

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 551.444 : 556.3 (477.81)

А. Бровко, асп., E-mail: nastia.brovko@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Геологічний факультет, вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

**ОЦІНКА ВПЛИВУ КОЕФІЦІЄНТІВ ФІЛЬТРАЦІЇ ВОДОНОСНИХ КОМПЛЕКСІВ
У ЧЕТВЕРТИННИХ ТА ВЕРХНЬОКРЕЙДОВИХ ВІДКЛАДАХ
НА ШВИДКІСТЬ РОЗЧИНЕННЯ КАРБОНАТНИХ ПОРІД НА ТЕРИТОРІЇ РІВНЕНСЬКОЇ АЕС**

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.Є. Кошляковим)

Метою дослідження є оцінка впливу величини коефіцієнтів фільтрації на розвиток карстових процесів та виявлення кореляційних зв'язків між величинами коефіцієнтів фільтрації та вмістом іонів Ca^{2+} у підземних водах. У роботі застосовувались систематичні та статистичні методи, а також метод геоінформаційного підходу та порівняльного аналізу.

У результаті дослідження виявлено наявність кореляційного зв'язку між кількостями вільних іонів кальцію у підземних водах водоносних комплексів у четвертинних та верхньокрейдових відкладах та величинами коефіцієнтів фільтрації підземних вод. Для водоносного комплексу у четвертинних відкладах встановлено наявність прямого кореляційного зв'язку між кількостями іонів кальцію та величинами коефіцієнтів фільтрації в природних умовах та оберненого зв'язку в умовах антропогенного навантаження. Для водоносного комплексу у верхньокрейдових відкладах встановлено наявність оберненого зв'язку як в природних умовах, так і в умовах антропогенного навантаження.

Для досліджуваної території вперше: 1) застосовано метод геоінформаційного підходу для визначення величин коефіцієнтів фільтрації у точках, які відповідають сучасній спостережній мережі, але станом на минулий період; 2) застосовано метод непараметричної кореляції, ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена, для виявлення кореляційного зв'язку між величинами коефіцієнтів фільтрації підземних вод та кількостями вільних іонів кальцію в підземних водах; 3) проведено порівняльний аналіз отриманих результатів для природних умов та при антропогенному навантаженні.

Виявлено наявність оберненого кореляційного зв'язку між кількостями іонів кальцію в підземних водах та величинами їх коефіцієнтів фільтрації, а отже, і швидкості розчинення карбонатних порід від величин коефіцієнтів фільтрації. Виявлення такої залежності є важливим при експлуатації водоносних комплексів, вивченні антропогенного впливу на гідрогеохімічну складову від роботи техногенних об'єктів та проектуванні різної складності споруд.

Ключові слова: підземні води, коефіцієнт фільтрації, Рівненська АЕС.

Вступ. На території Рівненської АЕС (РАЕС) антропогенний вплив на гідрогеохімічну складову навколишнього середовища проявляється через активізацію карстових процесів. Головним чином, розвиток цього процесу є природним, але він істотно підсилюється експлуатацією водоносного комплексу у верхньокрейдових відкладах, представлених карбонатними породами, чи суміжного з ним водоносного комплексу у четвертинних відкладах. Динамічніше процес карстоутворення відбувається на ділянках з розвитком тріщинних систем і порушенням монолітності карбонатних порід. Вважається, що інтенсифікація карстоутворення в тріщинуватому середовищі пов'язана зі змінами геофільтраційних параметрів у водоносних комплексах та порушенням ламінарного потоку підземних вод, розширенням вже існуючих та утворенням нових систем тріщин та карстових порожнин.

Постановка проблеми дослідження. Серед геологічних процесів, які мають місце на території впливу РАЕС, процес карстоутворення є одним з найнебезпечніших. До початку спорудження інфраструктури атомної електростанції він розвивався в природних умовах, і найбільш активний період карстоутворення припав на 80-90-ті роки минулого століття. Тоді він супроводжувався утворенням великої кількості карстових западин та воронок різних розмірів і форми [1]. Саме це спричинило необхідність створення стаціонарної системи спостережень, де з 1985 р. проводяться моніторингові дослідження.

Постійне довивчення процесу карстоутворення на території впливу Рівненської АЕС є одним з головних інженерно-геологічних завдань на сьогодні. Така споруда як АЕС з допоміжними будівлями і гідротехнічними спорудами справляють значний антропогенний вплив на навколишнє середовище, зокрема на його гідрогеологічну складову.

Стан гідрогеологічної системи характеризується геофільтраційними параметрами водоносних комплексів та тіснотою зв'язків між ними. Одним з головних параметрів, які дають уявлення про геофільтраційний стан системи, є коефіцієнт фільтрації – показник, який ха-

актеризує швидкість руху підземних вод у водовмісних породах. Саме від величини коефіцієнтів фільтрації залежить те, як водоносні горизонти і комплекси взаємодіють між собою.

Метою дослідження є:

1) оцінка впливу величини коефіцієнтів фільтрації на розвиток карстових процесів;

2) виявлення кореляційних зв'язків між величинами коефіцієнтів фільтрації та вмістом іонів Ca^{2+} у підземних водах.

У роботі використано:

1) дані спеціалізованої гідрогеологічної та інженерно-геологічної зйомки масштабом 1:50 000, проведеної 1972 р на території досліджень;

2) дані моніторингових досліджень, проведені Рівненською геологічною експедицією ПДРГП "Північгеологія" [1, 8].

Методика досліджень. Зважаючи на те, що територія Рівненської АЕС піддається постійному антропогенному впливу, який накладається на природні процеси у гідрогеологічному середовищі, необхідним є вивчення геофільтраційних параметрів та проведення оцінки їх впливу на розвиток карстових процесів. Геофільтраційні властивості водоносних комплексів можуть бути охарактеризовані через коефіцієнти фільтрації підземних вод. З огляду на те, що між водоносними комплексами існує постійний водообмін, оцінка впливу коефіцієнтів фільтрації на кількість іонів Ca^{2+} в підземних водах проводиться для водоносних комплексів у четвертинних та верхньокрейдових відкладах станом на 1972 та 2012 роки. Водоносні породи четвертинного віку представлені пісками, супісками та суглинками гляціального та флювіогляціального генезису, верхньокрейдового – потужною осадовою товщею крейдово-мергельних порід.

Оскільки, точки визначення коефіцієнтів фільтрації та кількості іонів Ca^{2+} в підземних водах станом на 1972 та 2012 роки просторово не співпадають між собою, значення в існуючих на 2012 р. точках спостережень (свердловинах) станом на 1972 р. визначались за до-

помогою геоінформаційних систем по свердловинах, які на теперішній час вже не існують. Для цього використано програмний продукт MapInfo 7.5, у середовищі якого було створено відповідні атрибутивні таблиці. Пошук невідомих значень у заданих точках виконано шляхом апроксимації. Було використано метод 3ЗВ (зворотніх зважених відстаней), суть якого полягає у тому, що зважування точок відбувається таким чином, що вплив відомого значення точки зменшується зі збільшенням відстані до невідомої точки, значення якої необхідно визначити. Зважувана величина присвоюється точкам збору даних на основі коефіцієнта зважування, який і контролює те, як вплив точки буде зменшуватись зі збільшенням відстані до неї [5].

З огляду на те, що отримані таким чином вибірки значень коефіцієнтів фільтрації та кількості іонів Ca^{2+} в підземних водах не підпорядковуються нормальному та логнормальному законам розподілу, виявлення кореляційних зв'язків проведено із застосуванням рангового коефіцієнту 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). Рівність коефіцієнта рангової кореляції нулю означає, що множини рангів незалежні одна від одної. Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена розраховують за формулою [4]:

$$r_s = 1 - 6 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)}, \quad (1)$$

де $\sum d_i^2$ - сума квадратів різниць рангів, n - кількість парних спостережень.

Оцінка впливу величини коефіцієнта фільтрації на кількість іонів Ca^{2+} в підземних водах.

Дослідження проводились для водоносних комплексів у четвертинних та верхньокрейдових відкладах. Для

водоносного комплексу у четвертинних відкладах у 1972 р до обробки було включено дані 103 пробних відкачувань зі свердловин та результатів хімічних аналізів. Для розрахунків у 2012 р було використано дані по 89 свердловинах. Для водоносного комплексу у верхньокрейдових відкладах спостережна мережа у 1972 р і на сьогодні є значно меншою. Тут станом на 1972 та 2012 рр розрахунки проводились для 22 свердловин. Схема розташування сучасної спостережної мережі на території РАЕС зображена на оглядовій карті-схемі (рис. 1). Результати досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1
Розраховані коефіцієнти кореляції Спірмена між кількостями іонів Ca^{2+} у підземних водах та коефіцієнтами фільтрації

Водоносний комплекс	Коефіцієнт кореляції Спірмена, r_s	
	1972 рік	2012 рік
Водоносний комплекс у четвертинних відкладах	0,97	-0,31
Водоносний комплекс у верхньокрейдових відкладах	-0,69	-0,49

Застосування непараметричного коефіцієнту кореляції Спірмена дало змогу встановити наявність статистично значимих зв'язків між коефіцієнтами фільтрації водоносних комплексів та кількостями вільних іонів Ca^{2+} у підземних водах (табл. 1). Станом на 1972 р (період, коли території досліджень знаходилась в природних умовах) для водоносного комплексу у четвертинних відкладах коефіцієнт рангової кореляції Спірмена між величинами коефіцієнтів фільтрації і кількостями Ca^{2+} у підземних водах становить 0,97, тобто існує фактично повний прямий зв'язок. Для цього ж водоносного комплексу у 2012 р коефіцієнт рангової кореляції Спірмена становить -0,31, що свідчить про наявність оберненого зв'язку. Для водоносного комплексу у верхньокрейдових відкладах станом на 1972 р наявний обернений зв'язок, коефіцієнт кореляції дорівнює -0,69, станом на 2012 рік - -0,49. Усі коефіцієнти кореляції є статистично значимими і приймаються з довірчою ймовірністю 99%.

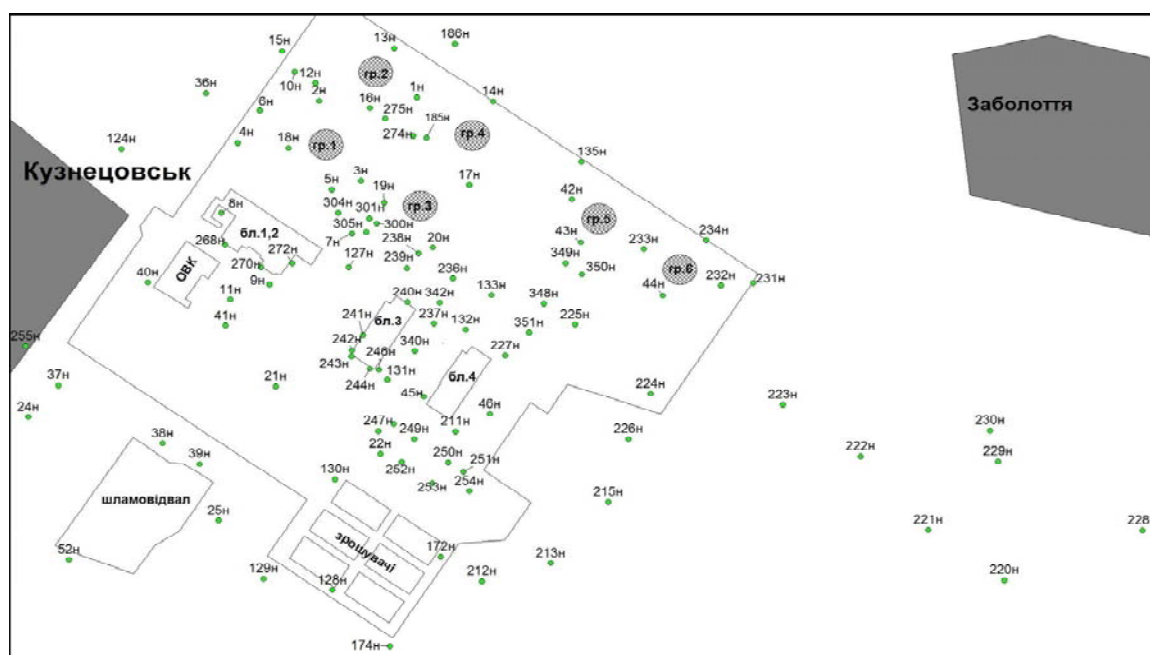


Рис. 1. Карта-схема розташування гідрогеологічних свердловин на території Рівненської АЕС

На основі отриманих результатів можна зробити такі висновки:

1. Наявність фактично повного прямого кореляційного зв'язку між вмістом кальцію в підземних водах і величиною коефіцієнта фільтрації для водоносного комплексу у четвертинних відкладах у 1972 р пояснюється поширеністю Са в літосфері і складом четвертинних відкладів. Його вагове кларкове значення в земній корі становить 3,25, а об'ємний відсоток атомів Са в літосфері – 1,48. Його перевищують лише об'ємні значення О (91,77%), К (2,14%), Na (1,6%) [3]. Надійним постачальником Са в ґрунтові води є кальцієвмісні гумінові кислоти. Також кальцій виконує роль скелета між окремими частинками ґрунту [6]. При інфільтрації атмосферних опадів іони кальцію вимиваються з ґрунту, величини коефіцієнтів фільтрації збільшуються, що сприяє вилученню більшої кількості вільних іонів Ca^{2+} з ґрунтово-рослинного та гумусового шарів.

2. Зміна обстановки у водоносному комплексі в четвертинних відкладах на протилежну, як показали дослідження у 2012 р, може відбуватись внаслідок значного і тривалого антропогенного впливу на територію досліджень, зокрема і на її гідрогеохімічну складову. Територія, на якій відбуваються природні процеси гумусоутворення, значно зменшена за рахунок заасфальтованості і забудови території. Це призводить до зменшення кількості гумінових кислот у ґрунтово-рослинному шарі, відповідно і до зменшення кількості кальцію в ґрунті. Значно скорочена площа інфільтрації атмосферних опадів і нерівномірно розподілена їх швидкість по площі. Збільшення швидкості фільтрації сприяє швидшому вимиванню кальцію з ґрунту в умовах несприятливих для його накопичення. Саме цим можна пояснити наявність оберненого зв'язку між швидкістю фільтрації та кількістю іонів Ca^{2+} в ґрунтових водах.

3. Для водоносного комплексу у верхньокрейдових відкладах у 1972 і 2012 роках спостерігається обернена залежність між швидкістю фільтрації та вмістом кальцію в підземних водах. У такому випадку можна припустити, що вільний кальцій, який знаходиться в ґрунтових водах, не досягає водоносного комплексу у верхньокрейдових відкладах і акумулюється шаруватою товщею четвертинних відкладів – пісків, супісків і суглинків. В такому разі води комплексу у верхньокрейдових відкладах насичуються іонами Ca^{2+} , перебуваючи у постійній взаємодії з водовмісними мергельно-крейдовими породами. Тобто, чим меншими є коефіцієнти фільтрації, тим довше ця взаємодія відбувається і підземні води насичуються вільними іонами Ca^{2+} до досягнення карбонатної рівноваги в розчині [2]. У ряді випадків, коли в окремій зоні техногенного впливу на водоносний комплекс відбувається техногенне навантаження, і води стають агресивнішими, іони кальцію переходять в розчин інтенсивніше і карбонатні породи починають розчинятись швидше.

Список використаних джерел

- Бровко Г.І., (2012). Мониторинг динаміки гідросфери в районі ВП РАЕС з врахуванням експлуатації водозаборів та їх впливу на режим підземних вод проммайданчика (Звіт про виконання гідрогеологічних досліджень за договором №22в-12 від 04.05.2012 р.). Р.: Волинська гідрогеологічна партія, 41 с.
- Brovko G.I., (2012). Hydrosphere dynamic monitoring on the territory of VE RNP 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 vrahuvanniam ekspluatatsii vodozaboriv ta yikh vplyvu na regym pidzemnykh vod prommaydanchyka (Zvit pro vykonannya gidrogeologichnykh doslidzhen za dogovorom №22v-12 vid 04.05.2012 r.)] Rivne: Volin hydrogeology group – Volynska gidrogeologichna partiia, 41 p. (In Ukrainian).
- Бровко А.С., (2014). Оцінка впливу карбонатної агресивності підземних вод на розвиток карстових процесів на території Рівненської АЕС. Сб. науч. трудов SWorld. Иваново: Маркова АД, 32, 1. 35-43.
- Brovko A.S., (2014). The Assessment of calcium carbonate groundwater aggression on the area of Rivne NPP influence [Otsinka vplyvu karbonatnoyi agresyvnosti pidzemnykh vod na rozvytok karstovykh protsesiv na terytoriyi Rivnenskoï AES]. Collection of Scientific Papers SWorld – Sbornik nauchnykh trudov SWorld. Ivanovo: Markova AD, – 32, 1, 35-43 (In Ukrainian).
- Гаврусевич Б.А., (1968). Основы общей геохимии. М.: Недра. 327 с.
- Gavrusovich B.A., (1968). Fundamentals of General Chemistry [Osnovy obschey geokhimii]. Moscow: Nedra, 327 p. (In Russian).
- Davis J.C., (2002). Statistics and Data Analyses in Geology. USA, John Wiley and Sons, 620 p.
- Ішук О.О., Коржнев М.М., Кошляков О.Е., (2003). Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навч. посібник / за ред. акад. Д.М. Гродзинського. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 200 с.
- Ischuk O.O., Korzhnev M.M., Koshliakov O.E., (2003). Spatial analyses and modeling in GIS [Prostorovyy analiz i modelyivannia v GIS]: Tutorial – Navchalnyy posibnyk / ed. by acad. D.M. Grodzynskiy. Kyiv, Publishing and printing center "University of Kiev" – Vydavnycho-poligrafichnyy tsentr "Kyivskyy universytet", 200 p. (In Ukrainian).
- Назаренко І.І., Польчина С.М., Нікорич В.А., (2004). Ґрунтознавство [Електрон. ресурс]: Підручник. Чернівці: Книги – XXI, 400 с. – Режим доступу до книги: http://geoknigi.com/book_view.php?id=703
- Nazarenko I.I., Polchyna S.M., Nikorych V.A., (2004). Pedology [Gruntoznastvo] [Electronic sources]: Textbook – Pidruchyk. Chernivtsi: Books – XXI – Knygy – XXI, 400 p. – Mode of access to books – Regym dostupu do knygu: http://geoknigi.com/book_view.php?id=703 (In Ukrainian).
- Несенов Е.Н., Харечко В.А., Елисеева В.П., (1986). Отчет по изучению современных экзогенных геологических процессов на территории Волинской и Ровенской областей УССР за 1985-1986 гг., в 3 т. Ровно.
- Nesenov E.N., Harechko V.A., Eliseeva V.P., (1986). A report of modern external geological processes studding on the territory of Volyn and Rivne regions of USSR for 1985-1986 [Otchet po izucheniiy sovremennykh ekzogenykh geologicheskikh protsesov na teritorii Volynskoy i Rovenskoy oblastey USSR za 1985-1988 gg], in 3 v. Rovno. (In Russian).
- Саенко Д.А., (1972). Отчет о специализированной гидрогеологической и инженерно-геологической съемке для целей мелиорации, масштаб 1:50 000, на территории планшетов: М-35-16-Г (Ст.Рафаловка), М-35-28-Б (Рафаловка). (Волинская и Ровенская обл.), в 4 т. Киев.
- Saenko D.A., (1972). A report of specialized hydrogeological and engineering geological survey for reclamation, the scale 1 : 50 000, on the territory within M-35-16-Г (St.Rafalovka), M-35-28-Б (Safalovka) mapboards. (Volyn and Rivne regions) [Otchet o spetsializirovanoi gidrogeologicheskoy i inzhenerno-geologicheskoy s'emke dlia tseyel melioratsyi, mashtab 1:50 000, na teritorii planshetov M-35-16-Г (St.Rafalovka), M-35-28-Б (Rafalovka). (Volynskaia i Rovenskaia obl.), in 4 v. Kyiv. (In Russian).

Надійшла до редколегії 12.05.14

A. Brovko, Postgraduate Student E-mail: nastia.brovko@gmail.com
Geological Faculty, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

HYDRAULIC CONDUCTIVITY ESTIMATES FOR QUATERNARY AND UPPER CRETACEOUS WATER-BEARING COLLECTORS VS VELOCITY OF CARBONATE ROCK DISSOLUTION AT RIVNE NPP

The goal of the research is to estimate a hydraulic conductivity effect on karst processes and to identify correlations between the hydraulic conductivity values and Ca^{2+} content in groundwater based on systematic and statistical techniques, GIS methods, and comparative analysis.

There has been established a correlation between the values of free calcium ions in groundwater of the Quaternary and Upper Cretaceous aquifers and their hydraulic conductivity, with it being direct one in vivo and inverse one in artificial conditions for the Quaternary aquifers, with inverse one in vivo and direct one in artificial conditions for the Upper Cretaceous aquifers.

GIS method was employed to determine hydraulic conductivity at modern monitoring network observation posts as of the past. Non-parametric correlation method and Spearman rank coefficient were used to identify the correlation between hydraulic conductivity and the values of free calcium ions in groundwater. There was carried out a comparative analysis of the data obtained in the natural and artificial conditions.

Direct and inverse correlations being established for the Quaternary and Upper Cretaceous aquifers, it enhances exploitation of water bearing collectors, and facilitates understanding how artificial conditions affect hydrochemistry of the environment and engineering geology.

Key words: groundwater, hydraulic conductivity, Rivne NPP.

А. Бровко, асп., nastia.brovko@gmail.com

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

Геологический факультет, ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ И ВЕРХНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА СКОРОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НА ТЕРРИТОРИИ РОВЕНСКОЙ АЭС

Целью исследования есть оценка влияния величины коэффициентов фильтрации на развитие карстовых процессов и нахождения корреляционной связи между величинами коэффициентов фильтрации и содержанием ионов Ca^{2+} в подземных водах. В работе применялись систематические и статистические методы, а также метод геоинформационного подхода и сравнительного анализа.

В результате исследования обнаружено наличие корреляционной связи между количествами свободных ионов кальция в подземных водах водоносных комплексов в четвертичных и верхнемеловых отложениях и величинами коэффициентов фильтрации подземных вод. Для водоносного комплекса в четвертичных отложениях установлено наличие прямой корреляционной связи между количествами ионов кальция и величинами коэффициентов фильтрации в природных условиях и обратной связи в условиях антропогенной нагрузки. Для водоносного комплекса в верхнемеловых отложениях установлено наличие обратной связи как в природных условиях, так и в условиях антропогенной нагрузки.

Для территории исследования впервые: 1) применены метод геоинформационного подхода для определения величин коэффициентов фильтрации в точках, которые соответствуют современной наблюдательной сети, но по состоянию на прошедший период; 2) применен метод непараметрической корреляции, ранговый коэффициент корреляции Спирмена, для определения корреляционной связи между величинами коэффициентов фильтрации и количествами свободных ионов кальция в подземных водах; 3) проведен сравнительный анализ полученных результатов для природных условий и условий антропогенной нагрузки.

Выявлено наличие обратной корреляционной связи между количествами ионов кальция в подземных водах и величинами коэффициентов фильтрации, а следовательно, и скорости растворения карбонатных пород от величины коэффициентов фильтрации. Выявление такой зависимости есть важным при эксплуатации водоносных комплексов, изучении антропогенного влияния на гидрогеохимическую составляющую окружающей среды техногенных объектов и проектировании разной сложности сооружений.

Ключевые слова: подземные воды, коэффициент фильтрации, Ровенская АЭС.