

УДК 556.314(477-25):[504.4+504.61]

Т. Кошлякова, канд. геол. наук, наук. співроб.,  
E-mail: geol@bigmir.net,  
В. Долін, д-р геол. наук, проф., зав. відділу,  
E-mail: vdolin@ukr.net,  
ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України",  
пр. Акад. Палладіна, 34-а, м. Київ, 03680, Україна

## ПРИРОДНІ ТА ТЕХНОГЕННІ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ СЕНОМАН-КЕЛОВЕЙСЬКОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСУ У МЕЖАХ КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ

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

**Мета.** Визначення закономірностей формування хімічного складу сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах м. Києв у зв'язку з техногенним впливом.

**Методика.** При виконанні дослідження було застосовано математичні методи обробки гідрогеологічних даних (нормалізація показників хімічного складу підземних вод, визначення потужності техногенного потоку винесення мінеральних речовин, регресійний аналіз та побудова експоненційних трендів). Для побудови графіків було використано програмні засоби Excel та Statistica.

**Результати.** Досліджено закономірності зміни хімічного складу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах м. Києв у період 1980–2010 рр за основними показниками. Проаналізовано співвідношення між змінами нормованих показників хімічного складу підземних вод досліджуваного водоносного комплексу та інтенсивністю водовідбору. Виявлено закономірне збільшення вмісту мінеральних речовин при зменшенні водовідбору. Оцінено потужність техногенного потоку винесення мінеральних речовин з досліджуваного водоносного комплексу. Встановлено, що динаміка показників техногенного потоку мінеральних речовин з високим коефіцієнтом кореляції співпадає з динамікою виробництва електроенергії в Україні. Визначено часові закономірності зміни показників якості води. Розраховано константу швидкості зміни параметрів техногенного потоку мінеральних речовин у період 1980–2010 рр.

**Наукова новизна.** Встановлено, що якість води сеноман-келовейського водоносного комплексу, який використовується для питного водопостачання населення Києва, значною мірою визначається техногенними чинниками – обсягами промислового виробництва та величиною водовідбору. Виявлено істотну негативну кореляцію (Ккор. -0,6 – -0,85) між величиною нормованих показників якості води, винесення мінеральних речовин, водовідбору та обсягом промислового виробництва (оціненим за виробництвом електроенергії в Україні).

**Практична значимість.** Отримані у результаті дослідження експоненційні тренди динаміки параметрів техногенного потоку мінеральних речовин, зокрема розраховані константи швидкості їх зміни у період 1980–2010 рр, можуть слугувати інструментом для прогнозування хімічного складу води в умовах інтенсивного водовідбору. Методика застосування експоненційної регресії разом з прийомами кореляційного аналізу дає змогу виявляти як зв'язок якісних показників хімічного складу підземних вод з техногенними чинниками, так і часові тренди їх змін, та може успішно застосовуватися для урбанізованих територій.

**Ключові слова:** підземні води, водовідбір, техногенний вплив, регресія, тренд, константа швидкості.

**Постановка проблеми.** Техногенний вплив у межах урбанізованих територій за своєю силою можна порівняти до дії природних чинників. Антропогенне навантаження на підземну гідросферу проявляється як у зміні гідродинамічних показників усіх її компонентів, так і у трансформації хімічного складу підземних вод. Особливу небезпеку ці процеси представляють для водонесних горизонтів, які є ресурсом чистої питної води. У м. Київ таким важливим ресурсом вже понад сто років слугує сеноман-келовейський водоносний комплекс (водоносний комплекс у відкладах іваноцької світи середньої та верхньої юри та загорівської, журавинської, бурімської світ нижньої й верхньої крейди), що є одним з джерел водопостачання населення.

Виклад основного матеріалу. На першому етапі дослідження було проаналізовано зміни показників хімічного складу з часом. Авторами розглянуто такі показники хімічного складу, як мінералізація, окиснюваність, жорсткість, рН, вміст іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Fe}_{\text{заг.}}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Вивчення співвідношень між змінами показників та величиною водовідбору проводилося в межах часового проміжку, що охоплює період спостережень з 1980 до 2010 р. Цей період характеризується зменшенням обсягів водовідбору. Зважаючи на інтенсивність водовідбору як на один з ключових факторів техногенного впливу на гідрогеологічну систему сеноман-келовейського водоносного комплексу, що визначає гідродинамічні умови формування депресійної воронки, показники хімічного складу було нормовано за його величиною.

Нормалізація виконувалася за такою формулою:

$$C_{(Q)} = \frac{C}{Q}, \quad (1)$$

де  $C(Q)$  – нормований показник хімічного складу води,  $C$  – концентрація показника хімічного складу води,  $\text{мг/дм}^3$ ,  $Q$  – величина водовідбору, тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$ .

Графічне відображення співвідношень між змінами нормованих показників хімічного складу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу та інтенсивністю водовідбору наведено на рис. 1.

Нормований за водовідбором показник мінералізації зростає при зменшенні водовідбору в період 1980–2010 рр, що свідчить про відносне збільшення вмісту мінеральних речовин при зменшенні водовідбору. Висока негативна кореляція (Ккор. = -0,54 – -0,86) характерна також для нормованих показників окиснюваності, загальної жорсткості, рН, вмісту  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ .

На наступному етапі було виконано оцінку потужності техногенного потоку винесення мінеральних речовин із сеноман-келовейського водоносного комплексу за формулою:

$$T = C \cdot Q, \quad (2)$$

де  $T$  – потужність техногенного потоку винесення мінеральних речовин,  $\text{т/доба}$ ,  $C$  – концентрація показника хімічного складу води,  $\text{мг/дм}^3$ ,  $Q$  – величина водовідбору, тис.  $\text{м}^3/\text{доба}$ .

Числова величина техногенного чинника оцінювалася за кількістю виробленої електроенергії в Україні. Було виявлено, що динаміка показників техногенного потоку мінеральних речовин з високим коефіцієнтом кореляції співпадає з динамікою виробництва електроенергії в Україні.

Динаміку винесення мінеральних речовин техногенним потоком у порівнянні з обсягами виробництва електроенергії в Україні графічно представлено на рис. 2.

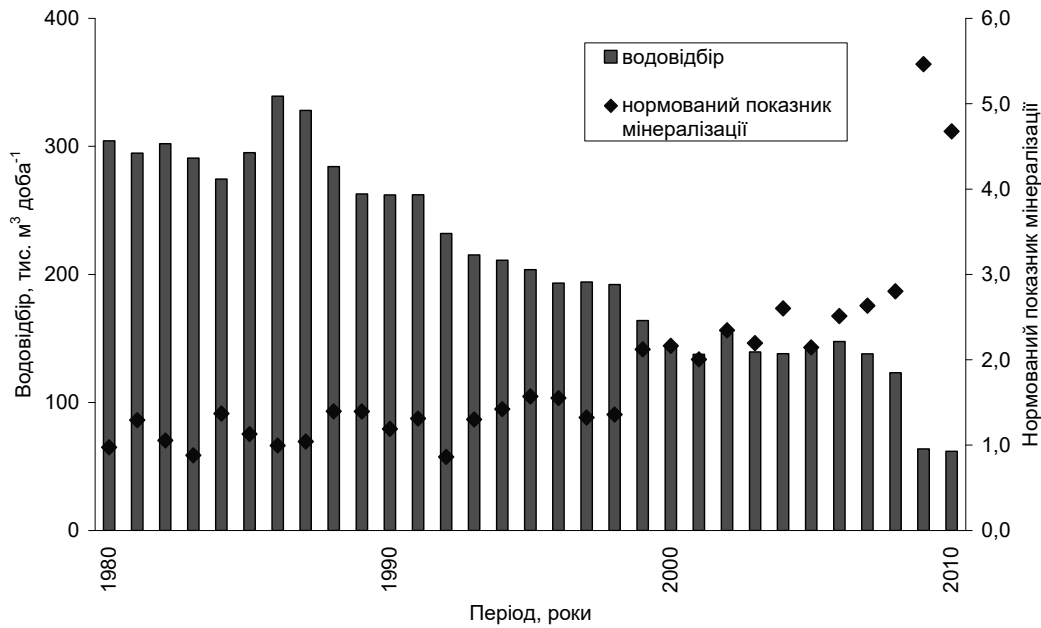


Рис. 1. Нормовані показники мінералізації та водовідбору із сеноман-келовейського водоносного комплексу в період 1980–2010 рр

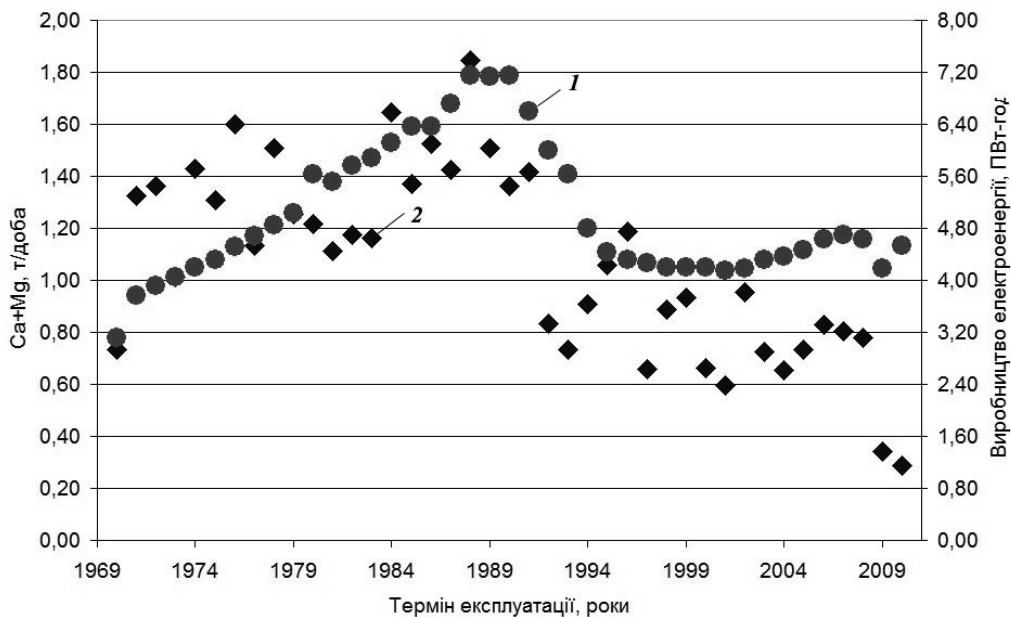


Рис. 2. Динаміка параметрів техногенного потоку мінеральних речовин у порівнянні з обсягами виробництва електроенергії в Україні: 1 – виробництво електроенергії, 2 – загальна жорсткість

Було виявлено, що на межі 90-х років минулого століття відбувся спад промислового виробництва в Україні та, відповідно, динамічне зменшення виведення мінеральних речовин техногенним потоком.

З метою визначення часових закономірностей зміни показників якості води було застосовано "кінетичний" підхід, обґрунтований у роботах Г. М. Бондаренка та В. В. Доліна зі співавторами [1]. Формування хімічного складу підземних вод відбувається внаслідок процесів фізико-хімічної взаємодії, розчинення та вилугування хімічних сполук з порід, через які вода протікає. В основі цих процесів лежить низка хімічних реакцій (згідно з теорією Д.І. Менделєєва, розчинення є хімічним процесом), більшість з яких спрямована в бік протікання процесу, що, зрештою, й визначає його спрямованість.

Кожна з хімічних реакцій характеризується константою швидкості, що дає підстави для розрахунку інтег-

ральної константи швидкості процесу в цілому. В умовах водовідбору утворюється депресійна воронка, яка зумовлює низхідний рух води, що спричиняє інтенсифікацію вилугування хімічних сполук з порід у радіальному напрямку. Тобто напрямком процесу задається зовнішнім техногенним втручанням, що визначає правомірність аналізу результатів з позицій формальної кінетики для незворотного процесу.

Методи регресійного аналізу мають широке застосування у практиці гідрогеологічних досліджень. Вони дають змогу оцінити щільність зв'язку між двома або більше ознаками й оформити уявлення про вид цього зв'язку у вигляді рівняння (так званого рівняння регресії або рівняння кореляційного зв'язку), що описує залежність між значенням однієї ознаки (залежної, поведінку якої вивчають) та значеннями деякої сукупності ознак (незалежних факторів, вплив яких на залежну ознаку

намагаються оцінити). Знання залежності у вигляді рівняння дає змогу не тільки пояснити поведінку залежної ознаки, а й прогнозувати значення її за різних змін значень незалежних ознак.

Для визначення закономірностей зміни показників хімічного складу підземних вод у часі авторами застосовано експоненційну регресію, яка, на відміну від методу лінійної регресії, що апроксимує дані прямою лінією, використовує криву, що розраховується за масивом вихідних значень [2].

Таким чином, для розрахованих параметрів техногенного потоку мінеральних речовин було побудовано експоненційні тренди, для яких визначено рівняння регресії, що дало змогу отримати величини константи швидкості зміни цих параметрів у період 1980–2010 рр.

Для наочного зображення форми зв'язку між досліджуваними показниками хімічного складу підземних

вод було застосовано графічний метод. Для цього у прямокутній системі координат побудовано графіки, при цьому на осі ординат відкладалися індивідуальні значення результативної ознаки  $Y$  (показника хімічного складу підземних вод), а на осі абсцис – індивідуальні значення факторної ознаки  $X$  (у даному випадку – термін спостережень). Ґрунтуючись на отриманих сукупностях точок результативної та факторної ознаки – полях кореляції, – було висунуто гіпотези про те, що зв'язок між усіма можливими значеннями  $X$  та  $Y$  носить експоненційний характер, та отримано відповідні рівняння регресії. Таким чином, емпіричні коефіцієнти регресії  $a$  і  $k$  є оцінками теоретичних коефіцієнтів, а власне рівняння відображає загальну тенденцію у поведінці змінних, які розглядаються. Нижче наведено отримані результати (рис. 3).

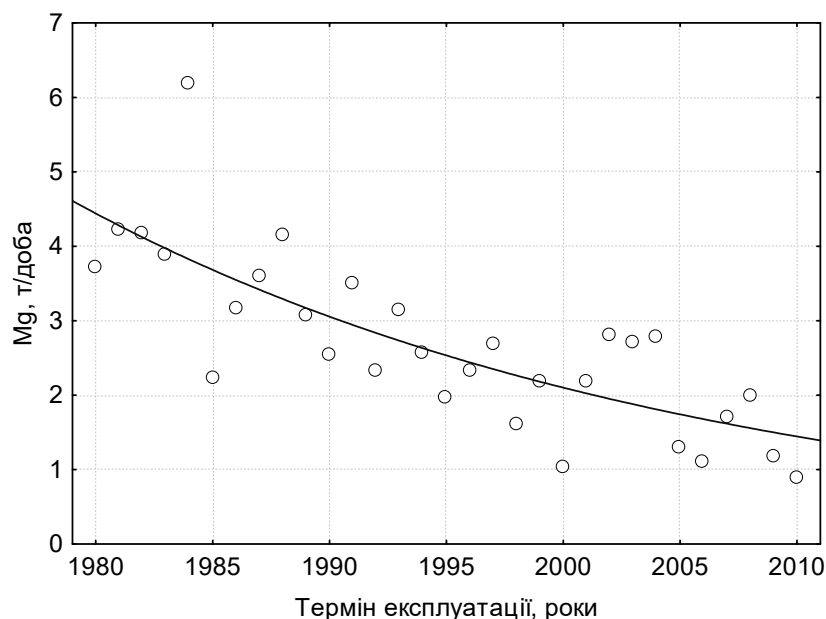


Рис. 3. Експоненційний тренд динаміки параметра техногенного потоку мінеральних речовин, оціненого за вмістом  $Mg^{2+}$

Рівняння регресії для експоненційного тренду динаміки параметра техногенного потоку мінеральних речовин, оціненого за показником винесення  $Mg^{2+}$  техногенним потоком:  $y = 9,39 \cdot e^{-0,0374x}$ .

За експоненційними трендами динаміки параметрів техногенного потоку мінеральних речовин розраховано константу швидкості їх зміни у період 1980–2010 рр, яка у середньому становить  $-0,0369 \pm 6,6\%$ . Порівняна відповідність величини цієї константи для різних показників дає підстави для її застосування як інструменту прогнозування хімічного складу води в умовах інтенсивного водовідбору.

Висновки. Було досліджено закономірності зміни хімічного складу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в межах м. Київ у зв'язку з техногенним впливом у період з 1980 до 2010 р за такими показниками: мінералізація, окиснюваність, загальна жорсткість, рН, вміст іонів  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+ + K^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ . Проаналізовано співвідношення між змінами нормованих показників хімічного складу підземних вод досліджуваного водоносного комплексу та інтенсивністю водовідбору. Виявлено, що нормований за водовідбором показник мінералізації зростає при зменшенні вмісту мінеральних речовин при зменшенні водовідбо-

ру. Висока негативна кореляція ( $K_{кор} = -0,54 - -0,86$ ) характерна також для нормованих показників окиснюваності, загальної жорсткості, рН, вмісту  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ , що може бути ознакою стійкого екологічного впливу успадкованих за максимального водовідбору змін гідродинамічних та гідрогеохімічних умов горизонтів зони активного водообміну. Оцінено потужність техногенного потоку винесення мінеральних речовин з сеноман-келовейського водоносного комплексу. Встановлено, що динаміка показників техногенного потоку мінеральних речовин з високим коефіцієнтом кореляції співпадає з динамікою виробництва електроенергії в Україні. Виявлено, що спад промислового виробництва в Україні на межі 90-х рр минулого століття корелює з динамічним зменшенням винесення мінеральних речовин техногенним потоком. За допомогою "кінетичного" підходу визначено часові закономірності зміни показників якості води. За експоненційними трендами динаміки параметрів техногенного потоку мінеральних речовин розраховано константу швидкості їх зміни у період 1980–2010 рр, що може слугувати інструментом для прогнозування хімічного складу води в умовах інтенсивного водовідбору. Методика застосування експоненційної регресії разом з прийомами кореляційного аналізу дає змогу виявляти як зв'язок якісних показників хімі-

чного складу підземних вод з техногенними чинниками, так і часові тренди їх змін, та може успішно застосовуватися для урбанізованих територій [3].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Долін В. В. Самоочищення природного середовища після Чорнобильської катастрофи / В. В. Долін, Г. М. Бондаренко, О. О. Орлов; за ред. Е. В. Собоновича. – К.: Наук. думка, 2004. – 221 с.
2. Дрейпер П. Прикладний регресійний аналіз: [в 2-х кн.]. Кн.1. / П. Дрейпер, Г. Смит; пер. с англ.: Ю. П. Адлер, В. Г. Горський – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 365 с.
3. Кошлякова Т. О. Техногенна еволюція хімічного складу підземних вод сеноман-келловейського водоносного комплексу на території м. Києва [Текст]: автореф. дис... канд. геол. наук: 21.06.01

Koshliakova T., Research Assistant  
E-mail: geol@bigmir.net,  
Dolin V., Dr. Sci. (Geol.), Prof., Head of the department  
E-mail: vdolin@ukr.net,  
SI "Institute of Environmental Geochemistry  
National Academy of Sciences of Ukraine  
34-a Acad. Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

### NATURAL AND MAN-CAUSED FACTORS OF CENOMANIAN-CALLOVIAN GROUNDWATER COMPLEX CHEMICAL COMPOSITION FORMATION WITHIN URBAN AGGLOMERATION OF KYIV

**Purpose.** Determination of patterns of cenomanian-callovian groundwater complex chemical composition formation in Kyiv due to man-caused influence.

**Methodology.** During the study, the following approaches were used: mathematical methods of hydrogeological data processing (normalization of groundwater chemical composition parameters, determination of mineral substances export man-caused flow capacity, regression analysis and exponential trending). For graphs construction Excel and Statistica programs were used.

**Findings.** The regularities of cenomanian-callovian groundwater complex chemical composition changes in Kyiv during the 1980s–2010s, based on primary parameters, were investigated. Correlation between changes of study groundwater complex chemical composition normalized parameters and water intake intensity was analyzed.

Regular increase of mineral substances content with water intake decrease was revealed. The capacity of man-caused flow of mineral substances export from study groundwater complex was estimated. It was determined, that the dynamics of mineral substances man-caused flow parameters with high correlation coincides with the dynamics of power generation in Ukraine. Temporal patterns of water quality parameters changes were defined. The rate constant of mineral substances man-caused flow parameters changes during the 1980s–2010s was calculated.

**Originality.** It was defined that cenomanian-callovian groundwater complex quality, used as potable water source for Kyiv population, is extensively determined by man-caused factors, such as industrial production and water intake intensity. Significant negative correlation ( $K_{cor} - 0,6 - -0,85$ ) between water quality normalized parameters value, mineral substances export value, water intake intensity and industrial production output (estimated by power generation in Ukraine) was revealed.

**Practical value.** The resulting research exponential trends of dynamics of mineral substances man-caused flow parameters, especially calculated rate constants of their changes during the 1980s–2010s, can serve as an instrument of groundwater chemical composition prediction in conditions of intensive water intake. Principles of application of exponential regression together with correlation analysis procedures allow to reveal both groundwater chemical composition quality parameters connection with man-caused factors and temporal trends of their changes, and can be successfully applied to urban areas.

**Keywords:** groundwater, water intake, man-caused influence, regression, trend, rate constant.

Кошлякова Т., науч. сотрудник,  
E-mail: geol@bigmir.net,  
Долін В., д-р геол. наук, проф., зав. отдела,  
E-mail: vdolin@ukr.net,  
ГУ "Институт геохимии окружающей среды  
Национальной Академии наук Украины,  
пр. Акад. Палладина, 34-а, г. Киев, 03680, Украина

### ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ СЕНОМАН-КЕЛЛОВЕЙСКОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСА В ПРЕДЕЛАХ КИЕВСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

**Цель.** Определение закономерностей формирования химического состава сеноман-келловейского водоносного комплекса в пределах г. Киева в связи с техногенным влиянием.

**Методика.** При выполнении исследования были применены математические методы обработки гидрогеологических данных (нормализация показателей химического состава подземных вод, определение мощности техногенного потока выноса минеральных веществ, регрессионный анализ и построение экспоненциальных трендов). Для построения графиков были использованы программные средства Excel и Statistica.

**Результаты.** Исследованы закономерности изменения химического состава подземных вод сеноман-келловейского водоносного комплекса в пределах г. Киева в период 1980-2010 гг по основным показателям. Проанализированы соотношения между изменениями нормированных показателей химического состава подземных вод исследуемого водоносного комплекса и интенсивностью водоотбора. Выявлено закономерное увеличение содержания минеральных веществ при уменьшении водоотбора. Выполнена оценка мощности техногенного потока выноса минеральных веществ из исследуемого водоносного комплекса. Установлено, что динамика показателей техногенного потока минеральных веществ с высоким коэффициентом корреляции совпадает с динамикой производства электроэнергии в Украине. Определены временные закономерности изменения показателей качества воды. Рассчитана константа скорости изменения параметров техногенного потока минеральных веществ в период 1980-2010 гг.

**Научная новизна.** Установлено, что качество воды сеноман-келловейского водоносного комплекса, который используется в целях питьевого водоснабжения населения г. Киева, в значительной степени определяется техногенными факторами – объемами промышленного производства и величиной водоотбора. Выявлена существенная отрицательная корреляция ( $K_{кор} - 0,6 - -0,85$ ) между величинами нормированных показателей качества воды, выноса минеральных веществ, водоотбора и объемом промышленного производства (оцененным по производству электроэнергии в Украине).

**Практическая значимость.** Полученные в результате исследования экспоненциальные тренды динамики параметров техногенного потока минеральных веществ, в частности, рассчитанные константы скорости их изменения в период 1980-2010 гг, могут служить инструментом для прогнозирования химического состава воды в условиях интенсивного водоотбора. Методика применения экспоненциальной регрессии совместно с приемами корреляционного анализа дает возможность выявлять как связь качественных показателей химического состава подземных вод с техногенными факторами, так и временные тренды их изменений, а также может успешно использоваться для урбанизированных территорий.

**Ключевые слова:** подземные воды, водоотбор, техногенное влияние, регрессия, тренд, константа скорости.

/ Кошлякова Тетяна Олексіївна; НАН України, ДУ "Ін-т геохімії навколишнього середовища НАН України". – К., 2015. – 21 с.

#### REFERENCES:

1. Dolin V. V., Bondarenko G. M., Orlov O. O. (2004). Self-purification of the environment after the Chernobyl disaster. Kyiv: Scientific thought. [in Ukrainian].
2. Dreyper P., Smit G. (1986). Applied regression analysis. Moscow: Finance and statistics. [in Russian].
3. Koshliakova T. O. (2015). Technogenic evolution of cenomanian-callovian groundwater complex chemical composition in Kyiv. Extended abstract of Candidate's thesis (Ecological safety). Vernadsky National Library of Ukraine, Kyiv. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 01.12.16