

## ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3 (477.81)

**А. С. Бровко**<sup>1</sup>, аспірант

**О. О. Харченко**<sup>2</sup>, аспірант

<sup>1</sup> кафедра гідрології та інженерної геології, геологічний факультет

<sup>2</sup> кафедра обчислювальної математики, факультет кібернетики

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

nastia.brovko@gmail.com

### РОЛЬ ГІДРОГЕОХІМІЧНИХ ФАКТОРІВ У ПРОЦЕСІ КАРСТОУТВОРЕННЯ НА ТЕРИТОРІЇ ВПЛИВУ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС

Вивчено вплив гідрогеохімічних факторів на активізацію карстових процесів в умовах антропогенного навантаження. Встановлено наявність статистично значимих кореляційних зв'язків між кількостями вільних іонів кальцію та величинами коефіцієнтів фільтрації, температури та значеннями рН підземних вод водоносного комплексу у верхньокрейдових відкладах. Застосовано методи непараметричної кореляції та множинної лінійної регресії.

**Ключові слова:** Рівненська АЕС, карстовий процес, коефіцієнт кореляції Спірмена, множинна лінійна регресія.

#### ВСТУП

В умовах постійного антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище в підземній гідросфері відбуваються зміни з тенденцією до погіршення її гідрогеохімічного стану. Цей факт змушує займатись моніторингом підземної гідросфери та приймати заходи з попередження чи мінімізації цього впливу.

Постановка проблеми дослідження. На території досліджень головними об'єктами, які чинять антропогенний вплив є: Рівненська АЕС, її інфраструктура та 2 діючих водозабори. Комплексна робота цих господарських об'єктів призводить до змін хімічного складу підземних вод, температурних, геофільтраційних та гідродинамічних змін у водоносних комплексах. Саме це створює сприятливі умови для динамічного розвитку одного з небезпечних інженерно-геологічних процесів, які мають місце на території дослідження – карстового процесу.

*Метою* роботи є виявлення комплексного впливу від дії гідрогеохімічних факторів (геофільтраційних, гідродинамічних, температурних та гідрохімічних) на активізацію карстового процесу та оцінка його величини.

*Об'єктом* дослідження є водоносний комплекс у верхньокрейдових відкладах. *Предметом* дослідження виступають гідрохімічні, температурні, геофільтраційні та гідродинамічні зміни у водоносному комплексі у верхньокрейдових відкладах.

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для опрацювання експериментальних даних і пошуку зв'язку між ними було застосовано методи непараметричної кореляції та множинної лінійної регресії.

Виявлення кореляційних зв'язків проведено попарно для величин досліджуваного показника (кількості вільних іонів кальцію в підземних водах водоносного комплексу у верхньокрейдових відкладах) з величинами факторів впливу. Для цього застосовано ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена, який використовується для виявлення значущості зв'язку між явищами і виражає ступінь залежності між двома наборами рангів. Суть полягає в тому, що кожен набір даних розбивається на ранги, а потім знаходиться величина подібності між ними. Спостереженням зі зв'язними рангами присвоюють усереднені значення тих рангів, які можна було б приписати цим спостереженням тоді, коли вони не були б зв'язними. Область зміни коефіцієнта знаходиться в межах від -1 (повний обернений зв'язок) до 1 (повний прямий зв'язок) [3].

Виявлення зв'язку між факторами та оцінка його величини відбувалась на основі багатофакторного аналізу – комплексного методичного підходу для вивчення факторів впливу на величину досліджуваного показника. За умови, що фактори знаходяться в причинно-наслідкових зв'язках із досліджуваним показником, факторній моделі можна дати адекватну інтерпретацію та провести аналіз та оцінку впливу кожного фактора на активізацію карстового процесу.

Практична реалізація багатофакторного аналізу передбачає визначення типу факторної моделі. В даному випадку доцільним є застосування детермінованого багатофакторного аналізу, адже існує зв'язок факторів з досліджуваним показником, коли зі зміною аргументу відбувається зміна функції.

Дослідження проводилось в середовищі програмного продукту STATISTICA 6.0 із застосуванням методів непараметричної кореляції та множинної лінійної регресії.

**Обґрунтування факторів впливу на розвиток карстового процесу.** До головних гідрогеохімічних факторів, які можуть призводити до активізації карстового процесу, авторами було віднесено геофільтраційні, гідродинамічні, температурні та гідрогеохімічні.

Геофільтраційні параметри водоносних комплексів значною мірою впливають на стан підземної гідросфери і є одним із факторів активізації карстових процесів. Геофільтраційні властивості водоносних комплексів доцільно охарактеризувати через величини коефіцієнтів фільтрації підземних вод ( $K_f$ ). Залежно від умов в навколишньому природному середовищі величини коефіцієнтів фільтрації можуть прямо чи обернено впливати на вилучення вільних іонів кальцію з карбонатних порід, тобто на їх розчинення.

Гідродинамічний стан системи відображає ступінь антропогенного навантаження від дії водозаборів та втрат води з гідротехнічних споруд. Спостереження за гідродинамічним станом системи відбуваються через проведення моніторингових досліджень у спостережних свердловинах та вимірювання глибини залягання статичних рівнів ( $H_{cm}$ ) у них. Саме від глибини залягання статичних рівнів та амплітуди його коливань може залежати тривалість контакту підземних вод з водовмісними породами.

Температурний режим ( $T$ ) підземних вод в природних умовах підпорядковується вертикальній зональності і має регіональне поширення. Відхилення від характерних для даної території температур підземних вод свідчать про надходження в підземну гідросферу вод іншої температури чи наявності на території досліджень об'єктів, які штучно підвищують чи понижують температуру об'єктів геологічного середовища, тим самим впливаючи на температурний режим підземних вод. На території досліджень температурні зміни підземних вод можуть виникати внаслідок втрати води зі ставків-охолоджувачів, роботи охолоджуючих споруд – градирень та ін.

Крім того, для підземних вод кожного водоносного комплексу характерною є наявність особливої кислотно-лужної обстановки, яка формується під впливом комплексу геолого-гідрогеохімічних факторів, і є наслідком перебігу процесів природного і антропогенного походження. Кислотність підземних вод також визначає їх властивості та вплив на водовмісні породи.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідження проводилось на основі моніторингових даних для 21 точки спостереження, розташованих в зоні впливу Рівненської АЕС станом на 2012 р. [1,2]. Робота виконувалась на базі програмного продукту STATISTICA 6.0 через його широкі можливості статистичної обробки даних, зручність інтерфейсу та можливість їх графічної інтерпретації.

На першому етапі дослідження дослідні дані було опрацьовано із застосуванням методу непараметричної кореляції Спірмена. Для цього було попарно оцінено ступені зв'язку між наступними наборами рангів:  $Ca^{2+}$ - $K_{\phi}$ ,  $Ca^{2+}$ - $H_{cm}$ ,  $Ca^{2+}$ - $T$  та  $Ca^{2+}$ - $pH$ . Між наборами рангів  $Ca^{2+}$ - $K_{\phi}$  встановлено наявність оберненого кореляційного зв'язку з коефіцієнтом кореляції Спірмена  $r_s$  рівним -0,45. Для пари  $Ca^{2+}$ - $T$  обернений кореляційний зв'язок також було встановлено, коефіцієнт кореляції Спірмена дорівнює -0,39. Між  $Ca^{2+}$  та  $pH$  існує прямий кореляційний зв'язок ( $r_s=0,37$ ). Всі коефіцієнти кореляції є статистично значимими і приймаються з довірчою ймовірністю 90%. Статистично значимий кореляційний зв'язок не встановлений лише між наборами даних  $Ca^{2+}$ - $H_{cm}$ .

Другий етап дослідження передбачав вивчення спостережних даних методом багатфакторного аналізу, а саме, застосування методу множинної регресії. В результаті дослідження встановлено наявність статистично значимих зв'язків між вмістом  $Ca^{2+}$  в підземних водах та величинами коефіцієнтів фільтрації, температури та  $pH$ . Результати аналізу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

## Результати множинної лінійної регресії

Фактори	Beta	B	p-level
Intercept		246,61	0,209
<b>K</b>	-0,38	<b>-31,39</b>	0,091
H	-0,25	-1,31	0,278
<b>T</b>	-0,37	<b>-3,27</b>	0,056
<b>pH</b>	0,59	<b>15,25</b>	0,007

Сумарний коефіцієнт кореляції R становить 0,72, коефіцієнт детермінації  $R^2$  дорівнює 0,52, довірна ймовірність моделі – 0,01. Графіки розсіювання дослідних даних зображені на рис.1.

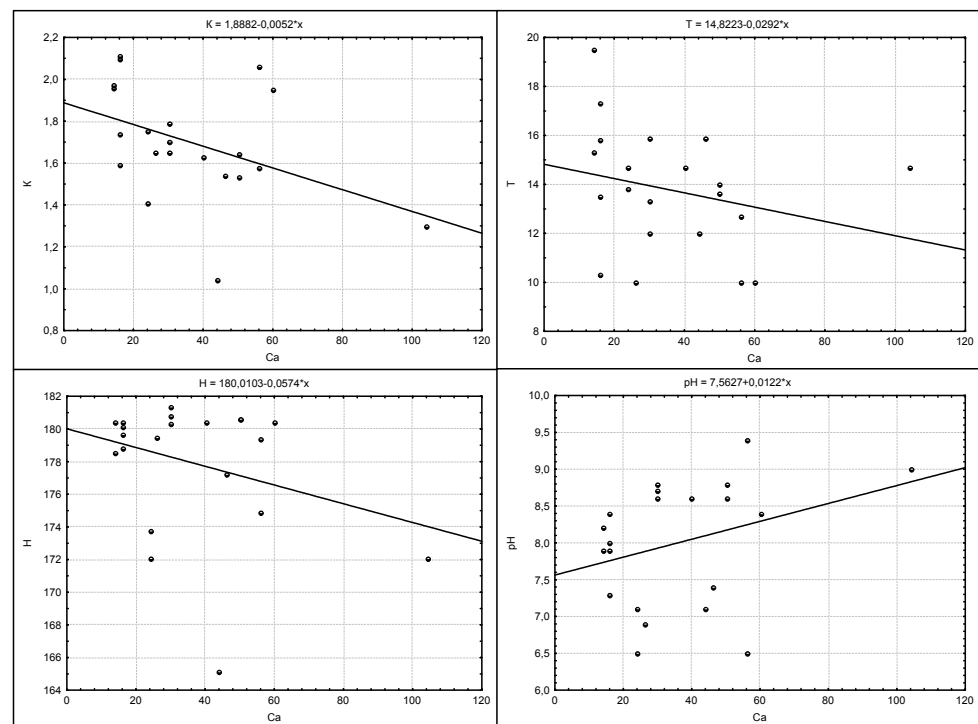


Рис.1. Графіки розсіювання

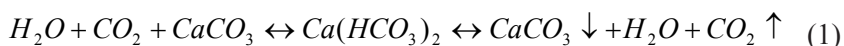
В результаті проведеного дослідження отримано рівняння регресії, яке має наступний вигляд:

$$y = 246,6 - 31,4K + 15,2pH - 3,3T$$

## ВИСНОВКИ

В результаті вивчення і оцінки даних моніторингових досліджень було встановлено наявність статистично значимого оберненого зв'язку між кількостями іонів кальцію в підземних водах та величинами коефіцієнтів фільтрації ( $r_s = -31,4$ ) та температур ( $r_s = -3,3$ ). Тобто, чим меншими є коефіцієнти фільтрації, тим довше відбувається взаємодія між водовмісними породами і підземними водами та тим більше іонів кальцію переходить в розчин, тобто, відбувається розчинення карбонатів.

Що стосується наявності оберненого зв'язку між кількостями кальцію в підземних водах та їх температурою, що за звичайних умов суперечить законам кінетики, то варто зважати на те, що площа досліджень є невеликою, протягом тривалого часу знаходиться в умовах постійного антропогенного навантаження і вплив факторів карстоутворення є нерівномірним по площі (наприклад, локальне підвищення температури підземних вод за рахунок змішування їх з підігрітими водами, задіяними для охолодження промислових об'єктів; підвищення кислотності чи лужності підземних вод через потрапляння до них хімікатів). Тому, в даному випадку, наявність такої залежності можна пояснити: а) здатністю вільної вуглекислоти швидше розчинятись у холодній воді і перетворювати карбонати у гідрокарбонати згідно з рівнянням 1; б) можливістю випадання з регіонального тренду; в) недостатньою кількістю даних і невеликою площею території досліджень [5]:



Наявність прямого кореляційного зв'язку між кількостями іонів кальцію у підземних водах і величинами їх  $pH$  можна пояснити тим, що водне середовище стає перехідним від кислого до лужного. Гідрокарбонати кальцію  $Ca(HCO_3)_2$ , який утворюється при взаємодії карбонатних порід з підземними водами та вуглекислою дисоціюють на іони  $Ca^{2+}$  та  $HCO_3^-$  і за умови, що підвищення температури розчину відбуватись не буде, осадження  $CaCO_3$  також не відбудеться, відповідно не буде вивільнятися і  $CO_2$ , який підкислює водне середовище (1). Таким чином, підземні води набудуть лужних властивостей [4].

Відсутність статистично значимого кореляційного зв'язку між кількостями іонів кальцію в підземних водах та величинами їх статичних рівнів можна пояснити тим, що досліджуваний водоносний комплекс є напірним і його гідростатичні рівні знаходяться в межах водоносного комплексу у четвертинних відкладах. Амплітуди їх коливань є незначними і напори не знижуються до глибин залягання порід водоносного комплексу.

Враховуючи усе вищесказане, можна зробити висновок, що в межах території досліджень на активізацію карсту впливають гідрохімічні, температурні і геофільтраційні фактори.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бровко. А. С. Оцінка впливу карбонатної агресивності підземних вод на розвиток карстових процесів на території Рівненської АЕС [Текст] / А. С. Бровко // Сб. науч. трудов SWorld, Выпуск 1, Т. 32. – С.35-43.
2. Моніторинг динаміки гідросфери в районі ВП РАЕС з врахуванням експлуатації водозаборів та їх впливу на режим підземних вод проммайданчика [Текст] : звіт про виконання гідрогеологічних досліджень за договором № 22в-12 від 04.05.2012 р. ; відп. виконавець Г.І. Бровко. – Рівне : Волинська гідрогеологічна експедиція, 2012. – 41с.
3. Дэвис. Дж. С. Статистический анализ данных в геологии [Текст] в 2 кн. / Джон С. Дэвис ; пер. с англ. д-ра физ.-мат. наук В. Голубевой; под ред. доктора геол.-минерал. наук Д. Радионова. – М. : Недра, 1990.
4. Гаррелс. Р. М. Растворы, минералы, равновесия [Электронный ресурс] / Роберт М. Гаррелс, Чарльз Л. Крайст ; перевод в англ. И. Витовской ; под. ред. и с предисл. И. Д. Рябчикова и В. В. Щербини. – Москва : Мир, 1968. – Режим доступа к источнику: <http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/trenager/garrels/intro.htm>
5. Ломтадзе. В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология [Текст]: допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Гидрогеология и инженерная геология» / Валерий Ломтадзе. – Ленинград : Недра, 1977. – 479 с.

## REFERENCES

1. Brovko, A.S. (2014), The assessment of calcium carbonate groundwater aggression on the area of Rivne NPP influence [Otsinka vplyvu ka agresyvnosti pidzemnykh vod na rozvytok karstovykh protsesiv na terytoriyi Rivnenskoyi AES], Collection of Scientific Papers SWorld, Markova AD, Ivanovo, pp. 35-43.
2. Brovko, G.I. (2012), Hydrosphere dynamic monitoring on the territory of VE RNPP including the water intakes exploitation and its influence on the shaft groundwater regime (Report on the implementation of hydrogeology researches by covenant № 22в-12 from 04.05.2012) [Monitoryng dynamiky gidrosfery v rayoni VP RAES z vrakhyvanniam ekspluatatsii vodozaboriv ta yikh vplyvu na regym pidzemnykh vod prommaydanchyka (Zvit pro vykonannia gidrogeologichnykh doslidzhen za dogovorom № 22v-12 vid 04.05.2012 r.)], Volyn hydrogeological survey, Rivne, 41 p.
3. Davis, J.C. (2002), Statistics and Data Analyses in Geology [Statisticheskiy analiz dannyih v geologii], Nedra, Moskow, 620 p.
4. Garrels, R.M., Christ C. L. (1965), Solutions, Minerals and Equilibria [Rasstvoryi, Mineralyi, Ravnovesiya], available at: <http://twf.mpei.ru/ochkov/trenager/garrels/index.htm>
5. Lomtadze, V.D. (1977), Engineering Geology. Engineering Geodynamics [Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya geodinamika], Nedra, St. Peterburg, 479 p.

Надійшла 24.06.2014

А. С. Бровко<sup>1</sup>, аспирант

О. О. Харченко<sup>2</sup>, аспирант

<sup>1</sup> кафедра гидрогеологии и инженерной геологии

<sup>2</sup> кафедра вычислительной математики

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка

ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина

nastia.brovko@gmail.com

## РОЛЬ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ КАРСТООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВЛИЯНИЯ РОВЕНСКОЙ АЭС

### Резюме

Целью исследования является выявление комплексного влияния от действия гидрогеохимических факторов на активизацию карста и оценка его величины. Методами

непараметрической корреляции и многофакторного анализа установлено наличие статистически значимых корреляционных связей между количествами ионов кальция в подземных водах и величинами их коэффициентов фильтрации ( $r_s = -31,4$ ), температуры ( $r_s = -3,3$ ) и pH ( $r_s = 15,25$ ). Выведено уравнение регрессии.

**Ключевые слова:** Ровенская АЭС, карстовый процесс, коэффициент корреляции Спирмена, множинная линейная регрессия.

**A. S. Brovko**<sup>1</sup>, postgraduate student

**O. O. Kharchenko**<sup>2</sup>, postgraduate student

<sup>1</sup> hydrogeology and engineering geology department

<sup>2</sup> computational mathematics department

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Vasylykivska str, 90, Kyiv, 03022, Ukraine

nastia.brovko@gmail.com

## THE ROLE OF HYDROGEOCHEMICAL FACTORS IN KARST PROCESSES ON THE TERRITORY OF RIVNE NPP

### Abstract

The purpose of the research is to identify the complex impact of hydrogeochemical factors to karst processes and estimation of its magnitude.

Methodology. Methods of non-parametric Spearman rank correlation coefficient and multiple linear regression were applied for data processing and statistical connection searching.

Finding. The availability of statistically significant reverse connection between  $Ca^{2+}$  in the groundwater of Upper Cretaceous aquifer and values of hydraulic conductivity and temperature were established after the data estimation as well as direct connection between  $Ca^{2+}$  in research aquifer and its pH values.

Results. The results of the research can be interpreted as follows. Statistically significant reverse relationship between  $Ca^{2+}$  in research aquifer and values of hydraulic conductivity exists because of slow groundwater movement and prolonged contacting with water-bearing rocks. As follows, much more  $Ca^{2+}$  migrate to groundwater.

Availability of significant reverse connection between  $Ca^{2+}$  in the groundwater of Upper Cretaceous aquifer and its temperature can be explained through: a) ability of carbon dioxide to dissolve faster in cold water and to transform carbonates to bicarbonates; b) possible divergence from regional trend; c) lack of data and small research area.

The direct correlation between  $Ca^{2+}$  in research groundwater and pH values indicates that bicarbonates, formed by the interaction carbonate rocks with groundwater, dissociate into  $Ca^{2+}$  and  $HCO_3^-$ ; thereby preventing  $CaCO_3$  forming and carbon dioxide releasing. As a result the environment changes from acidic to alkaline.

Considering all of the above we can conclude, that hydrochemical, temperature and hydraulic factors enhance the carbonates dissolution and therefore karst processes.

**Keywords:** Rivne NPP, karst processes, Spearman rank correlation coefficient, multiple linear regression.