

## ФОРМУВАННЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО РЕЖИМУ ПІДЗЕМНИХ ВОД У ЗОНІ ВПЛИВУ РОЗРОБЛЕННЯ РОДОВИЩА ВАПНЯКІВ

Загриценко А.М.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро  
[alinanik@bigmir.net](mailto:alinanik@bigmir.net)

Наведено результати оцінки змін складників водного балансу в зоні впливу гірничих робіт, що виконана шляхом створення двохшарової геофільтраційної моделі з врахуванням природних і техногенних факторів формування гідродинамічного режиму підземних вод. Визначено критичні величини водовідбору для періоду маловодних і повноводних років. *Ключові слова:* математичне моделювання, фільтраційні та ємнісні параметри, інфільтрація, верховодка.

**Формирование природно-техногенного режима подземных вод в зоне влияния разработки месторождения известняков.** Загриценко А.Н. Приведены результаты оценки изменений составляющих водного баланса в зоне влияния горных работ, выполненной с помощью создания двухслойной геофильтрационной модели с учетом природных и техногенных факторов формирования гидродинамического режима подземных вод. Определены критические величины водоотбора для периода маловодных и полноводных лет. *Ключевые слова:* математическое моделирование, фильтрационные и емкостные параметры, инфильтрация, верховодка.

**Formation of the natural and man-made groundwater regime in the influence zone of the limestone deposit mining.** Zahrytsenko A. The results of the assessment of changes in the components of water balance in the influence zone of mining, performed by creating the two-layer groundwater flow model taking into account the natural and man-made factors of the groundwater regime formation are given. The critical values of groundwater extraction for the period of low and high water years are determined. *Key words:* mathematical modeling, hydraulic permeability, storage, infiltration, perched aquifer.

**Постановка проблеми, актуальність, аналіз останніх досліджень і публікацій.** Україна є другою за площею території держава в Європі, що володіє досить обмеженими водними ресурсами, які формуються переважно завдяки транзитному (75%) і місцевому (відповідно 25%) стоку. За запасами місцевих водних ресурсів належить до малозабезпечених регіонів, де на одного жителя припадає близько 1 000 м<sup>3</sup> води на рік, тоді як у Швеції та Німеччині – 2 500, Франції – 3 500, Великої Британії – 5 000, Європейській частині Росії – 5 900 м<sup>3</sup>.

Актуальність проблеми забезпеченості водними ресурсами зростає в умовах кліматичних змін і під впливом антропогенних факторів різного масштабу. Одним із наймасштабніших джерел впливу є діяльність гірничо-промислових підприємств, що пов'язана з геофільтрацією в зоні гравітаційно навантажених ділянок хвостосховищ і відвалів гірських порід [1], забрудненням поверхневих і підземних вод [2], а також значним виснаженням підземних вод внаслідок осушення шахт і кар'єрів [3].

Оцінки впливу відкритих гірничих робіт на навколишнє середовище поділяють на дві групи [4]: економічні та ресурсні. Економічні критерії ґрунтуються переважно на врахуванні збитку, завданого навколишньому середовищу, а ресурсні – на кіль-

кості відходів виробництва та обсягів споживання природних ресурсів. Застосовується також бальна оцінка забруднення районів, які прилягають до місць розроблення корисних копалин.

Складність достовірної оцінки впливу відкритих гірничих робіт на навколишнє середовище полягає у врахуванні великої кількості чинників. Ранжування їх за ступенем і масштабом негативного впливу дасть змогу правильно вибрати шляхи для зменшення техногенного навантаження та заходи раціонального водокористування. Тому метою дослідження є кількісна оцінка змін гідродинамічного режиму високих терас із вапняковими покладами в зоні впливу кар'єру методом математичного моделювання геофільтрації. Останній дає змогу врахувати як особливості природних умов (геолого-гідрогеологічні, кліматичні), так і чинники антропогенного характеру.

**Виклад основного матеріалу.** Ріст дефіциту підземних вод, що використовується для господарсько-питних цілей, спостерігається в селищі Новосілка Тернопільської області, де ведеться інтенсивне розроблення родовища вапняків (рис. 1, а). Проте родовище згідно з гідрогеологічною класифікацією розташоване в межирічному масиві гірських порід із відносно високими абсолютними позначками, вищими за місцевий базис ерозії та під час його

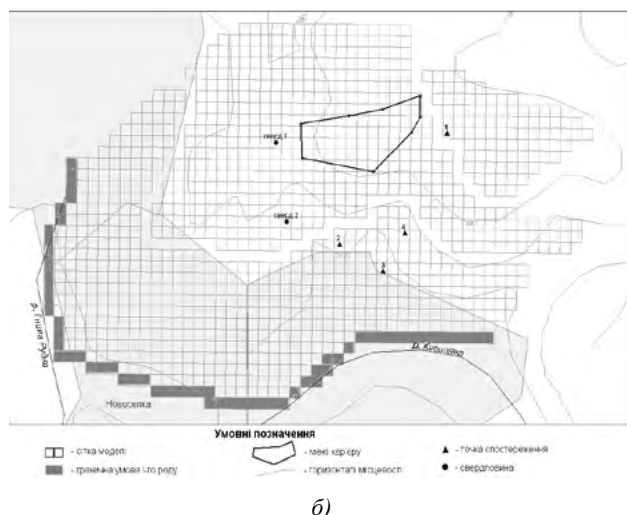
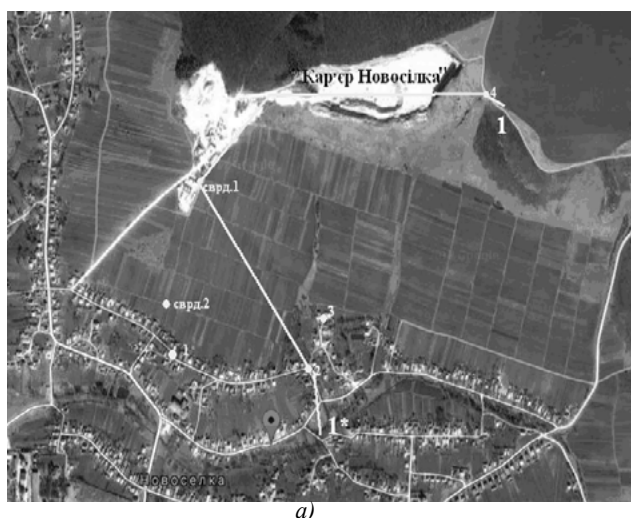


Рис. 1. Оглядова карта району досліджень (а) та її апроксимація сіткою (б): 1–4 контрольні водопункти в першому розрахунковому шарі, сврд. 1, 2 – свердловини, пробурені на другий водоносний горизонт, 1–1\* – лінія розрізу)

розробленні кар'єром не має водопритоків, а, відповідно, і ускладнень, пов'язаних із водовідведенням.

Ґрунтові ж води алювіально-делювіального водоносного горизонту, розвинені в долині р. Кирилівка, живляться завдяки інфільтрації атмосферних опадів і сніготалих вод, кількість яких має сезонну і багаторічну циклічність.

Оцінка змін складників водного балансу району досліджень виконана за допомогою створення двошарової геофільтраційної моделі, де відображені природні та техногенні фактори формування гідродинамічного режиму підземних вод, а саме інфільтрація атмосферних опадів, гірничі роботи та водовідбір.

В основі моделювання геофільтраційних процесів покладено кінцево-різницеву апроксимацію потоку в просторі і часі, за якого безперервне фільтраційне поле замінюється фіктивною сітковою ділянкою, що характеризується величинами напорів у всіх вузлових точках сітки на ряд моментів часу.

Тому реальне фільтраційне поле площею 3000×2000 м (рис. 1, а), що включає селище Новосілку та кар'єр вапняків, апроксимується сіткою розміром 60×40 блоків із шагом 50 м (рис. 1, б).

У вертикальному перетині область фільтрації схематизована двошаровою водоносною товщею (рис. 2), де перший розрахунковий шар відображує таке:

– водоносний горизонт алювіальних та еолово-делювіальних відкладів заплави р. Кирилівка, що літологічно представлений суглинками (*Qal-dl*);

– водоносний горизонт вапняків із прошарками глин неогенової системи баденського ярусу, майже не обводнений (*N,b*);

– локально поширені ґрунтові води верховодки в четвертинних суглинках вододільної ділянки (*Q*).

Другий шар моделі – це напірний водоносний горизонт силурійських вапняків і доломітів лудловського ярусу (*S<sub>2</sub>ld*) з прошарками аргілітів, мергелів.

Водоносні горизонти мають гідравлічний зв'язок через розділяючий слабопроникний шар невивітрілих вапняків.

Для створення масивів вихідної інформації використані карти гіпсометрії поверхні землі, дані буріння гідрогеологічних свердловин, регіональні гідрогеологічні карти, геологічні і гідрогеологічні розрізи, дані щодо фільтраційних параметрів водоносних товщ, відомості щодо натурального обстеження водопунктів, величини інфільтраційного живлення та інт.

Вхідні значення коефіцієнтів фільтрації, гравітаційної та пружної водовіддачі силурійської водоносної товщі приймалися за результатами дослідно-фільтраційних відкачок і роботи водозаборів, четвертинного – за опублікованими даними.

Фільтраційні та ємнісні параметри водоносних товщ, а також параметри перетікання коригувались у процесі вирішення обернених ідентифікаційних завдань.

Вирішення обернених завдань являє собою послідовний багатоваріантний ряд розрахунків у стаціонарній і нестационарній постановці, де оцінюється вплив на рівневий режим підземних вод змін коефіцієнта фільтрації порід, водовіддачі, інфільтраційного живлення, параметра взаємозв'язку суміжних водоносних горизонтів, гідродинамічної недосконалості водотоків та інше. За результатами факторно-діапазонного аналізу обґрунтовуються масиви вхідних даних, що дає змогу збалансувати модель та отримати положення рівня, близьке до фактичного. Контрольними даними під час вирішення завдань ідентифікації є результати дослідно-фільтраційних робіт і режимних спостережень.

На моделі відтворений квазістаціонарний режим фільтрації, а об'ємні рівневі поверхні підземних вод відображені на рисунку 3.

Варто зазначити, що у виділеному горизонті неогенових відкладів (див. рис. 3) в зоні впливу кар'єра

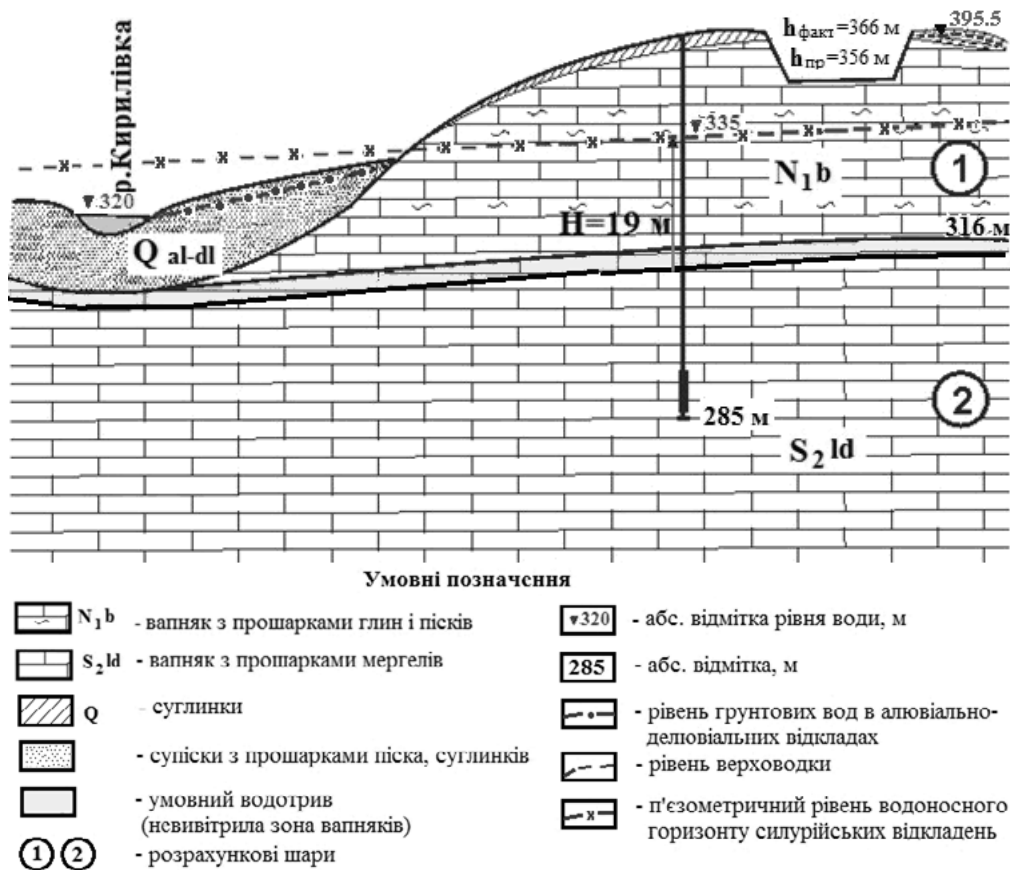


Рис. 2. Схематичний розріз моделі

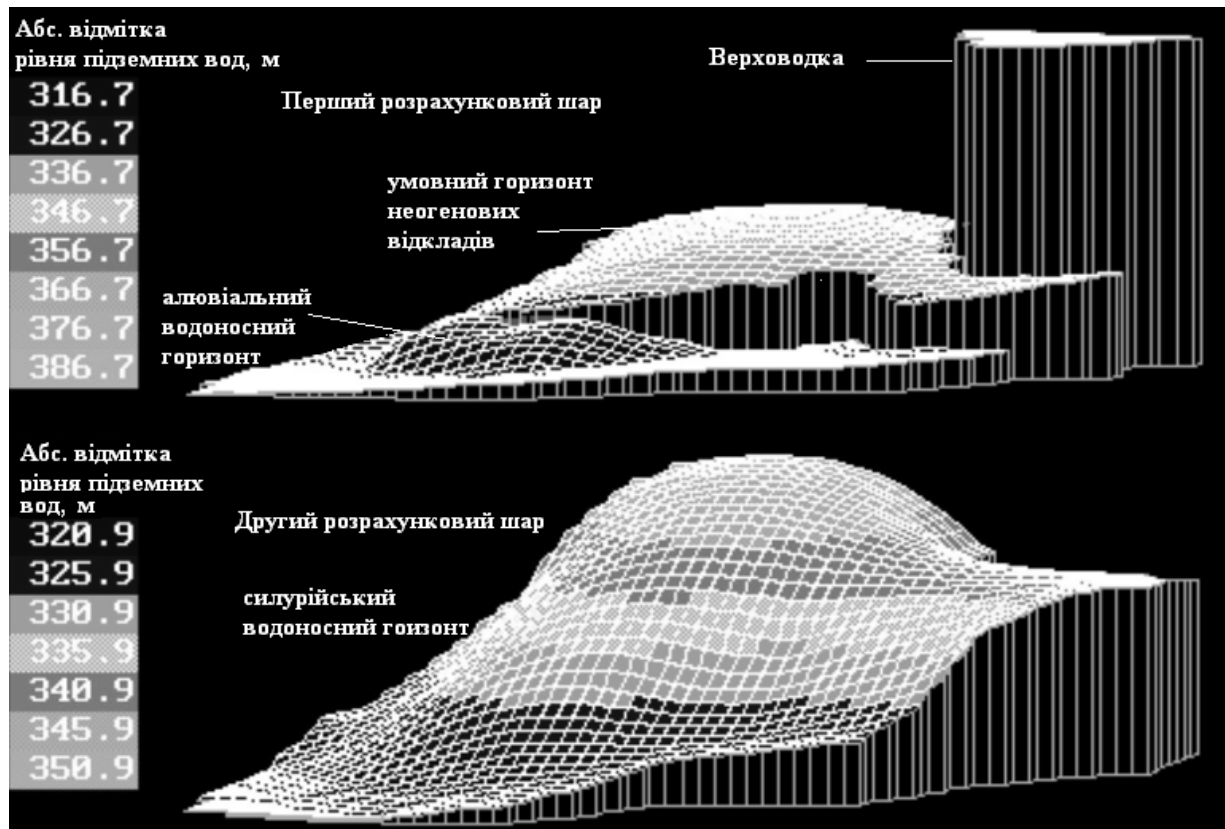


Рис. 3. Двошарова фільтраційна модель

формується купол підземних вод через додаткове живлення й інфільтрацію з кар'єру атмосферних опадів, бо кар'єр є зоною їх зосередженого накопичення.

Контрольними даними щодо положення рівня води в алювіально-делювіальному водоносному горизонті, що використовується для водопостачання, є точки спостереження 1...3 (рис. 1). Фактичний рівень води у верховодці зафіксований в точці 4 (каплиця). Результати співставлення рівня на моделі і фактичні наведені в таблиці 1.

Фільтраційні та ємнісні параметри першого водоносного комплексу і силурійського водоносного горизонту, а також розділяючих шарів коригувались під час відтворення на моделі динаміки відкачок зі свердловин 1 і 2. Відповідно до цього параметри водоносних горизонтів мають такі значення (табл. 2).

За вказаних параметрів гідродинамічна модель території досліджень збалансована в її гідродинамічних межах (табл. 3).

Етап калібрування та ідентифікації моделі за положенням рівня підземних вод і динамікою пробних відкачок завершений із похибкою в балансі моделі 0,03–0,005%, в положенні рівня 0,5–2,5 м (0,15–0,8%), що дає змогу перейти до виконання прогнозних розрахунків.

Введення в експлуатацію кар'єра та розроблення родовища вапняків на моделі відтворено зниженням абсолютних відміток поверхні землі відповідно до плану ведення гірничих робіт. Фактична відмітка дна кар'єра  $h_{\text{факт}} = 366$  м, максимальна проектна  $h_{\text{пр}} = 356$  м, що вище залягання рівня підземних вод. Тому на моделі виїмка гірських порід призводить до зменшення повних напружень у мінеральному скелеті неогенових і силурійських вапняків. Проте для тріщинуватих порід це позначається у зниженні рівня підземних вод силурійських відкладень до 0,1 м. Порівняно із сезонними коливаннями (1,5–2 м) це значення не є режимоутворюючим.

Таблиця 1

Контрольні точки спостереження в першому розрахунковому шарі

Точка спостереження	Абсолютна відмітка рівня води на 23 квітня 2017 р., м		
	фактична	на моделі	похибка, м (%)
1	323,0	322,0	1,0 (0,3%)
2	325,0	327,5	2,5 (0,8%)
3	323,5	323,0	0,5 (0,15%)
4	395,6	395,0	0,6 (0,15%)

Таблиця 2

Фільтраційні та ємнісні параметри водоносних горизонтів

Фільтраційні та ємнісні параметри	1 розрахунковий шар			2 розрахунковий шар ( $S_2/d$ )
	$al-dl$	$N, b$	$Q$	
коефіцієнт фільтрації ( $k$ ), м/доб	1	0,001	0,1	0,0034 - 0,026
гравітаційна водовіддача ( $\mu$ )	0,1	0,001	0,1	0,001
пружна водовіддача ( $\mu$ )	10 <sup>-3</sup>			10 <sup>-5</sup>

Таблиця 3

Баланс підземних вод моделі на період до 2017 року

Прибуткові елементи балансу, м <sup>3</sup> /доб		Витратні елементи балансу, м <sup>3</sup> /доб	
<b>Розрахунковий шар 1</b>			
Інфільтраційне живлення завдяки атмосферним опадам	152,8	Розвантаження в річку	146,4
Приток на зовнішньому контурі	137,6	Випаровування	0,95
Перетік через підшову	14,4	Перетік через підшову	53,5
Ємнісний складник	34,9,1	Розподілений водовідбір	109,9
<b>Разом:</b>	<b>339,7</b>	Ємнісний складник	28,79
<b>Нев'язка балансу, %</b>		<b>Разом:</b>	<b>339,6</b>
		<b>0,005</b>	
<b>Розрахунковий шар 2</b>			
Приток на зовнішньому контурі	70,8	Розвантаження на зовнішньому контурі	0,06
Приток через покрівлю	53,5	Перетік через покрівлю	14,4
Ємнісний складник	0,03	Витрати свердловин	110
<b>Разом:</b>	<b>124,33</b>	Ємнісний складник	0
<b>Нев'язка балансу, %</b>		<b>Разом:</b>	<b>124,46</b>
		<b>0,03</b>	

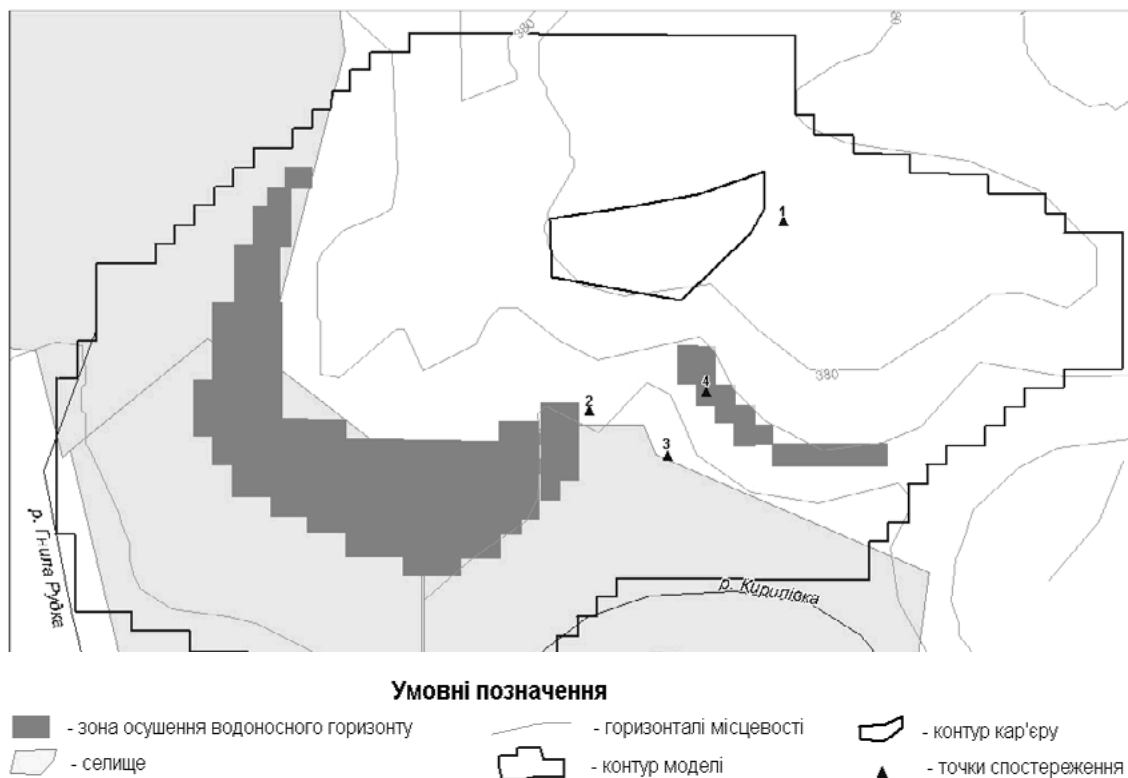


Рис. 4. Площа осушення водоносного горизонту в маловодний рік

Основне живлення алювіально-делювіального водоносного горизонту відбувається завдяки атмосферним опадам і перетоку із силурійського водоносного горизонту (табл. 3). Основним від'ємним складником балансу є водовідбір із колодязів (перший шар) та експлуатація свердловин (другий шар).

Тому *прогнозні завдання* орієнтовані на визначення оптимальної величини водовідбору в маловодний і повноводний роки, оскільки кількість атмосферних опадів і сніготалих вод має сезонну та багаторічну циклічність.

Для маловодного року з величиною опадів 450–500 мм/рік водовідбір з алювіально-делювіального водоносного горизонту в кількості більш ніж 25 м<sup>3</sup>/доб є критичним, перебільшення якого призводить до осушення водоносного горизонту (рис. 4). Складники балансу цього періоду наведено в таблиці 4.

Сумарний водовідбір із витратою 110 м<sup>3</sup>/доб максимально припустимий у повноводний рік із величиною атмосферних опадів близько 700–750 мм/рік.

Оскільки в останні роки спостерігається загальна тенденція до зниження кількості атмосферних опадів, особливо в літній період, коли водоспоживання максимальне, то нестачу водних ресурсів треба пов'язувати саме з цією причиною.

Запаси підземних вод верховодки (точка спостереження 4), що має локальне і спорадичне поширення, цілком залежать від зовнішнього живлення

атмосферними опадами й талими водами. Тому може спостерігатися закономірне коливання рівня до 1,5–2,5 м залежно від сезону року. Води верховодки не можуть використовуватися для систематичного водовідбору, а їх витрата в кількості більш ніж 10 м<sup>3</sup>/доб призведе до осушення.

Вплив кар'єру і дренавання підземних вод верховодки може бути лише у разі просування фронту відкритих гірничих робіт у східному напрямі, що за проектом розвитку не передбачено.

**Головні висновки.** За результатами досліджень встановлено, що розроблення родовища вапняків, розташованого в межиріччі з абсолютними позначками вищими за місцевий базис ерозії, впливає на зменшення повних напружень у мінеральному скелеті неогенових і силурійських відкладень і проявляється у зниженні рівня до 0,1 м, отже, не є режимотворюючим у формуванні техногенного режиму підземних вод. Тобто головним фактором, що визначає дефіцит підземних вод, є зростаюча потреба у водовідборі для водопостачання та сезонна й багаторічна циклічність опадів і сніготалих вод.

У природних коливаннях рівнів і витрат є тенденція до чергування серій маловодних і багатоводних років. Перехід від періодів із низькою водністю до років із високою водністю протікає більш повільно в підземних водах і розтягується на роки. На це явище треба зважати під час планування раціональних форм експлуатації підземних вод.

**Література**

1. Тимошук В.И., Шерстюк Е.А. Закономерности геофильтрации в зоне гравитационно нагруженных участков хвостохранилищ и отвалов горных пород. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2012. № 4. С. 30–36.
2. Sadovenko, I., Zagrytsenko, A., Podvigina, O., Dereviagina, N. Assessment of environmental and technical risks in the process of mining on the basis of numerical simulation of geofiltration. *Mining of Mineral Deposits*. 2016. № 10(1). P. 37–43. URL: <http://dx.doi.org/10.15407/mining10.01.037>.
3. Загриценко А.Н. Параметрическая основа водорегулирования при ведении горных работ в сложных гидродинамических условиях Западного Донбасса. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»*. 2018. Т. 29 (68). № 1. Ч. 2. С. 122–128.
4. Просандеев М.І., Козлова Л.М. Основні шляхи адаптації технологій відкритих гірничих робіт до вимог сталого розвитку суспільства. *Екологія і природокористування*. 2011. Вип. 14. С. 143–160.