

## **Оптимизиране и прилагане на екологичен мониторинг при замърсени с тежки метали почви**

**Николай Динев, Виктория Нечева\*, Люба Димова**

*ИПАЗР „Н.Пушкаргов“*

*\*Биологически факултет, СУ „Св. Кл. Охридски“*

**Email:** ndinev@iss-poushkarov.org

### **Резюме**

Националната мрежа за оценка на тежкометалното натоварване на почвите има като приоритет избора, разпознаването и прилагането на качествени и репрезентативни индикатори и количествени стойности на критериите. Най-често коментираните такива са свързани с почвените особености и ранни рецептори на въздействието на замърсителите. Разгледани са нови и по-слабо инвазивни фактори за оценка на риска - биологична достъпност на замърсителите, микробиологичните промени, възможността за ползване на почвени животни като индикатори. Представени са примери (стоманодобив - Кремиковци и оловно-цинков завод - Пловдив/Куклен) за приложението на системния подход при оценка на замърсяването и планирането на подходящата система на земеползване с фиторемедиационен или фитостабилизационен план. Натрупаните чрез подобни експерименти знания могат да се ползват за приложение в стройна система за ремедиация на замърсените земи.

**Ключови думи:** индикатори, фиторемедиация, последователна екстракция

## **Optimization and implementation of ecological monitoring of soils contaminated with heavy metals**

**Nikolai Dinev, Viktoriya Necheva\*, Lyuba Dimova**

*Institute of soil science, agrotechnologies and ecology “N.Poushkarov”, Sofia*

*\*Faculty of Biology, Sofia University “St.Kl.Ohridski*

### **Summary**

The national network for the evaluation of heavy metal contamination of soils has as a priority the selection, recognition and implementation of qualitative and quantitative indicators of representative values of the criteria. Most often such commented are related to soil characteristics and early impact of the receptors of pollutants. Explored are new and less-invasive risk assessment factors- such as the biological availability of contaminants, microbiological changes, the ability to use as indicators of soil animals. In article are presented examples (steel-plant and lead-zinc plant-KCM Plovdiv/ Kuklen) for application of system approach in pollution assessment and planning of appropriate system of land use with hytoremediacionen or phytostabilizacionen plan. Accumulated through similar experiments, knowledge can be used for application in a coherent system for remediation of contaminated lands.

**Key words:** indicators, phytoremediation, sequential extraction

През последните години се наблюдават значителни, качествени промени, по отношение на биосферата. Това налага все по-подробно и детайлно изучаване и контролиране на отделните ѝ компоненти. Докато в естествените системи биоценозите се стремят и постигат рано или късно вътрешно равновесие, в създадените и управлявани системи от човека – агроecosystemите, ситуацията драматично се променя. Стремешът към по-бързо и лесно получаване на блага, свързани с особеностите на почвата (плодородие, буферност и др.), води до изява на редица негативни процеси. Обединени като деградации (дължащи се на физични или химични нарушения), те лимитират устойчивостта на системата и в много случаи рефлектират върху качеството на живот (на човека) и самото съществуване (на флората и фауната). Именно поради това се налага прецизно оценяване, планиране, управление и контролиране на агроценозите. Особено внимание при това се обръща на почвата (Montanarella, L. 2002). Като ограничен природен ресурс, тя се явява своеобразно богатство за отделните райони и страни. Това изисква и обща грижа за поддържане на почвата в състояние за устойчиво управление.

Особено драматични са промените, дължащи се на антропогенното въздействие, в частност – в резултат от техногенното замърсяване. Това обикновено е свързано с изменения в химичните характеристики (химична деградация), водещи до излишък или недостиг на определени субстанции (Малинова, Л. 2010). Трайно въздействие при това оказва химичното замърсяване на почвата с тежки метали и металоиди.

В настоящата разработка се прави опит за разширяване на познанията по отношение на проучването на такива зони в страната, и от друга страна – предложения за възстановяване и/или екологосъобразно ползване на вече увредени земи.

В резултат на присъединяването на страната към ЕС се наложи привързването на страната към единна оценъчна рамка по отношение на мониторинга на почвите. Разработената по договор с МОСВ мрежа за наблюдение на

три нива, дава възможност за създаване на репрезентативна база данни (ДОГОВОР 3450/2003 МОСВ-ИП, Н. Динев и кол.). Основното ниво се поддържа от структури на МОСВ (ИАПР).

Основен въпрос, който стои пред получаването на обективна картина за състоянието на почвите, е изборът на характерни показатели. Те трябва да бъдат полезни за оценката. Работна група по Система за Оценка на Устойчивото Управление на Земите (СОУУЗ) дефинира ключовите понятия (Finn et al., 2002):

Индикатори – статистически факти, с които се измерва или отразява статуса на околната среда или промените в условията.

Критерии – стандарти или правила (модели, тестове, мерки), които дават насока на решенията за околната среда (оценка върху количеството, качеството на добива и т.н).

Прагове – равнища, над или под които системата претърпява значителна промяна, точките, при които влиянието провокира реакция.

Установяването на прагови стойности чрез прилагане на критериите за определяне на индикаторите е предизвикателство за съвременното научно знание.

**Нови и алтернативни индикатори и критерии за оценка на тежкометалното замърсяване на почвите**

Националната мрежа за оценка на тежкометалното натоварване на почвите има като приоритет избора, разпознаването и прилагането на качествени и репрезентативни индикатори и количествени стойности на критериите. Най-често коментираните такива са свързани с почвените особености и ранни рецептори на въздействието на замърсителите.

**Достъпност (мобилност) на тежките метали**

Биологичната достъпност на металите може да се дефинира като индикатор, показващ каква част от замърсителя е достатъчно лесно подвижен за усвояване (главно от растенията) и може да предизвиква ефект върху човека или други организми. Биодостъпността е свързана директно с експозицията (директно излагане

на въздействието на замърсителя) и риска, т.е. по-ниска биодостъпност отговаря на намалена доза на експозиция и риск (Alloway, B. J. 1995). От друга страна тя е свързана с риска при ремедиацията на почвата. Биодостъпността може да се повлияе чрез външни физични и химични фактори. При тежкometалното замърсяване усвояването на метали от растения или животни е комплексен и динамичен процес, включващ всички нива на екологичната верига. Растенията и животните поемат биодостъпни метали от почви, води, седименти чрез директен контакт от повърхността. Като допълнение животните могат да поемат биодостъпни метали чрез храната.

Биодостъпността на тежките метали се изпитва чрез различни тестове. Обикновено се подбират тест култури, които позволяват бърз и адекватен отговор. В редица случаи се предпочита паралелно с извеждането на тест – опити да се оптимизират и по-достъпни начини за оценка и прогнозиране на поведението на металите – замърсители. Това са т.нар. секвенционални техники, позволяващи разделяне на металите със специфични екстрагенти и определяне на разпределението на металите в тези фракции.

#### **Микроорганизми като индикатори**

В почвените екосистеми микроорганизмите изпълняват централна роля и определят важни почвени функции. Поради това в почвената екология се предпочитат количествени функционални характеристики. Най-използвани са методите за оценка на дишането, определяне на биомасата и специфични ензимни активности. Тези параметри не могат да се ползват самостоятелно, поради недостатъка, че дават екстремно вариращи резултати, както във времето, така и в пространството и самостоятелно класификационна схема на базата на тези данни е възможна с голяма приблизителност. Въпреки това, поради централната роля на микроорганизмите в почвената екосистема е необходимо разработване на този подход и интегрирането му с други индикаторни параметри. Една от най-важните характеристики на почвата е способността ѝ да

филтрира, адсорбира и утаява попадащите на повърхността ѝ субстанции. Присъствието на значителни концентрации на различни химични вещества с висока биологична активност (пестициди, тежки метали, полиароматни въглеводороди, полихлорирани бифенили и фурани, диоксини, петролни продукти и др.) влияят върху състоянието и функционирането на почвените микробиални съобщества. Микроорганизмите могат да бъдат активни деструктури на замърсителите, но от друга страна замърсителите могат да нарушат микробната сукцесия, да потискат или убиват едни видове микроорганизми и активират развитието на други, което води до изменение на устойчивостта на почвената екосистема като цяло. Ето защо при мониторинговите и агроекологични изследвания на антропогенното замърсяване на почвата е необходимо да се определи въздействието им върху биологичната система на почвата чрез използване на определени биодиагностични показатели. Понастоящем не съществува общо призната система на биоиндикация на замърсяването на почвата. Обикновено като биоиндикатори се прилагат: чисти култури микроорганизми, чувствителни към определен вид замърсител; промени в брой и съотношение на основните таксономични и еколого-трофични групи микроорганизми; изменение в активността на микробиологични процеси – дишане, азотфиксация, разлагане на целулозата, ензимната активност на почвата и др. (Konopka A. et al 1999, McGrath and Brooks, 1988).

Установена е значителна негативна корелация между въздействието на замърсителите върху микрофлората на почвата и достъпната им концентрация. Така, факторите влияещи върху биодостъпността на тежките метали в почвата, могат да влияят върху токсичността на металите по отношение на почвената микробиална биомаса. Металното замърсяване на почвата предизвиква значително намаляване на почвената микробиална биомаса. В повечето случаи това намаляване се наблюдава при ниски метални концентрации и се запазва в продължение на няколко години (Khan and Chang-Yong, 1999).

Отделните метали оказват различно по сила въздействие по отношение на отделните групи микроорганизми.

### **Почвени животни като индикатори**

Проблем при работа с почвените индикатори е, че многобройните животни в почвата са безгръбначни, чиято таксономия и биология в Европа се счита за по-слабо проучена с изключение на относително малко бедни на видове групи на макрофауната (напр. дъждовни червеи, мокрици, диплоподи и хилоподи). За начина на живот на повечето видове са известни малко неща. Оптималното решение би било дефиниране на организмово специфични нива, които да предоставят за използването на дадената група изчерпателна информация и паралелно да се разработят регионално специфични ключове за определяне на индикаторите. Предложени са критерии, които да позволят подбор на индикатори на замърсени почви: Достатъчен брой видове за дадена група, за да се диференцират агроклиматичните райони; Добри таксономични и екологични познания за групата и наличие на експерти, които да приложат знанията в практиката; Важна екологична функция в почвената екосистема, тясна зависимост от почвата, широко разпространение; Наличие на стандартизирани методи за събиране, обобщаване и определяне; Възможности за провеждане на рутинен анализ; Чувствителност към антропогенните стрес фактори.

Това ни позволява на този етап включването като индикатори на тежкометалния стрес на следните почвени животински групи: нематоди, мокрици, дъждовни червеи (Georgieva, S. et al, 2015).

Направеният преглед на Европейските и национални програми показва необходимостта от разработване на адекватни схеми за оценка и контрол на замърсяването на почвите (.Chaney, R. et al, 1997). Алтернативни или комплексни изследвания на определени почвени параметри, оценка на биологичната достъпност на металите, използване на знанията за количествените и качествените промени в почвената биота (микроорганизми, почвени животни) позволяват бързи и сравними индикации на процеси,

протичащи в екосистемите, подложени на тежкометално натоварване.

Тези потенциални индикатори на замърсяването на почвите в страната са тествани, като резултатите могат да послужат за включване в общоевропейската мрежа за мониторинг и за база по-нататъшни изследвания.

В резултат на разработваните през последните 10 години теми е направен анализ на утвърдени индикатори за оценка на химичното замърсяване на почвите. (Атанасов И. и кол, 1999) Данните за общо съдържание на замърсителите са полезни за получаване на първоначално знание за дълбочината на проблема (Динев, Н. 1998). Но те не винаги са съпоставими с числа от други изследвания. Освен това наличието на значителни ограничения по отношение на почвената киселинност, почвения механичен състав, наличието на органично вещество и т.н. ги правят недостатъчно гъвкави за оценка на процесите в агроценозата. Поради това в процес на обсъждане е възможността за оценка на потенциално опасните фракции на замърсителите в почвата. Предвид на неединния подход и конкуренцията за налагане на национален стандарт ние направихме сравнителни изследвания с различни секвенционални процедури. Данните показват, че (вероятно поради изключителното разнообразие на почвени разновидности у нас) не може да се предложи една такава процедура. Данните от две замърсени зони - около Кремиковци (София) и КЦМ Пловдив (Куклен) достатъчно красноречиво говорят, че различното полиметално замърсяване дава различно разпределение на тежките метали. Опитите с тестване на микроорганизмите като индикатори дават добри и устойчиви резултати. Необходимо е тези проучвания да се разширят с проучване на разпределението на микрофлората и активността на групите микроорганизми, което предполага създаването на „почвена карта”. Друг често коментиран обект като индикатор на замърсяването, са почвените животни. В наше проучване е установена значителна динамика в нематодните съобщества. Към настоящия момент информацията за включване на нематодите като успешен индикатор на

замърсяването, се разширява.

От съществено значение за мониторинга на почвите е разработване на конкретни планове за управление на земите. Това налага създаването на достатъчно надеждна база от информация, позволяваща адекватна оценка на риска.

Агроекологичният мониторинг, както всяко наблюдение и проучване на околната среда, трябва не само да индикира проблемите. Най-ценното при научните проучвания е създаването на база от знания, които могат да структурират система от стъпки, позволяващи успешно управление на критичните звена и в крайна сметка – адекватно решаване на поставения проблем. Въз основа на анализите на различни наши и международни системи за оценяване на замърсени зони е предложена комплексна схема, включваща елементи на ТРИАД-подхода (Crumbling, D.M. 2004). Разработена е методологична система от стъпки за пълно изучаване на замърсяването в критични зони. Тя е приложена за районите на Кремиковци и Пловдив. Сравнителният анализ на системата от седем последователни стъпки, предприемани при управление на земи със замърсени почви може да бъде подобрена чрез включване на елементи от системата ТРИАД за извършване на действия в реално време

В стъпка 1 ”Оценка на местата” е целесъобразно разработване на карти на мониторингова мрежа (II тип), точки на пробовземане, карта на почвеното разнообразие, климатична характеристика, карти с интерполация на замърсяванията, особено полезно за оценка на риска.

В стъпка 2 се препоръчва ползване на информация от оценка на различни индикатори и критерии за тежкометално замърсени почви. Такива са данни от фракциониране на металите, микробиологични проучвания, анализ на почвената фауна.

В стъпка 3 „Оценка риска за околната среда и човешкото здраве” се използват данни за екотоксичността на тежки метали, въздействия върху звена от хранителната верига почва – растение – животно - човек, както и произхода на замърсяването.

Тази схема на работа може да се оптимизира и да се съкрати във времето, ако функционира единен център с цялата налична информация за проведени научно-приложни разработки, касаещи специфични проблеми по оценка на замърсените места и варианти за положителни ремедиационни действия. Освен това наличието на сателитни и наземни ГИС позволява значително по-адекватно оценяване на размера на засегнатите (критични) зони. Създаването на интерполирани модели позволява виртуално прогнозиране на границите на замърсяване и възможните ремедиационни действия.

В основата на тази стратегия обаче е набирането на достатъчна по обем и репрезентативна информация, получена както по класически, така и по иновационни техники. Примери за това в настоящата разработка.

По оценката на местата (E1) е необходима преди всичко обобщаване на база данни по отношение на почвено-климатичните характеристики, включително геоложката основа. Информацията за почвеното разнообразие дава основание да се предполага достъпността на металите. Данните за климатичните особености позволяват да се предположи размера и посоката на дифузното въздействие.

Оценката на риска е обобщаващия компонент от почвените проучвания, даващ отговор на реалните и потенциални практики на земеползване. Това касае както околната среда като цяло и в отделни трофични звена, така и конкретното въздействие върху човешкото здраве.

Предвид спецификата на тежкометалното замърсяване и въздействието на замърсителите върху различни рецептори – почва, растение, води, въздух и човек, сме разгледали отделни случаи за оценка на риска.

**Системата е приложена за две зони с тежкометално замърсяване на почвата**

#### **За района на Кремиковци**

Разработена е мрежа за подробен мониторинг (II ниво). Създадена е почвена карта с локализация на точките от мрежата, описваща почвеното разнообразие. Направена е оценка на климатичните фактори. Разработени са интерполирани карти на замърсяването по

елементи и зони на въздействие.

### **Тестове за оценка на риска**

**Тест опит за биодостъпност на замърсителите (за двата района).** Един от възможните индикатори, които много по-пряко ще корелират с оценката на риска, е биодостъпността на замърсителите в почвата. Тук съществуват някои условности при тестване на растения – какъв е растителния вид, какви са границите на толерантност, какви са условията за отглеждане, какъв е минималния период за наблюдение и т.н. Всеобщо признато е, че например марулята (или салатата) може да се ползва като достатъчно информативен модел при тежкометално замърсяване. Върху подобни екотоксикологични тестове се работи много интензивно. Върху почвите, обект на изследването – от района на Кремиковци и КЦМ - Пловдив, бе заложен вегетационен експеримент с маруля. Този растителен вид е характеризирани като добър индикатор за изучаване на тежкометалното (и особено кадмиевото) замърсяване. Резултатите от сравнителния анализ на използваните техники за извличане и оценка на токсичността на тежките метали могат да бъдат оценени като риск за замърсяване на растениевъдната продукция. За нуждите на стратегическото планиране и създаване на сценарии за оценка на риска от съществено значение би било установяването на достоверни коефициенти на корелация. Заради това е направен и анализ на корелацията между тежките метали, определени като общи съдържания, и такива във фракции от две секвенционални техники – на Цайн и Брюмер и по BCR, и натрупаните в надземната маса на марулята. Анализът на резултатите показва, че се наблюдават специфични отговори на растението към замърсителите на почвата. Не се отчитат достоверни корелации с натрупването на кадмия в зелените части. Като обща тенденция се наблюдават сравнително високи корелации между металите в почвените фракции и в растителната маса при високи, но не и екстремални. Вероятно обяснение за това е реакцията на растителните органи (корени, надземна маса) и изява на токсични ефекти при полиметалното замърсяване.

Тези комбинирани подходи са изключително подходящи за формиране на база данни, касаещи трансферните фактори на растителни видове при натоварване на почвата, определяне на добри и репрезентативни корелации с общо съдържание на металите или определени екстракционни комплекси.

**Тест – опит.** При мелиориране на замърсени почви в опит с почви от Кремиковци е установена засилена транслокация на тежките метали във вариантите с минерални торове, приложени самостоятелно или в комбинация със zeoliti, които обаче формират и най-голяма биомаса. Отчетено е изравнено съдържание на кадмий в корена на маруля и надземните части, което надвишава санитарните норми за храни.

**Тест – опит.** Направена е оценка на риска за прилагане на фитоекстракция при отглеждане на етерично-маслени растения и зеленчукови култури. Установено е значително предвижване на олово в надземните части на бял трън при третиране на почвата с органични киселини (EDTA) и домати растения, където екстракцията на метали е по-високи при третиране с цитрат.

### **За района на Пловдив**

Разработена е мрежа за подробен мониторинг (II ниво) (Vojinova, P., et al., 1996).. Създадена е почвена карта с локализация на точките от мрежата, описваща почвеното разнообразие. Направена е оценка на климатичните фактори. Разработени са интерполирани карти на замърсяването по елементи и зони на въздействие.

### **Тестове за оценка на риска**

**Тест – опит – GET.** В тест за биомониторинг, изпълнен в района на Куклен за оценка на пътищата на замърсяване на почвата и продукцията чрез въздушни емисии и прахово е установена сезонна динамика върху акумулацията на тежки метали в тестовата култура (райграс). Той позволява да се оцени биодостъпността на основните замърсители при дифузно замърсяване. Използва се принципът на експозиция на тестово растение (италианският райграс). Той е в основата и на Стратегията за качество на атмосферния въздух на Европейския съюз (Директива 1996) и т.нар дъщерна директива, въвеждаща стандарти за основните групи от

замърсителите – арсен, кадмий, живак, никел и ПАХ-ове. (ЕС, 2004). Установките, поставени в пет зони на гр. Куклен, позволиха месечно следене на промените в замърсяването. Установено бе, че замърсяването с олово е доминиращото въздействие върху растителните биотестове. Данните позволяват да се допусне, че този елемент ще представлява и риск за здравето, което в последствие бе потвърдено. Следователно, този тест дава много добра представа за въздействието на замърсителите. Данните от полеви експерименти показаха, че само в екстремално замърсените честа се отчита голям пренос на тежки метали в системата почва – растение. Използването на този експеримент е полезна информация за допускането, че праховото замърсяване е основното в района на КЦМ - Пловдив и създава здравен риск за населението в района.

**Тест – опит – произход на оловото.** Изотопната характеристика на оловото може да бъде ползвана като отпечатък за различните източници в широк спектър, включително и в екологични проучвания, идентифициращи антропогенния произход на оловото в почвата (Bacon, J. and N. Dinev. 2005). Като цяло, това олово се различава от естественото олово в рудата и е по-слабо радиоактивно от геологичното олово. Петролът е един от източниците на олово в атмосферата и съотношението  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  отразява присъствието на т.нар. „индустриален” източник. Всичко това ни даде основание да си поставим за цел разграничаване на ефекта на източниците на замърсяване на почвата – преработката на руда и други антропогенни източници, както и оловото от рудата и естествения геологичен фон. В резултат на проведени в района на КЦМ - Пловдив проучвания, като краен извод се предполага, че изотопната характеристика на оловото в Куклен е идентично с установеното за Балканите съотношение. Идентификацията на втория източник (транспортът) също е затруднена поради факта, че петролът, използван в България, няма конкретна идентификация по отношение на произхода. Имайки предвид тесните връзки с Русия и основния внос на петрол от тази страна, данните са близки до

тези, установени в Армения. Като заключение може да се обобщи, че силното замърсяване на точки в полето се дължи на емисии от комбината. Предвид на екстремалното замърсяване на точки край пътя може да се допусне, че транспортът на рудата е основен допълнителен фактор за замърсяване. В работата е показана и мощта на новите техники за определяне на източника на замърсяването. Привносът от рудата и естественото наличие на олово се демонстрира чрез  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  съотношението. По данните може да се заключи и фактът, че за растенията има допълнително замърсяване от въздуха. Изотопите на олово в оборския тор дават и информация какво се поема от животните и се предвижда в хранителната верига. Групата експерименти показват, че директния трансфер на замърсителите в системата почва – растение, е налице само в екстремално замърсени участъци. Основното замърсяване на растителната продукция се дължи на високата запрашеност и преноса на прах.

**Тест – опит – безопасност на храни – Zn.** Така установеното замърсяване на почвите резонно се очаква да има свои отражения в земеделските практики. Предвид мултиметалното замърсяване на почвата, бяха направени анализи на ефектите на трите основни замърсителя – цинк, олово и кадмий, върху безопасността и качеството на продукцията, влиянието на цинк върху безопасността на храните и фуражите, произвеждани в замърсени зони (КЦМ). Установено бе, че високи нива на цинк се отчитат само във външните листа на зеле и обелки от картофи, които обаче не превишават санитарните норми. Съдържанието на цинк в почвата има техногенна природа. Най- висок трансферен фактор на цинка има при зеле и пасищни тревы, а най-ниски – при пресен лук и чесън.

**Тест – опит – безопасност на храни – Cd и Pb.** Проследен е трансфера на кадмий и олово в моделни растения – зеле и картофи, в частни дворове от гр. Куклен и в полето край КЦМ. Установено бе, че произведените картофи могат да се характеризират като годни за пазара

(средно 0.08 мг кадмий/ кг свежа маса). Само в една зона на Куклен се произвеждат картофи и зеле, представляващи замърсени продукти и не могат да се ползват за храна.

Като елемент от стратегията за проучване е предложена „Схема и стъпки за провеждане на ремедиационни действия“. Разработката е приложена при експеримент за фитостабилизация на силно замърсени места в Пирдоп - Златица. В настоящата разработка е включен като модел вариантено решение за фиторемедиация на екстремално замърсена почва от района на Златица. Изходните данни на почвата показват много висока почвена киселинност (рН 4,0) и токсични нива на мед (достигащи до 1900 мг/кг). В система от опити – вегетационни, мезокосм-, полски са определени оптимални комбинации от мелиоранти, които позволяват ремедиация на практически опустинена почва. Предложената технология позволява мултиплициране в района. Стъпките са:

- Извеждане на група съдови опити за избор на оптимални мелиоранти и оценка на трансфера на замърсители (основно мед) в растителна продукция. Оптимални варианти по отношение на продуктивността и съдържанието на тежки метали в тест културите – маруля и люцерна, са третираната с варов материал и  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  + варов материал + торф, и зеолит + варов материал (Dinev, N., et al., 2004):

- Избор на оптимални варианти и прилагане на адаптирана схема към съдове с голям обем – мезокосм-съдове (Dinev N., et al. 2005) Това по същество са цилиндрични контейнери (насипни лизиметри), запълнени с определен обем от замърсена почва (киселинно и тежкометално натоварена почва от района на Златица). При този тип опитни съдове се цели създаване на условия близки до естествените. Прави се оценка на разпределението на замърсителите в течната почвена фаза по дълбочина на субстрата (65 кг) с помощта на т.нар. „изкуствени корени на 15 и 30 см дълбочина от повърхността на почвата, както и измиването на замърсителите, което се проследява с помощта на монтиран под опитните съдове полиетиленов колектор за събиране на лизиметричните води. След

определен период на компостиране на различни мелиоранти (СаО, торф и зеолит) в насипните лизиметри се засяват семена от избрана тревна смес, съдържаща сортове житни треви с оглед на тяхната устойчивост към киселинно и тежкометално натоварване (Baker, A. J. M.; R. D. Reeves and S. P. McGrath. 1991; Baker, A. J. M.; S. P. McGrath; C. M. D. Sidoli; R. D. Reeves. 1995). Оптимални варианти по отношение на количеството формирана биомаса са комбинация от СаО + торф при три нарастващи нива на торфа, както и комбинацията от СаО + торф + зеолит, като при последната комбинация се наблюдава и най-силно намаляване на дренажния отток от изследваната почва.

- Прилагане на вариантите в полски условия и анализ на получената продукция. Оптимални варианти са торф + СаО + зеолит, СаО +  $Fe_2O_3$  и – торф + СаО +  $Fe_2O_3$
- Мултиплициране на оптималната схема.

Натрупаните чрез подобни експерименти знания могат да се ползват за приложение в стройна система за ремедиация на замърсените земи. Предложената методология води до избор на схема за фиторемедиация на тежкометално натоварени земи. Тя включва няколко стъпала, като основен оптимизационен елемент е прилагане на конвенционално и алтернативно производство на растителна продукция. Фиторемедиацията като технологично решение изисква съвместни усилия и знания на различни експерти – геолози, химици, биолози. Решителен елемент за успех е привличането на агрономи, които могат да разработят различни технологични решения и карти за производство.

Данните от настоящата разработка позволяват проучванията в областта на тежкометалните почви да бъдат „преведени“ на практически приложими решения. Това лежи в основата и на разработване на планове за устойчиво управление на замърсените почви.

## Литература

**Атанасов, И., К. Теритце, М. Кьониг, А. Атанасов.** Определяне на пределно допустимите концентрации (ПДК) на устойчиви органични замърсители в почви и предложение за технически проект за мониторинг. Фондация "ИУР", Окончателен доклад, София, 1999.

**Динев, Н.** 1998. Ефекти на тежки метали ( Cd, Zn, Cu ) върху растежа на овеса. *Почвознание, агрохимия и екология* № 4, 3-6.

**Малинова, Л.** 2010. Почвознание и замърсяване на почвите. Издателска къща при ЛТУ, ISBN 978-954-332-070-7, стр. 236.

**Alloway, B. J.** 1995. In Heavy metals in soils; Alloway, B. J. (Ed.) Blackie Academic and Professional: New York; p. 11 – 37 (по Kayser, A. 2000. Dissertation - Evaluation and Enhancement of Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soils, Zurich).

**Vacon, J. and Dinev N.,** 2005. Isotopic characterisation of lead in contaminated soils from the vicinity of a non-ferrous metal smelter near Plovdiv, Bulgaria. *Environmental Pollution* 134: 247–255.

**Baker, A. J. M., Reeves, R. D., & McGrath, S. P.,** 1991. In situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metal-accumulating plants-a feasibility study. *In situ bioreclamation. Boston, Butterworth-Heinemann,* 600-605. (по McGrath, S. P.; S. J. Dunham and R. L. Correll. Potential for Phytoextraction of Zinc and Cadmium from Soils using Hyperaccumulator Plants).

**Baker, A. J. M.; McGrath S. P.; Sidoli C. M. D. ; Reeves R. D.,** 1995. Mining Environmental Management, 12 – 14. (по Kayser, A. 2000. Dissertation - Evaluation and Enhancement of Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soils, Zurich).

**Bojinova, P., Georgiev, B., Kabakchiev, I., Krasteva, V., Stanislavova, L., Tchuldjian, H., Welp, G., Brummer, G.W.,** 1996. Harmonization of the methods for the investigation of heavy metal pollution of soils and the standardization of the assessment criteria for soil protection. Report No. UBA-FB 96–071, Umweltbundesamt, Berlin.

**Brummer, G. W.,** Heavy Metal Species, Mobility and Availability in Soils, The Importance of Chemical " Speciation " in Environmental Processes, eds. M. Bernhard, F.E. Brinckman and P.I. Sadler, p.p. 169-192.

**Chaney, R. L.; M. Malik; Y. M. Li; S. L. Brown; J. S. Angle and A. J. M. Baker.** 1997. Phytoremediation of soil metals. Current Opinions in Biotechnology, In press. (по McGrath, S. P.; S. J. Dunham and R. L. Correll. Potential for Phytoextraction of Zinc and Cadmium from Soils using Hyperaccumulator Plants).

**Dinev N., Koutev V., Dimitrov D., Dimova L.,** 2005, Mesocosm model in use of phytoremediation decision support investigations. 11th Lysimeter conference - Lysimeters in the network of dynamics of ecosystems, Raumberg Gumpenstein, 5-6 April 2005, pp 159-162

**Dinev, N., M.Benkova, and T.Raytchev.,** 2004. Soil adsorbent of acid soils- principles of colloid- chemical centre formation and interactions. In: Modern physical and physicochemical methods and their applications in agroecological research. Ed. By A.Bienganowski, G.Jozefaciuk and R.Walczak, Inst.of Agrophysics-Lublin, ISBN 83-87385-85-9, pp. 24- 35.

**Georgieva, S., J.Atanassova, and N.Dinev.,** 2015. Metal hyperaccumulation in *Candida draba* (L.)Desv. (Brassicaceae) and heavy metal effects on nematodes and a weevil associated with the plant roots in sites near a non-ferrous metal smelter in Bulgaria. *Soil Science, agrochemistry and ecology*, Vol.XLIX, No.1: 55

**Montanarella, L.** 2002. Specifications of a European Community information and monitoring system on soil threats (Draft proposal by the ad hoc working group of the European Soil Bureau Network). In: ESB Plenary 2002, JRC and IES, Ispra.

**Sauerbeck, D.,** 1985. Funktionen, Gute und Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemischer Sicht; Kohlhammer:Stuttgart, Mainz. p. 259 (по Kayser, A. 2000. Dissertation - Evaluation and Enhancement of Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soils, Zurich).

1995. Chemische Extraktionen zur Bestimmung von Schwermetall bindungsformen in Boden; 17, Institute fur Bodenkunde der Rheinischen Fredrich – Wilhelms – Universitat Bonn: Bonn; p. 284 (по Kayser, A. 2000. Dissertation - Evaluation and Enhancement of Phytoextraction of Heavy Metals from Contaminated Soils, Zurich).