

## **Gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimo ir žemėlapių sudarymo metodikų apžvalga**

---

**Roma Kanopienė,  
Vytautas Marcinkevičius**

Kanopienė R., Marcinkevičius V. Methods of shallow groundwater vulnerability assessment and map compilation. *Geologija*. Vilnius. 2002. No. 39. P. 40–48. ISSN 1392–110X.

Several methods of shallow groundwater vulnerability assessment and map compilation are used in different countries. Each method has its advantages and disadvantages. The quantitative method of the assessment is used in the Geological Survey of Lithuania. Shallow groundwater vulnerability is assessed according to the time of moisture migration in an unsaturated zone.

**Keywords:** unsaturated zone, shallow groundwater vulnerability, assessment methods, vulnerability factors, qualitative assessment, quantitative assessment

Received: 3 May 2002, accepted 5 June 2002

R. Kanopienė, Geological Survey of Lithuania, S. Konarskio 35, LT-2600 Vilnius. E-mail: roma.kanopienė@lgt.lt

V. Marcinkevičius, Geological Survey of Lithuania, S. Konarskio 35, LT-2600 Vilnius. E-mail: vytautas.marcinkevičius@lgt.lt

---

### **ĮVADAS**

Požeminio vandens gamtinė sauga tai – geologinių-hidrogeologinių sąlygų visuma, lemianti teršalų patekimo į požeminę hidrosferą galimybę bei greitį. Požeminio vandens gamtinės saugos sąlygas svarbu tirti ir įvertinti projektuojant bei parenkant vietą ekologiškai pavojingiems energetikos, pramonės ir žemės ūkio objektams, parenkant ir pagrindžiant požeminio vandens ir vandenviečių apsaugos nuo paviršinės technogeninės taršos priemones.

Gruntinio vandens gamtinę saugą lemia gamtiniai veiksniai, teršalų saugojimo žemės paviršiuje sąlygos ir jų savybės (Гольдберг, 1984). Svarbiausi gamtiniai veiksniai yra: aeracijos zonos storis ir sandara, aeracijos zoną sudarančių nuogulų filtracinės ir sorbcinės savybės, infiltracinės mitybos pobūdis bei dydis ir kt. Teršalų slūgsojimo paviršiuje sąlygos (specialūs baseinai, specialiai įrengti arba neįrengti sąvartynai, srutomis laistomi laukai ir kt.) lemia jų praskverbimo į gruntinį vandenį pobūdį, o teršalų migracinė geba, sorbavimosi ypatumai, destruktijos

laikas ir kt. – patekimo į gruntinį vandenį galimybę ir iš dalies greitį.

Savaime suprantama, kad kuo prastesnės aeracijos zoną sudarančių uolienu filtracinės savybės ir kuo giliau slūgso gruntinis vanduo, tuo geriau jis apsaugotas nuo paviršinės taršos. Taigi svarbiausia įvertinti gruntinio vandens saugos gamtines sąlygas. Tai daroma regioninių tyrimų metu, t. y. atliekant kartografavimo darbus.

Nustatant konkrečių objektų poveikį požeminio vandens kokybei būtina įvertinti ir kitus jų saugą lemiančius veiksnius – teršiančių medžiagų slūgsojimo žemės paviršiuje sąlygas ir jų savybes.

Požeminio vandens gamtinės saugos (apsaugos, jautrumo) įvertinimo grafinė išraiška yra išvestiniai žemėlapiai, kurie parodo kiekybinį arba kokybinį keleto žemės gelmių savybių, lemiančių požeminio vandens gamtinę saugą, įvertinimą. Šie žemėlapiai skirti įvairioms aplinkosaugos problemoms spręsti, teritorijoms planuoti, požeminio vandens apsaugos priemonėms ir žemėnaudai pagrįsti (Vrba, Zaporozec, 1994).

## DIDŽIOJOJE BRITANIJOJE NAUDOJAMA METODIKA

Anglijos specialistų siūloma metodika reikalauja palyginti nedaug geologijos ir dirvožemių tyrimų duomenų. Gruntinio vandens gamtinė sauga vertinama pagal dirvožemio ir paviršinių kvartero darinių laidumą vandeniui (kartu ir teršalams). Gruntinio vandens gamtinės saugos žemėlapis sudaromas iš dviejų paruošiamųjų – Dirvožemio teršalų išplovimo potencialo (TIP) ir Paviršinių kvartero darinių rajonavimo pagal laidumą vandeniui – žemėlapių (Palmer, 1988; Palmer ir kt., 1997).

Dirvožemio teršalų išplovimo potencialas (TIP) – dirvožemio savybė, reiškianti gebėjimą sulaikyti ar absorbuoti besifiltruojančiame vandenyje esančius teršalus.

Lietuvoje dirvožemių kartografavimui yra naudojama genetinė klasifikacija, pagal kurią sudaromi požeminio vandens gamtinės saugos įvertinimui skirti žemėlapiai.

Kiekvienas genetinis dirvožemio tipas priskiriamas tam tikrai TIP grupei ir pogrupiui. Pagrindinės savybės, į kurias atsižvelgiama skirstant, yra: 1) gruntinio vandens gylis, 2) dirvožemio struktūra (granulimetrinė sudėtis) – smėlio, molio ir dulkių dalelių santykis, 3) organinės medžiagos kiekis.

Gruntinio vandens lygis ir jo sezoninė kaita dirvožemio profilyje lemia teršalų filtracijos pro dirvožemį laiką. Tuo atveju, kai gruntinis vanduo slūgso giliau dirvožemio (aeracijos zonos storis didesnis negu dirvožemio sluoksnių), gruntinio vandens lygis profilyje neturi lemiamos reikšmės teršalų išplovimui iš dirvožemio. Struktūra yra viena svarbiausių savybių. Dirvožemiai klasifikuojami atsižvelgiant į jų profilį sudarančių trijų sluoksnių – paviršinio (aktyviojo) dirvožemio sluoksnio (*topsoil*), podirvio ir dirvodarinės uolienos – sandarą ir savybes. Pagal dabar galiojančią Lietuvos dirvožemių klasifikaciją LTKD-99, paviršinis sluoksnis atitinka O, H arba A horizontą, podirvis – E ir B, o dirvodarinė uoliena – C horizontą (Buivydaite ir kt., 2001). Šių sluoksnių išvardytos savybės lemia dirvožemio tipą ir TIP. Dirvožemių genetinių tipų žemėlapiu pagrindu yra sudaromas dirvožemių TIP žemėlapis. Nuo TIP priklauso ir inertinių, ir sorbuojamųjų teršalų migracija. Lauko ir laboratoriniai tyrimai nėra reikalingi. TIP žemėlapis sudaromas nespaltotas. Jame pavaizduojamos plotų su skirtingu TIP ribos ir indeksai. Išskiriami šešių dirvožemių pogrupių, pasižyminčių skirtinga teršalų išplovimo galimybe, plotai.

Lietuvoje paviršinių kvartero nuogulų rajonavimas pagal laidumą vandeniui atliekamas remiantis dabar galiojančia Lietuvos kvartero stratigrafine-litologine schema; nuogulos suskirstomos į keturias laidumo kategorijas (1 lentelė). Gruntinio vandens gamtinės

saugos žemėlapiu sudarymui naudojami kvartero geologiniai žemėlapiai, o kaip papildoma informacija – kvartero hidrogeologiniai žemėlapiai ir anksčiau sudaryti ekogeologinio turinio žemėlapiai.

Geologiniai ir hidrogeologiniai žemėlapiai D. Britanijoje sudaromi pagal formacinį, o ne genetinį-litologinį principą. Požeminis vanduo ten daugiausia yra susikaupęs negiliai slūgsančiose prekvartero uolienose. Atliekant požeminio vandens gamtinės saugos (pažeidžiamumo) kartografavimą pagal čia aptariamą metodiką, D. Britanijoje įvertinami pirmieji nuo žemės paviršiaus vandeningi horizontai. Jie skirstomi į vandeningus, vidutinio vandeningumo ir nevandeningus. Tokia klasifikacija Lietuvai netinka, kadangi gruntinis vandeningas horizontas čia paplitęs visoje teritorijoje, tik jo filtracinės savybės yra kaičios. Kadangi Lietuvos ir D. Britanijos geologinės-hidrogeologinės sąlygos labai skiriasi, vykdant bendrą projektą su anglų specialistais buvo sudaryta nauja keturių lygių paviršinių kvartero nuogulų klasifikacija pagal laidumą vandeniui. Pagrindinis veiksnys, lemiantis nuogulų laidumą, o kartu ir gruntinio vandens gamtinę saugą, yra litologija. Klasifikuojant paviršinius kvartero darinius buvo atsižvelgiama ir į jų genezę bei amžių. Pavyzdžiui, panašios litologinės sudėties eolinis ir fliuvioglacialinis smėlis priskirtas skirtingiems laidumo tipams.

1 lentelė. Kvartero nuogulų skirstymas  
Table 1. Distribution of Quaternary deposits

Nuogulų tipas	Nuogulų laidumo vandeniui kategorijos
A	Ypač laidžios
B	Labai laidžios
C	Vidutiniškai laidžios
D	Mažai laidžios

A tipui priskirtos holoceno ir pleistoceno įvairios genezės smėlio ir žvirgždo nuogulos, vidutinio rūpumo smėlis, holoceno eolinis vidutinis ir smulkus smėlis, B tipui – įvairios genezės bei amžiaus smulkus smėlis, C tipui – įvairios genezės ir amžiaus molingas, dulkingas smėlis, aleuritas, durpės ir moreninis priemolis bei priesmėlis (išskyrus dugninės morenos nuogulas), D tipui – įvairaus amžiaus dugninės morenos priemolis ir priesmėlis bei limnoglacialinis molis.

Ši klasifikacija yra sąlyginė, nes nesiremia kiekybiniais rodikliais. Nuogulų tipų paplitimas rodo, kad tam tikrame plote kvartero darinių laidumas vandeniui yra didesnis arba mažesnis negu kito tipo nuogulų paplitimo plote.

Kvartero paviršinių nuogulų rajonavimo žemėlapis taip pat sudaromas nespaltotas. Jame pavaizduoti skirtingų nuogulų tipų paplitimo plotai ir indeksai A, B, C ir D.

Šiuos du minėtus žemėlapius klojant vieną ant kito gaunamas galutinis gruntinio vandens gamtinės saugos žemėlapis. Skirtingų tipų paviršinės nuogulos vaizduojamos spalvomis: A tipas – rožine, B – ruda, C – žalia ir D – pilka. Kiekvieno tipo nuogulų paplitimo plote atspalviu vaizduojamos dirvožemio (TIP) grupės. TIP pogrupiai vaizduojami tik indeksu. D tipo nuogulų plotuose informacija apie dirvožemį nepateikiama, o gruntinis vanduo laikomas geriausiai apsaugotu (lyginant su kitų tipų plotais).

Vykdamas bendrą projektą su D. Britanijos specialistais 1996 m. buvo sudaryti bandomieji žemėlapiai M 1: 50 000 Biržų, Kretingos ir Trakų topografiniuose lapuose. Projektas buvo skirtas metodikai įsiviešinti (Kanopienė, 1996), tačiau ekogeologinio kartografavimo projektuose šios metodikos atsisakyta dėl keleto jos trūkumų. Trūkumu gali būti laikoma tai, kad kartografuojant atsižvelgiama tik į aeracijos zonos litologinę sudėtį ir nekreipiamas dėmesys į gruntinio vandens slūgsojimo gylį. Teršalų patekimo į gruntinį vandenį galimybę dažniausiai lemia drėgmės migracijos pro aeracijos zoną laikas, todėl vykdamas ekogeologinį kartografavimą Lietuvos geologijos tarnyboje naudojama metodika, pagal kurią įvertinamas tyrimais pagrįstas drėgmės ir teršalų migracijos iki gruntinio vandens lygio laikas.

#### LENKIJOS GEOLOGIJOS INSTITUTE NAUDOJAMA METODIKA

Pagal šią metodiką gruntinio vandens gamtinė sauga yra įvertinama atsižvelgiant į infiltracijos sąlygas. Kuo geresnės infiltracijos sąlygos, tuo silpnesnė gruntinio vandens gamtinė sauga. Infiltracijos sąlygos priklauso nuo:

- 1) gruntinio vandens gylio,
- 2) reljefo šlaito polinkio kampo,
- 3) žemėnaudos sąlygų,
- 4) aeracijos zonos litologijos.

Sudarant gruntinio vandens gamtinės saugos žemėlapi, teritorija rajonuojama pagal visus minėtus parametrus. Skiriami du gruntinio vandens gylio intervalai: iki 2 m ir giliau nei 2 m. Anot Lenkijos specialistų, teritorija, kurioje gruntinio vandens gylis yra mažesnis nei 2 m, gali būti vadinama zona su specifinėmis infiltracijos sąlygomis. Joje gruntinis vanduo neapsaugotas nuo paviršinės taršos, o jo gamtinė sauga nėra vertinama pagal kitus veiksnius. Teritorija, kurioje gruntinis vanduo yra giliau nei 2 m, yra rajonuojama pagal reljefo šlaitų polinkio kampą. Skiriami trys polinkio intervalai: iki 2%, nuo 2 iki 5% ir daugiau kaip 5%. Kiekviename šlaitų polinkio rajone išskiriamos trys žemėnaudos rūšys: miškai, dirbamos žemės ir urbanizuoti plotai. Minėtuose rajonuose nustatytos keturios paviršinių kvartero (aeracijos zonos) nuogulų litologijos klasės: P – ak-

vaglacialinės kilmės smėlis ir žvyras, G – molis, N – aliuvinis smėlis, aleuritas, dumblas ir molingas mergelis, S – moreninis priemolis ir priesmėlis. Vertinant visus anksčiau minėtus veiksnius kartu, kiekvienam iš galimų 36 rajonų priskiriama viena iš penkių infiltracijos sąlygų kategorijų.

I kategorijos infiltracijos sąlygos reiškia labai silpną gamtinę gruntinio vandens saugą, II – silpną, III – vidutinę, IV – gerą, V – labai gerą.

Nors ir paremtos daugeliu gamtinių veiksnių, gruntinio vandens gamtinės saugos kategorijos yra santykinės ir rodo geresnę ar silpnesnę gamtinę saugą tik lyginant su kitais vertinamais rajonais.

Ši metodika buvo panaudota vykdamas Ekogeologinį kartografavimą M 1: 50 000 Lietuvos ir Lenkijos pasienio teritorijoje (Kanopienė, Toczyski, 1999). Toks kartografavimo būdas buvo pasirinktas todėl, kad buvo įmanoma surinkti reikalingus duomenis neatliekant lauko darbų, be to, duomenys, reikalingi sudarant žemėlapi, buvo prieinami abiejose šalyse. Galutiniame ekogeologiniame žemėlapyje gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimas pateiktas drauge su bendru inžinerinių geologinių sąlygų įvertinimu, o tai yra svarbu planuojant ūkinės veiklos objektų (konkrečiu atveju – magistralės Via Baltica) išdėstymą.

#### POŽEMINIO VANDENS GAMTINĖS SAUGOS VERTINIMO „DRASTIC“ SISTEMA (JAV IR KITOS ŠALYS)

Ši sistema, arba požeminio vandens gamtinės saugos vertinimo ir kartografavimo metodika, yra sukurta JAV Aplinkos apsaugos agentūros užsakymu. Ją kūrė daugelis įvairių JAV organizacijų specialistų. 1985 m. išleistas atskiras leidinys, kuriame pagrįsta ši metodika ir pateikiamos jos taikymo instrukcijos (Aller ir kt., 1985).

Pagal šią sistemą gruntinio vandens gamtinė sauga yra vertinama atsižvelgiant į septynis pagrindinius ją lemiančius veiksnius. Sistemos pavadinimą sudaro šių veiksnių apibrėžimų anglų kalba pirmosios raidės:

D – požeminio vandens gylis nuo žemės paviršiaus (*Depth to water*);

R – infiltracinė mityba (*(Net) Recharge*);

A – vandeningo horizonto litologinė sudėtis (*Aquifer media*);

S – dirvožemio litologinė (granuliometrinė) sudėtis (*Soil media*);

T – vietovės šlaito polinkis (procentinė išraiška) (*Topography (slope)*);

I – aeracijos zonos poveikis (litologinė sudėtis) (*Impact of the Vadose zone*);

C – vandeningo horizonto filtracijos koeficientas (*Hydraulic conductivity of the aquifer*).

Pagal svarbą požeminio vandens saugai kiekvienas veiksnys įvertintas reikšmingumo koeficientu (*weight*). Svarbiausio veiksnio šis koeficientas yra 5, o mažiausią reikšmę turinčio – 1. Metodika siūlo tokių veiksmų reikšmingumą: D – 5, R – 4, A – 3, S – 2, T – 1, I – 4, C – 2.

DRASTIC metodikoje kiekvieną veiksmų apibūdinančių konkrečių rodiklių reikšmės yra suskirstytos į keletą tarpinių (*rangs*). D, R S, T ir C veiksmų rangai yra konkrečių rodiklių reikšmių tarpiniai, o gruntinio vandeningo horizonto ir aeracijos zonos litologinės sudėties (A ir I veiksniai) rangai – tam tikros litologinės sudėties nuogulų kokybinis apibūdinimas. Pavyzdžiui, A veiksnio rangą atitinka smėlis arba žvirgždas, arba aleuritas ir t. t. Kiekvienam tarpiniui ar tam tikros litologinės sudėties nuoguloms priskiriamas atitinkamas reitingo koeficientas (*rating*) nuo 1 iki 10 pagal to rodiklio tarpinio įtakos svarbą gruntinio vandens gamtinei saugai. Rodiklių reikšmių tarpiniai, reitingo ir reikšmingumo koeficientai pateikti standartinėse lentelėse (Aller ir kt., 1985). Pavyzdžiui, gruntinio vandens gylio (D veiksnys) metodikoje siūlomi šie reikšmių tarpiniai: 1) nuo 0 iki 5 m, 2) nuo 5 iki 10 m, 3) nuo 15 iki 30 m, 4) nuo 30 iki 50 m, 5) nuo 50 iki 75 m, 6) nuo 75 iki 100 m, 7) >100m. Reitingo koeficientai šioms reikšmių tarpiniams yra atitinkamai 10, 9, 7, 5, 3, 2 ir 1. Iš reikšmių tarpinių matyti, kad DRASTIC metodika yra pritaikyta JAV gamtinėms sąlygoms, nes ten gruntinis vanduo gali būti gana giliai.

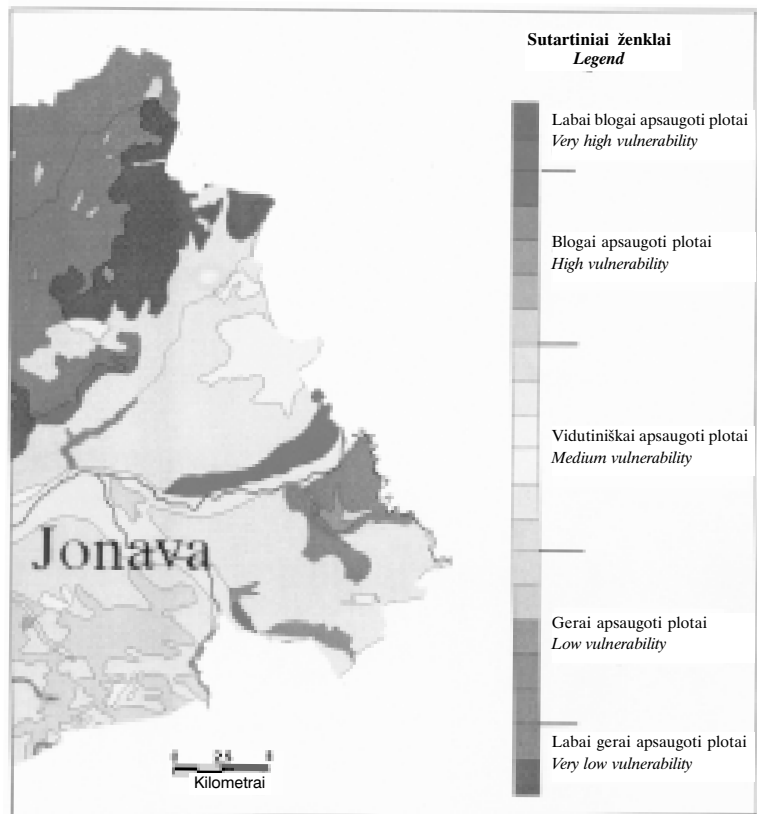
DRASTIC sistema leidžia vartotojui nustatyti kiekvieno geologinės aplinkos kūno ar tiriamojo taško taršos potencialą (UP), arba DRASTIC indeksą.

$$D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W = UP ;$$

čia UP – taršos potencialas, R – reitingo koeficientas, W – reikšmingumo koeficientas.

Apskaičiavus UP smulkiausiems plotams, kuriuose visus veiksmus apibūdinantys rodikliai yra pastovūs, galima sudaryti žemėlapi. Jame bus išskirtos teritorijos su skirtingu taršos potencialu (UP). Žemėlapi taip pat galima sudaryti apskaičiavus UP tam tikruose taškuose (pvz., gręžiniuose) ir interpoliacijos būdu sujungus taškų grupes (Aller ir kt., 1985). Tai patogu atlikti su programine įranga (pvz., „Surfer“).

DRASTIC sistema nėra kiekybinė, nes UP nėra absoliutus dydis, o tik santykinis koeficientas. Teritorijoje, kurioje UP didesnis, požeminis vanduo yra silpniau apsaugotas nuo paviršinės taršos negu teritorijoje, kurioje šis potencialas mažesnis. Šią sistemą neparanku korektiškai naudoti požeminio vandens gamtinės saugos kartografavimui Lietuvoje, nes trūksta tyrimais pagrįsto visų rodiklių tarpinių reikšmingumo gruntinio vandens gamtinei saugai įvertinimo. Be to, tarp šioje vertinimo sistemoje analizuojamų kai kurių veiksmų yra tiesioginis koreliacinis ryšys, pavyzdžiui, tarp gruntinio vandens slūgsojimo gylio ir infiltracinės mitybos. Tačiau nėra korektiška juos vertinti atskirai (Rosen, 1994). Galima sudaryti žemėlapi (1 pav.) ir panaudojant mažesnio skaičiaus gruntinio vandens gamtinę saugą lemiančių veiksmų duomenis (taip kartografuotas Jonavos rajonas (Kadūnas, Klimas ir kt., 1997)), bet tuomet UP reikšmė lieka neaiški ir vertinimo sistema jau nebeturėtų būti vadinama DRASTIC.



1 pav. Gruntinio vandens gamtinės saugos žemėlapis, sudaryto pagal DRASTIC metodiką, fragmentas (Kadūnas ir kt., 1997)

Fig. 1. Shallow groundwater vulnerability map compiled according to the DRASTIC system. Fragment (Kadūnas et al., 1997)

## V. M. GOLDBERGO METODIKA

Gruntinio vandens sauga nuo paviršinės taršos gali būti įvertinta kokybiškai ir kiekybiškai. Kokybinis

įvertinimas paremtas gamtiniais, kiekybinis – gamtiniais ir technogeniniais veiksniais.

Kokybiškai vertinant gruntinio vandens gamtinę saugą, atsižvelgiama į keturis rodiklius:

- gruntinio vandens slūgsojimo gylį (aeracijos zonos storį);
- aeracijos zonos litologinę sudėtį;
- aeracijos zonoje esančių pusiau laidžių vandeniui nuogulų tarp sluoksnių storį;
- aeracijos zonoje esančių pusiau laidžių vandeniui nuogulų filtracines savybes.

Dažnai aeracijos zonos nuogulų filtracinės savybės nežinomos, todėl realiai gruntinio vandens gamtinė sauga vertinama pagal tris rodiklius. Aeracijos zonos filtracinės savybės įvertinamos atsižvelgiant į jos litologinę sudėtį. Gruntinio vandens gamtinę saugą lemia silpnai laidžių vandeniui nuogulų buvimas aeracijos zonoje ir jų filtracinės savybės. Smėlingos aeracijos zonos nuogulų storis taip pat turi įtaką gruntinio vandens gamtinei saugai, bet daug mažesnę negu silpnai laidžių vandeniui nuogulų storis.

Taigi gruntinio vandens gamtinę saugą vertinama balais, kurie priklauso nuo gruntinio vandens slūgsojimo gylio (aeracijos zonos storio) bei silpnai laidžių nuogulų, esančių aeracijos zonoje, storio ir litologijos, lemiančios jų filtracines savybes.

Balų suma nustatoma iš lentelės (2 lentelė), kurioje nurodomas gruntinio vandens slūgsojimo gylis bei silpnai laidžių vandeniui nuogulų storis ir apibendrinta litologija.

Skiriami penki gruntinio vandens slūgsojimo gylio (H) tarpsniai: <10, 10–20, 30–40, >40 m. Pirmas, minimalus, gruntinio vandens slūgsojimo

2 lentelė. Gruntinio vandens slūgsojimo gylis, aeracijos zonos silpnai laidžių nuogulų storis ir jų įvertinimas balais Table 2. Depth to shallow groundwater, thickness of low permeability deposits in unsaturated zone and their evaluation by scale numbers		Aeracijos zonos silpnai laidžiaus tarp sluoksnių storis (m <sub>0</sub> ) ir litologija (a, b, c)																																	
		Gruntinio vandens slūgsojimo gylis (H) m			m <sub>0</sub> ≤ 2			2 < m <sub>0</sub> ≤ 4			4 < m <sub>0</sub> ≤ 6			6 < m <sub>0</sub> ≤ 8			8 < m <sub>0</sub> ≤ 10			10 < m <sub>0</sub> ≤ 12			12 < m <sub>0</sub> ≤ 14			14 < m <sub>0</sub> ≤ 16			16 < m <sub>0</sub> ≤ 18			18 < m <sub>0</sub> ≤ 20			m <sub>0</sub> > 20
H ≤ 10	1	10 < H ≤ 20	2	20 < H ≤ 30	3	30 < H ≤ 40	4	H > 40	5	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a b c				

gylio tarpsnis vertinamas 1 balu, antras – 2, trečias – 3, ketvirtas – 4 ir penktas – 5 balais. Taip vertinama tada, kai aeracijos zoną sudaro smėlingos nuogulos.

Silpnai laidžių vandeniui aeracijos zonos nuogulų storis skirstomas į 11 tarpsnių: iki 2, 2–4, ... 18–20 ir daugiau kaip 20 m.

Pagal litologiją, t. y. pagal filtracinių parametrų vertes, silpnai laidžios vandeniui aeracijos zonos nuogulos skirstomos į tris grupes:

a grupė – priemolis, lengvas priemolis (filtracijos koeficientas 0,1–0,01 m/d);

b grupė – priemolis, smėlingas molis (filtracijos koeficientas 0,01–0,001 m/d);

c grupė – sunkus priemolis, molis (filtracijos koeficientas <0,001 m/d).

Pagal balų sumą, gautą nurodytu būdu, sprendžiama apie gruntinio vandens gamtinės saugos lygį. Skiriamos šešios gruntinio vandens saugos kategorijos (3 lentelė).

Gruntinis vanduo geriausiai apsaugotas nuo paviršinės taršos esant I, blogiausiai – esant VI saugos kategorijai. Šešios kategorijos leidžia tik santykinai įvertinti gruntinio vandens gamtinę saugą, t. y. parodyti, kur tam sąlygos geresnės, o kur blogesnės.

Prieš sudarant gruntinio vandens gamtinės saugos sąlygų žemėlapi, parengiamas gruntinio vandens slūgsojimo gylio ir silpnai laidžių vandeniui aeracijos zonos nuogulų žemėlapis, kuriame pateikiami ir jų apibendrinti litologiniai duomenys (a, b, c indeksai). Balų suma apskaičiuojama kiekvienam tyrimų taškui (gręžinys, šulinys, kasinys) arba, suskirsčius teritoriją į elementarius kvadratinius plotelius, kiekvieno plotelio centrui. Po to pravedamos balų izolinijos (žingsnis – 5 balai) ir pagal jas išskiriami gruntinio vandens gamtinės saugos kategorijų (I–VI) plotai, kurie nuspalvinami skirtingomis spalvomis.

Be to, vidutinio ir stambaus mastelio žemėlapuose nemasteliniais ženklais pažymimi svarbiausi geologinės aplinkos taršos židiniai (stambios pramonės įmonės, sąvartynai, filtraciniai laukai, srutomis laistomi laukai, gyvulininkystės kompleksai, valymo įrenginiai ir kt.) ir vandenvietės. Žemėlapuose taip pat parodomi karsto paplitimo plotai ir upių slėniai.

Kiekybiškai gruntinio vandens sauga įvertinama nustatant laiką, per kurį paviršiniai teršalai pasiekia gruntinio vandens lygį.

Šis rodiklis (laikas) priklauso ne tik nuo gamtinių veiksnių, bet ir nuo technogeninių žemės paviršiaus sąlygų. Lyginant teršalų filtracijos laiką su jų suirimo laiku, sprendžiama apie gruntinio vandens saugą.

Apskaičiuojant teršalų prasiskverbimo laiką, pasirenkama, kad  $H_0 = 5$  m, o  $q = 0,03$  m<sup>2</sup>/d. Čia  $H_0$  – užteršto vandens stulpo aukštis upėje, infiltraciniame baseine, paviršinėje atliekų saugykloje, o  $q$  –

3 lentelė. Gruntinio vandens gamtinės saugos kategorijos Table 3. Vulnerability categories of shallow groundwater						
Gamtinės saugos kategorijos	I	II	III	IV	V	VI
Balų suma $\Sigma$	$\leq 5$	$5 < \Sigma \leq 10$	$10 < \Sigma \leq 15$	$15 < \Sigma \leq 20$	$20 < \Sigma \leq 25$	$> 25$

santykiniis debitas (debitas, tenkantis vienam išilginiam aeracijos zonos storio metrui).

Priklausomai nuo laiko ( $t$ ), per kurį teršalai pasiekia gruntinio vandens lygį, skiriamos šešios saugos kategorijos:

I –  $t \leq 10$  d,

II –  $10 \text{ d} < t \leq 50$  d,

III –  $50 \text{ d} < t \leq 100$  d,

IV –  $100 \text{ d} < t \leq 200$  d,

V –  $200 \text{ d} < t \leq 400$  d,

VI –  $t > 400$  d.

Kuo aukštesnė saugos kategorija, t. y. ilgesnis teršalų filtracijos laikas, tuo geresnė gruntinio vandens sauga. Apskritai gruntinis vanduo yra neapsaugotas arba silpnai apsaugotas nuo paviršinės taršos. Apsaugotas jis gali būti tik tuo atveju, kai teršalai greitai suyra.

Kiekybinio gruntinio vandens saugos vertinimo žemėlapyje parodomas gruntinio vandens slūgsojimo gylis, silpnai laidžių aeracijos zonos nuogulų storis, aeracijos zonos litologija, filtracinės savybės ir visus šiuos veiksnius apibendrinantis rodiklis – saugos kategorija. Be to, ženklais pateikiama tokia pati informacija kaip ir kokybinio gruntinio vandens gamtinės saugos vertinimo žemėlapyje.

V. M. Goldbergo metodika buvo plačiai naudojama buvusios Tarybų Sąjungos teritorijoje. Lietuvoje ji taikyta vertinant laukų laistymo srutomis iš gyvulininkystės kompleksų poveikį požeminio vandens kokybei. Buvo sudaryta gruntinio vandens gamtinės saugos schema Lietuvos teritorijai (Забулис, 1988).

## LIETUVOS GEOLOGIJOS TARNYBOJE NAUDOJAMA METODIKA

Lietuvoje gruntinio vandens gamtinė sauga regioniniu mastu vertinama ir žemėlapis sudaromas atliekant ekogeologinį kartografavimą M 1: 50 000 ar pateikiant informaciją konkreitiems teritorijų planavimo, aplinkosaugos ar kitiems tikslams. Žemėlapis sudaromas pagal 1991 m. parengtas laikinas metodines rekomendacijas (Балтрунас, Битинас и др., 1991) derinant metodiką su šiuolaikiniais geologinio kartografavimo reikalavimais ir skaitmeninių technologijų galimybėmis. Pagrindinis gamtinės saugos vertinimo kriterijus yra laikas, per kurį drėgmė ir inertiniai teršalai gali pasiekti gruntinio vandens lygį (Капоріенė, Марцинкевичюс, 1995; Марцинкявичюс,

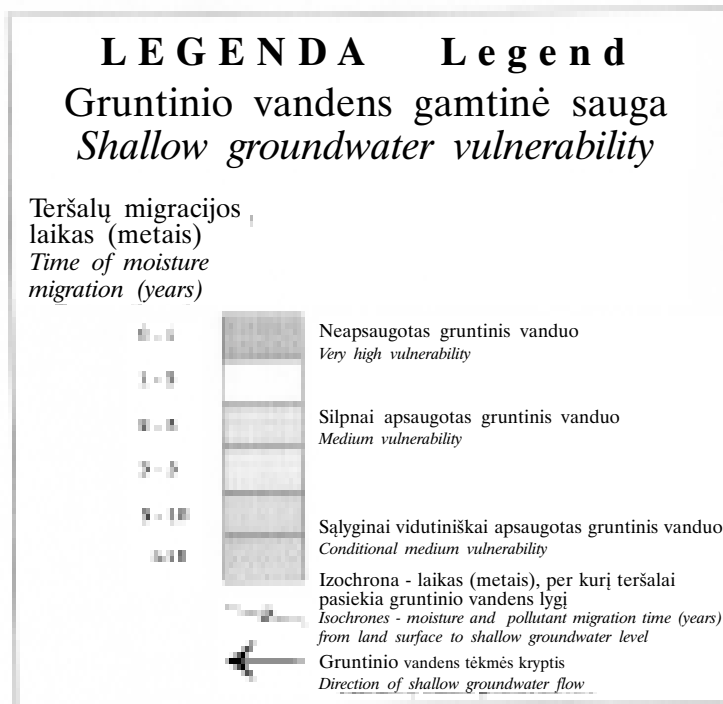
1994). Šis kriterijus apima visus gruntinio vandens gamtinę saugą lemiančius veiksnius – infiltracinę mitybą, aeracijos zonos nuogulų filtracinės savybės ir kt. Kadangi vertinamas kiekybinis rodiklis – laikas, tai ši metodika yra kiekybinė.

Tyrimais nustatyta (Климас, 1988; Маžeика, 1993), kad Lietuvos sąlygomis drėgmės migracijos laikas moreniniame priemolyje ir priesmėlyje yra nuo 1 iki 1,5 metrų per metus, o smėlingose nuogulose – nuo 1,2 iki 2 m. Kadangi moreninis priemolis ar priesmėlis, slūgsantis iki 1,5 m gylio, būna labai išdūlėjęs ir plyšiuotas, o jo filtracijos koeficiento reikšmės kartais siekia vieną m/d ir daugiau, tai šios nuogulos gali būti laikomos vandeniui laidžiomis (Гайгалас, Марцинкявичюс, 1984). Todėl vertinant gruntinio vandens gamtinę saugą ir sudarant žemėlapi, laikoma, kad vidutinis drėgmės migracijos greitis moreniniame priemolyje ar priesmėlyje, slūgsančiame giliau nei 1,5 m, yra lygus vienam metrui per metus, o smėlyje – dviem.

Remiantis šiais drėgmės migracijos aeracijos zonoje greičio vertinimais, skaičiuojamas laikas, per kurį drėgmė ir inertiniai teršalai gali pasiekti gruntinio vandens lygį. Žemėlapyje šis laikas parodomas izolinijomis (izochronomis) ir skaičiuojamas kiekvieno paviršinių kvartero nuogulų tipo paplitimo plote atsižvelgiant į gruntinio vandens slūgsojimo gyli. Izochronos jungia taškus, kuriuose drėgmės migracijos laikas yra vienodas. Šis laikas priklauso nuo gruntinio vandens slūgsojimo gylio ir aeracijos zonos nuogulų litologinės sudėties, tiksliau – nuo šių nuogulų filtracijos koeficiento. Duomenys apie gruntinio vandens gyli ir aeracijos zonos nuogulų litologinę sudėtį gaunami iš Kvartero geologinio bei Gruntinio vandens slūgsojimo gylio žemėlapių, kurie yra sudaromi valstybinio geologinio kartografavimo M 1: 50 000 metu. Žemėlapyje rodomos 1, 2, 3, 5, 7 ir 10 metų izochronos. Tarpsniai tarp izochronų nuspalvinami. Raudona spalva pažymimi plotai, kuriuose gruntinis vanduo neapsaugotas nuo paviršinės taršos, o drėgmės migracijos laikas iki gruntinio vandens lygio nesiekia vienerių metų. Skirtingo atspalvio geltona spalva parodomi plotai, kuriuose gruntinis vanduo yra silpnai apsaugotas nuo paviršinės taršos, t. y. drėgmės migracijos iki gruntinio vandens lygio laikas yra nuo 1 iki 2, nuo 2 iki 3 ir nuo 3 iki 5 metų. Pagal šią metodiką, gruntinis vanduo teritorijose, kur drėgmės migracijos laikas iki gruntinio vandens lygio yra daugiau nei 5 metai, laikomas sąlyginai vidutiniškai apsaugotu nuo paviršinės taršos. Šios teritorijos – tarpsniai tarp izochronų, žyminčių nuo 5 iki 7, nuo 7 iki 10 ir daugiau nei 10 metų drėgmės migracijos

laiką, – žemėlapyje pavaizduojamos skirtingų atspalvių žalia spalva. Gruntinio vandens gamtinės saugos kategorijos Lietuvoje gali būti tik sąlyginės, nes gruntinis vanduo nėra visiškai apsaugotas nuo paviršinės taršos dėl nedidelio jį dengiančių nuogulų storio ir kaičių filtracinių savybių.

Pagal čia aprašomą metodiką sudaromas žemėlapis rodo galimą gruntinio vandens taršos inertiniais teršalais laiką. Tokie teršalai tai – cheminės medžiagos, kurios vandenyje neskyla, nemažėja ir nepasišalina natūraliai. Jei vertinama gruntinio vandens gamtinė sauga nuo konkretaus teršalo, turėtų būti skai-



2 pav. Gruntinio vandens gamtinės saugos žemėlapis, sudaryto pagal Lietuvos geologijos tarnyboje taikomą metodiką, fragmentas (Kanopienė, 2001)

Fig. 2. Shallow groundwater vulnerability map compiled according to the methodology used in LGT. Fragment (Kanopienė, 2001)

čiuojamas realus šio teršalo migracijos iki gruntinio vandens lygio laikas, kuris daugelio teršalų būtų ilgėsnis negu drėgmės migracijos laikas dėl gruntiniame vandenyje, aeracijos zonoje ir dirvožemyje vykstančių hidrocheminių, biocheminių ir kt. procesų.

Vertinant požeminio vandens užteršimo galimybę, svarbi yra jo horizontalios filtracijos kryptis, leidžianti prognozuoti teršalų išplitimą plote. Todėl sudarant gruntinio vandens gamtinės saugos žemėlapių mėlynos spalvos rodyklėmis parodyta gruntinio vandens srauto tėkmės kryptis. Šie duomenys yra vertingi, kai tiriamajame taške yra žinomas geologinės aplinkos taršos židinių ar jų grupių išsidėstymas (technogeninė situacija) ir esamas gruntinio vandens užterštumas.

Šiuo metu Lietuvos geologijos tarnyboje yra sudaromi skaitmeniniai gruntinio vandens gamtinės saugos žemėlapiai (2 pav.) panaudojant „MapInfo“ programinę įrangą ir GIS technologijas. Pagal čia aprašytą metodiką galima gana paprastais ir priimtiniais metodais įvertinti gruntinio vandens gamtinę saugą regioniniu mastu. Tai naudinga rengiant respublikos, apskričių ir savivaldybių lygio teritorijų planavimo dokumentus. Tačiau detaliam ir specialiajam planavimui bei konkrečių žmogaus ūkinės veiklos objektų poveikio aplinkai įvertinimui reikalingas tikslesnis gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimas. Siekiant tikslesnio gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimo, čia aprašytą metodiką dar reikėtų tobulinti. Reikalingi išsamesni drėgmės migracijos aeracijos zonoje tyrimai. Drėgmės ir įvairių teršalų migracijos laikas turėtų būti nustatytas ne tik smėlio ir molio nuoguloms, bet ir įvairiems kitiems aeracijos zonos nuogulų litologiniams tipams.

## GRUNTINIO VANDENS GAMTINĖS SAUGOS ĮVERTINIMO METODIKŲ TIPAI

Gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimui yra naudojamos ir kitokios metodikos bei skaičiavimo sistemos. Viena jų – SINTACS parametrinė sistema (Vrba, Zaporozec, 1994; Civita, Forti ir kt., 1991). Pagal ją, panašiai kaip ir DRASTIC siūlomuose skaičiavimuose, yra vertinamas gruntinio vandens gamtinę saugą lemiančių veiksnių reikšmingumas, išreikštas procentais. Pavyzdžiui, gylio iki gruntinio vandens reikšmingumas – 22%, gruntinio vandeningo horizonto litologinės sudėties – 17,7%, šio horizonto filtracijos koeficiento – 18,6%, aeracijos zonos litologinės sudėties – 12%. Kiti veiksniai yra mažiau reikšmingi. Infiltracinės mitybos reikšmingumas – 8%, dirvožemio sudėties – 9,8%, reljefo šlaito polinkio – 11,9%.

Daugelis pasaulio gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimo metodikų pagal įvairių veiksnių vertinimo būdą gali būti suskirstytos į penkis tipus: 1)

analoginių lygčių (*analogical relations – AR*); 2) hidrogeologinių sąlygų komplekso įvertinimo (*hydrogeological complex and setting methods – HCS*); 3) matricių sistemų (*matrix system – MS*); 4) sisteminio taškų skaičiavimo modelio (*point count system model – PCSM*); 5) reitingų sistemų (*rating system – RS*). Pirmajam tipui priskiriami gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimo kiekybiniai metodai, kurie remiasi dideliu kiekiu duomenų ir yra tinkami tik gana mažoms teritorijoms (ne daugiau vienam ha). Pagal šio tipo metodus sudaromi skaitmeniniai modeliai. Antrojo tipo metodika yra tinkama didelių teritorijų gruntinio vandens gamtinės saugos kokybiniam įvertinimui smulkiu masteliu. Ji pagrįsta tipinių hidrogeologinių sąlygų įvertinimu palyginimo būdu. Matricių sistemų metodai (aprašyta D. Britanijos metodika) paremti keleto veiksnių, būdingų tam tikroms geologinėms sąlygoms, įvertinimu. Ketvirtoji įvertinimo metodika (kaip ir aprašytos DRASTIC, SINTACS) remiasi taršos potencialo sąlyginio indekso skaičiavimu tiriamajame taške. Pagal ją įvertinamas nustatytas gruntinio vandens gamtinę saugą lemiančių veiksnių skaičius. Reitingų sistemų (5-asis tipas) metodika, kaip ir 4-ojo tipo, pagrįsta panašaus indekso skaičiavimu, tik čia nėra tiksliai apibrėžtas vertinamų veiksnių skaičius. Jis gali keistis priklausomai nuo teritorijos hidrogeologinių sąlygų ar vertinimo tikslo (Vrba, Zaporozec, 1994).

## IŠVADOS

Regioniniam gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimui įvairiose šalyse yra sukurta ir taikoma keletas įvertinimo ir kartografavimo metodikų. Lietuvoje šiuo metu sudaromi gruntinio vandens gamtinės saugos žemėlapiai, kuriuose teritorija skirstoma į skirtingos gruntinio vandens gamtinės saugos plotus pagal teršalų migracijos nuo žemės paviršiaus iki gruntinio vandens lygio laiką. Straipsnyje pateikta metodikų apžvalga leidžia susipažinti su pasauline gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimo patirtimi, įvairių metodikų privalumais ir trūkumais bei galimybėmis šias metodikas taikyti Lietuvos sąlygomis. Apžvelgus pasaulinę patirtį sudaromos prielaidos parinkti pagrindinius gruntinio vandens gamtinės saugos įvertinimo kriterijus ir kurti metodiką, objektyviau įvertinančią gruntinio vandens užteršimo galimybes, laiką ir mastą Lietuvoje.

## Literatūra

Aller L., Bennet T., Lehr J. H. and Petty R. J. 1985. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings. United States Environmental Protection Agency. EPA/ 600/ 2-85/018, Ada, Oklahoma. 163 p.



Buivydaitė V., Vaičys M., Juodis J., Motuzas A. 2001. Lietuvos dirvožemių klasifikacija. *Lietuvos mokslas. 34 knyga*. Vilnius. 139 p.

Civita M., Forti P., Marini P., Maccheri M., Micheli L., Piccini L. and Pranzini G. 1991. Carta della Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi delle Alpi Apuane [Apuano Alpių vandeningų sluoksnių jautrumo ir užterštumo žemėlapis]. Monografija G. N. D. C. I. – C. N. R. n. 399, Firenze. 56 p.

Kadūnas K. (red.), Klimas A., Linde L., Šonta Z., Gričiūtė R. 1997. Jonavos rajono požeminio vandens kokybė. Vilnius, Lietuvos geologijos tarnyba, Švedijos geologijos tarnyba. 49 p.

Kanopienė R. 1996. Gruntinio vandens gamtinės saugos kartografavimo metodikos įsisavinimas. Vilnius. 27 p. Ataskaita saugoma Lietuvos geologijos tarnybos fonde.

Kanopienė R., Marcinkevičius V. 1995. Požeminio vandens gamtinio apsaugotumo žemėlapiu sudarymo metodika. *Geologijos mokslo pasiekimai – gamtosaugai*. Vilnius. 44–46.

Kanopienė R., Toczyski M. 1999. Lietuvos–Lenkijos pasienio Ekogeologinis kartografavimas M 1: 50 000. Vilnius. 20 p. Ataskaita saugoma Lietuvos geologijos tarnybos fonde.

Kanopienė R. 2001. Ekogeologinis kartografavimas 1 : 50 000 masteliu Šilutės plote. Vilnius 57 p. Ataskaita saugoma Lietuvos geologijos tarnybos fonde.

Mažeika J. 1993. Izotopiniai požeminio vandens migracijos tyrimai Ignalinos atominės elektrinės rajone. *Geologija. 15*. 67–73.

Palmer R. C. 1988. Groundwater vulnerability. Map 5 Lichfield. Soil Survey and Land Res. Centre, Cranfield UK. 8 p.

Palmer R. C., Holman I. P., Lewis M. A. 1997. Report on pilot project to introduce groundwater vulnerability mapping to Lithuania. Soil Survey and Land Res. Centre, Cranfield, British Geological Survey. 140 p. (3t). Ataskaita saugoma Lietuvos geologijos tarnybos fonde.

Rosen L. 1994. A study of the DRASTIC Methodology with emphasis on Swedish condition. *Groundwater. 2*. 278–286.

Vrba J., Zaporozec A. (ed.). 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. *International contribution to Hydrogeology. 16*. Hannover: Heise. 131 p.

Балтрунас В., Битинас А., Йодказис В. (науч. руков.), Klimas A., Марцинкявичюс В. 1991. Временные методические рекомендации по составлению эколого-геологических карт при крупномасштабном картировании (масштаб 1: 50 000). Вильнюс. 61 с. Ataskaita saugoma Lietuvos geologijos tarnybos fonde.

Гайгалас А. И., Марцинкявичюс В. И. 1984. Трещиноватость моренных отложений и их фильтрационные свойства (на примере Северной Литвы). *Geologija. 5*. 11–16.

Гольдберг В. М. 1984. Оценка условий защищенности подземных вод и построение карт защищенности. *Гидрогеологические основы охраны подземных вод. 1*. Москва. 171–177.

Забулис Р. М. 1988. Охрана подземных вод от загрязнения в районах крупных животноводческих комплексов. Методические рекомендации. Вильнюс. 70 с.

Климас А. И. 1988. Пространственно-временная неравномерность инфильтрационного питания грунтовых вод. *Водные ресурсы. 3*. 66–72.

Марцинкявичюс В. И. 1994. Методика составления карт естественной защищенности подземных вод в Литве. Принципы и методы картирования геологической среды для экологических оценок. Тезисы докладов конференции. Киев, 27–29 сент. 1994 г. Киев. 42–43.

#### Roma Kanopienė, Vytautas Marcinkevičius

### METHODS OF SHALLOW GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT AND MAP COMPILATION. REVIEW

#### S u m m a r y

There are several methods of shallow groundwater vulnerability assessment and map compilation used in different countries according to their natural geological conditions. Different methods allow to assess groundwater vulnerability qualitatively, using different index systems. Those are “DRASTIC” assessment system, methods used in Great Britain, Polish Geological Institute, the methodology created by V. M. Goldberg and many others. Groundwater vulnerability depends on the velocity of moisture vertical migration in the unsaturated zone. The higher the velocity the higher the vulnerability. The method used in Geological Survey of Lithuania is quantitative and allows to calculate the time of moisture and pollutant migration through the unsaturated zone. The results could be presented by isolines of the same migration time (isochrones) in shallow groundwater vulnerability maps.

Digital shallow groundwater vulnerability maps have been compiled in Geological survey of Lithuania.

#### Рома Канопене, Витаутас Марцинкявичюс

### ОБЗОР МЕТОДИК ОЦЕНКИ И ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ ГРУНТОВЫХ ВОД

#### Р е з ю м е

Для региональной оценки естественной защищенности грунтовых вод в разных странах разработаны свои методики оценки применительно к конкретным природным условиям и предназначенные для решения конкретных задач. Рассмотренные методы, применяемые в Великобритании, США, Польше, методика В. М. Гольберга, широко применявшаяся в бывшем Советском Союзе, и др. имеют как положительные стороны, так и некоторые недостатки. Для районирования территорий по степени естественной защищенности грунтовых вод применяются различные системы «балльных» оценок, позволяющих свести всю совокупность факторов, предопределяющих естественную защищенность грунтовых вод, к некоторой суммарной оценке. Это – качественная оценка.

В Литве при составлении карты естественной защищенности грунтовых вод последняя оценивается количественно: по времени переноса загрязнений через зону аэрации, т. е. по времени, за которое загрязнения могут достигнуть уровня грунтовых вод.