

УДК 543.3:551.444

О. В. Щербак¹, аспірант,
О. П. Лобасов, канд. геол. наук,
Л. О. Калініченко¹, інженер II категорії,
¹ кафедра гідрогеології та інженерної геології,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна
scherbak_olesia@ukr.net

ЕВОЛЮЦІЯ МАКРОКОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД В УМОВАХ ТЕХНОГЕНЕЗУ НА ТЕРИТОРІЇ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Охарактеризовано середній макрокомпонентний склад підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу та динаміку його змін впродовж тривалої експлуатації на території району басейну Дніпра в межах Херсонської області. Виконано розрахунок гіпотетичного сольового складу підземних вод. Зроблено висновок про сучасний розвиток процесів метаморфізації хімічного складу підземних вод.

Ключові слова: підземні води, хімічний склад, макрокомпоненти, мінералізація.

ВСТУП

Порушення природної геохімічної рівноваги внаслідок антропогенної діяльності, що супроводжується зростанням технофільності хімічних елементів, знаходить своє відображення у зміні хімічного складу підземних вод. Основним наслідком такої діяльності є забруднення підземних вод зони інтенсивного водообміну, в якій зосереджені ресурси питних підземних вод, хлоридами, сульфатами, нітратами, органічними з'єднаннями та важкими металами. Такі направлені зміни хімічного складу підземних вод під впливом комплексу природних та техногенних факторів, що в геохімії підземних вод називають техногенною метаморфізацією [5], є важливим напрямом сучасних гідрогеологічних досліджень.

В даній статті розглянуто еволюцію хімічного складу питних підземних вод на території одного з найбільш вододефіцитних регіонів України – Херсонської області.

Одним з основних джерел питного водопостачання в межах області є ресурси підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу, який має повсюдне поширення. Багатофакторне антропогенне навантаження на водоносний комплекс зумовило регіональну зміну природних гідрогеологічних умов. Що виражається у зміні рівневого режиму суміжних водоносних горизонтів і комплексів, умов живлення та розвантаження, хімічного складу підземних вод. Має місце погіршення якості питних підземних вод, що експлуатуються, зумовлене перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК) за вели-

чиною мінералізації, загальної жорсткості, вмісту хлоридів, сульфатів, натрію, азотовмісних іонів та деяких мікроелементів. Для територій, які й так відчують дефіцит водних ресурсів, такі процеси загрожують екологічній безпеці регіону. Тому виявлення тенденцій у зміні хімічного складу питних підземних вод даної території є актуальним.

Метою даного дослідження є вивчення динаміки змін макрокомпонентного складу питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу на території Херсонської області.

Об'єкт дослідження – закономірності зміни хімічного складу підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу за період тривалої експлуатації. Предмет дослідження – характер та ступінь мінералізації питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу.

Враховуючи значну строкатість хімічного складу підземних вод регіону та відповідно до вимог басейнового принципу вивчення водних ресурсів (Водна Рамкова Директиви ЄС 2000/60/ЄС), дослідження проводилось не для всієї адміністративної області, а в межах річкових басейнів. В статті представлені результати дослідження хімічного складу підземних вод району річкового басейну Дніпра (рис. 1), в якому зосереджена основна частина ресурсів питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу.

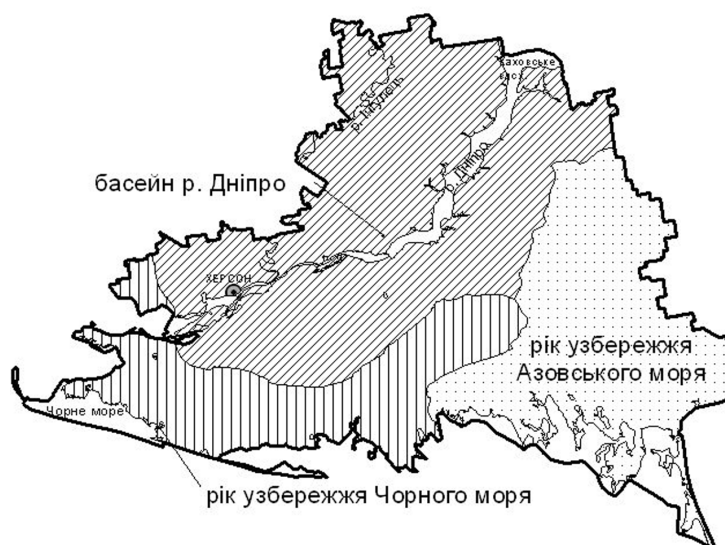


Рис. 1. Схема основних районів річкових басейнів на території Херсонської області

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі використані результати хімічних аналізів підземних вод по водозабірних свердловинах пробурених на верхньоміоценовий водоносний комплекс на два часові періоди:

I. 1965-1975 рр.. – початок інтенсивного освоєння водоносного комплексу, буріння великої кількості водозабірних свердловин (матеріали перспективної оцінки експлуатаційних запасів підземних вод Причорноморського артезіанського басейну, 1977-1979 рр.);

II. 2002-2010 рр.. – сучасний стан підземних вод (результати обстеження діючих водозабірних свердловин в рамках виконання робіт з пошуків і розвідки питних підземних вод (2002-2010 рр..)).

Для обробки даних використовувалися геоінформаційний (просторовий аналіз розподілу компонентів хімічного складу підземних вод) та статистичний підходи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Територія Херсонської області за притаманними їй геолого-гідрогеологічними особливостями розрізу та регіональними гідрогеологічними закономірностями знаходиться в межах Причорноморської водоносної системи, північна частина якої охоплює схили Українського щита, а південна – Причорноморської западини. Осадова товща мезо-кайнозойських порід, до якої приурочені основні водоносні горизонти і комплекси, занурюється у напрямку з півночі на південь до осової частини западини, де досягає максимальних потужностей.

Основна частина ресурсів питних підземних вод регіону зосереджена в товщі неогенових порід. Водовміщуючими є тріщинуваті вапняки з прошарками пісків та мергелів понтичного, меотичного та сарматського регіоарусів верхнього міоцену, що розділені невитриманими по площі та в розрізі водотривкими прошарками і формують єдиний гідравлічно зв'язаний верхньоміоценовий водоносний комплекс. Нижнім регіональним водотривом слугують глини середнього та нижнього сармату. У покрівлі водоносного комплексу залягають четвертинні обводнені лесовидні суглинки, які лише у південній частині області відокремлені від верхньоміоценового водоносного комплексу слабопроникними червоно-бурими глинами пліоцену.

Підземні води верхньоміоценового водоносного комплексу мають строкатий хімічний склад, що формується в умовах інтенсивного водообміну під впливом низки факторів. Головними природними факторами є мінеральний склад водовміщуючих і водотривких порід по яких циркулюють інфільтраційні води та залишки морських вод від недавніх трансгресій [1].

Серед антропогенних факторів, що викликають регіональні зміни хімічного складу підземних вод на даній території варто відмітити наступні: спорудження Каховського водосховища (1956 р.), інфільтрацію іригаційних вод на масивах зрошення та магістральних каналах, інтенсивний водовідбір підземних вод для господарсько-питних потреб та дренажний водовідлив, наявність поверхневих джерел забруднення (склади отрутохімікатів, сміттєзвалища, скотомогильники, тваринницькі ферми та ін.).

Верхньоміоценовий водоносний комплекс має складний характер вертикальної гідрогеохімічної зональності. Ресурси прісних вод зосереджені переважно в середній частині водоносного комплексу, яка експлуатується водозабірними свердловинами. Надалі мова буде йти про хімічний склад лише питних підземних вод водоносного комплексу, що експлуатуються.

Макрокомпонентний склад підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу на основних водозаборах території досліджень змінюється в дуже широких межах, при цьому спостерігається збільшення в часі діапазону коливань значень основних показників (табл. 1). Серед катіонів за величиною середньої концентрації у хімічному складі домінує Na^+K^+ . Для аніонів характерне зростання концентрації Cl^- і SO_4^{2-} в часі, з переважаючим вмістом останнього. Крім того вміст іонів Na^+K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} у підземних вод комплексу характеризується високим ступенем мінливості ($C_v > 75-80\%$).

Таблиця 1

Показники хімічного складу підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу району басейну Дніпра в межах Херсонської області отримані по водозабірних свердловинах, мг/дм³

		Показники хімічного складу, мг/дм ³							Жорсткість, ммоль/дм ³
		Мінералізація	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
I період (n=62)	lim	200-2900	14-202,4	4,7-178	4-850	39-512,4	0-673,2	6,9-1136	2,3-24
	X _{сеп}	930	70,35	62,26	169,66	274,55	204,9	239,95	8,87
	M _o	200	30	6	306	305	8	345	2,9
	M _e	900	63,02	54,15	119,75	289,9	148,33	182,5	8,55
	C _v , %	64	54	70	100	38	91	97	56
II період (n=30)	lim	300-6200	16-452	27-386	14-1090	165-452	20-2357	14-1768	3-54,2
	X _{сеп}	2120	149,3	151,37	312,57	275,73	681,93	522,2	20,02
	M _o	1700	96	34	205	348	576	298	12
	M _e	1900	109	128,5	264,5	262	582,5	351,5	17,55
	C _v , %	60	73	62	75	27	80	89	62

Примітка: lim – межа коливань, X_{сеп} – середнє арифметичне, M_o – мода, M_e – медіана, C_v – коефіцієнт варіації.

Для вивчення просторово-часових закономірностей еволюції макрокомпонентного складу питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу по всій площі басейну річки Дніпро, на основі хімічних аналізів води із водозабірних свердловин, авторами виконано математико-картографічне мо-

делювання розповсюдження по площі основних гідрогеохімічних показників (мінералізації, вмісту $Na^+ + K^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) підземних вод на два часові періоди.

Виходячи з обсягів наявної інформації та гідрогеохімічних особливостей верхньоміоценового водоносного комплексу, моделювання виконувалося за спеціально розробленою методикою, на базі настільної геоінформаційної системи (ГІС) ArcView GIS 3.2a та програмного комплексу "Geomapping". Побудова моделей здійснювалася методом сплайн-апроксимації із застосуванням ітераційної техніки автоаналога. На першій ітерації будувався сплайн-тренд шуканої моделі параметра. При побудові моделі на i -й ітерації, отримана модель на $(i-1)$ -й ітерації використовувалася як аналог, за умови більш точного наближення моделі до значень параметра у вихідних точках. Зазвичай, для побудови кондиційної моделі досить 3-х – 4-х ітерацій. Описана схема реалізована в програмному комплексі "Geomapping" [2].

За даними побудованих цифрових моделей сформовані вибірки із значеннями вмісту макрокомпонентів та мінералізації у клітинках ґрид-сітки, яка покриває всю площу басейну. Для виявлення часових тенденцій зміни хімічного складу підземних вод в межах басейну річки Дніпро обчислені середні значення вмісту макрокомпонентів та величини мінералізації підземних вод в межах басейну річки Дніпро (табл. 2), кореляційні матриці (табл. 3, 4).

Таблиця 2.

**Порівняльна оцінка середнього хімічного складу підземних вод
верхньоміоценового водоносного комплексу району басейну Дніпра в межах
Херсонської області, мг/дм³**

Хімічний склад	Води верхньоміоценового водоносного комплексу		Підземні води зони гіпергенезу [6]	Підземні води провінції континентального засолення [6]	ГДК для питної водопровідної води [3]
	I період	II період			
Мінералізація	800	1470	469	1360	1000
Ca^{2+}	79,03	118,16	39,2	86,4	-
Mg^{2+}	57,91	147,11	18,2	46,2	-
$Na^+ + K^+$	149,51	276,94	72,8	139,2	-
HCO_3^-	266,22	259,04	187	349	-
SO_4^{2-}	197,76	582,20	304	70,7	250
Cl^-	233,78	468,85	59,7	258	250

Таблиця 3

**Кореляційна матриця показників хімічного складу підземних вод
верхньоміоценового водоносного комплексу району басейну Дніпра (I період)**

Показники	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Мінералізація
Na ⁺ +K ⁺	1	0,52	0,55	0,85	0,86	0,48	0,65
Ca ²⁺		1	0,59	0,76	0,45	0,56	0,46
Mg ²⁺			1	0,68	0,62	0,68	0,47
Cl ⁻				1	0,65	0,57	0,63
SO ₄ ²⁻					1	0,37	0,611
HCO ₃ ⁻						1	0,42
Мінералізація							1

Перевірка гіпотези про рівність середніх значень вибірок для двох часових періодів (за допомогою непараметричного критерію Колмогорова-Смірнова), дозволяє зробити висновок про те, що хімічний склад підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу в часі змінюється. Відносно стабільним залишається лише вміст гідрокарбонат іону. В часі зростають середні значення концентрацій іонів, мінералізації, що робить воду некондиційною для питного водопостачання (табл. 2).

Таблиця 4

**Кореляційна матриця показників хімічного складу підземних вод
верхньоміоценового водоносного комплексу району басейну Дніпра (II період)**

Показники	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Мінералізація
Na ⁺ +K ⁺	1	0,67	0,88	0,9	0,89	0,2	0,5
Ca ²⁺		1	0,79	0,89	0,74	0,17	0,47
Mg ²⁺			1	0,76	0,88	0,29	0,53
Cl ⁻				1	0,75	0,07	0,55
SO ₄ ²⁻					1	0,27	0,42
HCO ₃ ⁻						1	0,24
Мінералізація							1

Середній хімічний склад підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу в межах басейну річки Дніпро може бути представлений у вигляді формули М. Г. Курлова для першого (1) та другого (2) часових періодів:

$$M_{0,8} \frac{Cl^- 44HCO_3^- 29SO_4^{2-} 27}{Na^+ + K^+ 43Mg^{2+} 31Ca^{2+} 26} \quad (1)$$

$$M_{1,5} \frac{Cl^- 45SO_4^{2-} 41HCO_3^- 14}{Mg^{2+} 40Na^+ + K^+ 40Ca^{2+} 17} \quad (2)$$

з яких видно, що в часі відбулася зміна гідрогеохімічного типу підземних вод від прісних, сульфатно-гідрокарбонатно-хлоридних кальцієво-магнієво-натрієво-калієвих до солонуватих, сульфатно-хлоридних натрієво-калієво-магнієвих.

Зберігається в часі тісний кореляційний зв'язок між величиною мінералізації та вмістом іонів ($Na^+ + K^+$) та Cl^- , зростає роль Mg^{2+} (табл. 3, 4). На фоні підвищення в часі концентрацій основних макрокомпонентів, роль іону HCO_3^- , вміст якого залишається відносно сталим, у формуванні загальної мінералізації води зменшується ($r=0,24$).

Зростання мінералізації підземних вод в часі викликано концентруванням у воді хімічних елементів, зокрема макрокомпонентів. Ступінь концентрування іонів різний і визначається особливостями гідрогеохімічних умов водоносного комплексу. Кількісна оцінка ступеню концентрування основних макрокомпонентів підземних вод була виконана за допомогою коефіцієнта концентрації K_r , як відношення середнього вмісту іону у верхньоміоценовому водоносному комплексі до фонового значення (у якості фону взято середні значення хімічного складу підземних вод зони гіпергенезу (табл. 2). За величиною коефіцієнта концентрації іони розташувались у наступному порядку: $Cl^- > Mg^{2+} > (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > HCO_3^- > SO_4^{2-}$ (для I періоду); $Mg^{2+} > Cl^- > (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ (для II періоду). Таким чином в часі відбувається зміна гідрогеохімічних умов водоносного комплексу, зростає ступінь концентрації іонів Mg^{2+} та SO_4^{2-} у підземних водах комплексу. Хімічний склад підземних вод близький за деякими показниками до середнього складу підземних вод провінції континентального засолення.

Зміна в часі концентрацій основних іонів може викликати зміни і у сольовому складі підземних вод. Розрахунок гіпотетичного сольового складу підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу було виконано за даними цифрових моделей розподілу вмісту основних макрокомпонентів на два часові періоди. Комбінування основних іонів хімічного складу води, виражених у еквівалентній формі, виконувалось на основі підходу Фрезеніуса, що ґрунтується на відносній ступені хімічної активності окремих кислот та основ [4]. Виходячи із запропонованого підходу, для кожної клітинки грід-сітки було розраховано склад основної солі та середній сольовий склад підземних вод в межах басейну річки Дніпро (рис. 2).

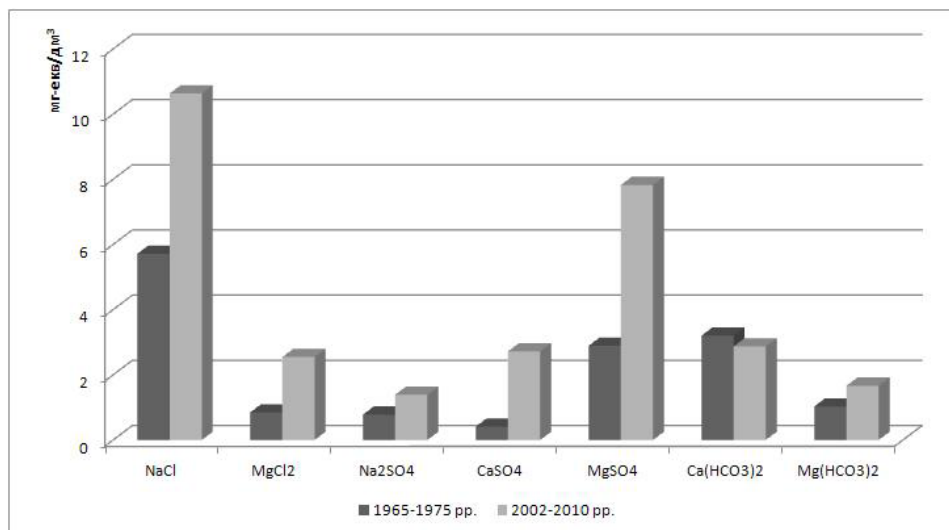


Рис. 2. Динаміка середнього гіпотетичного сольового складу підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу району басейну Дніпра

Як видно з рисунку 2 у сольовому складі підземних вод переважають добре розчинні солі $NaCl$ та $MgSO_4$. В часі зростає концентрація всіх основних солей, окрім $Ca(HCO_3)_2$. Докорінних змін у середньому сольовому складі підземних вод за період досліджень не спостерігається.

ВИСНОВКИ

Вперше за даними математико-картографічного моделювання охарактеризовано середній макрокомпонентний та сольовий склад підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу в межах району басейну Дніпра на два часові періоди.

В результаті встановлено, що за досліджуваній період часу, відбулося збільшення величини загальної мінералізації та, відповідно, середніх концентрацій основних макрокомпонентів, що не відповідають вимогам для питних вод. Відносно стабільним залишається вміст лише гідрокарбонат іону.

Відбулася зміна гідрогеохімічного типу води. У хімічному складі важливу роль починають відігравати іони Mg^{2+} та SO_4^{2-} , коефіцієнт концентрації яких збільшився. Важливо відзначити, що концентрація SO_4^{2-} зростає по відношенню до кальцію і перевищує її. Також зменшується в часі співвідношення rCa/rMg від 0,76 до 0,49. Все це вказує на розвиток процесів метаморфізації хімічного складу підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу.

Склад гіпотетичних солей підземних вод за період досліджень докорінно не змінився, переважають добре розчинні солі $NaCl$ та $MgSO_4$.

Виявлені закономірності важливо враховувати при плануванні водної політики регіону, а також для оптимізації моніторингових робіт за станом підземних вод на території, що вивчається.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Бабинец А. Е.* Подземные воды юго-запада Русской платформы (распространение и условия формирования) [Текст] / А. Е. Бабинец. – К.: Изд. Акад. наук УССР, 1961. – 380 с.
2. Гребенников, С. С., Лобасов, О. П. Моделирование будови осадових басейнів в середовищі ArcView [Текст] / С. С. Гребенников, О. П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. – 2003. – № 4. – С. 37-43.
3. *Державні санітарні норми та правила “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною” (ДСанПіН 2.2.4-171-10)* [Електронний ресурс]. – [Чинний від 2010-05-12]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.
4. *Сулин В. А.* Воды нефтяных месторождений СССР [Текст] / В. А. Сулин. – М.: НКТП, 1935. – 368 с.
5. *Тютюнова Ф. И.* Гидрогеохимия техногенеза [Текст] / Ф. И. Тютюнова. – М.: Наука, 1987. – 335 с.
6. *Шварцев С. Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза [Текст] / С. Л. Шварцев. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

REFERENCES

1. Babinets, A. (1961), *Groundwater of south-west of the Russian Platform (distribution and formation conditions)* [Podzemnye vody yugo-zapada Russkoy platformy (rasprostraneniye i usloviya formirovaniya)], Academy of Sciences of USSR, Kiev, 380 p.
2. Grebennikov, S., Lobasov, O. (2003), “Modelling the structure of sedimentary basins in the ArcView” [“Modelyuvannya budovy osadovykh basiniv v seredovyshchi ArcView”], *Mineralni resursy Ukrainy*, *Mineral resources of Ukraine*, No. 4, pp. 37-43.
3. Public health standards and regulations “Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption” [Derzhavni sanitarni normy ta pravyla “Gigienichni vimogy do vody pytnoi, pryznachenoi dlya spozhyvannya liudynoiu” (DSanPiN 2.2.4-171-10)], available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.
4. Sulin, V. A. (1935), *Water of oil deposits in the USSR* [Vody neftyanykh mestorozhdeniy SSSR], NKTP, Moscow, 368 p.
5. Tyutyunova, F. I. (1987), *Hydrogeochemistry of technogenesis* [Gidrogeokhimiya tekhnogeneza], Science, Moscow, 335 p.
6. Shvartsev, S. L. (1998), *Hydrogeochemistry of hypergenesis zone* [Gidrogeokhimiya zony gipergeneza], Nedra, Moscow, 366 p.

Надійшла 30.06.2014 р.

О. В. Щербак¹, аспирант,
А. П. Лобасов, канд. геол. наук,
Л. А. Калиниченко¹, инженер II категории,
¹ кафедра гидрогеологии и инженерной геологии,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина
scherbak_olesia@ukr.net

ЭВОЛЮЦИЯ МАКРОКОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ТЕРРИТОРИИ ХЕРСОНСКОЙ ОБЛАСТИ

Резюме

Охарактеризован средний макрокомпонентный состав подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса и динамика его изменений в течение длительной эксплуатации на территории района бассейна Днестра в пределах Херсонской области. Выполнен расчет гипотетического солевого состава подземных вод. Сделан вывод о современном развитии процессов метаморфизации химического состава подземных вод.

Ключевые слова: подземные воды, химический состав, макрокомпоненты, минерализация.

O. V. Scherbak¹,
A. P. Lobasov,
L. A. Kalinichenko¹,
¹Department of Hydrogeology and Engineering Geology,
Kyiv Taras Shevchenko National University,
Vasyl'kivs'ka St., 90, Kyiv, 03022, Ukraine
scherbak_olesia@ukr.net

EVOLUTION OF MACROCHEMICAL COMPOSITION OF DRINKING GROUNDWATER UNDER ANTHROPOGENIC LOAD IN KHERSON REGION

Abstract

Purpose. The purpose of the research is to determine temporal regularities of the chemical composition including main macro components and mineralization of the drinking groundwater at the Upper Miocene aquifer complex in Dniper River Basin (Kherson region).

Methodology. Geoinformational and statistical approach were used in this study. The methodological approach was proposed to build digital surface of water salinity field and macro components. The input data for modelling were spatial objects such as borehole.

Finding. According to the modeling data the average macro components and salt composition of the groundwater at the Upper Miocene aquifer complex in Dniper River Basin into two time periods were determined.

Results. During the study period, the mineralization and average concentrations of macro components of drinking groundwater at the Upper Miocene aquifer complex were increased, except hydrogen ion. Resources of drinking groundwater in study region is being heavily affected by the process of salinisation and metamorphization of its chemical composition.

Keywords: groundwater, chemical composition, macro components, mineralization.