
Geomigraciniai limnoglacialinės smėlio terpės parametrai

**Jonas Diliūnas,
Edmundas Jagminas,
Arūnas Jurevičius,
Mykolas Kaminskas**

Diliūnas J., Jagminas E., Jurevičius A., Kaminskas M. Geomigration parameters in limnoglacial sand environment. *Geologija*. Vilnius. 2001. No. 36 P. 56–64. ISSN 1392-110X.

The hydrodynamic and physical-chemical parameters whose definition both in field and laboratory conditions is rather complicated and requires expensive experiments are necessary to forecast the migration of chemical substances in a zone of aeration. Therefore it is very important to find simpler methods of defining the parameters of migration. The technique and results of some experiments in this area executed on two field ranges and on physical models are presented. The object of experiments was limnoglacial fine sand and solutions of heavy metals (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn). The results of the study showed that the coefficient of distribution can be easily determined directly from a specimen upon determining the concentration of metals in sand and in groundwater.

Keywords: geomigration parameters, groundwater, heavy metals

Received 22 November 2001, accepted 28 November 2001

Jonas Diliūnas, Edmundas Jagminas, Arūnas Jurevičius, Mykolas Kaminskas. Institute of Geology. T. Ševčenkos 13, LT-2600 Vilnius, Lithuania

ĮVADAS

Cheminių medžiagų migracijos aeracijos zonoje ir vandeninguose sluoksniuose prognozei reikalingi hidrodinaminiai ir fiziniai bei cheminiai parametrai, kuriuos nustatyti gana sudėtinga, be to, tam reikia brangių eksperimentų. Todėl labai svarbu rasti paprastesnius migracijos parametrų nustatymo būdus. Pateiksime kai kurių šios krypties eksperimentų, atliktų dviejose lauko aikštelėse ir laboratorinėmis sąlygomis fiziniuose modeliuose, rezultatus.

Įvertinant limnoglacialinių nuosėdų vandeningo sluoksnio hidrodinaminį ir hidrocheminį režimą bei sunkiųjų metalų migracijos stabdymą smėlyje, buvo atlikti eksperimentiniai lauko tyrimai dviejose stacionariose aikštelėse, kurios buvo įrengtos Kazlų Rūdos limnoglacialinėje lygumoje. Jos sąlyginai pavadintos Kazlų Rūdos medelyno ir Ežerėlio miško aikštelėmis. Laboratoriniai eksperimentai atlikti Geologijos instituto fizinio modeliavimo laboratorijoje. Jų paskirtis – nustatyti kai kurių sunkiųjų metalų (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) migracijos limnoglacialiniame smėlyje parametrus, medžiagos pasiskirstymo skystoje ir kietoje fazėse bei dispersijos koeficientus.

TYRIMŲ METODIKA

Lauko tyrimai. Kazlų Rūdos medelyno eksperimentinės aikštelės plotas 600 m², Ežerėlio miško aikštelės – 360 m². Aikštelių paviršiuje paskleistas nuotėkų dumblas su didele sunkiųjų metalų koncentracija (1 lentelė) ir pasodinti miško želdiniai. Aikštelių geologinė sandara ir hidrogeologinės sąlygos matyti 1 paveiksle.

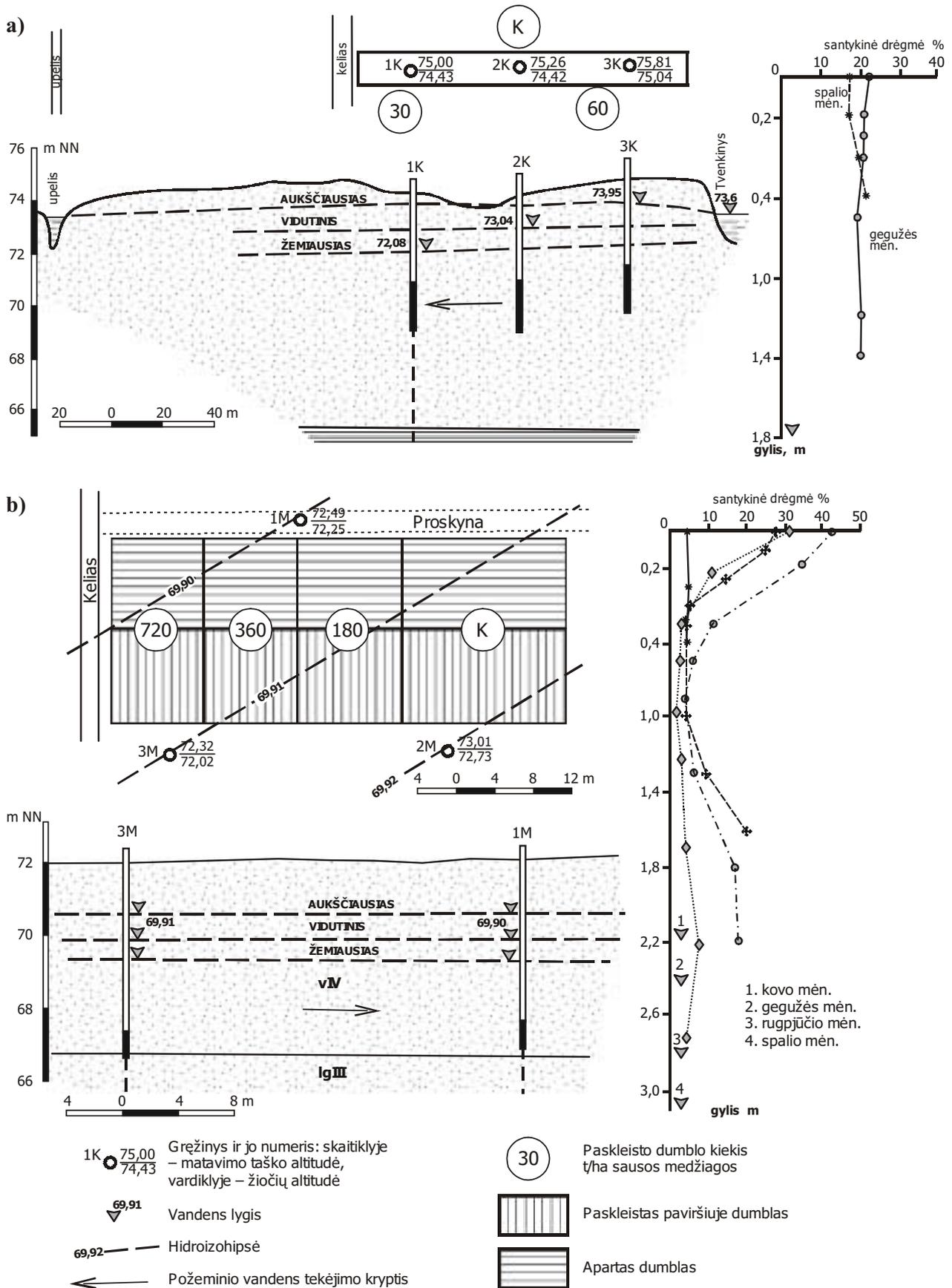
Mineralinės medžiagos kiekis dumble siekė 60–85%, d₁₀ ≤ 0,05 mm iki 50%, rūšiuotumo koeficien-

1 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracija nutekamojo vandens dumble, panaudotame bandymo aikštelėms tręšti (mg/kg)

Table 1. Concentrations of heavy metals in sewage sludge used to fertilize test plots (mg/kg)

Koncentracija	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Cd
didžiausia	258	1225	180	210	219	0,90
mažiausia	69	184	30	70	33	0,60
vidurkis	<u>162</u>	<u>830</u>	<u>88</u>	<u>135</u>	<u>108</u>	<u>0,75</u>
	10,6	26,1	12,5	17,0	14,7	32,2

Vardiklyje – judrios formos %.



1 pav. Kazlų Rūdos medelyno (a) ir Ežerėlio miško (b) eksperimentinių aikštelių hidrogeologinė situacija
Fig. 1. Hydrogeological situation of experimental sites: a) in Kazlų Rūda arboretum, b) in Ežerėlis wood

tas 30–73, tūrio masė 1,20–1,25; filtracijos koeficientas $7 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$ m/d.

Lauko eksperimentais buvo siekiama nustatyti sunkiųjų metalų, esančių nuotėkų dumble, gebėjimą skverbtis gilyn ir patekti į požeminį vandenį, t. y. jų migravimo stabdymą smėlyje ir aleuritingame smėlyje. Buvo nustatomas medžiagos pasiskirstymo skystoje (gruntinis vanduo) ir kietoje (uoliena) fazėse koeficientas (β) termodinaminės pusiausvyros sąlygomis, nutarus, kad sorbcija pavaldi linijinei *Henri* izotermai:

$$\beta = \frac{C_p}{N}; \quad (1)$$

čia C_p ir N – medžiagos pusiausvyrinės koncentracijos vandenyje ir uolienoje.

Mūsų atveju uolienoje buvo nustatomos bendrosios ir judriosios metalų formos, o skaičiavimams pasirenkamos pastarosios. Siekiant palyginti medžiagos kiekį skystoje ir kietoje fazėse, buvo nustatomas uolienos tankis.

Cheminei analizei uolienos bandiniai buvo imami gražtu 0,2–0,5 m intervalu aeracijos ir kapiliarinio pakilimo zonoje. Gruntinio vandens bandiniai imti panardinamu siurbliu iš viršutinės gruntinio vandeningo sluoksnio dalies. Stebėjimai buvo vykdomi kartą per 3 mėnesius trejus metus.

Laboratoriniai eksperimentai. Nustatant uolienų sorbcijos charakteristikas, atlikti dinaminiai eksperimentai pagal žinomas metodikas (Бочевер, Лапшин, Орадовская, 1979). Eksperimentams naudota nesuardytos struktūros uoliena, kurios monolitas patalpinamas į specialią kolonėlę, pagamintą iš organinio stiklo (plotas 100 cm², bandinio aukštis 12 cm²) (Diliūnas, Jagminas, Čyžius, 1999). Filtravimui buvo specialiai paruoštas sunkiųjų metalų mišinio tirpalas iš atominės absorbcijos etalonų. Sunkiųjų metalų koncentracija tirpale pateikiama 2 lentelėje.

Filtracijos procese fiksuojamas filtrato kiekis, temperatūra, patenkančio ir ištekančio vandens pH bei cheminių elementų koncentracija. Filtracijos greičiui nustatyti tirpalas buvo praturtintas sorbcijai inertiškais chloridais. Tirpalo temperatūra buvo apie 15°C, pH 6,0–6,5.

Filtravimas buvo vykdomas iki pasiekiamą pusiausvyrinę cheminių elementų koncentracija tirpale ir grunte. Sorbuotos medžiagos koncentracija (N), perskaičius ją į aktyvaus poringumo tūrio vienetą, nustatoma pagal balansinę lygtį (Орадовская, 1969):

$$N = \frac{(C_0 W - \sum_{K=1}^K C_i W_i) \delta}{P n_0} \text{ (mg/cm}^3\text{)}; \quad (2)$$

čia P – monolito masė (g), δ – uolienos tūrio masė (g/cm³), W – tirpalo, sunaudoto eksperimente, tūris (cm³), W_i – tirpalo tūris, kurio koncentracija C_p , C_0 ir C_i – pradinė ir kintanti komponentės koncentracija tirpale (mg/dm³), n_0 – aktyvusis poringumas (vieneto dalimis).

Pagal nesorbuojamo elemento (Cl⁻) koncentracijos santykio $C = C_i/C_0$ kreivę $C(t)$ nustatomas laikas, per kurį iš pavyzdžio ištekančio tirpalo su Cl⁻ koncentracija pasiekia $C_i = 0,5C_0$ lygį. Pagal šį laiką nustatomas aktyvusis poringumas:

$$n_0 = \frac{V}{l} t_{\bar{C}=0.5}; \quad (3)$$

čia V – filtracijos greitis, l – bandinio aukštis (filtracijos kelias), t – laikas, kai $C_i = 0,5C_0$.

Filtracinės dispersijos koeficientas (D), kaip žinia, yra kompleksinis parametras:

$$D = D_M + D_H; \quad (4)$$

$$D_H = \lambda V; \quad (5)$$

čia D_M – molekulinės difuzijos koeficientas, D_H – hidraulinės dispersijos koeficientas, V – filtracijos greitis, λ – dispersijos parametras, kuris apibūdina poringos terpės būdingą vidutinį dalelių dydį ir nevienalytiškumą.

Dispersijos vyraujantį pobūdį nusako *Pekle* kriterijus (Pe):

$$Pe = \frac{Vl}{D}; \quad (6)$$

čia l – charakteringas sluoksnio storis (arba filtracijos kelias sluoksnyje).

Molekulinė difuzija gali būti reikšminga, kai $Pe \ll 1$.

Norint nustatyti hidrodinaminės dispersijos koeficientą, sudaromi cheminių elementų koncentracijos grafikai $C(t)$, kuriuos linearizavus tiese, sudaromas papildomas kompleksinis grafikas $\xi(t)$ (Бочевер, Лапшин, Орадовская 1979):

$$\xi = \sqrt{t} \operatorname{arccrf}(1 - 2\bar{C}). \quad (7)$$

2 lentelė. Laboratorinių eksperimentų medžiaga							
Table 2. Stuff of the laboratory experiments							
Uoliena (sorbentas)	Cheminių elementų pradinė koncentracija uolienoje mg/kg						
	tirpale mg/l						
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Cl
Limnoglacialinis smėlis iš Miško aikštelės	≤ 3 <0,001	18,4 0,18	6,4 0,196	9,8 1,9	8,5 0,62	29,7 0,18	6,6 6042
	≤ 3 5,0	18,4 5,0	6,4 5,6	9,8 5,0	8,5 2,0	29,7 5,0	6,6 4298

Taip linearizuota $\bar{C}(t)$ grafiko kreivė ordinačių ašyje atkerta atkarpą B ir dispersijos koeficientas D apskaičiuojamas pagal formulę:

$$D = n_0 x^2 / 4B^2; \quad (8)$$

čia $x = l$ – filtracijos kelias sluoksnyje.

REZULTATAI

Ekspimentinių aikštelių hidrogeologinės sąlygos. Kazlų Rūdos medelyno bandymų aikštelės geologinis pjūvis: viršutinėje dalyje slūgso 3–5 m storio eolinio smulkiagrūdžio aleuritinio smėlio sluoksnis, giliau – 5,0–7,5 m storio limnoglacialinio smėlio sluoksnis. Bendras smėlio sluoksnio storis aikštelėje neviršija 10,2 m, o jo apvandeninta dalis priklausomai nuo gruntinio vandens lygio padėties kinta 7,2–8,5 m ribose (1 pav.). Apvandeninto sluoksnio filtracijos koeficientas buvo nustatytas išsiurbimo iš stebėjimo gręžinių ir įpylimo į juos būdu. Tam tikslui išbandyti visi trys stebėjimo gręžiniai, kurių filtrai įrengti 3,2 m gylyje nuo žemės paviršiaus. Gautos filtracijos koeficiento reikšmės pateikiamos 3 lentelėje. Priklausomai nuo gruntinio vandens lygio padėties aeracijos zona yra 1,0–1,5 m storio. Uolienu filtracijos koeficientas buvo nustatytas įpylimais į koncentrinus žiedus ir specialios konstrukcijos didelio skersmens infiltrometrų. Viršutinės sluoksnio dalies uolienu filtracinės savybės yra gerokai blogesnės – filtracijos koeficientas 10–13 kartų mažesnis nei po jomis slūgsančio smėlio.

Ežerėlio miško bandymų aikštelės geologinis pjūvis panašus į anksčiau aprašytą. Čia įrengti 3 stebėjimo gręžiniai (1 pav.), kurie skirti režiminiams gruntinio vandens lygio ir cheminės sudėties kaitos tyrimams. Aikštelės geologinio pjūvio viršutinę dalį sudaro smulkiagrūdis 5 m storio eolinio smėlio sluoksnis, apatinę – 4 m storio limnoglacialinio smėlio sluoksnis. Gruntinio vandens lygis slūgso 2,5–3,2 m gylyje nuo žemės paviršiaus. Vandeningo sluoksnio

storis siekia 5,5–6,5 m. Vandeningos sluoksnio dalies filtracijos koeficientas – apie 0,8 m/d (3 lentelė).

Ekspimentinės aikštelės skiriasi smėlio granulimetrine sudėtimi ir aeracijos zonos storium. Gruntinio vandens lygio kitimas abiejose aikštelėse sinchroniškas, tačiau Kazlų Rūdos aikštelėje jo amplitudė didesnė, o vandens lygio kaitos tempas gerokai intensyvesnis. Nors gruntinio vandens išteklių formavimosi sąlygos panašios, tačiau infiltracinės mitybos dydis Kazlų Rūdos aikštelėje skiriasi dėl intensyvesnio išgaravimo. Pagal režiminius stebėjimų duomenis balansiniais apskaičiavimais nustatyta tokia infiltracija: Kazlų Rūdos medelyno aikštelėje vidutiniškai 83, Ežerėlio miško – 121 mm per metus. Analizuojamose smėlio geologinėse struktūrose per visą mūsų stebėjimo laikotarpį (trejus metus) išgaravimas vidutiniškai 1,3–2,5 karto viršijo infiltraciją. Intensyvesnis išgaravimas buvo Kazlų Rūdos medelyno aikštelėje, kurioje plonesnė aeracijos zona. Joje ir drėgmė buvo pasiskirsčiusi gana tolygiai. Tai rodo, kad šios aikštelės pagrindas – smėlis – gana gerai akumuliuoja drėgmę (1 pav.). Skirtingos drėgmės epizodus fiksuojamos Ežerėlio miško aikštelės viršutinėje aeracijos zonos dalyje (iki 20 cm gylio): čia drėgmė palaipsniui mažėja (nuo 40 iki 5%), vidurinėje dalyje išlieka pastovi, vėliau padidėja kapiliarinio pakilimo zonoje, t. y. šis smėlis lengvai praleidžia drėgmę.

Gruntinio vandens ir uolienu cheminės sudėties kaita. Metalų koncentracija uolienuose ir gruntiniame vandenyje pateikiama 4 ir 5 lentelėse, o jos pasiskirstymas pjūvyje ir kitimas laike parodytas 2 ir 3 paveiksluose.

Ežerėlio miško aikštelės vienalytis gerai išrūšiuotas smėlis menkai sulauko sunkiųjų metalų migravimą į gruntinį vandenį. Daugelio jų koncentracija aeracijos zonoje praktiškai neviršija foninių reikšmių (3 pav.). Sprendžiant pagal sunkiųjų metalų koncentracijos epizodus, aeracijos zonos smėlis truputį stabdo švino, vario ir chromo migraciją. Nikelio ir cinko koncentracijos padidėjimas smėlyje neesminis.

3 lentelė. **Hidrogeologinės charakteristikos**
Table 3. **Hydrogeological reference**

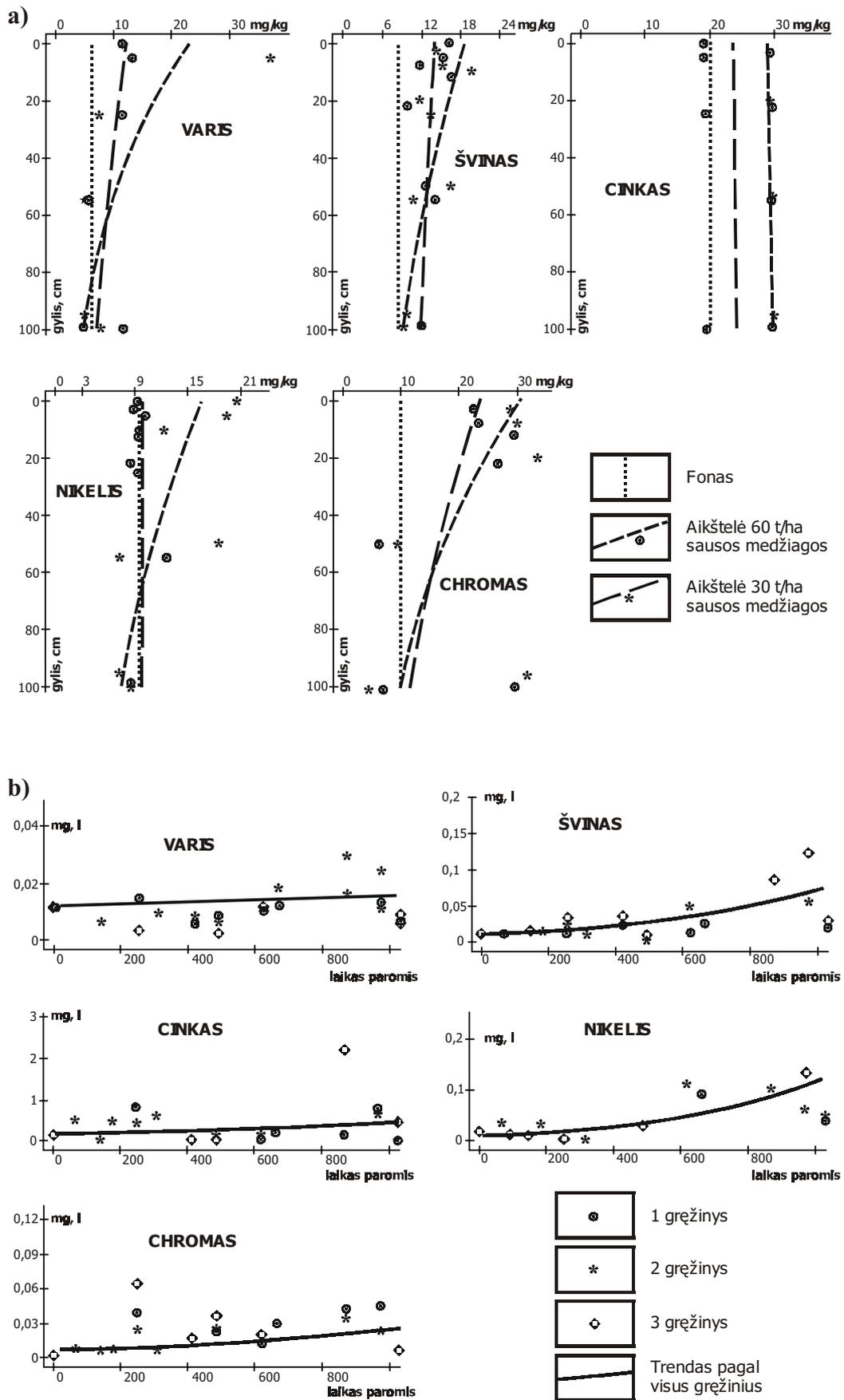
Bandymų aikštelė	Nuosėdos	Slūgsojimo gylis m	Granulimetrinės sudėties rodikliai		Grunto dalelių tankis g/dm ³	Filtracijos koeficientas m/d	Aeracijos zonos storis m	Metinė vandens lygio kitimo amplitudė m
			d ₁₀	d ₆₀				
Kazlų Rūdos medelyno	Aleuritinis smėlis	0,0–5,0	0,02	0,09	1,68	0,08–0,13	1,1–2,5	1,0–2,0
	Smulkus smėlis	1,0–11,7	0,10	0,30	1,68	0,8–1,7		
	Smulkus smėlis	0,9–5,5	0,08					
Ežerėlio miško	Smulkus smėlis su vidutiniagrūdžio priemaiša	5,5–9,5	0,22	0,07 – 0,60	2,63	0,70–0,8	1,4–2,9	0,5–1,2

4 lentelė. Metalų koncentracija Ežerėlio miško ir Kazlų Rūdos medelyno bandymų aikštelių smėlyje (mg/kg)
Table 4. Concentration of heavy metals in the sand of experimental sites (mg/kg)

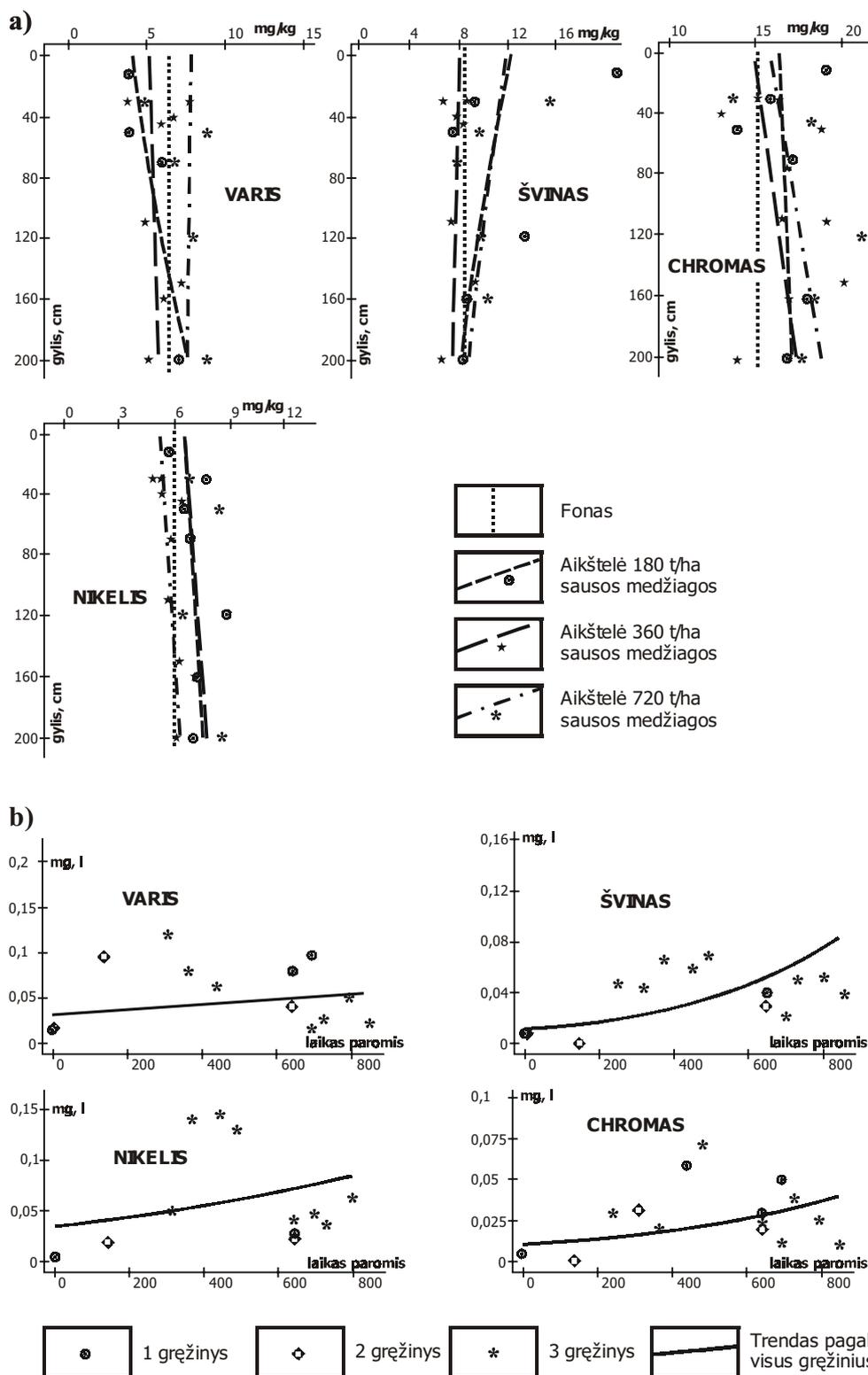
Objektas (bandymų aikštelė)	Dumblo dozė t/ha	Bandinio ėmimo gylis m	Pb	Cr	Ni	Zn	Cu	
Ežerėlio miško	360	0,2–0,5	<u>4,5–9,3</u> 6,9	<u>12,9–15,9</u> 14,7	<u>4,6–7,7</u> 6,2	<u>9,9–29,9</u> 17,8	<u>3,0–4,9</u> 4,0	
		0,7	8,0	16,9	6,8	19,9	6,0	
		1,2–1,6	<u>8,6–13,4</u> 11,0	<u>17,9–25,7</u> 21,8	<u>7,0–8,7</u> 7,8	<u>19,8–19,9</u> 19,8	<u>6,0–7,9</u> 7,0	
		2,0	8,3	16,8	6,9	19,8	6,9	
		Judrios formos (vidurkis)	<u>0,11–0,21</u> 0,15	<u>0,40–0,54</u> 0,46	<u>0,28–0,30</u> 0,23	<u>0,83–1,44</u> 1,12	<u>0,29–0,42</u> 0,39	
		0,25–0,6	<u>4,2–15,8</u> 9,7	<u>12,9–31,5</u> 19,0	<u>4,2–10,3</u> 6,8	<u>9,8–30,0</u> 26,0	<u>3,9–9,9</u> 6,5	
		0,7–1,2	<u>7,4–12,9</u> 9,2	<u>10,9–31,8</u> 20,0	<u>5,3–8,8</u> 6,4	<u>19,9–30,0</u> 26,6	<u>5,0–8,0</u> 7,3	
	720	1,5–1,6	<u>8,0–10,8</u> 9,5	<u>14,9–33,5</u> 22,6	<u>5,0–8,4</u> 6,8	<u>19,8–30,0</u> 27,8	<u>5,0–8,9</u> 6,9	
		2,0–2,5	<u>6,6–13,8</u> 9,6	<u>14,0–27,9</u> 20,5	<u>6,0–8,5</u> 7,5	<u>19,7–30,0</u> 27,8	<u>5,0–9,9</u> 7,0	
		Judrios formos (vidurkis)	<u>0,12–0,245</u> 0,17	<u>0,1–0,3</u> 0,20	<u>0,27–0,54</u> 0,36	<u>0,98–1,73</u> 1,56	<u>0,3–0,6</u> 0,45	
		Kazlų Rūdos medelyno	0,25–0,55	<u>9,9–14,2</u> 12,4	<u>31,4–45,1</u> 36,7	<u>7,3–12,7</u> 10,5	<u>19,3–29,6</u> 24,4	<u>5,9–11,6</u> 8,4
			1,0	<u>11,9–12,7</u> 12,4	<u>29,7–53,6</u> 41,6	<u>8,5–14,6</u> 12,3	<u>19,6–29,7</u> 26,2	<u>5,0–11,8</u> 9,5
			1,5	13,9	37,6	8,9	29,7	9,9
			Judrios formos (vidurkis)	<u>0,22–0,23</u> 0,24	<u>0,80–1,29</u> 1,01	<u>0,32–0,54</u> 0,39	<u>0,8–1,72</u> 1,09	<u>0,25–0,44</u> 0,35
0,2–0,55	<u>7,9–16,6</u> 11,6		<u>20,8–39,8</u> 31,3	<u>4,1–18,5</u> 9,6	<u>19,1–29,9</u> 24,5	<u>4,9–13,7</u> 7,8		
0,95–1,0	<u>9,3–13,7</u> 11,0		<u>31,8–37,2</u> 34,5	<u>7,2–12,7</u> 9,5	<u>19,8–34,3</u> 28,0	<u>5,0–9,8</u> 7,6		
1,5	11,9		28,7	9,5	29,7	7,9		
Judrios formos (vidurkis)	<u>0,158–0,28</u> 0,21	<u>0,49–0,72</u> 0,57	<u>0,30–0,58</u> 0,50	<u>0,79–1,31</u> 1,12	<u>0,20–0,45</u> 0,36			

5 lentelė. Metalų koncentracija Ežerėlio miško ir Kazlų Rūdos medelyno bandymų aikštelių požeminiame vandenyje (mg/l)
Table 5. Concentration of heavy metals in the groundwater of experimental sites (mg/l)

Objektas (bandymų aikštelė)	Gręžinio Nr.	Pb	Cr	Ni	Zn	Cu	
Ežerėlio miško	1	<u>0,04–0,08</u> 0,06	<u>0,03–0,06</u> 0,05	<u>0,03–0,22</u> 0,15	<u>0,16–0,32</u> 0,27	<u>0,08–0,28</u> 0,15	
		<u>0,01–0,03</u> 0,02	<u>0,0–0,02</u> 0,01	<u>0,02–0,03</u> 0,02	<u>0,02–0,20</u> 0,11	<u>0,04–0,10</u> 0,07	
	3	<u>0,02–0,07</u> 0,05	<u>0,01–0,07</u> 0,03	<u>0,04–0,14</u> 0,09	<u>0,08–0,48</u> 0,22	<u>0,01–0,12</u> 0,05	
		Visi gręžiniai	<u>0,01–0,08</u> 0,05	<u>0,01–0,07</u> 0,03	<u>0,02–0,14</u> 0,04	<u>0,02–0,48</u> 0,20	<u>0,01–0,28</u> 0,09
	Kazlų Rūdos medelyno	1	<u>0,01–0,10</u> 0,05	<u>0,01–0,04</u> 0,03	<u>0,01–0,12</u> 0,08	<u>0,03–0,80</u> 0,27	<u>0,01–0,06</u> 0,04
			<u>0,01–0,06</u> 0,03	<u>0,01–0,04</u> 0,02	<u>0,01–0,10</u> 0,05	<u>0,03–0,73</u> 0,32	<u>0,01–0,04</u> 0,03
3		<u>0,01–0,09</u> 0,05	<u>0,03–0,06</u> 0,04	<u>0,03–0,10</u> 0,06	<u>0,12–0,50</u> 0,35	<u>0,01–0,03</u> 0,01	
		Visi gręžiniai	<u>0,01–0,10</u> 0,05	<u>0,01–0,06</u> 0,03	<u>0,01–0,10</u> 0,07	<u>0,03–0,80</u> 0,31	<u>0,01–0,05</u> 0,04



2 pav. Metalų koncentracija Kazlų Rūdos medelyno aikštelės grunte (a) ir gruntiniame vandenyje (b)
 Fig. 2. Metal concentration in the soil (a) and groundwater (b) of Kazlų Rūda experimental site



3 pav. Metalų koncentracija Ežerėlio miško aikštelės grunte (a) ir gruntiniame vandenyje (b)
 Fig. 3. Metal concentration in the soil (a) and groundwater (b) of Ežerėlis arboretum experimental site

Kazlų Rūdos medelyno bandymų aikštelės filtruojanti terpė yra tinkamesnė cheminiams elementams sulaikyti aeracijos zonoje nei Ežerėlio miško bandymų aikštelėje. Čia aeracijos zonos smėlis smulkesnis ir praturtintas molingomis dalelėmis. Todėl sunkiųjų

metalų padidėjimas viršutinėje aeracijos zonos dalyje (iki 50–60 cm) buvo gana išraiškingas (2 pav.), išskyrus cinką, kurio koncentracija neviršijo foninių reikšmių. Nors aptariama aikštelė patērsta palyginti nedideliu dumblo kiekiu (30–60 t/ha), tačiau kai ku-

6 lentelė. Metalų pasiskirstymo kietoje ir skystoje fazėse koeficiento nustatymo rezultatai
Table 6. The metal distribution coefficient in liquid and solid phases

Bandymų aikštelė	Dumblo dozė t/ha	Bandymų intervalas m	Pb	Cr	Ni	Zn	Cu
Ežerėlio miško	360	0,2–2,0	<u>0,09–0,38</u> 0,32	<u>0,025–0,15</u> 0,11	<u>0,07–0,47</u> 0,17	<u>0,024–0,33</u> 0,18	<u>0,03–0,67</u> 0,23
	720	0,2–2,5	<u>0,08–0,32</u> 0,29	<u>0,1–0,23</u> 0,15	<u>0,07–0,26</u> 0,11	<u>0,02–0,28</u> 0,13	<u>0,03–0,47</u> 0,20
Kazlų Rūdos medelyno	30	0,25–1,5	<u>0,04–0,43</u> 0,21	<u>0,045–0,26</u> 0,13	<u>0,03–0,19</u> 0,18	<u>0,04–0,46</u> 0,28	<u>0,04–0,12</u> 0,11
	60	0,2–1,0	<u>0,063–0,58</u> 0,24	<u>0,06–0,21</u> 0,14	<u>0,03–0,17</u> 0,14	<u>0,04–0,61</u> 0,28	<u>0,05–0,11</u> 0,11
Dinaminiai eksperimentai laboratorijoje	Limnoglacialinis smėlis		0,17	0,17		0,25	0,13

rių sunkiųjų metalų (Pb ir Ni) koncentracija gruntu- niame vandenyje ženkliai padidėjo.

Uolienuų fizinės ir cheminės bei sorbcinės charakteristikos. Limnoglacialinio smėlio ir aleurito sorbcinis imlumas gana mažas. Daugelis metalų švaraus vandens filtravimo procese praktiškai visiškai desorbuojami, t. y. čia vyrauja fizinės sorbcijos (adsorbcijos) procesai. Gautos gana didelės pasiskirstymo (β) koeficiento reikšmės (palyginimui – durpėse šimtus kartų mažesnės) liudija menkas smėlio ir aleurito sorbcines savybes. Gautos panašios tirtų metalų pasiskirstymo kietoje ir skystoje fazėse koeficientų reikšmės – vidutiniškai dešimtosios vieneto dalys (6 lentelė).

Sprendžiant pagal pasiskirstymo koeficiento reikšmių dydį, limnoglacialinis smėlis kiek geriau sorbuoja chromą, nikelį ir varį nei kitus tirtus metalus. Smėlio mechaninės sudėties atžvilgiu geresnėmis sorbcinėmis savybėmis pasižymi Kazlų Rūdos medelyno aleuritingas smėlis, t. y. smulkesnis ir su molinga medžiaga. Įdomu, kad nėra aiškios priklausomybės tarp metalų koncentracijos tirpale ir medžiagos pasiskirstymo koeficiento dydžio, nors manoma, kad didėjant tirpalo koncentracijai metalų sorbcija taip pat turėtų didėti.

Aeracijos zonoje, kur drėgmė pernešama skirtingomis sąlygomis (gana lėtai ir veikiant daugeliui papildomų veiksnių), atskirų metalų sorbcija gali būti aktyvesnė, nei nustatyta šiais eksperimentais. Siekiant tiksliau nustatyti perneštą masę aeracijos zonoje, reikėtų analizuoti porų tirpalus kiekvieno uolienu bandinio vietoje.

Medžiagos pasiskirstymo kietoje ir skystoje fazėse koeficientų, nustatytų lauko sąlygomis ir laboratorijoje fizikinio modeliavimo eksperimentais, rezultatai beveik sutapo (pagal vidurkines reikšmes). Fizikiniuose modeliuose gauti kiek mažesni pasiskirstymo koeficientai, kurių reikšmės rodo, kad laboratorinėmis sąlygomis buvo sudaryta palankesnė aplinka metalų sorbcijai.

Filtracinės dispersijos koeficientai buvo nustatyti tik fiziniuose modeliuose: Cr – $3,1 \cdot 10^{-4}$, Cu – $2,5 \cdot 10^{-4}$, Ni – $1,4 \cdot 10^{-3}$, Pb – $3,0 \cdot 10^{-4}$, Zn – $5,6 \cdot 10^{-3}$ m²/d. Gautos reikšmės rodo gana didelį limnoglacialinio smėlio dispersiškumą tirtų gruntinių tėkmių ir sunkiųjų metalų atžvilgiu.

IŠVADOS

Limnoglacialinio smėlio ir aleurito sorbcinis imlumas gana mažas. Čia vyrauja fizinės sorbcijos (adsorbcijos) procesai. Gautos eksperimentinės Cr, Cu, Ni, Pb, Zn pasiskirstymo kietoje ir skystoje fazėse koeficientų reikšmės – vidutiniškai dešimtosios vieneto dalys.

Vieną svarbiausių sunkiųjų metalų migravimo su gruntinėmis tėkmėmis parametru – medžiagos pasiskirstymo kietoje ir skystoje fazėse koeficientą – gana paprastai ir efektingai galima nustatyti tiesiogiai ištyrus ieškomų metalų koncentraciją uolienose (judrios formos) ir vandenyje, persifiltravusiame per šias uolienas. Tam reikia nustatyti ieškomų metalų koncentraciją, integruotą visai aeracijos zonai, ir šių metalų koncentraciją gruntinio vandeningo sluoksnio viršutinėje dalyje.

Laboratorių eksperimentų (fizinio modeliavimo) rezultatai parodė, kad tokiu būdu gauti filtracijos per smėlį migraciniai parametrai atitinka visą uolienos prisotinimą vandeniu. Jie gali būti panaudoti prognozuojant sunkiųjų metalų sorbciją vandeningame sluoksnyje horizontalios filtracijos kryptimi.

Siūloma medžiagos pasiskirstymo kietoje ir skystoje fazėse koeficiento nustatymo metodika gali būti efektyviai taikoma vykdant gruntinio vandens taršos monitoringą.

Literatūra

Diliūnas J., Jagminas E., Čyžius G. 1998. Peculiarities of heavy metal washout from the sewage sludge and their

migration in the peat. *Heavy metal in the Environment: An Integrated Approach*. Vilnius. 99–105.

Боचेвер Ф. М., Лапшин Н. Н. Орадовская А. Е. 1979. Защита подземных вод от загрязнения. Москва: Недра. 254.

Орадовская А. Е. 1969. Определение сорбционной способности грунтов в целях прогноза распространения проток в подземных водах. *Гидрогеологические вопросы подземного захоронения промышленных сточных вод*. Москва: ВСЕГИНГЕО. 146–159.

Jonas Diliūnas, Edmundas Jagminas, Arūnas Jurevičius, Mykolas Kaminskas

GEOMIGRATION PARAMETERS IN LIMNOGLACIAL SAND ENVIRONMENT

S u m m a r y

For definition of the hydrodynamic and hydrochemical modes and migration of heavy metals in a sand limnoglacial aquifer, field studies on two experimental sites were executed (Fig. 1). The laboratory experiments were carried out in Laboratory of Physical Modelling of the Institute of Geology. The purpose of the study was to define geomigration parameters of some heavy metals (Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn) – the dispersion coefficient (D) and substance distribution in the liquid and solid phases (β) – in limnoglacial sand. The coefficient of distribution in field conditions was determined as a relation of the concentration of chemical elements in groundwater and in sand (mobile metal forms). The dynamic laboratory experiments were carried out on a vertical column, using a specially prepared solution of heavy metals. Their results showed that the coefficient of distribution can be easily determined directly from a specimen upon determining the concentration of metals in sand and in groundwater. Changes in the sorption

capacity of sand in the aeration zone and of the concentration of metals in groundwater are presented in Figs. 2 and 3.

Йонас Дилонас, Эдмундас Ягминас, Арунас Юревичюс, Миколас Каминскас

ГЕОМИГРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ В СРЕДЕ ЛИМНОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ПЕСКОВ

Р е з ю м е

Для определения гидродинамического и гидрохимического режимов и миграции тяжелых металлов в водоносном горизонте лимногляциальных песчаных отложений были выполнены экспериментальные полевые исследования на двух экспериментальных площадках (рис. 1). Лабораторные эксперименты выполнены в Лаборатории физического моделирования Института геологии. Назначение исследований – определить миграционные параметры в лимногляциальных песках некоторых тяжелых металлов (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn): коэффициенты дисперсии (D) и распределения вещества в жидкой и твердой фазах (β). Коэффициент распределения в полевых условиях определялся по соотношению концентрации химических элементов в грунтовой воде и породе (подвижные формы). Динамические лабораторные эксперименты выполнены на вертикальных колоннах с использованием специально приготовленных растворов тяжелых металлов. Результаты исследований приведены в табл. 6. Они показали, что коэффициент распределения для образцов достаточно легко установить по концентрациям металлов в породе и грунтовой воде. Изменчивость сорбционной емкости песков зоны аэрации и концентрации металлов в грунтовой воде представлена на рис. 2 и 3.