

URBANIZUOTŲ TERITORIJŲ TECHNOGENINIS POVEIKIS POŽEMINIO VANDENS REŽIMUI

Algirdas Klimas

*UAB „Vilniaus hidrogeologija“, J. Basanavičiaus g. 37-1, LT-03223, Vilnius
El. paštas: vh@mail.itl.lt*

Algirdas Zuzevičius, Jonas Diliūnas, Gediminas Čyžius

*Geologijos ir geografijos institutas, T. Ševčenkos g. 13, LT-03223, Vilnius
El. paštas: info@geo.lt*

Įvadas

Miestai, koncentruotos žmonių gyvenamos ir ūkinės veiklos centrai, neišvengiamai veikia, dažniausiai neigiamai, visas gamtines sferas, taigi ir požeminę hidrosferą (Chilton et al., 1997). Urbanizacijos poveikis požeminei hidrosferai yra nevienareikšmis – pirmiausia miestai teršia požemį, sparčiausiai seklių, nuo taršos neapsaugotą gruntinį vandenį. Ilgainiui tarša, nors ir susilpnėjusi bei transformuota, pasiekia ir giliuosius gėlo požeminio vandens sluoksnius. Dėl gėlo požeminio vandens eksploatavimo miesto vandenvietėse ir aplink jas susidaro vandens lygio depresijos piltuvai, kuriuose kaupiasi taršalai (Klimas, 1999b). Kita vertus, miestuose dėl vandens ir nuotekų nutekėjimo iš vamzdinių tam tikromis sąlygomis gali susidaryti gruntinio vandens patvanka.

Beveik visų šių technogeninių veiksnių poveikis požeminio vandens režimui Lietuvos miestuose pradėtas tirti dar šeštame septintame praeito amžiaus dešimtmečiuose (Микалаускас, 1976; Kondratas, 2001). Konstatavus kad seklius, gruntinis, vanduo miestuose jau tada beveik visur buvo užterštas, vėliau apsiribota specialaus monitoringo organizavimu Vilniuje, Kaune, Šiauliuose (Иодказис и др., 1987). Požeminio vandens būkle urbanizuotose teritorijoje vėl susirūpinta po 1990 metų, ypač Lietuvos geologijos tarnybai 1993 m. inicijavus specialią urbanizuotų teritorijų hidrogeologinių tyrimų programą (Klimas, Šleinius, 1994; Giedraitis ir kt., 1994; Klimas, 1995a). Detalus tyrimai buvo atlikti didžiuosiuose Lietuvos miestuose – Šiauliuose, Vilniuje, Kaune, Alytuje (Klimas, 1995b, 1996a, 1997, 1998; Klimas ir kt., 1995; Čyžius, 2000, 2002; Diliūnas, Čyžius, 2000; Diliūnas ir kt., 2000), taip pat tyrinėta požeminio vandens būklė mažesniuose respublikos miestuose – Tauragėje, Jonavoje, Jurbarko, Varėnoje (Klimas, 1999a). Nedidelės apimties tokie tyrimai pagal *Litosferos* programą atlikti 2003 m. Mažeikiuose, Joniškėje, kontroliniai tyrimai – Vilniuje ir Šiauliuose. Tad šiuo metu yra informacijos apie požeminio, anksčiau menkai tyrinėto, gruntinio vandens būklę 12 šalies miestų (Klimas, 2002a). Turint tokių duomenų galima padaryti kai kurias išvadas.

1. Tyrimų metodika

Požeminio vandens lygio ir cheminės būklės režimas urbanizuotose teritorijose priklauso nuo gamtinių ir antropogeninių veiksnių. Tarp pirmųjų svarbūs tokie fiziniai geografiniai veiksniai, kaip klimatas, orografija ir hidrografija, kai kurie geologiniai hidrogeologiniai veiksniai, o tarp

antrųjų – aplinkos tarša ir požeminio vandens eksploatavimas (Klimas, 1994). Gamtiniai ir antropogeniniai veiksniai inicijuoja arba suaktyvina nemažai hidrodinaminių ir hidrobiogeocheminių procesų, kurių įvairios kombinacijos lemia požeminio vandens hidrodinaminę ir hidrocheminę būklę. Jai įvertinti sukurta speciali metodika, kurios svarbiausios sudėtinės dalys yra šios:

- kompiuterinių duomenų bankų formavimas;
- kontroliniai tyrimai;
- miestų teritorijų specialus kartografavimas;
- taršos migracijos procesų modeliavimas.

Visi požeminio vandens tyrimai yra brangūs, nes pirmiausia šiam tikslui reikalingi geržiniai ar šuliniai, kuriuose galėtume matuoti vandens lygį, ir iš kurių imami vandens pavyzdžiai tyrimams. Kita vertus, vandens cheminės analizės brangiai kainuoja. Be to, net ir geriausiai atvejais tiriamuosiuose miestuose galima rasti ar įrengti tik kelis ar keliolika tokių tyrimo vietų, iš kurių neįmanoma nustatyti požeminio vandens hidrodinaminės ar cheminės būklės dėsningumų tokiose technogeniniuose, kartais – ir gamtiniuose atžvilgiu sudėtingose teritorijose, kaip miestai.

Todėl jau senokai buvo nuspręsta šiems tikslams pasitelkti du pagrindinius jau esamos informacijos miestuose šaltinius: 1) geržiamus praktiškai kiekvieno pastato statybai inžinerinių geologinių tyrimų geržinius, kuriuose ne tik matuojamas gruntinio vandens lygis, bet neretai tiriama ir vandens cheminė sudėtis; 2) higienos tarnybų tam tikra tvarka atliekamų šachtinių šulinių vandens tyrimų duomenis. Kaip rodo praktika, kiekviename mieste galima rasti daug duomenų apie gruntinio vandens lygį ir cheminę sudėtį. Tačiau visa ši informacija yra labai marga, ne visada patikima, o svarbiausia – nevienalaikė: dažniausiai tai yra per kelis dešimtmečius sukaupti duomenys. Todėl kilo klausimas, ar jais galima naudotis vertinant gruntinio vandens būklę miestuose (Klimas, 1996a; 1997). Paaiškėjo, kad duomenis apie gruntinio vandens lygį galima naudoti tik vandens tėkmės struktūros suvokimui, bet ne režimo analizei. Tam reikalingi daugiamečiai gruntinio vandens lygio stebėjimai. Tačiau palyginus šią medžiagą su prieš kelis dešimtmečius atliktų specialių hidrocheminių tyrimų duomenimis įsitikinta, kad taršos anomalijos miestuose yra gana stabilios tiek laiko, tiek erdvės atžvilgiu: 1) jos visada yra beveik tose pačiose vietose (pvz., pramonės rajonai, senamiesčiai); 2) taršos lygis jose ilgainiui mažai keičiasi (žr. autorių kitą straipsnį šiame leidinyje). Todėl minėti duomenų bankai yra pagrindinis informacijos apie gruntinio vandens cheminę būklę tyrinėjant miestuose šaltinis.

Šias išvadas patvirtino beveik visuose tyrinėjant miestuose atlikti įvairios apimties kontroliniai tyrimai, tarp jų ir Geologijos ir geografijos instituto 2003 m. padaryti nedidelės apimties kontroliniai tyrimai Vilniuje, Šiauliuose, Mažeikiuose ir Joniškėje (žr. toliau).

Gruntinio vandens cheminės būklės ypatyboms miestuose atskleisti ir jai susieti su svarbiausiais technogeniniais režimo veiksniais vėlgi buvo parengta speciali metodika, primenanti GIS technologijas (Klimas, 1998, 1999a, 2002a). Jos esmė būtų ta, kad sudarant specialius urbanizacijos, geologinės hidrogeologinės situacijos ir gruntinio vandens cheminės sudėties žemėlapius bei juos dedant vieną ant kito, gruntinio vandens cheminę būklę susiejama su technogenine apkrova ir miesto geologinio pjūvio viršutinės dalies hidrogeologinėmis sąlygomis.

Miestų poveikis gilesniems vandeningiems sluoksniams atkuriamas ir po to prognozuojamas specialiuose erdviniuose modeliuose, o vertinamas pagal esamų monitoringo ar eksploatacinių geržinių duomenis (Gregorauskas, 1999).

2. Tyrimų rezultatai

Per pastarąjį dešimtmetį susikaupė nemažai duomenų apie požeminio, ypač gruntinio, vandens būklę įvairaus didumo Lietuvos miestuose (1 lent.). Jau minėjome, kad tai – labai nevienalytė informacija, tačiau ir iš jos galima susidaryti gana objektyvią nuomonę apie požeminio, pirmiausia – gruntinio, vandens būklę ne tik tyrinėtuose šalies miestuose, bet ir urbanizuotose teritorijose apskritai. Pasitikrinimui galima pasitelkti ir nedidelės apimties kontrolinių tyrimų duomenis.

1 lentelė. Kai kurie tyrinėtų miestų duomenys.
Table 1. Some data about investigated cities.

Miestas <i>City</i>	Gyventojų skaičius, tūkst. <i>Population, thou.</i>	Plotas, km ² <i>Area, km²</i>	Duomenų bankai / <i>Data bases</i>		
			gręžinių skaičius <i>number of boreholes</i>	šulinių skaičius <i>number of dug wells</i>	analizių skaičius <i>number of analyses</i>
Vilnius	590	287	88	145	553
Kaunas	420	121	2238		2468
Šiauliai	146	69,33	405	110	549
Panevėžys	132	29,78	500	87	1693
Alytus	77	33,5	218	268	1022
Mažeikiai	46,6	13	–	7	7
Joniškis	34	9	–	1	1
Tauragė	30	14	187	541	853
Jonava	26	10,64	74	430	815
Druskininkai	20	22	27	106	629
Varėna	15	12,7	47	59	380
Jurbarkas	7	12	263	129	513

Kad urbanizuotos teritorijos normaliai funkcionuotų ir būtų išvengta konfliktinių situacijų, svarbu žinoti du pagrindinius gruntinio vandens būklės rodiklius: 1) slūgsojimo gylį ir 2) cheminę sudėtį, t.y. vandens tinkamumą gėrimui ir galimą poveikį statiniams (agresyvumą betonui ir pan.). Dėl nepakankamo gruntinio vandens slūgsojimo gylio miestuose komplikuojasi statybos, o gruntinio vandens patvankos reiškiniai neretai apsunkina ar pabrangina jau esamų statinių eksploatavimą.

Gruntinio vandens patvanka susidaro veikiant dviem veiksniams: 1) susidarantis didelis papildomas gruntinį vandenį maitinančio vandens kiekis; 2) silpnas teritorijos drenuotumas. Pirmasis veiksnys miestuose veikia beveik nuolatos – net oficialiai yra priimta skaičiuoti, kad vandens nuostoliai iš požeminių vandentiekio, kanalizacijos ir kitų vamzdinių miestuose sudaro ne mažiau kaip 20% cirkuliuojančio juose vandens kiekio. Šiuolaikiniame mieste šis kiekis gali kelis kartus viršyti natūralios gruntinio vandens infiltracinės mitybos dydį. Lietuvos miestai, tikriausiai, nėra išimtis (Šulga, Kisielis, 1999). Tačiau mūsų miestams gruntinio vandens patvankos reiškiniai nėra būdingi, pirmiausia dėl to, kad viršutinę geologinio pjūvio dalį juose dažniausiai sudaro gana laidūs vandeniui ledyno ir jo tirpsmo vandenų sukloti gruntai – smėlis, žvirgždas. Be to, beveik visur pagrindinės vandenvietės tradiciškai yra pačiuose miestuose ir jos sukuria gruntinio vandens lygio depresijas. Todėl neretai mūsų miestuose ar jų pakraščiuose formuojasi atvirkščias minėtajam reiškinys – supelkėjusių vietų nusausėjimas aplink veikiančias

vandenvietes. Tokie reiškiniai yra akivaizdūs, pavyzdžiui, Panevėžyje, Marijampolėje (Klimas, 1999b).

Vis dėlto tam tikromis sąlygomis kai kuriuose šalies miestuose nustatyta ir gruntinio vandens patvankos reiškiniai. Pavyzdžiui, prieš kelerius metus plačiai diskutuota dėl Vilniaus arkikatedros rūsių užtvindymo. Kadangi gruntinio vandens lygis čia buvo stebėtas tik 1969–1970 ir 1998–1999 metais, o senų monitoringo gręžinių neišliko, nustatėme gruntinio vandens lygio skirtumus artimiausiose senų ir naujų gręžinių porose (2 lent.). Nors kruopštūs tyrimai atskleidė nemažai gruntinio vandens lygio kilimo priežasčių (pvz., senojo drenažo sistemos defektai, mažesnis Sereikiškių vandenvietės debitas ir pan.), tarp jų figūruoja ir gruntinio vandens patvanka.

2 lentelė. Gruntinio vandens lygis monitoringo gręžiniuose Vilniaus arkikatedros rajone.

Table 2. Shallow groundwater table in the observation wells in the area of Vilnius Cathedral.

Stebėjimų vieta <i>Observation site</i>	Gręžinių poros, Nr. <i>Pairs of wells, No</i>	Stebėjimo metai <i>Years</i>	Gruntinio vandens lygis, m <i>Groundwater table, m</i>	
			abs. a. <i>altitude</i>	lygio skirtumas <i>table differences</i>
Ties paminklu Mindaugui <i>At the monument to King Mindaugas</i>	181	1969	87,7	+1,1
	2402	1999	88,8	
Arkikatedros šiaur. pusė <i>Northern side of the Cathedral</i>	190	1969	88,7	+ 1,7
	2406	1999	90,4	
Ties paminklu Gediminui <i>At the monument to Gediminas</i>	184	1969	88,4	+ 2,3
	2405	1999	90,7	

Nedidelio masto panašūs reiškiniai nustatyti Šiauliuose, Tauragėje. Žinoma, dėl sudėtingos gruntinio vandens srauto struktūros ir palyginti nedidelio patvankos masto kartais patvanką sunku identifikuoti. Pavyzdžiui, Tauragėje ją „išduoda“ tik gruntinio vandens srauto tėkmės kryptimi nenormaliai ištįsę hidroizohipsių „liežuviai“ (1 pav.).

Žymiai didesnę mastą Lietuvos miestuose yra įgavę gruntinio vandens taršos reiškiniai. Apie juos tam tikrą vaizdą tyrinėtuose miestuose galima susidaryti net iš bendrosios gruntinio vandens cheminės sudėties rodiklių vidurkinių reikšmių, pateiktų 3 lentelėje.

Net iš labai apibendrintų 3 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad miestuose gruntinis vanduo yra labiausiai užterštas azoto junginiais (nitratais ir amoniu) bei neoksiduota organine medžiaga, kurios lengvai oksiduojamą dalį rodo permanganato skaičius (Juodkazis et al., 2003). Mažesnės už DLK, tačiau gerokai padidėjusios yra chloridų, sulfatų koncentracijos. Daugiausia dėl organinės medžiagos oksidacijos, angliarūgštės susidarymo ir jos sąveikos su karbonatingais gruntais bei betoniniais miesto statiniais gruntiniame vandenyje yra 2–3 kartus padidėjusi hidrokarbonatų koncentracija, vanduo aiškiai pašarmėjęs (pH>7). Dėl padidėjusių minėtų anijonų verčių akivaizdžiai išaugusi ir bendroji gruntinio vandens mineralizacija.

Palyginus 1 ir 3 lentelių duomenis matyti, kad didesniuose miestuose gruntinis vanduo dažniausiai yra labiau užterštas. Tiesa, toks lyginimas nėra visai korektiškas, nes, pavyzdžiui, Mažeikiuose ir Joniškėje padarytos tik kelios kontrolinės analizės, o kituose miestuose



1 pav. Gruntinio vandens patvankos plotas Tauragėje: 1 – gruntinio vandens hidroizohipsės, m; 2 – patvankos plotas; 3 – gruntinio vandens tėkmės kryptis; 4 – miesto riba.

Fig. 1. Area of elevated shallow groundwater table in Tauragė: 1 – groundwater isohypses, m; 2 – area of risen groundwater table; 3 – flow direction; 4 – city bound

3 lentelė. Kai kurių gruntinio vandens cheminės sudėties rodiklių vidurkinės vertės Lietuvos miestuose (Klimas, 2002a; Čyžius, 2000).

Table 3. Median values of some shallow groundwater chemical composition indices in Lithuanian cities (Klimas, 2002a; Čyžius, 2000).

Miestas City	Gruntinio vandens cheminės sudėties rodiklio vertė, mg/l Median values of some groundwater chemical composition indices									
	BM	BK	pH	PS	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺
Vilnius	715	8,5	7,47	4,7	76	75	406	59	0,2	1,15
Kaunas	845	10,8	7,27	5,8	92	150	480	41	–	0,46
Šiauliai	910	12,5	7,3	4,7	150	187	544	46,5	0,19	1,61
Panevėžys	959	11	7,4	5	101	137	493	72,6	0,04	1,85
Alytus	679	8,75	7,1	6,9	40	72	422	57	0,7	1,05
Mažeikiai	1016	15,4	–	5,0	159	163	455	33	0,18	0,25
Joniškis	1167	5,6	–	1,7	148	181	610	35,4	0,025	0,55
Tauragė	583	8,4	7,3	4,6	93	93	365	76	0,05	0,56
Jonava	676	8,6	7,4	3,8	105	105	417	59,4	0,2	0,63
Druskininkai	500	7,4	7,4	3,3	72	72	372	33	0,102	0,62
Varėna	401	5,5	7,4	2,5	45	50	274	21	0,023	0,34
Jurbarkas	815	8,7	7,7	4,4	60	70	410	115	0,13	0,24
DLK				5	250	250		50	0,5	0,5

Pastaba: BM – bendroji mineralizacija, BK – bendrasis kietumas, mg/l, PS – permanganato skaičius, mg/IO₂, DLK – didžiausia leidžiama koncentracija pagal HN 24:2003, patamsintos viršijančios DLK geriamame vandenyje rodiklių vertės / **Note:** BM – total mineralisation, BK – total hardness, PS – permanganate number, mg/IO₂, DLK – highest admissible concentration for potable water according to HN 24:2003, shaded values exceed the DLK for potable water.

vidurkinės rodiklių vertės apskaičiuotos ne mažiau kaip iš kelių šimtų analizių. Ankstesnių metų tyrimų rezultatai Lietuvos miestuose parodė, kad gruntinio vandens užterštumo lygį, be miesto didumo, dar lemia gruntinio vandens sluoksnio uolienu tipas (smėlis, priemolis, priemolis, durpės) ir urbanizacijos pobūdis (Klimas, 1997, 2002a; Čyžius, 2000, 2002). Tai akivaizdžiai matyti iš 4, 5 lentelių.

4 lentelė. Gruntinio vandens cheminės sudėties sietis su vandeningų gruntų tipu Kaune (Čyžius, 2000).

Table 4. Dependence of shallow groundwater chemical composition on the type of aquiferous layer in Kaunas (Čyžius, 2000).

Gruntai <i>Soil</i>	Vidurkinės rodiklių vertės, mg/l / Median values										
	BM	BK	PS	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Žvyras <i>Gravel</i>	844	9,8	6,2	77	125	450	49,4	0,83	69	131	47
Smėlis <i>Sand</i>	688	10,3	4,4	101	142	431	41,7	0,23	301	135	45
Priemolis <i>Loam</i>	940	12,3	7,5	91	191	534	21,3	0,43	70	160	53
Molis <i>Clay</i>	851	12,5	7,8	82	165	558	22,5	0,19	72	155	58
Durpės <i>Peat</i>	606	10,9	31,5	93	165	504	24,1	1,71	56	122	50

Žr. pastabą po 3 lentelę / See note of Table 3.

5 lentelė. Gruntinio vandens cheminės sudėties sietis su urbanizacijos pobūdžiu Šiauliuose (Klimas, 2002a).

Table 5. Dependence of shallow groundwater chemical composition on the character of urbanization in Šiauliai (Klimas, 2002a).

Urbanizacijos pobūdis <i>Character of urbanization</i>	Vidurkinės rodiklių vertės, mg/l / Median values										
	BM	BK	PS	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Pramonės rajonai <i>Industrial areas</i>	908	12,0	4,9	192	222	542	38	1,2	56	160	56
Nauji gyvenamieji rajonai <i>Residential areas (new)</i>	829	11,8	5,1	86	145	517	51	1,1	68	157	48
Seni gyvenamieji rajonai <i>Residential areas (old)</i>	722	10,6	2,9	81	88	505	57	0,1	58	147	38

Žr. pastabą po 3 lentelę / See note of Table 3.

Iš 4 lentelės matyti, kad apskritai gruntinis vanduo yra labiau mineralizuotas ir užterštas moliuose gruntuose. Priemoliuose, moliuose ir ypač durpėse šis vanduo turi daugiau organinės medžiagos (rodo permanganato skaičius) ir amonio. Tačiau akivaizdu, kad ir žvyre gruntinis vanduo yra nešvarus, ir apskritai gruntinio vandens cheminė sudėtis sietis su vandeningais gruntais yra silpna. Taip yra dėl to, kad ji kur kas labiau priklauso ne nuo gamtinių veiksnių, šiuo atveju geologinių sąlygų, bet, kaip matyti iš 5 lentelės, yra gana glaudžiau susijusi su tokiu apibendrintu technogeniniu veiksniu, kaip urbanizacijos pobūdis. Taigi labiausiai gruntinis vanduo yra užterštas pramonės rajonuose, tačiau organine medžiaga ir azoto junginiais jis yra labiau užterštas gyvenamuosiuose rajonuose (5 lent.). Yra duomenų, kad naujuose gyvenamuosiuose rajonuose taršos židiniai dažniausiai yra vamzdiniai, o senuose – antisanitarinės gyvenimo sąlygos ir apskritai tokių rajonų būklė.

Apie gruntinio vandens cheminę būklę miestuose, kaip matyti, dažniausiai tenka spręsti iš šachtinių šulinių ar geotechninių gręžinių duomenų. Geriausiu atveju jie apibūdina tik tą vietą, kurioje yra įrengti, ir artimiausias jos prieigas. Daug didesnę teritoriją apibūdina šaltiniai, neretai drenuojantys kelių kvadratinį kilometrų plotą ir parodantys apibendrintą gruntinio vandens cheminę būklę tokiam plote. Kelių tokių šaltinių Vilniuje kontrolinių tyrimų, atliktų 2003 m., duomenys pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Gruntinio vandens cheminė sudėtis kai kuriuose Vilniaus šaltiniuose.

Table 6. Shallow groundwater chemical composition in some Vilnius springs.

Analitė <i>Analysed index</i>	Analitės raiškos vienetas <i>Dimension</i>	Šaltiniai / Springs		
		Nr. 1, Maironio g., žemiau bažnyčios <i>No 1, Maironis str., downstreet from the church</i>	Nr. 2, Maironio g., transporto žiedas <i>No 2, Maironis str., roundabout</i>	Ožkiniai, sodai <i>Ožkiniai, gardens</i>
Bendroji mineralizacija <i>Total mineralisation</i>	mg/l	951	1011	485
Bendrasis kietumas <i>Total hardness</i>	mg-ekv/l	10,2	9,98	6,19
Permanganato skaičius <i>Permanganate number</i>	mg/lO ₂	4,0	1,66	0,539
Cl ⁻	mg/l	49,2	94,9	28,1
SO ₄ ²⁻	mg/l	73	88,3	27,6
HCO ₃ ⁻	mg/l	512	537	244
NO ₃ ⁻	mg/l	73,1	35,8	66,4
NH ₄ ⁺	mg/l	0,272	0,046	0,01
P/PO ₄ ³⁻	mg/l	3,22	0,443	0,02
P _Σ	mg/l	5,58	0,506	0,031
Ca ²⁺	mg/l	128	112	88
Mg ²⁺	mg/l	46,2	53,5	21,8
Na ⁺	mg/l	34,6	77,3	7,5
K ⁺	mg/l	31,5	12,7	1,42
Fe ²⁺	mg/l	0,027	0,014	0,013
Fe ³⁺	mg/l	0,019	0,017	0,005

Iš 6 lentelės duomenų aiškiai matyti, kad iš šaltinių, esančių mieste, teka gerokai užterštas požeminis vanduo. Nemaži nitratų ir maži geležies, amonio ir organinės medžiagos kiekiai šiame vandenyje (2 ir 3 šaltinių vandens permanganato skaičius) rodo, kad jis yra gruntinio horizonto vanduo, susiformavęs oksidacinėje aplinkoje. Maironio gatvėje esančių šaltinių vandenyje yra nepaprastai daug fosforo, todėl galima tvirtinti, kad jame susidariusi didelė kanalizacinio vandens priemaiša. Tą patį rodo ir gana didelės kalio koncentracijos. Daug švaresnis šaltinio, tekančio iš sodų Ožkiniuose, vanduo. Tačiau ir jame yra neleistinai daug nitratų.

Lietuvos miestuose gana detalai tyrinėta gruntų tarša metalais, ypač sunkiaisiais (Kadūnas, 1998; Kadūnas ir kt., 1999). Tačiau netgi visiškai negiliai slūgsančiame gruntiniame įvairių šalies miestų vandenyje dažniausiai nustatytos tik foninės šių metalų koncentracijos, nes dauguma metalų oksidacinėje, pašarmėjusioje aplinkoje, vyraujančioje gruntiniame vandenyje, jonų forma negali migruoti. Be to, metalus puikiai sorbuoja įvairūs, ypač molingi, gruntai. Todėl sunkieji, toksiški metalai tik specifinėmis sąlygomis gali būti technogeninės taršos indikatoriai. Padidėjusias jų koncentracijas esame aptikę, pavyzdžiui, Alytuje, šalia metalo gamyklos „Astra“, turėjusios praeityje galvanikos cechą (7 lent.). Kai kurios iš šių koncentracijų netgi viršija DLK. Tačiau 6 lentelėje parodytuose gana stipriai užterštuose Vilniaus šaltiniuose tų metalų koncentracijos yra menkos.

7 lentelė. Kai kurie sunkiųjų ir kitų metalų kiekiai jais užterštame gruntiniame vandenyje.

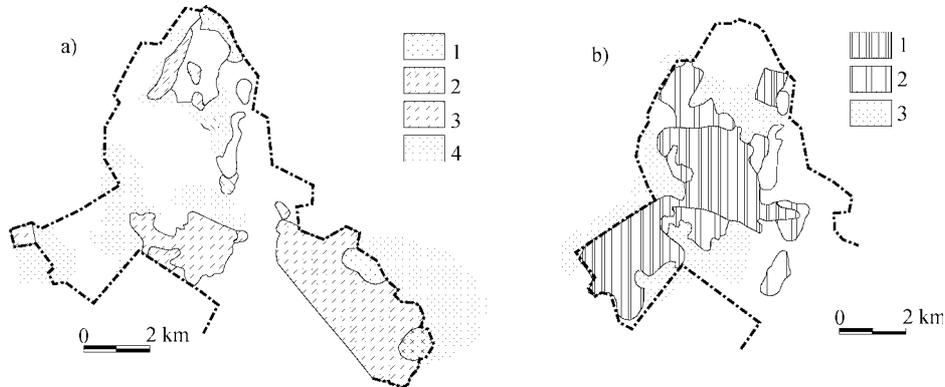
Table 7. Some heavy and other metals in the polluted shallow groundwater.

Miestas, vandens šaltinis <i>City, groundwater source</i>	Koncentracijos, µg/l / Concentration						
	Pb	Ni	Cd	Cr	Cu	Zn	Mn
Alytus, šuliniai ir gręžiniai ties „Astros“ gamykla <i>Alytus, wells at „Astra“ plant</i>	8	34	0,8	78	101	–	1740
Vilnius, šaltinis Nr. 1 <i>Vilnius, spring No 1</i>	0,51	1,54	0,0	1,43	2,8	5	15
Vilnius, šaltinis Nr. 2 <i>Vilnius, spring No 2</i>	0,62	1,56	0,0	2,65	0,7	25	8
DLK	25	20	5	50	2000	–	50

Atlikus kai kurių miestų gruntinio vandens bendrosios cheminės sudėties rodiklių verčių faktorinę analizę paaiškėjo, kad pramonės rajonams būdingos padidėjusios bendrosios mineralizacijos, bendrojo kietumo, sulfatų, chloridų, kalcio vertės, o gyvenamiesiems rajonams – padidėjusios permanganato skaičiaus, amonio, nitratų, nitritų ir hidrokarbonatų vertės (Klimas, 1997, 2002a). Pramonės zonos gruntiniame vandenyje taip pat padidėjusios metalų (švino, nikelio, mangano, geležies ir kt.) koncentracijos (Diliūnas, Čyžius, 2000; Diliūnas ir kt., 2000). Todėl pirmosios rodiklių grupės verčių anomalų padidėjimą reikėtų sieti su pramonės, o antrosios – su komunaline–buitine gruntinio vandens tarša.

Tokiomis sąlygomis galima ne tik identifikuoti gruntinio vandens taršos židinius miestuose, juos susieti su konkrečiais teršimo šaltiniais, bet ir išryškinti taršos migracijos iš tokių židinių zonas. Faktorinės analizės išryškintas pramoninės ir komunalinės–buitinės taršos anomalijas sutapatinus su miestų industriniais ir gyvenamaisiais rajonais buvo nustatyta, kad anomalijos yra kiek didesnės už pačius taršos židinius, o svarbiausia – jos yra „pasislinkusios“ gruntinio vandens srauto tėkmės kryptimi (Klimas, 1996a). Todėl tokius „pasislinkusius“ plotus

pavadinome taršos migracijos zonomis. Tipiškas tokių taršos ir taršos migracijos zonų pavyzdys parodytas 2 paveiksle.



2 pav. Gruntinio vandens taršos ir jos migravimo plotai Šiauliuose: a – pramoninė tarša (1 – didelė, 2 – vidutiniška, 3 – silpna, 4 – taršos migravimo plotai), b – komunalinė–buitinė tarša (1 – nauji gyvenamieji rajonai, 2 – seni gyvenamieji rajonai, 3 – taršos migravimo zonos).

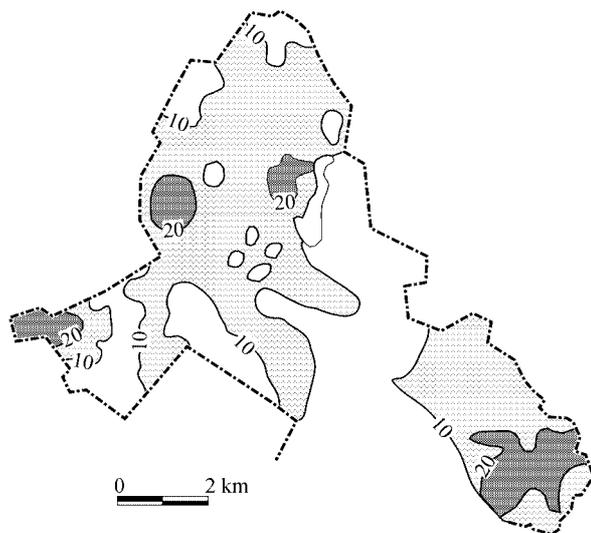
Fig. 2. *Shallow groundwater pollution and its migration areas in Šiauliai: a – industrial pollution (1 – high, 2 – average, 3 – low, 4 – pollution migration areas), b – communal-domestic pollution (1 – new residential areas, 2 – old residential areas, 3 – pollution migration areas).*

Nustatant gruntinio vandens taršos anomalijas miestuose ir ypač modeliuojant užteršto gruntinio vandens poveikį gilesniems vandeningiesiems sluoksniams pasitelkta metodika, detaliau aprašyta kitame autorių šiame leidinyje publikuojamame straipsnyje. Mat labai dažnai vienu gruntinio vandens cheminės sudėties rodiklių vertės dėl įvairių priežasčių yra padidėjusios viener, kitų – kitur. Todėl tokiais atvejais tikslinga pasitelkti vadinamąjį suminių koncentracijos arba suminių anomalingumo koeficientų metodą (Klimas, 1996a; Čyžius, 2000). Šios metodikos praktinis taikymas demonstruojamas Šiaulių miesto pavyzdžiu.

Iš kompiuterinio duomenų banko kiekvieno taško, kuriame turėta gruntinio vandens cheminė analizė, ir kiekvieno jos rodiklio skaičiuotas koncentracijos koeficientas, imant faktinių rodiklių verčių santykį su foninėmis tų rodiklių vertėmis, o susumavus tokius kiekvieno taško koeficientus surasta jame suminio anomalingumo koeficiento vertė. Vėliau kraigingo metodu buvo nubrėžtos tokių koeficientų izolinijos (3 pav.). Jos rodo, kad praktiškai visame mieste šio koeficiento vertės yra didesnės už 10, t.y. faktinės gruntinio vandens mieste cheminės sudėties rodiklių vertės yra kelis kartus didesnės už fonines.

Kyla klausimas, ar užterštas gruntinis vanduo miestuose daro poveikį gilesniems vandeningiesiems sluoksniams, kurių vanduo naudojams gėrimui? Į šį klausimą ne kartą bandyta atsakyti remiantis požeminio vandens monitoringo Lietuvos miestų vandenvietėse duomenimis. Faktai rodo, kad tarša miestuose pasiekia ir giliausius gėlo požeminio vandens sluoksnius, jei jie nėra apsaugoti nuo tokios taršos, tačiau juos pasiekianti tarša būna taip transformuota, kad ją ne visada įmanoma atpažinti (Klimas, 1994; Klimas, Gregorauskas, 2002).

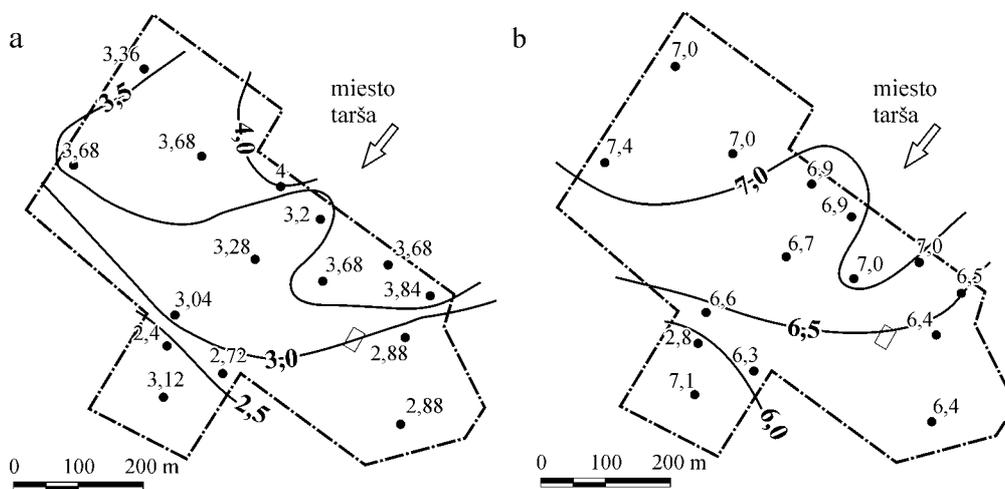
Gana detaliai ši problema yra tyrinėta Šiauliuose (Gregorauskas, 1998; Klimas, Zuzevičius, 1998). Visų pirma buvo įsitikinta, ar šio miesto rytiniame ir vakariniame pakraščiuose esančiose I (Lepšių) ir II (Birutės) vandenvietėse, eksploatuojančiose gana giliai, apie 180 m gylyje, slūgsantį viršutinio devono Stipinų (D_3st) vandeningąjį sluoksnį, galima aptikti užteršto gruntinio vandens poveikio pėdsakus gaunamo vandens kokybei. Tokie pėdsakai gana



3 pav. Suminio anomalingumo koeficiento izolinijos Šiaulių gruntiniame vandenyje (intensyvesnis fonas rodo didesnę anomalingumą).

Fig. 3. Isolines of summary anomalousness coefficient in the shallow groundwater of Šiauliai (intensity of shading shows increasing coefficient).

akivaizdūs Birutės vandenvietėje, į kurią užteršto gruntinio vandens patenka tik iš šiaurės rytų, nes pati vandenvietė izoliuota triaso molių perdanga. Būtent iš tos pusės vandenvietėje yra padidėjusios permanganato skaičiaus vertės, rodančios neoksiduotos organinės medžiagos prietaką, taip pat karbonatinio vandens kietumo (t.y. hidrokarbonatų koncentracijos) augimas ta pačia (ŠR) kryptimi, kuris siejamas su teršalų degradavimu iš pradžių oksidacinėje, o vėliau – redukciniėje aplinkose (Klimas, 2002b) (4 pav.).

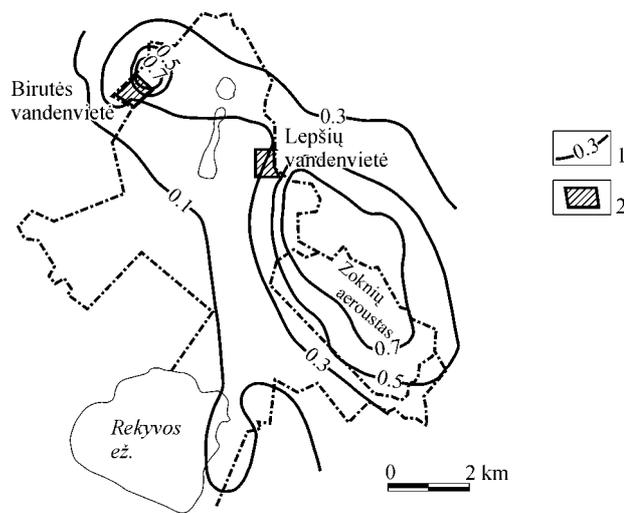


4 pav. Permanganato skaičiaus, mg/l O₂, (a) ir karbonatinio kietumo, mg-ekv/l, (b) vertės Šiaulių miesto Birutės vandenvietės eksploataciniuose gręžiniuose 1997 metais.

Fig. 4. Values of permanganate number, mg/l O₂ (a) and carbonaceous hardness, mg-ekv/l (b) in the exploitation wells of Birutė wellfield (Šiauliai), 1997.

Šios prielaidos patikrintos matematiniais Šiaulių miesto vandenviečių modeliu, pasitelkus kompiuterines programas MODFLOW/EM, MODPATH/EM ir MT3D (Gregorauskas, 1998, 1999). Kadangi eksploatuojamame horizonte nustatyti tik netiesioginiai taršos indikatoriai, modeliuotos ne jų, o minėtų suminių anomalingumo koeficientų vertės, parodytos 3 paveiksle.

Modeliavimas parodė, kad eksploatuojamo sluoksnio suminio anomalingumo koeficiento vertės yra sumažėjusios nuo 15–20 iki 60–70 kartų, lyginant su gruntinio vandens vertėmis (5 pav.). Be to, modeliavimas parodė, kad vertikalaus taršos migravimo trukmė Šiauliuose iki 180 m gylio yra apie 40 metų, o gruntinio vandens indėlis Birutės vandenvietės maksimaliame debite yra 7,6%, arba 1/13 to debito dalis. Kadangi Šiaulių I ir II vandenvietės jau dirba šiek tiek daugiau kaip 50 metų, miesto tarša, nors ir labai sumažėjusi, tikrai galėjo pasiekti jų eksploatacinius gręžinius. Tarp kitko, iš viršaus patenkanti tarša vis labiau gilina redukcinę aplinką eksploatuojamame sluoksnyje, todėl jame ne tik kaupiasi amonis, didėja geležies koncentracija ir vandens šarmingumas (hidrokarbonatų koncentracija), bet ir dėl sulfatų redukcijos vis dažniau atsiranda sieros vandenilio kvapas. Visi šie rodikliai yra degradavusios ir transformuotos taršos indikatoriai.



5 pav. Suminio anomalingumo koeficiento vertės Stipinų (D_{3st}) horizonte Šiauliuose: 1 – koeficiento dydžio izolinijos; 2 – vandenviečių teritorija.

Fig. 5. Summary anomalousness coefficient in Stipinai (D_{3st}) aquifer in Šiauliai: 1 – isolines of the coefficient; 2 – wellfields.

Apibendrinimas

Lietuvos miestų gyventojams tiekiamas tik požeminis geriamasis vanduo. Todėl tradiciškai didžiausias dėmesys buvo ir yra skiriamas gilesnių eksploatuojamųjų sluoksnių vandens kokybei, kuri apskritai yra gana gera. Tačiau vandenvietės dažniausiai yra pačiuose miestuose, todėl neišvengiamai jų tiekiamo vandens kokybė priklauso nuo seklaus gruntinio vandens, kuris urbanizuotose teritorijose dažniausiai yra užterštas. Be to, šis vanduo neretai dar pasiekiamas šachtiniais šuliniais senamiesčiuose ir priemiesčiuose.

Gruntinio vandens būklė Lietuvos miestuose buvo tyrinėta ir anksčiau, tačiau tik pastaraisiais dešimtmečiais šie tyrimai tapo kryptingesni, išsamesni. Jų rezultatai parodė, kad gruntinio vandens lygio ir cheminės sudėties režimas praktiškai visuose tyrinėtuose miestuose yra nebe gamtinis, o technogeninis. Gruntinio vandens patvanka negali plisti tik esant palankioms geologinėms hidrogeologinėms sąlygoms. Įvairūs nutekėjimai iš požeminių komunikacijų, prasta sanitarinė ir higieninė priemiesčių, kartais senamiesčių būklė yra svarbiausios gruntinio vandens taršos miestuose priežastys.

Gruntinio vandens cheminės būklės miestuose vertinimui plačiai pasinaudota retrospektyvinių tyrimų duomenimis, kadangi paaikškėjo, kad šio vandens taršos anomalijos urbanizuotose teritorijose yra stabilios tiek erdvės, tiek laiko atžvilgiu. Labiausiai gruntinis

vanduo yra teršiamas pramoninėse miestų zonose. Be to, taršos pobūdis gyvenamosiose ir pramonės zonose skiriasi: gyvenamosiose zonose gruntiniame vandenyje kaupiasi neoksiduota organinė medžiaga, azoto junginiai, o pramoninėse zonose gruntinis vanduo yra labiau mineralizuotas, kietas, praturtintas chloridų ir sulfatų.

Miesto vandenvietės sukuria palankias sąlygas taršai plisti gylyn, į eksploatuojamuosius vandeninguosius horizontus. Tačiau ten ji patenka jau gerokai degradavusi, transformuota. Dažniausiai organinė medžiaga yra oksiduojama, vėliau ji naudojama nitratų, geležies, sulfatų redukcijai, dėl ko teršiamas giluminis vanduo pašarmėja, jame kaupiasi hidrokarbonatai, amonis, geležis, jis įgyja sieros vandenilio kvapą. Taršos migravimo gylyn procesai kai kuriuose miestuose yra sumodeliuoti. Modeliavimo rezultatai patvirtina daromas išvadas apie tai, kad Lietuvos miestuose per kelis dešimtmečius transformuota tarša pasiekia ir giliausius gėlo požeminio vandens sluoksnius.

Straipsnis parengtas Lietuvos valstybinio mokslo ir studijų fondo remiamos kompleksinės mokslo programos „Urbanizuotos aplinkos kokybė ir jos kaita“ tema „Sudaryti paviršinių ir požeminių vandenų būklės kaitos prognozė“ vykdytų tyrimų pagrindu.

Gauta 2003–11-10

Literatūra

- Chilton J.** et al. (1997). Groundwater in the Urban Environment. A. A. Balkema (Ed.), Rotterdam, Brookfield, Vol. 1–2.
- Čyžius G.** (2000). Kauno miesto gruntinio vandens būklė, *Litosfera* **4**, p. 107–113.
- Čyžius G.** (2002). Kauno miesto gruntinio vandens cheminis nuotėkis, *Litosfera* **6**, p. 105–113.
- Diliūnas J., Čyžius G.** (2000). Shallow Groundwater Quality Research in the Kaunas City Area. *Soil and Groundwater Pollution: Expanding Possibilities for Nordic – Baltic Co – operation. Vilnius, Lithuania, 13 –15 April, 2000: Conference materials.* Vilnius, p. 27–28.
- Diliūnas J., Čyžius G., Karvelienė D.** (2000). Kauno miesto gruntinio vandens kokybė ir jos valdymas. *Kauno sveiko miesto konferencija 2000 m. Aplinka ir sveikata.* Kaunas: Lututė, p. 23–25.
- Giedraitis R., Kadūnas K., Klimas A., Šleinius S.** (1994). Urbanizuotų teritorijų poveikis požeminiam vandeniui – kaip jį vertinti? *Lietuvos požeminės hidrosferos monitoringas 1993: Informacinis biuletenis*, p. 69–72, 89–90.
- Gregorauskas M.** (1998). Results of Mass Transport Modelling at some Wellfields and Former Soviet Military Bases in Lithuania: *Environmental Contamination and Remediation Practices at Former and Present Military Bases.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.103–122.
- Gregorauskas M.** (1999). Teršiančių medžiagų sklaidos požeminiame vandenyje prognozė. *Lietuvos mokslas: Geomokslai*, Vilnius, p. 269–286.
- Juodkasis V., Arustienė J., Klimas A., Marcinonis A.** (2003). Organic Matter in Fresh Groundwater of Lithuania, Vilnius University Publishing House.
- Kadūnas V.** (1998). Technogeninė geochemija, Vilnius.
- Kadūnas V., Budavičius R., Gregorauskienė V., Katinas V., Kliaugienė E. Radzevičius A., Taraškevičius R.** (1999). Lietuvos geocheminis atlasas, Vilnius.
- Klimas A.** (1994). Fresh Groundwater Quality Formation Regularities under Technogenic Impacts, *Scientific papers* **5**, 56 p.
- Klimas A.** (1995a). Urbanizuotų teritorijų hidrogeologinių tyrimų principai. *Geologijos mokslo pasiekimai – gamtosaugai: Seminaro medžiaga*, p. 40–41.
- Klimas A.** (1995b). Impacts of Urbanization and Protection of Water Resources in Vilnius District, Lithuania, *Hydrogeology J.*, Vol. **3**, No **1**, p. 24–35.
- Klimas A.** (1996a). Methodology for Mapping Shallow Groundwater Quality in Urbanized Areas: A case study from Lithuania, *Environmental Geology*, Vol. **27**, No **4**, p. 320–328.

- Klimas A.** (1996b). Požeminio vandens monitoringas urbanizuotose teritorijose. *Požeminio vandens monitoringas Lietuvoje (1946–1996)*, Vilnius, p. 46–57.
- Klimas A.** (1997). Impact of Urbanization on Shallow Groundwater in Lithuania. *Groundwater in the Urban Environment: Proceedings of the XXVII IAH Congress*. A. A. Balkema (Ed.). Rotterdam, Brookfield, p. 463–468.
- Klimas A.** (1998). Groundwater Quality Mapping and Modelling in Urban Areas in Lithuania. *XX Nordic Hydrological Conference, Helsinki*, Vol. 1, p. 243–251.
- Klimas A.** (1999a). Urbanizuotų teritorijų geriamasis požeminis vanduo. *Lietuvos mokslas: Geomokslai*, Vilnius, p. 218–234.
- Klimas A.** (1999b). Požeminio vandens eksploatacijos poveikis aplinkai Lietuvoje, *Litosfera* 3, p. 88–97.
- Klimas A.** (2002a). Methods of Assessing Impacts of Urbanization on Groundwater Quality – Lithuanian experience. *Current problems of Hydrogeology in Urban Areas, Urban Agglomerations and Industrial Centres – NATO Science Series. IV. Earth and Environmental Science*, Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, Vol. 8, p. 457–477.
- Klimas A.** (2002b). Oksidacijos–redukcijos procesų vaidmuo formuojantis požeminio vandens cheminei sudėčiai, *Geologija* 40, p. 46–54.
- Klimas A., Gregorauskas M.** (2002). Groundwater Abstraction and Contamination in Lithuania as Geoindicators of Environmental Change, *Environmental Geology*, Vol. 42, No 7, p. 767–72.
- Klimas A., Kadūnas K., Diliūnas J., Alminas A., Zuzevičius A., Tamošaitis J., Klimkaitė I., Kavaliauskienė J., Česnulevičius A., Dilys K.** (1995). Paviršinio ir požeminio vandens būklės vertinimas, plečiantis Vilniaus miestui, Vilnius.
- Klimas A., Šleinius S.** (1994). Miestų hidrogeologija. *Gelmių geologinio tyrimo, naudojimo ir apsaugos problemos Lietuvoje: str. rinkinys*, p. 122–123.
- Klimas A., Zuzevičius A.** (1998). Svarbiausi technogeniniai hidrogeologiniai procesai ir jų matematiniai modeliai, *Geologija* 23, p. 130–138.
- Kondratas A.** (2001). Antropogeninis poveikis Lietuvo gėlo požeminio vandens kokybei, Vilnius.
- Šulga V., Kisielis V.** (1999). Struktūrinė vandens netekties analizė, *Vandentvarka* 1, p. 5–6.
- Микалаускас В. В.** (1976). Охрана подземных вод Литовской ССР, Вильнюс.

Algirdas Klimas

Vilnius Hydrogeology Ltd, Vilnius

Algirdas Zuzevičius, Jonas Diliūnas, Gediminas Čyžius

Institute of Geology and Geography, Vilnius

Technogenic regime of groundwater in urban areas

Summary

Recent and previous studies of water table aquifers in Lithuanian towns and cities show that there are two major hydrogeological problems caused by urbanization: 1) rise and decline of groundwater levels; 2) groundwater pollution. Rise of water table of shallow aquifers or flooding is a minor and local problem of some of our towns because almost everywhere we have fairly permeable and well drained soils in the towns subsurface. More often groundwater levels in the towns are declined due to the intensive pumping of deeper aquifers used for public water supply. Nevertheless, only in few cases this pumping lowers water table of shallow aquifers.

Pollution of water table aquifers in urban areas is a more serious problem, because: 1) population of many Lithuanian cities and towns still use shallow groundwater from dug wells for drinking; 2) in some places, this water recharges deeper aquifers. In order to investigate and map all these hydrogeological changes in the upper part of the geological section, we have proposed an original

methodology. Basic methodical steps for the assessment of the urbanization effect on urban hydrogeological conditions are formation of computerized data bases, control investigations, mapping of the polluted areas and simulation of the pollution processes.

The main data sources for shallow groundwater quality characterisation are retrospective data from dug wells and geotechnical boreholes. Control investigations revealed the fact that the anomalies in shallow groundwater pollution are stable in time and space, suggesting that water analyses from different times can be used for investigating sources. The principles of the hydrogeological mapping of urban areas is similar to GIS applications. The patterns in the maps compiled indicate a generalized form of spatial structures – anomalies. Analysis of the evolution of such patterns enables determination of not only changes in shallow groundwater chemistry, but also their causes. For example, there is a general tendency for shallow groundwater of industrial areas to contain more sulphate and chloride, to be harder, and to be more mineralized. In residential areas it is more rich in nitrate, ammonia and non-oxidized organic matter. Anomalies that coincide directly with corresponding zones of economic activity are defined as impact areas, while anomalies beyond the zone of impact are defined as pollutant migration areas.

The influence of urbanization on deeper aquifers is revealed at the time when these aquifers are insufficiently isolated from polluted shallow groundwater or when they are heavily pumped. As a rule, confined groundwater always contains less nitrate, but more ammonia and bicarbonate, is enriched with iron and manganese, and sometimes with hydrogen sulphide. This indicates a change in redox environment in the polluted deeper aquifers compared with the unpolluted ones. The influence of urbanization on deeper aquifers has been analysed, assessed and predicted by mathematical simulation.