

## Atkuriamo sunkiaisiais metalais užteršto balkšvažemio armens biologinės būklės identifikavimas

**Algirdas Motuzas<sup>1</sup>,  
Danguolė Zakarauskaitė<sup>1</sup>,  
Virginijus Butkus<sup>1</sup>,  
Rimantas Vaisvalavičius<sup>1</sup>,  
Jonas Mažvila<sup>2</sup>,  
Antanas Antanaitis<sup>2</sup>,  
Gediminas Staugaitis<sup>2</sup>,  
Igoris Prosyčevas<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Lietuvos žemės ūkio universitetas,  
Studentų g. 11, LT-53361 Akademija,  
Kauno rajonas  
El. paštas: danguole.zakarauskaite@lzuu.lt

<sup>2</sup> Lietuvos žemdirbystės instituto  
Agrocheminių tyrimų centras,  
Savanorių pr. 287, LT-40009 Kaunas  
El. paštas: mazvila@agrolab.lt

<sup>3</sup> Kauno technologijos universiteto  
Fizikinės elektronikos institutas,  
Savanorių pr. 271, LT-40009 Kaunas  
El. paštas: igorpros@mail.ru

Stripsnyje aptariami 2007 m. atliktų vegetacinių bandymų rezultatai, siekiant iširti augalų vystymosi bei fermentų aktyvumo ir kvėpavimo intensyvumo rodiklius sunkiaisiais metalais (SM) katastrofiškai užterštame balkšvažemio armenyje, jais remiantis įvertinti cheminio oksidavimo metodu atkuriamo dirvožemio biologinę būklę.

Nustatyta, kad didžiausias žieminių kviečių želmenų biomasės derlius prieš augalų auginimą ir po jo yra natūraliame (neužterštame SM) balkšvažemio armenyje, o įsotintame sunkiaisiais metalais dirvožemyje augalų vystymasis bei jų derliaus rodikliai iš esmės sumažėjo. Tačiau matyti ženklus dirvožemio biologinės būklės pagerėjimas balkšvažemio armenyje po SM imobilizavimo metalų sulfidų (*MeS*) pagrindu paruoštomis cheminėmis medžiagomis – žieminių kviečių antžeminės ir požeminės dalies masė čia padidėjo apie 55,6%, palyginus su įsotintu sunkiaisiais metalais dirvožemiu.

Didžiausias dirvožemio hidrolizinių fermentų ureazės ir sacharazės aktyvumas, tiek prieš augalų auginimą, tiek po jo, taip pat yra SM neužterštame balkšvažemio armenyje. Jį įsotinus sunkiaisiais metalais ir juos surišus metalų sulfidų (*MeS*) pagrindu paruoštomis cheminėmis medžiagomis, šių fermentų aktyvumas iš esmės sumažėjo, išskyrus chemiškai imobilizuotame dirvožemyje po augalų auginimo – čia nustatytas fermento sacharazės aktyvumas praktiškai nesiskyrė nuo kontrolinio varianto.

Sunkiaisiais metalais įsotintame balkšvažemio armenyje ir po jų cheminio imobilizavimo kvėpavimo intensyvumas, palyginus su neužterštu dirvožemiu, sumažėjo atitinkamai 31,0 ir 20,0%. Tai rodo, kad chemiškai paveiktame balkšvažemyje išsiskyrusio CO<sub>2</sub> kiekis yra iš esmės (11%) didesnis, palyginus su įsotintu sunkiaisiais metalais dirvožemiu. Taigi galima teigti, kad balkšvažemis iš dalies atsistatė.

**Raktažodžiai:** balkšvažemis, sunkiaisiais metalais užteršto dirvožemio cheminis atkūrimas, augalų vystymasis, dirvožemio biologinis aktyvumas

### ĮVADAS

Lietuva turi ribotus biologinės energijos išteklius. Pagrindinis jų – sausumoje tarpstančios augalų bei gyvūnų populiacijos ir jų kompleksai, arba biologiniai-atsikuriančios išteklių, kurių poreikiai didėja ir didės. Biologinių-atsikuriančių išteklių darnus naudojimas sausumos ekosistemose yra neatsiejamas nuo „gyvybingo“ dirvožemio sampratos [5, 12]. Todėl neatsitiktinai, nustatant Lietuvos darnaus vystymosi prioritetus, šių išteklių gausinimas, jų kokybės gerinimas ir efektyvesnis naudojimas traktuojamas kaip būtina sąlyga darniai krašto plėtrai („Nacionalinė darnaus vystymosi strategija“, LRV nutarimas Nr. 1160, 2003 09 11). Šie siekiai atsispindi ir ES bendrosiose programose 6BP bei 7BP. Europos šalys nuo 2007 m. įgyvendina Europos Sąjungos komisijos parengtą direktyvą dėl dirvožemio apsaugos. Tačiau žinios apie Lietuvos dirvožemių, sugrupuotų pagal naująją tarptautinę klasifikaciją (1999), kaip biologinio atsikuriančio išteklių tauso-  
sijimą ir saugojimą nuo teršimo, ypač užteršto dirvožemio at-

kūrimą, yra labai menkos. Problemai spręsti būtini nauji tyrimai apie efektyvų jų vartojimą, kartu analizuojant įtaką aplinkai ir visuomenei.

Sunkiaisiais metalais (pagrindiniai – Cu, Cr, Ni, Pb ir Zn) užteršto dirvožemio atkūrimas ir užterštų augalų utilizavimas šiuo metu labai aktualus tiek Lietuvoje [6], tiek visame pasaulyje [11, 1–4]. Šalyje yra labai užteršto dirvožemio plotų buvusiose sovietinėse karinėse bazėse, didelių pramonės įmonių aplinkoje, miestuose, ypač šalia intensyvaus transporto arterijų [16, 24, 8], kuriuose sunkiųjų metalų koncentracijos siekia iki 900 mg kg<sup>-1</sup>. Užteršto dirvožemio atkūrimas – didelis uždavinys mokslo žmonėms.

Pasaulyje veikiančios grunto, dirvožemio, vandens valymo technologijų analizės centrai ir stotys siūlo daug būdų užterštai aplinkai valyti [17]. Jie dažniausiai pagrįsti tokiais apdorojimo procesais: fizikinis-cheminis apdorojimas vietoje, biologinis apdorojimas ir elektrolizė. Visada nurodomi taikomų priemonių kaštai, kurie yra gana dideli. Kitas akivaizdus požymis – visos taikomos

priemonės yra dalinės, nes teršalai iš medžiagų apykaitos ciklų aplinkoje visiškai nepašalinami. Elektroninėse duomenų bazėse galima rasti nuotekų valymo įrengimuose susikaupusio dumblo panaudojimo energijai gauti idėją, tačiau technologiniai jos aspektai neatskleidžiami dėl komercinių sumetimų.

Lietuvoje tyrinėta tik dalis anksčiau nurodytų apdorojimo procesų sunkiuosius metalus pašalinti iš dirvožemio. Pavyzdžiui, yra žinomi Chemijos instituto mokslininkų darbai, skirti tyrinėti vieną fizikinio ir cheminio apdorojimo metodų vietoje – ekstrakcija etilendiamintetraacto rūgšties natrio druska (Na-EDTA) su ją lydinčiu metalų išskyrimu iš sorbento elektrolizės būdu [25]. Šio darbo autoriai pripažįsta, kad jų siūlomo būdo naudojimą riboja tiek dirvožemyje, tiek augaluose esantys kalcio ir magnio junginiai, neutralizuojantys elektrolizės procesui būtina dirbtinai sudarytą rūgščių terpę. Todėl praktikoje jis sunkiai pritaikomas, o dirbtinai parūgštintas dirvožemis po valymo procedūros turėtų būti kalkinamas. Vieną biologinio užteršto grunto apdorojimo būdą – fitoatstatymą siūlo V. Kaunelienė ir L. Gelažienė (2002). Jos tyrinėja sunkiųjų metalų migraciją į karklų žilvičių (*Salix viminalis*) audinius. Deja, kaip toliau tvarkytis su šiais augalais, kad teršalai negrįžtų į aplinką ir vėlesniais metais vegetuojantys augalai jų nepasisavintų, abiem atvejais nesprenžiamas.

Dirvožemio biologinio aktyvumo tyrimams visame pasaulyje skiriama daug dėmesio, nes tai susiję su sparčia antropogenu dirvožemio degradacija, prie kurios prisideda atmosferos ir autotransporto tarša, atliekų šalinimas, gruntinio vandens užteršimas ir t. t. [23]. E. Kandler ir kt. (1996) nurodo, kad užterštame sunkiaisiais metalais dirvožemyje, palyginus su natūraliu, ženkliai sumažėja fermentų aktyvumas., G. Renella ir kt. (2002) pažymi, kad sunkiųjų metalų Cd, Cu, ir Zn kompleksas stipriai slopina kvėpavimo intensyvumą dirvožemyje, nei pavieniai elementai. Ir priešingai, A. Raguočio (1998) tyrimais, nedidelės Cu, Zn, Co koncentracijos dirvožemyje gali stimuliuoti augalų augimą. Taigi nėra vieningos ir aiškios nuomonės apie sunkiųjų metalų poveikį dirvožemio biologinio aktyvumo rodikliams.

Todėl sunkiųjų metalų šalinimo iš užteršto dirvožemio būdų ir priemonių poveikio aplinkai tyrimuose būtinas tarpdiscipliniškumas, nes gamtoje vykstančius fizikinius ir cheminius reiškinius reikia pagrįsti poveikiu dirvožemio biologiniam aktyvumui [30].

Šio darbo tikslas – ištirti galimybes atkuriamo sunkiaisiais metalais užteršto balkšvažemio armens biologinę būklę įvertinti augalų vystymosi ir dirvožemio fermentų aktyvumo rodikliais.

## OBJEKTAS, METODAI IR SĄLYGOS

**Tyrimų objektas** – autotransporto emisijų veikiamo Vidurio žemaičių aukštumos dirvožemių zonos moreninio priemolio pasotinto stagniškojo balkšvažemio (*Eutri-Hypostagnic Albeluvisol*) armuo (Kryžkalis, Raseinių r.). Jo granulio-metrinė sudėtis – smėlingas priemolis, kurio skeletingumas yra vidutinis (6,2%), vyrauja smėlio frakcijos dalelės – 58,2%, dulkių frakcijos – 26,6%, molio – 15,2%. Dirvožemis kalkintas, jo armuo rūgštokas (pH 5,9), jame vidutinis kiekis organinės anglies (1,27%), mažas azotingumas (0,160%) bei fosforingumas (80 mg kg<sup>-1</sup>) ir vidutinis kalingumas (101 mg kg<sup>-1</sup>). Dirvožemyje mainų katijonų suma 91,64 mekv kg<sup>-1</sup>, pasotini-

mas bazėmis 99,6%. Moreninio priemolio dirvodarinė uoliena nekarbonatinga.

Sunkiųjų metalų suminės ir judriosios fazės koncentracijai bei fermentų aktyvumui nustatyti dirvožemyje prieš pašarinių augalų sėją imti jungtiniai dirvožemio ėminiai dirvožemio grąžtu specialioje tyrimo aikštelėje (10 × 10 m) humusinio Ap (armens) horizonto viršutiniame 0–25 cm sluoksnyje [15, 18, 19, 13].

**Vegetacinių bandymų schema** (dviųjų dalių palyginamoji) patikrinti darbo pagrindinę idėją buvo įgyvendinta 2007 m. eilės tvarka nurodytais etapais auginant *Zenta* veislės žieminių kviečių želmenis:

- I.
  - a) sunkiųjų metalų (Pb, Cu, Zn) suminės ir judriosios fazės koncentracijų bei fermentų aktyvumo nustatymas užterštame dirvožemyje prieš žieminių kviečių sėją;
  - b) žieminių kviečių želmenų auginimas sunkiaisiais metalais užterštame dirvožemyje;
  - c) užterštų žieminių kviečių želmenų biomasės derliaus nuėmimas ir sudėties nustatymas;
  - d) sunkiųjų metalų suminės ir judriosios fazės koncentracijų bei fermentų aktyvumo nustatymas užterštame dirvožemyje po žieminių kviečių želmenų biomasės derliaus nuėmimo.
- II.
  - a) sunkiųjų metalų (Pb, Cu, Zn) suminės ir judriosios fazės koncentracijų bei fermentų aktyvumo nustatymas užterštame dirvožemyje prieš žieminių kviečių sėją;
  - b) užteršto dirvožemio cheminis apdorojimas skirtingais tirpalais stabilizuoti jame esančius sunkiuosius metalus;
  - c) sunkiųjų metalų suminės ir judriosios fazės koncentracijų bei fermentų aktyvumo nustatymas chemiškai apdorotame dirvožemyje prieš žieminių kviečių sėją;
  - d) žieminių kviečių želmenų auginimas chemiškai apdorotame dirvožemyje;
  - e) žieminių kviečių želmenų biomasės derliaus nuėmimas ir sudėties nustatymas;
  - f) sunkiųjų metalų suminės ir judriosios fazės koncentracijų bei fermentų aktyvumo nustatymas chemiškai apdorotame dirvožemyje po žieminių kviečių želmenų biomasės derliaus nuėmimo.

Žieminių kviečių želmenys auginami pratakiose vegetaciniuose induose trimis pakartojimais. Į kiekvieną iš jų supilta po 5 kg orasausio, atitinkamai paruošto dirvožemio. Prieš supilant į vegetacinius indus, į dirvožemį buvo įmaišytos mineralinės trąšos. Kviečiams buvo skirta N<sub>180</sub>P<sub>100</sub>K<sub>120</sub> trąšų. Tręšimui azotu įterpta amonio salietros, turinčios 34,4% N, fosforu – paprasto, granuliuoto superfosfato, turinčio 20,0% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ir kaliu – kalio chlorido, turinčio 60,0% K<sub>2</sub>O. Indo paviršiaus plotas – 0,045 m<sup>2</sup>. Todėl į kiekvieną vegetacinį indą buvo įterpta atitinkamai 2,35 g amonio salietros, 2,25 g superfosfato ir 1,00 g kalio chlorido.

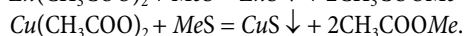
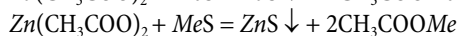
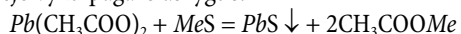
Supylus į indus dirvožemį buvo pasėti žieminiai kviečiai, skaičiuojant po 5,5 mln. sėklų į hektarą, arba po 25 sėklas į kiekvieną indą. Kiekviena sėkla įterpta į 3 cm gylį. Augalai buvo laistomi distiliuotu vandeniu. Kviečių želmenys nupjauti, prieš tai pamatavus augalų aukštį. Pasvertas antžeminės bei požeminės dalies biomasės derlius iš kiekvieno indo. Želmenys susmulkinti ir išspausintos sultys. Išspaudų ir sulčių kiekis pasvertas atskirai. Nustatytas sausųjų medžiagų kiekis želmenų išspaudose ir sultyse.

**Sunkiųjų metalų (Cu, Zn, Pb) kiekis dirvožemyje** nustatytas atominės absorbcijos spektrometru (AAS): suminė koncentracija – HCl + HNO<sub>3</sub> rūgščių mišinio ištraukoje, o judriosios, t. y. augalų pasisavinamos, fazės koncentracija – 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (pH 7,0) druskos ištraukoje.

**Augalams auginti reikalingas balkšvažemio armens kiekis įsotintas sunkiaisiais metalais** laboratorijoje statiniu būdu, keliais pakartojimais veikiant 2 g l<sup>-1</sup> koncentracijos Cu, Pb ir Zn acetatiniais tirpalais iki sunkiųjų metalų soties, arba pilnos sorbcijos talpos. Aplinkos ekologijos požiūriu, pasirinktos acetatinės druskos dėl didelio jų tirpalų judrumo, o agronomijos požiūriu, dėl augalų gebėjimo lengvai jas pasisavinti. Dirvožemio įsotinimo sunkiaisiais metalais dinamika buvo stebima atominės sorbcijos spektrometru matuojant jų koncentracijas užpiltame acetatiniame tirpale ir pačiame dirvožemyje.

Nustatyta, kad dirvožemio sotis sunkiųjų metalų, arba sunkiųjų metalų sorbcijos talpa, pasiekta po 528 val. sotinimo. Tada švino suminė koncentracija dirvožemyje buvo 1170, cinko – 844 ir vario – 1260 mg kg<sup>-1</sup>. Po įsotinimo dirvožemis džiovintas ant stiklinio padėklo 28–30°C temperatūroje iki 20% drėgnio ir vartotas auginti žieminių kviečių želmenis. Sunkiųjų metalų įsotintas dirvožemis pagal tyrimų schemą padalytas į dvi lygias dalis: 1 – žieminių kviečių želmenis auginti sunkiaisiais metalais įsotintame dirvožemyje, 2 – įsotintą dirvožemį papildomai chemiškai apdoroti skirtingais tirpalais stabilizuoti jame esančius sunkiuosius metalus ir auginti žieminių kviečių želmenis.

**Judriuosius metalus jų sočiame balkšvažemio armenyje imobilizuoti**, arba pervesti į nejudriąją formą, taikytas cheminio oksidavimo metodas, įgalinantis sujungti juos dirvožemyje į menkai tirpius junginius. Tam vartotos cheminės medžiagos, kurių pagrindas yra metalų sulfidai. Kadangi sunkieji metalai dirvožemyje buvo acetatinėse druskose, imobilizavimo reakcijos turėjo vykti pagal šias lygtis:



Praėjus dviem savaitėms po sunkiųjų metalų imobilizavimo buvo pasėti augalai.

**Dirvožemio biologinis aktyvumas įvertintas** fermentų (enzimų) ureazės ir sacharazės aktyvumu bei dirvožemio „kvėpavimo“ intensyvumu, taikant standartinius spektrofotometrinius ir titrometrinius metodus. Ureazės aktyvumas nustatytas spektrofotometriškai Hofman ir Schmid metodu, taikant Čunderovos modifikaciją (1971). Sacharazės (invertazės) aktyvumas nustatytas titrometriškai Hofman ir Seegerer metodu, taikant Čunderovos modifikaciją (1971). Dirvožemio kvėpavimo intensyvumas nustatytas pagal per tam tikrą laiką išsiskyrusio CO<sub>2</sub> kiekį R. Öhlinger metodu [22].

**Dirvožemio granulometrinė sudėtis** nustatyta FAO/UNESCO metodu, pH<sub>KCl</sub> – potenciometriškai, fosforingumas ir kalkingumas – A–L metodu, azotingumas – Kjeldalio metodu, organinės C kiekis – „Heraeus“ analizatoriumi, sausai deginant deguonyje 850°C temperatūroje, mainų katjonų suma – amonio acetato ištraukoje.

## REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

### Sunkiųjų metalų koncentracija natūraliame ir jais įsotintame dirvožemyje

1 lentelėje pateiktai duomenimis, natūraliame dirvožemyje sunkiųjų metalų (Pb, Cu ir Zn) tiek judriosios fazės, tiek suminės koncentracijos ir prieš žieminių kviečių auginimą, ir po jo atitiko foninės taršos rodiklius.

Dirvožemį įsotinus sunkiaisiais metalais, švino suminė koncentracija viršijo didžiausią leistiną higienos normą (100 mg kg<sup>-1</sup>) 11,7 karto, vario (100 mg kg<sup>-1</sup>) – 13 kartų, cinko (300 mg kg<sup>-1</sup>) – 2,8 karto. Lyginant su natūraliu dirvožemiu, įsotintame švino suminė koncentracija padidėjo 87,3, vario – 271,4, o cinko – 24,1 karto. Tai atitinka katastrofinio užteršimo sąlygas. Žieminių kviečių želmenis nupjovus, sunkiųjų metalų kiekis dirvožemyje sumažėjo, nes dalį jų pasisavino javai, kita dalis išsiplovė laistant vegetacinius indus.

1 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracija natūraliame ir jais chemiškai įsotintame dirvožemyje

Table 1. Concentration of heavy metals in natural and chemically affected (saturated with heavy metals) soil

Vegetacinio bandymo variantai <i>Variants of vegetative trial</i>	Vidutiniai elementų kiekiai jungtiniuose mėginiuose (prieš ž. kviečių auginimą) <i>Average content of elements in soil samples (before winter wheat growing)</i>			Vidutiniai elementų kiekiai jungtiniuose mėginiuose (po ž. kviečių auginimo) <i>Average content of elements in soil samples (after winter wheat growing)</i>		
	mg kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>		
	Pb	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn
<b>Sunkiųjų metalų judriosios fazės koncentracija / Heavy metals, mobile phase concentration</b>						
Natūralus dirvožemis (kontrolė) <i>Natural soil (control)</i>	0,50 ± 0,05	0,30 ± 0,03	1,77 ± 0,06	0,16 ± 0,02	0,25 ± 0,03	1,20 ± 0,04
Chemiškai paveiktas dirvožemis (SM įsotintas) <i>Chemically affected soil (saturated with HM)</i>	570 ± 4,75	395 ± 2,60	338 ± 2,57	630 ± 15,0	390 ± 25,0	314 ± 10,0
<b>Sunkiųjų metalų suminė koncentracija / Heavy metals, total concentration</b>						
Natūralus dirvožemis (kontrolė) <i>Natural soil (control)</i>	13,4 ± 0,15	4,80 ± 0,10	35,2 ± 0,12	11,2 ± 0,73	3,8 ± 0,35	17,8 ± 2,60
Chemiškai paveiktas dirvožemis (SM įsotintas) <i>Chemically affected soil (saturated with HM)</i>	1170 ± 15,3	1303 ± 24,8	844 ± 2,9	938 ± 50,7	1260 ± 10,0	560 ± 10,5

2 lentelė. Cheminio sujungėjo MeS tirpalo koncentracijos poveikis žieminių kviečių daigų vystymuisi

Table 2. Effect of chemically binding MeS solution on development of winter wheat seedlings

Eil. Nr. N	Chemio sujungėjo MeS tirpalo koncentracija Concentration of chemically binding MeS solution g l <sup>-1</sup>	Tirtų daigų kiekis vnt. Investigated seed- lings, units	Daigų būvis / Condition of seedlings	
			Gyvybingų daigų kiekis vnt. Vital seedlings, units	Kiti daigų požymiai Other features of seedlings
1.	50,0	10	0	Po 8 val. grūdų galai pajuodavo, visi daigai žuvo Grains became dark, all seedlings died after 8 h
2.	5,0	10	3	Daigai silpnai gyvybingi Seedling vitality is satisfactory
3.	2,5	10	5	Daigai vidutiniai gyvybingi Seedling vitality is sufficient
4.	1,0	10	10	Normalūs daigai Seedling vitality is good

3 lentelė. Žieminių kviečių želenų biomasė natūraliame ir chemiškai paveiktame dirvožemyje

Table 3. Biomass of winter wheat shoots in natural and chemically affected soil

Vegetacinio bandymo variantai Variants of vegetative trial	Augalai / Plants			Augalų sultys Juice of plants		Augalų išspaudos Plant-cake		Iš viso sausųjų medžiagų Total dry matter
	aukštis height cm	antžeminės dalies masė over-ground mass g	požeminės dalies masė under-ground mass g	masė mass	sausosios medžiagos dry matter	masė mass	sausosios medžiagos dry matter	
Natūralus dirvožemis (kontrolė) Natural soil (control)	19,2	134,3	111,5	91,2	16,15	43,1	9,87	26,02
Chemiškai paveiktas dirvožemis (SM įsotintas) Chemically affected soil (saturated with HM)	10,5	70,5	58,6	43,8	7,93	26,7	6,79	14,73
Chemiškai paveiktas dirvožemis (SM imobilizuoti) Chemically affected soil (HM immobilized)	16,2	109,7	91,1	77,5	12,43	32,1	6,91	19,36
R <sub>05</sub>	–	14,97	9,21	5,32	2,70	12,7	3,06	5,42

### Sunkiųjų metalų cheminis imobilizavimas dirvožemyje

Kadangi aplinkos ekologijos požiūriu po judriųjų sunkiųjų metalų imobilizavimo dirvožemis turi išlikti gyvybingas, iškilo klausimas parinkti tinkamą cheminio sujungėjo (MeS) koncentraciją per trumpą laiką imobilizuoti teršalus. Logiškai manant, ji turėtų būti artima metalų acetatinių tirpalų koncentracijai (2 g/l), kokia dirvožemis buvo sotintas iki jų soties, arba pilnos sorbcijos talpos. Pradiniai bandymai parodė, kad tai pasiekti per trumpą laiką natūraliomis sąlygomis be specialių chemines reakcijas skatinančių priemonių praktiškai neįmanoma. Tada sunkiųjų metalų imobilizacijai dirvožemyje užtikrinti nuspręsta jį paveikti stochiometriškai apskaičiuotu reikalingu sujungėjo kiekiu (50 g/l), kuris pervestų į nejudrią formą visus judriuosius metalus 15 kg eksperimentinio įsotinto dirvožemio. Tačiau tokiu būdu paveikta šlapio dirvožemio masė įgijo jai nebūdingą metalinių blizgesį, o išdžiovinta iki tinkamo drėgnio prarado gyvybingumą: žieminių kviečių sėklos joje nedugo.

Nuspręsta biologinio eksperimento būdu išbandyti sujungėjo MeS didelių koncentracijų poveikį žieminiams kviečiams pradiname augalų vystymosi tarpsnyje – daigų augimui. Atskirose

lėkštelėse po 10 dviejų centimetrų aukščio daigų buvo užpilti įvairios koncentracijos cheminio sujungėjo tirpalais. Daigų vystymosi duomenys pateikti 2 lentelėje.

Lentelės duomenys duoda galimybę apibendrinti, kad didelės koncentracijos (50,0 g/l) cheminio sujungėjo MeS reaguoja su organine medžiaga, labai parūgština aplinką (pH ≈ 5), išsiskiria S<sup>2-</sup> jonas, kuris redukuojasi į laisvą sierą, žudančią žieminių kviečių daigus. Sumažinus cheminio sujungėjo koncentraciją, daigai išlieka gyvybingi.

Po sunkiųjų metalų imobilizavimo, siekiant sumažinti dirvožemio rūgštumą ir atkurti jo gyvybingumą, buvo bandytos dar trys technologijos: įmaišyta 350 g MeS miltelių ir granulioto superfosfato, kurio masė sudarė dešimtąją dalį dirvožemio masės, įmaišyta 300 g MeS miltelių ir 700 g pushidračio fosfogipso bei įmaišyta trečioji dalis natūralaus balkšvažemio armens. Dvi pirmosios technologijos nepasiteisino: pasėti žieminiai kviečiai nedugo, o metalų druskas išplovus ir jų koncentraciją sumažinus 5 kartus, kviečių daigumas buvo apie 50%, javai augo patenkinamai. Po metalų druskų išplovimo įmaišius natūralaus armens, javų daigumas padidėjo iki 70%, javai augo normaliai, nes jie maitinosi įmaišyto natūralaus armens maisto elementais.

Sunkiaisiais metalais įsotintame dirvožemyje kviečių sudygo apie 30%, tačiau jie augo vangiai.

Dėl parengiamųjų tyrimų balkšvažemio armenyje soties būvio esantiems judriesiems sunkiesiems metalams imobilizuoti, išsaugant dirvožemio gyvybingumą, buvo pasirinktas toks metodas: reikalingas sujungėjo MeS kiekis stochiometriškai apskaičiuotas pagal metalų judriosios fazės koncentraciją bandomo dirvožemio masėje.

### Žiemiųjų kviečių želmenų biomasė natūraliame ir chemiškai paveiktame dirvožemyje

Žiemiųjų kviečių antžeminės dalies biomasės derlius atskiruose bandymo variantuose gautas labai skirtingas (3 lentelė). Kontroliniame variante iš vieno indo gauta vidutiniškai po 134,3 g žaliosios masės, tuo tarpu iš dirvožemio, įsotinto sunkiaisiais metalais, žaliosios masės derlius sumažėjo net 63,8 g, arba 47,5%. Induose, kuriuose SM buvo imobilizuoti, kviečių žaliosios masės derlius gautas tik 24,6 g, arba 18,3%, mažesnis negu kontroliniuose induose.

Be to, SM įsotintame dirvožemyje augalai užaugo 8,7 cm, arba 45,3%, žemesni negu kontroliniuose induose. Bandymo variante, kuriame SM buvo imobilizuoti, augalai užaugo tik 3,0 cm, arba 15,6%, žemesni negu kontrolėje (1 pav.).

Taigi dirvožemyje po sunkiųjų metalų imobilizavimo žiemiųjų kviečių antžeminės ir požeminės dalies biomasė padidėjo apie 55,6%, palyginus su įsotintu sunkiaisiais metalais dirvožemiu. Tai rodo balkšvažemio armens biologinės būklės pagerėjimą.

Nuėmus kviečių želmenų žaliosios masės derlių, buvo išspausintos sultys. Išspaudos ir sultys buvo pasvertos, vėliau jose nustatytas sausųjų medžiagų kiekis. Iš kontroliniame dirvožemyje augusių kviečių želmenų žaliosios masės gauta 91,2 g sulčių, o augalų želmenyse, kai SM dirvožemyje buvo imobilizuoti, – 77,5 g. Tuo tarpu SM įsotintame dirvožemyje kviečių želmenų sulčių gauta net 47,4, arba 52,0%, mažiau negu kontrolinio varianto augaluose. Panaši tendencija nustatyta ir pasvėrus išspaudų derlių. Jeigu iš kontrolinio varianto augalų želmenų išspaudų gauta 43,1 g, tai iš augalų, augusių įsotintame SM dirvožemyje, ir dirvožemyje, kuriame SM buvo imobilizuoti į nejudrias formas, išspaudų gauta atitinkamai 16,4 g (38,0%) ir 11,0 g (25,5%) mažiau.

Apskaičiavus visą sausųjų medžiagų derlių, SM įsotintame dirvožemyje jų gauta net 11,3 g, arba 43,4%, mažiau negu kontroliniuose induose. Tuo tarpu dirvožemyje esančius SM imobilizavus į mažai judrias formas, kviečių sausosios medžiagos derlius gautas tik 6,7 g, arba 25,7%, mažesnis negu kontrolėje.

### Sunkiųjų metalų poveikis dirvožemio fermentų aktyvumui ir kvėpavimo intensyvumui

Vienas jautriausių dirvožemio taršos lygio indikatorių yra jo fermentų aktyvumas, kuris yra žymiai jautresnis dėl pasikeitusių sąlygų dirvožemyje [23, 31]. Dirvožemio fermentų aktyvumo sumažėjimą siūloma laikyti pagrindiniu dirvožemio toksiškumo rodikliu [14].

Mūsų tyrimuose didžiausias ureazės aktyvumas nustatytas natūraliame (kontrolinis variantas) balkšvažemyje, kuriame lauko sąlygomis daug metų augo daugiametės žolės (2 pav.).

Literatūroje nurodoma, kad ganyklos dirvoje ureazės aktyvumas yra didesnis negu dirbamoje. Optimalus dirvožemio



Natūralus dirvožemis (kontrolė) (I) / Natural soil (control)



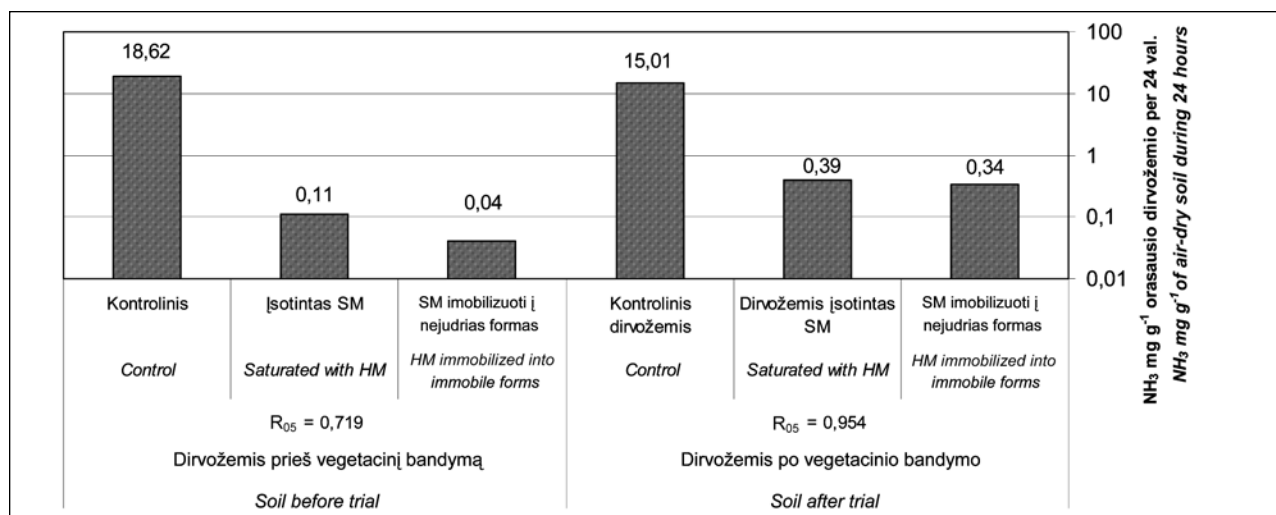
Dirvožemis, įsotintas SM (II) / Soil saturated with HM



SM imobilizuoti į nejudrias formas (III) / HM immobilized in soil

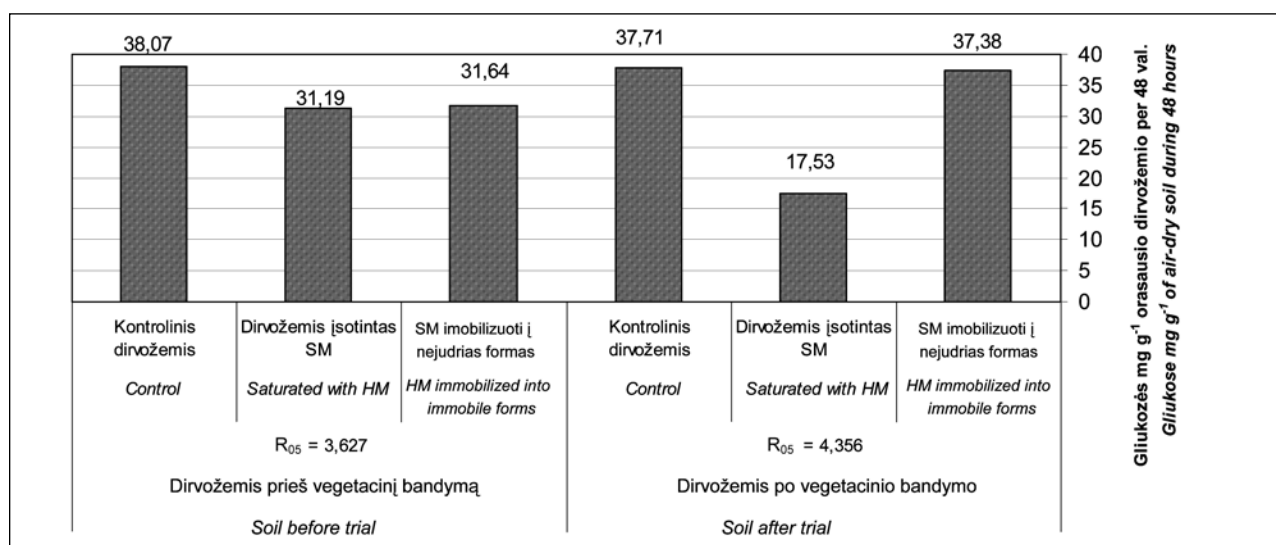
1 pav. Žiemiųjų kviečių želmenų vystymasis natūraliame ir chemiškai paveiktame balkšvažemyje (3 variantai)

Fig. 1. Winter wheat shoot development in natural and chemically affected Albeluvisol (3 variants)



2 pav. Ureazės aktyvumas natūraliame ir chemiškai paveiktame balkšvažemyje

Fig. 2. Urease activity in natural and chemically affected Albeluvisol



3 pav. Sacharazės aktyvumas natūraliame ir jais chemiškai paveiktame balkšvažemyje

Fig. 3. Saccharase activity in natural and chemically affected Albeluvisol

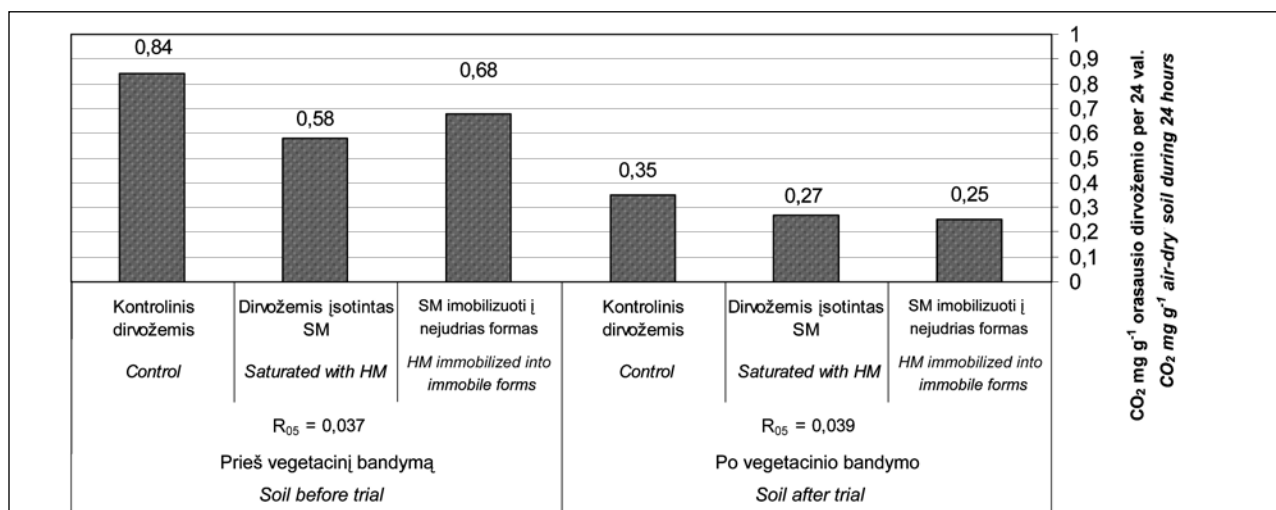
4 pav. Kvėpavimo intensyvumas balkšvažemyje, išreikštas CO<sub>2</sub> mg g<sup>-1</sup> orasausio dirvožemio per 24 val.

Fig. 4. Intensity of respiration in natural and chemically affected Albeluvisol

pH (6,5–7,0) bei pakankamas humusingumas skatina fermento ureazės didelį aktyvumą. Neutralaus pH dirvoje jis yra didesnis negu rūgščioje, nes glaudžiai susijęs su humifikacijos procesais. Įvairių augalų rizosferoje ureazės aktyvumas skirtingas, didžiausias – dobilų ir lubinų rizosferoje [27–29].

Įsotintame sunkiaisiais metalais bei chemiškai imobilizuotame balkšvažemyje ureazės aktyvumas buvo esminiai mažesnis, palyginus su neužterštu dirvožemiu: prieš augalų auginimą įsotintame sunkiaisiais metalais dirvožemyje fermento ureazės aktyvumas siekė tik 0,6%, o dirvožemyje, kuriame sunkieji metalai imobilizuoti, – 0,21%, palyginus su natūraliu neužterštu dirvožemiu. Ir po augalų auginimo, ir prieš augalų auginimą įsotintame sunkiaisiais metalais dirvožemyje ir dirvožemyje, kuriame sunkieji metalai imobilizuoti, fermento ureazės aktyvumas taip pat buvo esminiai mažesnis (esant 95% tikimybės lygiui) ir sudarė atitinkamai tik 2,6 ir 2,3%, palyginus su kontroliniu natūraliu dirvožemiu.

Mūsų tyrimų duomenys leidžia teigti, kad dirvožemio tarša sunkiaisiais metalais sunaikino dirvožemio biotą, todėl fermento ureazės aktyvumas buvo labai menkas.

Fermento sacharazės, apibūdinančios neazotinių organinių junginių kitimo procesus dirvožemyje, aktyvumas prieš augalų auginimą ir po auginimo natūraliame balkšvažemyje buvo panašus, atitinkamai 38,06 ir 37,71 mg g<sup>-1</sup> orausio dirvožemio (3 pav.). Duomenys rodo, kad įsotintame sunkiaisiais metalais ir dirvožemyje, kuriame surišti sunkieji metalai, fermento sacharazės aktyvumas esminiai sumažėjo, atitinkamai 18,06 ir 16,87%, lyginant su kontrole.

Sacharazės aktyvumas labai siejasi su humuso, judriųjų kalio ir fosforo kiekiu ir CO<sub>2</sub> išsiskyrimu dirvožemyje. Bandyme po augalų auginimo rasta, kad įsotintame sunkiaisiais metalais balkšvažemyje fermento sacharazės aktyvumas esminiai sumažėjo daugiau kaip 2 kartus, arba 53,52%, esant 95% tikimybės lygiui, o dirvožemyje, kuriame sunkieji metalai surišti, šio fermento aktyvumas esminiai nesiskyrė nuo kontrolinio varianto. Vadinas, dėl sunkiųjų metalų judriosios fazės surišimo, arba pervedimo į nejudriąją, pagerėjo ekologinės sąlygos dirvožemyje. Šio varianto dirvožemyje augantys augalai buvo vešlesni, didesnė šaknų sistema turėjo įtakos didesniai dirvožemio biologiniam aktyvumui. Literatūroje akcentuojama, kad sacharazės aktyvumas labai priklauso nuo auginamų augalų, augalų liekanų kiekio ir kokybės. Šio fermento aktyvumas proporcingai didėja, didėjant šaknų kiekiui dirvožemyje [33]. Padidėjęs sacharazės aktyvumas rodo hidrolizinių angliavandenių skaidymo pagreitėjimą ir organinės medžiagos mineralizacijos procesų suintensyvėjimą dirvožemyje [29].

Dirvožemio kvėpavimo intensyvumas yra organinės medžiagos skaidymo rezultatas. CO<sub>2</sub> susidarymas yra paskutinė anglies mineralizacijos dirvožemyje pakopa ir atspindi du procesus: organinės anglies netekimą, taip pat maisto medžiagų recirkuliaciją dirvožemyje. Tarp mikroorganizmų ir jų veiklos, esant nesutrikdytoms gamtinėms sąlygoms, vyrauja ekologinė pusiausvyra [22]. Daug (85%) anglies dioksido yra išskiriama mikroorganizmų, todėl šis rodiklis yra svarbus dirvožemio mikrobiologinio aktyvumo indikatorius [30]. Anglies dioksido išsiskyrimo iš dirvožemio intensyvumas priklauso nuo dirvožemio temperatūros, drėgmės, organinių medžiagų, mikro- ir makroelementų kiekio [7]. Todėl dirvožemio kvėpavimo inten-

syvumas yra svarbus rodiklis siekiant įvertinti dirvožemio užterštumą cheminėmis medžiagomis.

Vegetaciniame bandyme atlikti tyrimai rodo, kad daugiausia CO<sub>2</sub> išsiskyrė kontroliniame balkšvažemyje (4 pav.). Įsotintame sunkiaisiais metalais dirvožemyje ir po jų imobilizavimo kvėpavimo intensyvumas dirvožemyje, palyginus su neužterštu, sumažėjo atitinkamai 31,0 ir 20,0%, esant 95% tikimybės lygiui. Ko ir tikėtasi, balkšvažemyje, kuriame sunkieji metalai buvo imobilizuoti, išsiskyrusio CO<sub>2</sub> kiekis nustatytas esminiai (11%) didesnis, palyginus su įsotintu sunkiaisiais metalais dirvožemiu, tai yra, dirvožemis tapo dalinai atkurtas.

Kvėpavimo intensyvumas po augalų auginimo visų tirtų variantų balkšvažemyje buvo 2–3 kartus mažesnis nei prieš auginimą, nes organinių medžiagų mineralizacija dirvoje vyksta daug intensyviau augalams augant. Dirvožemyje su imobilizuotais sunkiaisiais metalais kvėpavimo intensyvumas buvo esminiai mažesnis (22,9 ir 28,6%), nei kontrolėje arba natūraliame dirvožemyje. Gautus rezultatus galima pagrįsti tuo, kad daugiau CO<sub>2</sub> dirvožemyje išsiskiria skaidantis negyvoms augalinės ir gyvulinės kilmės organinėms medžiagoms, kvėpuojant šaknims bei vykstant dirvožemyje fizikiniams ir cheminiams procesams.

Apibendrinant galima teigti, kad auginant žeminius kviečius vegetaciniuose induose, didžiausias dirvožemio fermentų ureazės ir sacharazės aktyvumas bei kvėpavimo intensyvumas tiek prieš augalų auginimą, tiek po jo nustatytas natūraliame, neužterštame balkšvažemyje. Vienokiu ar kitokiu būdu į dirvožemį patekę sunkieji metalai blogina dirvožemio biologinį aktyvumą.

## IŠVADOS

Sunkiaisiais metalais katastrofiškai iki soties užterštą balkšvažemį atkuriant cheminio oksidavimo metodu, įgalinančiu judrias formas imobilizuoti dirvožemyje į menkai vandenyje tirpius junginius, dirvožemio biologinę būklę galima identifikuoti augalų vystymosi ir dirvožemio fermentų aktyvumo rodikliais:

1. Lyginant su natūraliu dirvožemiu, žeminių kviečių želmenų žaliosios masės derlius sunkiaisiais metalais įsotintame balkšvažemyje sumažėjo net 63,8 g, o šaknų – 52,9 g, arba 47,5%. Tuo tarpu induose, kuriuose jie buvo imobilizuoti, želmenų masės derlius sumažėjo tik 18,3%. Sunkiaisiais metalais įsotintame dirvožemyje želmenys užaugo 8,7 cm, arba 45,3%, žemesni negu natūraliame, o chemiškai imobilizuotame – tik 3,0 cm, arba 15,6%, žemesni.
2. Sulčių iš kviečių žaliosios masės kontroliniuose induose gauta 91,2 g, o induose, kuriuose SM buvo imobilizuoti, – 77,5 g. Tuo tarpu sunkiaisiais metalais įsotintame dirvožemyje želmenų sulčių gauta net 47,4 g, arba 52,0%, mažiau negu iš kontrolinių augalų.
3. Lyginant su natūraliu dirvožemiu, visas žeminių kviečių želmenų sausųjų medžiagų derlius sunkiaisiais metalais įsotintame balkšvažemyje sumažėjo net 11,3 g, arba 43,4%. Tuo tarpu chemiškai imobilizuotame dirvožemyje jis buvo tik 3,4 g, arba 12,9%, mažesnis, palyginus su kontroliniu variantu.
4. Didžiausias dirvožemio hidrolizinių fermentų ureazės ir sacharazės aktyvumas tiek prieš augalų auginimą, tiek po jo nustatytas natūraliame balkšvažemyje. Sunkiaisiais metalais įsotintame dirvožemyje ir juos imobilizavus fermento ureazės

aktyvumas siekė atitinkamai tik 2,6 ir 2,3%, o fermento sacharazės – 18,06 ir 16,87%, palyginus su natūraliu dirvožemiu.

5. Įsotintame sunkiaisiais metalais ir po jų imobilizavimo balkšvažemyje kvėpavimo intensyvumas, palyginus su neužterštu, sumažėjo atitinkamai 31,0 ir 20,0%. Tai rodo, kad chemiškai imobilizuotame balkšvažemyje išsiskyrusio CO<sub>2</sub> kiekis yra esminiai (11%) didesnis, palyginus su įsotintu sunkiaisiais metalais dirvožemiu, vadinasi, balkšvažemis buvo iš dalies atkurtas.

## PADĖKA

Dėkojame Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui (sutartis P-40/07) ir Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerijai (sutartis 8P-595), parėmusiems šį darbą.

Gauta 2007 12 28  
Priimta 2008 01 25

## Literatūra

1. Alvarez M. T., Crespo C., Mattiason B. Precipitation of Zn (II), Cu (II) and Pb (II) at bench-scale using biogenic hydrogen sulfide from the utilization of volatile fatty acids // *Chemosphere*. 2007. N 66. P. 1677–1683.
2. Babel A. S., Acera D. Heavy metal removal from contaminated sludge for land application // *Waste Management*. 2006. N 26. P. 988–1004.
3. Castaldi P., Santona L., Mrlis P. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth // *Chemosphere*. 2005. N 60. P. 365–371.
4. Chaiyaraksa C., Sriwiriyanuphap N. Batch washing of cadmium from soil and sludge by a mixture of Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and Na<sub>2</sub>EDTA // *Chemosphere*. 2004. N 56. P. 1129–1135.
5. Eitminavičiūtė I., Navickienė V. Species diversity of microarthropods in soil of natural and degraded ecosystems // *Ekologija*. 2000. Nr. 3. P. 9–14.
6. Jankevičius K., Liužinas R. Mikrobiologiniai procesai buitinėse nuotekose // *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*. 2003. Nr. 3(25). P. 21–28.
7. Janušienė V. Herbicidų įtaka dirvožemio kvėpavimo intensyvumui ir agrocheminėms savybėms. // *Žemdirbystė: LŽI ir LŽŪU mokslo darbai*. Akademija, 1996. T. 55. P. 56–61.
8. Kadūnas V. ir kt. Lietuvos geocheminis atlasas. Vilnius, 1999. 162 p.
9. Kandeler E., Kampichler C., Horak O. Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities // *Biology and fertility of soils*. 1996. Vol. 23. Issue 3. P. 299–306.
10. Kaunelienė V., Gelažienė L. Sunkiųjų metalų migracija į karklų žilvičių (*Salix viminalis*), naudojamų sąvartyno filtrato valymui, audinius // *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*. 2002. Nr. 2(20). P. 49–56.
11. Kim Ch., Lee Y., Keeong S. Factors affecting EDTA extraction of lead from lead-contaminated soils // *Chemosphere*. 2003. N 51. P. 845–853.
12. Lugauskas A., Levinskaitė L., Pečiulytė D. et al. Effect of copper, zinc and lead acetates on microorganisms in soil // *Ekologija*. 2005. Nr. 1. P. 61–69.
13. LST ISO 10381-2: 2000.
14. Madejon E., Burgos P., Lopez R., Cabrera F. Soil enzymatic response to addition of heavy metals with organic residues // *Biology and Fertility of Soils*. 2001. Vol. 34. Issue. 3. P. 144–150.
15. Manual for integrated monitoring. Programme pase 1993–1996. Helsinki, 1993. 114 p.
16. Mažvila J. ir kt. Sunkieji metalai Lietuvos dirvožemiuose ir augalijoje / 1990–1998 m. apibendrinanti ataskaita. Kaunas, 1993. 64 p.
17. Mc Grath S. P. et al. Phytoremediation of metals, metalloids and radionuclides // *Advances in Agronomy*. 2002. Vol. 75. P. 2–46.
18. Motuzas A., Vaisvalavičius R., Prosyčėvas I. ir kt. Metodologiniai sunkiųjų metalų kiekio tyrimai autotransporto taršos paveiktų zonų dirvožemiuose // *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*. 2001. Nr. 1(15). P. 39–46.
19. Motuzas A., Vaisvalavičius R., Prosyčėvas I. Application of New Physical Chemical Methods in Soil Ecological Investigations // *Environmental Science and Pollution Research International*. 2002. No. 1. P. 55–62.
20. Raguotis A., Vaičys M., Armolaitis K. Dirvožemių užterštumas sunkiaisiais metalais prie geležinkelių // *Miškininkystė*. 1998. Nr. 2(42). P. 35–42.
21. Renella G., Chaudri P., Brookes C. Fech additons of heavy metals do not model long-term effects on microbial biomass and activity // *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. Vol. 34. Issue 1. P. 121–124.
22. Schinner F., Öhlinger R., Kandeler E. et al. *Methods in Soil Biology*. Berlin, Heigelberg, Springer-Verlag, 1995. 426 p.
23. Svirskienė A. Antropogeniniam poveikiui jautrių dirvožemio mikrobiologinio aktyvumo ir jo derlingumo indikatorių įvertinimas // *Ekologija*. 1999. Nr. 3. P. 90–94.
24. Vaičys M. ir kt. Miško dirvožemių užterštumas sunkiaisiais metalais / 1995 m. apibendrinanti ataskaita. Vilnius, 1996. 52 p.
25. Vengris T. ir kt. Dirvožemio valymas nuo sunkiųjų metalų elektrokinetiniu metodu // *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*. 2002. Nr. 2(20). P. 26–32.
26. Zakarauskaitė D., Grigaliūnienė K. Mineralinių ir organinių trąšų įtaka hidrolizinių fermentų aktyvumui karbonatingame sekliai paglėjęjusiame išplautžemyje // *Vagos. LŽŪU mokslo darbai*. 2001. Nr. 49(2). P. 50–54.
27. Карягина Л. А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. Минск, 1983. 182 с.
28. Маратуева И. А. Об оценке микробиологической активности в дерново-подзолистых почв // *Почвоведение*. 1998. № 1. С. 78–87.
29. Мороз Г. В. Влияние доз азотных, фосфорных и калийных удобрений на биологическое состояние в дерново-подзолистой супесчанной почвы / Автореферат канд. дисс. ... биолог. наук. Минск, 1997. 19 с.
30. Наумов А. В. Дыхание почвы: составляющие экологические функции, географические закономерности / Автореферат канд. дисс. ... биолог. наук. Томск, 2004. 35 с.
31. Свирскене А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы // *Почвоведение*. 2003. № 2. С. 202–210.



32. Чундерова А. И. Активность в дерново-подзолистых почвах // Почвоведение. 1990. № 12. С. 104–109.
33. Чундерова А. И., Маричев П. И. Использование методов биохимического анализа почвы для изучения её азотного режима при возделывании клевера // Микробиологические и биохимические исследования почв. Киев, 1971. С. 148–151.

Algirdas Motuzas, Danguolė Zakarauskaitė, Virginijus Butkus,  
Rimantas Vaisvalavičius, Jonas Mažvila, Antanas Antanaitis,  
Gediminas Staugaitis, Igoris Prosyčėvas

#### IDENTIFICATION OF THE BIOLOGICAL STATE OF ALBELUVISOL ARABLE LAYER CONTAMINATED BY HEAVY METALS IN THE PROCESS OF ITS REHABILITATION

##### *Summary*

The article presents results of one-year (2007) screening investigations on winter wheat growth and soil enzyme activity, carried out in order to identify the biological state of the Albeluvisol arable layer polluted by heavy metals and, depending on the data from vegetative trials, the application of *in situ* chemical oxidation techniques for the rehabilitation of HM-contaminated soil.

The highest yield of winter wheat shoot biomass was obtained in the case when plants ha grew in a natural (untreated with HM)

Albeluvisol arable layer, whereas in the HM-saturated level a reduction of plant growth and biomass yield was evident. However, a marked improvement of soil biological state was visible after the chemical HM immobilization procedure – both the above-ground and underground winter wheat shoot biomass increased by 55.6% in comparison with the case when plants had been grown in HM-saturated Albeluvisol arable layer.

In general, the evident decrease of soil biological activity due to the negative impact appeared because of the Albeluvisol arable layer saturation with heavy-metal (copper, zinc and lead) acetates. Both before and after plant growth, the maximum activity of soil enzymes such as urease and saccharase was found in natural (untreated with HM) Albeluvisol arable layer. The only excerpction was found after plant growth in an HM-immobilized Albeluvisol arable layer wherein the activity of saccharase was similar to that of natural soil.

A marked decrease of soil respiration was observed in comparison with natural soil: up to 31.0% in the Albeluvisol saturated with heavy metals and up to 20.0% in heavy-metal-immobilized one. On the other hand, CO<sub>2</sub> effervescence was lower at least by 11% in heavy-metal-saturated Albeluvisol arable layer in comparison with HM-immobilized one. Thus, we may state that contaminated soil was partly rehabilitated by the chemical HM immobilization procedure.

**Key words:** Albeluvisol, chemical rehabilitation of soil polluted by heavy metals, plant development, soil biological activity