

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3(477.411):502.51(282.03):54.027
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.10>

О. Кошляков¹, д-р. геол. наук, проф.,
E-mail: kosh57@ukr.net;

Т. Кошлякова², канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,
Email: tatianakoshliakova@gmail.com;

О. Диняк¹, канд. геол. наук, доц.,
E-mail: oksdyn@ukr.net;

І. Кошлякова¹, інженер,
E-mail: irkos@ukr.net;

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;

²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,
просп. Академіка Палладіна, 34, м. Київ, 03142, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВОГО ТА ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ТРИТІУ ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ ЗМІН СТАНУ СЕНОМАН-КЕЛОВЕЙСЬКОГО КОМПЛЕКСУ ПІТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА КИЄВА

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Представлене дослідження спрямоване на вивчення та встановлення просторово-часової зміни вмісту тритію в підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Києва та причин цих змін з метою виявлення особливостей водообміну та гідравлічної взаємодії між водоносними горизонтами неглибокого і глибокого залягання, а також між підземними і поверхневими водами. Внаслідок надмірного використання підземних вод відбулося формування у водоносному горизонті депресійних поверхонь гідродинамічних напорів, горизонти з напірних перетворюються в безнапірні, і виникає небезпека низхідної фільтрації та забруднення питних підземних вод. Також одним з наслідків формування згаданих депресій є погіршення якості води. Проте дослідити умови формування якісного складу глибокозаляглих питних водоносних горизонтів та встановити причини зміни стану підземних вод є складною і відповідальною задачею водночас.

Методи ізотопної гідрогеології входять до числа основних наукових методів, що використовуються для відстеження особливостей руху підземних вод і оцінки їх віку. Отримані ізотопними методами нові дані допомагають контролювати водні ресурси і дозволяють приймати такі рішення, які принесуть соціально-економічні переваги. Отримані дані вмісту тритію у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу, наочно представлені у вигляді карт, дають можливість приймати обґрунтовані рішення щодо сталого управління ресурсами, а регулярний моніторинг хімічного і ізотопного складу підземних вод дозволяє виявити механізми їх поповнення і джерела забруднення, які раніше не враховувалися.

Результати, отримані авторами за допомогою статистичного і просторового аналізу вмісту тритію у підземних водах протягом 2014–2017 років свідчать, що на сьогодні у межах території м. Києва спостерігається позитивна тенденція до повільного поступового повернення сеноман-келовейського водоносного комплексу до свого природного стану.

Ключові слова: підземні води, ізотопні методи, тритій, гідродинамічні напори, сеноман-келовейський водоносний комплекс, вертикальний водообмін.

Вступ. З розвитком урбанізованих територій відбувається антропогенна зміна природного процесу формування запасів підземних вод. Функціонування систем водовідведення стічних вод, будівництво доріг, будівель призводить до того, що площа територій, на яких відбувається інфільтрація опадів, суттєво зменшується, а води, що надходять у водоносні горизонти, характеризуються вкрай високим рівнем забрудненості біогенними і неорганічними речовинами, нафтопродуктами та стійкими органічними забруднювачами.

Водночас найбільш складно дослідити умови формування якісного складу глибокозаляглих питних водоносних горизонтів та встановити причини зміни стану підземних вод. Перспективним напрямом досліджень тут може бути застосування ізотопних технологій (*IAEA bulletin ...*, 2019).

Вода, відповідно до походження та умов формування, має різні ізотопні ознаки, що залишають унікальний "слід". Різні ізотопи, що містяться у воді, виступають як "мітки", які можна використовувати для визначення джерела, віку, руху і взаємодії води як над землею, так і під нею. Ізотопні технології дозволяють оцінити оптимальність використання водних ресурсів, необхідних для сталого розвитку. За допомогою ізотопних методів вивчення компонент гідрогеологічного та гідрогеологічного циклу можливо краще оцінювати кількість, якість і стійкість водних ресурсів. Зокрема, використання ізотопів природного походження як індикаторів дозволяє з'ясувати шляхи поповнення підземних вод, їхнє походження,

напрямок фільтрації, ступінь захищеності (*Kambuku et al. 2003; Baresic et al., 2020*).

Постановка проблеми. Слід зазначити, що внаслідок антропогенної діяльності зростає інтенсивність і глибина водообміну (*Кошляков та ін., 2012*). Найнебезпечнішим наслідком надмірного використання підземних вод є той факт, що під час формування у водоносних горизонтах депресійних воронок виникає небезпека низхідної фільтрації забруднених ґрунтових вод за рахунок вертикального перерозподілу гідродинамічних напорів. Також одним із наслідків формування згаданих депресій є погіршення якості підземних вод. Отже, будь-яке забруднення, що формується в умовах населеного пункту, в тому числі забруднення ґрунтів, упродовж 10–20 років може призвести до надходження забруднювальних речовин до глибинних водоносних горизонтів.

Зокрема, експлуатація питних водоносних горизонтів на території м. Києва призвела до:

- зміни режиму і балансу підземних вод, що експлуатуються, і суміжних з ними водоносних горизонтів;
- формування великих депресій поверхонь гідродинамічних напорів;
- зміни напрямку руху підземного потоку (трансформація областей розвантаження в області живлення);
- зміни якості підземних вод по площі та в перерізі;
- зниження рівня ґрунтових вод та пов'язані із цим процеси зміни ландшафтних умов (*Кошляков та ін., 2012*).

© Кошляков О., Кошлякова Т., Диняк О., Кошлякова І., 2022

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підземні води сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах м. Києва з кінця XIX ст. є важливим джерелом централізованого та бюветного питного водопостачання населення міста, тому вивчення особливостей гідрогеологічних змін стану комплексу в процесі тривалої експлуатації має дуже важливе значення. Сеноман-келовейський водоносний комплекс є більш ізольованим від зовнішніх джерел живлення порівняно з водоносним горизонтом у відкладах канівської і буцацької серій еоцену. Тому його експлуатація призводить до утворення більш великих та глибоких воронок депресії і відповідного перепаду гідродинамічних напорів. Останнє забезпечує більш активну низхідну фільтрацію через крейдяно-мергельну товщу верхньої крейди у таких зонах. У свою чергу, перебудова водообміну у водоносному горизонті у відкладах канівської і буцацької серій еоцену та сеноман-келовейському водоносному комплексу призвела також до антропогенних змін у крейдяно-мергельній товщі верхньої крейди, що їх розділяє.

Отже, внаслідок багаторічної експлуатації підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Києва у структурі водообміну відбулися істотні зміни (*Шестопалов и др., 1988*). У долинах річок у районах підземних водозаборів було зафіксовано найбільш значну інверсію потоку: зони природної висхідної фільтрації перетворилися місцями в ділянки активної низхідної фільтрації. Відмічалася також інтенсифікація низхідної фільтрації. Значною мірою змінилася структура латеральної фільтрації комплексу, швидкість якої у середньому зросла в 1,5 раза порівняно з природною.

За даними Ю.Ф. Руденка та ін. (*Руденко та ін., 2021*), річка Дніпро та Київське водосховище за роки інтенсивної експлуатації підземних вод перетворилися на потужні додаткові (а подекуди й основні) джерела живлення останніх. Це можна розглядати як один із гарантованих чинників формування експлуатаційних запасів підземних вод. Під впливом водовідбору відбулась значна інтенсифікація перетікання між водоносними горизонтами і комплексами, що вплинуло на проникність роздільних шарів і на швидкість відновлення рівнів за останні 20 років за значного зменшення експлуатації підземних вод.

За результатами власних досліджень авторів, зазначені вище зміни у структурі водообміну віддзеркалились у суттєвій зміні поверхні гідродинамічних напорів сеноман-келовейського водоносного комплексу, що ілюструється схематичними картами п'єзоізогіпс станом на 1960 р. та 2005 р. (*Koshliakova et al., 2015*). Станом на 2010 р. виявлено загальну тенденцію до погіршення класу якості води в межах території м. Києва та встановлено, що зміни основних компонентів хімічного складу підземних вод комплексу на території міста мають, як і зміни поверхні гідродинамічних напорів, нерівномірний за площею характер і залежать від інтенсивності експлуатації (*Koshliakov et al., 2014*). Тобто станом на 2005–2010 рр. зберігалася загальна тенденція погіршення екологічного стану сеноман-келовейського комплексу, головним чинником якого є довготривалий видобуток підземних вод.

Проте результати геолого-економічної переоцінки експлуатаційних запасів Київського родовища питних підземних вод, виконаної у 2017 р. (*Федоренко та ін., 2017*), свідчать про таке: порівняно з періодом проведення попереднього гідрогеологічного вивчення території Києва у 1972 р. (*Литвак и др., 1972*) видобуток підземних вод із сеноман-келовейського комплексу після

2008 р. значно скоротився (орієнтовно зменшився у 4 рази), а п'єзометрична поверхня підвищилася приблизно на 10,0–20,0 м. Тобто протягом останніх років внаслідок скорочення видобутку підземних вод спостерігається швидке відновлення гідродинамічних напорів досліджуваного водоносного комплексу. З цього можна зробити висновок, що за останні роки стан сеноман-келовейського водоносного комплексу поступово повертається до природного.

Якщо це дійсно так, то за останній період часу повинна також спостерігатися позитивна тенденція змін хімічного складу підземних вод комплексу в бік його повернення до природного стану. Передусім це повинно проявитися у зменшенні нерівномірності розподілу його компонентів по площі.

Метою досліджень є вивчення особливостей водообміну у водоносному комплексі сеноман-келовейських відкладів на основі дослідження часових і просторових змін вмісту тритію у підземних водах протягом 2014–2017 рр.

Методика та результати досліджень. Отримані ізотопними методами дані допомагають контролювати водні ресурси і дозволяють приймати оптимальні рішення щодо їх використання (*IAEA bulletin ..., 2019*). Методи ізотопної гідрогеології входять до числа основних наукових методів, що використовуються для відстеження особливостей руху підземних вод і оцінки віку наявних підземних вод (*Brkic et al., 1983; Schwientek et al., 2009*).

У зв'язку з цим авторами виконано порівняння вмісту радіоактивного ізотопу водню – тритію у сеноман-келовейському водоносному комплексі в 2014 та в 2017 рр. (*Koshliakova et al., 2021*). Було відібрано проби та розраховано вміст тритію у воді з бюветів міста, пробурених на сеноман-келовейський водоносний комплекс (77 проб у 2014 р. та 80 проб у 2017 р.) (рис. 1).

Порівняння здійснювалось за допомогою статистичної обробки отриманих даних про вміст тритію. Оскільки водоносний комплекс, що досліджується, на території міста має однорідну геологічну будову, а бюветні комплекси, що на нього улаштовані, розташовані статистично рівномірно і випадково, була використана модель випадкової величини.

Результати визначення тритію на 2014 та 2017 рр. розглядалися як окремі вибірки. Для кожної з них було розраховано такі величини: середнє арифметичне, вибіркове стандартне відхилення, коефіцієнти асиметрії та ексцесу. Результати наведено в табл. 1.

У результаті перевірки гіпотези про відповідність вибіркових розподілів нормальному закону розподілу за допомогою правила "трьох сигм" встановлено, що з імовірністю 0,99 не можна стверджувати, що вибірккові розподіли не підкоряються нормальному закону. Тому було прийнято гіпотезу про нормальність розподілу вмісту тритію для обох вибірок.

Далі було перевірено гіпотезу про належність згаданих вибірок до однієї генеральної сукупності за допомогою дисперсійного аналізу (застосований F-критерій Фішера) та порівняння середніх арифметичних (застосований t-критерій Стюдента). Якщо припустити, що протягом 2014–2017 рр. хімічний стан підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в цілому змінився, вибірки вмісту тритію не будуть належати до однієї генеральної сукупності.

У табл. 2 наведено результати розрахунків F-статистики Фішера та t-статистики Стюдента для порівняння вибірок.

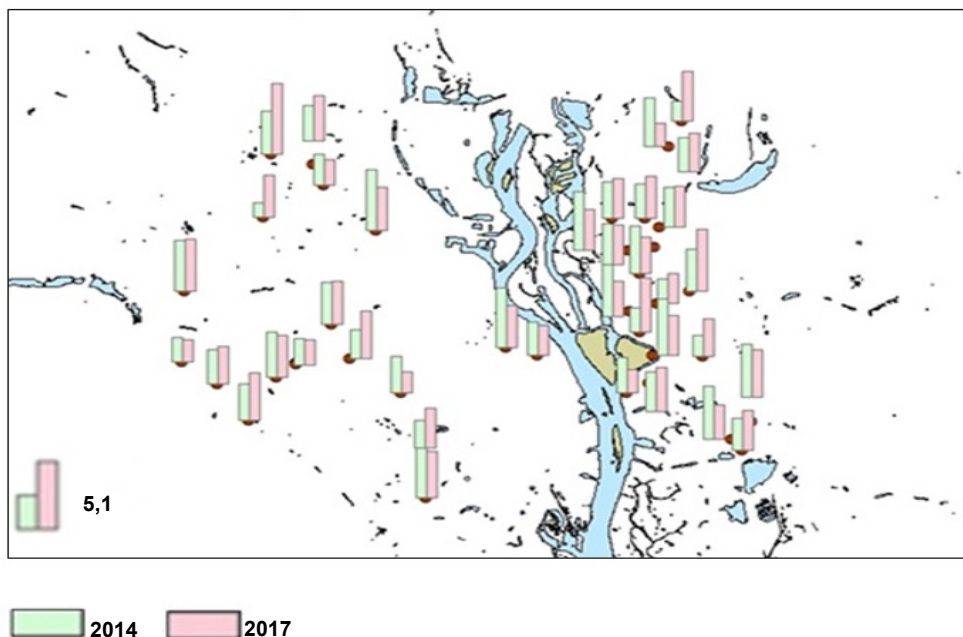


Рис. 1. Концентрація тритію у бюветних свердловинах м. Київ у 2014–2017 рр.

Таблиця 1

Результати розрахунків статистичних величин

Рік	Кількість визначень	Середнє арифметичне, Бк/дм ³	Стандартне відхилення, Бк/дм ³	Коефіцієнт асиметрії	Коефіцієнт ексцесу
2014	77	5,61	±1,746	0,143	-0,354
2017	80	5,50	±1,394	0,231	1,121

Таблиця 2

Результати розрахунків F-статистики Фішера та t-статистики Стьюдента

Рік	Кількість визначень	Дисперсія, (Бк/дм ³) ²	Середнє арифметичне, Бк/дм ³	F-статистика Фішера	t-статистика Стьюдента
2014	77	3,049	5,61	1,601	0,848
2017	80	1,943	5,50		

Аналіз результатів, наведених у табл. 2, показує, що вибірки не належать до однієї генеральної сукупності, оскільки їх дисперсії різні. Тому можна стверджувати, що протягом 2014–2017 рр. хімічний стан підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу загалом змінився.

Зменшення дисперсії вибірки вмісту тритію станом на 2017 р. порівняно з 2014 р. свідчить про те, що має місце зменшення нерівномірності розподілу тритію по площі на фоні незмінного середнього арифметичного значення. Саме це дає підстави вважати, що в останні роки на території в цілому існує позитивна тенденція змін хімічного стану підземних вод комплексу в бік його поступового повернення до природного стану (Koshliakova et al., 2021).

Для дослідження характеру змін вмісту тритію за площею протягом згаданого періоду часу було застосовано математичний апарат просторового аналізу і моделювання в геоінформаційних системах, реалізований за допомогою програмного засобу ArcGIC 10.4.1 (Dylniak et al., 2021).

Спочатку за наявними фактичними даними вмісту тритію було побудовано картограми вмісту тритію в підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Києва станом на 2014 та 2017 рр. Для побудови картограм застосований метод зворотних зважених відстаней (рис. 2).

Після цього виконано оверлейний аналіз, у результаті чого отримано схематичну картограму змін вмісту тритію у підземних водах за згаданий період часу. Автори враховували імовірну похибку вхідних даних та

математико-картографічних побудов, тому картограма створена за "принципом світлофору" способом якісного фону. Вона наочно показує, де відбулося збільшення вмісту тритію (червоний колір), де вміст зменшився (зелений колір), а де суттєвих змін не відбулося (жовтий колір) (рис. 3).

Отримані результати було проаналізовано з урахуванням геолого-гідрогеологічної будови території м. Києва, зміни динаміки водовідбору з водоносного комплексу сеноман-келовейських відкладів та висновків, що були зроблені на підставі попередньо згаданої статистичної обробки (Dylniak et al., 2021).

Аналіз наведеної схематичної картограми дозволяє стверджувати, що протягом 2014–2017 рр. на переважній частині території м. Києва відбулися зміни вмісту тритію у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу. Причому в межах території, що наближена до р. Дніпро, переважає загальна тенденція до зменшення вмісту тритію, а в межах території, що віддалена від річки, вміст тритію збільшився.

З погляду геолого-гідрогеологічної будови території м. Києва збільшення вмісту тритію збігається або з більш захищеною від забруднення територією поширення водоносного комплексу (Федоренко та ін., 2017), або з ділянками старої забудови та промисловими зонами на лівому березі р. Дніпро.

Найінтенсивніше зменшення вмісту тритію спостерігається переважно у заплаві Дніпра.

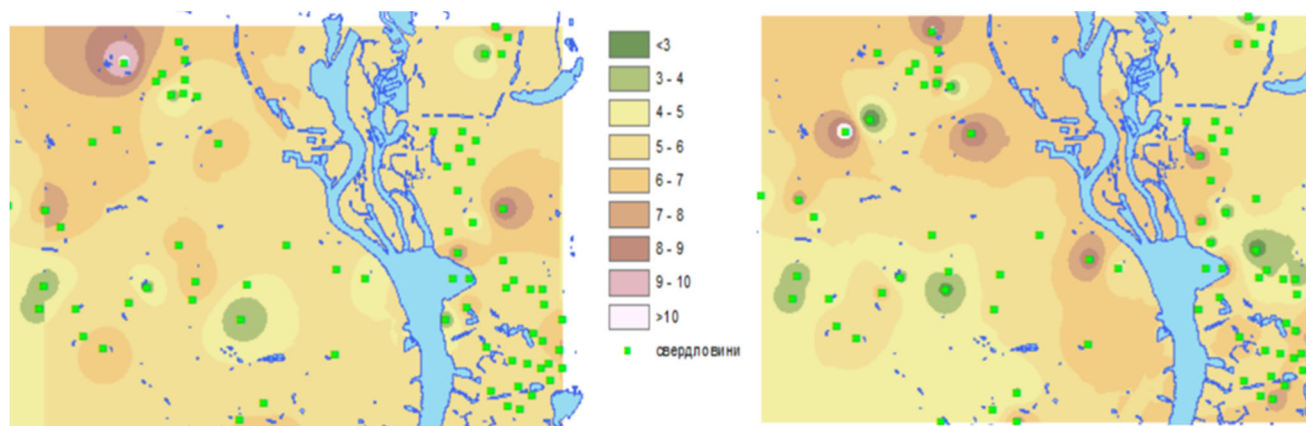


Рис. 2. Картограми вмісту тритію в підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Києва станом на 2014 та 2017 рр.

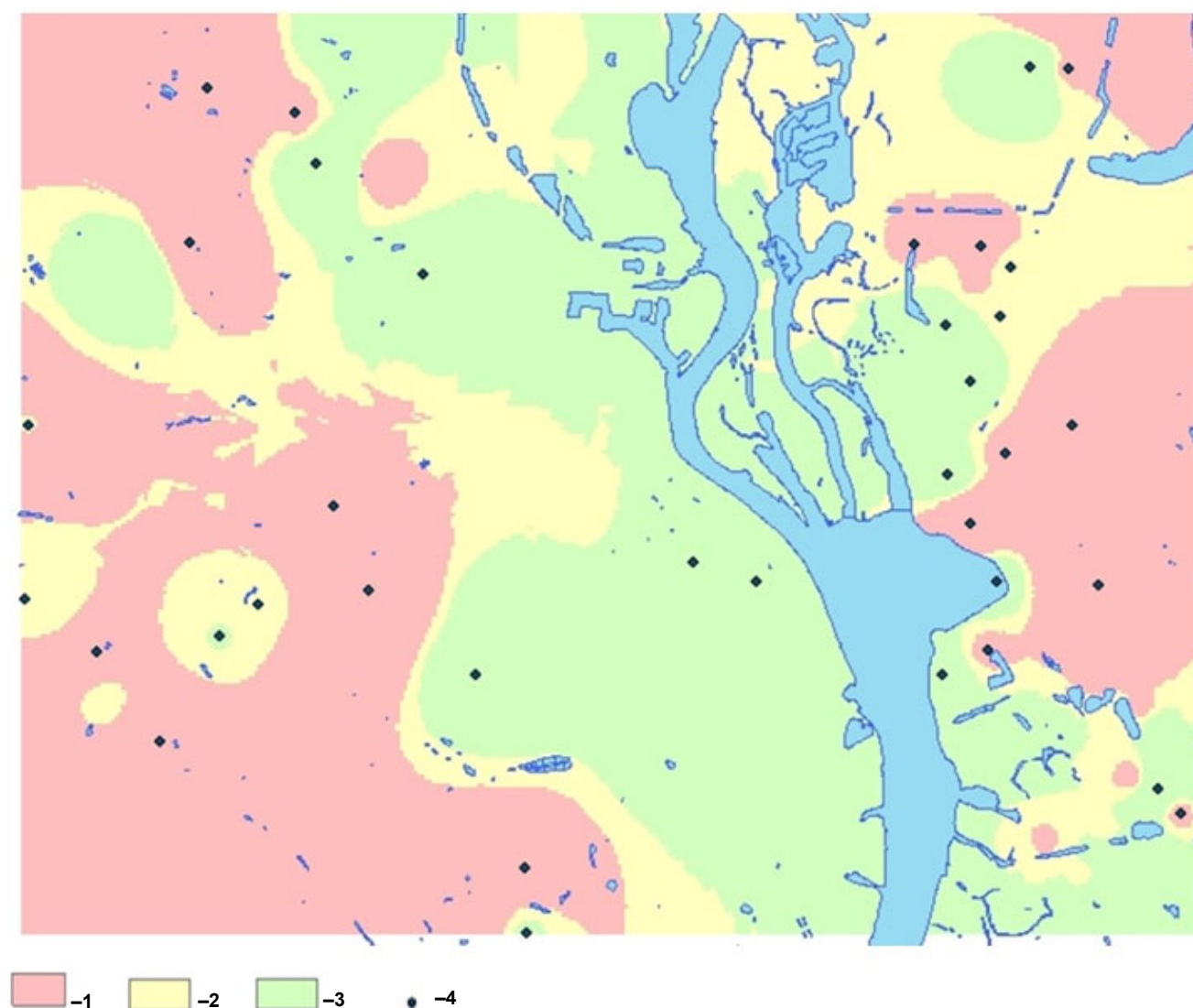


Рис. 3. Схематична картограма змін вмісту тритію у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу протягом 2014–2017 років:
1 – вміст тритію збільшився, 2 – вміст тритію стабільний, 3 – вміст тритію зменшився, 4 – свердловини

Висновки. Використовуючи тритій під час вивчення стану водоносного комплексу сеноман-келовейських відкладів, отримано важливу інформацію про особливості водообміну та його загальної динаміки. На думку

авторів, виявлені зміни вмісту тритію протягом 2014–2017 рр. можна пояснити такими причинами:

1. Відомо, що в природному стані (наприкінці XIX ст.) р. Дніпро в межах території м. Києва являла собою

область розвантаження сеноман-келовейського водоносного комплексу, а внаслідок тривалої експлуатації вона поступово перетворилася переважно в область живлення. Відновлення гідродинамічних напорів водоносного комплексу, що відбувається за останні роки внаслідок скорочення видобутку підземних вод, викликало тренд поступового повернення гідродинамічного стану комплексу до природного. Отже, водообмін між підземними водами комплексу та поверхневими водами характеризується тенденцією до зменшення кількості поверхневої води, що потрапляє в підземні води. Відповідно, кількість тритію, джерелом якого є поверхневі води, у водоносному комплексі поблизу Дніпра зменшується в часі внаслідок латеральної фільтрації.

2. Зміна умов вертикального водообміну внаслідок скорочення видобутку підземних вод відбувається значно повільніше порівняно з латеральними змінами. Тому швидкість потрапляння тритію у підземні води водоносного комплексу внаслідок вертикального водообміну або суттєво не змінюється, або дещо збільшується на більш захищених від забруднення ділянках території та на ділянках з підвищеним техногенним навантаженням.

Отже, висновки, отримані за допомогою статистичного і просторового аналізу вмісту тритію у підземних водах протягом 2014–2017 рр., підтверджують, що на сьогоднішні у межах території м. Києва спостерігається позитивна тенденція до повільного поступового повернення сеноман-келовейського водоносного комплексу до свого природного стану.

Список використаних джерел

- Кошляков, О., Диняк, О., Кошлякова, І. (2012). Виснаження та забруднення питних водоносних горизонтів в умовах інтенсивної експлуатації на території м. Києва. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 56, 38–42.
- Кошляков, О.Є., Кошлякова, Т.О. (2014). Виявлення динаміки змін хімічного складу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу у м. Києві за допомогою методів математичної статистики. *Науковий вісник Національного аграрного університету*, 3(141), 5–10.
- Кошлякова, Т., Кошляков, О., Долін, В., Скрипкін, В. (2015). Оцінка інтенсивності водообміну в сеноман-келовейському водоносному комплексі на території м. Києва в умовах техногенного впливу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 68, 66–70. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.68.11.66-70>
- Литвак, Д.Р., Кузьменко, Г.А., Соловицький, В.Н. и др. (1972). Гидрогеологические условия и оценка эксплуатационных запасов подземных вод района г. Киева (по состоянию на 01.01.1972 г.). К., Министерство геологии УССР, Киевский геологоразведочный трест.
- Руденко, Ю.Ф., Шестопалов, В.М., Негода, Ю.О., Гураль, О.В. (2021). Рациональное использование эксплуатационных запасов подземных вод для водопостачання м. Київ. *Геологічний журнал*, 4, 29–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.4.240101>
- Федоренко, А.С., Буян, Н.Н., Нікіташ, Ю.О. (2017). Геолого-економічна переоцінка експлуатаційних запасів Київського родовища питних підземних вод для ПрАТ "Київводоканал" в м. Києві. Київська гідрогеологічна експедиція ДП "Українська геологічна компанія".
- Шестопалов, В.М., Ситников, А.Б., Лялько, В.И. и др. (1988). Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. В кн. В.М. Шестопалов (ред.) Методы изучения водообмена. Ин-т геологических наук, АН УССР. К.: Наукова думка.
- Baresic, J., Parlov, J., Kovac, Z., Sironic, A. (2020). Use of nuclear power plant released tritium as a groundwater tracer. *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, 1(35), 25–35. <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.1.3>
- Brkic, Z., Kuhta, M., Hunjak, T., Larva, O. (1983). Regional Isotopic Signatures of Groundwater in Croatia. *Water*, 7(12), 58–65. <https://doi.org/10.3390/w12071983>
- Dyniak, O., Koshliakova, T., Koshliakova, I., Koshliakov, O. (2021). Spatial analysis and modeling of tritium content in groundwater of Senoman-Callovian aquatic complex on the territory of Kyiv for the purpose of assessing changes in its ecological condition in time. *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of*

the Environment", 17–19 November 2021, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2055>

IAEA bulletin 60-1 April 2019. Water. (2019). Отримано з <https://www.iaea.org/bulletin/60-1>

Kambuku, D., Tsujimura, M., Kagawa, S., Mdala, H. (2003). Corroborating stable isotopic data with pumping test data to investigate recharge and groundwater flow processes in a fractured rock aquifer, Rivirivi Catchment, Malawi. *Environmental Earth Sciences*, 6(77), 34–42. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7403-9>

Koshliakova, T., Koshliakov, O., Dyniak, O., Koshliakova, I. (2021). Tritium content as indicator of Cenomanian-Callovian groundwater complex state changes as a result of long-term operation within Kyiv city. *20th International Conference Geoinformatics "Theoretical and Applied Aspects"*, 11–14 May 2021, Kiev, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521053>

Schwientek, M., Maloszewski, P., Einsiedl, F. (2009). Effect of the unsaturated zone thickness on the distribution of water mean transit times in a porous aquifer. *Journal of Hydrology*, 3-4(373), 516–526. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.015>

References

- Baresic, J., Parlov, J., Kovac, Z., Sironic, A. (2020). Use of nuclear power plant released tritium as a groundwater tracer. *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, 1(35), 25–35. <https://doi.org/10.17794/rgn.2020.1.3>
- Brkic, Z., Kuhta, M., Hunjak, T., Larva, O. (1983). Regional Isotopic Signatures of Groundwater in Croatia. *Water*, 7(12), 58–65. <https://doi.org/10.3390/w12071983>
- Dyniak, O., Koshliakova, T., Koshliakova, I., Koshliakov, O. (2021). Spatial analysis and modeling of tritium content in groundwater of Senoman-Callovian aquatic complex on the territory of Kyiv for the purpose of assessing changes in its ecological condition in time. *XV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 17–19 November 2021, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2055>
- Fedorenko, A.S., Buyan, N.N., Nikitash, Yu.O. (2017). Geological-economical reevaluation of operational reserves of Kyiv potable groundwater field for PJSC "AK Kyivvodokanal" in Kyiv city. *Kyiv hydrogeological expedition of SI "Ukrainian Geological Company"*. [in Ukrainian]
- IAEA bulletin 60-1 April 2019. Water. (2019). Retrieved from <https://www.iaea.org/bulletin/60-1>
- Kambuku, D., Tsujimura, M., Kagawa, S., Mdala, H. (2003). Corroborating stable isotopic data with pumping test data to investigate recharge and groundwater flow processes in a fractured rock aquifer, Rivirivi Catchment, Malawi. *Environmental Earth Sciences*, 6(77), 34–42. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7403-9>
- Koshliakov, O., Dyniak, O., Koshliakova, I. (2012). Depletion and contamination of drinking water aquifers under intensive exploitation on the territory of Kyiv. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv / Geology*, 1 (56), 38–42. [in Ukrainian]
- Koshliakov, O.Ye., Koshliakova, T.O., (2014). Revelation of cenomanian-callovian ground water complex chemical composition changes dynamics in Kyiv by mathematical statistics methods using. *Naukoviy visnyk Natsionalnogo gimnychogo universytetu, Dnipropetrovsk*, 3(141), 5–10. [in Ukrainian]
- Koshliakova, T., Koshliakov, O., Dyniak, O., Koshliakova, I. (2021). Tritium content as indicator of Cenomanian-Callovian groundwater complex state changes as a result of long-term operation within Kyiv city. *20th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 11–14 May 2021, Kiev, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521053>
- Koshliakova, T., Koshliakov, O., Dolin, V. and Skrypkin, V. (2015). Man-made impact and water cycle rates in Cenomanian-Callovian groundwater complex (Kyiv). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(68), 66–70. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.68.11.66-70> [in Ukrainian]
- Litvak, D.R., Kuzmenko, G.A., Solovitskiy, V.N. et al., (1972). Hydrogeological conditions and useful ground water resources estimation for Kyiv city territory (for state of January 1, 1972). *Ministerstvo geologii USSR, Kievskiy geologorazvedochnyy trest*, Kyiv. [In Russian]
- Rudenko, Yu.F., Shestopalov, V.M., Negoda, Iu.A., Gural, O.V. (2021). On the rational use of exploitable drinking groundwater reserves for water supply to the city of Kyiv. *Geological Journal*, 4, 29–55. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.4.240101> [in Ukrainian]
- Schwientek, M., Maloszewski, P., Einsiedl, F. (2009). Effect of the unsaturated zone thickness on the distribution of water mean transit times in a porous aquifer. *Journal of Hydrology*, 3-4(373), 516–526. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.015>
- Shestopalov, V.M., Sitnikov, A.B., Lyalko, V.I. et al. (1988). Water cycle in hydrogeological structures of Ukraine. In *Water cycle investigation methods*. Kyiv: Naukova dumka. [In Russian].

Надійшла до редколегії 02.03.22

O. Koshliakov¹, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
E-mail: kosh57@ukr.net;
T. Koshliakova², PhD (Geol.), Senior Researcher,
Email: tatianakoshliakova@gmail.com;
O. Dyniak¹, Cand. Sci. (Geo), Assoc. Prof.,
E-mail: oksdyn @ukr.net;
I. Koshliakova¹, Engineer,
E-mail: irkos@ukr.net;

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;

²M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine,
34, Ac. Palladin Ave., Kyiv, 03142, Ukraine

EXPERIENCE OF ISOTOPE TECHNOLOGIES APPLICATION TO STUDY CHANGES IN DEEP-WATER POTABLE AQUIFERS STATE WITHIN KYIV IN CONDITIONS OF LONG-TERM OPERATION

The presented research is devoted to study and establishment of the spatiotemporal change of tritium content in groundwater of Cenomanian-Callovian groundwater complex in Kyiv and the causes of these changes in order to identify water exchange features and hydraulic interaction between shallow and deep aquifers, as well as between groundwater and surface waters. Due to the excessive use of groundwater, depressive surfaces of hydrodynamic pressures have formed, aquifers are transforming from pressure head to pressureless, and there is a danger of downward filtration and contamination of potable groundwater. Also, one of the effects of these depressions formation is deterioration of water quality. However, to study the conditions of the qualitative composition formation of deep potable aquifers and to identify the causes of changes in groundwater status is a difficult and responsible task at the same time.

Methods of isotopic hydrogeology are among the main scientific methods used to track the peculiarities of groundwater movement and assess their age. The new data obtained by isotopic methods help to control water resources and allow to make such decisions that will bring socio-economic benefits. The obtained data of tritium content in groundwater of Cenomanian-Callovian groundwater complex, clearly presented in the form of maps, allow to make informed decisions on sustainable resource management, and regular monitoring of chemical and isotopic composition of groundwater reveals mechanisms of recharge and sources of pollution, which were not taken into account before.

The results obtained by the authors through statistical and spatial analysis of tritium content in groundwater during 2014-2017, indicate that currently within the territory of Kyiv there is a positive trend towards a slow gradual return of Cenomanian-Callovian groundwater complex to its natural state.

Keywords: groundwater, isotopic methods, tritium, hydrodynamic pressures, Cenomanian-Callovian groundwater complex, vertical water exchange.