ПОЧВОЗНАНИЕ АГРОХИМИЯ И ЕКОЛОГИЯ, ГОД. XLVII, № 1
SOIL SCIENCE AGROCHEMISTRY AND ECOLOGY, VOL. XLVII, № 1
София. 2013. Sofia

ГЕНЕЗИС, ГЕОГРАФИЯ И КЛАСИФИКАЦИЯ НА ПОЧВИТЕ, ГЕОИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ

ИРЕНА АТАНАСОВА, МЕТОДИ ТЕОХАРОВ, МИЛЕНА ХАРИЗАНОВА
Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкаров“, София

Морфогенетична и химична оценка на почви, третирани с утайка от Софийската пречиствателна станция

Morphogenetic and Chemical Assessment of Soils Treated with Sludge from Sofia Waste Water Treatment Plant

I. Atanassova, M. Teoharov, M. Harizanova
N. Poushkarov Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection, Sofia, Bulgaria

Abstract

Soils from the South-West of the Kremikovtsi terrain were studied in 2010. A soil profile from an arable land (fallow) treated with 4.2 t/da sludge from the Sofia Waste Water Treatment Plant (WWTP) and another control profile – untreated with sludge were investigated and characterized. Soils were classified as Rhodic Gleyic Luvisols. No contamination with heavy metals above the maximum permissible loads was found as a result of sludge treatment. No perturbations in soils concerning the labile forms of N, P, K and total heavy metal loads were detected. Metal distribution in soils reflects the influence of the anthropogenic factor and the soil morphogenesis. It was found that Cu and Pb have anthropogenic origin, Fe, Cr, Ni, and Zn litho(pedo)genic and Co – pedogenic. Mn has dual origin, i.e. both biopedogenic and anthropogenic.

Key words: sewage sludge, Luvisol, heavy metals, soil profile, sources

Поради нарастващите нужди за запазване и повишаване на почвеното плодородие, както и постоянното нарастване на обема на произведените утайки от станциите за пречистване на отпадни (битови, промишлени и смесени) води, тяхното съхранение (депониране) и приложение в земеделската практика става все по-актуално. Според годишен аграрен доклад на МЗХ за 2011 г., през 2010 г. са издадени 50 броя разрешения от НСРЗ за употреба на утайки от пречистването на отпадъчни води за нуждите на земеделието. Общото количество утайки, оползотворени в земеделието през 2010 г. е 24 012,5 t сухо вещество върху 5663 da обща площ. Според Доклад на МОСВ от 2011 г. общото количество генерирана утайка от новоизградени ПСОВ, както и от допълнително изградената канализационна мрежа на агломерациите със съществуващи ПСОВ се оценява към 31. 12. 2014 на 95 075 t с.в./г.

В частност територията на София и Софийската котловина се характеризират с тежко демографско и техногенно обременяване. Проблемът с отпадните води и твърдите битови отпадъци придобива все по-голямо значение. Физикогеографските особености на столицата и Софийската котловина, дъното на която е заето с обширното Софийско поле, включват наличие на седиментни и кватернерни отложения на плиоценско езеро, състоящо се от 3 - 4 тераси. Софийската пречиствателна станция е в близост до алувиалните отложения на р. Искър. Поради вероятност от флуктоация на подпочвените води е възможно депонираните утайки да въздействат върху почвите и

да предизвикат пертурбации в техните свойства и в поведението на замърсители – тежки метали (Teoharov and Atanassova, 2006).

Установено е, че утайките от пречиствателните станции имат положителен агрономически ефект при условие, че се избегнат негативните последствия за системата почва – растение – води, свързани с натрупване на тежки метали, органични замърсители и патогени. Свойствата на утайки от Софийската пречиствателна станция за отпадъчни води и тяхното оползотворяване са характеризирани от Маринова (2008). В изследвания на Williams et al. (1987), Campbell and Beckett (1988), Giusquiani et al. (1992; 1995), Kasatikov and Runik (1994), Tsadilas et al. (2000), Bacon et al. (2001), Alloway and Jackson (1991), Petersen et al. (2003), Atanassova et al. (2005), Atanassova et al. (2006), Atanassova et al. (2012) и др. се засягат проблемите на контаминация на агроекосистемата, свързани с третиране на почвите с утайки от пречиствателни станции. Atanassova et al. (2012) установяват, въпреки че не се наблюдава повишение на общите концентрации на Zn, Cu and Pb при Алувиално-ливадни почви, третирани с 40 t/ha утайка, а само при тези с 60 t/ha (Atanassova et al., 2005), се регистрира повишаване на мобилните (0,05 M $Ca(NO_3)_2$) форми на Cd, Cr, Zn и Cu и в двата третирани варианта. По отношение но Pb, Mn, Fe, Ni и Co не е установен ефект на утайката, но са установени слаби пертурбации в отношенията и взаимовръзките на елементите спрямо контролния вариант особено по отношение на мобилните Cu и Cr. В изследвания на Панайотова и сътр. (2010) също е отбелязано нарастване на подвижните (0,05 M EDTA) форми на Fe, Mn, Cu и Zn под въздействието на утайка от ПСОВ при Излужена смолница.

Формите на тежките метали и пространственото им разпределение в почвите са тясно свързани от една страна с тяхната химична природа и, от друга – със свойствата на почвата като многофазна и динамична система. Реакциите на граничната повърхност почва – почвен разтвор – коренова система са ключови по отношение на лабилността и придвижването на тежките метали по почвения профил, било чрез реакции на адсорбция-десорбция от органо-минералния адсорбент или чрез повърхностен или дълбочинен отток и отмиване по цепнатини и празнини в почвения профил. Поведението на тежките метали зависи и от техния произход – лито(педо) генен или антропогенен. Литогенните тежки метали са предимно свързани в кристалната решетка на първичните минерали, педогенните тежки метали – освен с първичните и с вторичните алумосиликатни минерали и могат да бъдат мобилизирани при специфични условия в почвите. Антропогенните метали имат по-голяма склонност да бъдат мобилизирани и биодостъпни за растенията поради факта, че педогенезиса не е протичал достатъчно дълго време, за да се установи динамично равновесие във взаимодействията с органичния и минералния компонент на почвения адсорбент. Формите на металите с литогенен или антропогенен тип на произход могат да бъдат трансформирани под въздействие на педогенезиса в „педогенни метали", чиито свойства се контролират основно от почвените свойства.

Целта на изследването беше да се направи характеристика на морфогенезиса и връзката му с произхода и съдържанието на тежките метали в почви под въздействието на утайка от пречиствателна станция.

Материал и методи

Обекти и почви. Обектът на проучване е разположен в югозападната част на землището на кв. Кремиковци. Проучен и характеризиран е профил (2010) в обработваема почва (угар), в която е инкорпорирана 4,2 t/da утайка от Софийска градска пречиствателна станция през лятото на 2006 г. Проученият профил е морфологично описан и анализиран. Почвите са класифицирани като Rhodic Gleyic Luvisols според FAO (2006) и корелацията на Teoharov (2004) за българските почви и тези в Световна референтна база. Методите за анализ на химичните, физикохимичните и морфологичните свойства на почвите са следните: морфологично описание (FAO, 2006), механичен състав – по Качински, органичен въглерод – по Тюрин, pH (в H_2O), сорбционен капацитет – по Ганев и Арсова (1980), фосфор и калий – по ацетатно-лактатен метод (Иванов, 1980), тежки метали – псевдообщи форми (ISO 11466), минерален азот – по Bremner and Keeney (1965). Приложен е многофакторен анализ и клъстерен анализ, SPSS 10 за Windows с оглед оценка на структурата в данните по начин, който най-добре отразява дисперсията и

взаимовръзките между формите на тежките метали по дълбочина на почвените профили.

Резултати и обсъждане

Морфогенетична характеристика

Изследваните почви се характеризират с добре изразени генетични хоризонти, които се редуват на сравнително голяма дълбочина (до 200 cm). Морфологичните свойства показват, че тези почви притежават добре развит профил (A-AB-B-BC-C). Структурата им в повърхностните хоризонти е бучковидно-троховидна до разпрашена в обработваемите площи и троховидно-зърнеста до бучковидна в необработваемите площи. В преходните илувиални хоризонти и подхоризонти тя е бучковидна до дребнобуцеста. По този показател почвите са по-уплътнени в долните хоризонти. Като цяло профилът е изграден със свързани структурообразуващи агрегати. Може да се предполага, че в миналото върху тяхното формиране е оказвало влияние протичане на ливаден процес с развитие на тревна растителност със сравнително мощна коренова система, тъй като хумусното съдържание е над 1% до 1,30 cm.

Цветовата характеристика е характерна за Червени средиземноморски почви, които се характеризират с Rhodic хоризонт със стойности 2,5 YR. Тоталното (видимо) ожелезяване е доказателство за наличие на всички форми (общи и несиликатно свързани) на желязо. В долните хоризонти (B; BC) се наблюдават манганови конкреции, което се дължи на задържане на почвената влага в тях, създаване на анаеробни условия и протичане на окислително-редукционни процеси с оглеяване, редуващи се през сухия и влажния период на годината. Сегрегацията на мангана се дължи на активното протичане на тези процеси. Изследваните профили са формирани върху плиоценски карбонатни глинести материали,

Профил № 1 е заложен в землището на кв. Кремиковци, област София-град, на 598 m н. в., координати N 42’75.523 E0 23’48.475, релеф: равнинен, леко наклонен на север 1-2º; основна скала: плиоценски червени глини със скални късове от сиенит; растителност: див овес, лисича опашка, остатъци от пшеница и рапица от предишни години. Земеползване – угар.

A_p 0-30 cm	Тъмночервеникаво-кафяв (5 YR 3/3), свеж до влажен, рохкав, бучковидно-троховидна до разпрашена структура, единични фрагменти 1-2 mm, свежи корени от тревна растителност, единични кварцови зърна, слабо разпрашаване, не шупва от солна киселина, преходът е постепен.
AB 30-85 cm	Опушено червено (2,5 YR 3/2), овлажнен, уплътнен, добре изградена бучковидна до зърнесто-троховидна структура, преобладава бучковидната, единични фрагменти от сиенит до 1 cm, единични кварцови зърна, отсъствие на лъскави повърхнини на агрегатите, единични ръждиви петна, изгнили корени, ходове от червеи, не шупва от солна киселина, преходът е забележим.
B_{t1} 85-130 cm	Тъмночервеникаво-кафяв (2,5 YR 2/4), овлажнен, уплътнен, добре изградена бучковидна до дребнобуцеста структура, преобладава бучковидната, гланцирани агрегати, единични фрагменти от сиенит до 1-2 mm, ожелезяване от скалата, не шупва от солна киселина, преходът е постепен.
B_2 130-160 cm	Тъмночервен (2,5 YR 3/6), овлажнен, уплътнен, бучковидна до дребнобуцеста структура, тъмни ивици и петна от манганови конкреции, но по-малко в долната част на хоризонта на 0,5 cm от Ск хоризонт, силно изветрели, излужени и неизветрели фрагменти от сиенит, отсъствие на карбонати, не шупва от солна киселина, преходът е ясен.
Ск 160-200 cm	Червен (2,5 YR 4/6), овлажнен (образува шнур), плътен, бучковидна структура, фрагменти от сиенит, изветрели и полуизветрели манганови конкреции (твърди и меки), единични кварцови зърна, карбонатни натрупвания, акумулация на меки карбонатни конкреции с размери до 1 cm, кипи от HCl.

Профил № 2 (контролен). Заложен е в землището на кв. Кремиковци, област София-град, на 608 m н. в. с координати N 42’75.184 E0 23’48.841; релеф: равнинен, леко наклонен на север 1-2º; растителност: райграс, власатка, киселец, бучиниш, магарешки бодил, единични храсти от шипка. Земеползване – пасище.

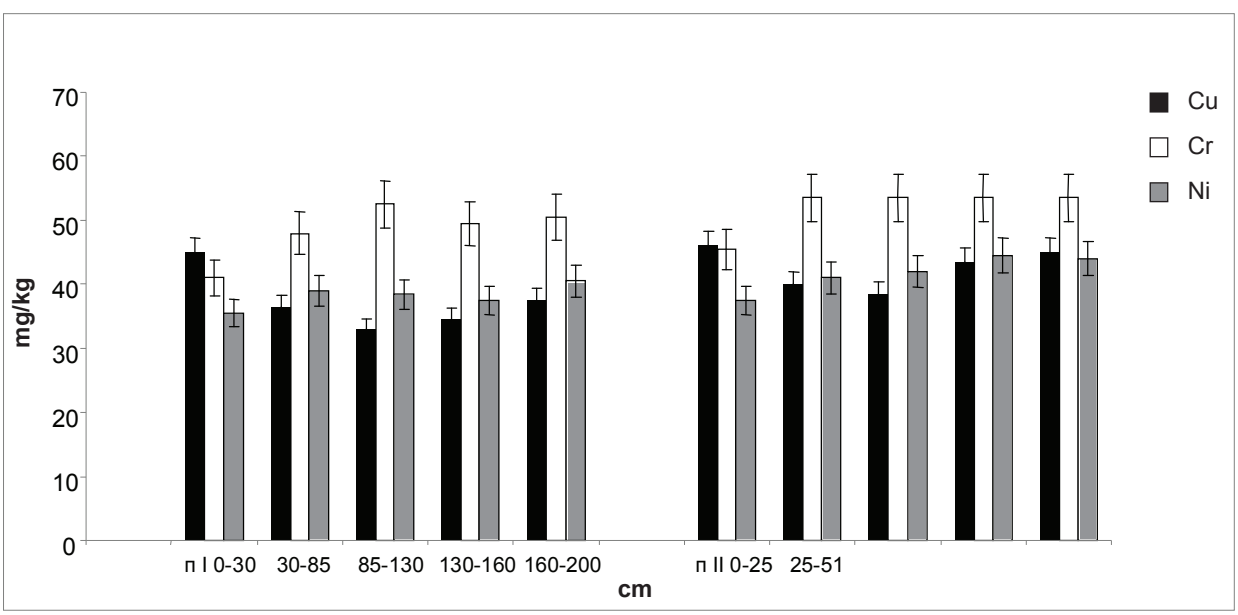
$A_{чим}$ 0-25 cm	10 YR 3/4, свеж, уплътнен, добре изградена троховидно-зърнеста до бучковидна структура, преобладава бучковидната, няма разпрашаване, осеян с гъста коренова мрежа до 50%, скални фрагменти от 2 mm до 2 cm, по-дребните са изветрели, живи корени и власинки, свързани с агрегати, по-тъмни и по-светли зърна, остатъци от въглени (изгоряла растителност), преходът е постепенен.
AB 25-51 cm	5 YR 3/4, свеж, плътен, троховидно-зърнеста до бучковидна структура разпределена 50/50, няма разпрашаване добре изградени агрегати, коренови власинки 5%, скални фрагменти – по-дребните са изветрели, единични кварцови зърна, преходът е постепенен.
B_1 51-88 cm	5 YR 4/6, свеж, плътен, дребно- до едробучковидна структура, единични коренови власинки, изветрели фрагменти до 1-2 mm, отсъствие на железни петна, преходът е постепенен.
BC_1 88-115 cm	5 YR 4/4, леко овлажнен, плътен, дребно до средно буцеста структура, глинообразуване на място, слабо ожелезяване от скалата, от силно до слабо изветрели фрагменти (с различна степен на изветряне), чакъли, преходът е постепенен.
BC_2 115-180 cm	5 YR 4/4, леко овлажнен, плътен, дребно- до среднобуцеста структура, от силно до слабо изветрели фрагменти (с различна степен на изветряне), но фрагментите са по-малки по размер от тези в по-горния хоризонт, изветрели фелдшпати.

което е дало отражение върху техните химични и физикохимични свойства. В хоризонт (Ck) и най-вече в Профил 1 се наблюдава формиране на меки карбонатни конкреции до 1 cm. Размерите на тези конкреции са сравнително големи и това показва влияние не само на почвообразуващата скала, но и на процесите на излужване на хидрокарбонатни соли от горните хоризонти. Морфологичният анализ показва, че в Профил 2 протичат процеси на сиалитизация (глинообразуване на място). В същия профил са открити и включения от въглени частици, произтичащи от изгоряла тревна растителност. И в двата профила се наблюдават изветрели и неизветрели единични фрагменти на сиенит до 1 cm. Преходът между хоризонтите е постепенен, което доказва отсъствието на текстурна диференциация и протичането на активни хидроморфни процеси.

Почвено-химична характеристика и статистически анализ. Почвите се характеризират с неутрална до слабо алкална реакция в по-дълбоките хоризонти (Профил 1) и липса на изразена текстурна дифиренциация, което кореспондира с близките стойности на сорбционния капацитет по дълбочина на профилите (табл. 1). Съдържанието на основните макроелементи азот, фосфор, калий и данните за общото съдържание на тежките метали са представени в табл. 1 и фиг. 1 – 4. От профилното разпределение на формите на азота се вижда, че 4 години след третиране на почвите с утайка не се наблюдава повишена азотна минерализация на NH_4-N или NO_3-N подобно на изследвания на Atanassova et al. (2006). Подвижните форми на P и K също не отбелязват завишаване при третираните почви (Профил 1) при норма 4,2 t/da добавена утайка. Общите концентрации на тежките метали (фиг. 1 – 4*)* отразяват както мобилните, така и оклюдираните в почвени оксиди и инкорпорирани в кристалната решетка на почвените минерали метали, което кореспондира с морфологичните и физикохимични характеристики на изследваните почви. Наблюдава се неоднозначно разпределение на металите по дълбочина на третирания и контролен профил, което зависи от източниците на металите

Таблица 1. Съдържание на азот, фосфор и калий и основни почвени свойства
Table 1. Contents of nitrogen, phosphorous, potassium and major soil properties

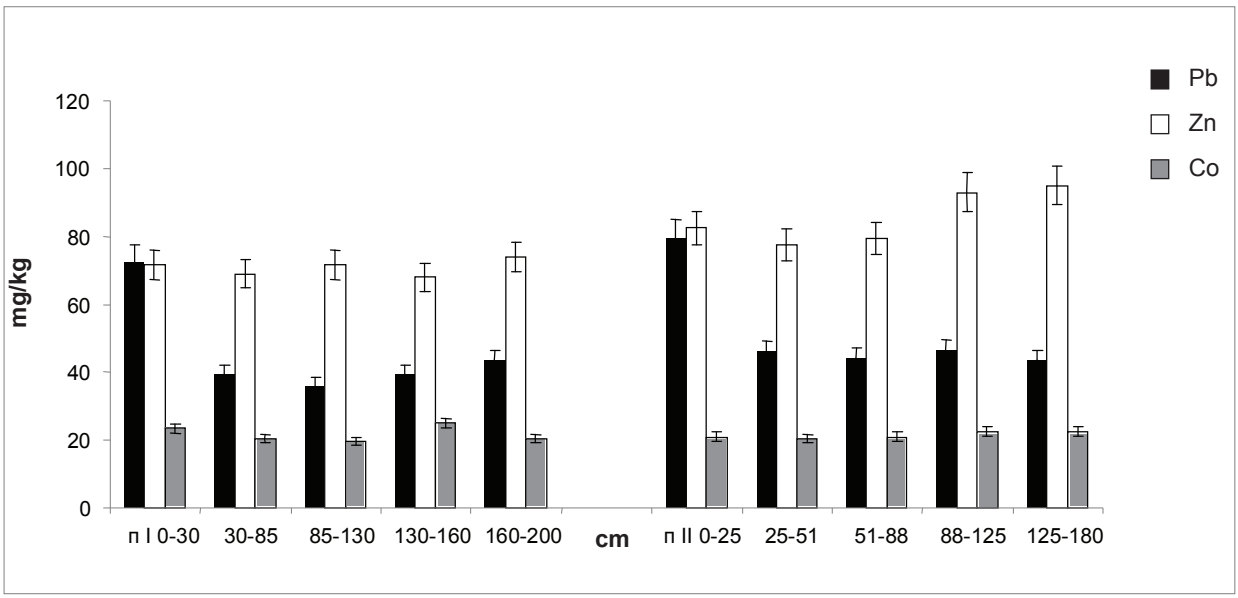
Хоризонт; дълбочина, cm	pH		Минерален азот, mg/kg		P_2O_5	K_2O	ОВ, %	Карбонати, %	Х. влага, %	Глина, %	Физична глина, %	$T_{8,2}$, cmol/kg
	H_2O	KCl	NH_4	NO_3								
Профил 1 A_p 0-30	6,9	5,9	8,0	8,0	7,7	17,1	2,68	0,00	3,75	27,1	47,8	25,8
AB 30-85	6,8	5,5	6,4	4,8	1,0	17,9	1,61	0,00	4,79	37,1	57,8	24,1
B_{t1} 85-130	7,0	5,5	4,8	1,6	0,8	16,5	1,07	0,00	5,74	41,2	57,0	26,0
B_2 130-160	6,3	5,2	3,2	1,6	0,7	13,0	0,62	0,00	5,25	38,9	53,3	25,9
C_k 160-200	7,5	6,7	3,2	2,6	3,2	13,7	0,53	1,25	4,08	31,9	42,0	25,0
Профил 2 А чим 0-25	7,0	6,3	8,0	4,8	37,3	38,0	2,85	0,00	3,47	21,2	45,8	26,1
AB 25-51	7,2	5,9	4,8	1,6	0,9	18,9	1,43	0,31	4,99	32,4	54,0	26,4
B_1 51-88	7,0	5,8	3,5	1,3	0,5	17,0	1,34	0,00	5,14	36,0	54,2	23,8
BC_1 88-125	7,0	5,6	1,6	1,6	0,3	11,4	0,71	0,00	3,56	21,5	36,6	23,7
BC_2 125-180	6,8	5,5	6,4	1,3	1,0	10,5	0,53	0,00	3,34	21,3	42,7	23,4



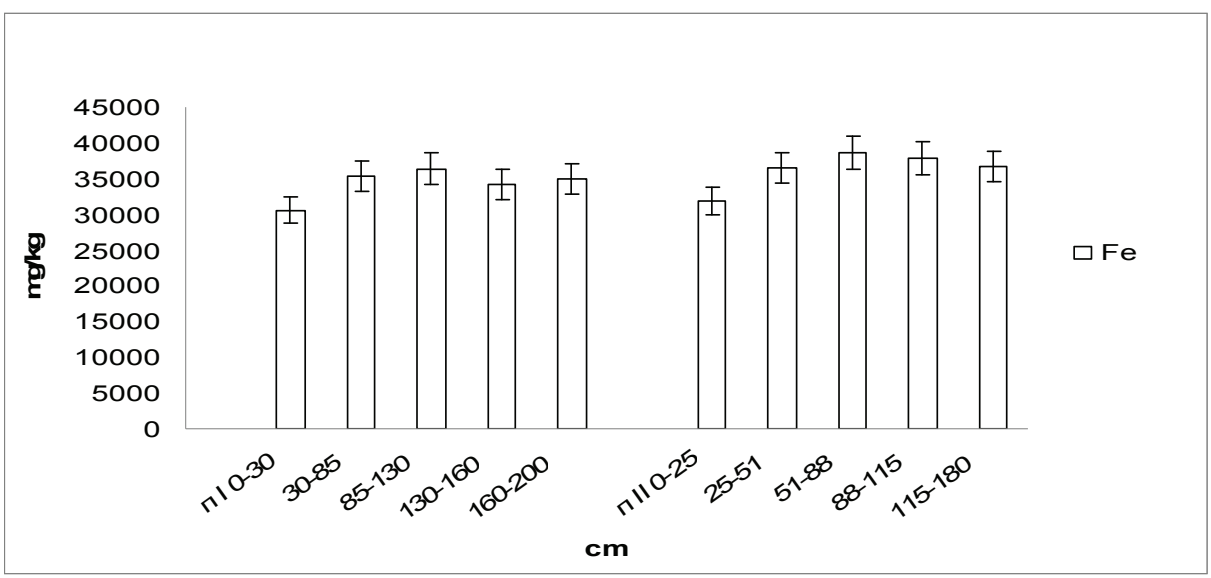
Фиг. 1. Разпределение на Cu, Cr и Ni по дълбочина на почвените профили
Fig. 1. Distribution of Cu, Cr and Ni along the depth of the soil profiles

и се потвърждава от проведения статистически анализ. Не е установено влияние на утайката върху подвижните форми на макроелементи и замърсяване с тежки метали над максимално допустимите концентрации (Наредба 3, Обн. ДВ. бр. 71 от 12.08. 2008 г. МОСВ, МЗХ).

Направена е проверка дали данните имат нормално разпределение чрез прилагане на Shapiro-Wilk's тест за статистическа значимост ($p = 0,05$). Върху данните от общите концентрации на тежките метали е проведен многофакторен статистически анализ (SPSS 10 Windows) с оглед идентифициране на източниците и разграничаване на групи от елементи с различно поведение и произход. Анализът на главния компонент (PCA) се използва при едновременното изследване на няколко фактора и обяснява дисперсията в



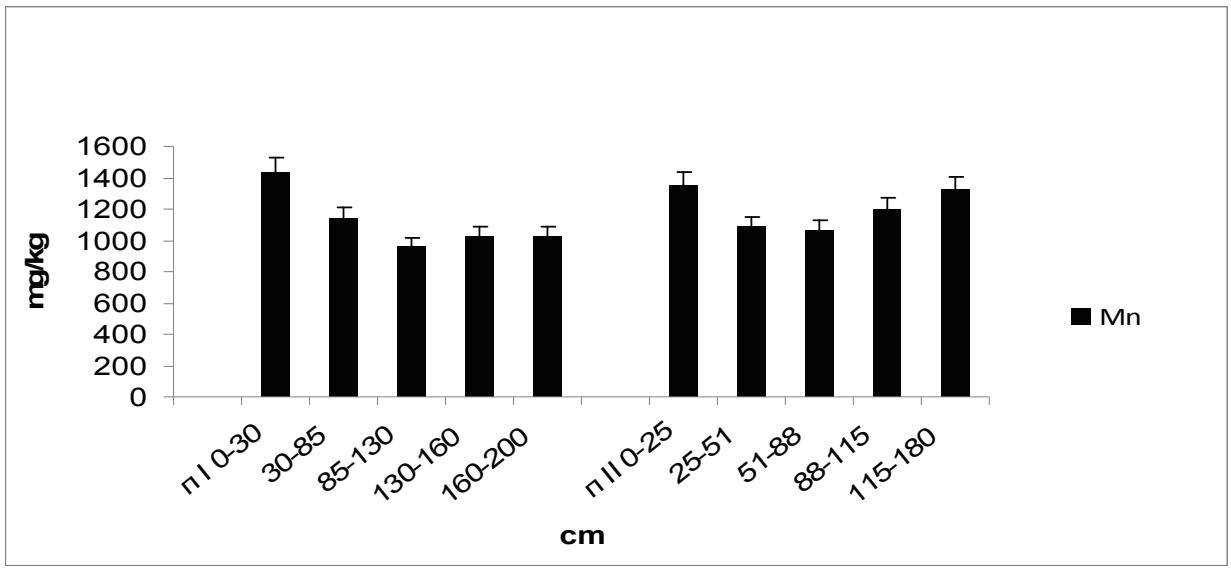
Фиг. 2. Разпределение на Pb, Zn и Co по дълбочина на почвените профили
Fig. 2. Distribution of Pb, Zn and Co along the depth of the soil profiles



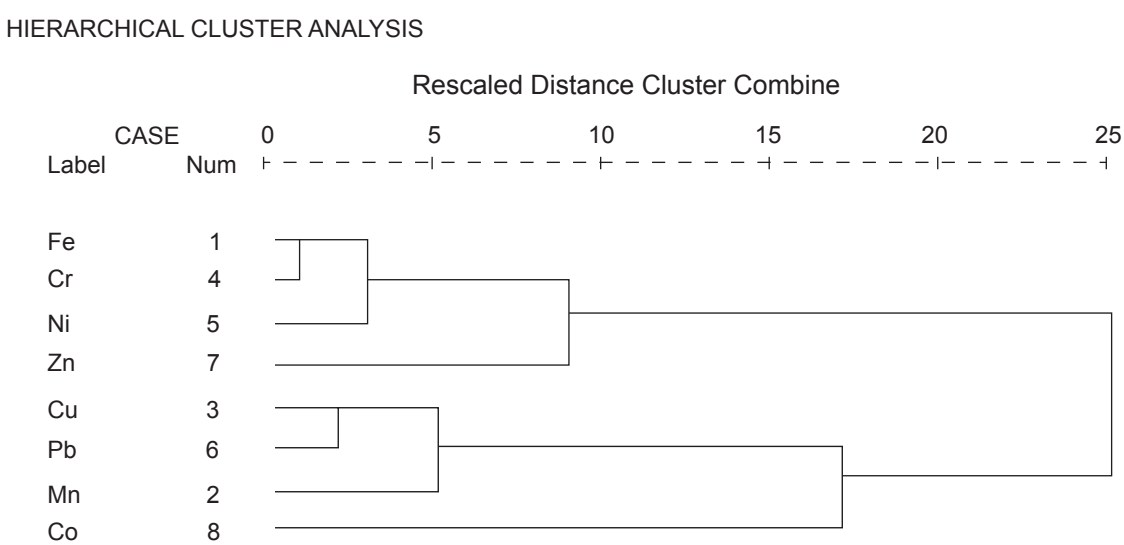
Фиг. 3. Разпределение на желязо по почвените профили
Fig. 3. Distribution of iron along the depth of the soil profiles

данните в процеса на редукцията до няколко несвързани помежду си компоненти. Проведеният PCA анализ показва екстракция на 3 фактори с eigenvalue > 1. Проведен е също и клъстерен анализ. Анализът на главния компонент е базиран на 8 елемента: Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Co.

Според тематичната стратегия на ЕС за опазване на почвите и характеризиране на съдържанието и източниците на тежките метали е необходимо точно опробване на площите, засегнати от замърсяване с оглед установяване на стандарти за качество на почвата. Установено е, че съществува корелация между лито(гео)генните метали и някои почвени свойства като съдържание на органично вещество, съдържание на глина и карбонати (Mico et al., 2006). От друга страна, елементи като Cd, Cu и Pb са свързани предимно с антропогенната дейност и съставляват отделни



Фиг. 4. Разпределение на манган по дълбочина на почвените профили
Fig. 4. Distribution of manganese along the depth of the soil profiles



Фиг. 5. Дендрограма чрез използване на осреднена връзка (между групите)
Fig. 5. Dendrogram using average linkage (between groups)

компоненти. Съдържанието на тежките метали е представено на фиг. 1, 2 и 3. Идентифицират се три главни компонента със собствени вектори (eigenvalues) > 1, отразяващи съответно 53,3%, 28,3%, 12,9% от общата дисперсия 94,5%. Компонентната и корелационната матрици са представени в табл. 2 и 3. Първият компонент се натоварва от Fe, Cr, Ni и Zn. Вторият компонент се натоварва от Cu, Pb и Mn. Третият – от Co. Клъстерният анализ показва подобни резултати. Дендрограмата на фиг. 4. е построена на базата на претеглената средна връзка и корелация на Пиърсън. Тя показва наличието на две основни групи (клона). Първата група е съставена от елементите Fe, Cr, Ni и Zn, чиито общи концентрации показват известно повишение на по-голяма дълбочина в почвите в сравнение с повърхностния хоризонт както при третирания, така и при контролния вариант и имат основно лито(педо) генен произход. Втората главна група (клон) се състои от елементите Cu, Pb и Mn, които показват завишени концентрации в повърхностните хоризонти и са от антропогенен (външен за почвената система) източник. Това се отнася по-специално за елементите Cu и Pb.

Таблица 2. Екстракционен метод: метод на главния компонент, ротационен метод: Varimax с Kaiser нормализация
Table 2. Extraction method: principle component analysis, rotation method: Varimax with Kaiser normalization

	Компонент 1	2	3
Fe	-,549	,773	-,232
Mn	,870	-0,009	,366
Cu	,939	0,009	-,121
Cr	-,529	,784	-,239
Ni	-,146	,973	-0,04
Pb	,915	-,332	0,06
Zn	,439	,884	,106
Co	0,06	-0,08	,975

общите концентрации показващи флуктоация по дълбочина на профилите. Известно е, че микроорганизмите катализират окислението на Mn (II) до Mn (III, IV) окисни форми. Биологичното Mn (II) окисление настъпва много по-бързо в сравнение с абиотичните окислителни процеси. Освен биогенната акумулация на мангана в повърхностните хоризонти е възможно и неговото натрупване поради протичащи начални процеси на хидроморфизъм от повърхностни отточни води и в по-голяма степен от подпочвените. В литературата има и съобщения за антропогенно замърсяване на почви и растения в близост до автомагистрали поради влияние на мангансъдържащи емисии на моторни превозни средства (Lytle et al., 1995). Кобалтът се явява отдел-

Таблица 3. Корелационна матрица
Table 3. Correlation matrix

	Fe	**Mn**	**Cu**	**Cr**	**Ni**	**Pb**	**Zn**	**Co**
Fe	1,000	-,562	-,482	,941	,835	-,751	,402	-,322
Mn	-,562	1,000	,683	-,601	-,132	,793	,415	,355
Cu	-,482	,683	1,000	-,414	-,149	,851	,399	-,001
Cr	,941	-,601	-,414	1,000	,822	-,747	,436	-,303
Ni	,835	-,132	-,149	,822	1,000	-,461	,785	-,146
Pb	-,751	,793	,851	-,747	-,461	1,000	,107	,166
Zn	,402	,415	,399	,436	,785	,107	1,000	,050
Co	-,322	,355	-,001	-,303	-,146	,166	,050	1,000

Възможно е постъпването им в повърхностните хоризонти от дифузен и точков източник поради близост с индустриалната зона на МК „Кремиковци" и автомагистрала. Елементът Mn показва двояко поведение (двойнствен произход) под въздействие на биологични и физикохимични процеси, което рефлектира в на подгрупа на педогенните елементи, чиито концентрации са чувствително по-ниски от тези на другите тежки метали и не зависят от дълбочината на почвения хоризонт, но няма изразен литогенен произход. Този елемент може да се отнесе към групата на педогенните елементи.

Заключение

Изследвани са почви от землището на кв. Кремиковци – Профил 1 (0-200 cm), чийто повърхностен хоризонт е третиран с 4,2 t/da утайка от Софийската пречиствателна станция за отпадни води (ПСОВ) и Профил 2 (0-180 cm) – контролен вариант без добавена утайка на повърхностния хоризонт. Направена е оценка на въздействието на основни почвено-химични и морфологични свойства върху разпределението на тежки метали по дълбочина на профилите. В резултат от третиране с утайка от ПСОВ не е установено замърсяване с тежки метали над максимално допустимите концентрации и влияние върху подвижни форми на N, P, K. На базата на общите концентрации на тежките метали са оценени източниците им в профила повлиян от въздействието на утайка от ПСОВ и в контролен профил – неповлиян от утайка. Не са ус-

тановени пертурбации в резултат на третиране с утайка върху подвижните форми на основни макроелементи N, P, K и върху общите концентрации на тежки метали, които представляват естествения тежкометален фон. Разпределението на металите в почвите отразява влиянието на антропогенния фактор и морфогенезиса на почвите, т. е. техните източници от антропогенен, литогенен и педогенен характер. Установено е, че елементите Cu и Pb имат антропогенен произход, Fe, Cr, Ni, и Zn – лито(педо)генен и Co – педогенен. Елементът Mn има двойнствен произход – биопедогенен и антропогенен.

Литература

Ганев, С. и А. Арсова. 1980. Методи за определяне на силно киселинния и леко киселинния катионен обмен в почвата. *Почвознание и агрохимия*, 15: 19-33

Иванов, П. 1984. Нов ацетатно-лактатен метод за определяне на достъпните за растенията фосфор и калий в почвата. *Почвознание и агрохимия*, 4: 88-97

Маринова, С. 2008. Утайки от пречиствателни станции за отпадъчни води и правила за тяхното оползотворяване. *ПъблишСайСет-Еко*, С., 123 с.

Панайотова, Г., Горбанова-Варотто, А., Горбанов, С. 2010. Влияние на торенето с биологични утайки от станции за пречистване на канални води върху съдържанието на тежки метали в излужена смолница и натрупването им в памукови растения. Изследвания върху полските култури, Том VI-2, 269-278

Теохаров, М. 2004. Корелация на почвите, отразени в картата и класификацията на България със Световната референтна база (WRBSR, 2000). *Почвознание агрохимия и екология*, № 4, 3-13

Atanassova, I., S. Marinova, M. Teoharov and E. Filcheva. 2005. Present status of past sewage sludge treated soils. Impacts on Cd and Pb mobility. In Proc. "Management, Use and Protection of Soil Resources" National Conf. with Inter. Particip. 15-19 May Sofia, p. 409-414

Atanassova, I., M. Teoharov, S. Marinova and E. Filcheva. 2006. Sewage Sludge Storage on Soils around a Wastewater Treatment Plant. Impact on Some Soil Properties. *Bulgarian Journal of Agricultural Science,* 12, 51-62

Atanassova, I., N. Velichkova and M. Teoharov. 2012. Heavy metal mobility in soils under the application of sewage sludge. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 18 (No 3), 396-402

Alloway, B. J and A. P. Jackson. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. *The Science of The Total Environment*, 100: 151-176

Atanassova, I., S. Marinova, M. Teoharov and E. Filcheva. 2005. Present status of past sewage sludge treated soils. Impacts on Cd and Pb mobility. In Proc."Management, Use and Protection of Soil Resources" National Conf. with Inter. Particip., 15-19 May Sofia, p. 409-414

Atanassova, I., M. Teoharov, S. Marinova and E. Filcheva. 2006. Sewage sludge storage on soils around a wastewater treatment plant. Impact on some soil properties. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 12: 51-62

Bacon, J. R., Campbell, C. D., Coull, M. C., Chambers, B. J., Gibbs, P. A., Chaudri, A., McGrath, S. P., Carlton-Smith and C., Aitken. 2001. A long-term study on the effects of heavy metals in sewage sludge on soil fertility and soil microbial activity. In: Recycling and reuse of sewage skudge. Dhir, R. K. et al. (eds.). Thomas Telford, London (Publ), p. 87-96

Bremner, J. M. and D. Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica Chimica Acta*, 32, 485-495

Campbell, D. and P. H. T. Beckett. 1988. The soil solution in a soil treated with digested sewage sludge. *Journal of Soil Science*, 39, 283-298

FAO. 2006. Guidelines for Soil Description (4th edition). FAO, Rome.

Giusquiani, P. L., G. Gigliotti, and D. Businelli. 1992. Mobility of heavy metals in urban waste-amended soils. *J. Environmental Quality*, 21: 330-335.

Giusquiani, P. L., Gigliotti, G. and D. Businelli. 1992. Mobility of heavy metals in urban waste-amended soils. *Journal of Environmental Quality*, 21: 330-335

Giusquiani, P. L., M. Pagliai, G. Gigliotti, D. Businelli and A. Benetti. 1995. Urban wasre compost: Effects on Physical, Chemical and Biochemical Soil Properties. *J. Environ. Qqual.*, 24: 175-182

Kasatikov, B. and V. Runik. 1994. Approach to behavior of microelements in the soil-plant system in case of WWTP sewage sludge amendments. *Agrochemistry*, No 5, 53-55 (In Russian)

Lytle, C. M., B. N. Smith, C. Z. McKinnon. 1995. Manganeseaccumulation along Utah roadways: a possible indication of motor vehicle exhaust pollution. *Science of The Total Environment*, 162, 105-109

Micó, C., L. Recatalá, M. Peris, J. Sánchez. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65, 863-872

Tsadilas, C., Rousseva, S., E. Filcheva, P. Bojinova,

V. Samaras, K. Chakalov, G. Petkova, I. Stanislavova, I. Hristov, S. Marinova, V. Valev, V. Krasteva, T. Popova, H. Setatou. 2000. Greek-Bulgarian Research Project in Agroecology: Agricultural Use of Sewage Sludge and its impact on Physical and Chemical properties of Soil. *Journal of Balkan Ecology*, 3: No 2, 9-47

Webber, M. D., Kloke, A. and Tjell, J. C. 1984. In Processing and Use of Sewage Sludges. (L'Hermite, P. and Ott, H. D., eds.) Riedel, Dordrecht, 371-386

Petersen, S. O., Henriksen, K., Mortensen, G. K., Krogh, P. H., Brandt, K. K., Sorensen, J., Madsen, T., Petersen, J., Gron, C. 2003. Recycling of sewage sludge and household compost to arable land: fate and effects of organic contaminants and impact on soil fertility. *Soil Tillage Res*., 72, 139-152

Teoharov, M. and I. Atanassova. 2006. Morphological and mineralogical analysis of Alluvial meadow soils (Fluvisols) from the region of Sofia wastewater treatment plant (WWTP). *Bulgarian Journal of Agricultural Science,* 12, 789-796

Williams, D. E., J. Vlamis, A. H. Pukite and J. E. Corey. 1987. Metal Movement in sludge-amended soils: A nine-year study. *Soil Science*, 143: 124-131