

**ВВМУ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАЩАРОВ”  
ФАКУЛТЕТ „НАВИГАЦИОНЕН”**

---

Катедра „Експлоатация на флота и пристанищата“

ПАВЛИНА НАСКОВА АТАНАСОВА

УПРАВЛЕНИЕ НА ТЕЖКОМЕТАЛНОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ НА ПРИРОДНИ, АГРО И  
УРБОЕКОСИСТЕМИ

**АВТОРЕФЕРАТ**  
на  
ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

За придобиване на образователна и научна степен  
„ДОКТОР”

Професионално направление: 5.5 „Транспорт, корабоплаване и авиация”

Докторска програма: „Експлоатация на водния транспорт, морските и речните пристанища”

Научен ръководител:

проф д.т.н. инж. Асен Недев

доц.д-р Димитър Димитракиев

Научен консултант

доц. д-р Живка Бекярова

Варна 2015 г.

Дисертационният труд съдържа 186 страници, включително 52 таблици, 91 фигури, 10 приложения. Цитирани са 142 литературни източника, от които 96 на кирилица, 31 на латиница, 7 нормативни документа и 8 електронни документа от Интернет-ресурси. Брой на приложенията 10. Номерата на главите, формулите, фигурите, таблиците и цитираната литература в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на ..... от .....ч. в зала ..... на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”

Рецензиите, становищата на членовете на научното жури и авторефератът са публикувани в сайта на училището [www.naval-acad.bg](http://www.naval-acad.bg)

Материалите по защитата (дисертация, автореферат) са на разположение на интересувашите се във Факултет: „Навигационен”, катедра „Експлоатация на флота и пристанищата“. ВВМУ Адрес: Варна, ул.„Васил Друмев” №73.

Дисертантът работи като асистент в ТУ Варна и е зачислен в свободна форма на обучение в катедра „Експлоатация на флота и пристанищата“ при факултет „Навигационен“ на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в ТУ Варна, ВВМУ и Институт по екология БАН.

Дисертационният труд е насочен за защита от съвета на Факултет „Навигационен“ при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“ в съответствие на чл. 5, ал. 1 от ЗРАС.

Автор: Павлина Наскова Атанасова

Заглавие: Управление на тежкометалното замърсяване на природни, агро и урбоекосистеми

Тираж: 10 броя

# ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## Въведение

Проблемите на опазването на околната среда са изключително актуални и за тяхното решаване са необходими усилията на широк кръг от специалисти от различни области, използващи разнообразни теоретични и експериментални методи. В съществуващата в момента критична екологична обстановка всички видове действия, насочени към преодоляването на негативните тенденции при използването на природните дадености са актуални, необходими и задължителни. В този смисъл, може да се твърди, че е време да се откъснем от традиционното представяне на околната среда като чисто природна и да я разглеждаме в един по – широк аспект от антропоекологични позиции. Съществен интерес представляват изследванията на кръговратите на замърсяващите вещества в екосистемите. Смята се, че миграцията на химичните елементи в техногенните и природните екосистеми, които са тясно свързани са добре изучени. Сериозни празноти в знанията се очертават, както в областта на процесите, протичащи в отделните екологични подсистеми, така и в механизмите на миграция на конкретните химични елементи.

На база гореизложеното може да се счита, че нивото на екологичната наука в момента се характеризира с високо развитие на експерименталната работа, обуславяща наличието на богат фактически материал и с по – слабо развитие на теоретичната база и т.н. математическа екология, която се свежда до използването на неголям брой слабо свързани помежду си теории. Това е предпоставка за насочването на усилията към разработване и апробиране на модели за разпознаване и прогнозиране на екологични явления и процеси без претенции за всеобхватност и пълнота на изложението. В този случай се налага използването на някои достатъчно общи подходи на математическото моделиране, които показват възможността за решаване на широк кръг от приложни задачи за контрол и опазване на околната среда.

## Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на настоящата работа е да се изследва миграцията на олово в три локални природна, агро и урбоекосистеми на територията на Варненска област и да се проследи миграцията на тежките метали в системата „почва - растение“ чрез създаване на математически модели. За постигане на тази цел трябва да се решат следните конкретни задачи:

1. Да се направи химичен анализ на растителни фракции на различни видове.
2. Да се разработят математически модели за оценка и прогнозиране на тежкometалното аерозолно замърсяване в агро, урбо и природни екосистеми.
3. Да се разработят основите на система за прогнозиране и управление на замърсяването с тежки метали.

## Обект на изследване

При избора на експерименталните площи се целеше да се обхванат територии, от които да бъдат взети почвени и растителни проби, подходящи за сравнително изследване на тежкometално замърсяване в агро, урбо и природни екосистеми. Бяха отчетени особеностите на почвения профил, пространствените изисквания и нееднородността на почвената покривка, релефа и микроклимата на местността, характера на замърсяването и особеностите на замърсителите.

## Научна новост

В дисертацията се предлага модел за управление на тежкometално аерозолно замърсяване на природни, агро и урбоекосистеми.

Решаването на проблемите, свързани с прогнозиране и управление на екологични явления и процеси отнасящи се до замърсяването с токсични химични елементи обяснява необходимостта от математическото моделиране на процесите в екосистемите и тяхното прилагане в общия модел за управление и опазване на околната среда. Научна новост са разработените модели за оценка и прогнозиране на миграцията на металотоксиканите в отделни системати: „почва- корен“, „почва- растение“, „почва- растение-почва“. Новост е и

използването на система от критерии и процедури за оценка на състоянието на екосистемите чрез многомерно разпознаване по косвени признаци на растителни фракции. Моделите са апробирани на база собствени експерименти, като са определени техните граници на валидност, точност и адекватност за различни растителни видове.

### **Реализация на работата и апробация на резултатите**

Част от дисертационния труд е разработен в катедра „ЕООС“ при Технически университет – Варна, от 2015 г. доработването на дисертационния труд е направено в ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“. Химичните анализи на почвени и растителни проби са направени в лабораториите на ТУ – Варна, както и в лабораторията по Екология при БАН.

Основните резултати са публикувани в списания „Машиностроителна техника и технологии“ и „Устойчиво развитие“. Резултатите от дисертацията са предоставени на ползватели на земеделска земя, на Пристанище Варна и на контролни органи.

### **Структура и обем на дисертацията**

Дисертационният труд съдържа 186 страници, включително 52 таблици, 91 фигури, 10 приложения. Цитирани са 142 литературни източника, от които 96 на кирилица, 31 на латиница, 7 нормативни документа и 8 електронни документа от Интернет-ресурси.

# СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## ГЛАВА I. Състояние на проблема

Обзорният анализ на състоянието на проблема следва развитието на тежкометалното замърсяване, източниците на тежки метали, техния кръговрат, както и депата на акумулация на тези замърсители. Като един от основните генератори на тежки метали е посочен автомобилният транспорт, а като крайно депо на натрупването им е определена почвата. Разгледан е проблемът с обогатяването на почвата и растенията с тежки метали, както и механизмите за проникването и влиянието, което оказват върху различните растителни видове. Възможните мерки за преодоляване на токсичността и адаптационните способности на растенията към този вид замърсяване са част от състоянието на проблема.

### 2.1 ЦЕЛ, ОБЕКТ И МЕТОДИКА

#### 2.1.1 Цел на проучването

Целта на настоящата работа е да се изследва миграцията на олово в три локални - природна, агро и урбоекосистеми на територията на Варненска област и да се проследи миграцията на тежките метали в системата „почва - растение“ чрез създаване на математически модели. За постигане на тази цел трябва да се решат следните конкретни задачи:

1. Избор на експериментални площи [ ЕП ]
2. Проучване и анализ на химични и физични свойства на избраните експериментални почви чрез изследване на основни показатели.
3. Изследване на тежкометалното замърсяване в агроекосистеми
  - 3.1 Ретроспективен анализ на акумулацията на олово и кадмий в почви, тревни видове и агрокултури по пътя Варна – Добрич за период от 25 години.
  - 3.2 Модел за оценка и прогнозиране на съдържанието на тежки метали (олово) в почвата по второкласен път П-29 Варна – Добрич.
  - 3.3 Модел за верикална миграция на тежки метали в системата „почва – корен“ при слънчоглед / *LG 56.65 M* / и лайка /*Matricaria chamomilla L.*/ .
  - 3.4 Моделиране на процесите на обмен на тежки метали в системата „почва – растение“:
    - Последователен отворен модел за прогнозиране на съдържанието на олово в растителни фракции от слънчоглед и лайка /*Matricaria chamomilla L.*/;
    - Модел за прогнозиране на вертикална миграция чрез включване на реални части от обекта.
  - 3.5 Приблизителна оценка на съдържанието на тежки метали в растенията по косвени признаци.
  - 3.6 Оценка на състоянието на екосистемите чрез многомерно разпознаване по косвени признаци на растителни фракции.
4. Изследване на тежкометалното замърсяване в урбоекосистеми
  - 4.1 Анализ на динамиката в акумулацията на олово и кадмий в надземни фракции от конски кестен / *Aesculus hippocastanum L.*/ в урбанизирана зона в гр. Варна от „ Червен площад“ през площад „ Катедрала“ до площад „ Полиграфически комбинат“ .
  - 4.2 Моделиране на процесите на обмен на тежки метали между компоненти на затворени системи от типа „ почва – растение -почва“.
  - 4.3 Изследване и анализ на концентрацията на олово в почви от района на Пристанищен терминал Варна – Изток част от Пристанище за обществен транспорт с национално значение Варна.
5. Определяне ролята на математическото моделиране като част от управлението на тежкометалното замърсяване на екосистемите.

#### 1.2.2. Избор на експериментални площи

За агроекосистема, бе избрана обработваема експериментална площ покрай участък от второкласен път П-29 Варна — Добрич до разклона за гр.Суворово. Той е част от

републиканската пътна мрежа на България, преминаващ по територията на области Варна и Добрич. Дължината му е 82,3 km, експлоатиран е повече от 40 години. (ЕП1, ЕП2, ЕП3, ЕП4)

За да се обхванат урбогенно замърсени почви, проучванията се концентрираха върху антропогенни почви от град Варна - кръстовищата на бул. "Осми Приморски полк" и бул.

" Цар Освободител" - Червен площад. (ЕП5) , площад „ Катедрала“ (ЕП6) и кръстовището на Полиграфически комбинат.(ЕП7).

За допълнителното изследване на съдържанието на олово в почви в района на Пристанищен терминал Варна - Изток са взети за анализ проби от три експериментални площи - входа на „Одесос ПБМ”АД (ЕП 8), корабно място № 9 (ЕП 9) и Варна – Изток портал 3 (ЕП 10).

В дисертационния труд е направена еколого - лесовъдска характеристика и картосхеми на експерименталните площи.

### **1.2.3 Методи на изследване**

#### ***1.2.3.3 Методи за извършване на почвени анализи***

Анализите са извършени по единна европейска методика за определяне на химични елементи в почви, а именно:

- 1/ Механичен състав - по метода на Качински;
- 2/ Хумус - по метода на Тюрин;
- 3/ рН - потенциометрично във воден извлек;
- 4/общо олово и общ кадмий (ISO 11-047)- на атомно-адсорбционен спектрофотометър.

#### ***1.2.3.3 Методи за растителен анализ***

Основните етапи на анализа включват:

##### **I. Вземане на средна проба**

1. Изисквания към изходната проба
  - Достатъчно количество;
  - Пропорционално количество от всяка част
2. Обработване на изходната проба
  - почистване;
  - хомогенизиране;
  - определяне на средна проба;

Концентрацията на оловото и кадмия са определени чрез атомно-адсорбционен спектрофотометър

#### ***1.2.3.4 Методи за анализ на тежки метали в суровини и храни от растителен произход***

При определяне на съдържание на тежки метали (олово и кадмий) в проба от хлебна пшеница сорт „Енола“ основните етапи на анализа са:

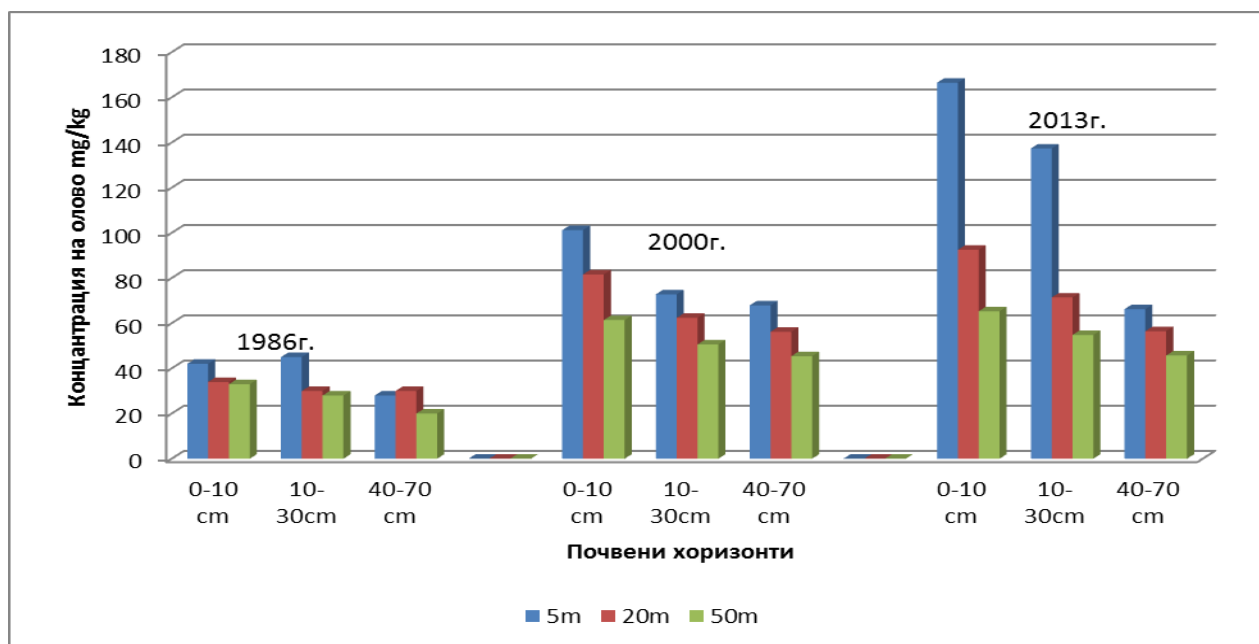
- Пробоподготовка –
- Микровълново минерализиране в затворена система
- Сухо опепеляване
- Определяне с апарат ААС Perkin Elmer 2280

## **ГЛАВА II Изследване на тежкометалното замърсяване в агроecosистеми**

### **2.1 Ретроспективен анализ на акумулацията на олово и кадмий в почви и тревни видове и агрокултури по второкласен път II-29 Варна – Добрич**

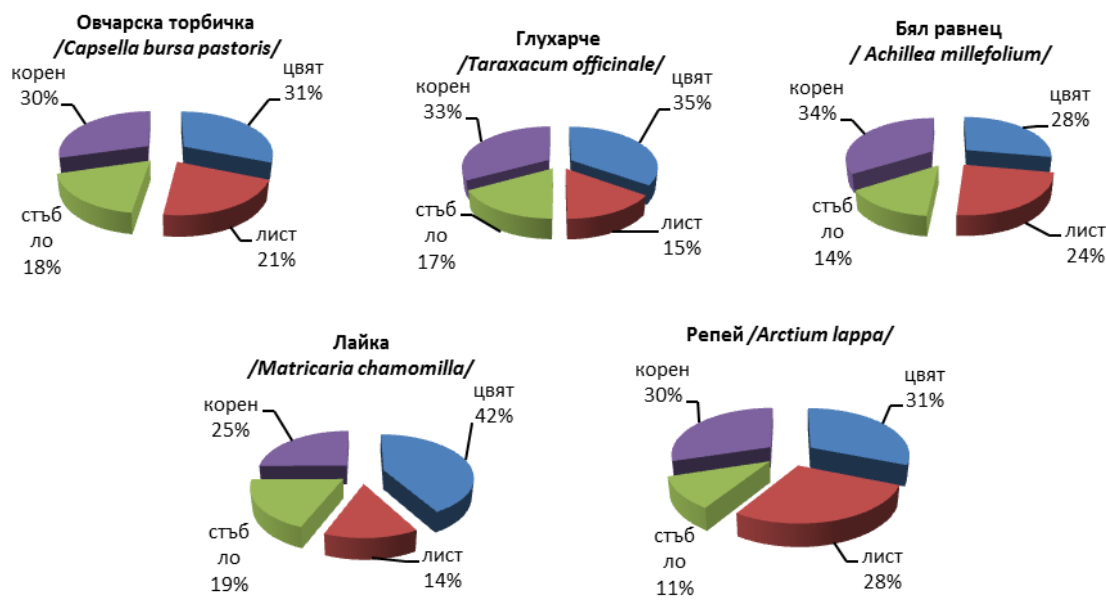
Проблемът от замърсяването с тежки метали основно се свързва със силното развитите индустриалните райони и интензивния трафик по големите автомагистрала. Чрез ретроспективен анализ са анализирани стойностите на съдържанието на олово и кадмий в почви, тревни видове и агрокултури в близост до пътя Варна – Добрич и така се установява степента на замърсяване на изследвания район като резултатите се сравняват с нормативните изисквания. Резултатите от проведените анализи през 1986г (Плугчиева), 2000г (Наскова),

2013г (Наскова) на олово и кадмий по дълбочина на почвата при различни отстояния от пътя Варна – Добрич са сравнени и с литературни данни.



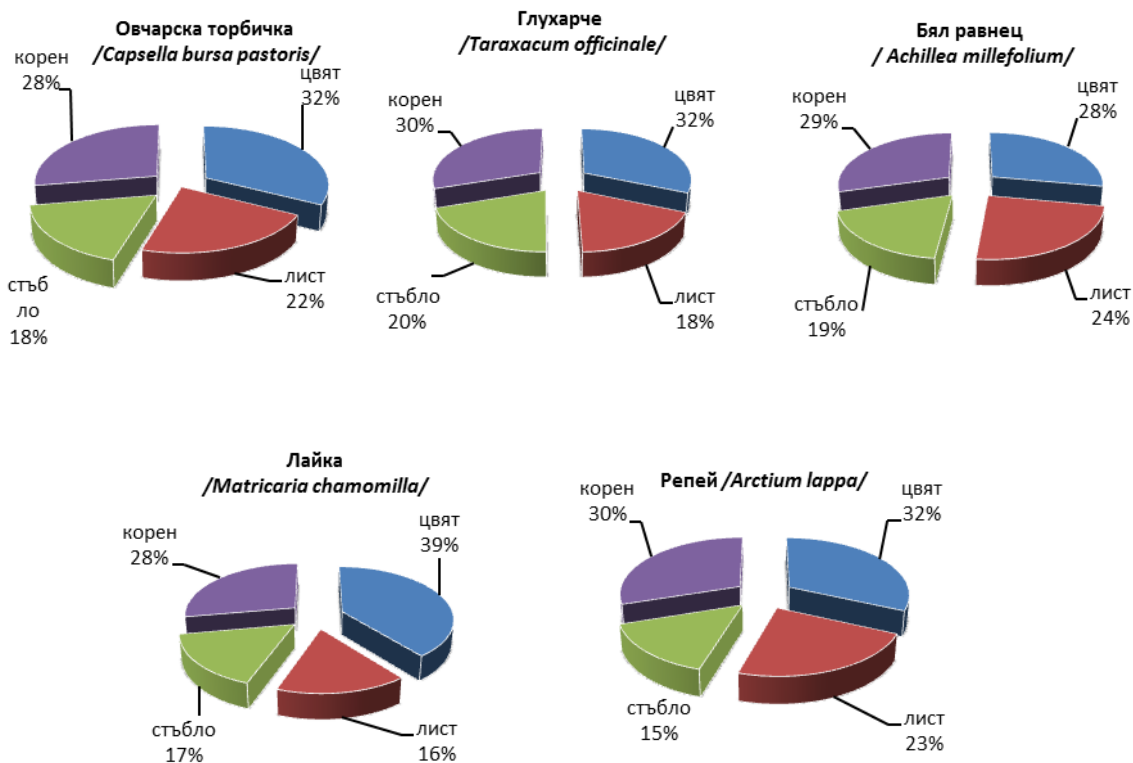
Фиг.12 Съдържание на олово в почвени проби в близост до второкласен път П-29 Варна – Добрич (0-50m)

Направени са химични анализи на растителни фракции на тревисти видове (Овчарска торбичка /*Capsella Bursa Pastoris*/, глухарче /*Taraxacum officinale*/, бял равнец /*Achillea millefolium*/, Лайка /*Matricaria chamomilla*/, Репей /*Arctium lappa*/). Графично е представено фракционно съдържание на олово в тревни видове в 5 метровата ивица до банкета на пътя Варна – Добрич 1986г, 2000г. и 2013г (фиг.14, 15, 16).

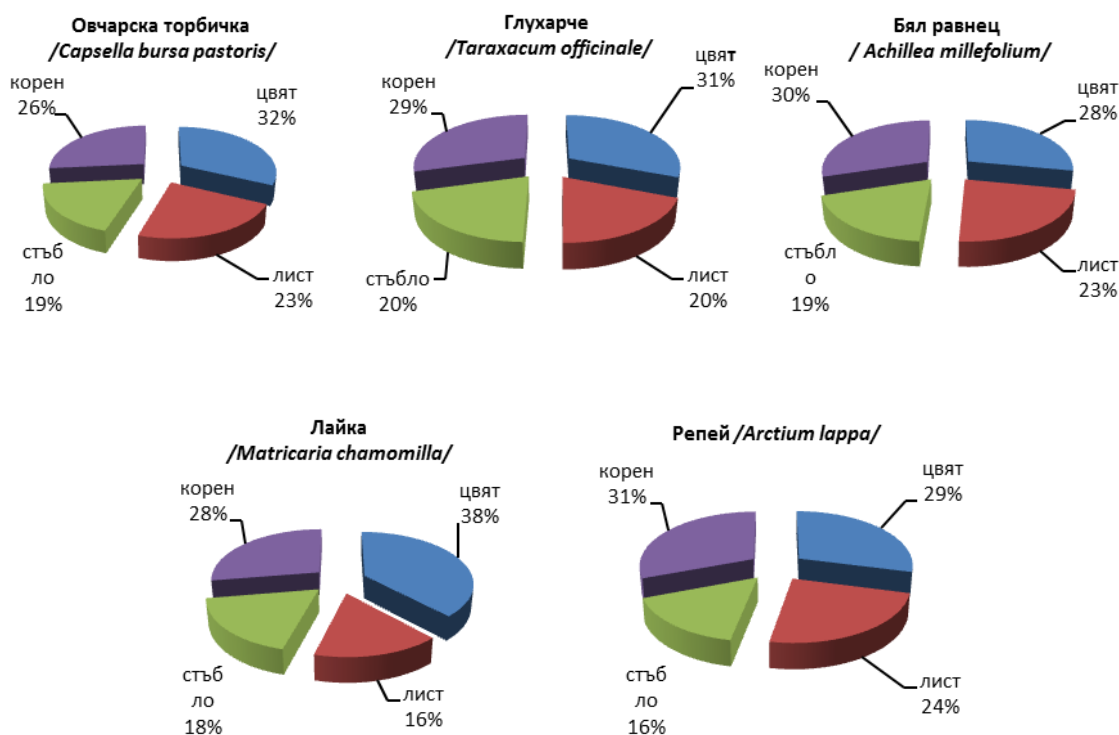


Фиг.14 Фракционно съдържание на олово в тревни видове в 5 метровата ивица до банкета на пътя Варна – Добрич 1986г.





Фиг.15 Фракционно съдържание на олово в тревни видове в 5 метровата ивица до банкета на пътя Варна – Добрич 2000г.



Фиг.16 Фракционно съдържание на олово в тревни видове в 5 метровата ивица до банкета на пътя Варна – Добрич 2013г.

От проведените изследвания следват изводите:

Изследвана е концентрацията на тежки метали в почвени проби и тревни видове, в близост до пътя Варна – Добрич за период от 25 години, установена е динамиката и степента на замърсяване на изследвания район, като получените резултати са сравнени с максимално

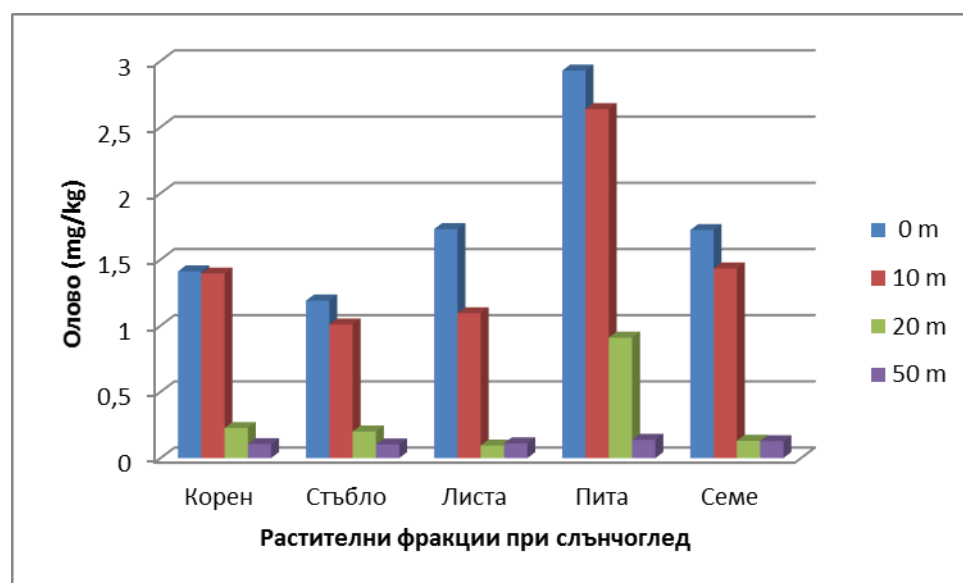
допустимите концентрации от Държавните Наредба № 3 от 01.08.2008г. за нормите за допустимо съдържание на вредни вещества в почвите.

Получените резултати за олово в почвени проби като цяло не превишават МДК през 2013г., с изключение на концентрациите в повърхностните почвени слоеве на отстояние до пет метра от автомагистралата, които са над МДК. При кадмия всички измерени концентрации са под МДК.

Стойностите за кадмия са значително по ниски от тези на оловото, но и при него се наблюдава подобна тенденция на намаляване на концентрацията му по дълбочина на почвения слой и увеличаване отстоянието от линейния източник на замърсяване.

При сравняване на данните за трите периода от предходните години се наблюдава, че акумулацията на тежки метали в почви и растения през 1986г. и 2013г. не нараства с такива темпове както до 2000г. темповете на нарастване особено след 2005/6г. са много по забавени, което се дължи на постепенното преустановяване употребата на оловени бензини и наличието на катализатори при новите автомобили. Известно е още, че в РБ се употребяват над 75% стари от всички автомобили. Но също така е много важно да се отбележи, че за самопочистването на почвите от натрупаните тежки метали са нужни стотици години и така те се явяват един постоянен източник на вредно въздействие в околната среда и през трофичните екологични вериги достигат до човека като създават потенциален риск за здравето на населението.

Направени са анализи за съдържанието на олово в корен, стъбло, листа, пита и сема на слънчоглед, отглеждан в земеделски площи разположени покрай второкласен път П-29 Варна – Добрич. За изследване са използвани растения развиващи се на 0m, 10m, 20m и 50m от банкета (Приложение 8) (фиг.17)



Фиг.17 Съдържание на олово в растителни фракции на слънчоглед в близост до второкласен път П-29 Варна – Добрич (0-50m)

Данните от анализите сочат, че най – големи концентрации от изследвания металотоксикант се натрупват в питата и семето, следват листата, корена и стъблото. Това потвърждава аерозолния произход на тежкометалното замърсяване. С увеличаване на отстоянието от пътното платно, концентрациите на оловото във всички фракции на изследвания растителен вид намаляват. Поради физиологичните особености на вида натрупването е в значителна степен в семето, което е суровина за хранително – вкусовата промишленост, а също така е хранителна суровина в животновъдството. Миграцията на оловото по хранителните мрежи, вериги и пирамиди и достигането му до човека като създават риск за здравето на населението. Европейската общност е приела няколко регламента за съдържанието на различни тежки метали в храните (Регламент (ЕО) № 1881/2006 и Директива 2001/22/ЕО), като България се е съобразила с тях в действащото си

законодателство. (Съгласно действащата наредба 30.9.2004г.). Съгласно същата наредба концентрацията на олово в зърнени храни (включително елда), бобови храни и варива не трябва да е повече от 0,2 mg/kg, а за кадмий 0,1 mg/kg.

## 2.2 Моделиране на екосистемите - теоретични основи

В тази част е проследено развитието на математическите и философските науки, довело до създаването на теорията на моделирането като съвкупност от методи за изобразяване на една абстрактна или реална структура в друга абстрактна математична структура. В една най – обща класификация моделите могат да бъдат разделени на две групи: теоретични и емперични. Определен е единствения подход за решаване на задачата за вертикалната миграция на конкретен химически елемент между фракциите на изследван растителен вид чрез получаването на емпиричен статистически модел, основаващ се на специално планирани и проведени експерименти

### 2.3 Модел за оценка и прогнозиране на съдържанието на тежки метали (олово) в почвата по второкласен път II-29 Варна – Добрич

#### 2.3.1 Обща постановка

Разгледани са своеобразните техногенни аномалии на оловото, образували се и поддържащи се край пътищата с интензивен трафик. Отчетени са характерните техни особености, като динамичността и непостоянството на параметрите им при съставянето на модела за оценка и прогнозиране на конфигурациите на разглежданите техногенни аномалии

#### 2.3.2. Общ вид на модела за оценка и прогнозиране на съдържанието на олово в почвата

Представени са етапите на създаване на модела, отнасящ се за предходни периоди от време с цел прогнозиране на съдържанието на олово в почвата в бъдеще

##### 2.3.2.1. Модел за оценка и прогнозиране

1. Оценка на характеристиките на транспортния поток в резултат на наблюдения и експертен анализ.

2. Пресмятане на мощността на емисиите на олово [mg/ден]:

$$P_{em} = K_{u.e} \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_p \cdot \sum G_i \cdot P_i \cdot N_i \quad (6)$$

Където:

$K_o = 0,6 - 0,8$  - коефициент, отчитащ процента на оловните съединения в изходящите газове (в изпускателната система остава около 20% от оловото);

$K_p = 0,7 - 0,8$  - коефициент, отчитащ частта от оловото, изхвърлено под формата на твърди частици, падащи в почвата (20% до 30% от частиците се разпръскват в атмосферата с аерозолите);

$K_v = 1$  - коефициент, отчитащ влиянието на пътните условия върху средната скорост на движение;

$K_{u.e} = 0,74$  - коефициент за преизчисляване и изравняване на измервателните единици;

$N_i$  - средноденонощна интензивност на движение на автомобилите от  $i$  - тия тип [брой МПС/ден];

$G_i$  - средно експлоатационен разход на гориво на автомобилите от  $i$  - тия тип [l/km];

$P_i$  - добавено олово към съответния вид гориво, изгорено от автомобилите от  $i$  - тия тип [g/kg], (0,37 или 0,17mg/l).

3. Количество на оловото, отлагащо се на повърхността на почвата от двете страни на пътното платно  $P_{пов}$  [mg/m<sup>2</sup>].

$$P_{пов}(s) = K_M \cdot K_S \cdot U_v \cdot F \cdot T_{прогн} \cdot P_{em} \quad (7)$$

Където:

$K_M = 0,4$  - мащабен коефициент за единиците на измерване;  
 $K_S$  - коефициент, отчитащ разстоянието от източника на емисиите (виж табл.6);  
 $U_v = 1$ - отчита силата и направлението на вятъра (при двустранна оценка на замърсяване на площите);  
 $F$  – фонові стойности на оловото на повърхността на почвата [ $mg/m^2$ ];  
 $T_{\text{прогн}}$  – време за прогнозиране на бъдещи замърсявания в дни –  $365 \cdot n$ ; n- години 1-20;

4. Нива на замърсяване на почвата с олово на различни разстояния от пътното платно по хоризонти.

$$P_{\text{почв}(s,h)} = \frac{P_{\text{почв}(s)}}{h \cdot \rho} \quad (8)$$

Където:

$\rho$  – плътност на почвата [ $kg/m^3$ ];

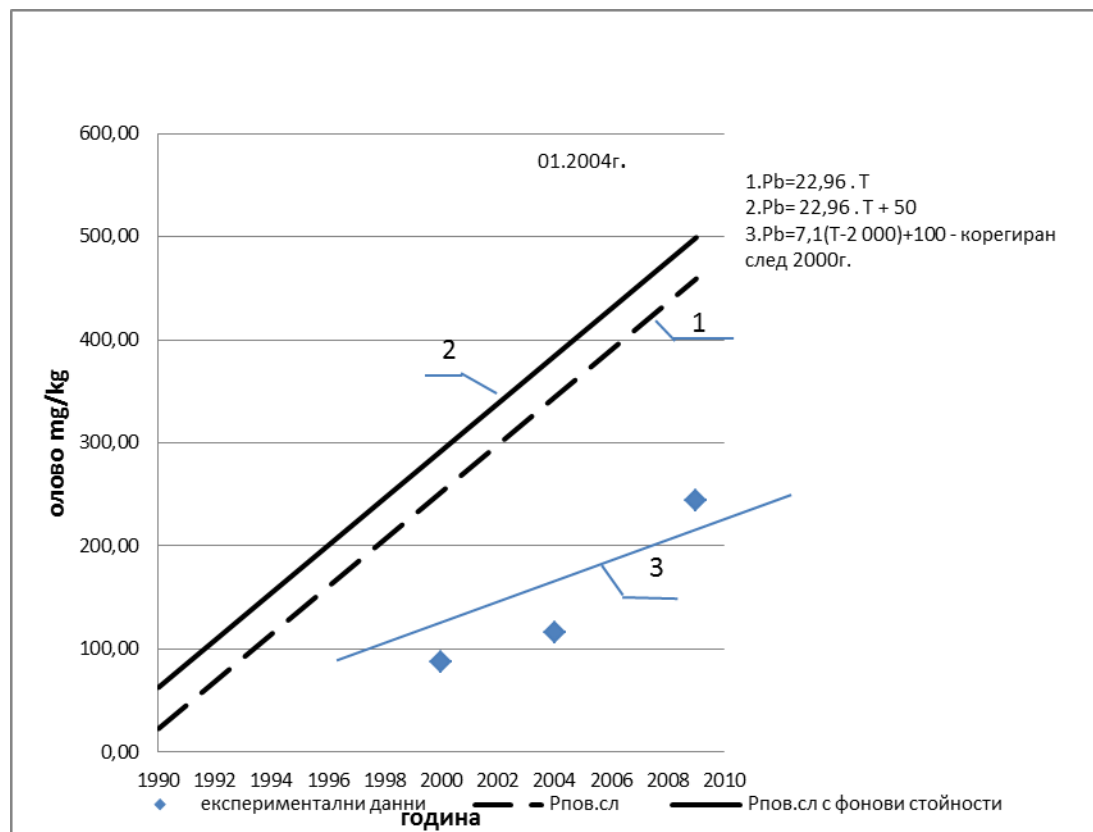
$h$  [m]- дълбочина на почвения профил, в който са разпределени оловните съединения.

### 2.3.2.2. Оценка и прогнозиране на съдържанието на олово в почвата в зоната на интензивно движение

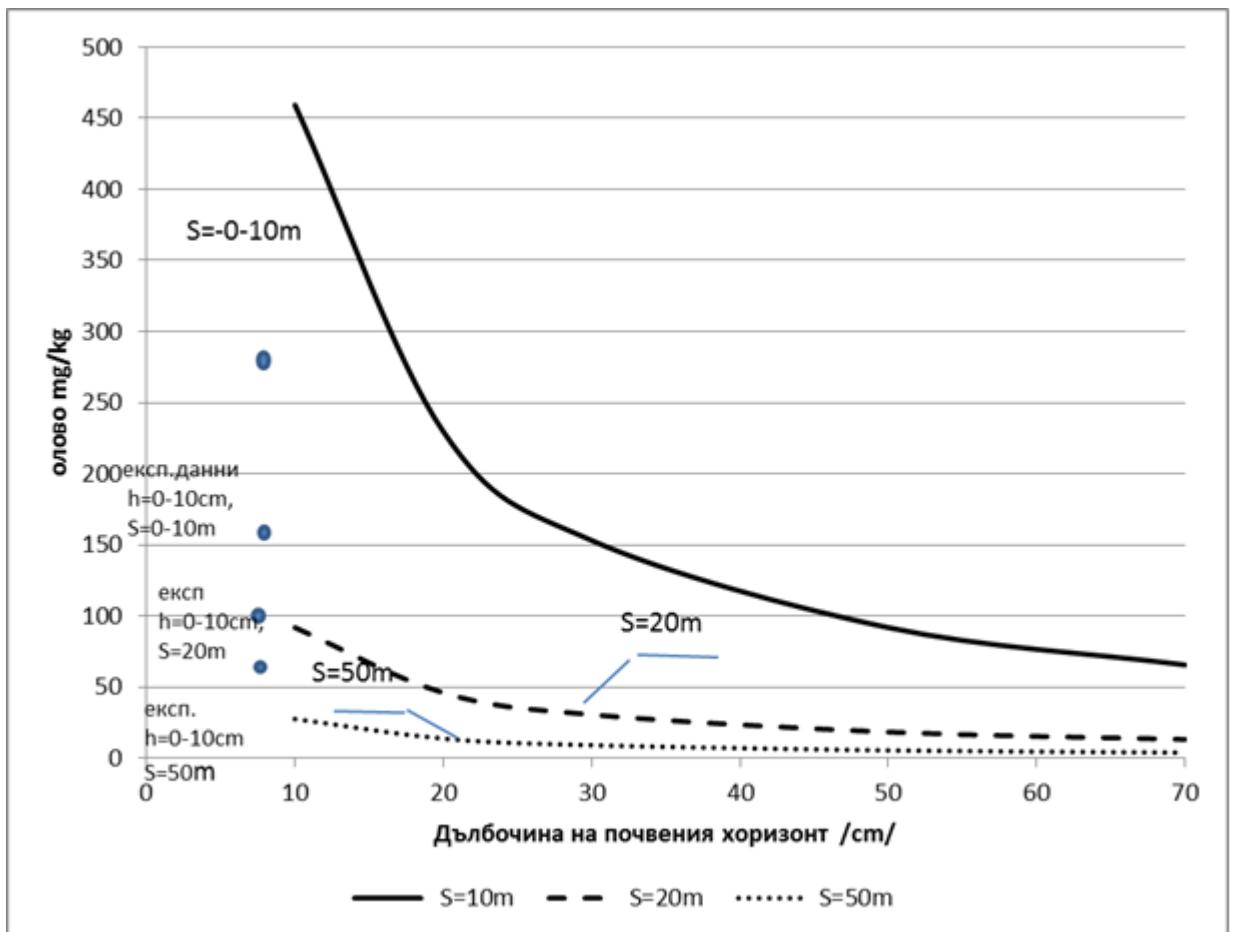
Чрез съставения математически модел е анализирана динамиката на процесите на акумулация на олово в крайпътните почви в периода 1990г. до 2014г.

### 2.3.2.3. Модел за количеството олово постъпило в почвата съобразно трафика по пътя Варна – Добрич

На база съставения модел за оценка и прогнозиране са направени изчисления за мощност на емисиите на олово при средно денонощна интензивност на транспорта за определен период  $P_{\text{ем}}$  [ $mg/\text{ден}$ ], както и за отлагане на олово в повърхностния слой на почвата  $P_{\text{пов}}$  [ $mg/m^2$ ]. След направените изчисления са получени нивата на акумулация на олово в почвен хоризонт по години за:  $h = 0 - 10\text{cm}$ ,  $h = 10 - 20\text{cm}$ ,  $h = 20 - 40\text{cm}$  и  $h = 40 - 60\text{cm}$  при  $S=10\text{m}$ ,  $S=20\text{m}$  и  $S=50\text{m}$ , които са представени графично.



Фиг.20 Ниво на акумулация на олово в почвен хоризонт  $h=0-10\text{cm}$ ,  $S=10\text{m}$



Фиг.24 Акумулация на олово за период от 20 години по почвени хоризонти

Резултатите от експерименталните и моделните изследвания показват, че условията за активна защита трябва да бъдат насочени към зоната, отдалечена до 15-20m от източника, при дълбочина 0 – 30cm.

Въпреки приетите административни мерки съдържанието на олово в почвата продължава да расте макар и с по – бавни темпове. Това показва необходимостта и актуалността на подобни изследвания в две направления:

- влияние на количествата олово върху растителните видове;
- средства и методи за активна защита.

## 2.4 Модел за верикална миграция на тежки метали в системата „ почва – корен“

### 2.4.1 Общ вид на модела

В процесите на кръговрата на тежките метали почвата изпълнява ролята на мощен акумулатор на металотоксикантите, но за разлика от другите природни среди тя има и трансформиращи свойства по отношение на много видове замърсители. В нея едновременно протичат такива процеси като миграция, сорбция на компонентите, трансформация на химичните форми, миграция по следващите звена на веригата и др. Поглъщането се определя от процесите на разпределянето им между две основни фази – твърда и течна и се осъществява чрез процесите сорбция – десорбция, утаяване – разтваряне и коагулация – пептизация. Влажността на почвата оказва силно влияние върху дифузията на йоните предизвиквайки изменение на коефициента на дифузия над 10 пъти. За определяне на този коефициент (D) се прилага второто уравнение на Фик, описващо зависимостта на изменението на концентрацията на дифундиращия елемент C от времето t и дълбочината x:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (11)$$

Скоростта на проникване на замърсяванията в почвата е сума от скоростта на дифузионното проникване (от градиента на концентрацията  $\partial C/\partial x$  и на скоростта  $V$  на насоченото движение на елемента с просмукващата се вода. Миграцията на елементите в почвата от тези две компоненти (дифузия и гравитация) се описват с уравнението:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( V_D x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - V \frac{\partial C}{\partial x} \quad (12)$$

където:

$C$  – концентрация на елемента в почвата;

$t$  – време;

$x$  – профил;

$V_D$  - скорост на дифузия;

$V$  – скорост на насоченото движение по почвения профил.

Поради това, че дифузията се осъществява както в разтвора, така и в твърдата фаза,  $D$  се изразява с уравнението:

$$D = \frac{W\chi D_0}{W + K_d} + \frac{K_g D_0}{W + K_d} \quad (13)$$

където:

$K_d$  - коефициент на разпределяне между фазите;

$W$  – влажност в относителни части;

$D_0$  - коефициент на дифузия в разтвора;

$\chi$  – отношение на подвижността на непогълнатите йони към подвижността им в чистия разтвор;

$K_g$  – отношение на подвижността на погълнатите йони към подвижността им в чистия разтвор.

При получаване на модела на миграция се използва подходът описан в [46, 80] основаващ се на обикновени уравнения на Фик с ефективен коефициент на дифузия. Почвата се разглежда като хетерогенна дифузна среда състояща се от две фази: твърда, която сорбира йоните и почвен разтвор.

В началния момент в почвения разтвор се образува концентрация  $C_0$ . В процеса на дифузия по профила се извършва сорбция на йоните в твърдата фаза и поглъщането им от кореновата система на растенията. Уравнението, отчитащо дифузията и процесите на сорбция в твърдата фаза на почвата и корена на растението от почвения разтвор, в случай, че концентрацията се променя по профила е:

$$\frac{\partial \tilde{N}_i}{\partial t} = K \cdot D \cdot \frac{\partial^2 C_0}{\partial x^2} - \alpha C_0 - \beta C_0 \quad (14)$$

където:

$C_0$  - концентрацията на елемента във водния разтвор в момента  $t$  в точката с координати  $x$ ;

$D$  – коефициент на дифузия по профила;

$K$  – коефициент, отчитащ нееднородността на дифузионния поток поради изменение на сечението;

$\tilde{N}_1$  - количество вещество, влияещо върху концентрациите;

$\beta$  - константа на скоростта на сорбция в твърдата фаза на почвата;

$\alpha$  - константа на поглъщане от кореновата система на растенията.

Към уравненията на дифузията ще прибавим и уравненията на материалния баланс за пренос на вещество от течната фаза в твърдата (почвена и коренова система):

$$a_1 \cdot \frac{\partial N_1}{\partial t} = \beta \cdot C_0 \cdot a_0 \quad \text{- пренос в твърдата фаза на почвата,} \quad (15)$$

$$a_2 \cdot \frac{\partial N_2}{\partial t} = \alpha \cdot C_0 \cdot a_0 \quad \text{- пренос в кореновата система,} \quad (16)$$

където:

$N_1; (C_1)$  - концентрация (количество вещество) на метала в твърдата фаза (почвени частици в момента  $t$ ;

$N_2; (C_2)$  - концентрация (количество вещество) в твърдата фаза (коренова система);

$N_0; (C_0)$  - количество вещество (концентрация) на метала във водния разтвор;

$a_0, a_1, a_2$  - обемни части на течната, твърдата фаза и кореновата система.

Уравнението за концентрацията е от втори порядък по  $x$  и от първи порядък по  $t$ , поради което за получаване на решения са необходими две гранични и едно начално условие. Нека в началния момент на почвения профил  $x = 0$  имаме следните начални концентрации на тежки метали в течната и твърдата фази:

$$\left. \begin{array}{l} N_0 = A \cdot \delta \\ N_1 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow t = 0, x = 0 \quad (17)$$

$$\frac{dC_0}{dx} = \frac{dC_1}{dx} = 0 \quad \text{при } x = 0$$

където:

$A$  – концентрация в обемни единици на течната фаза в началния момент от време

$t = 0$ ;

$\delta$  - делта функция.

$$E = \frac{\alpha a_1}{\beta a_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Отчитайки казаното по – горе се получава, че коефициентът  $E$  отразява скоростта на натрупване на тежките метали в кореновата система на растенията.

където:

- $C_1, N_1$  - концентрация или количество на олово в твърдата фаза на почвата;

- $C_2, N_2$  - концентрация или количество на олово в кореновата ситема на конкретния растителен вид.

В случай, че по – горе представените константи и коефициенти са известни, може да бъде определено и конкретното значение на коефициента на натрупване на тежкия метал (в случая олово) в частите на растенията и по – специално в кореновата система.

Установено е, че конкретни сведения за стойностите на константите и коефициентите на поглъщане липсват или са оскъдни, което определя необходимостта от провеждането на

специални статистически изследвания, основани на експериментални данни за установяване на конкретния вид на модела на миграция на оловото в системата „почва – корен“

#### 2.4.2 Математически модел за определяне на най – добрата зависимост на миграцията на олово от почвата в растението – статистическа обработка на данни

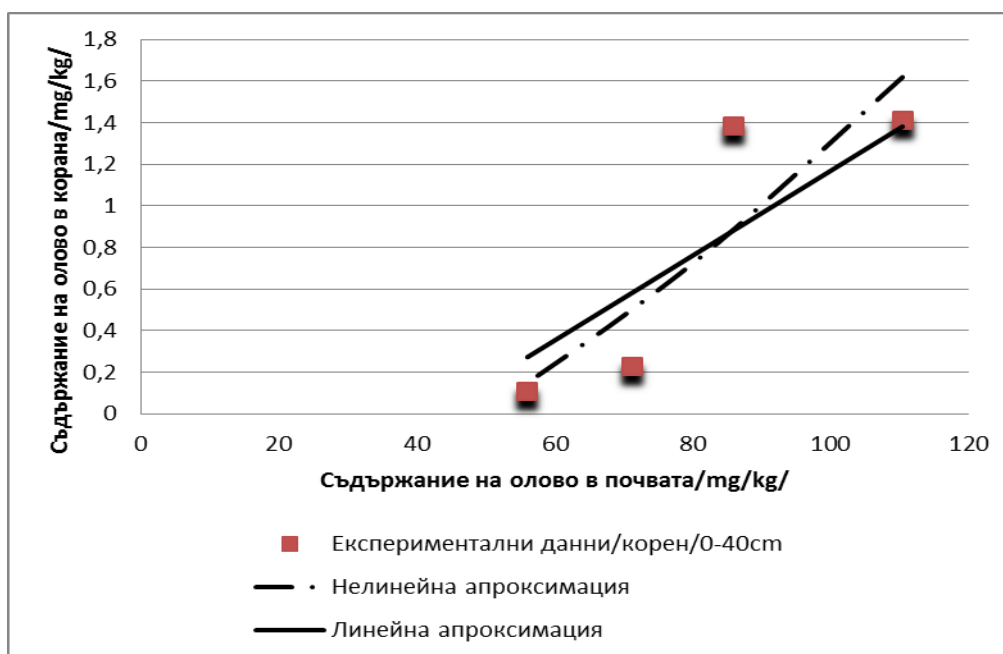
Тъй като моделът, който търсим на базата на статистическите експериментални данни е линеен, използваме известният в литературата метод на най – малките квадрати, известен още като „метод на Гаус на най – добрата права линия“.

На базата на конкретни експериментални данни и заместване в система (63) са получени коефициентите на най – добрата права линия и най – добрата парабола за определяне на миграцията на тежките метали в системата „почва – корен“. Установени са границите на валидност и точност на модела за различни растителни видове.

#### 2.4.3 Реализация на регресионните модели на базата на реални експерименти

##### 2.4.3.1. Експериментално определяне на уравненията описващи миграцията на тежките метали от почвата в кореновата система на растенията

Графично са представени зависимостите на прехода описан с моделите.



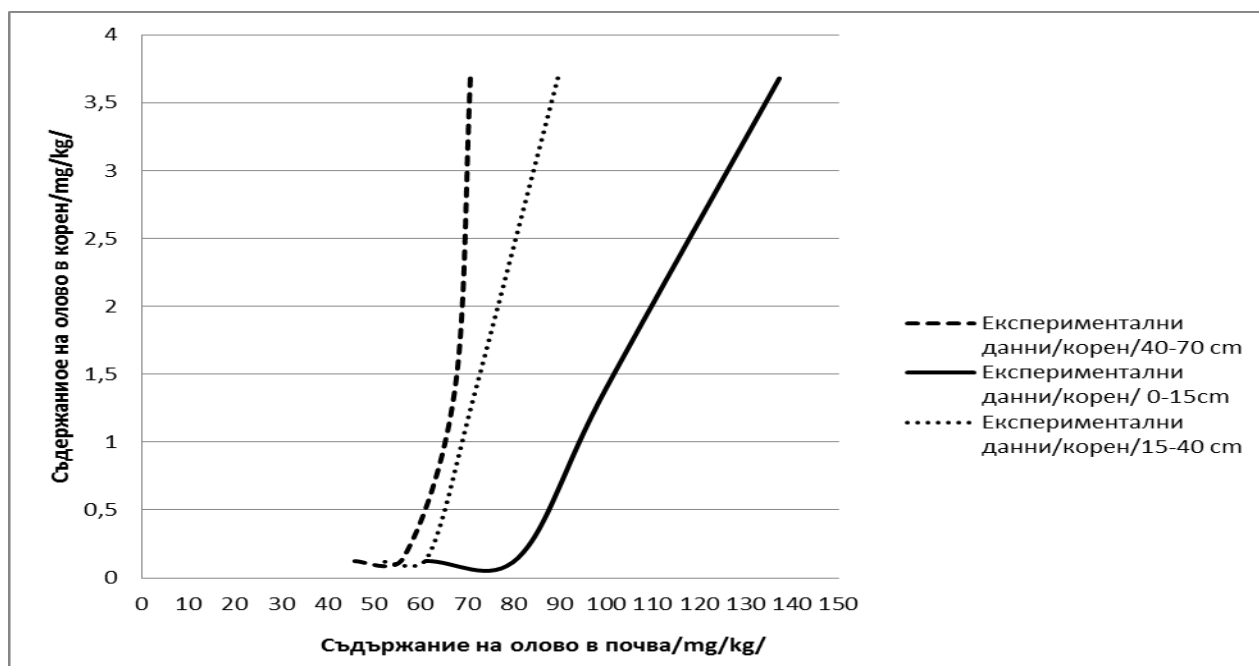
Фиг.27 Миграция на олово „почва – корен“ слънчоглед h=0-40cm

На базата на съображения от физически, математически и логически характер приемаме конкретната стойност на коефициента на линейна миграция:

за слънчоглед :  $K = E = 0,0204$

за лайка  $K = E = 0,04172$





Фиг.28 Миграция на олово „ почва – корен“ в лайка h=0-15cm, h=15-40cm, h=40-70cm

Въпросът за моделиране и определяне на миграцията на олово в системата „почва-корен“ чиято теоретична основа беше доказана е теоретично решена за два конкретни изследвани растителни вида. Определени са линейните, нелинейните коефициенти и границите на валидност на моделите.

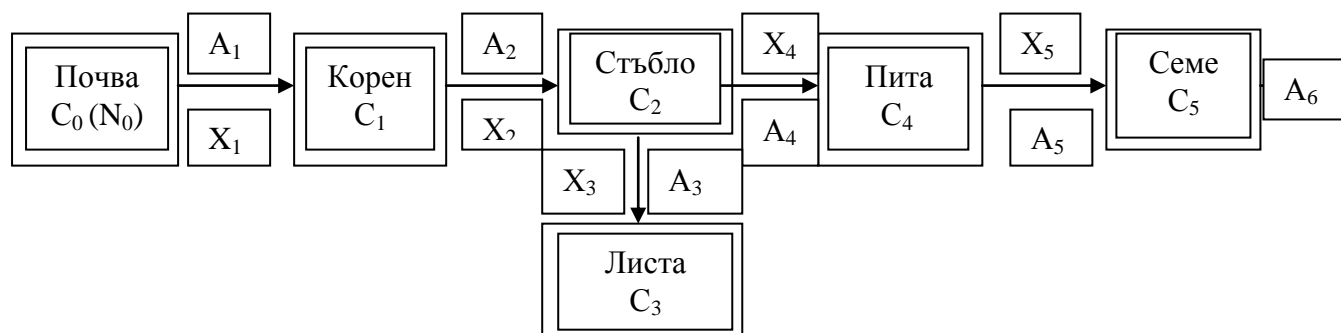
## 2.5 Моделиране на процесите на миграция на тежки метали в системата „почва – растение“

Прогнозирането на измененията на качествения състав в зависимост от съдържанието на олово в отделни фракции на два конкретни растителни вида е изключително сложна за решаване задача. Чрез модели, основаващи се на теорията на последователно свързване на звената, описани с конкретни диференциални уравнения и предавателни функции, са моделирани процесите в три типа системи:

- отворени многокомпонентни системи с вертикално движение на тежките метали между отделните фракции;
- отворени системи с малък брой на растителните фракции;
- затворени системи с различни равновесни състояния.

### 2.5.1 Отворени модели за вертикална миграция на тежки метали в растителните видове

Обект на конкретно изследване в случая е миграцията на тежки метали (олово) по веригата, представено за слънчоглед по схемата на фиг.29.



Фиг.29 Модел на многокомпонентна отворена система - слънчоглед

От гледна точка на теорията на управлението това е една система от последователно свързани звена. Процесите на приемане, натрупване и предаване на вещества във времето се изразяват най-общо с помощта на операторите:

$A_1$  – оператор, изразяващ закономерностите на движение на тежкия метал от почвата в кореновата система;

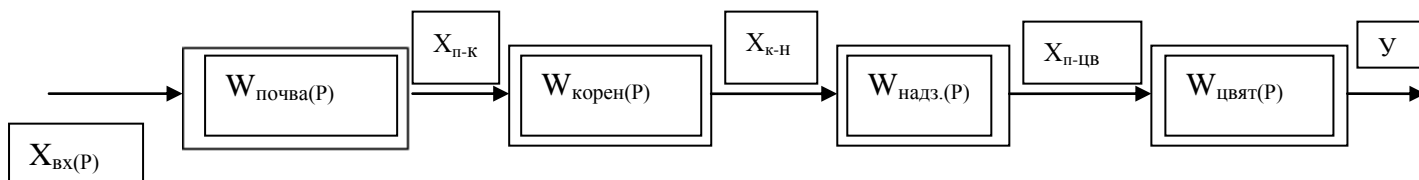
$A_2$  – оператор, описващ закона на движение на метала от корена в стъблото на растението;

$A_3$  – оператор, описващ движението на материята от стъблото в листата на растението;

$A_4$  – оператор, описващ преноса на материя от стъблото в питата на слънчогледа;

$A_5$  – оператор, описващ преноса на замърсителя в семето, което се приема за най-важния краен продукт.

Като друга конкретна задача е разгледана миграцията на олово в системата „почва – надземна част“ на лайка (фиг.42)



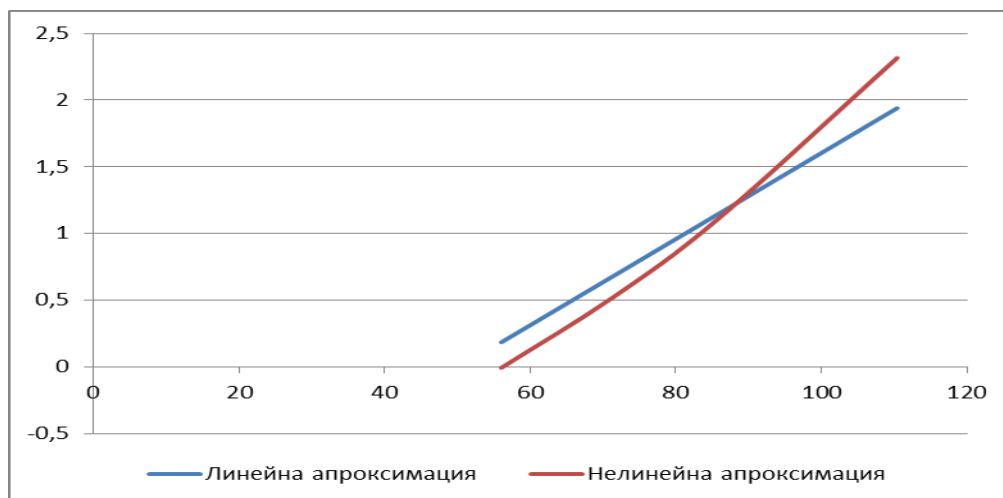
Фиг.42 Модел на многокомпонентна отворена система - лайка

За всяка от самостоятелните растителни фракции са описани и анализирани по два прогностични модела – с постоянни коефициенти на усилване на предавателните функции и с коефициенти на усилване променящи се при изменение на входните величини в целия си диапазон. Предварителните очаквания за по – ниска точност на моделите с постоянни коефициенти в целия диапазон на изменение на входните величини се потвърдиха. Този тип модели, които се основават на идентификация на обектите чрез линеаризация на статичната характеристика  $y(x)$  в избрана точка от нелинейната характеристика са много точни в точката на допирателната, но водят до грешки извън тази точка (фиг.60 от дисертационния труд). Поради това тези модели не представляват интерес.

### 2.5.2 Модели за прогнозиране на вертикалната миграция чрез включване на реални части от обектите в тях

Използван е един сравнително нов подход за изграждането на модела, в случая междинните локални модели са заменени в общия модел на миграция с реална част от физическата или биологическата система. Използвайки началните, междинните и крайните данни за съдържанието на елемента олово са реализирани моделите: „почва – корен“, „почва – стъбло“, „почва – лист“, „почва – пита“ и „почва – семе“ за слънчоглед и „почва – корен“, „почва – стрък“ и „почва – цвят“ за лайка.

Всички те са представени графично.



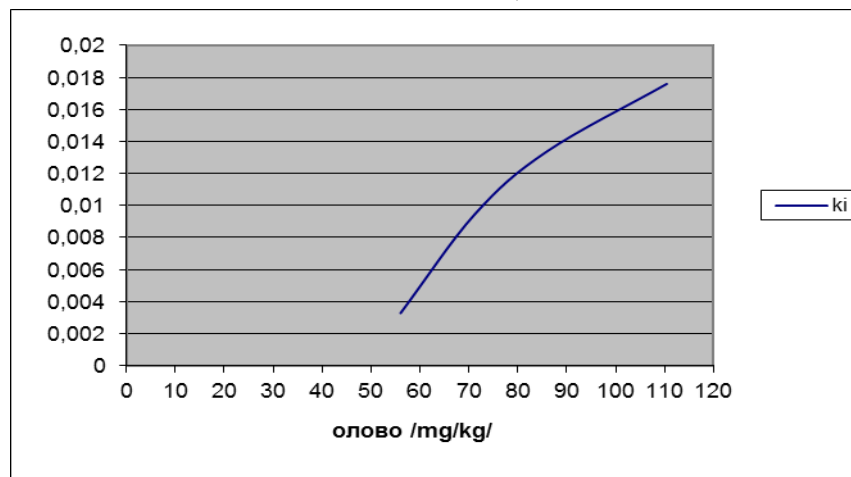
Фиг. 53 Миграция на олово в системата „почва – семе“ в слънчоглед

**Коефициент на усилване в предавателните функции и изходните величини на моделите на миграция**

| x=съдържание на Рвпочва/mg/kg/ | У <sub>експ</sub> =съдържание на Рвсеме/mg/kg/ | k=const |        | k=var          |                     |
|--------------------------------|--|---------|--------|----------------|---------------------|
|                                |  | k       | y=k.x  | k <sub>i</sub> | y=k <sub>i</sub> .x |
| 110,4                          | 2,251  | 0,0323  | 3,566  | 0,0176         | 1,9402              |
| 85,96                          | 1,4322   | 0,0323  | 2,777  | 0,01339        | 1,1508              |
| 71,22                          | 0,131  | 0,0323  | 2,3    | 0,00947        | 0,6747              |
| 56,025                         | 0,1273   | 0,0323  | 1,8096 | 0,00328        | 0,1839              |

$\sigma = 1,6638$

$\sigma = 0,3445$



Фиг. 54 Съдържание на олово в почвата

Модели на прогнозиране от втория тип дават резултати, които са категорично по – точни, отколкото моделите основаващи се на последователния структурен анализ. Свидетелство за това са по малките стойности на квадратичните грешки във всички фракции.

## 2.6 Оценка на съдържанието на тежки метали в растенията по косвени признаци

### 2.6.1 Статистическо разпознаване на образи – математически основи

А. Приемане на оптимални класифициращи решения при едномерни вектори на наблюдение

Задачата е да се намерят най – добрите в предварително избран смисъл оценки на разделящите граници между класовете на състояние.

Отчитайки възможността за достатъчно широк кръг от алгоритми ще приемем използваното в [66] понятие „ оптималност” в Бейсов смисъл. В този случай (при два класа) класифициращото решение се свежда до приемането на онази алтернатива (клас на състояние), чиято апостериорна вероятност е по – голяма т.е.:

$$y \in x_1, \text{ ако } P_1 \cdot f_1(y) > P_2 \cdot f_2(y); (i, j = 1, 2, i \neq j) \quad (94)$$

Или приведено към всяка една от двете алтернативи:

$$\left. \begin{aligned} y \in x_1, \text{ ако } P_1 \cdot f_1(y) > P_2 \cdot f_2(y) \\ y \in x_2, \text{ ако } P_1 \cdot f_1(y) < P_2 \cdot f_2(y) \end{aligned} \right\} \quad (95)$$

При едномодални разпределения може да бъде определена граничната стойност  $y_0$  между двата класа по уравнението:

$$y = y_0, \text{ ако } P_1 \cdot f_1(y) = P_2 \cdot f_2(y) \quad (96)$$

В случай, че разпределенията на признака са нормални, това уравнение става квадратно и придобива вида:

$$\frac{y^2}{2} \cdot \left( \frac{1}{\sigma_2^2} - \frac{1}{\sigma_1^2} \right) + y \left( \frac{\mu_1}{\sigma_1^2} - \frac{\mu_2}{\sigma_2^2} \right) + \left( \frac{\mu_2^2}{2 \cdot \sigma_2^2} - \frac{\mu_1^2}{2 \cdot \sigma_1^2} \right) = \ln \cdot \frac{P_2 \cdot \sigma_1}{P_1 \cdot \sigma_2} \quad (100)$$

Търсената стойност на разделящата граница между класовете на състояние е този корен на уравнението, който се намира между  $\mu_1$  и  $\mu_2$ .

В зависимост от условията на които отговарят разпределенията се получават четири конкретни стратегии за приемане на решение посочени в основния текст на дистерацията 100, 101, 102 или 103.

След определянето на  $y_0$  по една от стратегиите се достига до съвсем прост алгоритъм за разпознаване: Наблюдението  $y_i$  представено за разпознаване се отнася към класа  $x_1$ , ако  $y_i < y_0$ ; в противен случай, то се отнася към  $x_2$ .

При повече от два класа първо се определят границите между всяка двойка от състояния, след което разпознаванията се извършват по същата процедура.

#### Б. Приемане на оптимални класифициращи решения при многомерни вектори на наблюдение

Тази задача се използва при косвена оценка на състоянието на една оценявана екосистема по резултатите от наблюдение на косвени вторични признаци. В този по общ случай разпределенията са многомерни, а функцията на риска при два класа е:

$$R = P_1 + \varepsilon_1 + P_2 + \varepsilon_2 = \int_{\Gamma_1} \dots \int C_{11} \cdot P(x_1) \cdot f(\bar{y}/x_1) \cdot d\bar{y} + \int_{\Gamma_2} \dots \int C_{12} \cdot P(x_1) \cdot f(\bar{y}/x_1) \cdot d\bar{y} + \\ + \int_{\Gamma_2} \dots \int C_{22} \cdot P(x_2) \cdot f(\bar{y}/x_2) \cdot d\bar{y} + \int_{\Gamma_1} \dots \int C_{21} \cdot P(x_2) \cdot f(\bar{y}/x_2) \cdot d\bar{y} = \min \quad (104)$$

За определяне на границата  $y_0$  между двата класа на състояние  $x_1$  и  $x_2$  се изхожда от класическото необходимо условия за наличие на екстремум.

$$\frac{dR}{dy} = 0 \text{ при } \bar{y} = y_0 \quad (107)$$

При това се има предвид, че в многомерния случай границата между класовете на състоянието е съвкупност от (n-1) на брой хиперплоскости и като такава не може да бъде аналитично записано. Може да бъде определена обаче критичната (оптимална) стойност на отношението на правдоподобие:

$$\lambda = f(\bar{y}/x_1) / f(\bar{y}/x_2), \quad (108)$$

по значенията на която се приема класифициращото решение, минимизиращо средния риск.

Установено, че след прилагане на процедурата (107) към функцията на риска (106) се получава следното правило за приемане на решения:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{y}_i \in x_1, \text{ ако } \ln \lambda > \ln \lambda_0 \\ \bar{y}_i \in x_2, \text{ ако } \ln \lambda < \ln \lambda_0 \end{array} \right\} \quad (109)$$

където:

$$\ln \lambda = \ln \frac{f(\bar{y}/x_1)}{f(\bar{y}/x_2)}; \text{ а } \ln \lambda_0 = \ln \frac{P(x_2) \cdot (C_{21} - C_{22})}{P(x_1) \cdot (C_{12} - C_{11})} \quad (110)$$

При необходимост от разпознаване на повече от два класа [94] (многоалтернативна задача) се постъпва по два начина:

1. По вече разгледаните двуалтернативни процедури се провежда разпознаване за всички двойки от класовете (n-1).
2. Съставят се n - на брой еднокласни функции и наблюдението се причислява към класа с най – голямата стойност, получена за конкретното  $y_i$ .

За прилагането на методите на статистическа класификация се преминава през следните етапи:

1. Определяне на броя на класовете на състояние (предварително обучение).
2. Избор на разпознаващия алгоритъм и провеждане на обучение, свеждащо се до определяне на статистическите характеристики по класове (математическо очакване, дисперсии, ковариационни матрици).
3. Разпознаване на представеното наблюдение по вече обучения алгоритъм.

### 2.6.2 Предварително обучение

Целта на предварителното обучение е получаването на достатъчно надеждна информация за брой на класовете на състояние и на границите между тях в обективното пространство на състоянията.

### 2.6.3 Резултати от групиране на данните на базата на предварителните експерименти

А.Направен е дисперсионен анализ за два и три класа на състоянието. Общото заключение е, че различията в съдържанието на олово в почвата при два и при три класа са съществени и могат да послужат при следващо групиране.

Б.Извършено е групиране на данните по участъци чрез дискриминантния критерии по Фишер за оценка на статистическата различимост на данните. Оценена е степента на различие между съдържанието на тежи метали в почвата в зависимост от разстоянието до линейния източник на замърсяването.

Направените изчисления доказват, че:

На хоризонт  $h=0 - 40\text{cm}$  разделянето на данните при два и при три класа е равностойно с малко по – добра разделимост при два класа.

На хоризонт  $h= 15 - 40\text{cm}$  разделимостта на данните в три класа е по – съществена, като най – голяма е тя между първи и трети клас.

В.Данните са групиране по участъци чрез алгоритъм за едномерна класификация

Получени са следните резултати:

При хоризонт  $h= 0 - 40\text{cm}$  двата начина за разделяне на данните са приемливи. Не се изключва обаче и разделянето на три участъка с ширина съответно 5-15m, 15-25m, 25-55m.

#### **2.6.4 Оценка на състоянието на екосистемите чрез многомерно разпознаване по косвени признаци на растителни фракции**

С помощта на този модел се търси постигането на следните цели:

1. Да се направи косвена оценка на съдържанието на тежки метали в почвата без да се провеждат лабораторни изследвания в реално време.
2. Да бъдат установени зоните, в които под влияние на статистически установените граници на вече разгледания основен фактор, се наблюдават изменения в състоянието на растителните фракции.

#### **2.6.5 Оценка на достоверността на многомерното разпознаване по косвени признаци**

В тази част са реализирани разпознаващи процедури, които са разделени на два етапа - обучение и разпознаване. Обучението също се провежда на два етапа. Етапът на предварителното обучение описан в т.2.6.2 и проведен за конкретния случай в т. А, Б, В се състои в определянето на класовете на състояние, които са обект на разпознаване и класифициране по косвени признаци. Установено е, че оценката на съдържанието на олово в почвата е възможно и целесъобразно както в два така и в три участъка с вече определените граници.

Вторият етап на обучението има за задача определянето на общия вид и коефициентите на разпознаващите алгоритми, в съответствие с процедурите за многомерна класификация описана в т.2.6.4 на дисертационния труд.

Направена е оценка на достоверността на разпознаващите процедури, която доказва, че, многомерният алгоритъм за оценка на състоянието на почвата по косвени признаци е добре обучен и показва една достоверност на разпознаването от около 90%. Това е един много задоволителен резултат.

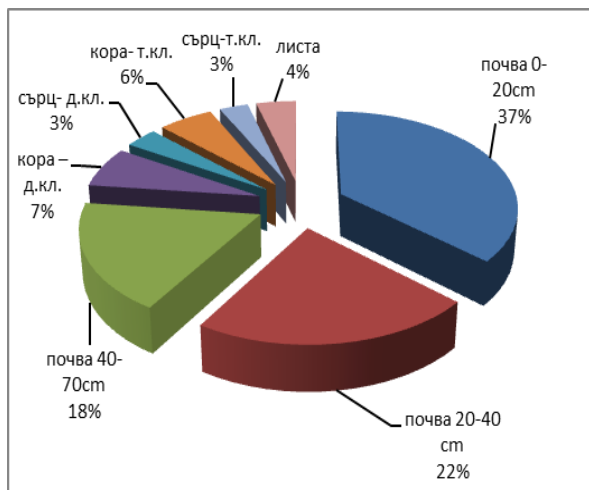
Резултати от този математически модел са достатъчно показателни и полезни. Целта на използването на статистически модели за разпознаване на състоянието на екосистемите по косвени признаци се свежда до намаляване или премахване в определени периоди от време на скъпоструващите и времеотнемащи процедури за лабораторни анализи.

### **ГЛАВА III Изследване на тежкometалното замърсяване в урбоекосистема**

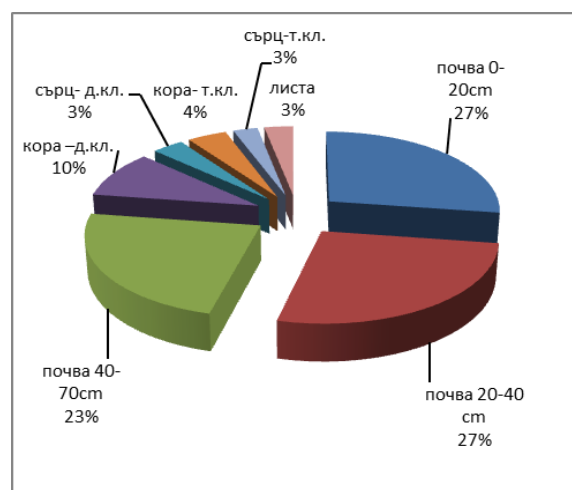
#### **3.1 Фракционна динамика на акумулацията на олово и кадмий в конски кестен**

##### ***Aesculus hippocastanum L.* в урбанизирани /градски/ територии на гр. Варна**

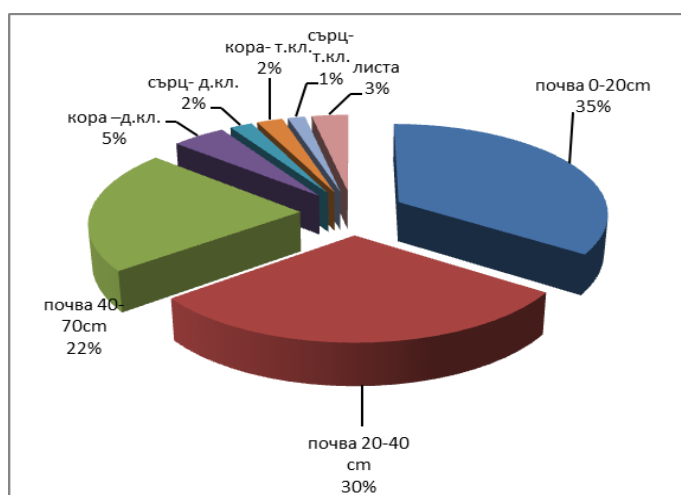
В литературата се срещат много малко данни за замърсяването с тежки метали на фракции на дървесни видове в урбанизирани територии. Едновременно с това наличието на такива данни би било полезно за изясняване на влиянието в такива условия на различни фактори върху фитокумулацията на тежки метали, поведението на различните дървесни видове при такава специфика, възможността за използване на последните като биоиндикатори за интегралното по време замърсяване на останалите компоненти на урбанизираната среда. Направени са химични анализи на фракции от конски кестен / *Aesculus hippocastanum L.* /: кора –д.кл > кора- т.кл > сърц- д.кл > сърц-т.кл и листата на моделни дървета [МД] площад „Полиграфически комбинат“, катедрален храм „Свето Успение Богородично“ и на „Червен площад“. Фракционната динамика на оловото е представена графично за всяко моделно дърво.



Фиг.29 Фракционна динамика на олово в конски кестен „ Полиграфически комбинат“



Фиг.30 Фракционна динамика на олово в конски кестен площад „ Катедрала“



Фиг.31 Фракционна динамика на олово в конски кестен „ Червен площад“

Обобщените изводи, които се налагат при експерименталните резултати получени за дървесния вид конски кестен / *Aesculus hippocastanum L.*/ показват, че най – много олово се натрупва в кората на моделните дървета, след това в сърцевината. Това са многогодишните фракции. И след това са листата, които също акумулират високи концентрации, защото са с голяма повърхност, но са с един вегетационен период. От този анализ се потвърждава, че и както и сега най – натоварено кръстовище е това пред катедрален храм „Свето Успение Богородично”, след това Полиграфически комбинат и най – накрая Червен площад. Съществува правопрпорционална зависимост между съдържанието на олово в горния почвен слой спрямо това във фракциите.

Констатациите са валидни за изследваните агро, урбо и природни екосистеми, те показват, че съществува проблем със замърсяване с тежки метали и тяхната миграция, който трябва да бъде решаван. Само на база експериментални изследвания е невъзможно решаването на конкретните задачи на управлението. Очевидна е необходимост от експериментални данни, с които да бъдат захранени конкретни модели, които след това да бъдат използвани в системата за управление.

В началото всяка конкретна разработка трябва да съдържа конкретни модели от вида „външни условия, управляеми параметри, обратни връзки, регулиращи въздействия.

В резултат на направените експерименти и получените резултати за акумулацията на тежките метали в почви и растителни фракции, както и на количествените и качествените характеристики на почвената микрофлора е установено, че получените данни са недостатъчни за създаването на общ модел за управление на този вид замърсяване. Остава

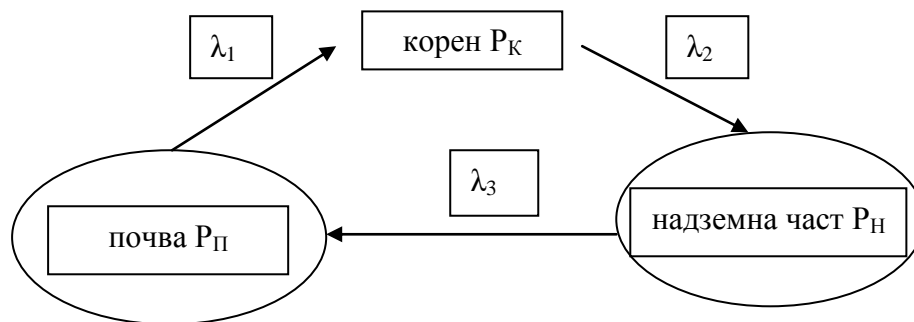
нерешен въпросът и с прогнозирането на замърсяването с металотоксиканти в почвата и тяхната миграция в различни растителни фракции.

### 3.2 Моделиране на процесите на миграция на тежки метали между компонентите на затворени системи от типа „почва – растение – почва“

#### 3.2.1 Обща постановка

Този вид модели са създадени на база цикличността на жизнения процес, които се проявява в динамиката на висшите растения, образуващи основната маса на живото вещество. В планетарен мащаб са правени глобални изследвания, чиято цел е да бъдат оценени ориентировъчните количества на различните химически елементи въввлечени в годишния глобален биологически цикъл, но локалните биологични цикли са слабо изучени. Съществуват някои сведения, за изключения, имащи за цел установяването на цикличния обмен на определени химически елементи в затворената система „почва – растение - почва“.

Разгледана е затворената система, състояща се от три компонента : почва - коренова фракция - надземна част на растението (фиг.74).



Фиг.75 Схема на трикомпонентна затворена система

При следните начални условия:

1. В началния момент в системата се въвежда (например от атмосферата) концентрация  $C_0$  от замърсяващото вещество (например олово);
2. Между компонентите на системата се осъществява обмен на веществото с интензивности:

$\lambda_1$  - интензивност на прехода на веществото от почвата в кореновата система на растението (например определен дървесен вид в урбоекосистема);

$\lambda_2$  - интензивност на прехода на веществото от кореновата система в надземната част на растението;

$\lambda_3$  - интензивност на прехода на веществото от надземната част на растението в почвата.

Състоянието на системата се характеризира с вероятностите  $P_i$  за намиране на замърсяващото вещество във всяка от съставните части:

$P_П$  - вероятност за намиране на замърсителя в почвата;

$P_K$  - вероятност за намиране на замърсителя в кореновата система на растението;

$P_H$  - вероятност за намиране на замърсителя в надземната част на растението.

#### 3.2.2 Формулировка на задачите

Състоянието на системата се описва чрез следните уравнения:



$$\left. \begin{aligned} P_{II}(t + \Delta t) &= P_{II}(t)(1 - \lambda_1 \cdot \Delta t) + \lambda_3 \cdot P_H(t) \cdot \Delta t \\ P_K(t + \Delta t) &= P_K(t)(1 - \lambda_2 \cdot \Delta t) + \lambda_1 \cdot P_{II}(t) \cdot \Delta t \\ P_H(t + \Delta t) &= P_H(t)(1 - \lambda_3 \cdot \Delta t) + \lambda_2 \cdot P_K(t) \cdot \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (126)$$

След решаването и окончателно резултата е:

$$P_{II} = \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_3}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3 + \lambda_2 \cdot \lambda_3}$$

$$P_H = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3 + \lambda_2 \cdot \lambda_3}$$

$$P_K = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_3}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3 + \lambda_2 \cdot \lambda_3}$$

Ако преминем от вероятности към концентрации  $C_i$  или количества  $N_i$  като имаме предвид, че  $C_0 = C_{II} + C_K + C_H$  получаваме:

**За концентрации:**

$$C_{II} = \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_3}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3 + \lambda_2 \cdot \lambda_3} \cdot C_0$$

$$C_H = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3 + \lambda_2 \cdot \lambda_3} \cdot C_0$$

$$C_K = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_3}{\lambda_1 \cdot \lambda_2 + \lambda_1 \cdot \lambda_3 + \lambda_2 \cdot \lambda_3} \cdot C_0$$

**За количества:**

$$N_{II} = P_{II} \cdot N_0$$

$$N_H = P_H \cdot N_0$$

$$N_K = P_K \cdot N_0$$

### **3.2.3 Експериментално определяне на миграцията на олово в затворена система „почва – растение - почва“ /урбоекосистема/**

След направените замествания и математически изчисления се получава:

$$\lambda_1 = 0,0353, \quad \lambda_2 = 2,93, \quad \lambda_3 = 9,67$$

$$P_{II} = 0,9828; \quad P_K = 0,0136; \quad P_H = 0,0036$$

От изнесените експериментални данни ясно се вижда, че съдържанието на олово в почвата е нараснало от 2007г. до 2013г. с 13mg/kg. Използвайки възможностите на математическия модел и след направените изчисления данните за съдържание на олово в почва, коренова система и надземна част на конкретно изследвания вид са:  $C_{II} = 128,799$ ,  $C_K = 4,2545$   $C_H = 12,0468$  mg/kg.

При представени моделни и експериментални резултати, отчитащи интензивността на прехода на олово в отворената система „почва – растение“ общата картина не се променя.

Закономерности, които се наблюдават за акумулацията на оловото в почвата и частичната му миграция в системата при експерименталните данни се запазват и при данните получени от прилагането на математическия модел.

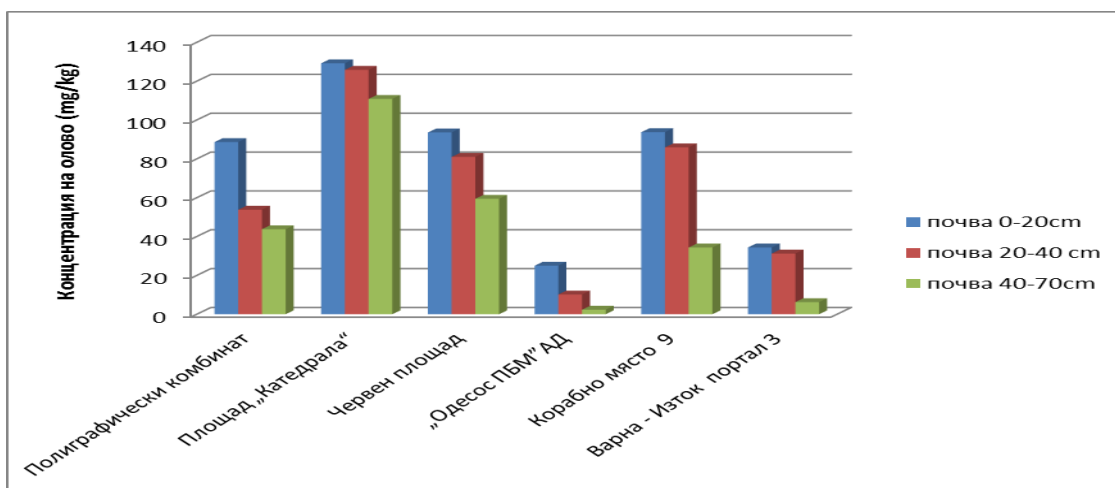
### 3.3. Изследване и анализ на концентрацията на олово в почви от района на Пристанищен терминал Варна – Изток част от Пристанище за обществен транспорт с национално значение Варна

Тази част на дисертационния труд е разработена по две причини: 1) Пристанищен терминал Варна - Изток е изключително важна част от урбанизираната система на гр. Варна, то е в непосредствена близост с историческия център на града, съществува проект тази територия да се отвори към града и да се реализира в урбанистичен план връзката “град-море”; [72]; 2) за да бъде проследено замърсяването на почвите с олово по пътя от местата на производство на зърнено – житен култури до мястото на техния износ.

Направен е обзор на нормативната база свързана правния режим на морските пространства, вътрешните водни пътища и пристанищата на Република България.

Анализирани са климатичните условия на Пристанищен терминал Варна - Изток, които оказват въздействие върху разпространението на замърсители в района.

Проследено е тежкометалното замърсяване на почвата и зърнено – житени култури по пътя от тяхното отглеждане и добив (Добруджански район) до мястото за износ (Пристанищен терминал Варна - Изток). Данните са представени в таблица. 52 от дисертационния труд. Сравнени са на данните за концентрацията на олово в почвените хоризонти от трите експериментални площи на Пристанище Варна с тези от трите пункта на пробовземане от централната част на гр. Варна



Фиг. 88 Концентрация на олово (mg/kg) в урбанизирана екосистема

Съгласно изложените данни може да се твърди, че Пристанищен терминал Варна - Изток не е замърсител с тежки метали и не допринася за допълнителното влошаване на екологичната обстановка в гр. Варна.

В резултат на направените анализи на пшеница сорт „Енола“ е установено, че съдържание на олово и кадмий в пробата са под граница на количествено определяне за олово и кадмий - ГКО олово - 0,290552 mg/kg; ГКО кадмий - 0,241100 mg/kg, което е доказателство за това, че в конкретния изследван случай няма замърсяване с металотоксиканти над определените стойности.

## ГЛАВА IV Математическото моделиране като част от управлението на тежкометалното замърсяване на екосистемите

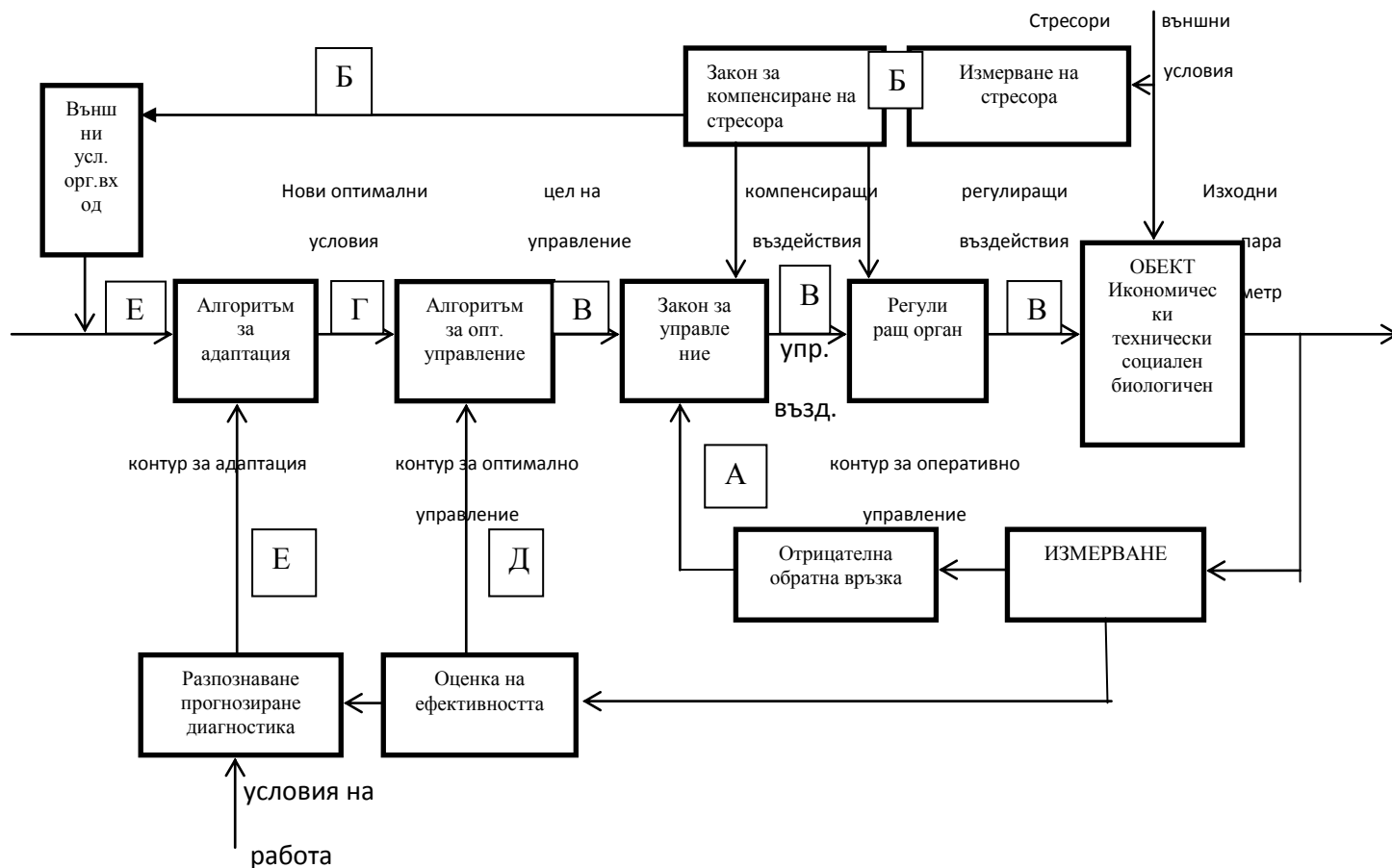
### 4.1. Обща характеристика на системите за управление

Изискванията към системата за управление е да притежава свойствата управляемост, оптималност и адаптивност. Тези изисквания, закономерности и общи принципи се отнасят, както към технически, така и към икономически, биологични, екологични и социални системи. В конкретно решаваните задачи вниманието е насочено към обособени природни,

агро и урбоекосистеми. Важно значение при изграждането на системите за управление на екосредата има изясняването на техните цели, задачи и структура с достатъчна степен на общност и универсалност, към която лесно да бъдат вписани вътрешните свойства на обекта и особеностите на външната среда

#### 4.2. Място на моделите при управлението на тежкометалното замърсяване на екосистемите

Представена е схема на една комбинирана система за управление, изпълняваща всички описани функции. В структурата на системата фиг.88 са ясно представени отделните функционални елементи и тяхната йерархична подреденост: обект, измервателна подсистема, закон на регулиране и управление, алгоритми за оптимизация и адаптация, компенсатор на съществените смущения (стресори), инструмент за организация и формиране на дългосрочните стратегически цели.



Фиг. 88 Система за управление на тежкометално замърсяване

В зависимост от вида и мястото на въздействие на обратните връзки се формират глобални и локални цели на управлението, на базата на която е направена следната класификация на системата и решаваните от тях задачи (фиг.88):

- А) Системи за стабилизация на основния изходен показател.
- Б) Системи за компенсация по основно външно въздействие.
- В) Системи за управление.
- Г) Системи за оптимално управление.
- Д) Адаптивни системи за управление.

Е) Системи с променлива структура и организация, при които досегашните принципи на управление не са дали задоволителен резултат.

За да адаптираме максимално системата към конкретния обект е описан вида и физическия смисъл на информацията.

**Външна среда в (организационен вход) „Блок за формиране на стратегическата цел на управление“.** При формиране на дългосрочните стратегически цели за управление би

следвало да се отчитат следните фактори описани конкретно в основния текст на дисертацията:

*А. Политика и нормативна база*

*Б. Традиции в индустриалния сектор и обществото*

*В. Технологии и ресурси*

*Управляващи въздействия – това са мерки и мероприятия подробно описани в дисертационния труд.*

*Място и функции на моделирането в обратните връзки на управляващите контури*

### **Източници на информация в системата за управление на тежкометални замърсявания.**

В този основен блок на системата за управление, наречен условно „измерване“, се включват данни от преки измервания, теоретични изследвания (т. 2.1; 3.1; 3.3), резултати от предходни изследвания публикувани в литературата, собствени експерименти и анализи, получени в резултат на предварително планирани и проведени активни експерименти по методика изложена в т.1.2.3 (Методи на изследване) и при изследвания в реално време представени в моделите за разпознаване в т.2.6 (Оценка на съдържанието на тежки метали в растенията по косвени признаци). Част от данните като масиви от преки наблюдения или лабораторни изследвания се насочва към контура за оперативно управление, а друга част след включването им в подходящи разпознаващи и прогностични процедури, запазва с информация контурите за оптимално управление, адаптация и организация. Основните източници и начини за набиране на информация се определят по схемите, описани в моделите за кръговрата и вертикалната миграция на тежки метали, описани в т.2.5 (Моделиране на процесите на миграция на тежки метали в системата „почва – растение“) и т.3.2 (Моделиране на процесите на миграция на тежки метали между компонентите на затворени системи от типа „почва – растение – почва“).

### **Контури:**

- Контур на регулиране и стабилизация на основния изходен показател, състоящ се от източник на информация, отрицателна обратна връзка, пропорционални регулатори, регулиращи органи и обекти (контур А). Тук се включват моделите за приблизителна оценка на съдържанието на тежки метали върху растенията по косвени признаци описани в т.2.6.

- Контур за управление на съдържанието на тежки метали в растителните фракции (В). Той е надстроен и обхваща регулиращия контур (А) и в този смисъл се запазва с информация, получена от моделите от основната обратна връзка. Допълнително звено в този контур е т. нар. „закон за управление“, който формира пропорционални управляващи въздействия по схемата. Заданията на многоканалните регулатори представляват масиви от препоръчвани коефициенти на усилване, получени от моделирането на процесите на миграция на тежки метали в системата „почва – растение“ описан в т.2.4; 2.5; 3.2.

- Контур за компенсация на съществените външни смущения (Б). В този контур чрез моделиране на влиянието на автомобилния трафик върху емисиите и акумулацията на тежки метали е определено най – същественото външно въздействие в системата за управление на съдържанието на олово в почвата и в растителните фракции. Този модел е описан в т.2.3 – Модел за оценка и прогнозиране на съдържанието на тежки метали (олово) в почвата по второкласен път II-29 Варна – Добрич. Получените прогнозни резултати са послужили като основание за въвеждането на законодателни корекции в системата за управление и експлоатация на трафика, които са постъпили в т.нар. „организационен вход“. За периодическа оценка и прогнози на съдържанието на тежки метали в крайпътните територии се предвижда използването на моделите за движение на тежките метали в системата „почва-корен“ с помощта на модела, основаващ се на частните диференциални уравнения на Фик описан в т.2.4 – Модел на вертикална миграция на тежки метали в системата „почва – растение“ с преходни коефициенти, определени по моделите за вертикална миграция.

- Контур за оптимално управление (Д). Надстроен над контура за оперативно управление (В). Тук се използват аналитичните модели за определяне на кръговрата на

тежки метали в отворени агроecosистеми описан в т.2.5 – Модел на вертикална миграция на тежки метали в системата „почва – растение“ и в затворени урбо ecosистеми описан в т.3.2 – Моделиране на процесите на миграция на тежки метали между компонентите на затворени системи от типа „почва – растение – почва“. Пресметнатите оптимални стойности на преходните коефициенти между отделните фракции постъпват през канала за оптимално управление към подсистемата за оперативен контрол. Моделите за оптимално разделяне на ecosистемата на класове, използване на едномерно разпознаване и подход на Фишер описан в т.2.6 ( Приблизителна оценка на съдържанието на тежки метали върху растенията по косвени признаци ) се използват в схемата за предварително обучение.

- Контур за разпознаване, прогнозиране, диагностика и адаптация (Е – измерване, оценка на ефективността, разпознаване, адаптация с изход (Г) към контура за оптимално управление). Тук се използват адаптивните модели за обучение, разпознаване и прогнозиране по преки и косвени признаци (т.3.2, Моделиране на процесите на миграция на тежки метали между компонентите на затворени системи от типа „почва – растение – почва“, т.2.6 ( Приблизителна оценка на съдържанието на тежки метали върху растенията по косвени признаци).

- Контур за организация и нормативна база. Тук се определят генералните цели и ограничения в системата за управление и използване на всички разработени модели за имитационно моделиране и за обработка и анализ на съществуващи или нови общи или специални нормативи.

В заключение към тази глава отбелязваме, че процедурата за синтез на общ алгоритъм за управление, в която са намерили място всички разработени от нас модели и алгоритми е отворена и може да бъде усъвършенствана в бъдеще.

## **ОБОБЩЕНИЯ И ИЗВОДИ**

### *Изводи*

Направените химични изследвания, включващи експерименти на осем пробни площи, както и анализиране на голям брой растителни фракции на дървесни и тревни видове, създаване на собствена база данни в подходяща за цифрова обработка форма и последващи числени и логически процедури за пресмятане и анализ, дават възможност да бъдат направени следните изводи:

1. Урбо и агроecosистемите локализируют тежкometалното замърсяване от автотранспорта в непосредствена близост до пътища и магистрали /до 20m/.

2. В хоризонтална посока зоната с интензивно замърсяване на почвите се ограничават в първите 10m между пътното платно и насаждението. С отдалечаване от източника на замърсяване на 20m и 50m натрупването на тежки метали в почвите и в растителните фракции на различни дървесни, тревисти и културни видове значително намалява. Натрупването на тежки метали зависи от морфологичните особености на конкретния растителен вид, от метеорологичните фактори и релефа на терена. Влиянието на външните фактори върху степента на замърсяването е по – силно изразено за почвата, отколкото при растителността, тъй като натрупването на тежките метали в почвата има кумулативен характер и практически нейното почистване е невъзможно.

3. Вертикалната миграция на тежките метали се ограничават в повърхностния почвен слой до 40cm. Тя се влияе от рН на почвата и от количеството органично вещество в изследваните почви.

4. Рязкото намаляване на количеството на оловото по почвения профил и в растителността доказва антропогенният аерозолен характер на замърсяването.

5. Оловото влияе отрицателно върху различните морфологични показатели на изследваните културни видове, което може да се използва като диагностичен признак за съдържанието на металотоксиканта в почвата.

6. Пристанищен терминал Варна – Изток е част от пристанище за обществен транспорт с национално значение Варна, в резултат на дейността му се наблюдават комплексни влияния върху компонентите на околната среда. Поради климатичните и географските условия в района се осъществява концентрация на замърсители, които не водят до влошаване на екологичната обстановка в гр. Варна. Може да се счита, че Пристанищен терминал Варна – Изток не е източник на наднормено тежкометално замърсяване за урбанизираната територия на града.

7. Изготвените планове и програми за свеждане до минимум на замърсяванията в района на пристанището свидетелстват за това, че са покрити всички изисквания за опазването на околната среда. При такъв вид дейност е невъзможно да се анулират напълно замърсяванията, но са взети мерки за тяхното ограничаване.

8. Извършваните товаро – разтоварни дейности на зърнено – житни култури на територията на Пристанище Варна не водят до повишаване концентрациите на тежки метали (олово и кадмий) в продукцията.

9. Създадени са математически модели, основните данни, които са използвани в тях най – общо могат да се разделят на три групи – по литературни данни, експериментални данни в реално време и данни получени чрез изчисления от вече съставени математически модели.

10. Създаден е модел за определяне на влиянието на автомобилния трафик върху емисиите и акумулацията на тежки метали в почвата и растителните фракции.

11. Моделиран е процесът на миграция на олово в системата „почва – корен“ и „почва – растения“ чрез система диференциални уравнения, който на базата на експериментални данни определят стойностите на коефициентите за натрупване на металотоксиканта в отделни растителни фракции на точно определени отстояния от източника на замърсяване.

12. Създадени са модели за определяне на кръговрата на тежки метали в отворени агроecosистеми и в затворени урбоекосистеми. Пресметнати са оптимални стойности на преходните коефициенти между отделните фракции

13. Използвайки оптималното разделяне на екосистемата на класове и адаптивните модели за обучение, разпознаване и прогнозиране по преки и косвени признаци е съставен модел за определяне на съдържанието на тежки метали по морфологични признаци на растителните видове.

14. Разработените от нас модели са тествани и валидни за почвени профили от агро и урбоекосистема. Моделите са валидирани на базата не само на наши експериментални изследвания, а и на литературни данни.

### ***Други възможни приложения***

Темата на настоящата разработка може да бъде продължена с натрупване на нови експериментални данни за други периоди, както и чрез провеждането на допълнителни експерименти, определящи количеството на други металотоксиканти в почвени или растителни проби.

Разработените от нас модели могат да бъдат разширени : чрез добавяне на допълнителни компоненти участващи в хранителните вериги, мрежи и пирамиди; чрез изследване на други растителни видове имащи способността да извличат в по – голяма степен тежките метали от почвата чрез използването им за прогнозиране на състава и активността на почвените микроорганизми.

## **НАУЧНИ, НАУЧНО – ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ**

I. Приноси с елементи от научен характер, даващи основа за получаване на нови и потвърдителни факти в областта на миграция на различни замърсители в отворени и затворени екосистеми.

1.1. Разработен е нов подход за управление на замърсяването на природни, агро и урбоекосистеми, включващ комбинирани теоретико – експериментални модели, процедури за пряко и косвено оценяване, анализ и прогнозиране на миграцията на конкретни елементи и обратни връзки от механичен, биологичен, организационен и законодателен характер.

II. Научно приложни приноси, свеждащи се до обогатяване на съществуващите знания, на базата на конкретни изследвания и модели.

2.1. Определени са биохимични показатели като индикатори на екзогенно въздействие върху антропогенни почви. Определени са взаимовръзки между, биохимични и химични параметри на антропогенни, агрогенни и природни почви.

2.2. Разработен е комбиниран теоретико – емпиричен модел за оценка и прогнозиране на миграцията на тежки метали в системата „почва – корен“. Аналитичната част на модела се основава на използването на фундаменталните зависимости на масообмена, а експерименталната – на конкретизиране на общия модел със собствени експериментални резултати, получени за конкретни растителни видове.

2.3. Разработени са два типа модели за оценка и прогнозиране на миграцията на тежки метали в отворени системи от вид „почва – растение“. Моделите са апробирани на базата на собствени експерименти, като са определени и техните граници на валидност, точност и адекватност за различни растителни видове.

2.4. Разработен и реализиран е модел за оценка и прогнозиране на миграцията на тежки метали в затворени системи от типа „почва – растение – почва“. Моделът е изграден като комбинация от регресионен анализ и теория на масовото обслужване и е приложен за прогнозиране на съдържанието на тежки метали в затворени урбо и природни екосистеми.

2.5. Разработен е модел за косвена оценка и прогнозиране на съдържанието на тежки метали в района на източниците на техногенно замърсяване. Моделът се основава на методите за статистическо разпознаване на образи, а апробацията му е направена на базата на специални планирани и проведени активни експерименти.

### III. Приложни приноси

3.1 Извършен е химичен анализ на съдържанието на металотоксиканти в почви и растителни фракции от природни, агро и урбоекосистеми по основни химични и параметри.

3.2. Разработена е методика за обработка на експериментални данни за оценка на тежкометално замърсяване в почвени и растителни видове.

3.3. Създадена е основа за изграждане на база от данни за съдържанието на тежки метали в почви и растителни фракции на различни видове.

3.4. Предложени са мероприятия на заинтересовани страни (ползватели на земеделска земя, контролни органи) за защита и намаляване на влиянието на тежкометалното замърсяване.

### **Публикации по дисертационния труд**

1. Динков, Д. И., Атанасова, П. Н., Спасова, Я. К., Бежарова, Ж.Е. Моделиране на замърсяването с тежки метали в околната среда, сп. Машиностроителна техника и технологии изд. Научно – технически съюз Варна – ТУ Варна книжка 1/2011г. стр. 99

2. Наскова, П. Моделиране на замърсяването с тежки метали в агрокосистеми сп. Машиностроителна техника и технологии изд. Научно – технически съюз Варна – ТУ Варна книжка 1/2013г. стр. 73

3. Недев, А., Наскова, П., Андреев, Д. Оценка на състоянието на технически и екологични системи с използване на теорията на разпознаване на образи, сп. Устойчиво развитие, изд. Асоциация „Екология, земеделие, образование и наука“, 1(22)2015г. стр.24

4. Наскова, П. Математически модел за оценка и прогнозиране на съдържанието на олово в почвата по пътя Варна – Добрич, сп. Устойчиво развитие, изд. Асоциация „Екология, земеделие, образование и наука“, 1(22)2015г. стр.105