

5. Гроз, Х. Бензиновые и дизельные двигатели [Текст] / Х. Гроз, Г. Русс. – М.: За рулем, 2013. – 272 с.
6. Звонарев, Б. Л. Закономерности распределения ртути в почвах вблизи источника загрязнения [Текст] / Б. Л. Звонарев, Н. Г. Зырин // Почвоведение. – 1981. – № 4. – С. 32–39.
7. Обуховская, Т. Д. Zn, Cd, Hg, Pb в системе почва-растение [Текст] / Т. Д. Обуховская, Е. В. Каплунова, А. В. Сердюкова // Бюллетень почвенного института имени В. В. Докучаева. – 1983. – Вып. 35. – С. 27–32.

References

1. Pidlisna, M. S., Mazor, I. G., Katerynychuk, B. A. et. al (1998). Ekologichna bezpeka vijs'k. Kyiv: Min-vo Oborony Ukrainy, 130.

2. SOS: Zavod "Radikal" – rtutnyj "Chernobyl" v stolice Ukrainy. – Available at: <http://oleksiy-b.livejournal.com/2196.html>
3. Mahkamov, M. M., Pavljuk, A. M., Pobiljan, M. O. (1998). Ohorona pryrodn'ogo seredovyshha u Zbrojnyh Sylah Ukrainy. Kyiv : Varta, 450.
4. Radeck'kyj, V. G., Duz'-Krjatchenko, O. P., Vorobjov, V. M. (2009). Osnovy strategii' nacional'noi' bezpeky ta oborony derzhavy. Kyiv: NUOU, 596.
5. Groje, H., Russ, G. (2013). Benzinovye i dizel'nye dvigateli. Moscow : Za rulem, 272.
6. Zvonarev, B. L., Zyrin, N. G. (1981). Zakonomernosti raspredelenija rtuti v pochvah vblizi istochnika zagryznenija. Pochvovedenie, 4, 32–39.
7. Obuhovskaja, T. D., Kaplunova, E. V., Serdjukova, A. V. (1983). Zn, Cd, Hg, Pb v sisteme pochva-rastenie. Bjulleten' pochvennoho instituta imeni V. V. Dokuchaeva, 35, 27–32.

Дата надходження рукопису 22.06.2015

Крюченко Наталия Олеговна, ведучий научный сотрудник, старший научный сотрудник, доктор геологических наук, Отдел поисковой и экологической геохимии, Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины, пр. Акад. Палладина, 34, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: nataliya-kryuchenko@mail.ru

Жовинский Эдуард Яковлевич, Член-корреспондент НАН Украины, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом поисковой и экологической геохимии, Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины, пр. Акад. Палладина, 34, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: zhovinsky@ukr.net

Панаит Элина Викторовна, младший научный сотрудник, Отдел поисковой и экологической геохимии, Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины, пр. Акад. Палладина, 34, м. Киев, Украина, 03680
E-mail: elinka8@mail.ru

Андриевская Елена Анатольевна, заместитель директора по научной работе, Средняя школа №109 им. Т. Г. Шевченка, ул. Панаса Мирного, 24, г. Киев, Украина, 01011
E-mail: andrlena@yandex.ru

УДК 556.3:551.435.82

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.46954

ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАРБОНАТНОГО КАРСТУ

© В. В. Сухов, В. Г. Суярко, О. О. Сердюкова

На прикладі мергельно-крейдяної товщі верхньої крейди (K₂st) Святогірської брахіантикліналі встановлено, що карбонатний карст утворюється за участі різних за динамікою та хімічним складом підземних вод.

Охарактеризовано основні хімічні реакції, що призводять до вилугування і розчинення карбонатних порід в процесі їхньої взаємодії з підземними водами. Обґрунтовано геологічні, гідрогеологічні та геохімічні умови формування різних морфогенетичних видів карсту – приповерхневого (епікарсту) та глибинного (гіпокарсту)

Ключові слова: підземні води, карбонатні породи, карстоутворення, вилугування, розчинення, діоксид вуглецю, епікарст, гіпокарст, хімічна денудація, сорбція

On the example of loamy-chalky Upper Cretaceous strata (K₂cm) of Sviatogirsk brachyantycline it has been found out that carbonate karst forms with the participation of different on dynamics and chemical composition kinds of groundwater.

Basic chemical reactions that lead to leaching and dissolution of carbonate rocks during their interaction with groundwater have been characterized. Geological, hydrogeological and geochemical conditions of formation of various morphogenetic types of karst – surface (epikarst) and deep (hypokarst) have been well-grounded

Keywords: ground water, carbonate rocks, karstification, leaching, dissolution, carbon dioxide, epikarst, hypokarst, chemical denudation, occlusion

1. Вступ

Карстоутворення – геологічний процес, пов'язаний з хімічною (геохімічною) діяльністю природних (і в першу чергу - підземних) вод, що проявляється у вилуговуванні та розчиненні гірських порід з утворенням в них порожнин різноманітних форм та розмірів.

Карбонатний карст зумовлюється хімічними реакціями у системі «порода-вода» за участю діоксиду вуглецю і призводить до утворення двох основних його генетичних видів: епікарсту (приповерхневого) та гіпокарсту (глибинного).

2. Постановка проблеми

У геологічній літературі досі немає чіткого визначення поняття «карстоутворення», бо деякі дослідники не ставлять межі між механічною ерозією гірських порід (суфозією) та хімічним розчиненням їх речовини підземними водами (карстом). Тому на прикладі карбонатного карсту у мергельно-крейдяних породах нижньої крейди Святогірської брахіантикліналі автори висвітлено особливості геохімічних перетворень у системі «порода-вода», які призводять до явища карстоутворення. Це дозволяє не лише визначити геологічну сутність цього геодинамічного процесу, а й розробити відповідні заходи з інженерно-геологічного захисту будівель та споруд.

3. Літературний огляд

Геодинамічним процесам за участю підземних вод присвячено велику кількість наукових публікацій вітчизняних та закордонних авторів. У одних з них карст розглядають як явище фізико-механічної руйнації карбонатних порід, таким чином об'єднуючи у одне ціле процеси суфозії та карсту [1–4]. А у інших наголошують на їх суттєвих генетичних відмінностях [5–9]. Чітку межу між наслідками механічної (фізичної) та хімічної геологічної діяльності підземних вод проведено у фундаментальній праці, присвяченій геологічній діяльності та історії води у земних надрах [7]. Проте, в ній також не висвітлено деякі особливості процесів карстоутворення.

Важливим поштовхом для глибокого розуміння процесів карбонатного карсту стали монографії українських карстологів, які з одного боку, дозволили обгрунтувати виділення двох його генетичних типів: приповерхневого (епікарсту) та глибокого (гіпокарсту) [5, 6]. Автори статті на основі польових та експериментальних досліджень доводять, що карбонатний карст є результатом суто хімічної діяльності підземних вод.

4. Карбонатний карст – як результат геохімічної діяльності інфільтраційних та підземних вод

Геохімічна діяльність інфільтраційних та підземних пластових і тріщинних вод сприяє утворенню квазістабільної геохімічної системи «порода-вода» в котрій відбувається хімічна взаємодія між агресивними водяно-газовими флюїдами та твердою речовиною порід. Одним з найсприятливіших типів геологічного середовища для розвитку карсту є карбонатні породи (крейда, мергель, вапняк та ін.), речовина яких за певних умов відносно активно переходить у розчин, існуючи в ньому у вигляді йонів Ca^{2+} та CO_3^{2-} .

Так, на Святогірській брахіантикліналі у мергельно-крейдяній товщі верхньої крейди (K_2cm), де на крутому правому березі р. Сів. Донець («крейдяна скеля») знаходиться Святогірський монастир, можна спостерігати як відкриту (без ґрунтового-рослинного покриву), так і закриту (перекритий четвертинними осадами і задернований) форми карсту. Хоча сприятливими для його розвитку є низовинні форми рельєфу, карст може утворюватися і на височинах. Прикладом цього є його розвиток на вершині «крейдяної скелі». Інтенсивна взаємодія інфільтраційних вод з карбонатними породами відбувається тут у приповерхневій зоні вивітрювання, до якої приурочена зона інтенсивного водообміну глибиною до 3–10 м. Тут внаслідок екзогенних процесів геологічного вивітрювання відбувається енергійне руйнування гірських порід (включно з хімічним вивітрюванням) з наступним перенесенням у йонній формі розчиненої речовини фільтраційними потоками підземних тріщинних вод. Цей процес має назву «підземної хімічної денудації», основним фактором якої є реакції вилуговування, розчинення, окислення та гідролізу [10–12], які супроводжуються активним водообміном та інтенсивним виносом речовини, маса якої є еквівалентною масі гірських порід, що структурно змінюються або руйнуються [4, 10–12].

Вимір інтенсивності підземної хімічної денудації здійснюється різними методами і, зокрема, таким, що ґрунтується на визначенні балансу мас між підземними водами у зоні їхнього інтенсивного руху та гірськими породами. Цим методом можна розрахувати маси окремих хімічних компонентів, що переходять у розчин в процесі вилуговування та розчинення мінеральної речовини у системі «порода – вода» аж до окремих хімічних елементів. Знаючи їхні маси не важко вирахувати і сумарні показники як локальної, так і регіональної інтенсивності хімічного вивітрювання. Таким чином можна визначити кількість мінеральної маси, що перейшла у розчин в процесі карстоутворення. Для цього із величини об'єму загального підземного хімічного стоку вираховують значення молекулярної маси хімічних компонентів, що надійшли у підземні води з інфільтраційними водами [4, 10, 11].

Загальний ступінь активності хімічної взаємодії підземних вод з гірськими породами можна оцінити і за результатами моніторингу величини мінералізації підземних вод [7, 8, 10].

На основі багаторічних періодичних замірів величин мінералізації сульфатно-гідрокарбонатних кальцієвих вод в одному з джерел, що розвантажуються у підніжжі «крейдяної скелі» на правому березі р. Сіверський Донець, нами було встановлено сезонні зміни мінералізації підземних вод. Весною і восени вона знижувалася, а у водах переважав йон гідроксиду (HCO_3^-). В той же час влітку при зменшенні дебіту джерела з 1,5–2,0 л/с до 0,5–0,75 л/с, у воді суттєво збільшувався вміст йону Ca^{2+} та підвищувалася її мінералізація (з 1,0–1,5 до 2,0–2,3 г/дм³), що на нашу думку, є наслідком процесу хімічної денудації порід мергельно-крейдяної товщі з утворенням сучасного карсту у тектонічній зоні тріщинуватості Петрівсько-Кремінського розлому

Експериментально встановлено, що хімічне перенесення речовини із твердої фази (гірські породи) до

рідинної (підземні води) та у зворотньому напрямку відбувається шляхом:

а) молекулярної дифузії,
 б) конвекції разом з молекулярною дифузією, що є результатом хімічної взаємодії між речовинами, яка забезпечує реалізацію прагнення системи «порода-вода» до рівноваги [10, 11, 13–15].

Аналізуючи фізико-хімічну дію підземних вод на карбонатні гірські породи ми бачимо, що основні хімічні реакції відбуваються на границі розділу твердої та рідинної (флюїдної) фаз. Вони забезпечують процеси карстоутворення і проходять за схемою, яка включає три стадії:

а) фільтрацію підземних вод та газів;
 б) хімічну (фізико-хімічну) взаємодію на міжфазовій границі;
 в) видалення продуктів реакції водними потоками з переходом їх у розчин або осад [10, 16].

Останній, заповнюючи тріщини, часто кристалізується з утворенням такого мінералу як арагоніт, який автори спостерігали у вигляді наліту на стінках тектонічних тріщин «крейдяної скелі».

Згідно з результатами експериментальних досліджень, інтенсивність хімічного переходу речовини з твердої фази у розчин визначається гідродинамічною обстановкою у системі «вода-порода» на ділянці фазової взаємодії [10, 17]. Чим швидше фільтруються підземні (грунтові) води, тим ця інтенсивність є вищою. При цьому найважливішим хімічним процесом, що тут відбувається є розчинення яке супроводжується руйнуванням структури твердого тіла. Цим він відрізняється від процесу вилуговування (екстракції), – переходу у розчин лише компонентів поверхні твердого тіла, яке при цьому зберігає свою структуру.

У карбонатно-водних системах важливу роль відіграють також процеси сорбції та йонного обміну. Як відомо, сорбція, що є процесом вибіркового поглинання рідинних і газоподібних речовин твердою фазою, сприяючи проникненню різних за хімічним складом водних розчинів у породи, поділяється на адсорбцію – поглинання речовини лише поверхнею твердого тіла, та абсорбцію - поглинання речовини усім його об'ємом. При цьому сорбція може бути як фізичною (за рахунок електростатичних сил), так і хімічною (обумовлюється хімічними реакціями). Проте обидва її види призводять до утворення на границі розділу нової речовини [18]. Хімічна сорбція, як правило, є необоротною. Вона відбувається під впливом міжмолекулярних сил поверхні сорбента і призводить до зменшення вільної енергії поверхні твердої фази, що визначається як різниця між величиною енергії взаємодії з сорбентом конкретного йона та енергії його гідратації. Остання є зворотньо пропорційною здатності йону до електростатичної сорбції. Чим більшим є заряд йону, тим краще він сорбується [12, 19]. Внаслідок цього, молекули на поверхні твердої фази (гірські породи), що взаємодіють з підземними водами, перетворюються у катіони та аніони. У випадку, коли до квазістаціонарної системи, що сформувалася між твердими фазами і підземними водами надходять води іншого складу, ніж ті, що її утворюють, відбувається невимушений процес обміну йонів у відповідності до їхніх хімічних потенціалів у твердій і рідинній фазах [12, 13].

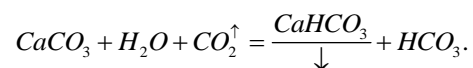
За результатами польових та лабораторних досліджень в межах «крейдяної скелі» авторами встановлено дві генетично та морфологічно неоднорідних зони розвитку карсту – епікарстову та гіпокарстову.

У верхній частині епікарстової зони інфільтраційні водні потоки мають високу агресивність до карбонатних порід. Внаслідок цього тут спостерігаються процеси інтенсивного розчинення мінеральної (карбонатної) речовини, а пористість та проникність порід збільшується. Саме тому близько 70 % карстової денудації відбувається у 5–10-метровому інтервалі глибин епікарстової зони [3]. Внаслідок цього в ній спостерігається і найбільша водонасиченість вивітрилих порід. Під зоною вивітряння залягають породи «вадозної зони», пористість і проникність яких є набагато нижчою, а тріщинуватість переважно має діагенетичний та тектонічний характер. У межах виходів нижньокрейдяних порід на правому березі р. Сіверський Донець як в районі монастиря, так і вище за течією – у с. Богородичне, границя ґрунтово-рослинного покриву і епікарстової зони є нерівномірною. Ґрунтовий матеріал лише фрагментарно покриває крейдяні породи і часто проникає у відкриті порожнини та тріщини масиву, що карстуються. Зрештою, така картина є типовою для багатьох областей розвитку карбонатного епікарсту [5, 6, 9].

Оскільки підземні води, що вміщуються у карстових колекторах, постійно розчинюють та переносять речовину карбонатних порід, це призводить до збільшення розмірів карстових порожнин, що, у свою чергу, суттєво впливає на інтенсивність гідродинамічних процесів у підземній гідросфері [10].

Слід зазначити, що інтенсивність карстової денудації на ділянках, що розташовані вище місцевих базисів дренажування (як у випадку «крейдяної скелі»), може бути на порядок вищою, ніж для порід такого ж складу, що залягають на нижчих гіпсометричних відмітках [4]. Це свідчить про те, що карстовий процес не лише досить тісно пов'язаний з особливостями динаміки підземних (карстових) вод, а й є прямим результатом їхньої геохімічної діяльності.

Одним з головних каталізаторів процесу карстоутворення у карбонатних породах є діоксид вуглецю (CO₂), що присутній у воді як у вільній, так і в розчинній формах. Процес хімічної взаємодії води з карбонатною породою у присутності CO₂ відбувається за схемою:



Обов'язковою умовою при цьому є постійне надходження до системи «порода-вода» вільних (гравітаційних) підземних вод, що відіграють основну роль як у відведенні розчиненої речовини, так і у конвективній дифузії, здатній за короткий час перерозподілити значні маси речовини [4].

Швидкість розчинення гірської породи є пропорційною квадратному кореню швидкості руху підземних вод. З цього витікає, що інтенсивність розвитку карсту прямо корелюється зі швидкістю фільтрації підземних вод [5, 6].

Якщо у карбонатних породах «крейдяної скелі» епікарст продуктом хімічної взаємодії переважно інфільтраційних вод з карбонатними породами, то гіпо-

карст розвивається лише за рахунок вод глибокого формування, осередки висхідного розвантаження яких приурочені до флюїодинамічно відкритих ділянок зони Петрівсько-Кремінського розлому.

За хімічним складом підземні води зони інфільтрації території досліджень переважно є гідрокарбонатними, змішаного катіонного складу, низькомінералізованими (до 5,0 г/дм³), що мають нейтральну кислотну лужну реакцію (рН 6,8–7,3). Найактивніший реагент з карбонатними породами – діоксид вуглецю – знаходиться в них у концентраціях до 10,0–30,0 мг/дм³ [20]. Натомість, підземні води, що розвантажуються по розривних порушеннях з палеозойських горизонтів, характеризуються хлоридним натрієвим, гідрокарбонатним натрієвим та хлоридно-сульфатним (натрієвим, кальцієвим) складом. Мінералізація їх є підвищеною (до 10,0 і більше мг/дм³), величина рН коливається у межах 7,8–8,0, а вміст СО₂ в них досягає 100,0 мг/дм³ і більше. До того ж, води тектонічних порушень на глибинах до 100 м характеризуються підвищеною (до 21,0 °С) температурою [20, 21].

Саме води глибоких горизонтів палеозою з високими концентраціями ендегенного діоксиду вуглецю є основним фактором формування зони гіпокарсту у карбонатних мергельно-крейдяних породах верхньої крейди. Про це свідчать результати ізотопного аналізу вуглецю та кисню арагоніту з тектонічних тріщин, у мінеральній речовині якого виявлено підвищені концентрації важких ізотопів $\sigma^{13}\text{C}$ та $\sigma^{18}\text{O}$. Це дозволяє пов'язувати гіпокарст з глибинним тепломасоперенесенням по Петрівсько-Кремінському розлому, максимальна активізація якого пов'язана з найновішими (постларамійськими) фазами тектонічної активізації. Зона гіпокарсту у масиві карбонатних порід «крейдяної скелі» розвивається від верхніх відміток 30,0–50,0 м до 100–120 м і глибше. Вона чітко контролюється системами розривних порушень, у зонах впливу яких здійснюється вгору, а між ними – занурюється на 10,0–30,0 м [18, 21].

5. Апробація результатів досліджень

Результати досліджень пройшли теоретичну та практичну апробацію. Вони доповідалися на: IV Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія, освіта, промисловість та здоров'я» (Росія, м. Белгород, 2011), Міжнародній науково-практичній конференції «Реґіон-2012: стратегія оптимального розвитку» (м. Харків, 2012) та науковій конференції «Проблеми гідрогеології на сучасному етапі» (м. Харків, 2014). Практичні рекомендації: «Спосіб виявлення гіпокарсту методом ізотопного аналізу» та «Захист історико-архітектурного комплексу Святогірського монастиря від наслідків геодинамічних процесів» впроваджено на Державному підприємстві «Український державний науково-дослідний інститут інженерно-технічних та екологічних вишукувань».

6. Висновки

У результаті проведених досліджень було зроблено такі наукові висновки:

1. Визначено, що геохімічна діяльність інфільтраційних та підземних пластово-тріщинних вод сприяє утворенню єдиної фізико-хімічної системи «порода-вода» у якій відбувається хімічна взаємодія між агре-

сивними водяно-газовими флюїдами та твердою речовиною карбонатних порід, з переходом останньої у йонний розчин. Натомість, підземна хімічна денудація на границі розділу твердої та флюїдної фаз, що супроводжується структурними змінами та руйнуванням карбонатних порід, призводить до карстоутворення.

2. За результатами польових та лабораторних досліджень на Святогірській брахіантикліналі у мергельно-крейдяній товщі верхньої крейди (К₂cm) встановлено дві різні морфогенетичні зони розвитку карсту – приповерхневу (епікарстову) та глибинну (гіпокарстову). Формування епікарсту пов'язано з нисхідними інфільтраційними водами, що вміщують атмосферний СО₂, а гіпокарсту – з висхідним розвантаженням вод палеозойських комплексів, збагачених ендегенним діоксидом вуглецю.

3. Визначено, що одним з основних факторів карстоутворення у карбонатних мергельно-крейдяних породах верхньої крейди (К₂cm) Святогірської брахіантикліналі є найновіша і сучасна тектонічна активізація Петрівсько-Кремінського розлому.

Література

1. Гаррелс, Р. М. Эволюция осадочных пород [Текст] / Р. М. Гаррелс, Ф. Макензи. – М.: Мир, 1974. – 271 с.
2. Коломенский, Н. В. Инженерная геология [Текст] / Н. В. Коломенский, И. С. Комаров. – М.: Высшая школа, 1964. – 480 с.
3. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика [Текст] / В. Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.
4. Макаренко, Ф. А. О подземной химической денудации на территории СССР [Текст] / Ф. А. Макаренко, В. П. Зверев // Докл. АН СССР, 1970. – Т. 192. – № 2. – С. 424–427.
5. Андрейчук, В. Карст как геозоологический фактор [Текст] / В. Андрейчук. – Сосновец. Изд-во Высш. шк. Экологии в Сосновице, 2007. – 137 с.
6. Климчук, А. Б. Эпикарст: гидрогеология, морфогенез и эволюция [Текст] / А. Б. Климчук. – Симферополь: «Сонат», 2009. – 112 с.
7. Пиннекер, Е. В. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах [Текст] / Е. В. Пиннекер, Б. И. Писарский, С. Л. Шварцев. и др. – Новосибирск, Наука, 1982. – 239 с.
8. Ford, D. C. Karst Hydrogeology and Geomorphology [Text] / D. C. Ford, P. W. Williams. – Wiley, Chichester, 2007. – 562 p.
9. Williams, P. W. The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: A review [Text] / P. W. Williams // International Journal of Speleology, 2008. – Vol. 37, Issue 1. – P. 1–10. doi: 10.5038/1827-806x.37.1.1
10. Аксельруд, Г. А. Массообмен в системе твердое тело – жидкость [Текст] / Г. А. Аксельруд. – Львов, Изд-во ЛГУ, 1970. – 187 с.
11. Гаррелс, Р. М. Растворы, минералы, равновесия [Текст] / Р. М. Гаррелс, Ч. Л. Крайст. – М.: Мир, 1968. – 368 с.
12. Курнаков, Н. С. Введение в физико-химический анализ [Текст] / Н. С. Курнаков. М. – Л., Изд-во АН СССР, 1940. – 564 с.
13. Крайнов, С. Р. Основы геохимии подземных вод [Текст] / С. Р. Крайнов, В. М. Швец. – М.: Недра, 1980. – 285 с.
14. Шваров, Ю. В. Расчет равновесного состава в многокомпонентной гетерогенной системе [Текст] / Ю. В. Шваров // ДАН СССР. – 1976. – Т. 229. – № 5. – С. 1224–1226.
15. Helgeson, H. C. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperature and pressures [Text] / Helgeson, H. C. // American Journal of Science. – 1969. – Vol. 267, Issue 7. – P. 729–804. doi: 10.2475/ajs.267.7.729

16. Панов, Б. С. Условия образования и особенности выветривания скрытого флюоритового оруденения Покрово-Киреевского месторождения в Южном Донбассе [Текст] / Б. С. Панов, В. Г. Суярко // Известия вузов. Геология и разведка. – 1990. – С. 24–33.

17. Лялько, В. И. Методы расчета тепло- и массопереноса в земной коре [Текст] / В. И. Лялько. – К.: Наук. думка, 1974. – 131 с.

18. Білецький, В. С. Гірничий енциклопедичний словник, Т. 2 [Текст] / За редакцією В. С. Білецького. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2002. – 632 с.

19. Шварцев, С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза [Текст] / С. Л. Шварцев. – М.: Недра, 1978. – 287 с.

20. Гидрогеология СССР. – Т. VI, Донбасс [Текст]. – М.: Недра, 1971. – 480 с.

21. Суярко, В. Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена. [Текст] / В. Г. Суярко. – Харьков: Изд-во ХНУ имени В. Н. Каразина, 2006. – 225 с.

References

1. Harrels, R., Makenzy, F. (1974). Эволюция осадочных пород. Moscow: Myr, 271.

2. Kolomensky, N., Komarov, Y. (1964). Ynzhenernaya heolohyya. Moscow: Vyshaya shkola, 480.

3. Lomtadze, V. (1977). Ynzhenernaya heolohyya. Ynzhenernaya heodynamyka, Lviv: Nedra, 479.

4. Makarenko, F., Zverev, V. (1970). O podzemnoy khymicheskoy denudatsyy na terrytoryy SSSR. Dokl. AN SSSR, 192 (2), 424–427.

5. Andreychuk, V. (2007). Karst kak heoekolohy-cheskyy faktor. Sosnovets., Yzd-vo Vyssh. shk. Ekolohyy v Sosnovytse, 137.

6. Klymchuk, A. (2009). Epykarst: hydroheolohyya, morfohenez y evolyutsyya. Symferopol': «Sonat», 112.

7. Pynneker, E., Pysarsky, B., Shvartsev, S. (1982). Osnovy hydroheolohyy. Heolohy-cheskaya deyatel'nost' y

ystoryya vody v zemnykh nedrakh. Novosybyrsk, Nauka, 239.

8. Ford, D., Williams, P. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology. Wiley, Chichester, 562.

9. Williams, P. (2008). The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review. IJS, 37 (1), 1–10. doi: 10.5038/1827-806x.37.1.1

10. Aksel'rud, H. (1970). Massoobmen v systeme tverdoe telo – zhydkost'. Lviv, Yzd-vo LNU, 187.

11. Harrels, R., Krayst, Ch. (1968). Rastvory, myneraly, ravnovesyya. Moscow: Myr, 368.

12. Kurnakov, N. (1940). Vvedenye v fyzyko-khymicheskyy analiz. Lviv, Yzd-vo AN SSSR, 564.

13. Kraynov, S., Shvets, V. (1980). Osnovy heokhymyy podzemnih vod Moscow : Nedra, 285.

14. Shvarov, Yu. (1976). Raschet ravnovesnoho sostava v mnohokomponentnoy heterohennoy systeme. DAN SSSR, 229 (5), 1224–1226.

15. Helgeson, H. C. (1969). Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. American Journal of Science, 267 (7), 729–804. doi: 10.2475/ajs.267.7.729

16. Panov, B., Suyarko, V. (1990). Uslovyia obrazovanyia y osobennosti vsvetryvaniia skritoho flyuoritovoho orudeneniia Pokrovo-Kyreevskoho mestorozhdeniia v Yuzhnom Donbasse. Yzvestiia vuzov. Heolohyya y razvedka, 24–33.

17. Lyal'ko, V. (1974). Metody rascheta tepla- y masopenerosa v zemnoy kore. Kyiv : Nauk. Dumka, 131.

18. (2002). Hirnychy entsyklopedychnyy slovnyk. Donets'k: Skhidnyy vydavnychy dim, 2, 632.

19. Shvartsev, S. (1978). Hydroheokhymyya zony hyperheneza, Moscow : Nedra, 287.

20. (1971). Hydroheolohyya SSSR. Donbass. Moscow : Nedra, 6, 480.

21. Suyarko, V. (2006). Heokhymyya podzemnykh vod vostochnoy chasty Dneprovsko-Donetskoho avlakohena. Khar'kov: Yzd-vo KhNU ymeny V. N. Karazyna, 225.

Дата надходження рукопису 22.06.2015

Сухов Валерій Васильович, старший викладач, кафедра гідрогеології, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 4. м. Харків, Україна, 61022

E-mail: hydrogeology@karazin.ua

Суярко Василь Григорович, доктор геолого-мінералогічних наук, професор, кафедра мінералогії, петрографії та корисних копалин, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 4. м. Харків, Україна, 61022

E-mail: vgsuyarko@gmail.com

Сердюкова Ольга Олексіївна, завідувач лабораторією, кафедра видобування нафти і газу та геотехніки, Полтавський національний технічний університет ім.Юрія Кондратюка, пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, Україна, 36011

E-mail: serd.64@mail.ru