

---

## Technogeninių hidrogeologinių veiksnių raiškos aplinka ir jos schematizavimas

---

**Jonas Diliūnas,  
Danutė Karvelienė,  
Gediminas Čyžius,  
Edmundas Jagminas**

Diliūnas J., Karvelienė D., Čyžius G., Jagminas E. Expression environment of technogenic hydrogeological factors and its schematization. *Geologija*. Vilnius. 2004. No. 46. P. 28–40. ISSN 1392–110X.

Groundwater circulation time in Lithuanian sediments is analysed. According to evaluations, four hydrodynamic zones with a peculiar reaction to the external and internal technogenic influence were defined. Descriptions of natural groundwater circulation as well as evaluation of a possible technogenic vulnerability are presented. These investigations could be useful for planning the management of groundwater resources.

**Key words:** groundwater circulation zones, groundwater age, technogenic vulnerability, groundwater resources management

Received 27 November, 2003, accepted 23 February 2004.

Jonas Diliūnas, Danutė Karvelienė, Gediminas Čyžius, Edmundas Jagminas. Institute of Geology and Geography, T. Ševčenkos str., 13, LT-2600 Vilnius, Lithuania

---

### IVADAS

Svarbiausi fizikiniai-geologiniai Žemės plutos vystymosi principai grindžiami postulatu, kad visus joje ir virš jos vykstančius procesus lemia energijos ir masės apykaita, kuri vyksta įvairiose sistemose: *litosfera–atmosfera–kosmosas*; *litosfera–vandens telkinys–atmosfera*; *litosfera–dirvožemis* ir kt. Šilumos ir vandens apykaita šiose sistemose (nors ir dalinė) yra svarbiausios paminėtų dviejų bendriausių procesų rūšys. Viršutinėje litosferos dalyje svarbiausiomis energijos ir masės pernešimo rūšimis yra vandens ir masės apytaka. Šios apytakos komponentų stiprių tarpusavio ryšių ir savybių visuma sudaro „šilumos ir vandens apytakos litosistemą“ (Швецов, 1984), kurios išsivystymo sąlygas, dėsningumus ir reikšmę atskleidžia negrįžtamų procesų termodinamika. Gamtinių termodinaminių procesų kryptį vis aktyviau veikia antropogeniniai veiksniai. Žmogaus techninė veikla jau palietė visą nuosėdinių uolienų storumę ir sparčiai veržiasi į giliuosius litosferos sluoksnius, aktyviai keisdama natūralius geologinius ir hidrogeologinius procesus. Pastarieji dėl žmogaus inžinerinės veiklos dažniausiai vadinami technogeniniais. Požeminio vandens atveju juos galima įvardyti hidrogeo-

technogeniniais procesais, kurių atsiradimas ir vystymasis priklauso technogenezės sričiai. Technogenezės samprata apima litologinius-facijinius, geocheminius, hidrogeologinius, biohidrogeocheminius, inžinerinius-geologinius ir kitus technogeninius procesus, vykstančius vienoje ar kitoje litosferos vietoje, kurioje aktyvi žmogaus inžinerinė veikla keičia geologinę, o neretai ir apskritai gamtinę aplinką.

Energijos ir masės apykaitos procesų dėsningumus hidrogeosferoje bei su ja susijusiose gamtinėse sistemose lemia keli veiksniai: klimatas, tektonika, biota, reljefas, uolienos. Įvairios šių veiksnių kombinacijos sudaro skirtingas teritorines energijos ir masės apykaitos sistemas. Reprezentatyviausias šių sistemų požymis yra vandens apytaka, kuri raiškiai atspindi išvardytų gamtinių veiksnių įtaką viršutiniams žemės plutos sluoksniams. Visos techninių objektų rūšys, esančios hidrogeologinėse apytakos sistemose, traktuojamos ir tiriamos kaip medžiagų ir energijos šaltiniai, keičiantys hidrogeologinius procesus. Ūkinės veiklos, kaip su hidrogeosfera sąveikaujančios gamtinės-techninės sistemos, interpretavimas yra ribinių ir vidinių sąlygų, kuriose vystosi techninių objektų veikiami hidrogeologiniai procesai, funkcionavimas. Vandens apytakos hidrogeologinių sistemų analizė apima:

- hidrosferos schematizavimą siekiant išskirti požeminio vandens apytakos sistemų eilę (tipą) bei įvertinti jų galimo pokyčio veiksnius, ribojamus išsėties sąlygų;

- ūkinės veiklos ir jos galimo kompleksinio (dvi-  
pusio) poveikio vandens apytakos sistemai interpretaciją;

- retrospektyvinę gamtinių-techninių sąsajų analizę, prognozių modelių bei kriterinių technogeninių pokyčių pasekmių įvertinimą.

Hidrosferos schematizavimas paremtas tipinių hidrogeologinių sistemų išskyrimu, kuriuose lokalizuojasi ūkinių sistemų poveikis, nulemiantis vandens išteklių ar kokybės pakitimus. Bazinis hidrosferos sistemų išskyrimo požymis gali būti uolienų litologinės bei sluoksnių ribos, jeigu jos sutampa su vandens tėkmių (arba bendru atveju – medžiagų ir energijos tėkmių) apribojimo kontaktais, taip pat vidinė požeminių tėkmių diferenciacija pasiremiant hidrodinaminiais dėsniniais. Schematizuojant įvertinami svarbiausių hidrogeologinių procesų, kurių raiška lokalizuojasi įvairiuose išskirtuose objektuose, vystymosi dėsniniais.

Technogeninio poveikio veiksnių ir objektų, veikiančių energijos ir masės apykaitą hidrosferoje, išskyrimas remiasi šių veiksnių veiklos ir hidrogeologinių sistemų ribų santykiais. Objektai, kurių ribose lokalizuojasi technogeninių veiksnių poveikis, gali būti priskirti technogeninėms hidrosferos posistemėms. Tradiciškai išskiriamos trijų lygių posistemės: regioninė, lokali ir vietinė. Regioniniu lygmeniu beveik visuomet reikšmingiausias technogeninio poveikio veiksnys yra požeminio vandens ėmimas iš gilių vandeningųjų horizontų. Kai imama daug požeminio vandens, lygio ar spūdzio depresijos dažniausiai lokalizuojasi tiksliai hidrogeologinių ribų (laidžių ir vandensparinių uolienų) ar didelių upių, turinčių gilius erozinius slėnius, kontaktuose. Lokaliu lygmeniu svarbiausias technogeninės veiksnys dažniausiai būna požeminio vandens ėmimas iš seklesnių vandeningųjų horizontų, hidrotechninių bei melioracinių įrenginių funkcionavimas, urbanizacija ir kt. Šiuo atveju technogeninis poveikis lokalizuojasi nedidelėse vandens apytakos hidrogeologinių sistemų teritorijose: mažų upių baseinuose ar ribojamas infiltracijos iš paviršinių šaltinių intensyvumo. Individualaus lygmens posistemės svarbiausiu technogeninių pakitimų veiksniumi gali būti laikomas pavienio įrenginio funkcionavimas, jeigu jo poveikis sutelktas atskirame hidrogeologinės sistemos elemente.

Vandens apytakos hidrogeologinių sistemų analizė užbaigiama atitinkamo lygmens gamtinių-techninių sąlygų kartografinių modelių ir hidrogeotechninių rodiklių, būdingų išskirtam taksonui, komplekso sudarymu. Tokių kartografinių modelių turinys turėtų atspindėti svarbiausius vandens apytakos hidro-

geologinės sistemos reakcijos į technogeninę apkrovą elementus.

#### **VANDENS APYTAKOS HIDROGEOLOGINĖS SISTEMOS (ZONOS) TECHNOGENINIO PAŽEIDŽIAMUMO ASPEKTAS**

Technogenizė atspindi dabartinę gamtinių-techninių sistemų lygį visose gamybos srityse, taip pat gamtinių išteklių tikslingo panaudojimo lygį. Kita vertus, tarp šių rodiklių egzistuoja ir atvirkštinis ryšis: eksploatuojant vienus ar kitus gamybos objektus, techninės apkrovos dydis ir geologinės aplinkos sandara lemia technogenizės formavimo sąlygas. Pagal tai gali būti klasifikuojamas hidrosferos tvarumas ir galimas pažeidimų mastas. Svarbiausi tokių zonų išskyrimo požymiai yra hidrogeologinės sistemos hidrodinaminis uždarumas, termodinaminė būklė ir technogeninio poveikio pobūdis. Jų pažeidžiamumą nusako hidrogeologinė regionų sandara, litologija, filtracija, hidrodinamika (vandens spūdzio dydis, vertikalus ir horizontalus jo pasiskirstymas, tėkmių kryptys, intensyvumas), požeminio vandens išteklių, filtraciniai, hidrocheminiai bei cheminiai elementų migracijos rodikliai. Pirmame tyrimų etape tokie pakitimai dažniausiai įvertinami tik kokybiškai. Vėliau daugelis poveikio rūšių turėtų būti išreiškiamos kiekybinėmis kategorijomis.

Požeminio vandens apytakos zonų technogeninio poveikio aspektui išskirti ir įvertinti panaudoti autorių eksperimentinių tyrimų ir analizė rezultatai bei literatūriniai retrospektyvių hidrodinaminių ir hidrogeocheminių tyrimų duomenys (Juodkakis, 1963; Кондратас, Игнатавичюс и др., 1969; Иодказис, Зузявичюс и др., 1977; Климас, 1975; Juodkakis, 1979; Juodkakis, Mikalauskas, 1994; Иодказис, 1989; Mokrik, 1997 ir kt.). Lietuvos sąlygomis vandens apytakos hidrogeologinės sistemos gali būti tapatinamos su hidrodinaminio nuosėdinės dangos skirstymu, pagal kurį Baltijos artezinis baseinas dalijamas į kelias skirtingas požeminio vandens apytakos zonas: aktyvios, sulėtėjusios ir lėtos. Analizuojant šias zonas technogeninio pažeidžiamumo aspektu (įtraukiant galimus poveikio veiksnius), reikalinga išsamesnė nuosėdinio vandeningojo komplekso diferenciacija, kurios pagrindu tikslinga išlaikyti vandens apytakos greičio ir mineralizacijos bei cheminės sudėties principą.

Technogenizės aspektu aktyviąją požeminio vandens apytakos zoną, atsižvelgus į skirtingą apytakos tempą jos viršuje ir apačioje bei antropogeninės apkrovos mastą, tikslinga padalyti į dvi dalis – viršutinę ir apatinę, t. y. intensyvios ir ekstensyvios apytakos zonas, taip pat kiek pakoreguoti ribas atsižvelgiant į svarbiausius techninius objektus, kurių funkcionavimo mastą vienoje ar kitoje zonoje riboja

visuotinai priimti normatyviniai reikalavimai (pavyzdžiui, gėlo geriamojo požeminio vandens (mineralizacija iki 1 g/l) eksploatavimas).

Taigi nuosėdinės dangos vandeningąjį kompleksą technogeninio pažeidžiamumo aspektu tikslinga schematizuoti keturiomis litosferos vandens apytakos zonomis: intensyvios, ekstensyvios, sulėtėjusios ir lėtos. Toks litosferos vandens technogeninės apytakos zonų schematizavimas grindžiamas Lietuvoje esamais ar galimais požeminio vandens gamtinio hidrodinaminio ir hidrocheminio režimo pažeidimo veiksniais ir hidrogeologinėmis sąlygomis, kurias jie gali aktyviai veikti bei keisti. Svarbiausia tiek gamtinių, tiek technogeninių procesų vystymosi charakteristika yra vandens apytakos greitis (laikas), kuris regione gali būti apibūdintas kaip požeminio vandens statinių (geologinių) ir dinaminių (požeminis nuotėkis) išteklių santykis. Atvirkštinis šio santykio dydis vadinamas vandens apykaitos koeficientu (Куделин, 1960).

Aktyvios apytakos zonos požeminio vandens dinaminiai ištekliai Lietuvoje gana gerai ištirti (Барисас, Игнатавичюс, 1969; Дилюнас, 1973; Иодказис, Зузявичюс и др., 1977; Сакалаускаене, 1969; ir kt.). Neblogai žinomi ir vandeningųjų horizontų bei kompleksų erdvinio paplitimo, filtracijos ir talpos rodikliai. Pasiremiant šių tyrimų duomenimis galima apytiksliai įvertinti statinius (geologinius) išteklis:

$$W = n_0 m F; \quad (1)$$

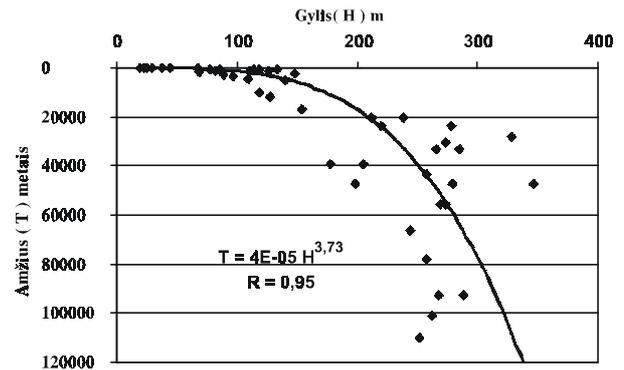
čia  $W$  – vandeningojo horizonto ar komplekso statiniai ištekliai ( $m^3$ );  $n_0$  – uolienu aktyvusis poringumas;  $m$  ir  $F$  – vandeningojo horizonto vidutinis storis (m) ir paplitimo plotas ( $m^2$ ).

Uolienu aktyvusis poringumas tirtas įvertinant Pabaltijo gėlo vandens eksploatacinius išteklis bei nagrinėjant giliųjų vandeningųjų horizontų kolektorines savybes (Иодказис, Зузявичюс и др. 1977; Лашинкас, 1983; Лашкова, 1979).

Kontrolinis apytakos zonų ribų apibūdinimo rodiklis gali būti požeminio vandens amžius, kuris Lietuvoje neblogai ištirtas įvairiais, pirmiausia radioizotopiniais, būdais (Иодказис, Палтанавичюс, 1976; Juodkazis, 1979; Банис, Иодказис и др., 1979; Mokrik, 1997; Mažeika, 1999). Matematiškai apdorojus kai kuriuos šių tyrimų duomenis, gautos empirinės formulės leidžia prognozuoti požeminio vandens amžių ir vertikaliosios filtracijos pro mažai laidžius sluoksnius greitį priklausomai nuo uolienu slūgsojimo gylio (1 ir 2 pav).

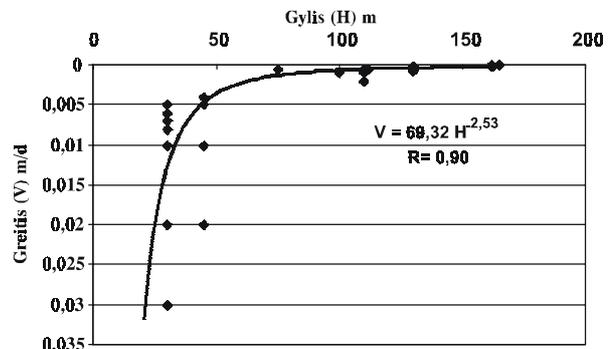
Požeminio vandens amžiaus ir jo slūgsojimo gylio funkcinė priklausomybė:

$$T = 4 \cdot 10^{-5} H^{3,73}; \quad (2)$$



1 pav. Pabaltijo artezinio baseino aktyvios apytakos zonos požeminio vandens amžiaus priklausomybė nuo gylio (J. Banio ir V. Juodkazio 1979 m. duomenys, aproksimuoti autorių)

Fig. 1. Groundwater age dependence on the depth at Baltic artesian basin active circulation zone (J. Banys and V. Juodkazis 1979, data were approximated by authors)



2 pav. Požeminio vandens vertikaliosios infiltracijos greičio ( $V$ ) pro mažai laidžias uolienas priklausomybė nuo gylio ( $H$ ) (V. Juodkazio ir J. Palatanavičiaus 1976 m. duomenys, aproksimuoti autorių)

Fig. 2. Groundwater vertical infiltration through rocks with low permeability, velocity ( $V$ ) dependence on depth (V. Juodkazis and J. Palatanavičius, 1976, data were approximated by authors)

čia  $T$  – požeminio vandens amžius (metais);  $H$  – vandeningojo horizonto slūgsojimo gylio (m).

Vertikaliosios filtracijos greičio ir mažai laidžių uolienu slūgsojimo gylio priklausomybė:

$$v = 69,32 H^{-2,53}; \quad (3)$$

čia  $v$  – vertikaliosios filtracijos greitis (m/d);  $H$  – vandeningojo horizonto slūgsojimo gylio (m).

Griežtai traktuojant turimų empirinių duomenų diapazoną, šios formulės galioja ~ 20–350 m (2) ir ~ 40–160 m (3) gylio intervalams, tačiau palyginamoji analizė su kitais metodais gautomis vandens amžiaus bei vertikaliosios filtracijos greičio charakteristikomis atskleidė, kad užrašytų formuliu taikymas yra daug platesnis. Nepretenduojant į didelį tikslumą, jas aprioriškai galima naudoti orientacinei geologinei vandens am-

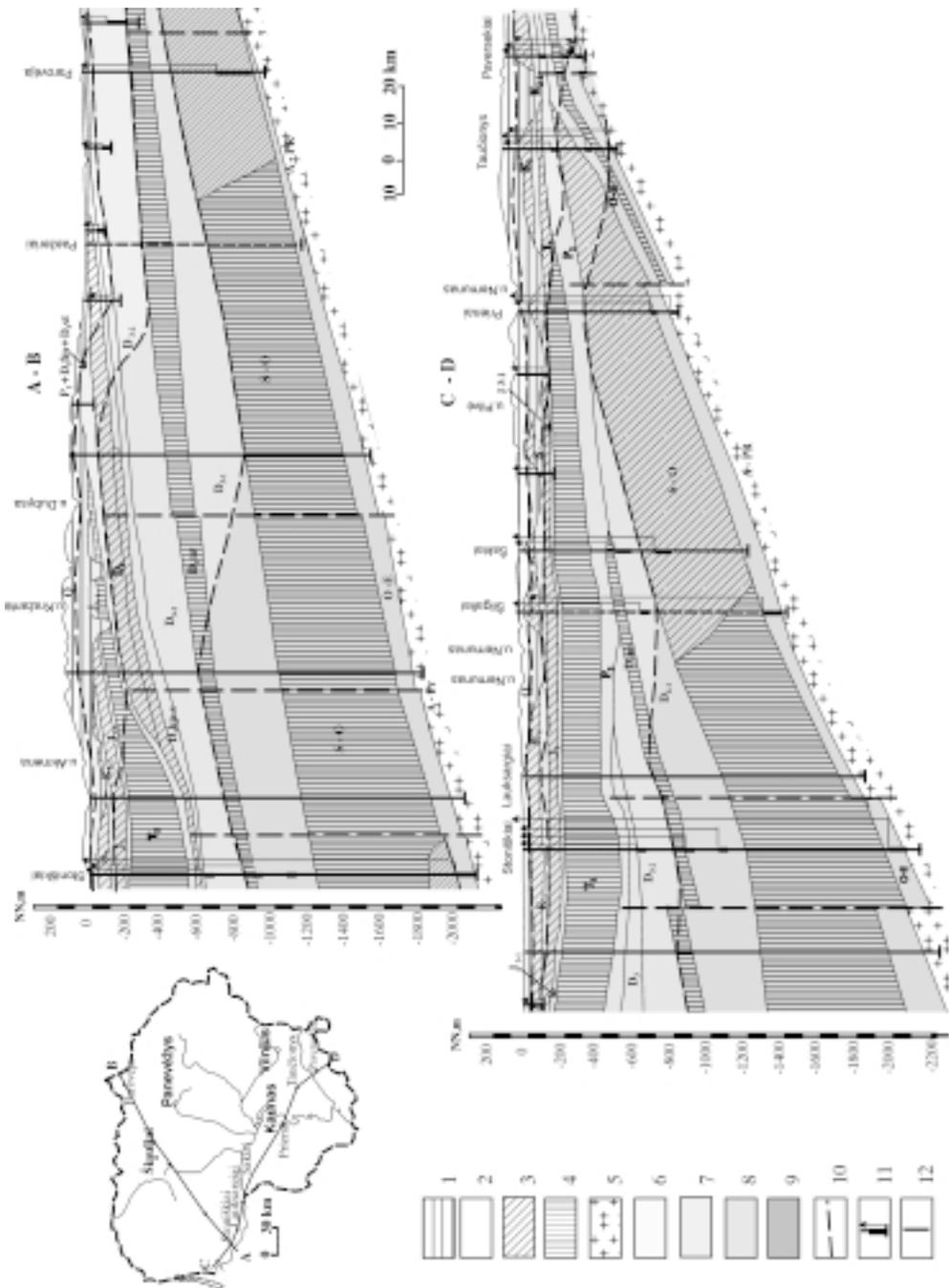
žiaus interpretacijai sulėtėjusioje vandens apytakos zonoje ir viršutinėje lėtos zonos dalyje.

Aeracijos zonos vandens apytakos ciklą galima apibūdinti pasinaudojus atmosferos kritulių filtracijos laiko ( $t_a$ ) iki gruntinio vandens lygio apskaičiavimais (Боचेвер, Лапшин и др., 1979):

$$t_a = \frac{n_0 z}{\sqrt[3]{w^2 k}}; \tag{4}$$

čia  $n_0$  – uolienuų aktyvusis poringumas;  $z$  – aeracijos zonos storis (m);  $w$  – infiltracinės mitybos dydis (m/d iš km<sup>2</sup>);  $k$  – uolienuų filtracijos koeficientas (m/d).

Pagal hidrodinaminės analizės rezultatus vandens apytakos hidrogeologinės sistemos (zonos) technogėninio pažeidžiamumo aspektu suskirstytos į (3 pav): 1) intensyvios vandens apytakos zoną – apima gruntinį ir viršutinio bei viršutinio–vidurinio kvartero tarpmoreninius vandeninguosius horizontus, 2) ekstensyvios apytakos zoną – nuo vidurinio kvartero tarpmoreninio iki gėlo požeminio vandens ribos, 3) sulėtėjusios apytakos zoną – nuo gėlo požeminio vandens ribos iki regioninių vandensparų, 4) lėtos apytakos zoną – nuo regioninių vandensparų iki kristalinio pamato.



3 pav. Požeminio vandens apytakos zonos ir schematiniai hidrogeologiniai profilai: 1 – kvartero nuogulos, 2 – vandeningieji horizontai ir kompleksai, 3 – pusiau laidžios uolienos (sporadiškai vandeningos), 4 – regioninės vandensparos, 5 – kristalinio pamato uolienos, 6–9 požeminio vandens apytakos zonos (6 – intensyvios, 7 – apsunkintos, 8 – sulėtėjusios, 9 – lėtos), 10 – ribos tarp zonų, 11 – grėžinys, spūdzio dydis, 12 – tektoniniai sprūdziai

Fig. 3. Zones of groundwater circulation and schematic hydrogeological profiles: 1 – Quaternary sediments, 2 – groundwater aquifers and complexes, 3 – semi-permeable (sporadically aquiferous) rocks, 4 – regional impermeable stratas, 5 – crystalline bedding rocks, 6 – 9 zones of groundwater circulation: 6 – intensive, 7 – intensive, 8 – slow-motion, 9 – stagnation, 10 – boundaries between zones, 11 – bored well, water pressure level, 12 – tectonic break

*Intensyviojo požeminio vandens apytakos zona* jungia gruntinį, viršutinio kvartero bei viršutinio-vidurinio kvartero tarpmoreninius horizontus, daugiausia išplitusius aukštumų ruožuose, ir dalį paleozojaus karbonatinio komplekso vandeningųjų horizontų Šiaurės Lietuvoje (1 lentelė). Zonos storis Žemaičių, Aukštaičių, Ašmenos, Švenčionių ir Sūduvos aukštumose siekia 80–100 m, vyraujantis – 20–60 m, upių slėniuose ir Vidurio Lietuvos žemumoje – 10–20 m (4 pav.). Vandenspara – vidurinio kvartero Medininkų morena, kuri paplitusi beveik visoje Lietuvos teritorijoje (storis 10–20 m), išskyrus šiaurės vakarinę dalį, Balti-

jos aukštumas bei Nemuno žemupio atskiras teritorijas (Малинаускас, 1991). Šiuose plotuose intensyviojo požeminio vandens apytakos zonos padas – prekvartero bei kvartero horizontų (Dainavos, Žemaitijos) 15–30 m storio mažai laidžios uolienos. Požeminio vandens mineralizacija šioje zonoje kinta nuo 100 mg/l iki 600 mg/l, gamtinis fonas – 420 mg/l.

Gruntinio ir tarpfluksinio vandens apytakos greitis skiriasi keliasdešimt kartų ir sudaro atitinkamai apie 30 ir 200 metų (1 lentelė). Greičiausia vandens apytaka vyksta gruntiniame vandeningajame horizonte, kurią daugiausia lemia atmosferos

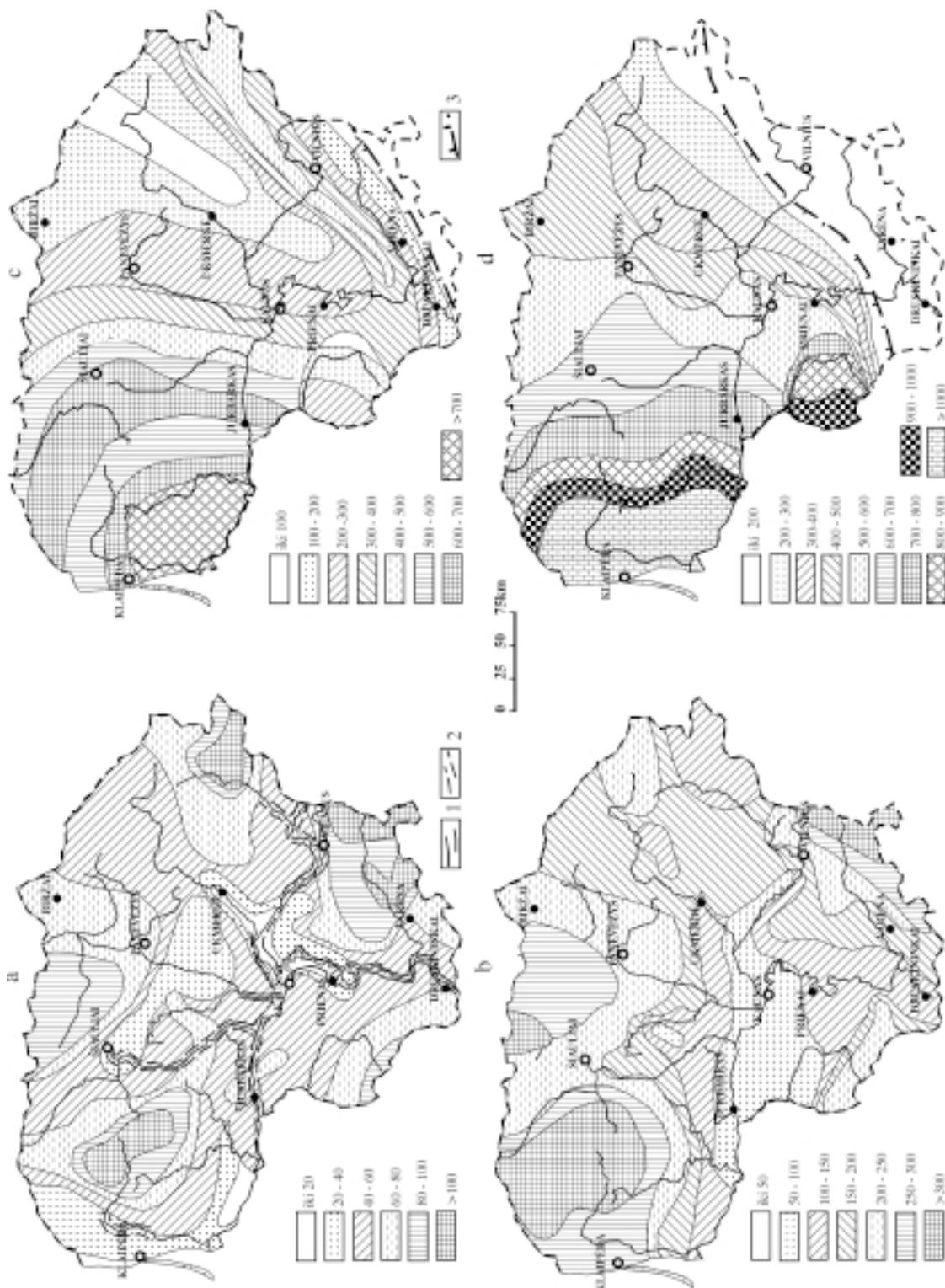
1 lentelė. Vandens apytakos nuosėdinėje dangoje kiekybiniai rodikliai  
Table 1. Quantitative indexes of groundwater circulation in sediments

Apytakos zonos	Vandeningieji horizontai ir kompleksai	Paplitimo plotas km <sup>2</sup>	Vyraujantis slūgsojimo gylis m	Vyraujantis storis m	Aktyvusis poringumas	Dinaminiai išteklių m <sup>3</sup> /metus	Statiniai išteklių m <sup>3</sup>	Vandens apytakos greitis metai	Vandens amžius metais
Intensyvioji	Gruntinis	61070	0,2–20	5–15	0,1–0,3	3,9*10 <sup>9</sup>	1,22*10 <sup>11</sup>	30	<35
	Kvartero tarpmoreniniai agIII, agIII–II	23490	40–50	10–20	0,1–0,2	1,8*10 <sup>8</sup>	3,5*10 <sup>10</sup>	200	0,5*10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>
	Permo (P <sub>2</sub> ), famenio (D <sub>3fm</sub> ), Tātulos ir Ystros (D3 tt + yy), Kupiškio ir Suosos (D3kp + ss), Stipinų (D <sub>3st</sub> )	8900	40–50	10–20	0,05–0,1	8,8*10 <sup>7</sup>	1,8*10 <sup>10</sup>	200	
Ekstensyvioji	Kvartero tarpmoreniniai agII, agI	25840	50–150	10–40	0,05–0,15	2,0*10 <sup>8</sup>	9,7*10 <sup>10</sup>	480	3*10 <sup>2</sup> –4*10 <sup>4</sup>
	Paleogeno (P), viršutinės kreidos (K <sub>2</sub> ), apatinės kreidos (K <sub>2cm</sub> + K <sub>1</sub> ), jūros (J <sub>3cl</sub> + J <sub>1</sub> ), triaso (T <sub>1</sub> )	47680	20–300	15–40	0,05–0,1	1,7*10 <sup>8</sup>	9,9*10 <sup>10</sup>	600	
	Permo (P <sub>2</sub> ), karbono (C <sub>1</sub> ), famenio (D <sub>3fm</sub> ), Stipinų (D <sub>3st</sub> ), Tātulos ir Ystros (D3 tt + yy), Kupiškio ir Suosos (D3kp + ss),	31240	40–350	10–40	0,1–0,2	1,8*10 <sup>8</sup>	9,4*10 <sup>10</sup>	520	
	Viršutinio ir vidurinio devono (D <sub>3sv</sub> + D <sub>2up</sub> )	22900	80–300	10–140	0,06–0,15	2,3*10 <sup>8</sup>	1,4*10 <sup>11</sup>	600	5*10 <sup>2</sup> –7*10 <sup>4</sup>
	Ordoviko ir kambro (O + ε), kambro ir vendo (ε + V)	1640	200–300	50–100	0,05–0,07		6,4*10 <sup>9</sup>		
Sulėtėjusios	Jūros (J <sub>3cl</sub> + J <sub>1</sub> )	7750	150–350	10–20	0,05–0,15		1,2*10 <sup>10</sup>		
	Permo (P <sub>2</sub> ), Stipinų (D <sub>3st</sub> ), Tātulos ir Ystros (D3 tt + yy), Kupiškio ir Suosos (D3kp + ss),	33780	200–500	15–20	0,02–0,17		6*10 <sup>10</sup>		4*10 <sup>4</sup> –2*10 <sup>6</sup>
	Viršutinio ir vidurinio devono (D <sub>3sv</sub> + D <sub>2up</sub> ), vidurinio ir apatinio devono (D <sub>2+1</sub> )	52450	200–750	80–100	0,04–0,1		3,3*10 <sup>11</sup>		
	Ordoviko ir kambro (O + ε), kambro ir vendo (ε + V)	5615	250–600	50–190	0,04–0,06		2*10 <sup>10</sup>		
Lėtos	Permo (P <sub>2</sub> )	4870	300–600	10–20	0,02–0,04		2,2*10 <sup>9</sup>		> 10 <sup>6</sup>
	Vidurinio ir apatinio devono (D <sub>2+1</sub> )	12950	750–900	80–120	0,03–0,05		5,2*10 <sup>10</sup>		>(2–4)*10 <sup>6</sup>
	Ordoviko ir kambro (O + ε)	52575	400–2190	25–225	0,03–0,04		2,6*10 <sup>11</sup>		
	Kambro–vendo (ε + V)	18730	600–1000	40–60	0,03–0,04		3,3*10 <sup>10</sup>		

kritulių filtracijos laikas pro aeracijos zoną (2 lentelė). Smėlio ir žvyro nuogulomis padengtose teritorijose infiltracijos pro aeracijos zoną laikas neviršija 1–3 metų ir menkai tepriklauso nuo jos storio. Molingomis (priesmėlis, priemolis) uolienomis ir durpėmis padengtose teritorijose šis laikas, jei aeracijos zona storesnė nei 2 m, siekia 10–35 metus. Smulkiu molingu smėliu padengtuose plotuose, kurių aeraci-

jos zona viršija 20 m, atmosferos kritulių filtracijos laikas siekia 3–5 metus. Upių slėnių dalyse, kuriose yra susiformavę atviro tipo vandeningieji kompleksai, vertikaliosios srūvos laikas dažniausiai neviršija vienerių metų.

*Ekstensyvio požeminio vandens apytakos zona* geologiniame pjūvyje išskirta tarp vidurinio kvartero Medininkų morenos kraigo (kai kuriose teritorijose



4 pav. Požeminio vandens apytakos zonų storis (m): a – intensyvioji, b – ekstensyvioji, c – sulėtėjusios, d – lėtos; 1 – labai įsiritę upių slėniai, 2 – vidutinškai įsiritę upių slėniai, 3 – hidrodinaminė zonų paplitimo riba  
 Fig. 4. Thickness of groundwater exchange zones (m): a – intensive, b – extensive, c – slow-motion, d – stagnant; 1 – deeply ploughed river valley, 2 – medium ploughed river valley, 3 – boundaries of hydrodynamic zones

2 lentelė. **Kritulių infiltracijos pro aeracijos zoną laikas (metai)**  
 Table 2. **Time of precipitation infiltration through aeration zone (years)**

Uoliena	Infiltracinės mitybos modulis l/s km <sup>2</sup>	Hidrogeologiniai parametrai		Filtracijos laikas iki gruntinio vandens lygio esant atitinkamam aeracijos zonos storii (m)				
		n <sub>o</sub>	k, m/d	1–2	2–5	5–10	10–20	20–30
Žvyras, rupus smėlis	5–7	0,2–0,5	50–200	< 1	< 1	< 1	< 1	0,5–1
Vidutinio rupumo smėlis	1–3	0,15–0,20	10–30	< 1	< 1	< 1	0,5–2	1–3
Smulkus smėlis	0,5–1	0,08–0,10	1–5	< 1	< 1	0,5–2	1–3	1,5–5
Priesmėlis	0,03–0,3	0,03–0,07	0,1–0,01	0,5–4	1–10	2,5–20	5–40	9–60
Priemolis	0,01–0,03	0,01–0,05	10 <sup>-3</sup> –10 <sup>-4</sup>	6–14	13–35	32–73	65–145	130–220
Durpės	0,01–0,05	0,03–0,07	0,1–0,5	1–4	2–10	4–19	9–39	18–60

prekvartero ar apatinio kvartero vandensparų kraigo) ir gėlo vandens paplitimo aslos (1 g/l mineralizacijos). Tokią mišrią zoną lėmė svarbiausia praktinė požeminio vandens paskirtis – tinkamumas miestų ir kaimų vandentiekiiui. Be to, gana staiga pakitusi požeminio vandens mineralizacija dažniausiai byloja apie filtracinius ar geocheminius barjerus, kurie mažina vandens apytakos greitį. Šiaurės vakarinėje Lietuvos dalyje, kur po kvartero nuogulomis slūgso devono sistemos vandeningieji horizontai, požeminio vandens mineralizacijos (1 g/l) asla sutampa su vidurinio devono Narvos vandensparos sluoksniais, likusioje teritorijoje šios zonos asla yra jūros, triaso, viršutinio devono vandensparos sluoksniai. Mozūrijos–Baltarusijos anteklizės šlaite gėlas požeminis vanduo aptinkamas ir kambro–vendo horizonte, ir kristalino pamato uolienose. Čia apsunkintos vandens apytakos zona yra storiausia – 250–300 m ir dar daugiau (4 pav.). Mažiausias zonos storis (iki 50–100 m) yra Šešupės žemumoje ir centrinėje Lietuvos dalyje (Nemuno vidurupyje). Vandens apytakos laikas vidutiniškai gali būti apie 500–600 metų. Požeminio vandens amžius įvairiose šios zonos dalyse datuojamas nuo 300–500 iki 15000–40000 metų.

Sprendžiant pagal požeminio vandens amžių, apytakos intensyvumas atskirose vandeningųjų horizontų dalyse tiek pagal vertikalųjį, tiek horizontalųjį vektorių yra labai nevienodas (1 lentelė). Filtracijos greitis viršutinėje ir apatinėje vandeningųjų horizontų ir kompleksų dalyse gali skirtis šimtus ir tūkstančius kartų, todėl svarbiausias vaidmuo pasiskirstant požeminio vandens integruotai apytakai priklauso viršutinei, sekliausiai slūgsančiai, vandeningųjų horizontų ir kompleksų daliai.

*Sulėtėjusios vandens apytakos zona* išskirta tarp gėlo vandens aslos ir 35g/l vandens mineralizacijos slūgsojimo gylio ribos (Juodkasis, Mikalauskas, 1994). Vidutinio sūrumo (5–15 g/l) natūralus mineralinis vanduo geriausiai tinkamas balneologijai. Didesnėje Lietuvos dalyje sulėtėjusios hidrodinaminės zonos apačia tapatinama su silūro–ordoviko regionine vandenspara. Vakarinėje dalyje, kur ordoviko–silūro van-

denspara slūgso 1300 m gylyje, apatinio ir vidurinio devono terigeninio komplekso vandens mineralizacija viršija 35g/l; čia šios zonos apačia sutampa su vidurinio devono (Narvos) sluoksniais (Mičiudienė, 1991), pietvakarinėje dalyje – su triaso regionine vandenspara. Pietinėje Lietuvos dalyje, Mozūrijos–Baltarusijos anteklizės šlaite, esant laidesniems moliškiems sluoksniams, vandeningieji horizontai hidrauliškai gana aktyviai sąveikauja, sulėtėjusios hidrodinaminės apytakos zonos iš viso nėra (4 pav., c). Šios zonos storis nuo minėto anteklizės šlaito didėja Baltijos sineklizės ašies link ir viršija 500–700 m. Požeminio vandens amžius apatinėje zonos dalyje siekia milijoną metų.

*Lėtos požeminio vandens apytakos hidrodinaminė zona* pūvyje prasideda po devono Narvos bei ordoviko–silūro regioninėmis vandensparomis. Lietuvos pietvakariniame pakraštyje jos viršutinė riba siekia permo halogenines nuosėdas. Požeminio vandens mineralizacija viršija 35 g/l – tai sūrymų zona. Horizontaliai ši zona formuojasi Baltijos sineklizės gelmėjimo kryptimi, didžiausias storis (>1000 m) yra Vakarų ir Pietvakarių Lietuvoje (4 pav., d), pietryčių kryptimi jis mažėja. Požeminio vandens apytakos laikas centrinėje Baltijos artezinio baseino dalyje gali siekti 0,5–2 mln. metų (Mažeika, 1999). Apskaičiavus pagal (2) formulę, požeminio vandens amžius siekia apie 2 mln. metų ir dar daugiau.

#### VANDENS APYKAITOS ZONŲ ANTROPOGENINĖ APKROVA

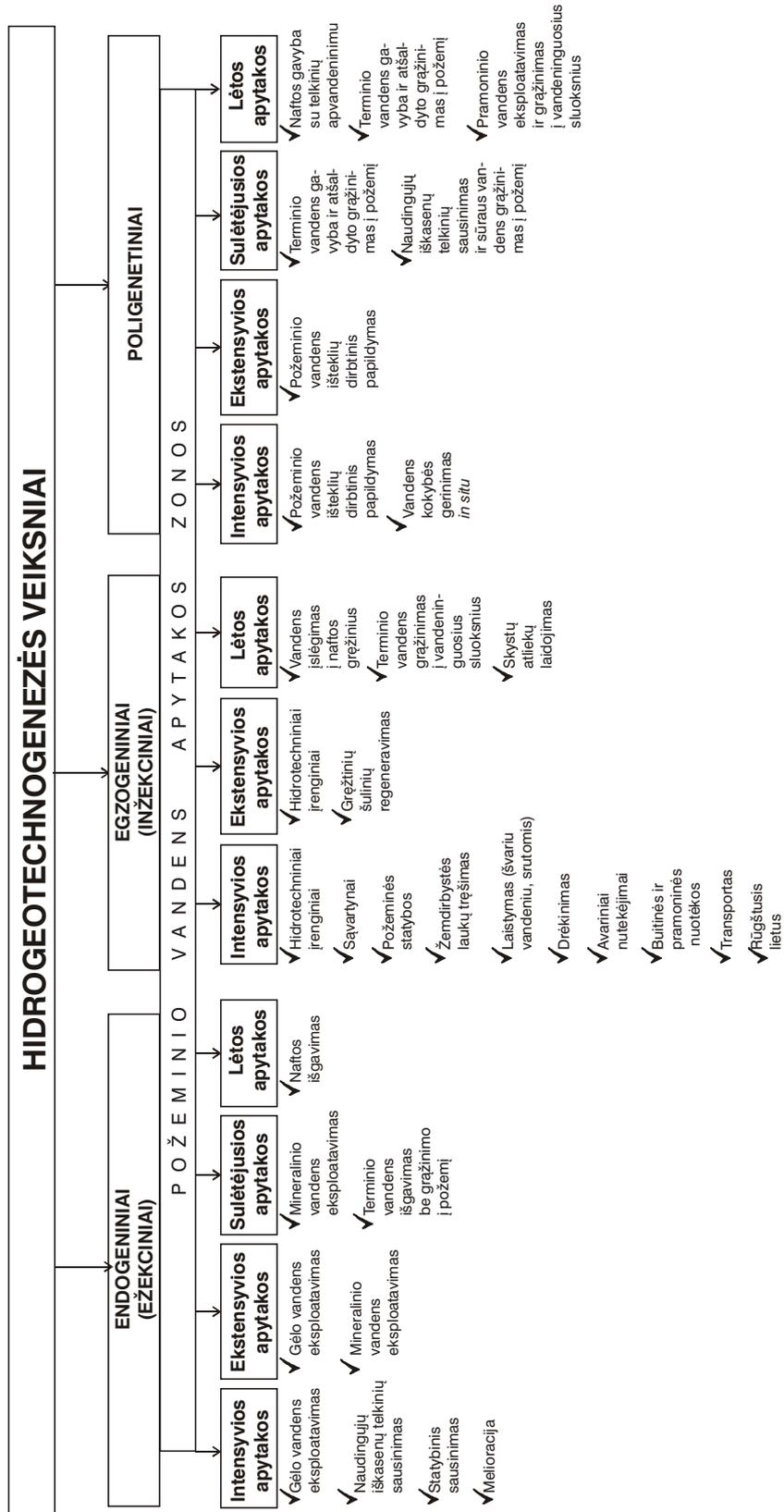
Svarbiausiu hidrogeologinės technogenezės formavimosi ypatumų įvertinimo įvairiomis žmogaus ūkinės veiklos sąlygomis požymiu gali būti aplinkos gamtinių pakitimų sužadavimo pobūdis – vidinis (endogeninis), išorinis (egzogeninis) ir mišrus (poligenetinis), lemiantis hidrodinaminį bei hidrogeocheminių procesų intensyvumą ir mastą, vyksmo kryptingumą ir antropogeninių pažeidimų raidą. Antropogeninio pažeidžiamumo aspektu kiekvienai požeminio vandens apytakos zonai būdingi saviti technogenezės veiksniai, ku-

rie reiškiasi (arba gali reikštis) Lietuvos socialinėmis ir ekonominėmis sąlygomis (5 pav.). Regioniniu technogeninio poveikio aspektu jautriausios yra dvi pirmosios zonos, kuriose realiu laiku vyksta vandens apytaka. Be to, intensyvios ir ekstensyvios vandens apytakos zonos patiria didžiausią antropogeninę apkrovą: pirmoji yra pagrindas, ant kurio rutuliojasi visa žmogaus veikla, antroji dažniausiai yra svarbiausias geriamojo vandens šaltinis.

*Intensyvios vandens apytakos zonoje* sukaupti didžiuliai statiniai (geologiniai) požeminio vandens išteklių (apie 210 km<sup>3</sup>), čia formuojasi didžiausias požeminis nuotėkis – apie 133,3 m<sup>3</sup>/s. Potencialūs gėlo požeminio vandens eksploataciniai išteklių viršija 58% visų šios kategorijos išteklių; dabar iš šios zonos išgaunama apie 46% viso geriamojo vandens (3 lentelė).

Visos žmogaus veiklos rūšys vienaip ar kitaip veikia litosferos paviršiu, o per jį ir požeminį vandenį. Kalbant apie technogeninį poveikį požeminiam vandeniui, kurį reikėtų vertinti ir prognozuoti, susiduriame su gausybe objektų: pradedant žmogaus buitimi ir baigiant didžiulėmis urbanizuotomis teritorijomis. Svarbiausi yra tiesiogiai su gruntiniu vandeniu susiję objektai. Tai – urbanizuotos ir melioruotos teritorijos, žemdirbystės laukai, tręšiami organinėmis ir neorganinėmis trąšomis, filtracijos laukai, sąvartynai, karjerai (sausinami ir nesusainami), paviršinio vandens tvenkiniai, stambios gamyklos, geležinkelio stotys ir kt. Urbanizuotos teritorijos užima 2% Lietuvos plo-

to, žemdirbystės laukai – 45%, pelkės ir eksploatuojami durpynai – 3%. Makroobjektų (urbanizuotų, tręšiamų teritorijų) poveikis gruntiniam vandeniui susideda iš bendro atskirų grandžių poveikio, kurį lemia gamybos pobūdis, buitinių ir gamybinių atliekų



5 pav. Svarbiausi hidrogeologinių sistemų technogeniniai veiksniai  
Fig. 5. Main technogenic factors of hydrogeological systems

3 lentelė. Nuosėdinės dangos požeminio vandens ištekliai  
Table 3. Groundwater resources in sediment rocks

Vandens apytakos zona technogeninės aspekto	Statiniai ištekliai m <sup>3</sup>	Dinaminiai ištekliai m <sup>3</sup> /d	Gėlo vandens eksploataciniai ištekliai ir gavyba tūkst. m <sup>3</sup> /d*			Mineralinio vandens ištekliai ir gavyba tūkst. m <sup>3</sup> /d	
			potencialūs	patikimi ištirti	išgauti 2001 m.	patikimi ištirti	išgauti 2001 m.
Intensyvios	1,75*10 <sup>11</sup>	4,2*10 <sup>9</sup>	1858,8	769,1	181,1		
Ekstensyvios	4,4*10 <sup>11</sup>	8,0*10 <sup>8</sup>	1318,2	1254	210,6		
Sulėtėjusios	4,2*10 <sup>11</sup>		–			2815	46,8
Lėtos	3,5*10 <sup>11</sup>		–			1463	5,7
Iš viso nuosėdinėje dangoje	1,4*10 <sup>12</sup>	5,0*10 <sup>9</sup>	3177,0	2023,1	391,7	4278	52,5

\*Pradiniai duomenys iš leidinio Domaševičius, Juodkazis ir kt., 2002  
\*Initial data – publication (Juodkazis, Kadūnas ir kt., 2002)

sudėtis. Nuo pastarosios labiausiai priklauso fizikinių-cheminių procesų kryptingumas, sudėtis, kinetika bei medžiagų migracijos požemyje intensyvumas.

*Ekstensyvios požeminio vandens apytakos zonos* statiniai požeminio vandens ištekliai sudaro apie 440 km<sup>3</sup>, čia formuojasi ~25,3 m<sup>3</sup>/s požeminis nuotėkis. Požeminio vandens potencialiniai eksploataciniai ištekliai vertinami 1,3 mln. m<sup>3</sup>/d (41,5% bendrųjų), patikimai ištirti – 1,25 mln. m<sup>3</sup>/d, dabar municipaliniam ir individualiam vandens tiekimui paimama apie 17% šių išteklių (3 lentelė).

Svarbiausias technogeninės apkrovos šaltinis šioje zonoje yra požeminio vandens gavyba, kurios moduliai didžiausių miestų apylinkėse sudaro 0,5–1,5 l/s kvadratiniam kilometre. Todėl, nors kai kuriuose miestuose dalis sunaudojamo vandens yra infiltracinis, spūdinų horizontų vandens gavyba keletą kartų viršija jų mitybą natūraliomis sąlygomis ir sukelia esminį vandens apykaitos padidėjimą, gilių, didelį plotą užimančių pjezometrinių paviršių depresijų susidarymą ir prielaidas teršalų (iš paviršiaus) arba nekondicinio požeminio vandens migracijai į vandenvietes iš apačios arba šono (eksploatuojamu horizontu).

*Sulėtėjusios ir lėtos apytakos zonos.* Sulėtėjusios vandens apytakos zonos požeminio vandens statiniai ištekliai vertinami apie 420 km<sup>3</sup>, dinaminiai ištekliai sunku realiai įvertinti dėl gana sudėtingos požeminių tėkmių struktūros ir nepakankamo jų ištyrimo. Dabar svarbiausiu techninės invazijos veiksniu yra natūralaus mineralinio vandens gavyba, kuri, beje, labai menka lyginant su iki šiol ištirtais ištekliais (<1,5%) (3 lentelė). Esminis mineralinio vandens gavybos augimas neprognozuojamas, todėl daugeliu atvejų (sluoksniuose telkiniuose) technogeniniai procesai bus vietiniai, besireiškiantys tik šios apytakos zonoje. Židininio tipo mineralinio vandens telkinių, kurie susidaro dėl tektoninių nedarnų, techno-

geniniai hidrodinaminiai bei hidrocheminiai procesai gali plisti į kaimynines vandens apytakos zonas ir lemti vietinius vandens cheminės sudėties pakitimus.

Lėtos apytakos zonoje svarbiausiomis skystomis naudingosiomis iškasenomis yra nafta ir terminis vanduo. Čia bei sulėtėjusios vandens apytakos zonoje daugelis vandeningųjų horizontų ir kompleksų yra perspektyvūs žemo potencialo (iki 20°C) šiluminei energijai gaminti panaudojant šilumos siurblius, taip pat pramoninių objektų po technologinio ciklo likusį šiltą vandenį (perteklinės šilumos) akumuliacijai požeminiuose sluoksniuose vasaros metu, kad vėliau jį būtų galima panaudoti žiemą. Tokių sistemų įdiegimui palankios hidrogeologinės sąlygos (vandeningųjų sluoksnių slūgsojimo gylis 150–500 m, storis 20–30 m, pralaidumas apie 50 m<sup>2</sup>/d, temperatūra 15–25°C) yra apie 70% lėtos apytakos zonos teritorijos, o šilumos energijos kaina gali būti iki 2–6 kartus mažesnė nei naudojant organinį kurą. Šios energijos gavimo technologijos ateityje turėtų sparčiai progresuoti ir aktyvinti aptariamą vandens bei šilumos apykaitą. Vakarų Lietuvoje sulėtėjusios ir lėtos vandens apytakos zonose kambro, apatinio ir viršutinio devono sluoksniuose susikaupę nemaži (preliminariai įvertinti >150 mln. t. sąlyginių kuro vienetų) šilto (iki 60°C) požeminio vandens ištekliai, kurie pradedami naudoti gyvenvietėms apšildyti. Ateityje geoterminės energijos panaudojimas plėsis, ir šilto vandens eksploatavimas bus svarbiausias aptariamų dviejų požeminio vandens apytakos zonų technogeninių pažeidimų veiksnys (Domaševičius ir kt., 2002).

Lėtos vandens apytakos zonos vandenyje (2000–2300 m gylyje) aptinkami sūrymai su gana didele bromo koncentracija (0,5–1,0 g/l), kuris tam tikromis sąlygomis ateityje gali būti eksploatuojamas (Иодказис, 1989).

Kokiu pavidalu technogenezė beišryškėtų, jos plitimui ir rutuliojimuisi svarbiausias yra hidrogeologinės aplinkos uždaramas, lemiantis hidrodinaminės sąveikos tarp vandens apytakos sistemų aktyvumą. Teritorijose, kuriose nuosėdinė danga nėra stora, aslojančios vandensparos neryškios – antropogeniniai pažeidimai vienoje jų gali atsiliepti kitos zonos hidrodinaminiam ir hidrogeocheminiam pokyčiams (Pietrytinė Lietuvos dalis). Šitoje sistemoje antropogeninė invazija (giliųjų gręžinių gręžimas, naudingųjų iškasenų telkinių eksploatavimas) gali turėti pasekmių kaimyninių zonų išteklių ir vandens kokybei.

Vertikaliosios srūvos trukmę intensyvios ir ekstensyvios vandens apytakos zonose labai sutrumpina intensyvi požeminio vandens išteklių eksploatacija, kuri formuoja dideles lygio depresijas bei nemažus vandens apytakos gradientus. Net esant pakankamam dengiančių uolienu storiumui (20–40 m), filtracijos laikas čia dažnai neviršija 20 metų.

Antropogeninė invazija į dvi kitas giliausias zonas apčiuopiamą poveikį turės tik šių zonų hidrogeologinei aplinkai, išskyrus sūraus vandens prasiveržimą pro natūralias tektonines nedarnas (židiniai mineralinio vandens telkiniai) ir neteisingai įrengtus, likviduotus ar apleistus giliuosius gręžinius, iš kurių trykšta sūrus požeminis vanduo. Šilumos sistemose panaudotas terminis vanduo dėl aukštos mineralizacijos grąžinamas į vandeninguosius sluoksnius, todėl technogeniniai procesai turėtų lokalizuotai rutuliotis lėtos vandens apytakos zonoje ir nepaveikti kaimyninių zonų požeminio vandens hidrodinaminio, hidrocheminio ir šiluminio režimo.

Technogenezė yra sudėtingas litosferos pasikeitimo į kokybiškai naują būklę – technogeosferą – procesas. Dėl technogenezės evoliucionuoja litosferos viršutinės dalies kokybė (Плотников, 1989). Išskiriamos kelios geologinės aplinkos savybių ir kokybės evoliucijos stadijos: 1) pradinė, 2) brandos, 3) senėjimo (esminių pakitimų). Pradinėje stadijoje stebima silpna technogeninių procesų pasekmių raiška, ir jie nesudaro geologinei aplinkai esminio negatyvaus poveikio, pavyzdžiui, hidrogeotechnogeniniai procesai Lietuvoje, endogeninių veiksmų sukelti lėtos požeminio vandens apytakos zonoje (naftos, geoterminės energijos eksploatacija). Technogenezės brandos stadijoje vyksta esminiai geologinės aplinkos hidrogeologiniai ir inžineriniai geologiniai pokyčiai (šilumos ir masės mainai siekia dinaminės pusiausvyros), pavyzdžiui, požeminio vandens eksploatavimas, melioracija, žemės ūkio chemizavimas, urbanizacijos poveikis. Senėjimo stadijoje (stabili technogenezės forma) šilumos mainai yra technogeninėje dinaminėje pusiausvyroje, stabilizuojasi geologinė aplinka, jos būklė ir kokybė. Technogeniniai procesai šiuo metu turi esminį

poveikį aplinkai. Svarbiausias uždavinys yra tikslin-gas jų ir apskritai aptariamoms gamtinės-techninės sistemos valdymas.

Valdymas suprantamas kaip fizinis ir ūkinis poveikis tam tikrai gamtinei-socialinei sistemai, turint tikslą ją tvarkyti pagal objektyvius vystymosi dėsnius, kurie būtų panaudojami optimaliam sistemos funkcionavimui bei veiklos pagerinimui. Glaustai valdymą galima traktuoti kaip informacijos pavertimą optimaliu sprendimu (Systems approach, 1976). Gamtinių-techninių sąlygų analize paremta informacija leidžia prognozuoti nepalankiausias ūkio plėtros scenarijus, nustatyti hidrogeologinių sistemų (zonų) poveikio ir kaitos priežastinius ryšius bei svarbiausius veiksnius, lemiančius negatyvius pokyčius ir prognozuojamus rodiklius (paieškinius normatyvinius). Minėtą analizę tikslinga vykdyti trimis aspektais: nustatant 1) įvairių hidrolitosferos komponentų būklę, 2) gamtinį foną ir techninį poveikį, 3) įvykusių pokyčių pasekmes.

## IŠVADOS

Hidrogeologinių vandens apykaitos ir technogeninio pažeidžiamumo lygmens zonų išskyrimas gali būti pagrįstas: 1) diferencijuotai įvertinant hidrogeologinės aplinkos tvarumą ir technogenezės formavimosi ypatumus įvairiomis žmogaus ūkinės veiklos sąlygomis; 2) nustatant hidrogeotechnogenezės veiksmų ir procesų raiškos dėsningumus tipinėmis hidrogeologinėmis sąlygomis; 3) įvertinant požeminio vandens dinamikos ir cheminės sudėties kitimo tendencijas, taip pat kokybės išsaugojimo bei gerinimo būdus specifinės technogenezės sąlygomis; 4) įvertinant hidrogeotechnogenezės procesų plėtojimosi tendencijas ir jų poveikį tam tikrai aplinkai; 5) išskiriant svarbiausius hidrogeotechnogeninius procesus (hidrodinaminius, filtracinius, fizikinius-cheminius), jų raiškos dėsningumus, intensyvumą, plėtros tendencijas ir parengiant prognozavimo principus tam tikroms hidrogeologinėms sąlygoms; 6) parengiant požeminio vandens išteklių ir kitų skysčių nacionalinio valdymo planus.

## Literatūra

- Juodkasis V. 1979. Pabaltijo hidrogeologijos pagrindai. Vilnius: Mokslas. 144 p.
- Juodkasis V., Mikalauskas V. 1994. Požeminis vanduo. *Lietuvos geologija*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 334–338.
- Domaševičius A., Juodkasis V., Kadūnas K., Klimas A. 2002. Požeminio vandens naudojimo ir apsaugos 2002–2010 metų strategija. Vilnius, Lietuvos geologijos tarnyba. 83 p.
- Mažeika J. 1999. Radionuklidų migracijos ir transformacijos dėsningumai Lietuvos geologinėje aplinkoje. Habilitacijos daktaro darbo santrauka. Vilnius. 41p.

Mičiudienė V. 1991. Lietuvos hidrocheminis žemėlapis. Mastelis 1:500000. Rankraštis. Vilnius, TGF, LGI. 131 p.

Mokrik R. 1997. The paleohydrogeology of the Baltic basin. *Vendian & Cambrian*. Tartu. 138 p.

Systems approach to water management. 1976. Edited by Asist M. Biwas. By ME Grow – Hill, Inc. 392 p.

Банис Ю., Юодказис В. И., Мокрик Р. 1979. Региональные закономерности распределения радионуклида в подземных водах Прибалтийского артезианского бассейна. *Водные ресурсы*. 2. 110–116.

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

Барисас А. А., Игнатавичюс А. А. 1969. Подземный сток рек бассейна р. Нямунас в пределах Литовской ССР. *Труды Института геологии*. Вып. 10. Вильнюс. 5–26.

Диюнас И. П. 1973. Перспективы использования подземных вод речных долин Нямунас и Нерис. *Труды ЛитНИГРИ*. Вып. 22. Вильнюс: Минтис. 120 с.

Иодказис В. И. 1989. Региональная гидрогеология Прибалтики. Вильнюс: Моклас. 224 с.

Иодказис В. И., Палтанавичюс Ю. П. 1976. Оценка влияния слабопроницаемых отложений на формирование подземного стока Южной Прибалтики. *Тр. IV Всес. гидролог. съезда*. Ленинград: Госгеолтехиздат. 187–189.

Иодказис В. И., Зузявичюс А. П. и др. 1977. Региональная оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна. Вильнюс: ЛитНИГРИ. 1062 с. (рукопись).

Климас А. И. 1975. Гидрогеологические и гидрохимические условия пресных напорных вод Южной Прибалтики и прогноз их изменения под влиянием эксплуатации. Автореф. дис. Вильнюс: ВГУ им. В. Капсукаса. 23 с.

Кондратас Р., Игнатавичюс А. и др. 1969. Условия формирования подземных вод. *Гидрогеология СССР*. Том XXXII. Литовская ССР. Москва: Недра. 375 с.

Куделин Б. И. 1960. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. Москва: Изд. Московского университета. 344 с.

Лапинкас П. 1983. Коллекторские свойства силурийских карбонатных пород восточной части Балтийской синеклизы. *Региональные и локальные проблемы прогноза коллекторов*. Минск. 118–126.

Лашкова Л. Н. 1979. Литология, фации и коллекторские свойства кембрийских отложений Южной Прибалтики. Москва: Недра. 102 с.

Малинаускас З. 1991. Строение и состав межморенных комплексов плейстоцена. Вильнюс: Моклас. 128 с.

Сакалаускене Д. И. 1969. Динамические запасы и подземный сток грунтовых вод Литовской ССР. Вильнюс: Минтис. 61–65.

Швецов П. Ф. 1984. К системе гидрогеологических понятий. *Водные ресурсы*. 3. 91–95.

Плотников Н. Н. 1989. Техногенные изменения гидрогеологических условий. Москва: Недра. 268 с.

Jonas Diliūnas, Danutė Karvelienė, Gediminas Čyžius, Edmundas Jagminas

## EXPRESSION ENVIRONMENT OF TECHNOGENIC HYDROGEOLOGICAL FACTORS AND ITS SCHEMATIZATION

### Summary

The groundwater complex of sediment cover is schematised into four groundwater exchange zones in the aspect of technogenic vulnerability: intensive, extensive, slow-motion, and stagnant. This schematisation is based on real and possible groundwater hydrodynamic and hydrochemical regime vulnerability factors and hydrogeological conditions that could influence it. The characteristic most important for natural and technogenic processes is the velocity of water exchange (time) that could be described on a regional scale as the relation between groundwater storage (geological) and natural (groundwater flow) resources. The inverted dimension of this relation is called the coefficient of water circulation.

Groundwater storage was evaluated by formula (1). Groundwater age was employed to describe boundaries of groundwater exchange zones. Groundwater age has been well investigated in Lithuania by different methods (Иодказис, Палтанавичюс, 1976; Juodkazis, 1979; Банис, Иодказис и др., 1979; Mokrik, 1997; Mažeika, 1999). After mathematical calculation of these data, empiric formulas were calculated, which enable to prognosticate groundwater age, vertical filtration velocity through low permeable rocks. In order to establish the functional dependence between groundwater age and the depth of sediment rocks formulas (2) and (3) were calculated. To describe the role of aeration zone in the water exchange cycle, formula (4) for the calculation of precipitation filtration time to groundwater was used.

Groundwater exchange zones in the aspect of vulnerability are divided as follows (Fig. 3): the intensive exchange zone comprises shallow groundwater and first intertill aquifers, the extensive zone included the second intertill aquifer down to the bottom of the fresh groundwater aquifer, the slow-motion zone extends from the bottom of the fresh groundwater aquifer to the regional impermeable strata and the stagnation zone from regional impermeable strata to the crystalline basement. Characteristics of the zones are presented in Table 3.1.

The thickness of the *intensive groundwater exchange zone* is 80–100 m, most often 20–60 m, in the valleys of small rivers and in North Lithuania 10–20 m. Shallow and intertill groundwater exchange velocity difference is about 30 (shallow groundwater aquifer) and 200 (intertill aquifer) years. The velocity in the shallow groundwater aquifer is influenced by the time of precipitation infiltration through the aeration zone, which is 1–5 years in the territories covered with sand and gravel sediments, whereas in territories covered with clayey sediments (loam, sandy loam) the time of infiltration is 10–35 years.

The *extensive groundwater circulation zone* in the geological profile lies between the middle Quaternary till and fresh groundwater spreading bottom (mineralization 1 g/l). The average time of water exchange could be about 500–600 years.

Slow-motion groundwater exchange zone boundaries are between mineralization 1 g/l and 35 g/l. The thickness of this zone increases from the anticline slope towards the axis of the Baltic syncline where it reaches 500–700 m. The age of groundwater in the underneath part of the zone is about one million years.

The stagnant groundwater circulation zone starts beneath the Devonian Narva and Ordovician-Silurian regional impermeable strata. The thickest part of the zone is more than 1000 m (in West and Southwest Lithuania). The circulation time in the central part of the Baltic artesian basin could reach 2–4 million years.

Regarding the aspect of anthropogenic vulnerability, every zone of groundwater exchange has specific factors of technogenesis. In the intensive exchange zone there are huge resources of groundwater storage and the highest groundwater flow (Table 3). The potential resources comprise more than 58% of all resources of that category. At present, 46% of all supplied groundwater is extracted from this zone. This zone is influenced by different human factors, which act on the surface of the lithosphere and through it influence groundwater.

The main technogenic impact on the extensive groundwater exchange zone is exerted by groundwater extraction for municipal needs. The main technogenic invasion factor for the slow-motion groundwater exchange zone is extraction of mineral water, which is very low compared with the investigated resources (Table 3). The main resources in the stagnation groundwater exchange zone are oil and thermal water. Both zones are prospective for producing low potential (to 20 °C) thermal energy.

Separation of hydrogeological water exchange and technogenic vulnerability zones could be the basis for: 1) evaluation of the stability of hydrogeological environment and of the formation of technogenous peculiarities concerning the different conditions of human activities; 2) establishment of the regularities of hydrotechnogenous factors and processes; 3) preparation of national regulations for the management of groundwater resources and other fluids.

**Йонас Дилюнас, Дануте Карвялене,  
Гядиминас Чижюс, Эдмундас Ягминас**

## **ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ПРОЯВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ И ЕЕ СХЕМАТИЗАЦИЯ**

### **Резюме**

Осадочный водоносный комплекс по условиям техногенной нагрузки схематизируется по 4 зонам водообмена: интенсивного, осложненного, замедленного и медленного. Такая схематизация основана на естественных и нарушенных условиях гидродинамического и гидрохимического режима, а также на гидрогеологических условиях, которые могут меняться под влиянием техногенных нарушений. Важная характеристика формирования природных и техногенных процессов – скорость водообмена, которая в региональном масштабе может быть охарактеризована как соотношение статических (геологи-

ческих) и динамических (подземный сток) ресурсов подземной воды. Обратная величина соотношения называется коэффициентом круговорота воды (Куделин, 1960).

Статические (геологические) запасы подземной воды (за исключением упругих) оценены по формуле (1). Оценка границ между различными зонами водообмена выполнена с использованием данных по определению возраста радиоизотопными методами (Иодказис, Палтанавичюс, 1976; Juodkazis, 1979; Банис, Иодказис и др., 1979; Mokrik, 1997; Mažeika, 1999). После математической обработки этих данных получены эмпирические формулы, с помощью которых возможно прогнозирование возраста подземной воды и вертикальной фильтрации через слабопроницаемые слои в зависимости от глубины залегания водоносных горизонтов (формулы (2) и (3)). Оценки роли зоны аэрации в цикле водообмена произведены с помощью формул, которые используются для определения времени фильтрации атмосферных осадков до уровня грунтовых вод (формула (4)).

С точки зрения оценки техногенных нарушений водообменные литосистемы (зоны) расчленены следующим образом (рис. 3): зона интенсивного водообмена охватывает грунтовый и первый межморенный водоносные горизонты, зона осложненного водообмена – от второго межморенного водоносного горизонта до границы пресной воды, зона замедленного водообмена – от границы пресных вод до региональных водоупоров, зона медленного водообмена – от региональных водоупоров до кристаллического фундамента. Характеристика зон представлена в таблице 1.

Мощность зоны интенсивного водообмена достигает 80–100 м, часто – 20–60 м, в долинах мелких рек и на севере Литвы – 10–20 м. Скорость водообмена в области распространения грунтовых вод достигает 30 лет, межслоевых – 200 лет. Скорость водообмена на территориях, где преобладают песчано-гравийные отложения, время инфильтрации через зону аэрации не превышает 1–5 лет, глинистые породы (суглинки, супеси) – до 10–35 лет. Зона осложненного водообмена в разрезе выделена между мореной среднечетвертичных отложений и границей распространения пресновидных подземных вод (минерализация – 1 г/л). Время водообмена – в среднем до 500–600 лет. Зона замедленного водообмена выделена между границами с минерализацией воды от 1 г/л до 15 г/л. В направлении от склона антеклизы к оси Балтийской синеклизы мощность этой зоны – до 500–700 м. Возраст подземных вод в нижней части зоны достигает 1 миллиона лет. Зона медленного водообмена начинается от нижнедевонских и ордовикосилурийских региональных водоупоров, ее максимальная мощность (> 1000 м) – в западной и юго-западной частях Литвы (рис. 4). В центральной части Балтийского артезианского бассейна время водообмена порядка 2 млн. лет.

При техногенной нагрузке каждой зоне водообмена свойственны характерные процессы и явления. В зоне интенсивного водообмена сосредоточены огромные статические (геологические) запасы подземной воды, здесь формируется наибольший подземный сток (таблица 3). Потенциальные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод превышают 58% от общих, в настоящее время из этой зоны отбирается около 46% всей питьевой воды. С рассматриваемой зоной связаны все сферы деятельности человека, которые влияют на поверхность литосферы, а через нее и на подземную воду.

В зоне осложненного водообмена важнейшим источником техногенной нагрузки является эксплуатация подземной воды для городского водоснабжения. В зоне замедленного водообмена фактором технотечной инвазии является добыча натуральной

минеральной воды, которая по сравнению с разведочными запасами (<1,5%) весьма незначительна (таблица 3). В зоне медленного водообмена основным жидким полезным ископаемым являются нефть и термальная вода. В двух последних зонах водообмена для производства низкопотенциальной (до 20°C) тепловой энергии являются перспективными прочие водоносные горизонты и комплексы.

Выделение гидрогеологических зон водообмена с учетом возможных техногенных нарушений может служить основой: 1) для оценки устойчивости геологической среды и особенностей формирования техногенеза в различных областях хозяйственной деятельности; 2) для выявления закономерностей явлений и процессов гидрогенеза; 3) для подготовки планов национального управления ресурсами подземной воды и других флюидов.