

**КОНКУРС „НАСЪРЧАВАНЕ НА НАУЧНИТЕ
ИЗСЛЕДВАНИЯ В ПРИОРИТЕТНИ ОБЛАСТИ”
(„ТЕМАТИЧЕН КОНКУРС”) – 2009 г.**

Проект ДТК 02/1

**Оценка на индикатори за почвения
мониторинг и на екологичния риск при
разработване на програми за устойчиво
управление на замърсени и подложени на
антропогенен натиск зони**

**Междинен отчет
Декември 2010- май 2012 г.**

Ръководител:

**Проф. дсн Николай Динев,
ИПАЗР „Н.Пушкарров“**

Партньори

**Институт по почвознание, агротехнологии и защита на
растенията „Н.Пушкарров“, ССА**

Институт по физиология на растенията и генетика, БАН

**Институт по биоразнообразие и екосистемни
проучвания, БАН**

Аграрен университет, Пловдив

Софийски университет „Св.Кл.Охридски“, София

Съдържание

Работна програма за отчетния период- 1-18 месец	3
1. Специфики на почвения мониторинг	4
1.1 Почвата като обект на мониторинг	5
1.2 Процедури за оценка на почвата	6
2. Идентификация на индикаторите	7
2.1. Избор на агроекологични индикатори	8
2.2. Критерии за разработване и оценка на индикаторите	10
2.3. Индикатори	11
2.4. Нови и алтернативни индикатори и критерии за оценка на тежкометалното замърсяване на почвите	12
2.4.1 Достъпност на тежките метали	
2.4.2 Растителни видове	
2.4.3 Почвени животни	
2.4.1. Достъпност (мобилност) на тежките метали	12
2.4.2. Растителни видове като индикатори	13
2.4.3. Почвени животни като индикатори.	13
Резултати от проведените експерименти	15
3. Оценка на индикатори	
3.1. Община Куклен и района на КЦМ – Пловдив	15
3.2. Общини Чавдар и Челопеч и района на Челопеч-Майнинг	19
3.3. Оценка на почвени животни и нематоди	20
3.4. Растителни видове	20
3.5. Генотоксичност на металите	21
4. Оценка на риска и биотоксичност	21
4.1. Тест-експерименти- физиологични параметри	21
4.2. Тест-експеримент- акумулация на замърсители	22
Публикации по проекта	24
. Резюме	25

Актуализирана програма по проект ДТК 02/1

№	Съдържание на етапа	Продължителност на етапа, брой месеци	Резултати
	ЗА ПЪРВИ ЕТАП	18	
1.	Пробовземане	3	Стартиране на изследванията в основните райони
2.	Подготовка и анализ на пробите – почви, води, флора и фауна	10	Създаване на основна база данни
3.	Изследване на биоразнообразието	8	Повишаване на знанията за екосистемите.
4.	Почвени проучвания и мониторинг	5	Анализ на почвените свойства, степен и разпространение на замърсяването и ерозията
5.	Изследване на почвената биота	7	Първоначални сведения за почвените организми
6.	Биоактивност и скрининг за генотоксичност на извлекци почвени проби върху моделни обекти <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> и <i>Hordeum vulgare</i>	16	Комплексна оценка за биоактивността на замърсителите, присъстващи в почвата; ранна диагностика на ниски дози ксенобиотици.
7.	Анализ и подбор на критерии за оценка на въздействието върху изследваните компоненти	10	Оценка за въздействието на замърсяването върху всички компоненти на околната среда
8.	Параметриране на физиологичните и биохимични промени в растителни видове-съдържание на пластидни пигменти, скорост на фотосинтеза, транспирация и устично съпротивление, фотохимична ефективност на ФС2, фотохимична активност на ФС1	17	Оценка на функционално състояние и получаване на ранна и първична информация за наличие на стрес
9.	Мониторинг на изследваните компоненти	3	Установяване на динамиката и интензитет на процесите
10.	Разработване на програми за управление на околната среда	7	Мероприятия за ограничаване на последствията за околната среда и ранна диагностика
11.	Работни срещи	2	Обмен на информация, планиране на дейности и взаимодействие между партньорите
12.	Картографска дейност	7	Кarti за ерозираност и дефлация на районите
14.	Изготвяне на отчети	2	Представяне на резултатите

1. СПЕЦИФИКИ НА ПОЧВЕНИЯ МОНИТОРИНГ

Почвата е специфичен компонент на околната среда, която:

- Има практически невъзстановима природа;
- Играе жизнено важна роля за естествените и най-важни елементи за живота на планетата;
- Подпомага огромен брой човешки активности; подпомага огромното биоразнообразие и генетичната вариабилност;
- Притежава капацитета да складира, буферира и филтрира водата и други субстанции;
- Играе ключова роля за биомасата, храната и производството на суровини;
- Поддържа органичната материя;
- Играе важна роля за поддържане на културата и естетичните ценности на човечеството.

1.1. Почвата като обект на мониторинг

Почвата има много функции, свързани с околната среда, икономиката, обществото и културата, които са и жизнено важни:

- Производство на храна и друга биомаса;
- Запазяване, филтриране и трансформация;
- Хабитат и генна банка;
- Физична и културна среда за човечеството;
- Източник на суровини.

Първите четири функции на почвата са независими и степента, в която са застъпени съответства на устойчивото им използване. Когато почвата се третира едностранно като суровинен източник или за основа на човешка активност, способността ѝ да функционира се намалява.

Почвата има няколко уникални черти, свързани с определянето на политиката за ползването ѝ:

- Почвата е продукт на комплексни взаимодействия между климата, геологията, растителността, биологичната активност, времето и земеползването. Пропорциите между нейните различни компоненти (най-вече пясък, глина, органично вещество, вода и въздух), както и начина, по който тези компоненти съставят стабилни структури определят почвените характеристики. Освен това всяка почва е формирана от различен брой слоеве, всеки от тях с широк диапазон от физични, химични и биологични свойства. Това прави почвите изключително разнообразни. В Европа са идентифицирани над 320 типа почви. Това разнообразие изисква в политиката за използване на почвите да се отчитат спецификите за всеки почвен тип и всяка държава.

- Почвата е необновим ресурс с потенциално бърза скорост на деградация и изключително бавни процеси на формиране и регенерация. Почвата, годна за производство на храни, представлява твърде ограничена част и намалява постоянно на глава от населението. При наличието на деградационни процеси, потенциалът на почвата да функционира нормално намалява. Затова предотвратяването, вземането на предпазни мерки и устойчивото управление на почвата трябва да бъдат в основата на политиката за охрана на почвата.

- Почвата има значителен буферен капацитет, и респективно способност да складира в себе си различни вещества. Тези качества на почвата се отнасят не само за вода, минерали и газове, но и за много различни химични вещества. Тук попадат също естествени и произведени от човека замърсители, които се включват в почвата, но при последващи ремисии от нея могат да предизвикат големи щети. Някои замърсители могат бързо да надхвърлят приетите допустими нива за замърсяване. Разработването на политика за мониторинг, позволяваща ранно откриване на тенденциите за замърсяване, ще предотврати рискови ситуации за околната среда и здравето на обществото.

- Почвите, използвани за земеделски цели са ценен и ограничен ресурс, чиято ценност е създадена от природата и поддържана от човека в продължение на столетия. Необратимата деградация на този ресурс води към разорения на голяма част от съвременните земеделци и в същото време намалява способността на бъдещите поколения да развият нормално земеделие. Управлението на почвените ресурси трябва да бъде основано на устойчивото им използване и запазване на плодородието и земеделската им ценност.

- Почвата е жива среда с изобилно биоразнообразие. Биологичната активност на почвата допринася за формиране на структурата и плодородието и, в същото време е сред основните ѝ функции при производството на храни.

- За разлика от водата и въздуха, почвата е земен компонент, над който могат да бъдат упражнявани право на собственост.

1.2. Процедури за оценка на почвата

За да се приложи оценката на почвата се изисква да се установят определени референтни стойности за специфичните почви. Качествените и количествените описания на нормалните размери във всяко от свойствата трябва да са известни, за да улеснят идентификацията на аномалиите в почвените условия. За тази цел основно се използва сравнението с планираните стойности, праговите стойности и предишните стойности, които описват естественото съдържание.

Сега малко страни в Европа прилагат количествените критерии или стандарти за оценка и контрол на почвените условия. Това разнообразие от критерии и стандартни стойности, които се прилагат, е твърде голямо, а терминологията е разнообразна. Все пак ясно е, че подходящите критерии трябва да бъдат гъвкави, за да приспособят един обхват от специфични по места характеристики, като: почвените свойства, типа на деградация, социоекономическите проблеми и допълнителните фактори на околната среда.

Трябва да се отбележи научният контрол на получените резултати и използваните модели, както и ратификацията от страна на доставчика на данни (националните експерти), заради тяхното по-добро познаване на регионалните почвени условия и националното политическо одобрение. За коректната интерпретация на получените данни е необходима информация за съответните планирани стойности, критични стойности и предишни стойности.

Разработената концепция за регионални диференцирани почвено-биологични класификации е залегнала във Федералния закон за опазване на почвата (Германия), според който трябва да се изпълнят определени критерии.

Особен интерес в настоящия труд представлява формиране на знания за биоценозите и изменението на параметрите от очаквана към реална стойност.

2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ИНДИКАТОРИТЕ

Индикаторите могат да бъдат, както единични параметри, така и съвкупност от няколко измервания, които осигуряват необходимата информация. Обединените индикатори имат предимството, че опростяват и структурират окончателния комплект от данни, защото те съдържат по-малко, но по-изчерпателни данни. Все пак, индивидуалните параметри могат да бъдат използвани за подробен анализ и изследване от групи със специални изследователски интереси и от научната общност като цяло. Понякога е необходимо да се квалифицират компонентите на обединените индикатори, поради факта, че един индикатор понякога може да има по-голяма тежест от няколко или всички други, включени в обединението (CLARINET, 2002).

Индикаторите се разработват както от преки наблюдения, така и от т.нар. “педотрансферни функции” или модели. Резултатите от получените индикатори трябва да се сравняват с преките измервания на представителни места. Индикаторните стойности могат да бъдат сравнени и с праговите стойности. Необходимостта от разработване, хармонизиране и развитие на оптимална стратегия за оценка на стойностите на замърсителите в почвата налага включването на нови техники и подходи. Логиката на проучването изисква няколко основни етапа:

- Първоначално характеризирание - скрининг, на почвите. Това включва набелязване на основните замърсители и разпределението им в градиент.

- Избраните за екотоксикологичен тест организми покриват различни жизнени пространства и трофични нива - микроорганизми, нематоди, растения и други.

В основата на проблема стоят някои основни постулати, които предполагат следните хипотези:

- Съществуват обозрим брой местности с характерни биоценози, които могат да се опишат с някои определени фактори на местността.

- Оценка на местността, когато съществува антропогенно замърсяване е възможно чрез обобщаване на тези ценози и сравняването им с очакваните за съответните почвено-климатични условия стойности.

Според концепцията за регионални диференцирани почвено- биологични класификации трябва да се изпълнят следните критерии.

- Да представлява практична система за почвена класификация.
- Да служи като оценка за качеството на почвата.
- Да позволи скрининг на потенциално замърсени почви.

В основата за всяко специфично прилагане на почвено-биологичната класификация е разработването на следните четири етапа:

- Описване на регионално диференцирани представителни зони, подлежащи на отчет към второ ниво на мониторинга.

- Стандартизиране на методите за опробване и оценка на почвените организми.

- Идентифициране на “нормалната” биоценоза за незамърсени райони, базирани на литературни данни, предварителни изследвания и допълнителни експерименти.

- Наличие и/или разработване на наръчници и определители на важни организмови групи.

Почвени характеристики, които могат да бъдат ползвани като индикатори за замърсяване на почвите са:

- Почвено органично вещество.
- Физико-химични свойства на почвите - рН, катионен обменен капацитет и др.

Проблемите за избор на индикатори и критерии за агроекологичния мониторинг са ключови за приложението на програмите. Към настоящия момент не са много вариантите, които са еднозначно коментирани като индикатори по отношение на замърсяване на почвите с тежки метали и металоиди. Например използваната в Ирландия програма за идентификация на променящите се параметри при мониторинг и създаване на схема за защита на околната среда в селските райони предполага постигане на основната цел въвеждане на земеделие, съобразено с добрите земеделски практики. Специфична цел на тази програма е да се идентифицират и изберат количествени атрибути на околната среда за разработване на мониторингова програма, която да може да се интегрира в оценката на околната среда в агроекологичната схема.

Фокусите на проекта са свързани с оценка на знанията за:

- Земна повърхност.
- Биоразнообразие.
- Агрономия.

Агрономичните практики са ключови индикатори от въздействието на земеделието върху околната среда (както позитивни, така и негативни). Поради това, индикаторите на това въздействие и управлението са значим елемент от оценката на агроекологията. Те дават информация за промените в хранителния статус и управлението на околната среда.

Ефективността на хранителния режим е определяща за земеделието в селските райони (Finn et al., 2002). Основните цели за оценка на околната среда и разработване на важни практики за управление са контрол на замърсяването и хранителния мениджмънт.

2.1. Избор на агроекологични индикатори

Изучаването на индикаторите е базирано на два основни фактора:

1. Качество на информацията - индикаторът трябва да бъде способен да хване (да покрие) състоянието на промени в околната среда
2. Цена - очакваната стойност на информацията, получена от използването на индикатора, трябва да бъде сравнима с цената от събирането и анализирането на данните.

Цели на индикаторите:

- Да дават информация за статуса и разработването на комплексни системи.
- Да предоставят достатъчно информация за устойчивостта на системите за земеползване.
- Да отговарят за промените, свързани с човешката активност като индикират бързо успешните и неуспешните дейности.
- Да позволят очертаване на насоката във времето.

- Да работят като индикатори „чадъри“, обобщаващи различни процеси и въздействия на околната среда.

По отношение на аналитичната дейност:

- Да бъдат добре теоретично обосновани.
- Да бъдат базирани на международни стандарти и международен консенсус за тяхната валидност.
- Да бъдат лесно привързвани към икономически модели, прогнози и информационни системи.

По отношение на измеримостта:

- Да бъдат контролируеми.
- Да бъдат документирани.
- Да позволяват регулярно актуализиране.

Европейската агроекологична политика също съветва за качеството на индикаторите, които измерват изпълнението на агроекологичните програми. Подобни индикатори на околната среда изискват:

- Да се набират лесно.
- Да бъдат способни да покрият програмата, като я измерват.
- Да бъдат тясно свързани с поставените цели.
- Да бъдат използвани от агенциите за внедряване.
- Да бъдат свързани и актуализирани от един период в друг.
- Да бъдат ясно дефинирани и интерпретирани.

Основните ограничения, които са свързани с използването на агроекологичните индикатори, са:

- Липса на линейност.
- Тайм - лаг фаза между приложението и наблюдаваните подобрения.
- Проста и ясна причинно-следствена връзка в отговора на параметрите на околната среда към специфичните въздействия.

Това могат да бъдат лимитиращи стойности, по-често като линейни градиенти, проявяващи се при поява на екологични проблеми, могат да бъдат също лаг-периоди между прилагането на инициативите и прояви на позитивен отговор на околната среда (т.е. отлагане във времето). Като допълнение, множествени фактори могат да причинят допълнителен страничен ефект, поради което е трудно да се прецени, че предписанието за управление е насочено към решаването на единствена специфична причина. Други потенциални ограничения, свързани с идентификацията на индикатори в една широка мониторингова програма включват и:

- Липса на критични стойности, адекватни на ситуацията. Съществуват международни ориентировъчни стойности, но липсват такива, отчитащи регионалните условия.
- Липса на мрежа от индикатори, които приоритетно могат да послужат за оценка на стратегията за устойчиво управление на земеползването.
- Дълготрайност на мониторинговите програми за оценка на дълготрайните ефекти в околната среда.
- Разработване на индикатори, в които доминират измерими параметри, които могат да се ползват за оценка на неизмерими параметри като етични, културни и др. промени.
- Прилагане на модели без достатъчна информация за техните гранични стойности и дефицити.

- Различна достъпност на данни и информации на регионално, национално и международно ниво.

Независимо от тези недостатъци, индикаторите се ползват широко като съществен и ефективен инструмент за оценка на въздействието върху агроекологичните схеми. Потенциалът за това е изборът на подходящи и съответстващи на целта индикатори.

2.2. Критерии за разработване и оценка на индикаторите

Всички индикатори са оценени според тяхната устойчивост за нуждите на мониторинга съобразно следните критерии:

- Съответствие/значимост - отразява степента, с която индикаторът кореспондира с целите на REMS (Finn et al., 2002).
- Надежност/валидност - отразява очакванията на един реален екологичен резултат на приложените промени в управлението, базирано главно на научната литература и очакваната практика.
- Отговорност - отразява очакваното време (лаг-времето) между промените в управлението и измеримата промяна на околната среда.
- Логистична достъпност/усилия за пробонабиране - отразява възможността за получаване на данни.
- Цена - отразява съотношението инвестиция- резултати.
- Достъпност на данни - отразява степента, с която индикаторът вече съществува в националната база данни.

Тежкометално натоварените почви са сред обектите, представляващи несъмнен интерес от екологична гледна точка, и поради тясната връзка със социални и здравни аспекти на развитие на обществото. Те са резултат както от генетичното формиране на почвената покривка, така и от антропогенното въздействие. Обикновено според начина на разпространение и вида на замърсяването се разделят на локално и дифузно замърсяване. И докато локалното замърсяване е ограничено и най-вече продукт от действие на добре дефинирани източници, то съществен проблем е оценка на въздействието на дифузното замърсяване върху почвата и останалите компоненти на екосистемите.

Терминологичното разграничаване на дифузното и локалното почвено замърсяване се базира на следните знания:

Дифузното замърсяване е присъствие на субстанция или агент в почвата в резултат на човешката активност и емитиране от подвижни източници, от източници от по-голям район, или от много източници. Дифузното замърсяване се причинява от разпръснати източници и се среща преди тяхната емисия, трансформация и разреждане да се отчете при трансфера им в почвите. Като резултат, връзката между източника на замърсяване и нивото на площното им присъствие е индиректна. Най - общо това се асоциира с атмосферните отлагания, някои земеделски практики и неадекватно третиране и рециклиране на отпадъците. Атмосферните отлагания от антропогенни замърсители (включително и хранителни елементи и киселинни отлагания) се дължат на емисии от индустрията, транспорта, животновъдството и земеделието.

Локалните замърсявания се срещат при интензивни индустриални дейности, неадекватно третиране на отпадъци, минна, военна дейности или инциденти, които позволяват значително освобождаване на замърсители. Ако

естествените почвени функции на буфериране, филтрация и трансформиране са превишени се наблюдават значителни екологични и здравни проблеми, водещи до замърсяване на водите, остра или хронична токсичност, усвояване на замърсителите от растения, отделяне на газове (ЕЕА).

2.3. Индикатори

Добре подбраните индикатори дават добър потенциал за подобряване на управлението на земите, но същевременно съществуват практически бариери за използването им в общеевропейска скала. Това налага селекционните критерии да се фокусират върху достъпността на данните, както и чувствителността и значимостта на индикаторите. Кратко- и средносрочни приемливост на използването на индикаторите е разбираемо при селекционния процес.

Въздействие

замърсяване на почвите

Ключов изход

неорганични замърсители

Индикатори

съдържание на ТМ в почвата

Критични нива на замърсяване

Към настоящия момент в Европа съдържанието на общи форми се коментира като основен индикатор на замърсяването.

Основни положения и прагови концентрации при дифузно замърсяване с тежки метали и други неорганични замърсители.

Предполага се, че в този профил могат да се използват разписаните национални прагови стойности, специфични за почвообразувателния материал и земеползването.

Фоновите стойности се използват често като базови стойности. Те се разработват специфично както в зависимост от земеползването, така и от системния грид (например пресмятане при 85 или 90% от хармонизирани данни). Въз основа на тези данни се оценяват по-нататъшните промени в почвата. В сравнително изследване през 2004 г. е направен анализ на фоновите стойности на европейските почви, отчитайки различията в генезиса, земеползването, рН и механичния състав (табл.1).

Таблица 1. Фонови концентрации на тежки метали в европейските почви

Тежки метали	Концентрация (g.kg ⁻¹)
Cd	0.07-1.48
Cr	5-68
Cu	2-32
Hg	0.02-0.29
Ni	3-48
Pb	9-88
Zn	6-130

Обобщение

Предложената и изпълнена по изискванията на Европейската изпълнителна агенция по околна среда мониторингова мрежа очертава в общ вид локализацията и концентрацията на замърсителите в земеделските земи

(почвите) на страната. Сравнителен анализ на плюсовете и минусите е направен по-долу.

Таблица 2. Силни и слаби страни на мониторинговото проучване

Плюсове	Минуси
Обща информация за състоянието на почвите	Голям брой проби и инвазивна техника
Разработване на стратегия за почвите в страната	Различна грешка при аналитичната работа в регионалните лаборатории
Привързаност към общоевропейската мониторингова мрежа	Неефективни при точкови замърсявания
Позволява създаване на нормативни документи и сравнителни таблици	Затруднено определяне на риска за околната среда и здравето
Сравнимост на данните от различни страни	Не дава достатъчно информация за ремедиационни стратегии и действия

Получената информация от националния мониторинг на първо ниво дава общ поглед върху наличието на тежки метали в почвите в изследвания почвен хоризонт - до 40 см. Тези данни имат значение за вземане на политически решения, както и за планиране на локални и национални дейности по околната среда. Те обаче не дават отговор на въпроса какво е натоварването на почвите в определени райони. Широкият растер на мрежата в редица случаи „прескача“ техногенно повлияните зони, като информацията за тях се представя с една точка на 196 км² (16x16 км). Именно поради това, тази общонационална мрежа, изградена на първо, базово ниво на мониторинга, практически не отговаря на изискванията за характеризиране на замърсените или критичните зони.

Като друг недостатък на мониторинговата програма, изучаваща екологичното състояние на почвите на базовото ниво е слабата информираност по отношение на почвените характеристики. Съгласно ползваната у нас Наредба 3/2008 за наличие на вредни вещества в почвата е необходимо отчитане и на други фактори. За да отчита нивото на замърсяване е необходимо да бъдат определени параметри като механичен и химичен състав на преобладаващия почвен тип за мониторинговата точка. Това към настоящия момент не е извършено и е нужно на национално ниво да бъде предвидена процедура за коректно определяне на почвения тип и задължителните параметри на почвата, изисквани при мониторинг на базово ниво.

2.4. 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.

2.4.1. Достъпност (мобилност) на тежките метали

Биологичната достъпност на металите може да се дефинира като индикатор, показващ каква част от замърсителя е достатъчно лесна 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. От друга страна тя е свързана с риска при ремедиацията на почвата. Биодостъпността може да се повлияе чрез външни физични и химични фактори. При тежкометалното 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.

2.4.2. Растителни видове като индикатори

Растенията представляват несъмнено приоритетен обект за избор на индикатори за оценка на почвените деградации. Те са пряко повлияни от качеството на почвите. Основният ефект върху развитието на растителните видове се дължи на кореновото хранене. Много тежки метали, открити в растения, са микроелементи (пример Zn, Cu); за други се знае, че макар да нямат съществена функция, поради сходства на техните химични възможности с „хранителните“ йони (например Cd), също се усвояват от растенията. Основно, металните йони се транспортират в корените на растенията чрез потока маса и дифузия, или чрез биологичен транспорт, както и през хифи на микоризни гъби. Усвояването на йони в голяма степен зависи от техните концентрации върху кореновата повърхност. Факторите и процесите, които определят количествата на усвоените метали, включват металната концентрация в почвата, интензивността на транспорта към повърхността на корена, преместването от там в коренът и преместването от коренът към стеблото (Chaney and Giordano, 1977). Транслокацията на металите е често свързана с техните концентрации в почвите (Banuelos and Ajwa, 1999). Cd и Zn са сред онези проследявани елементи, много достъпни за растенията - те имат най-високите коефициенти на пренасяне почва – растения, докато изнасянето на Cu е много ниско. Металната хиперакумулация е краен (радикален) еволюционен отговор на наличието на високи метални концентрации в почвите и не е често срещана характеристика между сухоземните висши растения.

2.4.3. 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.

Направеният преглед показва необходимостта от разработване на адекватни схеми за оценка и контрол на замърсяването на почвите. 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.

Това ни позволява на този етап включването като индикатори на тежкометалния стрес на следните почвени животински групи: нематоди, мокрици, дъждовни червеи.

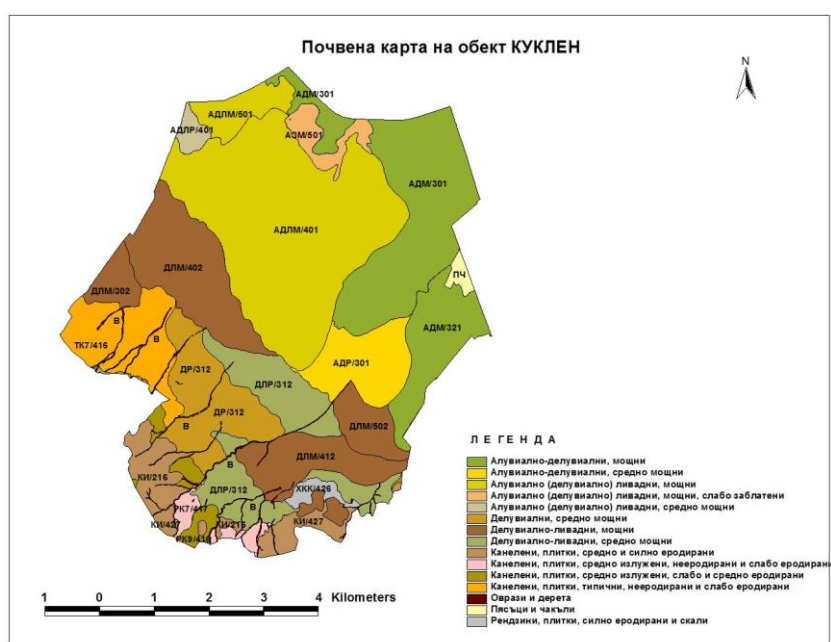
В настоящото изследване през отчетния период работата бе фокусирана върху два от обектите, отличаващи се с изявено дифузно замърсяване.

3. ОЦЕНКА НА ИНДИКАТОРИ

3.1. Община Куклен и района на КЦМ – Пловдив.

Районът, засегнат от въздействието на комбината за цветни метали, попада преимуществено в землището на община Куклен.

В изпълнение на плана бе направен анализ на почвеното разнообразие в района (Отчет на ИПАЗР). Съставена е актуална карта на почвеното разнообразие. Тя е географски ориентирана и ще бъде ползвана при разработване на планове за устойчиво управление на земеделските земи (фиг.1).



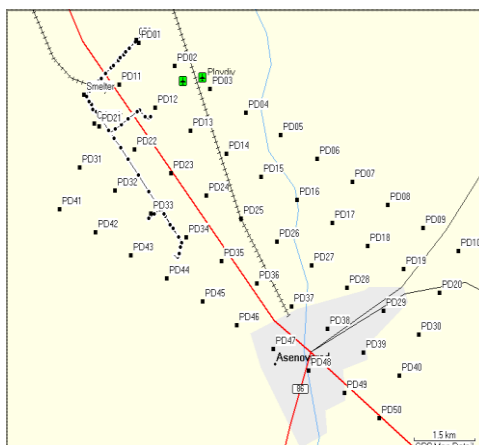
Фиг. 1. Почвена карта на област Куклен

Анализирана бе информация за геоложката подложка в района на КЦМ. Данните показват липса на изразено обогатяване на геоложките материали с тежки метали, обект на настоящото проучване. (Фиг. 2).



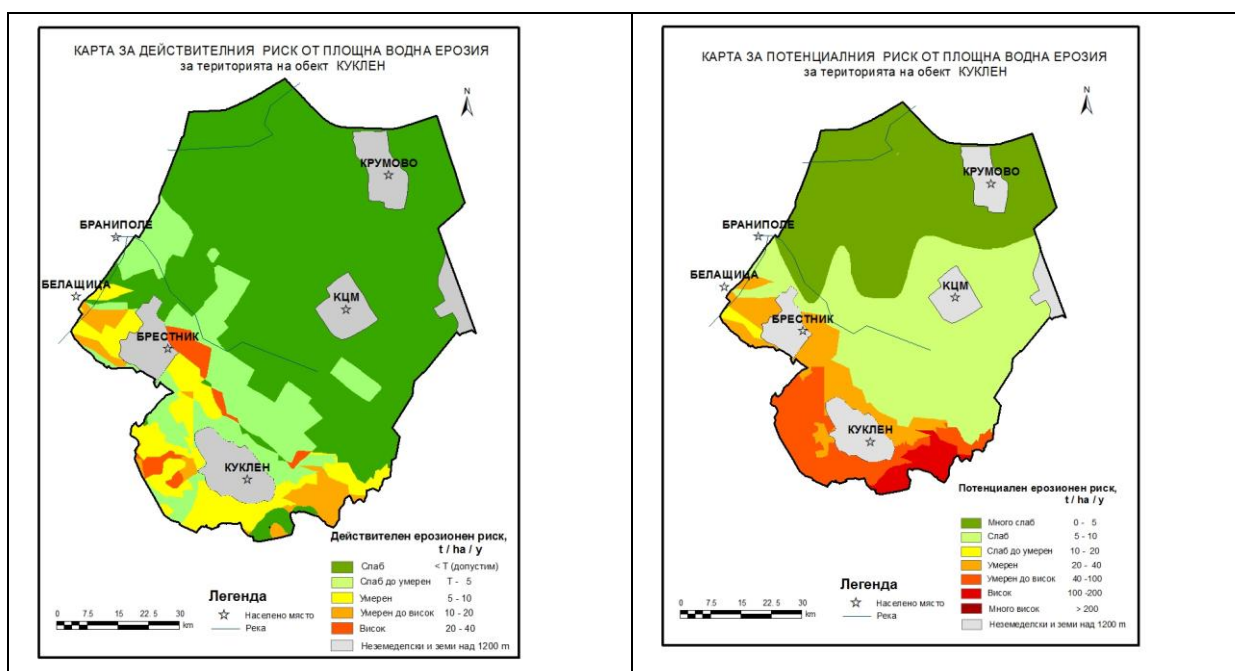
Фиг. 2. Геоложка карта на областта

Ограниченото финансиране не позволи напълно и детайлно характеризирание на допълнената мрежа за мониторинг на почвата. Поради това бяха подбрани точки от предложената през 1993 г. мрежа с растер 1х1 км (Фиг. 3). (съвместен проект на Институт по почвознание „Н. Пушкиров“ и Института по почвознание, Бон, Германия) През периода 1996-2011 г. бяха подбрани мониторингови точки от нея, които се контролираха съвместно от КЦМ и ИП „Н. Пушкиров“. Селекционирани за провеждане на настоящия проект точки съответстват на определени контролни точки и съставят поредица от нарастващи нива на замърсителите (фиг. 3, 5).



Фиг. 3. Разположение на точките от мониторинговата мрежа, обект КЦМ, община Куклен (1993 г.)

Особено значение при разработване на планове за управление на земите има отчитането на потенциалните и протичащите ерозионни процеси. В тази връзка бе изработена и карта на действителния риск от площна водна ерозия и дефлация (ветрова ерозия, фиг. 4).



Фиг. 4. Карти на действителния риск от водна и ветрова ерозия



Фиг. 5. Местоположение на изследваните пунктове от мониторинговата мрежа

Планираните изследвания са проведени в следните пунктове:

Пункт 1 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като алувиално (делувиално)-ливадна, мощна, средно пясъкливо-глинеца според българската класификация (Койнов и кол., 1964) и като Eutric Fluvisols според WRB (IUSS Working Group WRB, 2007).

Пункт 2 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като делувиално-ливадна, мощна, леко глинеца (Eutric Fluvisols).

Пункт 3 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като алувиално (делувиално)-ливадна, мощна, леко пясъкливо-глинеца (Eutric Fluvisols).

Пункт 4 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като алувиално (делувиално)-ливадна почва, средно мощна, леко пясъкливо-глинеца (Eutric Fluvisols).

Пункт 5 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като алувиално (делувиално)-ливадна, мощна, леко пясъкливо-глинеца (Eutric Fluvisols).

Общи, подвижни и биодостъпни фракции на замърсителите в почвите (подробен отчет на ИПАЗР „Н.Пушкарров“)

Стойностите на олово, цинк и кадмий надвишават указаните максимално допустими концентрации за земеделски земи многократно (табл. 3).

Таблица 3. Концентрации на замърсителите, mg/kg (в *aqua regia*)

Пункт	Pb	Zn	Cd	pH
1	2 145	2 525	49.0	7,3
2	675	1 125	16.0	7,6
3	1 070	1 300	28.0	7,6
4	10 000	6 300	202	7,5
5	103	195	3.00	7,7
МДК	120	400	3,0	

За оценка на риска от замърсяване с олово, цинк и кадмий в района на КЦМ - Пловдив е проведена екстракция с няколко разтворителя:

➤ Два слабо моларни разтвори на EDTA с различно pH - буферирани и не буферирани. Тези разтвори се причисляват към групата на подходящите реагенти за изследване на нездраво свързаните съединения на тежките метали с почвените компоненти.

➤ Друг екстрагент, който се използва широко като добра практика за определяне на действително достъпната фракция на тежките метали е калциевият двухлорид (0,01 M CaCl_2), който се използва и в настоящето изследване.

➤ Специфичните екстрагенти на почвеното органично вещество, които показват ролята на хумусните киселини за свързване на тежките метали в различните почвени разновидности, при различни нива на натоварвания. Известно е, че свободните и свързани с R_2O_3 хуминови и фулвокиселини (определени в извлек 0,1 N NaOH), както и агресивна фракция на фулвокиселините (в извлек 1 N H_2SO_4) са подвижните фракции, които определят потенциалния риск за замърсяване на околната среда.

От проведеното изследване с различни екстрагенти могат да се направят следните изводи относно приложимостта им за описване на риска от замърсяване:

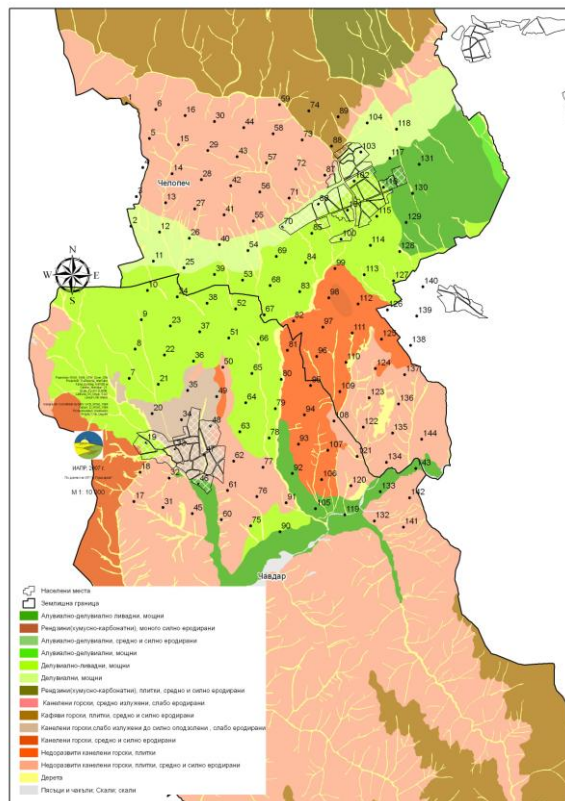
1. Използването на разтвори тип „псевдопочвен разтвор“ не са подходящи за охарактеризиране на риска при почви със силна степен на замърсяване и стабилни физико-химични показатели. Те са подходящи за изследване на по-слабо или незамърсени замърсени почви, но по-лабилни в физико-химично отношение. Определените количества кадмий достигат до 16,7% от общото количество при слабо замърсяване, и до 4,46% при средно и силно замърсените почви.

2. Алкалните разтвори, характеризиращи състава на ПОВ са неподходящи като индикатори на замърсяване, поради неефективна екстракция на подвижните фракции, които определят потенциалния риск за замърсяване на околната среда. Единствено киселият разтвор, характеризиращ фракцията на агресивните фулвокиселини има по-висока ефективност и може да се използва като подходящ индикатор. Това твърдение намира най-голямо потвърждение при охарактеризиране на замърсяването с цинк и кадмий и в по-малка степен с олово.

3. Хелатните агенти с и без коригиране на киселинността са с висока степен на ефективност главно по отношение на олово, и в незначителна степен за цинк и кадмий, като не показват различия в зависимост от киселинността на разтвора и имат еднаква приложимост за неутрални до слабо алкални почви.

3.2. Общини Чавдар и Челопеч и района на Челопеч-Майнинг.

Разработена е мрежа за екологичен мониторинг с растер 0.4 км, обхващаща землищата на с. Челопеч и с. Чавдар. Въз основа на наличната информация (отчет на ИПАЗР) е изготвена почвена карта с географски координати (фиг. 6).



Фиг. 6. Почвена карта на изследвания район

Подбраните точки по предварителна информация имат градиент на замърсяването. Основният замърсител в района е медта (фиг. 7).



Фиг. 7. Геоложка карта на изследвания район

Локализацията на изследваните пунктове е представена на карта (фиг. 8).



Фиг. 8. Местоположение на изследваните пунктове от мониторинговата мрежа

Пункт 1 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като делувиално-ливадни почви, мощни, леко-песъкливо глинести.

Пункт 2 е разположен в биологически рекултивиран участък.

Пункт 3 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като алувиално (делувиално)-ливадни почви, тежко песъкливо-глинести.

Пункт 4 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като делувиално-ливадни почви, мощни, средно песъкливо-глинести.

Пункт 5 е разположен в почвено различие, определено по данни от архива на Институт „Пушкарров“ като силно излужени до слабо оподзолени канелени горски почви, слабо ерозирани.

Общи, подвижни и биодостъпни фракции на замърсителя в почвите.

В изследваните почви се установява висока акумулация на мед, която надхвърля максимално допустимите концентрации, регламентирани в Наредба 3/2008 с 74 до 580% или 6,8 пъти (табл.4).

Таблица 4. Концентрация на мед (mg/kg)

Пункт	Съдържание на мед	pH	МДК
1	544	4,3	80
2	210	4,9	80
3	64,5	5,9	80
4	120	5,9	80
5	139	5,0	80

Проведените екстракции показват, че около 2% от медта, постъпваща в почвата дисоциира в почвения разтвор. Определените количества мед в почвения разтвор (екстракция с CaCl_2) са пряко усвоими и не токсични за културните растителни видове. Като токсични се оценяват концентрациите на потенциално достъпната мед, екстрахируема с разтвори на ЕДТА. Тези концентрации се превръщат в реална токсична заплаха за агроecosистемите и околната среда в резултат на силната си зависимост от рН. Установява се, че с двата разтвора се екстрахират приблизително еднакви концентрации на елемента, което определя небуферираните разтвори на ЕДТА като подходящи в методично отношение (по-лесно и по-бързо изпълними). От силно замърсените почви с пиродифосатния разтвор (като специфичен разтворител на органичната фракция) се екстрахира повече мед, отколкото с разтворите на ЕДТА. Това показва добрата му приложимост за определяне на количеството на потенциално достъпната мед в замърсени почви. Силната корелационна връзка между данните от двата разтвора (R^2 0,9123-0,9312) предполага, че и двата разтвора атакват едни и същи източници (депа) на мед, които имат подчертано минерален характер и се представляват от адсорбционните й комплекси с глинестите минерали и простите медни съединения.

3.3. Оценка на алтернативни индикатори почвени животни и нематоди (подробен отчет на АУ- Пловдив)

Видовото разнообразие на почвенообитаващите безгръбначни животни като цяло бе по-голямо в района на КЦМ-Пловдив, в сравнение с района на Златица-Пирдоп. В първият район бяха установени представители на семействата Geophilidae, Julidae, Elateridae, Tenebrionidae, Staphylinidae и на разред Diplura, които не бяха констатирани във втория обследван район. В района на Златица-Пирдоп обаче, бяха наблюдавани видове от семейства Membracidae, Curculionidae и Melolonthidae, които отсъстваха в пробите взети от сайтовете в района на КЦМ-Пловдив.

1. И в двата обследвани района бяха наблюдавани представители на разредите Collembola и Isopoda, както и на семействата Formicidae, Orbitidae и Hygromiidae. Числеността на видовете от посочените систематични групи варираше, като впечатление прави разликата в броя на индивидите от разред Collembola (много повече за района на КЦМ-Пловдив) и тези от разред Isopoda (по-многобройни за района на Златица-Пирдоп).

2. От екстрахираните, фиксирани и идентифицирани до момента екземпляри от клас Nematoda беше установено, че последните принадлежат към 10 семейства, включващи индивиди на четирите трофични групи нематоди, а именно: растителнопаразитни, бактериофаги, омнивори и хищници. Видовото разнообразие при нематодите беше сходно в почвите на двата проучвани района, като изключение правят семействата Seinuridae и Tylenchidae, чийто представители не бяха открити в района на КЦМ-Пловдив.

3.4. Растителни видове (подробен отчет - СУ „Св.Кл. Охридски)

За изследваната територия Челопеч Майнинг, с. Чавдар, пункт 1 през отчетния период са установени 129 растителни вида, 100 рода от 39 семейства (приложение № 1). Най-голям брой видове е установен от Asteraceae /18/, Fabaceae /17/ и Poaceae /14/.

За района на Пловдив – КЦМ и околностите през отчетния период са установени 75 растителни вида, 69 рода от 30 сем. (приложение № 2). С най-голям брой видове е представено сем. Asteraceae /13/.

Изготвените флористични списъци за двата района дават информация за флористичното биоразнообразие на изследваните територии. Необходимо е тези изследвания да продължат и през следващия етап, за да се получи необходимата повторяемост и пълна информация за таксономичния състав на флората.

3.5. Генотоксичност на металите в почви от изследваните райони (подробен отчет- ИБЕП)

Целта на разработката през първия етап е да се направи скрининг за генотоксичност на почвени проби от референтни точки от района на „Челопеч майнинг“ върху две моделни системи и да се определи тяхната биоактивност. В резултат от проведените изследвания е направена комплексна оценка на биоактивността на извлекци от почвени проби от избраните пет референтни точки.

Основни резултати: данните от проведения анализ за генотоксичност и биологичната активност на почвени проби от референтни точки от района на „Челопеч майнинг“ върху двете моделни системи позволяват да се направят следните изводи:

- Почвените извлекци от различните места за пробовземане от местността Челопеч са слаби индуктори на окислителен стрес за тест-система *C. reinhardtii* и показват много слаб цитотоксичен ефект на тест система *Hordeum vulgare*.
- Извлек от почвена проба 1 има най-силен инхибиращ и генотоксичен ефект на тест-система *Chlamydomonas reinhardtii*.
- Почвените извлекци притежават слаб, но статистически достоверен генотоксичен ефект, като повишават достоверно нивото на индукция на микроядра и на хромозомни аберации в тест система *Hordeum vulgare*.
- Всички извлекци имат слаб, но статистически достоверен ДНК увреждащ потенциал, малко по-силно изразен за почвени проби 3 и 4.
- Почвените извлекци от референтни точки в района на КЦМ – Пловдив имат по-силен генотоксичен потенциал, в сравнение с тези от района на Челопеч майнинг.

4. ОЦЕНКА НА РИСКА И БИОТОКСИЧНОСТ

4.1. Тест- експерименти физиологични промени (подробен отчет- ИФРГ- БАН, и част от отчет на АУ-Пловдив)

Беше проведено изследване за промените във физиологичното състояние на млади краставични растения, отгледани при контролируеми условия върху почви от района на КЦМ - Пловдив, замърсени с тежки метали.

Резултатите показват, че почвеното замърсяване не води до увреждания на нивото на акцепторната страна на ФС2. Допълнителното активиране на реакционни центрове на ФС2 е свързано с адаптация на фотосинтетичния апарат към почвеното замърсяване.

Почвеното замърсяване води до повишена активност на ФС1, което представлява типичен ефект в условия на стрес. Това се проявява най-силно при т. 5- КЦМ- Пловдив). Следователно, уврежданията при почва от точки 2 и 4, оценени по флуоресценцията, могат да се свържат и с липса на компенсаторна активация на ФС1, характерна за другите варианти.

По отношение на функционалната активност на фотосинтетичния апарат бе установено най-високо съдържание на хлорофил в контролния вариант и понижение във всички останали варианти в резултат от почвеното замърсяване с тежки метали.

Подобно на резултатите за скоростта на фотосинтезата, най-висока е скоростта на транспирацията в контролните растения (пункт 1), което корелира и с по-висока устична проводимост, а най-силно е инхибирана устичната проводимост при вариант (5), което води и до по-силното понижение в скоростта на транспирацията.

Получените резултати показват, че степента на изтичане на електролити е най-ниска при растенията с незамърсена почва и нараства с около 25-30% при останалите варианти, което говори за нарушен интегритет на мембраните, предизвикан от металната токсичност, особено при точка 4, в която е измерена най-висока степен на почвено замърсяване.

Растенията, отгледани върху почви с най-слаба замърсеност, показват най-висока СОД активност. С увеличаване на почвената замърсеност активността на ензима се понижава, като не се наблюдават значими разлики.

Анализът на резултатите от активността на антиоксидантната система показва, че в условия на стрес, причинен от тежки метали, растенията използват предимно механизмите на неензимната антиоксидантна защита. Сходният отговор на съдържанието на флавоноиди и антиоксидантната активност потвърждава становището за ролята на този клас полифенолни съединения като компоненти на неензимната антиоксидантна защита. Ефектът на флавоноидите може да се обясни както с прякото им антиоксидантно и антирадикално действие, така и със свойството им да свързват тежките метали в хелатна връзка, като по този начин намаляват токсичното им действие.

4.2. Тест- експеримент- акумулацията на замърсители

Предвид особеностите на почвено-климатичните характеристики, в землищата на Пловдив, Куклен и Асеновград е възможно получаване на няколко реколти в годината.

Изследването е съобразено със спецификата на производството в района. Целта на разработката е проучване на акумулацията на замърсителите (Cd, Zn, Pb) в спанак при прилагането на съвременни техники на подхранване с органични торове по време на вегетацията.

Изводи

Установено е влиянието на органичното и минералното торене върху показателите на растежа, добива и качеството на спанак, отгледан върху силно замърсена с тежки метали почва. Максимален положителен ефект се наблюдава при минерално торене на почвата ($N_{200}P_{200}K_{200}$) и комбинирано с подхранване с ниска концентрация на органичен тор (амалгерол-0.05%).

Промените във фотосинтетичната активност са измерени чрез оценка на съдържанието на пластидни пигменти. Максимално съдържание на хлорофил „а“ и „в“ се установи във варианти 5 и 9 ($N_{200}P_{200}K_{200}$ и самостоятелно органично торене с Амалгерол 1000 ml/da).

Установени са промените в биохимични характеристики на спанака- съдържание на нитрати, аскорбинова киселина и общи захари. Те характеризират като оптимални вариантите 5 и 6 ($N_{200}P_{200}K_{200}$ и $N_{200}P_{200}K_{200}$ + листен тор). Растенията с минерално торене имат по- високо съдържание на нитрати, общи захари, витамин „С“ и сухо вещество в сравнение с тези с органично торене.

Оценката на санитарното състояние на продукцията- съдържание на тежки метали в биомасата, показва, че максимална акумулация на кадмий (49 mg/kg), олово (83 mg/kg) и цинк (663 mg/kg) има при вариантите с използване на течен органичен тор. Тези концентрации на метали в биомасата характеризират продукцията като опасна.

Съгласно изискванията за безопасност на храната независимо от получените добри качествени показатели, наличието на други вредни вещества (в случая Cd, Pb, Zn) над санитарните норми правят произведената продукция от спанак неприложима като храна и фураж.

Публикации по темата:

1. Динев, Н. и Е. Филчева. 2011. Мониторинг на почвите: индикатори на тежкометалното замърсяване и прилагане на GPS техники при оценка на риска. Почвознание, агрохимия и екология, год. XLV, приложение 1-4, 86-92.
2. Василев, А. и Н. Динев. 2011. Екотоксикологична оценка на замърсени с тежки метали почви в района на Кремиковци и КЦМ- Пловдив. Почвознание, агрохимия и екология, год. XLV, приложение 1-4, 72-76.
3. Filcheva E., N. Dinev and M Hristova. 2012. Turkey Bulgarian Humic Substances Society – Forum for Consolidation of Humus Substances Researches. In: I. National Humic Substance Congress, 06-09 June 2012, Sakarya
4. Динев Н., Ив. Митова, 2011. Ефекти на минералното и органичното торене върху акумулацията на замърсители в растения от спанак. Почвознание, агрохимия и екология, год. XLV, приложение №1- 4, 104-110.
5. Stefanov D, K. Ananieva, K. Georgieva, N. Dinev, I. Mitova, and S. Doncheva. 2012. RAPID SCREENING OF SOIL CONTAMINATION BY USING TOMATO PLANTS AS BIOINDICATORS: A PULSE AMPLITUDE MODULATION FLUORESCENCE STUDY. Доклади на БАН, кн.8, том 65 (служебна бележка)
6. Duarte, J., Cr. Moreira and S. Chankova. 2012. Decontamination of olive oil wastewater by unicellular green algae. Подадена за участие в IV конгрес на еколозите на Македония с международно участие, Охрид, 11-15 октомври 2012.
7. Mahmud, A., M. Yordanova and S. Chankova. 2012. Assessment of genotoxic and DNA damaging potential of polluted soil samples using Chlamydomonas reinhardtii as a test system. Подадена за участие в IV конгрес на еколозите на Македония с международно участие, Охрид, 11-15 октомври 2012

Във всички статии и в специалния брой на Почвознание, агрохимия и екология е посочено финансовото подпомагане по проекта.

Резюме

В изпълнение на целите на проекта са проведени изследвания за оценка на тежкометалното замърсяване на почвите в антропогенно повлияните райони. Обобщени са наличните данни за почвеното многообразие в района на КЦМ, община Куклен, и Челопеч- Майнинг, общини Чавдар и Челопеч. Данните са представени в цифров вид и са визуализирани чрез интерполирани карти. Направеният избор на точките е основан на градиента на нарастване на специфичните замърсявания. В определените пунктове са проведени проучвания на почвените физико-химични и химични особености, почвената биота, флористични проучвания.. Проведените екстракции показват, че повечето от използваните екстрагенти са слабо подходящи за изследване на мобилността на тежките метали в силно и много силно замърсените почви. За тези почви най-подходяща е екстракцията с небуфериран хелатен разтвор на ЕДТА, докато в незамърсените и слабо замърсените почви екстракцията с калциев двухлорид също е достатъчна информативна.

Направена е оценка на биоразнообразието- флора и почвена фауна, на мониторинговите точки. Видовото разнообразие на почвенообитаващите безгръбначни животни като цяло бе по-голямо в района на КЦМ-Пловдив, в сравнение с района на Златица-Пирдоп. В първият район бяха установени представители на семействата *Geophilidae*, *Julidae*, *Elateridae*, *Tenebrionidae*, *Staphylinidae* и на разред *Diplura*, които не бяха констатирани във втория обследван район. В района на Златица-Пирдоп обаче, бяха наблюдавани видове от семейства *Membracidae*, *Curculionidae* и *Melolonthidae*, които отсъстваха в пробите взети от сайтовете в района на КЦМ-Пловдив.

За изследваната територия Челопеч Майнинг, с. Чавдар, пункт 1 през отчетния период са установени 129 растителни вида, 100 рода от 39 семейства (приложение № 1). Най-голям брой видове е установен от *Asteraceae* /18/, *Fabaceae* /17/ и *Poaceae* /14/. За района на Пловдив – КЦМ и околностите през отчетния период са установени 75 растителни вида, 69 рода от 30 сем. (приложение № 2). С най-голям брой видове е представено сем. *Asteraceae* /13/.

Проучева е изявата на чувствителност и толерантност на видове водорасли и растения към наличното в почвата замърсяване. Почвените извлеци от референтни точки в района на КЦМ – Пловдив имат по-силен генотоксичен потенциал, в сравнение с тези от района на Челопеч майнинг. Анализът на резултатите от активността на антиоксидантната система показва, че в условия на стрес, причинен от тежки метали, растенията използват предимно механизмите на неензимната антиоксидантна защита. Всички извлеци имат слаб, но статистически достоверен ДНК увреждащ потенциал,

Успешно е приложен флуоресцентен метод за бърз скрининг на почвеното замърсяване на базата на промените на няколко основни фотосинтетични параметри, чиято функционална активност се повлиява съществено от присъствието на тежки метали в почвата. В качеството на биоиндикатори са използвани доматени растения, отгледани на почви замърсени с Pb, Zn и Cd. Резултатите показват понижение в активността и на двете фотосистеми (ФС1 и ФС2), което корелира с понижена фотосинтетична скорост, оценена по намаленото кислородно отделяне. Най-висока степен на увреждане на двете фотосистеми се наблюдава при растенията, отгледани на почви, които са най-силно замърсени.

Проведени са изследвания, позволяващи да се оцени риска за околната среда. Направена е оценка на токсичността на замърсителите върху тестови растения. Изведени са експерименти за оценка на безопасността на растителна продукция.