

**СЕЛСКОСТОПАНСКА АКАДЕМИЯ  
ИНСТИТУТ ПО ПОЧВОЗНАНИЕ, АГРОТЕХНОЛОГИИ И ЗАЩИТА НА  
РАСТЕНИЯТА „НИКОЛА ПУШКАРОВ”**

**Пламен Връбчев Томов**

**ПЕДОХИМИЧНИ И БИОЛОГИЧНИ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ НА УРБАНИЗИРАНИ ПОЧВИ**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**НА ДИСЕРТАЦИЯ**

за присъждане на образователната и научна степен „Доктор”

по научна специалност “Почвознание”

**Научни ръководители:**

**проф. д-р инж. Венера Цолова**

**доц. д-р Галина Петкова**

**София, 2023**

Дисертационният труд е написан на 132 страници и съдържа 10 глави, както следва: Увод, Цел и задачи на изследването, Литературен обзор, Обекти на изследване, Методи на изследване, Резултати и обсъждане, Изводи, Научни и научно-приложни приноси, Литература (233 заглавия) и Публикации във връзка с дисертационния труд (3 на брой). В текста са представени 46 фигури и 31 таблици. Целта и задачите на изследването са формулирани в **6** точки. Литературният обзор е на 19 страници и обхваща съвременни източници, писали по въпроси, засягащи темата на дисертацията. Обекти на изследването са почви **от 8 зони**, разположени по градиента на урбанизация северозапад-югоизток на района Столична голяма община в непроучени до момента почвени територии. Подробно са описани методите за теренни проучвания и вземане на проби, както и физичните, физико-химичните, химичните, биологичните методи, радиоизотопните изследвания и статистическите методи за анализ на получените резултати. В главата Резултати и обсъждане се разглеждат генетичните и класификационни характеристики на изследваните почви, условията за почвообразуване, химичните, физико-химичните, радиоизотопните и биологичните характеристики на изследваните почви. Изводите и научните и научно-приложните приноси са формулирани на три страници.

Номерата на таблиците и фигурите в автореферата са дадени както в дисертационния труд.

Дата, час и място на провеждане на публичната защита:

Състав на научното жури:

*Изказвам сърдечна благодарност на моите научни ръководители, проф. д-р. инж. Венера Цолова и доц. д-р Галина Петкова, за ценните съвети и насоки при написването на този труд.*

*Благодаря на колегите от ИПАЗР „Пушкарров“ и на директор проф. д-сн Ирена Атанасова за възможността да осъществя тази защита и да получа подкрепа през целия ми творчески път на докторант.*

*На на последно благодаря на моето семейство, което беше до мен и ме подкрепяше по всякакъв начин.*

## **I. Увод**

Изследванията на почвите в градските райони показват голямото разнообразие от геоложки, петрографски, географски, палеонтоложки, геохимични, физикохимични и биологични характеристики, които им придават специфичен профил и качества. Това разнообразие налага да се изследва детайлно състава, структурата и свойствата на тези почви, да се определи степента на антропогенните въздействия върху тях и последствията за околната среда. Условието за живот в градска среда са изключително важни, защото в градовете са концентрирани основната част от населението, промишлеността и икономиката. Днес градовете представляват уникална съвкупност от етнически, естетически, производствени, търговски, социални и туристически символи, съчетани с ландшафтни и екологични особености.

Градските почви се формират и развиват в условия на различни по степен и вид антропогенни въздействия. С оглед на ролята им на фактор, определящ качеството на живот на хората, е важно техните свойства да бъдат проучени. Периодичният контрол на индикаторни параметри на почвите дава информация за динамиката на тяхното изменение под въздействието на различни естествени и антропогенни фактори и представлява база за оценка на екологичните функции на почвите. Голям научен интерес представлява изясняването на различните аспекти от взаимодействието между параметрите на геохимичната среда (потенциално и лесно достъпни химични елементи, рН, йонообменен капацитет, редокси потенциал) и ензимната активност на антропогенно повлияните почви, включително нейната чувствителност и уязвимост в различна химична среда, биомиграцията на елементите, химичната им спецификация и други. Тези процеси са бегло проучени в почвите от градските зони.

## **II. Цел и задачи на изследването**

Основните научни задачи, които ще бъдат решени с дисертационния труд са: а) установяване на съвременните морфо-генетични характеристики на почви от градските зони, повлияни в различна степен от урбанизацията; б) класификация на изследваните почви; в) определяне на химичните и геохимичните характеристики на почвите; г) установяване съдържанието на  $\alpha$ -  $\beta$ - и  $\gamma$ - емитиращи радионуклиди в почвите и оценка на радиоактивното натоварване в градска среда; д) определяне на микробиологичната и ензимна активност на изследваните почви, и е) да се направи оценка на протичащите изменения в урбанизираните почви.

## **III. Литературен обзор**

В наши дни сме свидетели на прекомерното нарастване на населението, над половината

от което живее в урбанизирани зони, като този процент ще нараства в бъдеще. Управлението на почвените ресурси в градовете почти изцяло е подчинено на жилищното строителство, което за съжаление разглежда почвите като фундамент за строителство, наричайки ги „строителни“ почви. Само допреди малко повече от 40 години на състоянието на градските почви не е било обръщано полагащото им се внимание от страна на учените и обществото. Част от тях са толкова изменени по структура и строеж, че част от тях вече спадат към техногенните почви. Те съдържат големи по количество и обем материали, които са произведени от човека. Понякога тези материали са токсични. Всичко това влияе негативно върху свойствата, структурата и тяхното плодородие.

Има много опити тези почви да бъдат описани и класифицирани, но те показват голямо пространствено разнообразие, както вертикално, така и хоризонтално, но все пак Craul (1985) формулира 8 признака, по които тези почви могат да бъдат идентифицирани. Интензивното нарастване на градовете през 20 век води до неколккратно увеличаване на почвите с променено предназначение, които в зависимост от това къде са образувани, се характеризират с голямо разнообразие, особености, свойства и процеси. У нас близо 0.5 млн. хектара са подложени на антропогенен натиск като голяма част от индустриалните ни гиганти от близкото минало са построени върху плодородни земи, на които преди това са отглеждани главно зеленчукови и полски култури.

Първият опит за изследване на градските почви в Западна Европа и изграждането на градска почвена карта е осъществен от Mückenhausen и Müller (1951) като картографират част от град Ботроп, Германия, който е силно разрушен по време на Втората световна война. В Полша Skawina изследва почвообразователните процеси в насипищата, изградени от въглищната промишленост, а през 1981 г. Blume and Schlichting организират международен симпозиум за градските почви в Берлин, Германия. Това е първият успешен опит да се съберат учени, занимаващи се с градските почви. У нас Генчева работи активно през 70-те, 80-те и 90-те години на миналия век по класификацията на тези почви. През 1988 г. Легендата на FAO, известна тогава като Световна почвена класификация, включва тези почви като Anthrosols (антросоли) и ги определя ги като почви, в които човешката дейност е довела до дълбока модификация или погребване на оригиналните почвени хоризонти, чрез премахване или нарушаване на повърхностни хоризонти, порязвания и запълвания, модерни добавки на органични материали, продължително напояване. През 1998 г. е сформирана работната група „Почви от урбанизирани, индустриални, транспортни и минни райони“ (Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas (SUITMA)). Първата международна конференция по тези въпроси се провежда в гр. Есен, Германия през 2000 г., последвана от конференциите в Нанси (Франция, 2003), Кайро (Египет, 2005), Нанджинг (Китай, 2007), които дават съществен

принос за развитието на проблема. От 2006-та година в Световната референтна база за почвени ресурси антропогенните почви се разделят на две почвени референтни групи: техносоли (Technosols) - съдържащи значителни количества артефакти и чиито "свойства и педогенезис се определят от техния техногенен произход" и антросоли (Anthrosols) - почви повлияни от интензивно и продължително земеделие.

Като ключов компонент на градските екосистеми, градските почви натрупват тежките метали и ги задържат чрез почвения адсорбент за дълъг период от време. Източниците на тежки метали в градски условия могат да бъдат автомобилният трафик, индустриалната дейност, корозията на строителни конструкции или материали, изгарянето на въглища в ТЕЦ и други. Освен тежки метали някои почви имат повишено съдържание на органични замърсители: полициклични ароматни въглеводороди, пестициди, биоциди, лекарства и други. Но не само замърсяването е характерно за градските почви. Те често са силно уплътнени, фрагментирани от големи количества строителни отпадъци и слабо запасени с хумус и хранителни вещества, което ги прави неподходящи за създаване на ефективни зелени системи. А те са важни за регулирането на водния цикъл (градска хидрология, инфилтрация), за преноса и поглъщането на замърсители, контрол на качеството на въздуха (фин прах и замърсители), както и смекчаване на местния климатичен ефект на топлинния остров.

Почвите, като продукт на изветрянето на скалите, унаследяват минералния им състав и разпространените в тях в малки количества естествени радиоактивни елементи (Найденев и Захаринев, 2012). Основни естествени радиоактивни елементи в почвите са: калий-40, уран-238, торий-232 и радий-226. Съдържанието на калий, освен от скалите, може да бъде повлияно и от практическата дейност на човека - употребата на калиеви торове, отглеждането на калиево-любиви растения, мелиорации и други. Значението на другите редкоземни радиоактивни елементи е твърде ограничено. Преди всичко знанията за съдържащите се в почвата радиоактивни елементи попълват знанията ни за геохимичния състав на почвата и характеристиката ѝ като природно тяло. Съотношенията между радиоактивните елементи и техните дъщерни продукти позволяват да се изясни протичането на някои процеси в почвата, напредването на процесите на изветряване и почвообразуване.

Промяната във физичните и химични свойства на градските почви обуславя и изменения в тяхната биологична характеристика. Урбанизираните почви могат да бъдат подложени на влиянието на различни естествени или свързани с човешката дейност фактори на въздействие. Тяхната стабилност зависи до голяма степен от почвената биота, в която важно място заемат микроорганизмите. Известна е ролята на почвената микрофлора за трансформацията на органичните вещества в почвата, кръговрата на биогенните елементи и създаването на почвената структура. Взаимодействието между почвените микроорганизми и

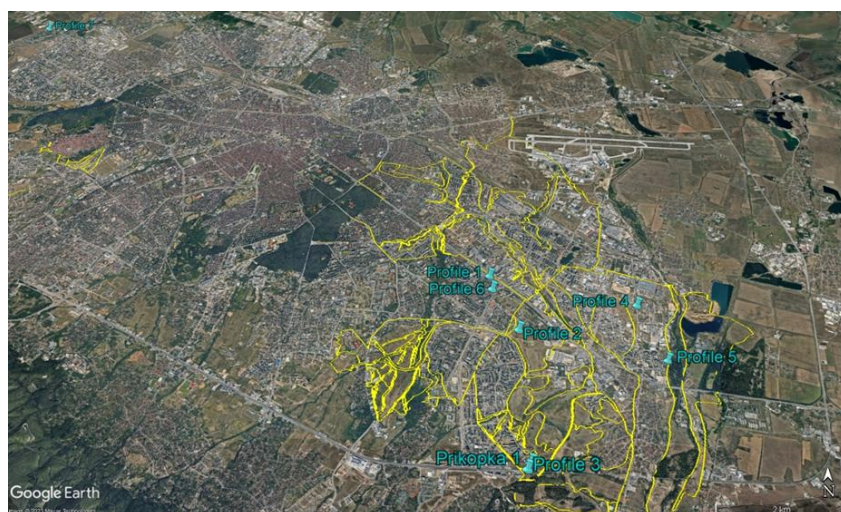
растенията е в основата на сухоземните екосистеми. Почвените микроорганизми притежават голяма екологична пластичност, изразяваща се в способността им да се адаптират към промените в почвената среда. Чрез своята биохимична дейност, те могат да допринесат за очистване на почвата от токсични вещества, но е възможно и потискане на тяхното развитие в зависимост от формата и концентрацията на замърсителя. Поради това, параметрите, които характеризират числеността и активността на почвената микрофлора могат да бъдат използвани като ранни индикатори за нарушаване на екологичното равновесие в почвата. В чуждестранната научна литература се срещат много публикации върху биологичните свойства на почви от урбанизирани територии. Zhao et al. (2013) установяват намаляване на общото количество на микробиалната биомаса, придружено с увеличаване на функционалното разнообразие на почвените микроорганизми на урбанизирани почви в района на град Пекин, Китай. Dec (2014) докладва за намаление на дехидрогеназната и фосфатазна активност на градски почви, разположени в близост до автомобилен път. По данни на Cousins et al. (2003) видовото разнообразие и числеността на спорите на микоризните гъби в урбанизирани почви са по-ниски в сравнение със селскостопански почви от същия тип. Според изследванията на Zhao et al. (2013) различните начини на земеползване на градските почви имат непряк ефект върху количеството на почвената микробиална биомаса. Gorbov et al. (2014) установяват ясно изразена зависимост между хумусното съдържание и ензимната активност на антропогенно променени почви - висока ензимна активност е типична за хоризонти с максимално количество органична материя. Данните на Gorbov et al. (2014) показват, че каталазната, инвертазната и полифенолоксидазна активности в карбонатен чернозем в градски условия са значително по-ниски от тези активности в природните им аналози. Срещат се и публикации (Machulla, 2000; Xu et al., 2014), в които не се установяват негативни изменения в микробиологичната активност на почвената микрофлора на почви от градски зони. Очевидно специфичните особености на местоположението и начина на земеползване са от решаващо значение за биологичните свойства на урбанизираните почви. У нас почвите от градските зони са недостатъчно проучени в микробиологичен аспект в нашата страна.

Съществуват проучвания и проекти, които показват, че е възможно градското развитие да бъде по-природосъобразно. За да бъде постигнато това, трябва да се разработят стратегии за предотвратяване на "проблемите на източника" /изчерпване, замърсяване, нарушаване/ и "проблемите на замърсяваното място" /замърсяване, нарушаване/, които градовете причиняват. Науката играе основна роля в намирането на начини за увеличаване капацитета на градските екосистеми, както и за тяхното изграждане, подобряване и запазване за поколенията. Недостатъчната научна информация за градските почви и значението им за жизнената среда на градското население налагат необходимостта от установяване на техните

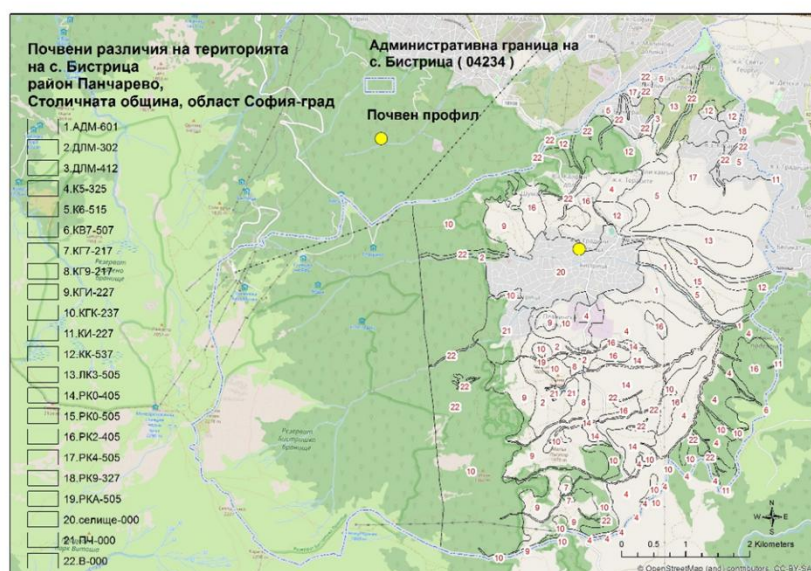
геоморфологични, педогенни и екохимични характеристики като ключови фактори в съвременната им еволюция.

#### IV. Обекти на изследване

Изборът на обекти на изследване, чрез които да се проследят въздействията върху почвите в градска среда, е съобразен с градиента на урбанизация и типологията на градските екосистеми в България. Избрани за изследване са почви, локализирани в зелените площи на жилищни комплекси, почви от крайградските зони и в близост до пътната мрежа (фиг. 5). За да се изследва фактора гъстота на населението е избран профил в зона с по-ниска жилищна плътност (фиг. 6).



Фигура 5. Изглед на гр. София и местоположение на изследваните педони



Фигура 6. Почвена карта на с. Бистрица и местоположение на почвения профил

#### IV. 1. Местоположение на изследваните почви от градската зона на гр. София

Профил 1 е разположен в центъра на междублокова площ на микрорайон Младост 1,

срещу МОЛ Цариградско шосе с географски координати: N 42° 39.449'; E 023° 72.811'.

Профил 2 е локализиран в микрорайон Младост 1А, на 100 m от метростанция Младост 3 с географски координати: N 42° 38.762'; E 023° 23.144'.

Профил 4 е разположен в нестопанисван участък в жилищен комплекс Дружба 2, на 20 m източно от ТЕЦ „София Изток“ и на 500 m от западния бряг р. Искър. Има географски координати: N 42° 39.074'; E 023° 24.794'.

Профил 5 е позициониран в крайблокова площ на ж.к. Дружба 2, на 150 m от западния бряг р. Искър при географски координати: N 42° 38.418'; E 023° 25.022'.

Профил 6 характеризира крайблокова площ на микрорайон „Младост 1“, разположена на 5 m от бул. „Александър Малинов“. Има географски координати: N 42° 38.418'; E 023° 25.022'.

Профил 7 и прикопка 2 са разположени в микропонижение на банкетен участък на ул. „Шосе Банкя“. Профилът има географски координати: N 42° 71.918'; E 023° 72.808'. Прокопката е разположена на 10 m в югозападна посока от профила.

#### IV. 2. Местоположение на изследваните почви от крайградската зона на гр. София

Профил 3 е разположен на 200 m южно от околоръстния път, в целинен участък със слабо изразен наклон на север при географски координати: N 42° 37.313'; E 023° 23.107'. Прикопка 1 е на 4 m южно от околоръстния път, в периферията на слабо изразен склон при географски координати: N 42° 37.221'; E 023° 23.764'.

#### IV. 3. Местоположение на изследваните почви от жилищна зона с ниска плътност (с. Бистрица)

Профил 8 се намира в частен двор, в североизточните покрайнини на с. Бистрица, на западен склон с лек наклон на юг (фигури 23 и 24). Има географски координати: N 42° 58.847'; E 023° 35.731'.

#### IV. 4. Климат в изследваните градски зони на гр. София и с. Бистрица

В климатично отношение територията на гр. София и с. Бистрица попадат в Умерено-континенталната климатична подобласт, климатичния район на високите полета на Западна Средна България. Той заема отделни котловинни полета, разположени в западната част на Средна България, ограничени от множество ниски и средно високи планини. В топлинно отношение зимата в района е също така студена, както и в Дунавската равнина, обаче лятото е значително по-хладно. Характерни за климатичните условия са късните пролетни и ранните есенни мразове, които са следствие от котловинния характер на терена. Годишният ход на валежите в този район има подчертано континентален характер. Максимумът е през юни, а минимумът - през февруари. При това разликата между летните и зимните валежни суми е средно около 15 % и се доближава по стойност до тази в Дунавската равнина.



## **V. Методи на изследване**

### **V. 1. Теренни проучвания и вземане на проби**

Теренното проучване обхваща всички фактори на почвообразуване. Почвите са изследвани чрез оформяне на почвени профили и прикопки. Пробовземането е извършено по почвени хоризонти и е определена цветовата характеристика на почвите. Пунктовете, в които са опробвани почвите са локализиращи с GPS и геореферирани със софтуерен пакет. Класификацията на почвите е извършена съгласно принципите на българската класификация на Койнов и кол. и Световната референтна база за почвени ресурси WRB от 2015 г.

### **V.2. Методи за определяне на изследваните почвени показатели**

Използвани са предимно класически методи за определяне на следните почвени показатели: Физични (Механичен състав на почвите - по метода на Качинский и математическа корелация за преизчисляване на почвена текстура съгласно класификацията на ФАО); Физико-химични показатели (рН на почвата, сорбционен капацитет, състав на основните катиони и степен на наситеност с бази), химични показатели (засоляване, съдържание на карбонати, общ органичен въглерод и хумус, състав на почвеното органично вещество, оптични плътности на хуминовите киселини, съдържание на общ азот, мобилните форми на минерален азот, мобилни форми на фосфор и калий, съдържание на тежки метали - Mn, Zn, Cu, Fe, Cr, Pb, Ni и Co, обогатеност на хумуса с азот, степен за запасеност на почвите с хумус), биологични показатели (численост на основни групи почвени микроорганизми по дълбочина на почвения профил, обща биологична активност, количество на общата микробиална биомаса, метаболитният коефициент на микроорганизмите ( $qCO_2$ ), уреазна, инвертазна, фосфатазна и пероксидазна активности), радиоизотопни изследвания (специфична концентрация /активност за единица почвена маса на радионуклидите, цезий-137, уран-238, торий-232, радий-226 и калий-40, Pb-210, еквивалентна активност на радия, индекс на външна опасност).

### **V. 3. Статистически методи за анализ на получените резултати**

Статистическата обработка на данните включва определяне на стандартното отклонение между повторенията на всяка проба и обща дескриптивна статистика чрез софтуерния пакет Excel 2013. Данните за продукцията на  $CO_2$  и количеството на общата микробиална биомаса и ензимната активност са обработени статистически по метода на дисперсионния анализ (STATGRAPHICS. Plus 2.1).

## **VI. Резултати и обсъждане**

IV. 1. Генетични и класификационни характеристики на изследваните урбанизирани почви. Растително разнообразие.

Профил 1. Въз основа на проведените изследвания, почвата е класифицирана като: урбаногенно припокрита средно излужена смолница, тежко песъкливо-глинеца - българска класификация и Urbic Technosol (Eutric, Humic, Loamic, Transportic) over Pellic Vertisol (Chernic, Endocalcaric) - WRB класификация. Релефът на околната местност е равнинен. Съдържанието на камъни и чакъли в повърхностния слой определя почвите като слабо каменисти (до 5 % от обема на хоризонта), докато съдържанието на артефакти е почти тройно. В границите на профила не се установяват подпочвени води, а според данните те залягат на дълбочина по-голяма от 18 m, поради което не оказват влияние върху почвообразователните процеси. Оригиначните почви - смолници са изградени от органични глини, които залягат върху пласт от сиво-кафяви плиоценски глини, съдържащи варовити ядки. Тези почвообразуващи плиоценски глини се установяват на дълбочина под 180 cm в изследваните почви. Припокриващите слоеве имат характеристиките на културен слой и представляват земни карбонатни маси, примесени с битови отпадъци, камъни и чакъли. Формирането на културен слой в софийските почви може да се смята за естествено явление, което е характерно за хабитатите на човека от древността, но тук микрорелефът подсказва изкуственото наслаждане на този слой и това е отразено в класификацията на тези почви. Растителността е предимно ливадна с основен вид полска ливадна метлица (*Poa pratensis*) - тя формира гъста покривка и заема до 77 % от изследваната територия, следват ежова главица (*Dactylis glomerata*) с 20 %, живовляк (*Plantago major*) - 2 % и детелина (*Trifolium sp.*) - 1 %. Срещат се също единични храсти - шипки (*Rosa canina L.*) и дървета: липа (*Tilia cordata Mill*) и слива (*Prunus domestica*). Тази зелена зона се поддържа чрез окосяване и стандартните биоцидни обработки.

Профил 2. Той характеризира друг новоформиран почвен тип - антропогенна (урбаногенна) почва, средно мощна, средно песъкливо-глинеца, средно камениста или Urbic Technosol (Amphiskeletic, Calcaric, Mollic, Transportic). Разположен в терасовиден терен, образуван в резултат от насипването на земни маси при 601 m надморска височина. Почвите са изградени чрез покриване на оригиналните почви със земни маси, които наподобяват почвообразуващите материали на разположените в съседство Средно излужени смолници, канеленовидни, средно мощни - карбонатни квартернерни кафяви алувиални глини и плиоценски пясъци. Степента на каменистост на новоформираните почви е средна в повърхностния хоризонт и рязко се увеличава в дълбочина. Освен силната им фрагментираност от камъни и артефакти, в тези почви няма други условия, които биха могли да ограничат тяхната продуктивност. Подпочвените води са извън границите на профила. Растителността е предимно ливадна, редувана с пояси от дървесна растителност - топола (*Populus alba*). Основният растителен вид е ежова главица (*Dactylis glomerata*) - тя заема до

80 % от ареала, следват звездан (*Lotus corniculatus* L.) - 10 %, жълтица (*Leontodon rilaensis*) - 5 % и разнотравие от единични индивиди цикория (*Cichorium*), магарешки бодил (*Onopordum acanthium*) и други.

Профил 3. Разположен в средно излужена канелена горска почва, средно пясъкливо-глинеста, слабо ерозирана - Chromic Endocalcic Luvisol (Differentic, Profondic Humic, Clayic) на 625 m надморска височина и пресечен и допълнително фрагментиран от антропогенна дейност (изземване на почва) релефът на околната местност. В резултат на изкопна дейност в близост до профила са иззети земни маси и е формирано микропонижение с височина 2 m и площ 600 m<sup>2</sup>, поради което почвеното различие в този участък е почти унищожено и ограничено до ивица с ширина 8-16 m и дължина 90 m. Почвообразуващите материали са кватернерни делувиялно- пролувиални материали, представени от едроблокови несортирани и неиздръжани в хоризонтална и вертикална посока чакъли, валуни иглинесто-пясъчливи отложения. Кватернерните отложения залягат върху плиоценски седименти, представени от жълто-ръждиви глини със слоеста структура, обикновено карбонатни, глини с пясъчлив матрикс и чакъл. Растителността е ливадна с основен вид гъжва (*Sesleria caerulea*), която заема до 75 % от ареала, лечебен камшик (*Agrimonia eupatoria*) - 20 % и други видове от разнотравие като: крем (*Liliaceae*) - 2 %, горска ягода (*Fragaria vesca*) - 2 %, маргарита (*Chrysanthemum leucanthemum*) - 1 %. Подпочвените води са извън границите на профила.

Прикопка 1. Тя е разположена в същото почвено различие като профил 3 (средно излужена канелена горска почва, средно пясъкливо-глинеста, слабо ерозирана), но в непосредствена близост до шосето на 623 m надморска височина и пресечен и допълнително фрагментиран релеф на околната местност в резултат на строежа на пътя. Прикопката е взета от повърхностния слой, Ачим, с дебелина 30 cm.

Профил 4. Разположен в алувиално-ливадна почва, средно мощна, слабо камениста или Hupereutric Fluvisol (Loamic, Somerimollic) на 556 m надморска височина и равнинен релеф на околната местност, допълнително фрагментиран в резултат на антропогенна дейност - строителство на пътни и топлопреносни съоръжения. Почвообразуващите материали са алувиалните отложения на река Искър - предимно едри чакъли, довалунен размер с пясъчлив матрикс (Yaneva et al., 1992, 1995; Божинова-Хаапанен, 2014). Алувиалните отложения залягат върху плиоценска подложка, изградена от пясъци и по-често от сиво и зелено оцветени глини. Подпочвените води са извън границите на профила. Степента на каменистост е слаба до силна. Растителността е ливадна с основен вид обикновена ветрушка (*Apera spica-venti*) - заема до 55 % от ареала. Срещат се още фрагментирани популации от: четирисеменна глушина (*Vicia tetrasperma*) - до 35 %; обикновен пелин (*Artemisia absinthium*) - 5 %; полска ливадна метлица (*Poa pratensis*) - 3.5 %; обикновено плюскавиче (*Silene vulgaris*) - 1 % и единични

индивиди теснолистно секирче (*Lathyrus nissolia* L.).

Профил 5. Характеризира почва, класифицирана като алувиално-ливадна почва, мощна или Hypereutric Fluvisol (Epiclayic, Endoloamic, Pachic) според WRB намираща се на 561 m надморска височина и равнинен релефът на околната местност. Тук освен стратиграфирането на профила, причинено от речните наноси се наблюдава и влиянието на почвообразователни процеси с биогенен характер. Добре развитата растителност, която включва повече растителни видове от съседните територии (и следователно поражда съмнения за допълнително изкуствено затревяване) предизвиква по-силна диференциация на профила и формирането на по-мощен хумусен хоризонт. Растителността е ливадна, сред която в еднакви пропорции преобладават полска детелина (*Trifolium campestre*) и хмелна люцерна (*Medicago lupulina*) - до 35 % от тревостоя (общо до 70 %). В тревната асоциация участват още: червена детелина (*Trifolium pratense*) - 10 %; глушина (*Vicia lutea*) - 8 %; бял равнец (*Achillea millefolium* agg.) - 6 %; ежова главица (*Dactylis glomerata*) - 3-4 %; полска ливадна метлица (*Poa pratensis*) - 2-3 %. Почвообразуващите материали са алувиални квартернерни пясъкливи глини, разположени над пясъци и чакъли с плиоценска възраст. Подпочвената вода е извън границите на профила.

Профил 6. Силно излужена смолница, свръхмощна, тежко-пясъкливо глинеста. WRB класификация: Pellic Vertisol (Hypereutric, Mollic, Profundihumic). Разположена в равнинен терен със слаб наклон на североизток на 561 m надморска височина. Тези почви имат същата стратиграфия, както урбаногенно припокрита смолница, с изключение на липсващия културен слой. Една от основните морфологични характеристики на тези почви е смолисто-черния им цвят - той е реликтов белег от хидроморфния стадий на тяхното образуване и липсата на аргило-педотурбация (джобовидно изклиняване на почвообразуващите материали). Те, заедно със структурата, невисокото съдържание на хумус и разпределението на механичните елементи оформят основните диагностични характеристики на изследваните смолници. Получените данни позволяват да се смята, че тези смолници очертават границата на разпространение на средно излужените акумулирани, леко глинести смолници, разположени в съседство. Очевидно е, че в тази непроучена до момента почвена зона са формирани различни по механичен състав разновидности на излужените смолници, които изискват по-детайлно проучване. Както и в профил 1, нивото на подпочвените води е извън границите на профила и не оказва влияние върху генезиса на тези почви - то е средно дълбоко (10-30 m). Материнските плиоценски глини са разположени под 190 cm. Растителността е смесена и се състои от дървесните видове: липа (*Tilia cordata* Mill), бреза (*Betula*), смърч (*Picea*) и планински ясен (*Fraxinus excelsior*), тревиста растителност, съставена от къпина (*Rubus fruticosus*), детелина (*Trifolium*), подбел (*Tussilago farfara*), полска ливадна метлица (*Poa*

*pratensis*) и мъхова покривка. В тази зелена зона се срещат интродуцирани видове леска (*Corylus*) и декоративни градински растения: роза (*Rosa*), лалета (*Tulipa*), кокичета (*Galanthus*), минзухари (*Crocus*), момина сълза (*Convallaria majalis*), миризлива горска теменуга (*Viola odorata*). Зелената зона се поддържа чрез стандартните обработки.

Профил 7. Излужена смолница (вторично окарбонатена), мощна, леко глинеста. WRB класификация: Pellic Vertisol (Amphihumic, Hypereutric), разположена на 583 m надморска височина и равнинен релеф на околната местност.

В тези почви се наблюдава значително отлагане на едри и фини прахови частици на повърхността и слабо обогатяване на повърхностния хоризонт с алкализиращи агенти (ефервесцентни дребни камъчета). Степента на каменистост е слаба, а подпочвените води са извън границите на профила. Почвообразуващите материали са плиоценски глини. Растителността е смесена: храстовидна с представител люляк (*Syringa*) и шипка (*Rosa canina*); дървесна широколистна: бреза (*Betula Pendula*), конски кестен (*Aesculus hippocastanum*) и подстилаща тревиста растителност: едногодишна метлица (*Poa annua*), полска ливадна метлица (*Poa pratensis*) и ежова главица (*Dactylis glomerata*).

Прикопка 2. Излужена смолница (вторично окарбонатена), мощна, леко глинеста. WRB класификация: Pellic Vertisol (Amphihumic, Hypereutric). В този участък напращаването на повърхностния хоризонт е по-слабо изразено, а цветът в дълбочина е по-интензивно черен.

Профил 8. Канелена горска почва, слабо ерозирана, средно пясъкливо- глинеста. WRB класификация: Chromic Luvisol (Endoclayic, Epihumic, Epiloamic) на 929 m надморска височина и нископланински релеф на околната местност. Тези почви са формирани върху безкарбонатни пясъкливо-глинести материали под въздействието на културна растителност: райграс (*Lolium*), цветя, круши (*Pyrus*). Подпочвени води не се установяват.

В резултат на проведеното изследване, в изследваните ареали се установяват следните морфо-генетични единици:

- Почви, повлияни в различна степен от урбанизационни въздействия - урбаногенно припокрита средно излужена смолница (профил 1); новообразувана урбаногенна (антропогенна) почва (профил 2), средно излужена канелена горска почва (профил 3 и прикопка 1) и излужена смолница, мощна, леко глинеста (профил 7 и прикопка 2);

- Почви с ненарушен профил - алувиално-ливадна почва, средно мощна (профил 4); алувиално-ливадна почва, мощна (профил 5), силно излужена смолница, свръхмощна (профил 6) и канелена горска почва, слабо ерозирана (профил 8).

Съгласно изготвените паспорти смолниците от изследваните зони притежават основните характеристики на подтип излужени смолници, но се отличават със слабоизразени вертикални характеристики.

Строителството на инфраструктурни обекти в изследваните рекреационни и периферни, крайградски зони на гр. София предизвиква фрагментиране на почвената покривка и намалява почвеното разнообразие. В повечето случаи негативните въздействия са свързани с изкуствено насипване на повърхностни слоеве от земни маси с висока скелетност и ниско плодородие. По-рядко се срещат случаите на загуба на почвено разнообразие в резултат на отнемането на продуктивни почвени хоризонти. В конкретния случай тази дейност не води до пълно унищожаване на средно излужената канелена горска почва, но ограничава ареала на тяхното разпространение.

Въпреки краткия си генезис, новообразуваните почви имат добре оструктурени и средно до много високо-хумусни А-хоризонти със средна мощност. Тъй като тези хоризонти са средно пясъчливо-глинести и фрагментирани от камъни и артефакти (с минерален произход) те са средно уплътнени. Както повърхностните, така и по-дълбоките хоризонти на профили 1, 2 и 7 и 8, се отличават със слабо алкална реакция на средата и висока буферност срещу киселяване.

Изследваните зелени зони на гр. София са местообитания на богато разнообразие от растения с местен и екзогенен произход. Тази растителност, въпреки биоцидните обработки, предоставя условия за живот на приземната фауна - градински охлюви (*Helix pomatia*), бели охлювчета, прешленести червеи (*Annelida*), мравки (*Formicidae*), паяци (*Araneae*) и други.

## VI. 2. Химични и физико-химични характеристики

### VI.2.1. Сорбционен капацитет

Глобализационните процеси в началото на 21 век са причина за увеличаване на екологичната уязвимост в градските зони. Сред най-предпочитаните индикатори за първоначална оценка на екологичния статус на почвите, са физико-химичните показатели - рН и катионообменният капацитет.

Почвите, създадени в резултат на урбанизацията (профили 1 и 2) се отличават с много слабоалкална реакция на средата и предимно средно съдържание на карбонати (в интервала 3-5 %). Те имат средна колоидна активност (Т8,2 от 30 до 45 cmol/kg, табл. 24) според класификацията на Ганев, и сорбционни взаимодействия, свързани с функционирането на слабо киселинните позиции на минералните колоиди като киселинно-водороден комплекс. Поради присъствието на карбонати тази киселинно-водородна форма на слабо киселинните позиции т.е. обменното задържане на водородни катиони върху слабо киселинните позиции на минералните колоиди вместо на базичните катиони, може да се разглежда като физико-химична характеристика на глинестите минерали, свързана с хидроморфния стадий от развитието на почвите. Може да се смята, че тук присъстват хидратираните глинеисти минерали като вермикулит, за който е характерно както повишено съдържание на магнезий (в

екстрактите на повърхностния хоризонт с „царска вода” съдържанието на магнезий е по-високо от съдържанието на калций над 2 пъти), така и възможността за заместване на базичните калциеви и магнезиеви йони с водородни, поради автйонизацията на водата. Невисокият сорбционен капацитет също подсказва липсата на смектити в чист вид, а трансформирането на биотита, съдържащ се в смолниците във вермикулит обяснява неговото присъствие. Въпреки повишеното му съдържание, магнезият не е основен обменен катион и не обуславя магнезиево засоляване.

Адсорбцията на водородни йони върху слабокиселинните позиции на глинестите минерали е по-добре изразена в погребания хоризонт на смолницата (профил 1), където съдържанието на магнезий (675 mg/kg в A1b хоризонт) в екстрактите на почвата с „царска вода” е по-ниско от съдържанието на калций (1445 mg/kg). Това показва, че освен минералогията, водните потоци, биогенните процеси, и развитието на екосистемите като цяло също определят физико-химичните взаимодействия в смолниците. В резултат на наличието на хидролитична киселинност (обм.  $H_{8,2}$ ) степента на наситеност с бази е под 93 %, която стойност се смята за критичен минимум за отсъствие на вредна киселинност в почвите. Вредната киселинност не е свързана с наличието на токсичен алуминий (обм. Al) и възможността за десорбцията му в почвения разтвор - тя се ограничава само с дестабилизиращата роля и химичната активност на обменния водород.

В урбаногенната (антропогенна) почва (профил 2) хидролитичната киселинност рязко намалява под 21 cm дълбочина (над 2 пъти) и това повлиява положително физико-химичното им състояние, въпреки че тези слоеве имат по-слабо биологично и екологично значение. Това е и единственият профил, в който не може да се очаква наличие на вермикулит (както отбелязахме, индикатор е по-високото съдържание на магнезий от калций) - тук хидролитичната киселинност в повърхностния хоризонт се дължи на биогенните процеси и преобладаващите житни растителни видове.

В средно излужената канелена горска почва (профил 3) карбонатите от повърхностните слоеве се включват в неутрализацията на киселинните продукти, генерирани от биодеградиционните процес. Това постепенно води до тяхното изчерпване и вкисляване на средата до pH 5,9. Тук освен хидролитична киселинност се установява и токсична обменна киселинност (обм.  $Al > 0,2 \text{ mol/kg}$ ). Макар и невисока, обменната киселинност влошава почвената среда и потиска развитието на растенията. Обикновено обменната киселинност възниква в резултат на киселинна деструкция на глинестите минерали, което проличава и в съотношенията  $T_{8,2} \text{ в Ачим} / T_{8,2} \text{ в Ск} < 1$  и  $T_{8,2} \text{ в Вt3k} / T_{8,2} \text{ в Ск} > 1$ . Деградицията в Ачим е умерена, което показва, че тук протича слаб процес на разграждане на колоидните структури.

Средно излужената канелена почва също има средно висок сорбционен капацитет, но

по-слаб буферен потенциал, който както беше отбелязано, намалява в резултат на нарастващата киселинност в повърхностните хоризонти. Силната правопрпорционална зависимост между хидролитичната киселинност и степента на наситеност с бази демонстрира тази тенденция.

Алувиалните почви от долината на р. Искър (профили 4 и 5) са формирани от седименти с различно съдържание на скелет. По-силно каменистите почви (профил 4) са умерено колоидни ( $T_{8,2}$  от 20 до 30  $\text{cmol/kg}$ ) с висок неутрализационен потенциал (над 80  $\text{cmol/kg}$ ). Киселинните системи и тук са свързани с хидролитичната киселинност и киселинно-водородна форма на слабо киселинните позиции на минералните колоиди. Почвите не съдържат карбонати и имат слабо кисела реакция на средата (6.1-6.9). По дълбочина на профила изследваните показатели имат типичното разпределение, наблюдавано в генетично старите почви и не следват литоложките различия между отделните хоризонти.

Алувиално-ливадните почви (профил 5) са средно колоидни ( $T_{8,2}$  от 30 до 45  $\text{cmol/kg}$ ) и предимно средно кисели ( $\text{pH}$  5.1-6.0). Те съдържат най-високата хидролитична киселинност сред изследваните почви, и респ. най-ниската степен на наситеност с бази по цялата дълбочина, която определя средна степен на вредно вкисляване според индикаторите, определени с Наредба № 4 (2009) и Заповед № РД- 619/15.09.2009 г.

Силно излужената смолница (профил 6) демонстрира най-ясно характерните особености на смолниците, разположени в периферната част на непроучена до момента почвена зона. Те са неутрални, силно колоидни почви с висок неутрализационен потенциал, който намалява в Ачим и А" в резултат на изброените хипергенни процеси. Тези почви се отличават и с малко количество слабо киселинни заряди (ТА) в хумусния хоризонт, което може да се разглежда като резултат от бавната, *in situ* трансформация на биотита във вермикулит, която предполага липса на дефекти в кристалните структури (поради липсата на транспортиране) и все още слабото формиране на странични повърхности. Тези процеси се наблюдават по-ясно в последния субхоризонт, където съдържанието на слабо киселинните позиции е най- малко, а съдържанието на обменен магнезий - най-високо.

Високата колоидност на почвите от първите две морфологични групи обуславя силната правопрпорционална зависимост между обменната киселинност и степента на наситеност с бази ( $R^2 = 0.98$  при смолниците и  $R^2 = 0.97$  при канелените горски почви), която намалява при почвите със слоист строеж ( $R^2 = 0.64$ ) с намаляване на колоидността им, респективно на буферния им капацитет.

Според количествената класификационна система излужената смолница (профил 7 и прикопка 2) се отличава със слабо алкална реакция на средата и ниско съдържание на карбонати. Много малкото киселинни заряди (ТА) обяснява и липсата на обменна киселинност



(обм. А1) и много слабата хидролитична киселинност (обм. Н<sub>8,2</sub>). Тази почва е средно колоидна (Т<sub>8,2</sub> от 40 до 45 cmol/kg) и е с най-висок неутрализиращ потенциал от всички изследвани почви. Тук се забелязва по-голяма базична наситеност на силно киселинния йонообменител на почвения адсорбент (Бази>Т<sub>СА</sub>), което показва съвременно протичане на глинообразуване в излужените почви.

Физико-химично състояние на канелената горска почва (профил 8) е следното: почвата е със слабокисела до неутрална реакция на средата като липсват карбонати по целия профил. Има умерена колоидност, намаляваща вертикално и средно висок сорбционен капацитет. Слабо киселинните заряди имат малък дял и почти изцяло са заети от водородни катиони. При тази почва не се установява вредна киселинност.

#### VI.2.2. Съдържание и състав на почвено органично вещество (ПОВ)

Ограничените познания за градските почви предизвикват интерес към изучаване на хумусния им статус като показател за способността им да поддържат сухоземните екосистеми в градска среда.

По критерия степен на обогатеност на хумуса с азот повечето профили са със средна до висока обогатеност - съотношение C:N между 9 и 15 (Гюров и Артинова, 2015). Изключение прави профил 2, чиито горни два хоризонта са с много ниска и ниска обогатеност.

Плиткият Ачим хоризонт на профил 1, който е с много високо съдържание на хумус - 5.52 % (табл. 14), се е формирал за сравнително кратък период от време - около 45 години. Хумусът е тип Мул, а хуминовите киселини С<sub>х</sub>/С<sub>ф</sub> > 2,0 (табл. 25) преобладават по цялата дълбочина на профила. Те са с висока степен на кондензация (Е<sub>4</sub>/Е<sub>6</sub> = 3.87), което ги определя като хидрофобни и слабо подвижни полимери и са силно свързани с минералната матрица, поради високото съдържание на калциеви хумати. В почвата присъстват и нискомолекулните фракции на фулвокиселините (агресивните), които постепенно намаляват по дълбочина (от 0.8 до 0.4 g/kg в дълбочина на профила).

По-дълбок, но по-слабо хумусен епипедон (2.59 % хумус в Ачимfk, табл. 15) се формира в средно хумусните Антропогенни почви (профил 2). Основни негови характеристики са: добре хумифицирано органично вещество (СХК: СОБЩ x 100, в % = 17.33 %); зрял ризомул хумус, висока степен на кондензация (Е<sub>4</sub>/Е<sub>6</sub> = 3.50) на силно доминиращите хуминови киселини (С<sub>х</sub>/С<sub>ф</sub> = 3.25). Съдържанието на органичен въглерод рязко намалява в по-долните хоризонти, където се установяват само фулвокиселини (до 33 % от общия въглерод).

В хумусно-акумулативния хоризонт (Ачим) на канелената горска почва (профил 3) превесът на хуминовите киселини е най-слабо изразен (С<sub>х</sub>/С<sub>ф</sub> = 1,17), а степента на кондензация на ароматните им ядра - най-ниска (Е<sub>4</sub>/Е<sub>6</sub> = 4,08). Това не променя съществено тяхната хидрофобност и слаба подвижност, и според получените резултати фулвокиселините

преимуществено изграждат мобилната фракция - тя достига до 58 % от общото количество екстрахируеми хумусни киселини. Безспорен принос за повишаване на подвижността на органичното вещество има слабо киселата реакция на средата (рН вода 5,9). Връзката между рН и подвижната фракция на хумусните киселини се доказва от статистически значимата корелация между тях ( $R^2 = 0,73$ ), която се определя основно от корелацията между съдържанието на фулвокиселините и рН ( $R^2 = 0,85$ ).

Състоянието на ПОВ в следващите три профила (4, 5 и 6) се различава от горните три. Те се характеризират с близки съдържания на хуминови и фулво- киселини или липса на ФК (профил 4). ХК са стабилни, силно кондензирани полимери със средна до висока обогатеност с азот (а стойностите на отношението C:N варират в интервала 10.54 до 14.52).

В профил 7 хумусът е тип Мул, който е диагностициран и по силното преобладаване на хуминовите киселини ( $C_h/C_f > 2.0$ ) (табл. 25). Степента на кондензация на хуминовите киселини също е висока ( $E_4/E_6 = 3.65$ ). Те са силно свързани с минералната част на почвата, поради високото съдържание на калциеви хумати. Нискомолекулната фракция на фулвокиселините е 0.4 g/kg по цялата дълбочина на профила.

Канелената горска почва (профил 8) се характеризира като средно запасена с хумус (2.74 %) в повърхностния хоризонт (Ap1), който морфологично е сходен с хумусно-преходните хоризонти в естествените аналози. Отношението  $C_h/C_f$  е най-ниско в този епипедон - 0,98, а степента на кондензация ( $E_4/E_6 = 5,02$ ) е с най-висока стойност от всички изследвани почви.

Интересна статистическа информация може да бъде забелязана по отношение на органичния въглерод: средното му съдържание в повърхностните хоризонти на изследваните профили - 18.2 g/kg е близко до средното съдържание (19.1 g/kg) в повърхностните хоризонти на пасищата в България, но по-високо от съдържанието му в повърхностните хоризонти на пасищата в Софийската котловина.

### VI.2.3. Подвижни форми на азот, фосфор и калий

Способността на почвата да осигури нуждите от основните хранителни макроелементи за развитието на растенията се установява от данните за съдържанието на усвоими форми на азот, фосфор и калий. Въпреки доброто си хумусно състояние изследваните почви са разнопосочно запасени с усвоими форми на основите хранителни макроелементи - азот, фосфор и калий. Прави впечатление високото съдържание ( $> 23.0$  mg/kg) на усвоим азот ( $\Sigma NH_4+NO_3$ ) в урбаногенно припокрита средно излужена смолница и техногенната почва, което слабо намалява по дълбочина. Това показва, че процесите на отлагане и минерализация на органичната материя са по-интензивни от процесите на усвояване на хранителни вещества, което води до тяхната акумулация. Безспорен принос в тези процеси има и гъстото растително

покриване на тези почви, което играе ролята на щит, предпазващ почвената повърхност от изпарение на влага, загуба на азот и резки изменения на температурата.

Повишеното съдържание на  $\text{NH}_4$  и  $\text{NO}_3$  в профили 1, 2 и 3 може да бъде свързано с внасянето на уреа в почвите, предизвикана от човешка дейност, което може да рефлектира в по-висока степен на амонификация и да ускори кръговрата на азота. В почвите, при които обогатеността на хумуса с азот е близка до 10 (профили 4, 5 и 6), основният допълнителен източник на азот са емисиите от парникови газове (или техните прекурсори -  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  и неметанови летливи органични съединения), което също може да засегне цикъла на трансформация на азота. По-високите почвени температури в профили 4, 5 и 6 (до 3-4 °C) подкрепят предположението за диференциация на минералния азот по време на антропогенните въздействия, въпреки значителната корелация между общия азот и органичния въглерод (фиг. 37).

Това също е сред основните причини за алкалните стойности на рН в профили 1, 2 и 3, въпреки вкисляващия ефект на фотохимичния смог и диазотния оксид ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Новообразуваният Ачим хоризонт на профил 1 е с много висока степен на запасеност с Р (28.5 mg/100g) и К (62.3 mg/100g) (табл. 26), което вероятно се дължи на високата концентрация на общ фосфор и общ калий. В следващите по дълбочина хоризонти Ппл.Фк и А1b съдържанието на достъпните форми на горните елементи рязко спада, което е във връзка и с намаленото хумусно съдържание. С подобни свойства се характеризира и Силно излужената смолница (профил 6). Тя отчетливо препокрива характерните особености на смолниците от периферната зона. Съдържанието на усвоим Р в Ачим е 20.7 mg/100 g, което определя този почвен хоризонт като средно запасен. По-дълбоките хоризонти са много слабо запасени с фосфор. Запасеността с К не се променя по дълбочина на профила и е висока.

При излужената смолница, разположена в близост до ул. „Шосе Банско“ (Профил 7 и прикопка 2) съдържанието на хранителните елементи Р и К е като при естествените, не антропогенно повлияни излужени смолници (Filcheva et al., 2013). Естествените почви са с мощен хумусен хоризонт, недостатъчно запасени с азот и фосфор, но имат благоприятен калиев режим, което се наблюдава и в изследваните почви (Пенков, 1983). В изследвания профил подвижният Р се увеличава в дълбочина, което вероятно се дължи на високото съдържание на фосфор в материнските скали, върху които е протекъл почвообразователният процес. От много слабо запасена с Р в повърхностния хоризонт, почвата става с много висока запасеност в хоризонт С. При усвоимия К се наблюдава сходна тенденция за увеличаване на стойностите му по дълбочина на профила. В заключение може да се каже, че тази почва е с добър хранителен режим.

Представителни за канелените горски почви са профили 3 и 8. Естествените канелени

горски почви се характеризират с добра запасеност с азот и калий, и средна запасеност с фосфор.

Данните за средно излужената канелена горска почва (профил 3) показват много слаба запасеност с фосфор в плиткия хумусно-акумулативен хоризонт (Ачим) и почти липса на усвоим Р в хоризонти Vt и Vt<sub>2</sub>, което прави тази почва с неблагоприятен фосфорен режим. Усвоимият калий във всички хоризонти на профила е със стойности за средна запасеност.

Много ниско запасена с фосфор и ниско с калий е почвата от с. Бистрица (профил 8) по цялата дълбочина на профила.

Почви с ненарушен профил са алувиално-ливадните почви (профили 4 и 5). Стойностите за мобилни форми на Р и К в профил 4 намаляват плавно по дълбочина, докато в профил 5 имат изразено стратифицирано разпределение, подобно на почвите в целинни условия. Степента на запасеност с калий е висока, а с фосфор - средна в профил 5, и респ. задоволителна и незадоволителна в профил 4. Естествените алувиално-ливадни почви са плодородни почви, които се образуват по поречията на големи реки върху чакълесто пясъчливи алувиални наноси. Голямото разнообразие на почвообразуващите наноси, определя различен по мощност хумусен хоризонт и различно съдържание на основните хранителни елементи. Най-общо тези почви са със средно хумусно съдържание и слаба запасеност с основни хранителни макроелементи.

Основните характеристики на повърхностния хоризонт в антропогенната (урбаногенна) почва (профил 2) показват много ниската им запасеност с фосфор (1.2 mg/100 g) и висока с калий (28.8 mg/100 g). Количеството на усвоимия от растенията калий рязко намалява под 20 cm (повече от три пъти), докато при фосфора се наблюдава слабо нарастване. Въпреки антропогенното влияние върху тази почва високото съдържанието на усвоими азот и калий предполагат сравнително добър хранителен режим.

#### VI.2.4. Съдържание на тежки и алкалоземни метали

Понятието „тежки метали“ включва желязото и всички метали по-тежки от него т.е. с плътност  $> 5 \text{ g/cm}^3$ . В много малки количества, някои от тези елементи са от съществено значение за живите организми, най-често като кофактори на ензими, осъществяващи биохимичните процеси (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Ni, Se), докато други са известни токсиканти (Cd, Pb, Hg). Токсичността на всеки елемент се проявява при различни концентрации, които зависят от конкретни почвени характеристики като рН и механичен състав. Екологично и биологично значимите елементи са: арсен, олово, кадмий, мед, цинк, никел, хром, манган и желязо.

Най-често замърсяването на почвите се означава с три степени -незамърсени, слабо замърсени и силно замърсени. Граничните стойности на тези степени се определят в

зависимост от съдържанието и варирането на тежките метали в почвите, тяхната химична форма, потенциална подвижност, ефект върху живите организми и други. Възприетите критерии за оценка на съдържанието им са: фонове, пределно допустими и максимално допустими концентрации според Наредба № 3, 2008.

В различните градски почви, повлияни от човешката дейност, съдържанието на тежките метали значително варира, но за определените в това изследване могат да бъдат отбелязани няколко по-главни тенденции.

Количеството на оловото в изследваните почви варира значително и трудно може да се свърже с антропогенни въздействия или почвообразователни преразпределения. Съдържанието му във всички изследвани профили е под предохранителните, респ. МДК като се движи в границите от 4.5 mg/kg (профил 6, хоризонт Ачим) до 45.5 mg/kg (профил 4, хоризонт Ачим).

Общото количество на желязото, определено с „царска вода“ се движи в широки граници. Прави впечатление, че с най-високо съдържание са профил 3 - средно излужена канелена горска почва и профил 8 - канелена горска почва, слабо ерозирана. Това е резонно, защото почвообразуващите материали на канелените горски почви в България са богати на желязосъдържащи минерали (хематит, гетит и др.), които обогатяват почвената маса в канелен, светло кафяво-жълт или червен цвят. С високо съдържание на псевдообщо желязо се характеризират и естествените тежкоглинести почви, като смолниците. В настоящето проучване такива са: средно излужена смолница, урбаногенно припокрита - профил 1 и излужена смолница (вторично окарбонатена) - профил 7 и прикопка 2.

Съдържанието на манган има най-високи стойности в профил 2 и профил 7. Профил 4 се характеризира с най-ниското съдържание на Mn, а известно е, че химичният състав на алувиално-ливадните почви много зависи от химичния състав на наносите. И тук разпределението на тежките метали в профила не е подчинено на педогенетични закономерности, а е свързано с периодиката на речните наноси. В профил 5 се забелязва по-голяма разлика между съдържанието на манган в хумусните хоризонти и пластове, което би могло да се дължи и на окултуряващите операции.

Във всички профили съдържанието на елементите Zn, Cu, Cr, Ni и Co е близко или по-ниско от фоновите стойности в българските почви и не представлява опасност от екологична гледна точка. Следователно антропогенните дейности, придружаващи урбанизацията на проучваните райони не води до замърсяване на почвите с тежки метали.

Съдържанието на калций, (макар и определено след минерализиране на пробата с царска вода и следователно не показващо общото съдържание), е много ниско в алувиално-ливадните почви от долината на р. Искър - профили 4 и 5. Те са изградени предимно върху

алувиални и пролувиални наноси с различен механичен състав и слабокисела реакция на средата (рН 6.1-6.7). Тази тенденция е интересна предвид на факта, че калций е биогенен елемент и растителното покритие в тези почви предполага по-значима акумулация. В тези почви ниското съдържание на калций е придружено и от ниско съдържание на манган, което показва слабата интензивност на почвообразователните процеси и слабото изменение на почвения солум в тези ареали. И при двата профила данните за средното съдържание на магнезий са по-високи от тези на калция.

Представителите на канелените горски почви (профили 3 и 8), съществено се различават един от друг по съдържанието на „псевдообщи“ Са и Mg и поведението им по дълбочина на профила. Силният превес на Mg над Са до 70 см дълбочина в профил 3 беше дискутирана като следствие от процеса на деструкция и трансформация на смектит-вермикулитовия минерален състав.

При профил 6 - силно излужена смолница, съдържанието на „псевдообщ“ магнезий (в царска вода - от 565 до 607.5 mg/kg) също е по-високо от съдържанието на калций по цялата дълбочина на профила (420-560 mg/kg), което свидетелства и за силното измиване на карбонатите вероятно под формата на железен карбонат, поради ниското съдържание на „псевдообщо“ желязо (от 1.06 до 1.30 %). Тези данни подкрепят становището на Странски, че в черните софийски почви протича скрито слабо оподзоляване, което не може да бъде диагностицирано по обичайните морфологични признаци.

Почвите, създадени в резултат на урбанизацията (профили 1 и 2) се отличават със средно съдържание на карбонати (в интервала 3-5 %). Те също имат близки средни стойности на калций и магнезий.

С най-високо съдържание на „псевдообщ калций“ (от 9126.2 до 9764.3 mg/kg) и „псевдообщ магнезий“ (от 1513,9 до 1525,9 mg/kg) е излужената смолница (вторично окарбонатена - профил 7). Високото съдържание на базичните елементи Са и Mg по цялата дълбочина на профила доказват, че в почвообразователните скали високо участие имат първичните минерали калцит и доломит. Наблюдава се обогатяване на повърхностния хоризонт (Ачим) с калций, което вероятно е вследствие на пътното строителство, вероятно проведено със съдържащи варовик насипни материали или противозаледяващите обработки на пътя през зимата.

Високото съдържание на „псевдообщи калций и магнезий“ в по-голямата част от изследваните градски почви обуславя слабо алкалната им реакция, липсата на обменна киселинност и високия сорбционен капацитет.

### VI.3. Радиоизотопни характеристики на изследваните почви

За оценка на радиационния риск са използвани Радиевия еквивалент, Raeq и индексът

на външна опасност, Нех. Допустимата стойност на  $R_{aeq}$  е  $370 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Максималната стойност на Нех е 1 и съответства на горния праг на  $R_{aeq}$  ( $370 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ), който се смята за безопасен. За липсата на радиоактивно замърсяване свидетелстват и двата показателя: радиевият еквивалент и индексът на външна опасност. Средните стойности на тези два показателя, както и стойностите по хоризонти са далече от праговете и може да се счита, че в проучваните почви няма радиоактивно замърсяване.

За техногенния  $^{137}\text{Cs}$  се знае, че се разпространява и се натрупва в горните слоеве на почвата. Последното се потвърждава и от текущите данни. Според Националния доклад за състоянието и опазването на околната среда в Република България за 2021 г. измерените фоновы стойности на  $^{137}\text{Cs}$  в 445 пункта необработваеми почви (фиг. 38) са в диапазона  $0,18-14,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$  като приема за високи стойности над  $200 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . Както е видно от данните, съдържанието на  $^{137}\text{Cs}$  в изследваните профили е в диапазона  $<1 - 8 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , което дава основание да се приеме, че съдържанието на техногенния цезий е по-ниско от измереното в необработваемите почви. Прави впечатление, че в два от профилите, профил 2 /антропогенна (урбаногенна) почва/ и профил 7 /излужена смолница (вторично окарбонатена)/, съдържанието на  $^{137}\text{Cs}$  е под границата на откриваемост ( $<1 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) във всички хоризонти. И докато за профил 2, който е създаден чрез насипване на земни маси, изнесени от дълбоките земни слоеве, това е разбираемо, то за профил 7 е ясно, че не е бил засегнат от техногенни радиоактивни замърсители, въпреки близостта му с пътя.

Радиоизотопът  $\text{Pb-210}$  е другият елемент, който може да се използва за изясняване на техногенното натоварване на почвите. Смята се, че излишъкът от радиоизотопа  $^{210}\text{Pb}_{ex}$  т.е., количеството над равновесната му концентрация с  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{210}\text{Pb}_{supp}$ ), се дължи на отлагането на радиоактивен прах и има техногенен произход в почвите. Нашите данни показват, че почвите от югоизточната част на гр. София (профили 1-6) са обогатени в по-голяма степен с  $^{210}\text{Pb}_{ex}$ , отколкото почвите от северозападната зона (профил 7, прикопка 2), което очертава зоните в градска среда, уязвими към техногенно натоварване с олово-210. Установява се също, че разпространението на  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в изследваните почви не следва идентични криви и определянето само на единия от тях не може да се използва за точна оценка на техногенното радиоактивно натоварване.

За останалите естествени радионуклиди измерените стойности в 8-те профила са в следните диапазони:  $^{238}\text{U}$  -  $20-54 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  -  $17-56 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  -  $24-51 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $^{40}\text{K}$  -  $444-680 \text{ Bq.kg}^{-1}$ . В сравнение с данните на ИАОС за 2019 г. (фиг. 39) тези флуктоации са доста по-слаби:  $^{238}\text{U}$  -  $14,1-89 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  -  $16-82 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $^{232}\text{Th}$  -  $17-86 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ,  $^{40}\text{K}$  -  $548-695 \text{ Bq.kg}^{-1}$ .

### Специфична активност на естествени радионуклиди в необработваеми почви, Вq/kg



Източник: ИАОС

Фигура 39. Специфична активност на естествени радионуклиди

#### VI.4. Биологични характеристики на изследваните почви

##### VI.4.1. Численост на основни физиологични и морфологични групи микроорганизми

Голямата пространствена хетерогенност във физичните и химични свойства на градските почви обуславя разнообразието в състава и числеността на техните микробни популации. Основните фактори, влияещи върху разпространението на микроорганизмите в почвата са съдържанието на вода, кислород и хранителни елементи, почвена структура, състава и популационната плътност на представителите на почвената фауна и други. Тези фактори се променят по дълбочина на почвения профил и в самите почвени агрегати.

Повърхностният хоризонт Ачим на урбаногенно припокрита средно излужена смолница (профил 1) се характеризира със сравнително висока численост на всички изследвани групи микроорганизми с изключение на актиномицетите. Голямото количество на амонифициращите бактерии ( $19.27 \times 10^6$  КОЕ/g) и на целулозоразлагащите микроорганизми ( $8.89 \times 10^4$  КОЕ/g) показва, че протичат активно както процеси на разлагане на леснодостъпните за микроорганизмите азотни органични съединения, така и на разграждане на целулозата (която се минерализира по-бавно). Амонифициращите бактерии и бактериите, усвояващи минерален азот са с близка численост. Отношението на броя на бактериите, усвояващи минерален азот към този на амонификаторите се обозначава като минерализационен индекс и е показател за насоката на трансформацията на азота в почвата. Получените данни доказват наличие на равновесие между процесите на минерализацията на органичните азотни съединения и имобилизацията на освободения минерален азот в микробната биомаса. В



хоризонта C1k преобладава бактериалната популация, чиято численост остава висока. Останалите групи микроорганизми са по-слабо разпространени в този хоризонт.

В повърхностния хоризонт на урбаногенната (антропогенна) почва (профил 2) количествата на амонифициращите бактерии, споровите бактерии и бактериите, използващи минерален азот са близки до получените за припокритата средно излужена смолница. Микроскопичните гъби в са с двукратно по-висока численост, а броят на целулозоразлагащите микроорганизми е по-малък. По дълбочина на почвения профил намалението на броят на бактериите е по-голямо в сравнение с профил 1, което вероятно е свързано с по-голямото намаляване на съдържанието на органични вещества в хоризонта под повърхностния слой при тази почва в сравнение с урбогенно припокритата средно излужена смолница.

Излужената канелена горска почва (профил 3) се характеризира с много висока численост на амонифициращи бактерии от чимовия хоризонт. Наличието на голямо количество амонификатори вероятно се дължи на активното отделяне на коренови екsudати, които са предимно леснодостъпни азотни и въглеродни органични съединения. Известно е, че амонифициращите бактерии усвояват достъпните органични азотни съединения (белтъци и нуклеинови киселини) и имат най-голяма численост в кореновата зона на растенията. Броят им е много висок и в хоризонта Vt. В повърхностния хоризонт споровите бактерии и микроскопичните гъби са с близка численост до тази на урбаногенната (антропогенна) почва (профил 2), а актиномицетите са с трикратно по-висок брой в сравнение с профили 1 и 2. Високата численост на амонифициращите бактерии е показател за протичането на интензивни процеси на минерализация на азот-съдържащи органични съединения, а голямата популационна плътност на актиномицетите - за разграждане на по-трудно усвоимите органични съединения в почвата. Съотношението между амонифициращите бактерии и бактериите, използващи минерален азот в повърхностния почвен слой е около 4:1, което показва че процесите на минерализация на достъпните азотни съединения доминират над имобилизационните процеси. По дълбочина на почвения профил количеството на бактериите остава високо в хоризонта Vt, а числеността на останалите групи микроорганизми намалява значително. Получените стойности за броя на микроорганизмите от основните групи в Ачим хоризонта са близки, а за амонифициращите бактерии - по-високи от тези, установени за повърхностния хоризонт на слабо ерозирани обработваеми почви от същия тип от района на кв. Банкя.

Алувиално-ливадната почва (профил 4) се характеризира с висока численост на амонифициращите бактерии, микроскопичните гъби и актиномицетите в хоризонта Ачим. Отношението между количествата на амонифициращите бактерии и на бактериите, използващи минерален азот е близко до единица и показва, че е установено равновесие между

процесите на минерализация на лесноусвоимите от почвената микрофлора органични азотни съединения и тези на свързване на освободения минерален азот в микробналната биомаса. Високата численост на микроскопичните гъби и актиномицетите показва, че разлагането на постъпващата органична материя е в напреднала фаза. Известно е, че микроскопичните гъби и актиномицетите разлагат активно органични вещества с по-сложен състав - хемицелулоза, целулоза, лигнин и други. Освен това, актиномицетите участват в процесите на хумусообразуване и хумусоразлагане. По дълбочина на почвения профил в хоризонта С<sub>i</sub> числеността на микроорганизмите от повечето изследвани групи микроорганизми остава висока.

За хоризонт А<sub>чим</sub> на алувиално-ливадната почва (профил 5) е установена значително по-висока численост както на амонифициращите, така и на споровите бактерии в сравнение със съответния хоризонт на алувиално-ливадната почва (профил 4). Тези резултати, както и двукратно по-високия брой на амонифициращите бактерии в сравнение с броя на микроорганизмите, използващи минерален азот показват, че в алувиално-ливадната почва (профил 5) доминират процесите на минерализация на азотните органични съединения. По отношение броя на целулозоразлагащите микроорганизми са получени стойности, близки до тези на алувиално-ливадната почва (профил 4). В хоризонта А<sub>i</sub> освен бактериите, с висока численост са и актиномицетите. Количеството на микроорганизмите от посочените групи е по-голямо в сравнение със съответния хоризонт на алувиално-ливадната почва (профил 4). Тези резултати вероятно са свързани с наличието на по-голямо количество органични вещества в хоризонт А<sub>б</sub>, тъй като алувиално-ливадната почва (профил 5) е с по-моцнен хумусен хоризонт в сравнение с алувиално-ливадната (профил 4). Получените данни за числеността на микроорганизмите в изследваната алувиално-ливадна почва (профил 5) са близки до установените от Nedyalkova et al. (2010) резултати за разпределение на микроорганизмите по дълбочина на почвения профил на целинна алувиално-ливадна почва.

За силно излужената смолница (профил 6) е установена висока численост ( $42.5 \times 10^6$  КОЕ/g) на спорообразуващите бактерии и на целулозоразлагащите микроорганизми ( $11.31 \times 10^4$  КОЕ/g). Спорообразуващите бактерии участват в по-късните етапи от минерализацията на органичната материя като разграждат различни по състав органични съединения (хитин, целулоза, хемицелулоза и други). Голямото количество на спорови бактерии и целулозоразлагащи микроорганизми, както и сравнително високия брой на актиномицетите показват, че в тази почва доминират процесите на разграждане на трудноусвоимите органични съединения. В слоя А' значително намалява числеността на микроорганизмите от всички изследвани групи с изключение на микроскопичните гъби, които благодарение на спорообразуващата си способност преживяват при неблагоприятни условия

на средата. Промяната на физикохимичните условия по дълбочина на почвения профил (намаляване на кислорода и съдържанието на органично вещество) намалява и микробиалното разнообразие, като се установява доминиране на по-малък брой приспособени за развитие при недостиг на кислород (микроаерофилни) видове микроорганизми. Получените данни за структурата на микробиалните популации в тази почва се различават от аналогичните данни за обработваема излужена смолница от опитното поле на ИПАЗР „Н. Пушкиarov“ в гр. Божурище (Petkova & Petkova, 2016). Това вероятно е свързано с влиянието на агротехническите мероприятия и на растителната покривка, която чрез кореновите излъчвания оказва специфично влияние върху развитието на почвената микрофлора. Растителната покривка на профил 6 се отличава с по-голямо видово разнообразие в сравнение с обработваемата излужена смолница от гр. Божурище, на която в сеитбообръщение са отглеждани царевица и ечемик.

Излужената смолница, разположена в близост до ул. „Шосе Банкя“ (профил 7), се характеризира с много висока численост на амонифициращите и споровите бактерии (съответно  $60.83 \times 10^6$  КОЕ/g и  $65.91 \times 10^5$  КОЕ/g). Тези данни са еднопосочни с резултатите на Малчева (2012), която също установява увеличение числеността на бактериите на градски почви, намиращи се в райони с интензивен автомобилен трафик. Неспорообразуващите амонифициращи бактерии участват в процесите на самоочистване на почвите от замърсители. В сравнение със съответните хоризонти на останалите профили числеността на бактериите се запазва значително по-висока в хоризонта A'. Микроскопичните гъби са с ниска численост в повърхностния хоризонт вероятно поради слабо алкалната реакция на почвата. Целулозоразлагащи микроорганизми и микроорганизмите, използващи минерален азот са също слабо разпространени както в повърхностния хоризонт, така и в разположените под него хоризонти. В сравнение с профили 1 и 2, при които почвите са образувани чрез припокриване на излужена смолница с карбонатни материали, се наблюдават значителни различия в числеността на изследваните основни групи почвени микроорганизми. Установената структура на микробиалните популации в тази почва се различава значително и от тази на микроорганизмите от обработваема излужена смолница от опитното поле на „Пушкиarov“ в гр. Божурище (Petkova & Petkova, 2016). Посочените автори установяват по-висока численост на микроскопичните гъби и целулозоразлагащите микроорганизми и по-ниско количество на бактериите. Тези резултати могат да се обяснят от една страна с влиянието на агротехническите мероприятия при обработваемата почва и на растителната покривка, а от друга - с антропогенното натоварване на разположената в близост до автомобилния път почва.

За повърхностния слой на канелената горска почва (профил 8) също са установени сравнително високи количества на амонифициращите и споровите бактерии. В хоризонта Ar2

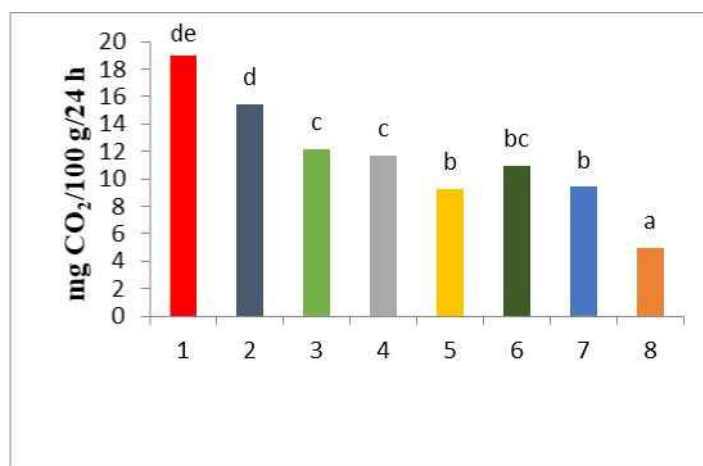
броят на амонифициращите бактерии, споровите бактерии и актиномицетите остава висок. В сравнение с излужената канелена горска почва (профил 3), в повърхностния слой на профил 8 е установена значително по-ниска численост на амонифициращите бактерии, микроскопичните гъби и бактериите, използващи минерален азот. Ниската численост на бактериите, използващи минерален азот за профил 7 и профил 8 при високо количество на амонифициращите бактерии показват, че минерализационните процеси доминират над процесите на имобилизация на хранителни елементи в микробиалната биомаса.

Представените данни за количеството на микроорганизмите от основните морфологични и физиологични групи показват, че изследваните градски почви се характеризират с висока биогенност в повърхностния почвен хоризонт, която намалява в дълбочина при отделните профили по различен начин в зависимост от специфичните почвени условия. От проучените групи микроорганизми с най-голяма популационна плътност са амонифициращите бактерии, които доминират в повърхностния хоризонт на всички почви. Следващите по численост групи са актиномицетите, бактериите, използващи минерален азот и споровите бактерии. Микроскопичните гъби и целулозоразлагащите микроорганизми са с два порядъка по-ниска популационна плътност. В повърхностния хоризонт на изследваните почви най-голяма численост на амонифициращите бактерии и микроскопичните гъби е установена при излужената канелена горска почва, най-голям е броят на актиномицетите при алувиално-ливадната почва (профил 4), а на целулозоразлагащите микроорганизми - при силно излужената смолница. Данните за числеността на микроорганизмите от свързаните с трансформацията на азота групи микроорганизми (амонификаторите и бактериите, използващи минерален азот) показват, че процесите на разграждане на органичните азотни съединения доминират над процесите на имобилизация на азота в излужената канелена горска почва, алувиално ливадната почва, излужената смолница и канелената горска почва. Минерализацията на постъпващата в почвата органичната материя е в по-напреднала фаза при силно излужената смолница и алувиално-ливадната почва (профил 4).

VI.4.2. Продукция на CO<sub>2</sub>, количество на микробиалния биомасен въглерод и ензимна активност

От данните на фигура 40 се вижда, че продукцията на CO<sub>2</sub> на изследваните почви варира в широки граници (от 4.95 до 18.99 mg CO<sub>2</sub>/100 g с. почва/24 h), което показва, че процесите на минерализация на органичната материя в тях протичат с различна интензивност. Средната стойност на продукцията на CO<sub>2</sub> е 11.61 mg/100 g/24 h. Най-висока и статистически доказана стойност за този показател е получена при урбаногенно припокритата средно излужена смолница (профил 1) - 18.99 mg/ 100 g почва/ 24 h. Този резултат може да се обясни с високото съдържание на органично вещество и минерални форми на азота, фосфора и калия в

повърхностния слой (табл. 26), което създава благоприятни условия за развитие на растителната покривка. Това от своя страна благоприятства постъпването на по-големи количества растителни остатъци от тревната биомаса, които се минерализират от хетеротрофната микрофлора. Сравнително висока е и продукцията на CO<sub>2</sub> на Урбаногенната (антропогенна) почва (профил 2) - 15.41 mg/100 g/24 h. При останалите почви, с изключение на канелената горска почва, където продукцията на CO<sub>2</sub> е най-ниска, общата биологична активност е сравнително близка и е в границите на 9 - 12 mg CO<sub>2</sub>/100 g почва/24 h.



Фигура 40. Продукция на CO<sub>2</sub> на урбанизирани почви

Легенда: 1.Припокрита средно излужена смолница; 2.антропогенна почва; 3.излужена канелена горска почва; 4.алувиално-ливадна почва; 5.алувиално ливадна почва; 6.силно излужена смолница; 7. излужена смолница; 8.канелена горска почва.

\*(Различните букви на отделните стълбчета показват, че стойностите се различават при ниво на вероятност  $P < 0.05$ )

Микробиалната биомаса е лабилен резерв на важни за растенията хранителни елементи (N, P и S). Включването на тези елементи в микробните клетки ги предпазва от загуби чрез измиване или фиксация от глинестите минерали на почвата. При минерализация на мъртвите микробни клетки те преминават в достъпна за растенията форма. Почвената микробиална биомаса се увеличава или намалява в зависимост от състава и количеството на растителните остатъци, постъпващи в почвата и условията за разграждането им по-бързо от почвеното органично вещество като цяло. Поради това промените в количеството на микробиалната биомаса са ранен индикатор за измененията в почвените условия, свързани с ускоряване или забавяне на разграждане на органичните вещества в почвата (Brookes, 2001).

Най-високи стойности за микробиалния биомасен въглерод на изследваните почви са получени за урбаногенно припокритата средно излужена смолница (профил 1) и алувиално-ливадната почва (профил 4) - съответно 46,28 и 46,15 mg C/100 g почва. Сравнително високо

е и съдържанието на микробиалния биомасен въглерод при излужената канелена горска почва (профил 3) и Алувиално-ливадната почва (профил 5). Най-ниски стойности на този показател са регистрирани при профили 2, 7 и 8 (съответно 15.45, 14.37 и 14.25 mg C/100 g почва). Посочените стойности са от 2 до 3 пъти по-ниски от тези на останалите профили.

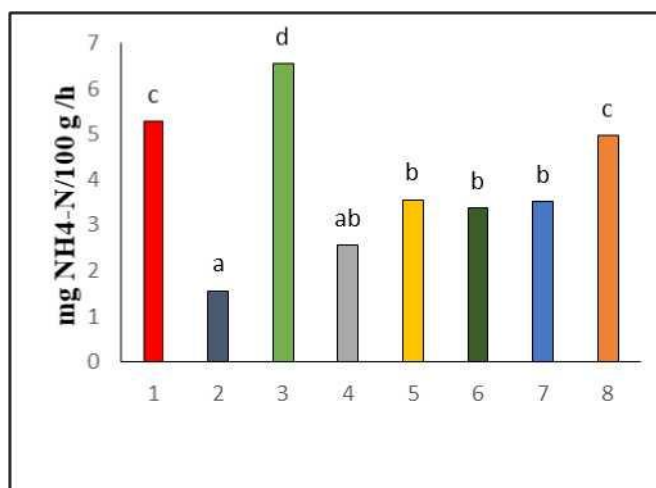
На базата на получените данни за продукцията на CO<sub>2</sub> и микробиалния биомасен C са изчислени метаболитните коефициенти (qCO<sub>2</sub>) на микробиалните популации в изследваните почви. Метаболитният коефициент отразява ефективността, с която микроорганизмите използват хранителните вещества в почвата и се увеличава при стресови условия, водещи до намаляване на тази ефективност. От получените данни се вижда, че най-високи стойности за този показател са при урбаногенната (антропогенна) почва (профил 2) и излужената смолница (профил 7). При останалите почви метаболитният коефициент приема близки и доказано по-ниски стойности. Получените данни за метаболитните коефициенти на микробиалните съобщества за профили 2 и 7 показват известна тенденция към неблагоприятни изменения в микробиалното равновесие. За намаление на микробиалната биомаса и увеличаване на метаболитните коефициенти на микроорганизмите от градски почви при антропогенно натоварване докладват редица учени. Възможно е получената разлика в метаболитния коефициент на профил 2 и останалите почви да е свързана с наличието на голям брой артефакти, около които се създават локални зони с променени химични свойства и понижена биологична активност.

В заключение, изследваните градски почви се различават значително по своята продукцията на CO<sub>2</sub> и съдържание на микробиалния биомасен C. Най-високи стойности на тези показатели са получени за урбаногенно припокритата смолница, средно излужената канелена горска почва и алувиално-ливадната почва (профил 4). Антропогенната почва се характеризира с висока продукция на CO<sub>2</sub> при ниско количество на микробиалния биомасен C. По-високият метаболитен коефициент на тази почва е показател за възможно негативно антропогенно въздействие. Подобна, но по-слабо изразена тенденция, се наблюдава и при излужената смолница (профил 7).

В областта на почвената ензимология обект на широко проучване е влиянието на замърсяването с тежки метали в резултат от дейността на промишлени предприятия, автомобилния транспорт и използването на препарати за растителна защита върху почвената биота. Промените в ензимната активност на градските почви в резултат на урбанизацията са по-слабо проучени. В повърхностния слой на изследваните почви е определена активността на ензимите уреаза, инвертаза, кисела фосфатаза и пероксидаза. Тези ензими участват в кръговрата на основните биогенни елементи N, P и C. Уреазата катализира хидролизата на уреята до NH<sub>3</sub> и CO<sub>2</sub>. Тя попада в почвата чрез растителните остатъци, оборския тор и като

минерален азотен тор (карбамид). Освен това се образува в самата почва в качеството на междинен продукт в процеса на разграждане на протеините и нуклеиновите киселини. Продуктът от хидролизата на уреята ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ) е достъпен азотен източник за растенията. Поради това, уреазната активност на почвите е от важно значение за тяхното плодородие и се използва като индикатор за качеството на почвите.

От данните, представени на фигура 43 се вижда, че уреазната активност на изследваните почви приема стойности от 1.56 до 6.54 mg  $\text{NH}_4\text{-N}/100 \text{ g}$  почва/h. Най-висока уреазна активност е получена за излужената канелена горска почва (профил 3) и урбаногенно припокритата средно излужена смолница (профил 1). С най-ниска уреазна активност се характеризира урбаногенната (антропогенна) почва (профил 2). Отчетената стойност за този профил е приблизително трикратно по-ниска от тази на посочените почви с висока активност и е показател за ниска скорост на окисление на органичните азотни съединения или недостиг на такива съединения. Ниската уреазна активност на профил 2 е в съответствие с ниското количество на микробиалния биомасен C за този профил (фиг. 43) и високото съотношение на C:N. Тези резултати потвърждават предположението за наличие на негативно антропогенно въздействие при профил 2, основаващо се на по-високата стойност на метаболитния коефициент в сравнение с останалите почви.



Фигура 43. Уреазна активност на урбанизирани почва

Легенда: 1. Припокритата средно излужена смолница; 2. антропогенна почва; 3. излужена канелена горска почва; 4. алувиално-ливадна почва; 5. алувиално ливадна почва; 6. силно излужена смолница; 7. излужена смолница; 8. канелена горска почва.

Инвертазата участва при разлагането на постъпващите в почвата растителни остатъци като катализира хидролизата на захарозата до глюкоза и фруктоза. Глюкозата заема централно място в биохимичната трансформация на въглехидратите в почвата и е леснодостъпен

енергетичен източник за микроорганизмите. Инвертазната активност е важен показател за почвеното плодородие, тъй като активността ѝ е пряко свързана с наличието на лесноуспоими от микроорганизмите въглеродни съединения. Най-високи стойности за инвертазната активност на изследваните почви са получени за алувиално-ливадната почва (профил 4) и алувиално-ливадната почва (профил 5) - съответно 110.47 и 106.91  $\mu\text{g}$  глюкоза/ $\text{g/h}$ , следвани от урбаногенно припокритата средно излужена смолница (профил 1) и излужената канелена горска почва (профил 3). Тези резултати са еднопосочни с данните за количеството на микробиалния биомасен C, което е най-голямо при посочените почви. Значително по-ниска е инвертазната активност от антропогенната почва от района на Младост 3 (профил 2). За профил 7 (излужена смолница, разположена до автомобилен път) са получени по-ниски стойности в сравнение с урбаногенно припокритата средно излужена смолница (профил 1).

Фосфатазите катализират разграждането на някои органични съединения на фосфора (глицерофосфати, захарофосфати), които представляват от 30 до 70 % от общите запаси на фосфор в почвата. Тъй като неорганичните съединения на фосфора в почвата се отличават с ниска разтворимост, очевидно е, че мобилизацията на фосфора от микроорганизмите е от важно значение за храненето на растенията. Източници на почвени фосфатази са различните тъкани и клетки на растенията, животните и микроорганизмите, в които те осъществяват фосфатния обмен. Активността на киселата фосфатаза на изследваните почви приема стойности от 1.18 - до 7.14  $\mu\text{mol}$  като най-високи стойности са установени при излужената канелена горска почва и Алувиално-ливадната почва. Разликите спрямо останалите почви са доказани статистически. Сравнително висока е фосфатазната активност на урбаногенно припокритата средно излужена смолница (профил 1) и Силно излужената смолница (профил 6) като получените стойности са около 2 пъти по-високи в сравнение с профили 7 и 8. С най-ниска фосфатазна активност се характеризира Урбаногенната (антропогенна) почва (профил 2).

Получените стойности за инвертазната и фосфатазна активности на урбаногенно припокритата средно излужена смолница (профил 1) и двете излужени смолници, (профили 6 и 7), включени в проучването са сравнително близки до стойностите, установени от Недялкова за необработваеми почви от същия тип в Софийската котловина.

Пероксидазна активност в почвата проявяват голям брой ензими, които използват  $\text{H}_2\text{O}_2$  като електронен акцептор при окислението на органични и неорганични съединения. Важна роля в почвата имат лигнинпероксидазите, отделяни от някои видове бактерии и гъби от класовете Basidiomycetes и Ascomycetes, които катализират деполимеризацията на лигнина до вторични метаболити, участващи в процесите на хумификация на органичните вещества в почвата. От друга страна, обаче, при висока пероксидазна активност се засилва



минерализацията на хумусните вещества и се намалява съдържанието им в почвата (Mangier & Tate, 1982; Гулько и Хазиев, 1992; Sinsabaugh, 2010). Като цяло, отделянето на пероксидази от почвените микроорганизми е свързано с намаляване токсичността на фенолните съединения в почвата, с трансформацията на органичните вещества в нея и оказва влияние върху активността и състава на почвените микробиални съобщества.

Освен от фенолни съединения, отделянето на пероксидази се индуцира и при увеличаване съдържанието на Mn в почвата. За разлика от хидролазите, пероксидазите са по-малко стабилни поради по-силното им свързване от глинестите минерали на почвата. Получените данни показват, че изследваните почви от профили 1-6 са с ниска пероксидазна активност, която варира в тесни граници (0.42 - 0.71 mg пурпугалин/1 g почва/h). Най-ниска пероксидазна активност е регистрирана при излужената канелена горска почва (профил 3). Повисоки стойности в сравнение с останалите профили са получени при излужената смолница (профили 6 и 7) и канелената горска почва (профил 8). Възможно е това увеличение да се дължи на включването на защитни механизми, свързани с детоксикация на почвени замърсители или междинни продукти от тяхното. За излужената смолница (профил 7) е установено повишено съдържание на Mn, което също може е фактор, допринасящ за увеличаване на пероксидазната активност.

Представените данни показват, че изследваните градски почви се различават по отношение на своята ензимна активност. Като цяло, с най-висока активност се характеризират припокритата средно излужена смолница, излужената канелена горска почва и алувиално-ливадната почва (профил 5). Антропогенната почва проявява най-ниска уреазна, фосфатазна и инвертазна активности. Ниското количество на микробиалния биомасен въглерод и ниската ензимна активност са показатели за възможно негативно антропогенно въздействие върху микробиалните популации в тази почва. Поради силната фрагментираност на насипните материали и наличието на голям брой артефакти се създава неблагоприятна за протичането на биохимичните процеси среда.

Зависимостите на ензимната активност, продукцията на CO<sub>2</sub> и количеството на микробиалния биомасен C от някои основни химични показатели на урбанизираните почви бяха изследвани чрез корелационен анализ. От получените данни се вижда, че органичният C е в доказана положителна корелация с уреазната активност ( $r = 0.67^1$ ). Този резултат е еднопосочен с данните, докладвани от Ши през 2008 г., които също установяват подобна връзка между посочените показатели на градски почви от гр. Шъндзън (Южен Китай), както и с докладваните от Чакрабартти през 2004 г. данни за земеделски почви. Общият азот е в

---

<sup>1</sup> ниво на вероятност  $p < 0.05$

положителна корелация с микробиалния биомасен С ( $r = 0.82^1$ ) и фосфатазната активност ( $r = 0.72^1$ ). Редица учени също установяват положителна корелация между съдържанието на общ азот и някои ензимни активности (включително и фосфатазната) на почви с различен тип на земеползване - градски, горски, обработваеми земи и пасища. Получена е доказана отрицателна корелация между съотношението С:N с микробиалния биомасен С ( $r = - 0.82^1$ ). Този резултат е логичен, тъй като при високо съотношение на С:N и недостиг на източници на азот, необходими за развитието на микроорганизмите, се забавят техните метаболитните процеси и намалява количеството на микробиалната биомаса. Отношението С:N е в отрицателна корелация и с инвертазната активност. Продукцията на CO<sub>2</sub> е в положителна корелация с количеството на минералния азот ( $r = 0.76^1$ ). Реакцията на почвения разтвор е в отрицателна корелация с фосфатазната активност ( $r = - 0.78^1$ ).

Между изследваните биологични показатели доказана положителна зависимост е получена между продукцията на CO<sub>2</sub> и количеството на микробиалния биомасен С ( $r = 0.701$ ). Това показва, че изследваните почви не са подложени на негативно антропогенно въздействие, тъй като при стресови условия източниците на хранителни вещества се използват неефективно от почвените микроорганизми, в резултат на това се синтезира по-малко количество микробиална биомаса при увеличена продукция на CO<sub>2</sub>. При тези условия между двата показателя не съществува положителна корелация.

Не са получени доказани зависимости между съдържанието на тежки метали и продукцията на CO<sub>2</sub>, ензимната активност и микробиалната биомаса. С изключение на оловото при два от профилите, установеното съдържание на тежки метали при всички изследвани почви е по-ниско от приетите за България предохранителни концентрации. Статистическият анализ показва, че при тези условия не се създава риск от нарушаване на екологичното равновесие на почвената екосистема. За антропогенната почва (профил 2) и алувиално-ливадната почва (профил 4) е получено съдържание на Рb в количества, близки до предохранителните концентрации, но и за двете почви също не е установена зависимост между стойностите на ензимната активност, продукцията на CO<sub>2</sub> и количеството на микробиалния биомасен С и съдържащото се в почвите Рb.

## **VII. Изводи**

Получените резултати от проведените химични, физико-химични, агро-химични, радио-химични, морфо-генетични и биологични проучвания на урбанизирани почви от различни градски зони могат да се обобщят в следните по-главни изводи:

□ Урбанизацията променя предимно морфологичния строеж на почвите и може да обуславя формиране на нови типове почви. Новите почви са резултат от припокриване на

съществуващите почви със земни маси, обогатени с артефакти и камъни с различен произход. Припокриващите хоризонти имат различна мощност и водят до образуването на почви с частично урбаногенно променен почвен солум или с напълно нов, урбаногенен профил. При слаба антропогенна намеса почвите имат добре запазени почвени хоризонти с ненарушена секвенция, слаба скелетност и уплътненост.

- Припокритите почви имат добре оструктурени и предимно средно до високо хумусни А-хоризонти със средна мощност.

- Всички почви имат предимно средно висок сорбционен капацитет и нетоксично съдържание на тежки метали (Cr, Zn, Mn, Pb, Cu, Ni и Co).

- Съдържанието на радиоактивните елементи във всички изследвани почви е по-ниско ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) или близко до фоновите стойности за страната ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ).

- Съдържанието на радиоизотопа на оловото, генериран от техногенни източници (изгаряне на въглища за отопление) и пренасян с въздушните течения ( $^{210}\text{Pbex}$ ) е по-високо в почвите от югоизточната част на гр. София в сравнение със северозападната и не следва кривата на разпространение на техногенния цезий.

- Дозовото натоварване на населението и околната среда, дължащо се на естествената гама радиация (емитирана от радиоактивните елементи  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$ ) е от 2 до 3 пъти по-ниско от допустимите нива, отразени в индекса на външна опасност и радиевия еквивалент.

- Макроелементите с голямо биологично значение (усвоими азот, фосфор и калий) имат разнопосочно съдържание в изследваните почви, което осигурява небалансирана среда.

- Съдържанието на феромагнезиевите биогенни елементи: Mn, Zn, Cu, Ni и Co е ниско.

- Всички профили, с изключение на профил 2, са със средна до висока обогатеност на хумуса с азот - съотношение C:N между 9 и 15, което предполага по-ускорен процес на разлагане на хумуса. Съдържанието на хумус в повърхностните хоризонти се колебае между 1.93 % (прикопка 1) и 3.05 % (профил 4), а при профил 1 достига до 5.52 % т.е. до сравнително оптимално ниво.

- Изследваните почви се характеризират с висока численост на основните групи микроорганизми в повърхностния почвен хоризонт, която намалява по дълбочина на почвения профил. С най-голяма популационна плътност са бактериите, следвани от актиномицетите, а микроскопичните гъби са с най-ниска численост. Урбанизираните почви се различават по относителния дял на основните групи микроорганизми, динамиката и интензивността на протичащите в тях минерализационни процеси, свързани с разлагането на органичната

материя.

□ Продукцията на  $\text{CO}_2$  и количеството на микробиялния биомасен С в изследваните почви варират в широки граници (от 4.95 до 18.99 mg  $\text{CO}_2/100$  g с. почва/24 h) и съответно (14.25 до 46.28 mg C/100 g суха почва). Установена е положителна корелация между количеството на микробиялния биомасен С и съдържанието на общ азот.

□ Активността на ензимите уреаза, инвертаза и кисела фосфатаза в урбанизираните почви с изключение на урбаногенната почва (профил 2) е сравнително висока. Силната фрагментираност на насипните материали при тази почва и наличието на голям брой артефакти създават неблагоприятна за протичането на биохимичните процеси среда.

### **VIII. Научни и научно-приложни приноси**

В резултат на проведените изследвания на урбанизирани почви от непроучени досега ареали беше получена нова информация за строежа и структурата на градските почви; физико-химичния и химичния им статус; особеностите в техния геохимичен състав; тяхната радиоактивност и биологични характеристики.

За пръв път в България е определено съдържанието на радиоизотопа  $^{210}\text{Pb}$  в урбанизирани почви. Установено е, че в градските зони елементът има както естествен, така и техногенен произход ( $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ). Получената информация поставя основата за сравнения при бъдещи научни проучвания в тази насока.

На базата на микробиологичната и ензимна характеристика е установено, че в почти всички урбанизирани почви активността на почвената микрофлора не е лимитирана в антропогенна среда, което е добра предпоставка за функционирането на почвените екосистеми.

Установено е протичането на малко почвообразователни процеси в изследваните почви: акумулация на почвено органично вещество, излужване и вторично окарбонатяване.

Получените данни от дисертационния труд обогатяват познанията за почвите в България, в частност за региона на град София. Възможно е приложението им за актуализиране на почвените карти, което може да бъде от полза за планирането на земеделски дейности и за определянето на подходящи методи за градоустройство и строителство. Тези данни могат да бъдат използвани в областите земеделие, околна среда и опазването на природата, както за актуализиране на съществуващите бази данни, така и като фундамент за нови научни изследвания и проекти.

### **ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

Цолова, В., Томов, П. 2018. Морфологични и класификационни характеристики на почви от зелените зони на град София. Почвознание, агрохимия и екология, 52(3), 43- 56.

Petkova, G., Tomov, P., Tsoleva, V. 2019. Microbiological Characteristics of Urban Soils in Sofia city, Bulgaria. *Journal of Balkan Ecology*, 21(1), 61-70.

Tsoleva, V., Tomov, P., Nikova, I., & Petkova, G. 2019. Pedo-chemical Perturbations in Soils from Green Ecosystems of the Sofia City (Bulgaria). *Ecologia Balkanica* 11(2), 37-51.