecology*, 22(3), 167–174. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(96\)00087-6](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(96)00087-6).
- 31) Hussain, F., Hussain, I., Ali Khan, A.H., Muhammad, Y.S., Iqbal, M., Soja, G., Reichenauer, T.G., Yousaf, Z.S. (2018). Combined application of biochar, compost, and bacterial consortia with Italian ryegrass enhanced phytoremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil. *Environ. Exp. Bot.*, 153, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.05.012>.
- 32) ISO 11464: 2002. Soil quality. Pretreatment of samples for physico-chemical analyses.
- 33) ISO/TS 14256-1:2003. Soil quality — Determination of nitrate, nitrite and ammonium in field-moist soils by extraction with potassium chloride solution — Part 1: Manual method
- 34) ISO 16072:2002. Soil quality — Laboratory methods for determination of microbial soil respiration
- 35) Kocsy, G., von Ballmoos, P., Suter, M., Ruegsegger, A., Galli, U., Szalai, G., Galiba, G., Brunold, C. (2000). Inhibition of glutathione synthesis reduces chilling tolerance in maize. *Planta*, 211, 528–536.
- 36) Langella, F., Grawunder, A., Stark, R., Weist, A., Merten, D., Haferburg, G., Büchel, G., Kothe, E. (2014). Microbially assisted phytoremediation approaches for two multi-element contaminated sites. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21, 6845–6858.
- 37) Leipner, J., Fracheboud, Y., Stamp, P. (1999). Effect of growing season on the photosynthetic apparatus and leaf antioxidative defenses in two maize genotypes of different chilling tolerance. *Env. Exp. Bot.*, 42, 129–139
- 38) Li, X., Liu, L., Wang, Y., Luo, G., Chen, X., Yang, X., Hall, M.H.P., Guo, R., Wang, H., Cui, J., He, J. (2013). Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China. *Geoderma*, 192, 50–58, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.011>.
- 39) Malik, A.A., Roth, V.-N., Hébert, M., Tremblay, L., Dittmar, T., and Gleixner, G. (2016). Linking molecular size, composition and carbon turnover of extractable soil microbial compounds. *Soil Biology and Biochemistry*, 100, 66–73. doi: 10.1016/j.soilbio.2016.05.019
- 40) Masu, S., Popa, M., Morariu, F., Lixandru, B., Popescu, D. (2014). Prospects of using leguminous species in phytoremediation of total petroleum hydrocarbons polluted soils. *Anim. Sci. Biotechnol.*, 47, 1172–1176.

- 41) Mavis, R.D., Stellwagen, E. (1968). *Journal of Biological Chemistry*, 243, 809–814
- 42) Niknahad, H., Esfandyari, A., Rezaei, H. (2018). Phytoremediation of cadmium and nickel using *Vetiveria zizanioides*. *Environ. Resour. Res.* 6, 57–66.
- 43) Nogueira, L.R., da Silva, C. F., Pereira, M.G., Gaia-Gomes, J.H., Ribeiro da Silva, E.M. (2016). Biological Properties and Organic Matter Dynamics of Soil in Pasture and Natural Regeneration Areas in the Atlantic Forest Biome. *Rev Bras Cienc Solo*, 40, e015036. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150366>
- 44) O'Donnell, A.G., Seasman, M., Macrae, A., Waite, I. & Davies, J.T. (2001). Plants and fertilisers as drivers of change in microbial community structure and function in soils. *Plant and Soil*, 232, 135–145.
- 45) Pandey, V.C. (2012). Phytoremediation of heavy metals from fly ash pond by *Azolla caroliniana*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 82, 8–12.
- 46) Pandey, V.C., Pandey, D.N., Singh, N. (2015). Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *J. Clean. Prod.*, 86, 37–39.
- 47) Pandey, V.C., Bajpai, O. (2019). Phytoremediation: From theory toward practice. In *Phytomanagement of Polluted Sites*; Pandey, V.C., Baudh, K., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 1–49.
- 48) Pandey, V.C., Singh, D.P. (2020). *Phytoremediation Potential of Perennial Grasses*, 1st ed.; Kindle Edition; Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands, p. 374. ISBN: 0128177322
- 49) Pitt, J. I., Hocking, A. D. (2009) *Fungi and Food Spoilage*. Springer, US, 519 p.
- 50) Saradhi, P.P., Alia Arora, S., Prasad, K.V.S.K. (1995). Proline Accumulates in Plants Exposed to UV Radiation and Protects Them against UV-Induced Peroxidation. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 209(1), 1–5.
- 51) Schnoor, J.L. (2002). *Technology Evaluation Report: Phytoremediation of Soil and Groundwater*; GWRTAC Series TE-02-01; Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, Pittsburgh, PA, USA, 43 p.
- 52) Song, H.S., Cannon, W.R., Beliaev, A.S., Konopka, A. (2015). Mathematical modeling of microbial community dynamics: a methodological review. *Processes*, 2, 711–752. doi: 10.3390/pr3030699
- 53) SPSS for Windows ver. 22 IBM Corporation. (2022). Available at: <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>
- 54) Statistica 7.0. Software. Statistical Package for Windows. StatSoft Inc. (2006). Available at: [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)
- 55) Taylor, K.G., Owens, P.N. (2009). Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *Journal of Soils and Sediments*, 9(4), 281–303. doi:10.1007/s11368-009-0103-z
- 56) Tausz, M., Sircelj, H., Grill, D. (2004). The glutathione system as a stress marker in plant ecophysiology: is a stress-response concept valid? *Journal of Experimental Botany*, 55(404), Sulphur Metabolism in Plants Special Issue, 1955–1962

- 57) Trasar-Cepeda, C., Leirós, M.C., Seoane, S., Gil-Sotres, F. (2008). Biochemical properties of soils under crop rotation. *Appl. Soil Ecol.*, 39, 133–143.
- 58) Vasilev, E. (2012). Productivity of wheatgrass (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.) as a component of pasture mixtures for the conditions of the Danube Plain. Grassland – a European Resource? In Proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation, Lublin, Poland, 3–7 June 2012; pp. 190–193.
- 59) von Mersi, W., Schinner, F. (1991) An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with idonitrotetrazolium chloride. *Biol Fertil Soils*, 11, 216–220.
- 60) VROM. (2002). Circular Values and Intervention Values for Soil Remediation Annex A: Target Values, Soil Remediation Intervention Values and Indicative Levels for Serious Contamination. Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM).
- 61) Wendel, A. (1990). Enzymatic Basis of detoxication. Vol.1, p. 333, Academic Press, NY
- 62) Willekens, H., Inze, D., Van Montagu, M., Van Camp, W. (1995). Catalases in plants. *Mol Breed*, 1, 207–228
- 63) Wong, C.S.C., Li, X., Thornton, I. (2006). Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environmental Pollution*, 142, 1–16. doi: 10.1016/j.envpol.2005.09.004
- 64) Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Sci. Total Environ.*, 368, 456–464.
- 65) Zhang, J., Liu, Y., Yu, J., Zhang, W., Xie, Y., Ge, N. (2018). Key Factors Influencing Weed Infestation of Cool-season Turfgrass *Festuca arundinacea* Schreb. Areas during Early Spring in the Tianjin Region, China. *Hortscience*, 53, 723–728.
- 66) Zhang, J. (2011). Improvement of an isolation medium for actinomycetes. *Modern Appl Sci*, 5(2), 124–127
- 67) Zurek, G., Rybka, K., Pogrzeba, M., Krzyzak, J., Prokopiuk, K. (2014). Chlorophyll a Fluorescence in Evaluation of the Effect of Heavy Metal Soil Contamination on Perennial Grasses. *PLoS ONE*, 9, e91475. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091475>.