

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:550.461:504.5(477-25)

Т. Кошлякова, наук. співроб.
ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України",
просп. Академіка Палладіна, 34а, м. Київ, 03680, Україна,
E-mail: geol@bigmir.net;

О. Кошляков, д-р геол. наук, доц.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології",
вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,
E-mail: kosh@univ.kiev.ua;

В. Долін, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vdolin@ukr.net;

В. Скрипкін, наук. співроб.
E-mail: psrtl@rambler.ru,
ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України",
просп. Академіка Палладіна, 34а, м. Київ, 03680, Україна

ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ ВОДООБМІНУ В СЕНОМАН-КЕЛОВЕЙСЬКОМУ ВОДОНОСНОМУ КОМПЛЕКСІ НА ТЕРИТОРІЇ М. КИЇВ В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. М.М. Коржневим)

Мета дослідження – визначення показників інтенсивності водообміну в межах гідрогеологічної системи сеноман-келовейського водонаосного комплексу на території м. Київ, зокрема, оцінка швидкості надходження поверхневих вод до досліджуваного водонаосного комплексу та їхньої частки у водному балансі підземних вод. При виконанні дослідження було застосовано балансовий, гідродинамічний методи, аналітичне визначення активності тритію у зразках води з сеноман-келовейського водонаосного комплексу та обробку власних ізотопно-радіогеохімічних даних. Для побудови картографічних схем було використано програму ArcGIS.

У результаті, узагальнено друковані дані про інтенсивність водообміну в системі підземних вод на території м. Київ в умовах техногенного впливу. Визначено частку атмосферних опадів у формуванні ресурсів сеноман-келовейського водонаосного комплексу. Зважаючи на антропогенну перебудову водообміну в межах гідродинамічної системи, оцінено час проходження води крізь крейдиано-мергельну товщу верхньої крейди, що є верхнім водотримом для досліджуваного комплексу. З'ясовано, що вміст тритію у підземних водах об'єктивно віддзеркалює результат дії природних та техногенних чинників формування підземного вертикального водообміну.

Вперше за ізотопно-радіогеохімічними даними та на підставі балансових і гідродинамічних розрахунків визначено, що на території Києва частка інфільтраційного живлення у формуванні ресурсів сеноман-келовейського водонаосного комплексу становить 21-23%, а час надходження поверхневих вод до згаданого комплексу – 10-12 років. Отримані результати дозволяють охарактеризувати інтенсивність водообміну в сеноман-келовейському водонаосному комплексі та захищеність питних підземних вод на території м. Київ. Методика спільного застосування балансового, гідродинамічного методів та аналізу ізотопно-радіогеохімічних даних може бути успішно застосована для оцінки інтенсивності водообміну в межах інших територій.

Ключові слова: підземні води, водообмін, ізотопно-радіогеохімічні дані, водний баланс, захищеність.

Вступ. Підземні води сеноман-келовейського водонаосного комплексу в межах Києва є одним з джерел централізованого питного водопостачання, тому вивчення особливостей змін їх гідродинамічної та гідрогеохімічної складових у процесі експлуатації має дуже важливе значення. Результати математико-статистичної обробки даних хімічних аналізів підземних вод та застосування геоінформаційного аналізу й моделювання [4] дозволили зробити висновки про наявність нерівномірних за площею змін хімічного складу підземних вод досліджуваного водонаосного комплексу. Ці зміни можна пояснити, передусім, тривалою експлуатацією підземних вод, що спричинило істотні порушення у співвідношеннях гідродинамічних напорів між суміжними водонаосними шарами та інтенсифікацію низхідного руху в зоні активного водообміну.

З метою обґрунтування такого пояснення авторами було використано наявні друковані дані щодо інтенсивності водообміну в системі підземних вод території та виконано відповідні балансові та гідродинамічні розрахунки, а також проведено польові й лабораторні ізотопно-радіогеохімічні дослідження (визначення вмісту тритію у підземних водах сеноман-келовейського комплексу) та здійснено обробку їх результатів.

Як стверджують В.М. Шестопалов зі співавт. [9], складовими водообміну в гідрогеологічній структурі є живлення та розвантаження підземних вод, підземний стік у загальній структурі потоку. Інтенсивність водообміну визначається рухливістю підземних вод при їх пе-

реміщенні усередині гідрогеологічної системи або її частини. Вона залежить від граничних умов, просторового розподілу параметрів і розмірів геофільтраційного потоку та інтегрально віддзеркалює всю сукупність згаданих факторів. Кількісними показниками інтенсивності водообміну є витрата підземних вод у модульній формі, темп (тривалість) водообміну та швидкість руху підземних вод. Авторами статті при оцінці інтенсивності водообміну було виконано орієнтовні розрахунки темпу водообміну в сеноман-келовейському водонаосному комплексі та швидкості вертикального руху підземних вод у підземній водообмінній системі.

Виклад основного матеріалу. Темп водообміну визначається відношенням ємнісних (пружних та гравітаційних) запасів підземних вод до витрати потоку. Це можливий умовний час заміщення підземних вод, які містяться у виділеному об'ємі гідрогеологічної системи. Як зазначається у роботі [7], природні ресурси у сеноман-келовейському водонаосному комплексі на 21-26% формуються за рахунок атмосферних опадів, а підземний стік у річки складає 3-6%. Темпи природного водообміну в сеноман-келовейському водонаосному комплексі у межах Придніпровському району такі: з поверхневими водами 1400-6000 років, повний водообмін 800-4000 років. Для території м. Київ природний темп повного водообміну складає приблизно 850 років [8].

За даними В.М. Шестопалова зі співавт. [8], у Києві внаслідок багаторічної експлуатації питних підземних вод сеноман-келовейського водонаосного комплексу в

структурі водообміну відбулися істотні зміни. У долинах річок в районах підземних водозаборів зафіксована найбільш значна інверсія потоку: зони природної висхідної фільтрації перетворилися місцями в ділянки активної низхідної фільтрації і, відповідно, додаткового живлення сеноман-келовейського водоносного комплексу. При цьому модуль додаткового живлення на території м. Київ перевищив величину модуля природного висхідного розвантаження в 6-10 разів. Відмічається інтенсифікація низхідної фільтрації і, відповідно, збільшення величини живлення сеноман-келовейського водоносного комплексу внаслідок водовідбору на лівобережжі та правобережжі долини р. Дніпро, яке зросло більш як у 10 разів. Значною мірою змінилася структура латеральної фільтрації сеноман-келовейського водоносного комплексу, швид-

кість якої у природних умовах складала 2-15 м/доба. Зараз вона зросла в 1,5 рази, а в зонах активного впливу водозабірних свердловин, де відмічається найбільш активна зміна напрямку фільтрації у бік водозаборів, – більше, ніж у 10 разів. Фактично водозабори перетворилися у головні дренуючі системи водоносного комплексу, а ті ділянки у долинах річок, які не охоплені п'єзометричними воронками, на сьогодні являють собою лише додаткові зони розвантаження. На ділянках інтенсивного інверсійного живлення в зонах впливу водозаборів темп водообміну зріс у 6 разів.

Зазначені вище зміни в структурі водообміну віддзеркалюються у зміні поверхні п'єзометричних напорів сеноман-келовейського водоносного комплексу, що ілюструється побудованими авторами схематичними картами п'єзоізогіпс станом на 1960 р та 2005 р (рис. 1).



Рис. 1. Схематичні карти п'єзоізогіпс сеноман-келовейського водоносного комплексу (стрілками показано напрямок руху потоку підземних вод):
а – станом на 1960 р, б – станом на 2005 р

Антропогенна перебудова водообміну в водоносному горизонті у відкладах канівської і буцацької серій еоцену та сеноман-келовейському водоносному комплексі призвела також до змін у крейдяно-мергельній товщі верхньої крейди, що їх розділяє [8]. Сеноман-келовейський водоносний комплекс є більш ізольованим від зовнішніх джерел живлення порівняно з водоносним горизонтом у відкладах канівської і буцацької серій еоцену. Тому експлуатація сеноман-келовейського водоносного комплексу приводить до утворення більш великих та глибоких воронок депресії та відповідного перепаду п'єзометричних напорів. Останнє забезпечує більш активну низхідну фільтрацію через крейдяно-мергельну товщу верхньої крейди у таких зонах.

Оскільки природний темп повного водообміну у сеноман-келовейському водоносному комплексі за даними В.М. Шестопалова зі співавт. складає приблизно 850 р, а на ділянках інтенсивного інверсійного живлення в зонах впливу водозаборів темп водообміну зріс у 6 разів, можна вважати, що темп водообміну станом на 1990 р складав приблизно 140 р. Враховуючи, що при збільшенні водовідбору прогнозувалося збільшення темпу водообміну в 10 разів [8], можна припустити, що на теперішній час темп повного водообміну в сеноман-келовейському водоносному комплексі дорівнює приблизно 80 рокам.

Для підтвердження суттєвої ролі ґрунтових вод у формуванні водних ресурсів сеноман-келовейського комплексу авторами виконано відповідний розрахунок. Як зазначається в роботі [8], близько 90% балансу підземної водообмінної системи на території м. Київ формується за ра-

хунок підземних вод олігоцен-четвертинних відкладів. За даними [5], величина інтенсивності природного інфільтраційного живлення ґрунтових вод по м. Київ станом на 2005 р дорівнювала 0,000081-0,000673 м/доба, в середньому приблизно 0,0004 м/доба. Площа території міста складає приблизно 840 км², тому ресурси, що формуються за рахунок природного інфільтраційного живлення, приблизно дорівнюють:

$$0,0004 \text{ м/доба} \cdot 840 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot 365 \text{ д} = 0,123 \text{ км}^3.$$

Методика розрахунку загальних ресурсів сеноман-келовейського водоносного комплексу ґрунтувалася на обчисленні ємнісних та пружних запасів підземних вод за усередненими значеннями таких гідрогеологічних характеристик, як потужність водонасичених порід, величина гідродинамічного напору над покрівлею, а також параметрів гравітаційної ємності та пружної водовіддачі водоносного пласта. Як розрахункові значення зазначених характеристик було прийнято величини, що наведені у виробничих звітах з оцінки запасів підземних вод м. Київ [2].

Загальні ресурси сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах Києва за розрахунками авторів складають приблизно 0,587 км³.

Таким чином, частка атмосферних опадів у ресурсах сеноман-келовейського водоносного комплексу дорівнює приблизно 21%:

$$0,123 \text{ км}^3 / 0,587 \text{ км}^3 \cdot 100\% = 21\%.$$

Для визначення швидкості вертикального руху підземних вод у водообмінній системі на території м. Київ авторами виконано відповідні гідродинамічні розрахунки. Оскільки максимальна швидкість визначається шви-

дікстю руху в найменш проникному шарі, було розраховано приблизний час проходження води крізь крейдяно-мергельну товщу верхньої крейди за залежністю:

$$t = \frac{\Delta l^2 \cdot n_a}{k \cdot \Delta H}, \quad (1)$$

де t – час проходження води, Δl – довжина шляху фільтрації, n_a – активна пористість k – коефіцієнт фільтрації, ΔH – різниця п'єзометричних напорів.

За даними А.О. Сухореброго [7], потужність крейдяно-мергельної товщі складає 60 м, її активна пористість дорівнює 0,05.

Коефіцієнт фільтрації товщі за даними польових досліджень змінюється в межах від 0,000058 до 0,0035 м/доба [2], за даними лабораторних визначень – від 0,001 до 0,1 м/доба [4]. Тому автором при розрахунках часу проходження води прийнято значення коефіцієнту фільтрації 0,001 м/доба.

За даними В.М. Шестопалова зі співавт. [8], різниця п'єзометричних напорів між водоносним горизонтом еоценових відкладів та сеноман-келовейським водоносним комплексом станом на 1990 р становила від 10 до 50 м. Станом на 2010 р прогнозувалося його збільшення до 30-70 м.

Виходячи з наведених вище даних, приблизний час проходження води крізь крейдяно-мергельну товщу верхньої крейди у 1990 р становив від 49 до 10 років (у середньому, 30 років), а станом на 2010 р прогнозний час мав дорівнювати від 16 до 7 років (у середньому, 12 років).

З метою підтвердження отриманих на попередньому етапі дослідження результатів було застосовано ізотопно-радіогеохімічні дані. Зокрема, процент надходження поверхневих вод до сеноман-келовейського водоносного комплексу та час, за який води з поверхні надходять до цього комплексу, визначалися за показником активності тритію у підземних водах.

У лютому-квітні 2014 р було обстежено 77 бюветних свердловин, що експлуатують сеноман-келовейський водоносний комплекс, на вміст у воді тритію. Обстеження включало відбір проб, очищення води шляхом перегонки, приготування лічильної форми, вимірювання на бета-спектрометрі Quantulus 1220 та розрахунок вмісту тритію.

За даними дослідження, середнє значення вмісту тритію у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу на території Києва становить 5,6 Бк/дм³ (див. табл. 1). Концентрація тритію у поверхневих водах м. Київ складає приблизно 10 Бк/дм³ [3].

Таблиця 1

Діапазон вмісту тритію у різних геолого-геоморфологічних типах території м. Київ	
Геолого-геоморфологічний тип	Діапазон вмісту тритію, Бк/дм ³
Рівнинна частина Придніпровської височини	2-9,8
Долини малих річок	6-6,8
Лесові останці Придніпровської височини	2,3-9,1
Частина Придніпровської низовини	2,1-8,5

За даними вмісту тритію у поверхневих та підземних водах було виконано розрахунок відсоткової частки надходження поверхневих вод до сеноман-келовейського водоносного комплексу. Для цього використовувалась формула, запропонована Е.В. Собо-вичем, Г.Н. Бондаренком, В.Є. Ветштейном та ін. [6]:

$$Q = -\frac{1}{\tau} \ln \frac{y-g}{y_0-g} \times V, \quad (2)$$

де Q – кількість води, що надходить до підземних вод з поверхні, м³; τ – час надходження, діб; y – існуюча концентрація радіоактивного ізотопу (тритію) у підземних водах водоносного комплексу, Бк/дм³; y_0 – початкова концентрація радіоактивного ізотопу у підземних водах, Бк/дм³; g – концентрація ізотопу у поверхневих водах, що надходять, Бк/дм³; V – об'єм водоносного комплексу, м³.

Оскільки площа території м. Київ складає 840 км², а потужність порід комплексу приблизно 70 м [1], об'єм сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах міста дорівнює приблизно 59 км³.

Якщо прийняти, що $\tau = 365$ діб, $y = 5,6$ Бк/дм³; $y_0 = 0$ Бк/дм³; $g = 10$ Бк/дм³, то об'єм поверхневих вод, які

надходять до водоносного комплексу за рік, буде дорівнювати 0,133 км³. Це складає приблизно 23% від ресурсів сеноман-келовейського водоносного комплексу, що добре узгоджується з отриманими автором результатами гідродинамічного розрахунку частки атмосферних опадів у формуванні ресурсів комплексу (21%) та даними, наведеними В.М. Шестопаловим зі співавт. (21-26%) [7].

Для визначення часу надходження поверхневих вод до сеноман-келовейського водоносного комплексу, враховуючи період напіврозпаду тритію (12,26 років), було складено графік та отримано рівняння регресії, які дозволяють визначити час надходження поверхневих вод до цього комплексу (рис. 2).

Залежність, яка дозволяє розраховувати час надходження поверхневих вод до сеноман-келовейського водоносного комплексу τ має вигляд:

$$\tau = -17,6 \cdot \ln(x) + 40,72, \quad (3)$$

де τ – час надходження, діб; x – існуюча концентрація тритію у підземних водах водоносного комплексу, Бк/дм³.

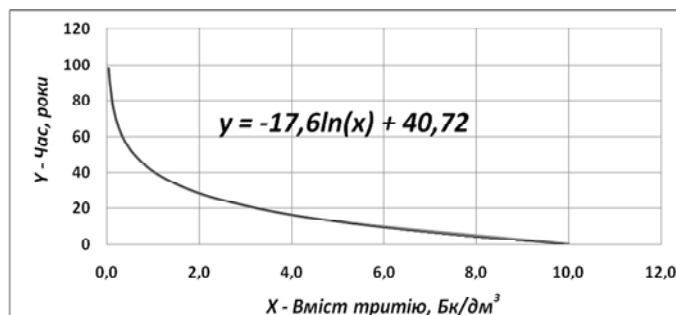


Рис. 2. Залежність часу надходження поверхневих вод до сеноман-келовейського водоносного комплексу від вмісту тритію у воді

