

## МЕТАМОРФІЗАЦІЯ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА ТЕРИТОРІЇ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*В статті представлені результати дослідження хімічного складу питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу на території Херсонської області. Встановлено що в умовах антропогенного навантаження в часі відбулася зміна середнього хімічного складу та гідрогеохімічного типу питних підземних вод. На території області розвивається повна техногенна метаморфізація питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу, за прямою схемою.*

**Ключові слова:** *питні підземні води, верхньоміоценовий водоносний комплекс, хімічний склад, метаморфізація, Херсонська область.*

**О.В. Щербак. МЕТАМОРФИЗАЦИЯ ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ХЕРСОНСКОЙ ОБЛАСТИ.** *В статье представлены результаты исследования химического состава питьевых подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса на территории Херсонской области. Установлено что в условиях антропогенной нагрузки во времени изменился средний химический состав и гидрогеохимический тип питьевых подземных вод. На территории области развивается полная техногенная метаморфизация питьевых подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса, по прямой схеме.*

**Ключевые слова:** *питьевые подземные воды, верхнемиоценовый водоносный комплекс, химический состав, метаморфизация, Херсонская область.*

**Актуальність дослідження.** Питні підземні води є життєво важливим природним ресурсом, цінність якого визначається відновлюваністю, широким поширенням, захищеністю від прямого надходження забруднюючих речовин, відносною стабільністю хімічного складу. В умовах інтенсивного антропогенного навантаження захисні властивості підземної гідросфери знижуються, що веде до зміни кількісного та якісного стану ресурсів питних підземних вод, що часто є незворотними. Відбувається скорочення ресурсів питних підземних вод та збільшення водного дефіциту. Визначення закономірностей еволюції хімічного складу питних підземних вод є актуальним завданням сучасних еколого-гідрогеологічних досліджень.

Тенденція до скорочення ресурсів питних підземних вод намітилась на території південних та південно-східних областей України, де під впливом комплексу природних та техногенних факторів розвивається процес регіонального засолення прісних підземних вод, в тому числі і основних експлуатаційних водоносних горизонтів. Найбільших масштабів цей процес набув в межах Херсонської області, де, за попередніми оцінками, відбулося зменшення ресурсів прісних підземних вод на 20 % з часів регіональної оцінки [1].

Основним джерелом питного водопостачання на території Херсонської області є верхньоміоценовий водоносний комплекс. Стратиграфічно він охоплює відклади понтичного, меотичного та сарматського регіоярусів, водоносні горизонти яких гідравлічно зв'язані та утворюють єдиний водоносний комплекс, що повсюдно поширений на території області та забезпечує 98 % видобутку вод з підземних джерел. Водовміщуючі породи комплексу представлені вапняками, пісками, що розділені на декілька

горизонтів прошарками глин. 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, для яких намітилась тенденція погіршення якості в часі.

**Мета та завдання дослідження.** На основі даних обстеження експлуатаційних свердловин дослідити просторово-часові зміни хімічного складу питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу, що відбулися в ході тривалої експлуатації.

**Методика досліджень.** Виявлення просторових закономірностей в сучасних геологічних дослідженнях, в тому числі і гідрогеологічних, ґрунтується на застосуванні геоінформаційних технологій, які дозволяють отримати цифрову модель об'єкту в умовах недостатніх та (або) нерівномірно розподілених по площі дослідження вихідних даних. Ефективні та широко використовуються для розв'язання задач формування хімічного складу підземних вод також методи статистичного аналізу.

Для досягнення поставленої мети в даному дослідженні використовувалися геоінформаційний (просторовий аналіз розподілу компонентів хімічного складу підземних вод) та статистичний підходи.

**Виклад основного матеріалу.** За результатами обстеження 39 експлуатаційних свердловин (2002-2010 рр.) пробурених на верхньоміоценовий водоносний комплекс на території Херсонської області, встановлено не відповідність якісного складу підземних вод нормативам для питної води за багатьма показниками

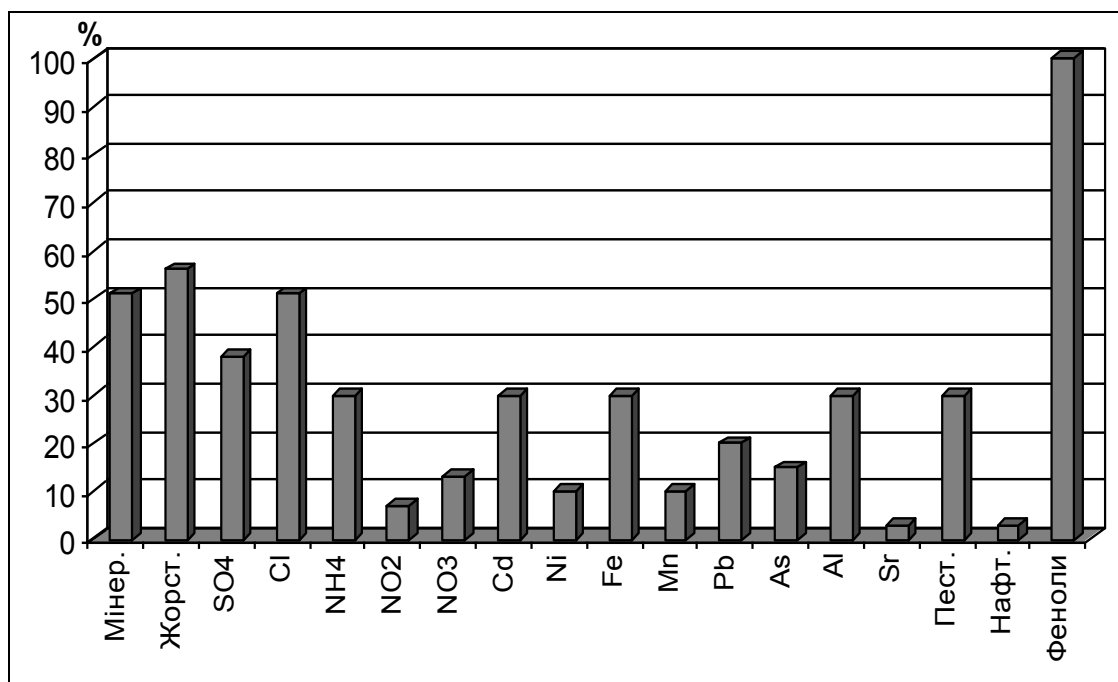


Рис. 1. Повторюваність випадків ( $\alpha$ , %) невідповідності якості підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10

(рис. 1).

Розповсюдженими забруднювачами питних підземних вод ( $\alpha > 30\%$ ) є феноли, хлориди, сульфати, пестициди, залізо, амоній, кадмій, алюміній (рис. 1). Значні втрати ресурсів питних підземних вод на території області пов'язані зі збільшенням величини загальної мінералізації та жорсткості вод, що супроводжується зміною їх природного хімічного складу.

Серед основних видів антропогенної діяльності, які сприяють забрудненню підземних вод на території області можна виділити наступні:

1. розміщення та експлуатація техногенних об'єктів (звалища промислових і господарських відходів, поля фільтрації, нафтоховища, склади отрутохімікатів, скотомогильники тощо);
2. відбір підземних вод;
3. втрати води на полях зрошення, фільтрація з гідротехнічних споруд (Каховське водосховище, магістральні канали), скидання стічних вод.

Так, перший вид діяльності – це потенційне джерело забруднюючих речовин, що надходять у підземні води. Інтенсивність надходження забруднювачів зростає під спільною дією другого та третього видів діяльності, що зумовлюють зміну витратних (відбір підземних вод) та прибуткових (втрати води) елементів водного балансу. Синергетичний ефект таких впливів призводить до збільшення швидкості надходження забруднюючих речовин з денної поверхні до водоносних горизонтів.

Для вивчення просторово-часових закономірностей еволюції макрокомпонентного складу питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу на території Херсонської області, виконано математико-картографічне моделювання розподілу по площі основних гідрогеохімічних показників (мінералізації, вмісту  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) підземних вод на два часові періоди:

- I період (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 період (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..)).

Виходячи з обмеженої кількості нерівномірно розподілених по площі вихідних даних про хімічний склад підземних вод та особливостей розподілу гідрогеохімічних параметрів, що моделюються, автором спільно з О.П. Лобасовим, було розроблено методика просторового моделювання розподілу поля мінералізації та вмісту макрокомпонентів у підземних водах, на базі настільної геоінформаційної системи (ГІС) ArcView GIS 3.2a. Базові положення на яких ґрунтується розроблена методика висвітлені у ряді публікацій [2, 3].

Апроксимація значень гідрогеохімічних параметрів включала такі послідовні етапи:

1) триангуляція – побудова сітки трикутників, у вершинах яких свердловини з вихідними значеннями параметру, що моделюється;

2) створення точкової теми регулярної мережі точок;

3) лінійна інтерполяція значень мінералізації на трикутній сітці для точок регулярної мережі;

4) побудова числової моделі щільності свердловин;

5) видалення точок із значеннями щільності свердловин вище заданої, а ті, що залишились, додаються до масиву точок вихідних свердловин;

6) апроксимація значень параметру по отриманому масиву точок методом сплайну.

В ході виконання дослідження побудовано цифрові моделі розподілу поля мінералізації та вмісту основних іонів ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $(\text{Na}+\text{K})^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) на два періоди часу. Просторовий розподіл величини мінералізації питних вод представлений на рисунку 2.

За даними побудованих цифрових моделей сформовані вибірки із значеннями вмісту макрокомпонентів та мінералізації у клітинках грид-сітки, яка покриває всю область досліджень. Для виявлення загальної направленості часових змін хімічного складу питних підземних вод обчислені середні значення вмісту макрокомпонентів та величини мінералізації за даними моделювання (табл. 1).

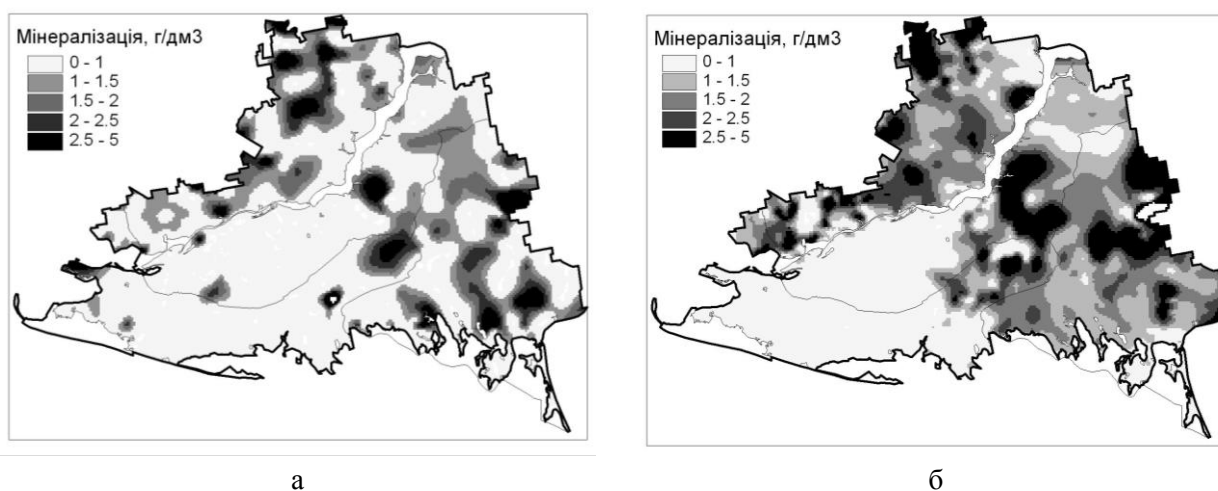


Рис. 2. Картограми розподілу величини мінералізації питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу: *а* - станом на I період (1965-1975 рр.), *б* - станом на II період (2005 р.)

Таблиця 1

Порівняльна оцінка середнього хімічного складу питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу на території Херсонської області, мг/дм<sup>3</sup>

Показники	Води верхньоміоценового водоносного комплексу (за даними моделювання)		Підземні води зони гіпергенезу [4]	Підземні води провінції континентального засолення [4]	ГДК для питної водопровідної води (ДСанПіН 2.2.4-171-10)
	I період	II період			
Мінералізація	850	1400	469	1360	1000
$\text{Ca}^{2+}$	71,14	121,64	39,2	86,4	-
$\text{Mg}^{2+}$	60,19	136,92	18,2	46,2	-
$\text{Na}^+\text{+K}^+$	195,96	345,23	72,8	139,2	-
$\text{HCO}_3^-$	242,86	256,28	187	349	-
$\text{SO}_4^{2-}$	219,02	686,83	304	70,7	250
$\text{Cl}^-$	289,35	487,58	59,7	258	250

В ході тривалої експлуатації на території області відбулося зростання середнього значення мінералізації та вмісту основних іонів у підземних водах верхньоміоценового водоносного комплексу, що робить воду некондиційною для

питного водопостачання (табл. 1). Відносно стабільним в часі залишається вміст гідрокарбонат іону, який домінує в сольовому складі прісних вод південно-східної частини області (рис. 2).

В часі збільшився ступінь концентрування  $SO_4^{2-}$  по відношенню до  $HCO_3^-$ . За величиною коефіцієнта концентрації (відношення середнього вмісту іону у підземних водах верхньоміоценового водоносного комплексу до середнього вмісту у підземних водах зони гіпергенезу (табл. 1)) іони утворюють наступні ряди:  $Cl^- > Mg^{2+} > (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > HCO_3^- > SO_4^{2-}$  (для I періоду);  $Cl^- > Mg^{2+} > (Na^+ + K^+) > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > HCO_3^-$  (для II періоду).

Роль іону  $HCO_3^-$  у формуванні величини загальної мінералізації води зменшується в часі (коефіцієнт парної кореляції Пірсона змінюється від  $r=0,51$  до  $r=0,16$ ), збільшується

$Ca^{2+}$  ( $r=0,72-0,8$ ),  $SO_4^{2-}$  ( $r=0,81-0,91$ ) та  $Mg^{2+}$  ( $r=0,87-0,95$ ). Тісний кореляційний зв'язок між величиною мінералізації та вмістом іонів ( $Na^+ + K^+$ ) ( $r=0,93-0,97$ ) та  $Cl^-$  ( $r=0,93-0,91$ ) зберігається в часі.

В часі відбулася зміна гідрогеохімічного типу води за складом переважаючих аніонів. Середній хімічний склад питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу в перший період часу відносився до сульфатно-хлоридного та хлоридного типів, а в другий – до хлоридно-сульфатного, сульфатного типів, відповідно до класифікацій за М.Г. Курловим та К.Є. Питьєвою (табл. 2).

Таблиця 2

Класифікація середнього хімічного складу питних підземних вод на території Херсонської області

	Мінералізація	За М.Г. Курловим	За К.Є. Питьєвою		
			тип	клас	група
I період	0,8 г/дм <sup>3</sup>	$\frac{Cl^- 49SO_4^{2-} 27HCO_3^- 24}{Na^+ + K^+ 50Mg^{2+} 29Ca^{2+} 21}$	Cl	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$	$ClSO_4HCO_3(Na+K)MgCa$
			Na+K	$Na+K > Mg > Ca$	
II період	1,4 г/дм <sup>3</sup>	$\frac{SO_4^{2-} 44Cl^- 43}{Na^+ + K^+ 46Mg^{2+} 35}$	SO <sub>4</sub>	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$	$SO_4Cl_nHCO_3(Na+K)Mg_nCa$
			Na+K	$Na+K > Mg > Ca$	

Таблиця 3

Показники зміни хімічного складу питних підземних вод верхньоміоценового водоносного комплексу на території Херсонської області

Коефіцієнт	I період	II період
$K_1$	$\frac{0,09 - 425,74}{3,57}$	$\frac{0,07 - 15,44}{1,0}$
$K_2$	$\frac{0 - 1,29}{0,34}$	$\frac{0,02 - 2,32}{0,76}$
$K_3$	$\frac{0,05 - 6,7}{0,92}$	$\frac{0,03 - 3,39}{0,82}$
$K_4$	$\frac{0,04 - 498,2}{1,99}$	$\frac{0,19 - 706,48}{1,71}$

*Примітка:* в чисельнику наведено мінімальне та максимальне значення, в знаменнику – середнє арифметичне.

Зміна в часі гідрогеохімічного типу води свідчить про повну техногенну метаморфізацію хімічного складу питних підземних вод, під якою розуміють направлені зміни хімічного складу та властивостей підземних вод під впливом комплексу техногенних та природних факторів, що включають зміну їх природного хімічного типу [5]. Для оцінки специфіки повної техногенної метаморфізації хімічного складу було виконано розрахунок спеціальних коефіцієнтів (табл. 3):

$$K_1 = [rHCO_3^-] / [rSO_4^{2-}];$$

$$K_2 = [rSO_4^{2-}] / ([rHCO_3^-] + [rCl^-]);$$

$$K_3 = [rCl^-] / ([rHCO_3^-] + [rSO_4^{2-}]);$$

$$K_4 = ([rCa^{2+}] + [rMg^{2+}] / [rNa^+]) \text{ (за Ф. Тютюною, [5])}.$$

Коефіцієнти  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  відображають специфіку формування гідрокарбонатного, сульфатного та хлоридного гідрогеохімічних типів. Через коефіцієнт  $K_4$  виражаються зміни групи води за переважаючими катіонами. Відповідно до даних таблиці 3, в катіонному складі переважають іони  $Ca^{2+}$  та  $Mg^{2+}$  ( $K_4 \rightarrow \infty$ ), тип води за катіонами в часі не змінюється. Однак, відбулося переформування хімічного типу води в напрямку зростання іонів  $SO_4^{2-}$  та зменшення  $HCO_3^-$ .

Техногенна метаморфізація хімічного складу питних підземних вод відбувається у напрямку  $HCO_3^- \rightarrow SO_4^{2-}$ , що відповідає прямій схемі метаморфізації, відповідно до теорії ме-

таморфізації М.Г. Валяшка [6]. Іони  $\text{HCO}_3^-$  відображають природний тип води,  $\text{SO}_4^{2-}$  – забруднених вод, що надходять до водоносного комплексу за рахунок інфільтрації атмосферних та ґрунтових вод. Солі сульфатів у підземні води комплексу надходять від антропогенних (стічні води підприємств) та природно-антропогенних (ґрунтові води, відкладення солей у товщі слабопроникних відкладів, водовміщуючі породи) джерел.

**Висновки.** За досліджуваній період відбулася зміна природного хімічного складу питних підземних вод. Спостерігається зростання зага-

льної мінералізації, збільшується ступінь концентрування сульфат іону, у водах з'являються компоненти техногенного походження (пестициди, феноли, нафтопродукти, сполуки азоту та ін.). Формується регіональне забруднення питних підземних вод, техногенна метаморфізація їх хімічного складу. Це зумовлює скорочення ресурсів питних підземних вод та загрожує екологічній безпеці регіону. Виявлені закономірності важливо враховувати при плануванні водної політики регіону, а також для оптимізації моніторингових робіт за станом підземних вод на території, що вивчається.

#### Література

1. Звіт про оцінку стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод в Херсонській області [Текст] / ДРГП Причорноморгеологія ; А. В. Бруяко – № У-99-69/5. – Одеса, 2005. – 143 с.
2. Гребенніков, С. Є. Геолого-математичне моделювання і географічні інформаційні системи в задачі моніторингу седиментаційних басейнів [Текст] / С. Є. Гребенніков, О. П. Лобасов // Вісник Київського національного університету. Геологія. – 2001 – Вип. 19. – С. 28–31.
3. Гребенніков, С. Є. Концепція геолого-математичного моделювання в середовищі ГІС [Текст] / С. Є. Гребенніков, О. П. Лобасов, М. Н. Жуков // Вісник Київського національного університету. Геологія. – 2000 – Вип. 17. – С. 68-69.
4. Шварцев, С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза [Текст] / С. Л. Шварцев. – М. : Недра, 1998. – 366 с.
5. Тютюнова, Ф. И. Гидрогеохимия техногенеза [Текст] / Ф. И. Тютюнова. – М. : Наука, 1987. – 335 с.
6. Посохов, Е. В. Формирование химического состава подземных вод (основные факторы) [Текст] / Е. В. Посохов. – Л. : Гидрометиздат, 1966. – 258 с.