
Žemdirbystės intensyvumo aplinkosauginis įvertinimas

Saulius Gužys

Lietuvos žemės ūkio universiteto
Vandens ūkio institutas,
Parko g. 6,
LT-5048 Vilainiai, Kėdainių rajonas
el. paštas chal@water.omnitel.net

Straipsnyje pateikti apibendrinti medžiagų migracijos ryšio su agroekosistemos produktyvumu ir jį lemiančiais veiksniais tyrimų rezultatai.

Raktažodžiai: organinė-biologinė žemdirbystė, intensyvi žemdirbystė, azotas, fosforas, drenažo vanduo, gruntinis vanduo, tarša

IVADAS

Technologinę visuomenę ir aukštą pragyvenimo lygį lydi ir lydės šalutiniai žmogaus veiklos produktai – tarša, didėjanti dėl žmonių populiacijos daugėjimo ir aukšto pragyvenimo lygio galimybių. Teršalai iš esmės yra normalūs šalutiniai žmonių veiklos produktai, atsirandantys sprendžiant maisto ir kitas gyrovės problemas. Kaip pabrėžiama JAV nacionalinės mokslų akademijos komitete, problema yra ne patys šalutiniai produktai, bet jų pasiskirstymas sistemoje, taip pat išteklius, prie kurio pastaroji neprisitaikiusi [11]. Žemės ūkio veiklos aplinkosauginio įvertinimo klausimai iškilo ryšium su Baltijos jūros tarša ir eutrofikacija. Iš visų medžiagų ypatinga įtaka vandens eutrofikacijai pasižymi azoto ir fosforo junginiai. Su išsklaidyta tarša azoto patenka 52–61%, fosforo – 36–42% viso teršalų kiekio [18]. Žemės ūkio taršą sudaro vidutiniškai 30–35% azoto [8]. Lietuvoje dėl žemės ūkio įtakos Baltijos jūrą pasiekia 47 tūkst. t azoto ir 1,4 tūkst. t fosforo, o tai sudaro atitinkamai 20 ir 35% viso kiekio, patenkančio į upes [25]. Pastaruoju metu išsivysčiusiose šalyse ekonomikos ir ekologijos tarpusavio santykiuose galima išvelgti vadinamąją lyderių kaitą, kai ekologiniams veiksniams skiriama daugiau dėmesio ir jie tampa racionalios gamtonaudos moksliniu pagrindu. Šie du veiksniai iškėlė vadinamąją alternatyviosios žemdirbystės idėją. Mintis užauginti daug ir švarios produkcijos nepakenkiant gamtai labai vilioja [17, 20]. JAV ir Europoje labiausiai paplito sistema, kurios apibūdinimą JAV žemės ūkio ministerijos specialistai suformulavo dar 1970 m. Tai gamybinė sistema, kuri visiškai arba beveik visiškai funkcionuoja nenaudodama mineralinių trąšų, pesticidų, augimo reguliatorių ir dirbtinių pašarų priedų [29]. Vokiečių mokslininko G. Kahnto nuomone, visuomenė yra konflikto akistatoje, ir vargu ar jo sprendimai slypi tokiuose požiūriuose, kaip

„dabar tikrai biologinis kelias“ ar „tikrai chemija“. Vieningai klausama, kiek, kas dar biologiška, kas jau chemiška? [28]. Teigiama, kad mineralinės trąšos Lietuvoje padeda gauti 25–35% derliaus. Ir tai tik labai santūrus įvertinimas, nes neparodo jų įtakos dirvožemio našumo didėjimui, o tai yra svarbiau nei vienkartinis derliaus priedas [21]. Dauguma tyrimų rodo, kad vidutinis derlingumas ūkiuose, plėtojant organinę-biologinę žemdirbystę, yra visai nedidelis – mažiau nei 60% intensyvosios žemdirbystės ūkiuose gaunamo derliaus [5, 16]. Tačiau randama ir teiginių, kad organinė-biologinė žemdirbystė efektyvumu mažai atsilieka nuo tradicinės [16, 29]. Dauguma tyrėjų prieina išvadą, kad tik organinių ir mineralinių trąšų derinimas įgalina gauti optimalius rezultatus [16, 29].

Įvairaus intensyvumo žemdirbystės įtaka vandens kokybei literatūroje vertinama labai nevienareikšmiai. Dirvožemio vanduo – vienas pagrindinių elementų, atspindinčių ir visos geosistemos užterštumo būklę [10]. Jo kokybę, cheminių elementų bei junginių migraciją nulemia daugybė gamtinių ir antropogeninių veiksnių. Daugelis tyrėjų vieningai teigia, kad cheminių elementų ir junginių išplovimą iš dirvožemio iš esmės nulemia hidroterminis režimas ir jų kiekis dirvožemyje [6, 19]. Literatūroje apstu teiginių, kad žemės ūkio intensyvinimas skatina kai kurių elementų bei junginių (Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ , Cl^- , NO_3^-) migraciją ir išplovimą [4, 23]. Migruojant nitratams, chloridams bei sulfatams, su infiltraciniu vandeniu iš dirvožemio sorbuojamojo komplekso išstumiamas ekvivalentinis katijonų kiekis. Šiuo atveju migrantai iš dirvožemio per drenažo sistemas gali patekti į pirminį hidrografinį tinklą, o iš jo – į upes, ežerus ir kitus vandens telkinius. Pasitaiko nuomonių, kad elementų ir junginių migraciją galima labai pristabdyti taikant įvairias organines tręšimo sistemas [12]. Kiti tyrėjai teigia, kad tręšimas mėšlu sudaro daugiau

galimybių teršti vandenį, nes jo mineralizacija dirvožemyje vyksta palengva ir ilgą laiką [3, 13, 21]. Tačiau beveik vieningai pripažįstama, kad elementų ir junginių išplovimas bei neproduktyvūs trąšų nuostoliai labai padidėja tręšiant kiekiais, didesniais už augalų reikmes [9, 14, 17]. Tačiau, skirtingai nuo šių tyrėjų pozicijos, Rotamstedo (Didžioji Britanija) bei Rusijos mokslininkai, atlikę ilgalaikius tyrimus, teigia, kad dauguma nitratų, teršiančių vandens telkinius, patenka ten skylant organiniam dirvožemio azotui. Todėl mažiau tręšiant negalima išspręsti vandens užteršimo nitratais problemas. Tai gali pradėti veikti tik po ilgo laikotarpio, kol dirvožemyje nesumažės organinių medžiagų. Einant šiuo keliu, nauda dėl $N-NO_3^-$ išplovimo sumažėjimo bus nereikšminga, palyginti su nuostoliais, kuriuos patirs ūkininkas gamintojas [1, 7]. Tyrimai, atlikti Rytų Vokietijoje, parodė, kad dėl žemės ūkio ekstensyvinimo greičiau nei per 1 metus ženkliai daugiau išplauinama elementų ir junginių, palyginti su plotais, kuriuose ūkininkaujama intensyviai [15]. Tai stebima ir Lietuvoje, kai 1992–1995 m., labai sumažėjus žemės ūkio gamybai ir trąšų naudojimui, upių užterštumas nitratais gerokai padidėjo [20]. Šį teiginį patvirtina ir įvairiose šalyse su izotopu ^{15}N ir kitais metodais darytų tyrimų rezultatai. Nustatyta, kad azoto išplovimo iš mineralinių trąšų nuostoliai sudaro vidutiniškai 0,3–5,5% viso išplauto azoto kiekio. Gi organinės trąšos šiuo atžvilgiu kur kas pavojingesnės. Taigi su labai didelėmis išlygomis mineralines trąšas būtų galima vertinti vien kaip potencialius vandens teršėjus, nes jų neigiamas poveikis tiek agronomine, tiek gamtosaugos prasmėmis gali pasireikšti tik nepaisant mokslinių tręšimo rekomendacijų [2, 21].

Tyrimų tikslas – išryškinti žemdirbystės intensyvumo, agroekosistemos produktyvumo ir medžiagų migracijos tarpusavio ryšius skirtingomis geocheminėmis sąlygomis Vakarų Lietuvoje.

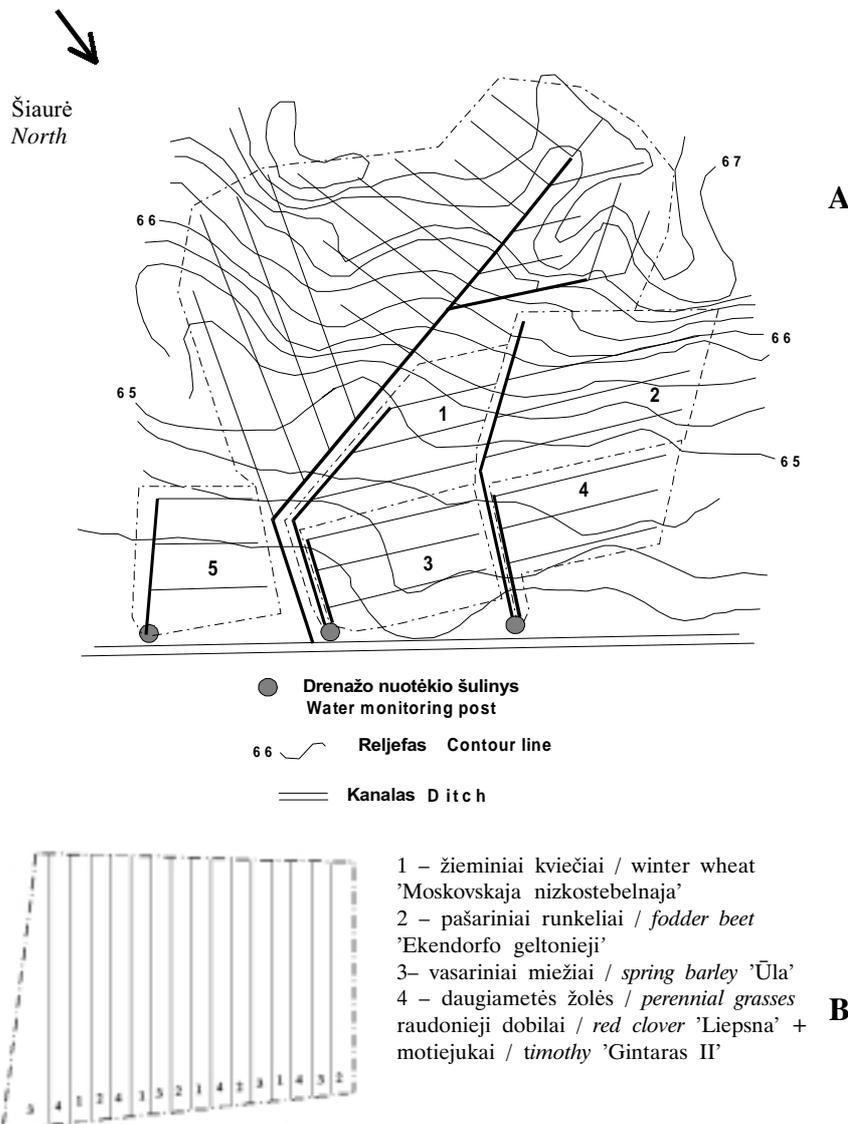
TYRIMŲ SĄLYGOS IR METODIKA

Tyrimų poligonas įrengtas Pajūrio žemumos rytiniame pa-

kraštyje, Minijos–Skinijos baseine, Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filialo bandymų stacionare, Samališkės kaime (1 pav. A). Jį sudaro 5 uždaro drenažo sistemos su drenažo nuotėkio matavimo šuliniais ir gruntinio vandens pjezometrais, kurių kiekvienoje taikoma savita žemdirbystė su jai būdingų agropriemonių kompleksu. Tyrimų schema tokia:

1. Organinė-biologinė žemdirbystė kalkintame nepasotinto giliau glėjinio rudžemio (CMg-n-w-dy) priemolio ant smėlingo priemolio dirvožemyje. Mineralinių trąšų ir pesticidų nenaudota. Kaupiamiesiems augalams įterpiama 60 t/ha mėšlo.

3. Intensyvi žemdirbystė kalkintame CMg-n-w-dy priemolio ant smėlingo priemolio dirvožemyje. Kaupiamiesiems augalams įterpiama 60 t/ha mėšlo. Tręšiama mineralinėmis trąšomis numatant 40–50% didesnę derlių nei 1 variante. Pesticidai naudojami pagal reikalą.



1 pav. Tyrimų poligono schema. A – tyrimų poligonas / proving ground, B – augalų sėjomaina / crop rotation
Fig. 1. Scheme of the experimental site

2. Organinė-biologinė žemdirbystė kalkintame giliai glėjiško pajaurėjusio išplautžemio (LVa-gld-w) smėlingo priemolio ant priemolio dirvožemyje. Agropriemonės analogiškos 1 variantui.

4. Intensyvi žemdirbystė kalkintame LVa-gld-w priemolio ant smėlingo priemolio dirvožemyje. Agropriemonės analogiškos 3 variantui. Tręšiama mineralinėmis trąšomis numatant gauti 40–50% didesnę derlių nei 2 variante.

5. Intensyvi žemdirbystė nerūgščiame giliau karbonatingo giliau glėjiško rudžemio (CMg-n-w-can) priemolio ant smėlingo priemolio dirvožemyje. Agropriemonės analogiškos 4 variantui.

Kiekvienoje drenažo sistemoje taikoma erdvėje ir laike išplėsta lauko augalų sėjomaina (1 pav. B). Prieš pradėdant tyrimus 1–4 variantų dirvožemis buvo pakalkintas dulkiiais klintmilčiais siekiant dirvožemio reakciją neutralizuoti iki pH_{KCl} 6,25. Tyrimų po-

1 lentelė Dirvožemio ariamojo sluoksnio agrocheminės savybės

Table 1. Agrochemical properties of the soil arable layer

Dirvožemio savybė Soil indices	Variantas (žemdirbystė) / Treatment (cropping system)				
	Dirvožemis / Soil				
	CMg-n-w-dy		LVa-gld-w		CMg-p-w-can
	organinė Organic	intensyvioji Intensive	organinė Organic	intensyvioji Intensive	intensyvioji Intensive
pH_{KCl}	5,7 ± 0,06	5,0 ± 0,05	4,9 ± 0,05	5,0 ± 0,07	6,3 ± 0,05
Hidrolizinis rūgštumas Hydrolytic acidity mekv/kg	19 ± 1,0	14 ± 0,9	35 ± 1,2	36 ± 1,8	9 ± 0,7
Sorbuotų bazių suma / Total adsorbed base mekv/kg	154 ± 12,0	184 ± 12,5	69 ± 4,0	73 ± 5,8	300 ± 12,9
Judrusis / Mobile P_2O_5 mg/kg	108 ± 2,8	131 ± 3,2	98 ± 1,5	132 ± 3,0	212 ± 7,2
Judrusis / Mobile K_2O mg/kg	156 ± 3,9	155 ± 3,7	205 ± 4,7	227 ± 5,3	127 ± 4,0
Bendrasis / Total N %	0,14 ± 0	0,11 ± 0,05	0,10 ± 0,05	0,11 ± 0	0,15 ± 0,01
Organinė / Organic C %	1,40 ± 0,11	1,45 ± 0,17	0,82 ± 0,06	1,21 ± 0,06	1,87 ± 0,08
Karbonatų slūgsojimo gylis Carbonate occurrence depth, cm	100 ± 12,2	80 ± 13,7	142 ± 13,8	115 ± 18,5	55 ± 4,6

2 lentelė. Lauko augalų tręšimas kg/ha v. m.

Table 2. Fertilization of field crops

Variantas (žemdirbystė) Treatment	Tręšimas	Metai / Years							
		1995		1996		1997		1998	
		įterpta su / Incorporated with							
		M	NPK	M	NPK	M	NPK	M	NPK
1. Organinė Organic	N	198,0	–	50,0	–	50,0	–	37,8	–
	P_2O_5	42,1	–	20,8	–	6,7	–	20,3	–
	K_2O	134,3	–	66,7	–	51,9	–	50,6	–
2. Organinė Organic	N	43,2	–	51,5	–	49,1	–	43,8	–
	P_2O_5	11,4	–	12,0	–	6,6	–	17,1	–
	K_2O	20,7	–	84,8	–	50,9	–	42,8	–
3. Intensyvi Intensive	N	47,2	71,2	56,0	103,2	59,9	75,8	31,9	61,5
	P_2O_5	12,5	15,7	13,2	32,9	8,0	–	23,4	–
	K_2O	32,4	48,5	97,3	29,0	52,3	–	58,6	–
4. Intensyvi Intensive	N	48,0	109,2	63,7	113,7	52,2	70,1	31,7	67,1
	P_2O_5	12,7	45,6	14,0	45,5	6,9	–	17,1	–
	K_2O	31,2	70,5	105,3	6,0	54,0	–	42,4	–
5. Intensyvi Intensive	N	44,9	75,9	59,9	96,4	57,9	65,3	32,2	49,4
	P_2O_5	11,9	20,5	14,1	4,2	7,8	–	17,2	–
	K_2O	31,1	136,3	99,4	70,3	60,0	–	43,5	–

M – mėšlas / manure, NPK – mineralinės trąšos / mineral fertilizers.

ligono dirvožemių agrocheminės savybės prieš tyrimų pradžią pateiktos 1 lentelėje. Intensyvios žemdirbystės variantuose buvo taikomas programuotas tręšimas (2 lentelė) [22]. Drenažo vanduo matuotas savirašiais. Gruntinis ir, esant nuotėkiui, drenažo vanduo analizuotas kas mėnesį. Vandens analizės atliktos šiais metodais: NO_3^- , PO_4^{3-} – kolorimetriniu, bendroji mineralizacija – apskaičiuota [26]. Dirvožemio analizės atliktos tokiais metodais: pH_{KCl} – potenciometriniu, judrieji P_2O_5 ir $\text{K}_2\text{O} - \text{AL}$, hidrolizinis rūgštumas – Kappeno, sorbuotų bazių suma – Kappeno–Hilkovico, bendrasis N – Kjeldalio, karbonatų slūgsojimo gylis nustatytas su 10% HCl. Derlius nustatomas 4 pakartojimais. Apykaitos energijos derlius apskaičiuotas. Tyrimų duomenys apdoroti matematinės statistikos metodais [27].

Straipsnyje vartojami tokie simboliai ir sutrumpinimai: x – vidurkis, Sx – vidurkio paklaida, r ir R – atitinkamai porinės ir daugianarės koreliacijų koeficientai, η – koreliacinis santykis, * patikima esant 95% tikimybei, ** patikima esant 99% tikimybei, $x_{\text{ekstr.}}$ – funkcijos ekstremumas, v. m. – veiklioji medžiaga.

TYRIMŲ REZULTATAI IR DISKUSIJA

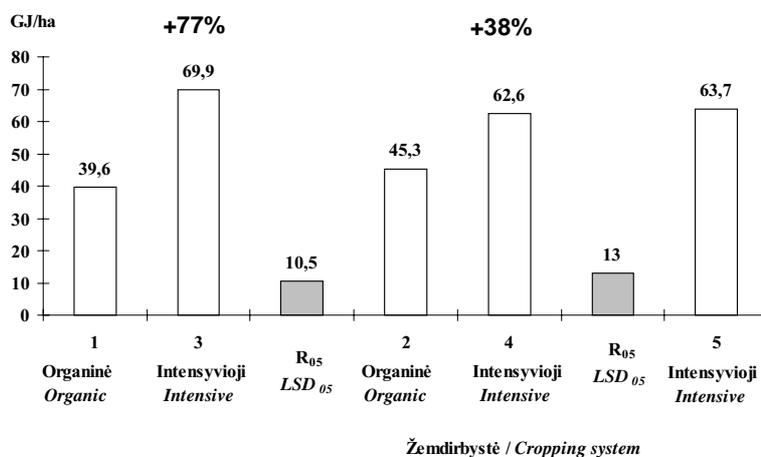
Intensyvios žemdirbystės taikymas užtikrino patikimai didesnę visų augalų derlių, palyginus su organine-biologine žemdirbyste. Vidutiniais duomenimis, CMg-n-w-dy dirvožemyje jis padidėjo 77, LVA-gld-w – 38% iki atitinkamai 69,9 ir 62,6 GJ/ha (2 pav.).

Tyrimai parodė, kad žemdirbystės intensyvumas, keisdamas agroekosistemos produktyvumą, turi įtakos ir kitiems jos rodikliams. Dauguma tyrimų rodo, kad drenažo nuotėkis yra sąlygojamas meteorologinių sąlygų. Mūsų atlikti tyrimai patvirtina šį teiginį. Drenažo nuotėkio mm/mėn. (z) priklausomumas nuo vidutinės oro temperatūros $^{\circ}\text{C}/\text{mėn.}$ (x) ir kritulių kiekio mm/mėn. (y) gali būti aprašomas tokia regresijos lygtimi:

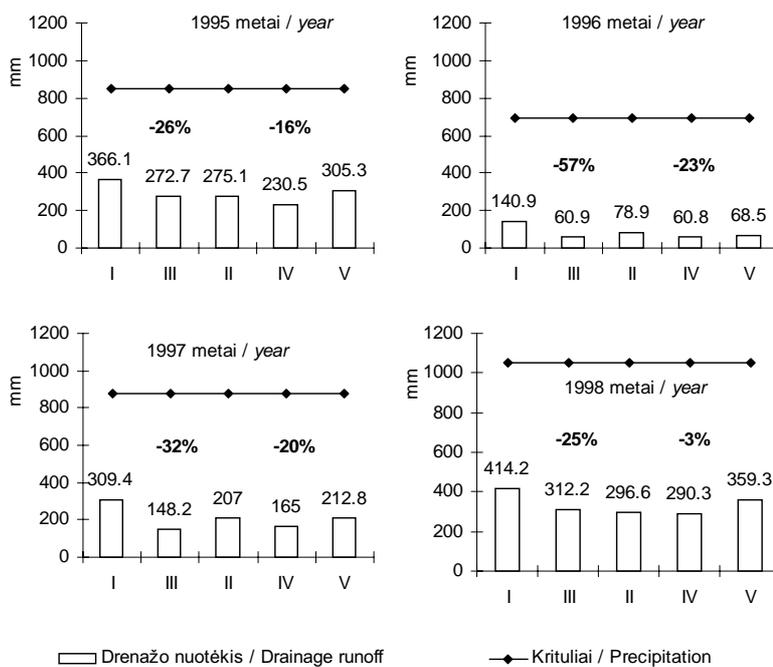
$$z = 4,089 + 0,329x + 1,934y + 0,0001x^2 - 0,02xy - 0,112y^2; R = 0,61^*; D = 37\%; r_{\text{krituliai}} = 0,54; D = 31\%; r_{\text{temperatūra}} = 0,33; D = 11\%.$$

Iš lygties galima spręsti, kad drenažo nuotėkis būna didesnis iškritus

daugiau kritulių, tačiau jo būna mažiau esant neišreikšiamai ar aukštai oro temperatūrai. Žemdirbystės intensyvumas, užtikrinantis didelį lauko augalų derlingumą, mažina drenažo nuotėkį (3 pav.). Kai kuriais metais šis sumažėjimas buvo 3–57%. Santykinai šis sumažėjimas esti didžiausias iškritus mažiau kritulių, sąlygojančių mažesnę nuotėkį. 1996 m. iškritus tik 700 mm kritulių, jis buvo 23–57%. Gausesnis kritulių kiekis mm (x) amortizuoja žemdirbystės intensyvumo (vidutinis papildomas derlius GJ/ha (y)) įtaką drenažo nuotėkio pokyčiams % (z). $z = -600,68 + 1,236x + 6,962y - 0,00072x^2 - 0,00698xy + 0,0259y^2; R = 0,89^{**}; D = 74^*$.



2 pav. Žemdirbystės intensyvumo įtaka agroekosistemos produktyvumui
Fig. 2. Influence of the cropping intensity on agroecosystem productivity



3 pav. Kritulių kiekis ir drenažo nuotėkis
Fig. 3. Amount of precipitation and drainage runoff

3 lentelė. Žemdirbystės intensyvumo įtaka medžiagų koncentracijai drenažo ir gruntiniame vandenyje
 Table 3. Influence of the cropping systems on biogen concentration in drainage and ground water

Rodiklis Index mg/l	Variantas (žemdirbystė) / Treatment (cropping systems)						
	dirvožemis / Soil						
	CMg-n-w-dy			LVa-gld-w			CMg-n-w-can
	organinė Organic	intensyvioji Intensive	R ₀₅ LSD ₀₅	organinė Organic	intensyvioji Intensive	R ₀₅ LSD ₀₅	intensyvioji Intensive
NO ₃ ⁻	37 ± 5,7 15 ± 7,8	46 ± 5,1 11 ± 3,4	15 17	35 ± 8,2 34 ± 10,0	63 ± 14,2 29 ± 8,2	33 26	34 ± 17,7 10 ± 5,0
PO ₄ ³⁻	0,06 ± 0,025 0,19 ± 0,002	0,07 ± 0,017 0,10 ± 0,030	0,06 0,19	0,06 ± 0,012 0,11 ± 0,053	0,05 ± 0,020 0,05 ± 0,025	0,05 0,12	0,07 ± 0,010 0,10 ± 0,026
Bendroji mineralizacija Total mineral content	704 ± 66,7 742 ± 50,3	702 ± 70,3 780 ± 40,7	194 129	570 ± 60,7 780 ± 50,2	569 ± 67,0 538 ± 33,6	181 121	773 ± 66,4 939 ± 68,3
Drenažo vanduo / Drainage water							
Gruntinis vanduo / Ground water							

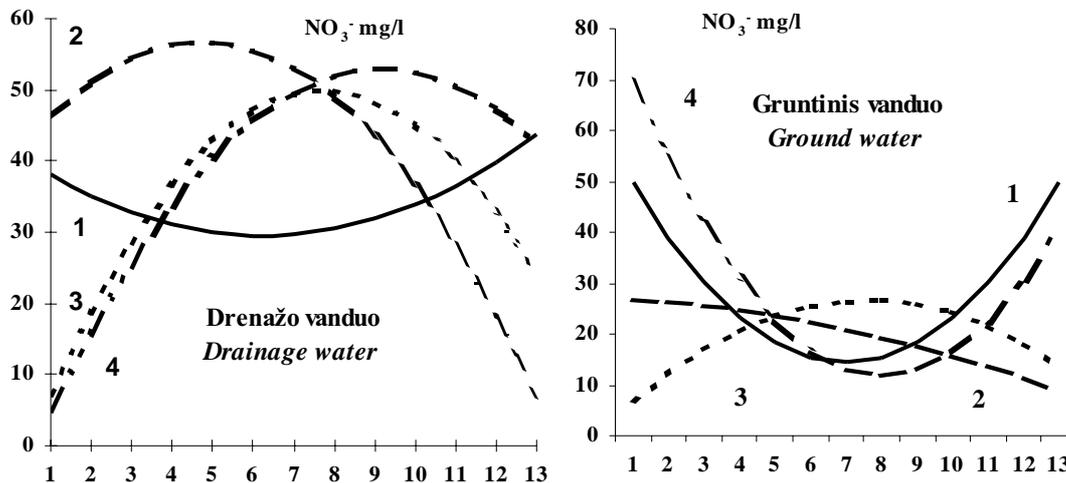
Dirvožemio vandens mineralizacija buvo sąlygota dirvožemio geocheminio fono bei žemdirbystės intensyvumo (3 lentelė). Vidutinė nitratų koncentracija drenažo vandenyje buvo gana aukšta (35–63 mg/l) ir iš esmės nulemta žemdirbystės intensyvumu. Taisant intensyvią žemdirbystę CMg-n-w-dy dirvožemyje ji gauta 25%, LVa-gld-w – net 81% didesnė, palyginus su organine-biologine žemdirbyste, ir buvo atitinkamai 46 ir 63 mg/l. Gruntinio vandens koncentracijos nitratų atžvilgiu vidutiniai duomenys rodo, kad ją kur kas mažiau veikė žemdirbystės intensyvumas, ji buvo labiau nulemta dirvožemio geocheminės aplinkos bei didžiausia (29–34 mg/l) skurdžiausio LVa-gld-w dirvožemyje. Vokėje atliktais tyrimais nustatyta, kad didžiausia NO₃⁻ jonų koncentracija lizimetriniuose vandenyse yra velėniniuose jauriniuose smėlio dirvožemiuose, kuri mažėja dirvožemiui tampant sunkesnės granulimetrinės sudėties. Taip pat ši koncentracija mažėja dirvožemiui tapus labiau bazėmis pasotintu [23]. Tiesiogiai vertinant nitratų koncentraciją dirvožemio vandenyje dėl žemdirbystės intensyvumo įtakos būtų galima tuo apsiriboti, konstatuojant, kad intensyvi žemdirbystė teršia vandenį nitratais. Nuodugnesnė duomenų analizė parodė, kad toks vertinimas būtų klaidinantis ir neišryškintų nitratų koncentracijos pokyčių drenažo ir gruntiniame vandenyje dėl žemdirbystės intensyvumo įtakos dėsningumų. Koreliacinės-regresinės analizės rezultatai rodo, kad tręšimas azoto trąšomis kur kas labiau veikia azoto koncentraciją drenažo vandenyje, palyginti su gruntiniu vandeniu (4 pav.). Gausiau tręšiant azoto trąšomis, tiek drenažo, tiek gruntiniame vandenyje NO₃⁻ koncentracija kinta vienodai – parabolės dėsningumu. Didėjant tokiam tręšimui iki 52 kg/ha v.m. drenažo ir iki 120 kg/ha v. m. gruntinia-

me vandenyje NO₃⁻ jonų koncentracija mažėja. Toliau gausiau tręšiant ji jau didėja. Taigi drenažo vanduo kur kas jautriau reaguoja į tręšimą azoto trąšomis. Tokie nitratų koncentracijos pokyčių dėl tręšimo dėsningumai yra susiję su tręšimo efektyvumu ir gaunamu derliumi. Vidutinis lauko augalų apykaitos energijos derliaus GJ/ha (y) priklausomumas nuo tręšimo azoto trąšomis kg/ha v. m. (x) išreiškiamas šia paraboline regresijos lygtimi: $y = 43,001 + 0,6908x - 0,00484x^2$; $\eta = 0,90^{**}$; $D = 81\%$; $x_{ekstr} = 71$. Didėjantis iki optimalaus (71 kg/ha v. m.) tręšimas azoto trąšomis didina derlių. Gaunamas gausesnis sėjomainos lauko augalų derlius jau nuo 43 G/ha mažina nitratų koncentraciją gruntiniame ir nuo 57 GJ/ha – ir drenažo vandenyje. Ir tai suprantama: gausesniau augalų derliui išauginti sunaudojama daugiau trąšų bei dirvožemio azoto. Tai gerai rodo tręšimo NPK efektyvumo derliui ryšys su nitratų koncentracija vandenyje. Jam didėjant, efektyviau sunaudojamos trąšos ir kartu užkertamos galimybės migruoti trąšų azotui į vandenį. Pastebėti dėsningumai duoda pagrindą manyti, kad racionalus bei efektyvus tręšimas ne tik užtikrina didelį lauko augalų derlingumą, bet ir mažina neproduktyvius azoto nuostolius, kartu mažindamas aplinkos užteršimo azotu galimybes. O intensyvosios žemdirbystės sąlygomis pastebėtas azoto koncentracijos padidėjimas drenažo vandenyje (24–80%) yra susijęs su nepakankamu tręšimo ar kitų agrotechnikos priemonių efektyvumu, trukdančiu augalams produktyviausiai sunaudoti trąšų azotą. Be to, egzistuojančios augalų tręšimo rekomendacijos kol kas visai nesusietos su biogeninių trąšų elementų migracijos procesais. JAV, Ajovos valstijoje nustatyta, kad tik labai negausiai tręšiant NO₃⁻ koncentracija drenažo vandenyje nėra didesnė už didžiausią

leidžiamą geriamam vandeniui kiekį (50 mg/l) [9]. Mūsų atlikti tyrimai parodė, kad intensyvios žemdirbystės atveju tik skurdžiame LVA-gld-w dirvožemyje ši riba drenažo vandenyje buvo viršyta 26% (63 mg/l). Gruntiniame vandenyje abiejų žemdirbystės sistemų atveju ji buvo kur kas mažesnė. Taip pat pastebėtas dirvožemio bendrojo azotingumo ryšys su nitratų koncentracija vandenyje. Dirvožemio azotingu-

mo didėjimas nitratų koncentraciją drenažo vandenyje veikia didėjimo, o gruntiniame – mažėjimo linkme.

Pripažįstama, kad fosfatai yra sunkiai tirpūs ir mažai jūdriūs dirvožemyje junginiai. Todėl ir randami jų kiekiai drenažo ir gruntiniame vandenyje tėra visiškai nedideli. Kokios nors aiškesnės dirvožemio geocheminio fono ir žemdirbystės intensyvumo įtakos PO_4^{3-} koncentracijai drenažo vandenyje negauta.



- N tręšimas kg/ha v.m. / N fertilization kg/ha active matter (1)
- NPK tręšimo efektyvumas GJ/ha derliaus už 1 kg NPK / Efficiency of NPK fertilization GJ/ha yield per 1 kg NPK (2)
- - - Derlius GJ/ha / Yield GJ/ha (3)
- - - Bendrasis N % / Total soil N % (4)

Drenažo vanduo / Drainage water

1 - $y = 38,03 - 0,325x + 0,0031x^2$; $\eta = 0,65^*$; $D = 42\%$; $x_{ekst.} = 52$.
 2 - $y = 39,926 + 140,536x - 294,66x^2$; $\eta = 0,46^*$; $D = 21\%$; $x_{ekst.} = 0,24$.
 3 - $y = -141,48 + 6,72x - 0,059x^2$; $\eta = 0,36$; tik. lygis = 87,5%; $D = 13\%$; $x_{ekst.} = 56,9$.
 4 - $y = -367,85 + 6955,7x - 28746,4x^2$; $\eta = 0,36$; tik. lygis = 87,5%; $x_{ekst.} = 0,12$.

Gruntinis vanduo / Ground water

1 - $y = 49,72 - 0,59x + 0,00246x^2$; $\eta = 0,41$; tik. lygis = 92,8%; $D = 17\%$; $x_{ekst.} = 120$.
 2 - $y = 27,152 - 5,483x - 34,973x^2$; $\eta = 0,33$; tik. lygis = 79,0%; $D = 11\%$.
 3 - $y = -7,451 + 1,57x - 0,0181x^2$; $\eta = 0,43$; tik. lygis = 94,0%; $D = 18\%$; $x_{ekst.} = 43,4$.
 4 - $y = 242,27 - 3286,8x + 11720,8x^2$; $\eta = 0,49^*$; $D = 24\%$; $x_{ekst.} = 0,14$.

x ašies žymėjimai
marks of x axis

	(1)	(2)	(3)	(4)
1 -	0	0,05	30	0,080
2 -	10	0,10	34	0,085
3 -	20	0,15	38	0,090
4 -	30	0,20	42	0,095
5 -	40	0,25	46	0,100
6 -	50	0,30	50	0,105
7 -	60	0,35	54	0,110
8 -	70	0,40	58	0,115
9 -	80	0,45	62	0,120
10 -	90	0,50	66	0,125
11 -	100	0,55	70	0,130
12 -	110	0,60	74	0,135
13 -	120	0,65	78	0,140

x ašies žymėjimai
marks of x axis

	(1)	(2)	(3)	(4)
1 -	0	0,05	10	0,07
2 -	20	0,10	15	0,08
3 -	40	0,15	20	0,09
4 -	60	0,20	25	0,10
5 -	80	0,25	30	0,11
6 -	100	0,30	35	0,12
7 -	120	0,35	40	0,13
8 -	140	0,40	45	0,14
9 -	160	0,45	50	0,15
10 -	180	0,50	55	0,16
11 -	200	0,55	60	0,17
12 -	220	0,60	65	0,18
13 -	240	0,65	70	0,19

4 pav. Nitratų koncentracijos drenažo ir gruntiniame vandenyje ryšys su agroekosistemos produktyvumu ir jį nulemiančiais veiksniais

Fig. 4. Relation of nitrate concentration in drainage and ground water to agroecosystem productivity and its pre-determining factors

Gruntiniame vandenyje intensyvios žemdirbystės sąlygomis pastebėta PO_4^{3-} koncentracijos mažėjimo tendencija (47–55%). Tačiau šie skirtumai patikimi tik esant 58–68% tikimybės lygiams. Koreliacinė-regresinė analizė išryškino, kad PO_4^{3-} koncentracija gruntiniame vandenyje mg/l (y) priklauso nuo augalų derlingumo GJ/ha (x) ir kinta parabolės dėsnin-gumu: $y = 0,746 - 0,0196x + 0,00015x^2$; $\eta = 0,43$; $D = 18\%$; $x_{ekstr.} = 130$; tikimybės lygis = 89%. Dėl didėjančio augalų derlingumo iki 130 GJ/ha mažėja PO_4^{3-} koncentracija gruntiniame vandenyje.

Bendroji drenažo ir gruntinio vandens mineralizacija nepriklausė nuo žemdirbystės intensyvumo, buvo nulemta dirvožemio geocheminio fono ir didėjo Lva-gld-w→CMg-n-w-dy→CMg-n-w-can seka.

Intensyvios žemdirbystės taikymas, mažindamas drenažo nuotėkį, mažina ir bendrą išplautų druskų kiekį (5 pav.). Vidutiniais duomenimis, taikant intensyvią žemdirbystę CMg-n-w-dy dirvožemyje šis kiekis sumažėjo 34, Lva-gld-w – 51%, arba atitinkamai iki 82 ir 100 kg/ha. Nitratų (z_1), fosfatų (z_2) ir bendrojo druskų kiekio (z_3) išplovimo drenažu kg/ha priklausomumas nuo drenažo vandens nuotėkio mm/m (y) ir nitratų (x_1), fosfatų (x_2) koncentracijos vandenyje ir bendros jo mineralizacijos (x_3) mg/l gali būti aprašomas tokiomis regresijos lygtimis:

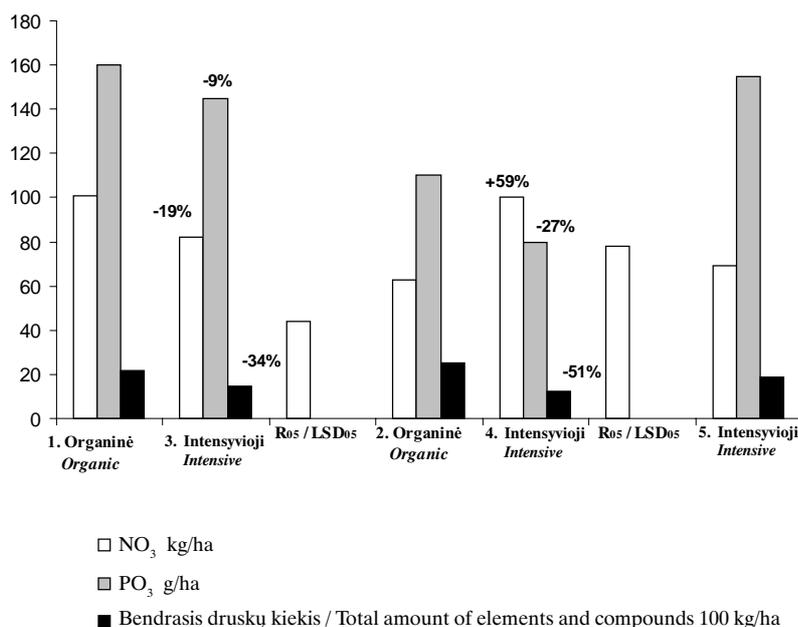
$$z_1 = 10,87 + 0,27x_1 + 0,045y - 0,002x_1^2 + 0,001x_1y - 0,00001y^2; R = 0,92^{**}, r_{koncentracija} = 0,91; D = 82\%; r_{nuotėkis} = 0,89; D = 79\%;$$

$$z_2 = -0,234 + 2,41x_2 + 0,0001y; R = 0,95^{**}, r_{koncentracija} = 0,93; D = 90\%; r_{nuotėkis} = 0,91; D = 83\%;$$

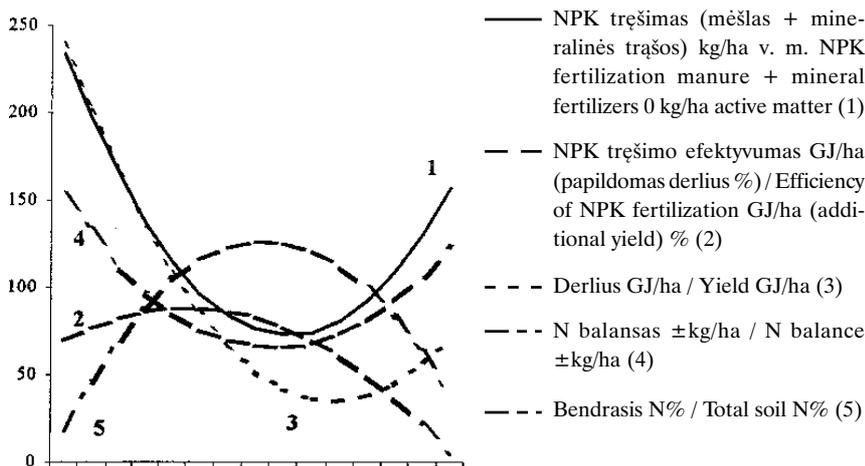
$$z_3 = 162,239 - 0,392x_3 + 8,528y; R = 0,68^{**}, r_{koncentracija} = 0,25; D = 12\%; r_{nuotėkis} = 0,62; D = 38\%.$$

Iš lygčių galima spręsti, kad drenažu išplautų elementų ir junginių kiekį kur kas labiau veikia vandens nuotėkis nei jo mineralizacija. Nuotėkis apie 38% nulėmė jų išplovimo drenažu pokyčius, jonų koncentracija vandenyje – tik apie 12%. NO_3^- ir PO_4^{3-} išplautą kiekį, skirtingai nei bendrąjį druskų kiekį, vienodai lėmė tiek drenažo nuotėkio intensyvumas ($r = 0,89-0,91$), tiek šių elementų koncentracija vandenyje ($r = 0,91-0,93$). Tokiu būdu išplautas nitratų bei fosfatų kiekis labai jautriai reaguoja į visus gamtinius ir antropogeninius ekosistemų funkcijų rodiklius, o tai nulėmė gautus duomenis. Kai kuriais metais taikant organinę-biologinę ir intensyvią žemdirbystę išplautas nitratų kiekis itin įvairavo (nuo 34,5 iki 211 kg/ha). Todėl tiesioginis žemdirbystės intensyvumo nitratų išplovimo atžvilgiu vertinimas yra netikslingas ir gali būti klaidinantis. Manome, kad būtent dėl šių aplinkybių moksle iki šiol neprieita prie vieningos nuomonės dėl nitratų išplovimo vertinimo veikiant įvairiam antropogeniniam krūviui. Siekdami išryškinti nitratų išplovimo ryšius su agroekosistemos produktyvumu ir jį sąlygojančiais veiksniais, atlikome nuodugnią tyrimo duomenų koreliacinę-regresinę analizę (6 pav.). Nitratų išplovimo priklausomumas nuo tręšimo NPK ir gaunamo derliaus kinta parabolės dėsnin-gumu. Didėjant NPK mineraliniam tręšimui iki 162 kg/ha v. m. ir dėl to didėjant derliui iki 54,3 GJ/ha, nitratų išplovimas mažėja, toliau gausiau tręšiant nitratų išplaunama daugiau. Duomenų matematinė analizė parodė, kad di-

džiausias vidutinis visų augalų derlius gaunamas, kai NPK tręšiama vidutiniškai 142 kg/ha. Taigi toliau labiau tręšiant ne tik negaunama gausesnio derliaus, bet ir yra žalinga gamtos saugos požiūriu, nes padidėja neproduktyvūs trąšų nuostoliai. Tai vaizdžiai parodo nitratų išplovimo priklausomumas nuo tręšimo efektyvumo. Dėl didėjančio tręšimo efektyvumo, užtikrinančio didesnius derliaus priedus, jau nuo 24%, palyginus su netręštu variantu, mažėja nitratų išplovimas drenažu. Panašius dėsnin-gumus rodo ir kitose šalyse atlikti tyrimai. Nustatyta, kad didėjant derliui drenažu mažiau išplaunama nitratų. Tačiau gausiai tręšiant, dėl mažo tręšimo efektyvumo derlius didėja tik šiek tiek, o išplovimo nuostoliai neproporcingai išauga [9, 24]. Duomenų analizė parodė, kad mažiausi nitratų išplovimo nuostoliai gaunami esant nedideli-



5 pav. Išplautų junginių kiekis
Fig. 5. Leached amount of solutes



(1) $-y = 234,04 - 1,985x + 0,0061x^2$; $\eta = 0,78^{**}$; $D = 61\%$; $x_{ekstr.} = 162$
 (2) $-y = 54,372 + 2,785x - 0,0577x^2$; $\eta = 0,77^{**}$; $D = 59\%$; $x_{ekstr.} = 24,1$
 (3) $-y = 284,9 + 9,228x + 0,085x^2$; $\eta = 0,76^{**}$; $D = 58\%$; $x_{ekstr.} = 54,3$
 (4) $-y = 65,895 - 0,1904x + 0,0142x^2$; $\eta = 0,47^*$; $D = 23\%$; $x_{ekstr.} = +6,7$
 (5) $-y = -1154,97 + 20215,2x - 79759,3x^2$; $\eta = 0,75^{**}$; $D = 56\%$; $x_{ekstr.} = 0,13$

6 pav. Nitratų išplovimo drenažo vandenių ryšys su agroekosistemos produktyvumu ir jį nulemiančiais veiksniais

Fig. 6. Dependence of nitrate leaching with drainage water on agroecosystem productivity and predetermining factors

teigiamam azoto balansui (+6,7 kg/ha). Dėl didėjančio bendrojo dirvožemio azottingumo iki 0,13% nitratų išplovimas drenažu didėja. Intensyvi žemdirbystė, didindama agroekosistemos produktyvumą iki 52 GJ/ha (x), mažina PO_4^{3-} išplovimą drenažu kg/ha (y) (9–27%). $y = 0,828 - 0,027x + 0,00026x^2$; $\eta = 0,40$; $D = 16\%$; $x_{ekstr.} = 52$; tikimybės lygis = 87%.

Apibendrintai galima teigti, kad moksliskai pagrįstas optimalus tręšimas azoto trąšomis ne tik užtikrina didžiausią agroekosistemos produktyvumą, bet ir yra mažiausiai pavojingas kitiems agroekosistemos komponentams.

IŠVADOS IR APIBENDRINIMAS

Kompleksiniai organinės-biologinės ir intensyvios žemdirbystės tyrimai kalkintuose LVA-gld-w bei CMg-n-w-dy, taip pat nerūgščiame CMg-n-w-can dirvožemiuose, taikant keturlaukę Norfolkio sėjomainą, leidžia padaryti tokias esmines išvadas ir apibendrinimus:

- Organinė-biologinė žemdirbystė iš esmės nėra pranašesnė už intensyvią ir nusileidžia jai augalų derlingumu. Dėl žemdirbystės intensyvinimo derlius padidėja apie 38–77%.

- Žemdirbystės intensyvinimas ir didesnis gaunamas derlius turi įtakos kitiems agroekosistemos komponentams.

- Drenažo nuotėkis priklauso nuo kritulių kiekio ir vidutinės oro temperatūros. **Taikant intensyvią**

žemdirbystę, palyginti su organine-biologine, drenažo nuotėkis sumažėja nuo 6–23 iki 23–57%.

- Dirvožemio vandens cheminė sudėtis priklauso nuo dirvožemio geocheminio fono ir žemdirbystės intensyvumo.

1. Žemdirbystės sistemos neturi įtakos bendrajai drenažo ir gruntinio vandens mineralizacijai. Ji buvo sąlygota dirvožemio geocheminės aplinkos ir didėjo eilėje LVA-gld-w → CMg-n-w-dy → CMg-n-w-can.

2. Nitratų koncentracija drenažo ir gruntiniame vandenyje priklauso nuo dirvožemio sąlygų ir žemdirbystės intensyvumo.

2.1. Nitratų koncentracija drenažo ir gruntiniame vandenyje priklausomai nuo augalų tręšimo azoto trąšomis ir gaunamo jų derliaus kinta parabolės dėsningumu. Dėl didesnio tręšimo efektyvumo bei gaunamo

derliaus nitratų koncentracija drenažo ir gruntiniame vandenyje mažėja. Drenažo vanduo, palyginti su gruntiniu vandenių, jautriau reaguoja į tręšimą azotu.

2.2. Dėl didėjančio dirvožemio azottingumo nitratų koncentracija drenažo vandenyje didėja, o gruntiniame – mažėja.

3. Žemdirbystės intensyvumas ir dirvožemio geocheminis fonas neturi įtakos PO_4^{3-} koncentracijai drenažo vandenyje. Dėl didėjančio agroekosistemos produktyvumo mažėja PO_4^{3-} koncentracija gruntiniame vandenyje.

- Išplautas druskų kiekis iš esmės priklauso nuo drenažo nuotėkio ir daug mažiau nuo jo mineralizacijos. Dėl efektyvaus tręšimo mažėja išplautų nitratų kiekis.

Įvertinus šiuos ir kitus atliktus tyrimus [3, 14], galima teigti, kad intensyvi žemdirbystė neturėtų būti vertinama kaip didesnis geosistemos teršėjas, palyginus su organine-biologine žemdirbyste. Tačiau duomenys leidžia manyti, kad Lietuvoje naudojamos tręšimo rekomendacijos nepakankamai įvertina migracinius biogenų procesus. Siekiant sumažinti geosistemos taršą, reikia tobulinti tręšimo rekomendacijas, maksimaliai išnaudoti trąšų efektyvumą, laiku ir nepriekaištingai atlikti kitus agrotechnikos darbus.

Literatūra

1. Addiscott T. Farmers fertilizers and the nitrate flood. *New sciences*. 1998. P. 50–54.
2. Antanaitis Š. *Azoto, fosforo ir kalio migracijos agroekosistemoje ir augalų derliaus ryšys su aplinkos veiksniais / Daktaro disertacijos santrauka*. Akademija, 2001. 24 p.
3. Bakhsh A., Kanwar R. S., Karlen D. L. et al. N management and crop rotation effects on yield and residual soil nitrate levels. *Soil science*. 2001. Vol. 166. N 8. P. 530–538.
4. Bokhorst J. G. The organic farm at nagele. *Development of farming systems. Evaluation of the five-years period*. 1989. P. 57–65.
5. Bučienė A., Eidukevičienė M., Gužys S. ir kt. Tausojančios žemdirbystės perspektyvos įvairaus našumo dirvožemyse. *Lietuvos integracija į Europos Sąjungą. Žemės ūkio uždaviniai ir mokslo vaidmuo*. Vilnius, 1999. P. 117–125.
6. Čiuberkienė D., Ežerinskas V. Agrocheminių rodiklių ir maisto medžiagų migracijos kitimai įvairiai kalkintame ir tręštame dirvožemyje. *Žemdirbystė. Mokslo darbai*. 1999. T. 71. P. 32–48.
7. Dunn S. M., Domburg P., Edwards I., Ferrier R. C. A simple modelling approach to identify processes controlling stream nitrate in an agricultural catchments. *Impact of land use change Naur: Loads diffuse sources*. Birmingham. 1999. P. 135–142.
8. Heathwaite A. L., Burt T. P., Trudgill S. T. Overview – the Nitrate Issue. *Nitrate: Processes, Patterns and Management*. New York: John Wiley & Sons, 1993. P. 3–8.
9. Jaynes D. B., Colvin I. S., Karleen D. L., Cambardella C. A., Meek D. W. Nitrate loss in subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizers rate. *Journal Environmental Quality*. 2001. Vol. 30. P. 1305–1314.
10. Jankauskaitė M. Geosistemų jautrumo cheminiams poveikiui vertinimas. *Geografija*. 1993. T. 29. P. 78–84.
11. Kormandy G. J. Ekologijos sąvokos. Kaunas, 1992. P. 43–44, 246–247, 307.
12. Kushwaka S., Ochi I. E. The economic and social implication of using animal excreta as fertilizers and fudstuff: Profitability and environmental protection simulation model. *Journal sustainable agriculture*. 1999. Vol. 14. P. 81–89.
13. Liebig M. A., Doran I. W. Impact of organic production practices po soil quality indicators. *Journal Environmental Quality*. 1999. Vol. 28. P. 1601–1609.
14. Lind A. M., Deboš K. K., Maag M. N balance for mineral N on Spring Barley Cropped Sandy Loam an Coarse Sandy Soil with Mineral and Organic Fertilizers. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 1995. Section B. 45. P. 39–50.
15. Meissner R., Seeges I., Rupp H. Lysimetr studies in East Germany concerning the influence of set aside of intensively farmed land on the seepage water quality. *Agricultural ecosystems & Environment*. 1998. Vol. 67. P. 161–173.
16. Ninner B. J., Horse G. J. The search for sustainable agroecosystems. *Journal soil and water conservation*. 1989. Vol. 44. N 2. P. 111–116.
17. Pawlat H. Ecological and economical effect of fertilizers on grassland in lysimetric test. *Ann. Warsaw Agr. univ. SGGW-AR. Land Reclam.* Warsaw, 1987. N 23. P. 19–25.
18. Pawlik-Dobrowolski J. Application of a method of nitrogen, phosphorus and potassium balance for the assessment of water quality hazard of the non-point pollution. *Journal of water and land development*. 1998. N 2. P. 135–155.
19. Sharpley A., Robinson I. S., Smith S. I. Assessing environmental sustainability of agricultural systems by simulation of nitrogen and phosphorus loss in runoff. *European Journal Agronomy*. 1995. Vol. 4. N 4. P. 453–464.
20. Šileika A. S., Gaigalis K., Milius P., Kutra G. Vandenių užterštumo cheminėmis medžiagomis tyrimai Grai supio up. baseine. *Vandens ūkio inžinerija*. Kaunas-Akademija, Vilainiai, 1998. T. 5(27). P. 14–26.
21. Švedas A. Žemės ūkio augalų tręšimas. *Lietuvos dirvožemiai*. Vilnius, 2001. P. 896–901.
22. Švedas A., Tarakanovas P. *Tręšimo planavimas*. Akademija, 2000. 33 p.
23. Tyla A., Rimšelis J., Šleinyns R. *Augalų maisto medžiagų išplovimas iš įvairių dirvožemių*. Dotnuva-Akademija, 1997. 25 p.
24. Torstensson G. *Nitrogen availability for crop uptake and leaching / Doctoral thesis*. Uppsala, 1998. 19 p.
25. Tumas R. Hydroecological evaluation of small Lithuanian rivers. *Reduction of agricultural runoff to the Baltic Sea / Proceedings of international conference*. Vilainiai, 1999. P. 29–33.
26. *Unifikuoti nuotekų ir paviršinių vandenų kokybės tyrimo metodai*. Vilnius, 1999. D. I. 224 p.
27. Доспехов Б. А. *Методика полевого опыта*. Москва, 1979. 416 с.
28. Кант Г. О. *Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем*. Москва, 1988. 207 с.
29. Ладонин В. Ф., Алиев А. М., Валькова В. А. Агроэкологические аспекты комплексного применения средств химизации в севооборотах Российского нечерноземья. *Агрехимия*. 1992. №. 9. С. 93–103.

Saulius Gužys

ECOLOGICAL ESTIMATION OF CROPPING INTENSITY

S u m m a r y

During the period 1995–1998, in Western Lithuania the Minija–Skinija basin the organic-biological and intensive cropping system on autonomous drainage plots in limed Bathihypogleyi-Albic Luvisol (LVa-gld-w), Dystri Endohypogleyic Combisol (CMg-n-w-dy) and non-acid Endocalcari Endohypogleyic Combisol (CMg-n-w-can) soils were carried out in the system “soil–technology–water–plant”.

Cultivation of an intensive cropping system permits to receive a higher (by 38–76%) agroecosystem productivity as compared to organic-biological one. The drainage runoff depended on meteorological conditions. Cultivation of intensive cropping system drainage runoff decreased

by 6–57% as compared to organic-biological one. Cropping intensity has no influence on PO_4^{3-} concentration and total mineral content in drainage and ground water. Under conditions of intensive cropping system, the concentration of NO_3^- in drainage water increased. A better efficiency of fertilization and higher yields decreased the nitrate concentration in drainage and ground water. The leached amounts of solutes depended upon drainage runoff volume and cropping intensity. Lower amounts of total mineral content and PO_4^{3-} were leached under conditions of intensive cropping system. Nitrate leaching decreased with increasing fertilization efficiency.

According to these and other [3, 14] investigations, an intensive cropping system should not be considered a strong pollutant of a geosystem against an organic cropping system. However, the data of investigations show that fertilization recommendations in Lithuania insufficiently estimate the migration processes of biogens. In order to reduce non-point source pollution of a geosystem, it should be aimed to reach maximum efficiency of fertilizers and to carry out other agricultural means irreproachably at the same time.

Key words: organic-biological cropping, intensive cropping, nitrogen, phosphorus, drainage water, ground water