

DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2024.308419>

УДК 556.332.52:553.3(477.81)

E-mail:

gavrilyuk.ruslan@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6465-9440>

ynegoda2008@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7708-0040>

lohvyenko.olha@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8193-4144>

Ключові слова: Вирівське родовище, кар'єр, водоприплив, підземні води, гідрогеологічна модель, радіус впливу, прогноз.

Keywords: Vyrivskoye deposit, quarry, water inflow, groundwater, hydrogeological model, radius of influence, forecast.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

ОЦІНКА ВПЛИВУ РОЗРОБКИ КАР'ЄРІВ НА ПІДЗЕМНІ ВОДИ В МЕЖАХ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА В КОНТЕКСТІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ (НА ПРИКЛАДІ ВИРІВСЬКОГО ГРАНІТНОГО КАР'ЄРУ)

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF QUARRY DEVELOPMENT WITHIN THE UKRAINIAN SHIELD ON GROUNDWATER IN THE CONTEXT OF AN ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT (USING THE VYRIV GRANITE QUARRY AS AN EXAMPLE)

Р. Б. Гаврилюк, Ю. О. Негода, О. І. Логвиненко
Ruslan B. Havryliuk, Iurii O. Negoda, Olha I. Lohvyenko

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 55-b O. Honchara Str., Kyiv, Ukraine, 01601

Функціонування будівельної галузі України тісно пов'язано з кар'єрним видобуванням кристалічних порід (граніт, гнейси, габро тощо), родовища яких широко представлені в межах Українського щита. Діяльність об'єктів видобувної промисловості, зокрема видобування корисних копалин відкритим способом, передбачає попередню процедуру оцінки впливу на довкілля, результати якої є підставою для ухвалення рішення щодо можливості та екологічних умов реалізації такої діяльності. Для кар'єрного способу видобування провідне значення має оцінка впливу планованої діяльності на підземні води. Такий акцент у звіті з оцінки впливу на довкілля для наступної екологічно безпечної експлуатації кар'єрів потребує розробки методичних підходів з визначення впливу видобування на підземну гідросферу. Об'єктом досліджень є ділянка № 4 Вирівського родовища кристалічних порід (гранітів, гранітоїдів, діоритів), що видобуваються відкритим способом. Ця ділянка може вважатися репрезентативною для Поліської зони Українського щита. Мета роботи полягає у виконанні прогнозу змін гідрогеологічних умов при розробці кар'єру. Для цього застосовано аналіз геолого-гідрогеологічних матеріалів та математичне моделювання. В процесі досліджень створено гідрогеологічну модель району, доведено її функціональну відповідність природно-антропогенним умовам, уточнено розрахункові гідрогеологічні параметри. Виконано прогноз впливу кар'єру на гідродинамічний стан підземних вод, а саме: водоприплив до кар'єру для умов його розробки до горизонтів з абсолютними відмітками +104 м — сучасний горизонт розробки кар'єру та +91 м — нижня границя підрахунку промислових запасів; встановлено радіус впливу кар'єру для зазначених умов; встановлено вплив розробки кар'єру на гідродинамічний стан підземних вод у районі навколишніх населених пунктів.

The functioning of the construction industry in Ukraine is closely related to the quarrying of crystalline rocks (granite, gneisses, gabbro, etc.), which are widely represented within the Ukrainian Shield. The activity of mining industry objects, particularly the open-pit mining of minerals, requires a preliminary environmental impact assessment procedure. The

Цитування: Гаврилюк Р. Б., Логвиненко О. І., Негода Ю. О. Оцінка впливу розробки кар'єрів на підземні води в межах Українського щита в контексті оцінки впливу на довкілля (на прикладі Вирівського гранітного кар'єру). Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. 2024. Том 17, вип. 1. С. 93–108. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2024.308419>.

Citation: Havryliuk R. B., Lohvyenko O. I., Negoda Iu. O., 2024. Assessment of the impact of quarry development within the Ukrainian Shield on groundwater in the context of an environmental impact assessment (using the Vyriv granite quarry as an example). Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine, Vol. 17. Iss. 1, Pp. 93–108. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2024.308419>.

results of this assessment are the basis for making decisions on the feasibility and environmental conditions of implementing such activities. For the quarry method of extraction, assessing the impact of the planned activity on groundwater is of primary importance. Emphasizing this in the development of the environmental impact assessment report for the ecologically safe exploitation of quarries requires the development of methodical approaches to determine the impact of mining on the underground hydrosphere. The object of research is Section No. 4 of the Vyrivske deposit of crystalline rocks (granites, granitoids, diorite), which are mined using the open-pit method and can be considered representative of the Poliska zone of the Ukrainian Shield. The purpose of this work is to forecast changes in hydrogeological conditions during quarry development. For this, the analysis of geological and hydrogeological materials and mathematical modeling were applied. During the research, a hydrogeological model of the area was created, its functional compliance with natural and anthropogenic conditions was proven, and the calculated hydrogeological parameters were specified. The prediction of the quarry's impact on the hydrodynamic state of groundwater was carried out, including water inflow to the quarry for conditions at horizons with absolute elevations of +104 m (the current horizon of quarry development) and +91 m (the lower limit for the calculation of industrial reserves). The radius of influence of the quarry under these conditions was calculated, as well as the impact of quarry development on the hydrodynamic state of groundwater in the surrounding settlements.

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сировинне забезпечення будівельної галузі України тісно пов'язано з розробкою кар'єрів будівельної сировини. Родовища корисних копалин, що є сировиною для будівельних матеріалів, поширені практично в усіх регіонах України та представлені різноманітними корисними копалинами різного генезису. Найважливішими серед них є кристалічні породи, такі як граніт, діорит, гнейси, габро тощо. Найбільш широко вони представлені в межах Українського щита (УЩ), де залягають неглибоко та мають найкращі для промислового розроблення запаси. Тут існує значна кількість діючих кар'єрів з видобування корисних копалин.

При зміні в діяльності кар'єрів (наприклад, у випадку переоцінки запасів, збільшення обсягів видобутку тощо) передбачається проведення планованої оцінки впливу на довкілля (ОВД), відповідно до вимог Закону України «Про оцінку впливу на довкілля».

У методичних рекомендаціях з підготовки звіту з ОВД для видів діяльності у галузі видобування корисних копалин (Методичні..., 2021) наголошено, що одним з компонентів довкілля, який може зазнавати значних впливів, є підземні води внаслідок порушення режиму водоносних горизонтів, зачеплених гірничими роботами. Це визначає обов'язковість оцінки впливу діяльності на підземні води. Також передбачено, що для видобування корисних копалин кар'єрним способом оцінюється водоприплив до кар'єру на основі гідрогеологічних та метеорологічних даних.

За результатами ОВД можна передбачити умови проведення післяпроектного моніторингу за станом довкілля, що зазначено у висновку з ОВД (Шаравара та ін., 2018). Метою такого моніторингу згідно із законом є виявлення будь-яких розбіжностей і відхилень у прогнозованих рівнях

впливу та ефективності заходів щодо запобігання забруднення довкілля та його зменшення. Стислий зміст програми післяпроектного моніторингу наведено у звіті з ОВД, а на підставі висновку з ОВД розроблена повна версія програми. Проте рекомендацій щодо післяпроектного моніторингу підземної гідросфери, яка є найбільш чутливим та найбільш динамічним компонентом геологічного середовища, у галузі видобування корисних копалин не розроблено.

Враховуючи важливість водних ресурсів, зокрема підземних вод (Havryliuk, Savchenko, 2022), оцінка та подальший моніторинг впливу на підземні води при розробці кар'єрів мають бути пріоритетними та невід'ємною складовою ОВД такої діяльності. Підземні води можуть виступати джерелом господарсько-питного водопостачання, зрошення, природного живлення поверхневих водотоків, важливою складовою підтримки місцевих екосистем. Розробка кар'єрів призводить до зниження рівнів підземних вод та формування депресійних лійок, зневоднення порід і ґрунтів на значних площах. Підземні води можуть зазнавати забруднення внаслідок кар'єрного водовідливу та інших складових діяльності.

ОВД та післяпроектний моніторинг видобування корисних копалин кар'єрним способом доцільно супроводжувати створенням математичної моделі впливу кар'єру на підземні води, яка здатна забезпечити їх ефективне управління та оперативне реагування на можливі негативні зміни (Anderson et al., 2015). Метод математичного моделювання дозволяє виконувати геофільтраційні розрахунки з найбільш повним урахуванням гідрогеологічних умов території, що досліджується (Руденко та ін., 2021). Створення математичної моделі дозволяє визначити зони впливу кар'єру на підземні води прилеглих територій, водоприплив

у кар'єр, оптимізувати систему моніторингу за станом підземної гідросфери.

Мета даної роботи полягає в оцінці впливу діяльності кар'єру на гідродинамічний режим підземних вод методом математичного моделювання та у визначенні ефективності цього методу при проведенні ОВД та післяпроектного моніторингу на прикладі ділянки № 4 Вирівського родовища кристалічних порі (далі — Вирівський кар'єр)..

Основні завдання дослідження полягають у визначенні:

- водопривливу в кар'єр для умов його розробки до абсолютної відмітки +104 м;
- водопривливу в кар'єр для умов його розробки до абсолютної відмітки +91 м;
- радіуса впливу на підземні води для умов розробки кар'єру до абсолютних відміток +104 та +91 м, які відповідають поточній та планованій глибині розробки кар'єру.

ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА, ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ГЕОМОРФОЛОГІЧНІ УМОВИ

В геоструктурному відношенні район робіт знаходиться в межах західного схилу УЩ, у зоні його зчленування з Волино-Подільською плитою, яка є південно-західною окраїною Східноєвропейської платформи — похованим продовженням УЩ. Західний схил УЩ охоплює широку субмеридіонально орієнтовану смугу, що характеризується відносно неглибоким заляганням кристалічного фундаменту.

В геологічній будові чітко виділяються два структурних поверхи: нижній — кристалічний фундамент, складений кристалічними утвореннями протерозойського віку і корамаи їх вивітрювання, та верхній — платформний чохол, представлений відносно малопотужними, майже горизонтально залягаючими мезо-кайнозойськими відкладами.

Нижній структурний поверх складений метаморфізованими і гранітизованими утвореннями клесівської серії та магматичними утвореннями осницького комплексу середнього протерозою, що утворює із клесівською серією вулканоплутонічну асоціацію в межах Волино-Поліського поясу. Завершується магматизм формуванням невеликих інтрузивних тіл, представлених гранітами та різними за складом дайковими утвореннями (аплітові граніти, діабази, габро-діабази) мезо-протерозою, які не характеризуються широким розповсюдженням (Робочий..., 2019).

Клесівська серія (PR₂kl) складена кислими і середніми метавулканітами, які спостерігаються

у вигляді залишків серед гранітоїдів осницького комплексу. Представлена в основному рожевими та сіро-рожевими масивними, рідше смугастими гранітами.

Осницький комплекс (PR₂os) є найбільш поширеним. Представлений гранітами, гранодіоритами та діоритами. Граніти рожеві, жовтувато-рожеві, дрібно-середньозернисті, рідше середньокрупнозернисті, порфіровидні. Утворюють великі неоднорідні поля, в яких трапляються тіла гранодіоритів, діоритів та кварцових діоритів. Гранодіорити середньодрібнозернисті характеризуються обмеженим розповсюдженням у вигляді самостійних локальних тіл серед осницьких або клесівських гранітів, часто присутні на контактах між ними. Діорити та кварцові діорити не дуже поширені, спостерігаються у вигляді невеликих тіл серед гранітів осницького комплексу. Інтрузивні утворення характеризуються обмеженим розвитком.

Кора вивітрювання кристалічних порід (MZ-KZ) не має широкого розповсюдження і поширена у вигляді островних ділянок. У розрізі виділяються три зони кори вивітрювання: зона початкового вилугування та дезінтеграції (сильно тріщинуваті, перетворені на жорстку материнські породи); зона часткової каолінізації (рихла або ущільнена голубувато-зеленувато-сіра каолінізована порода із збереженням структури вихідної породи); зона повної каолінізації (первинний каолін).

Верхній структурний поверх (платформний чохол) представлений відкладами палеогенової та четвертинної систем. Палеогенова система складена відкладами нижнього олігоцену, а саме утвореннями межигірської світи (P₃mz) (Shevchenko et al., 2023), які представлені глинистими пісками й алевритами глауконіт-кварцовими. Потужність відкладів сягає до 5 м. Відклади четвертинної системи розвинуті на всій площі і суцільним чохлом покривають більш древні кристалічні породи докембрію та осадові відклади. Складені утвореннями середньої та верхньої ланок неоплейстоцену, а також сучасними відкладами — голоценом.

Найбільш древні четвертинні утворення (середня ланка неоплейстоцену P_{II}) представлені відкладами дніпровського кліматоліту (f, IgP_{II}dn) льодовикової формації. Це флювіогляціальні та озерно-льодовикові утворення, складені в основному різнозернистими пісками, подекуди галькою кременю та прошарками суглинків. Потужність даних відкладів може досягати 25 м. Відклади верхньої ланки неоплейстоцену (P_{III}) представлені утво-

реннями першої, другої та третьої надзаплавних терас алювіальної формації річок Случ та Горинь. Відклади першої надзаплавної тераси найбільш розповсюджені в районі досліджень і широко розвинуті в долині р. Случ. Складені вони пісками кварцовими, дрібно-середньозернистими, у верхній частині з прошарками супісків. Потужність відкладів становить 10,0–12,0 м.

Сучасні утворення в районі робіт представлені алювіальними відкладами (аН) заплав. Складені пісками різнозернистими, суглинками, супісками, потужністю до 18,0 м; озерно-болотними відкладами (ІbН), які представлені суглинками та мулом з прошарками торфу та розвинуті по долинах дрібних річок, потужністю до 3,0 м; сучасними ґрунтами (еН), потужністю до 1,0 м.

У районі Вирівського родовища поширені два водоносних горизонти: перший від поверхні — в осадових відкладах (четвертинних та палеогенових) і частково в підстеляючій їх жорсткій кристалічній поріді; другий — в тріщинуватій зоні кристалічних порід. Ці горизонти мають тісний гідравлічний зв'язок і по суті є єдиним водоносним комплексом.

Водоносний горизонт в осадових відкладах належить до типу ґрунтових вод з вільною поверхнею. Раніше цей горизонт описувався як четвертинний в зв'язку з тим, що верхня частина геологічного розрізу складена переважно піщаною товщею, в якій не виділялися відклади межигірської світи. Їх присутність була доведена нещодавніми палеонтологічними дослідженнями (Shevchenko et al., 2023). Тому пропонується схематизувати на моделі даний горизонт як водоносний горизонт у піщаних палеоген-четвертинних відкладах.

Глибина залягання ґрунтових вод становить декілька метрів і коливається в залежності від сезонних факторів та погодних умов. Живлення горизонту здійснюється внаслідок інфільтрації атмосферних опадів безпосередньо на території району. Розвантаження відбувається переважно в нижчезалягаючий водоносний горизонт і частково в місцеву ерозійну мережу шляхом дренажу. Водовміщуючі піски дрібнозернисті, глинисті. Коефіцієнт фільтрації пісків визначений за гранулометричним складом пісків і сягає 0,18 м/добу (Отчет..., 1984).

У межах впливу кар'єру води осадових відкладів повністю здреновані. За межами осушених ділянок рівні ґрунтових вод у залежності від рельє-

фу знаходяться на глибині від 0 до 3 м. Потужність водовмісних пісків становить 4–5 м.

Підземні води кристалічних порід містяться в їх верхній тріщинуватій зоні. Окремі зони тріщинуватості можуть спостерігатися до глибини 100 м (Отчет..., 1984; Робочий..., 2019), що корелюється з даними поширення зони підвищеної тріщинуватості УЩ (Камзіст, Шевченко, 2009; Рубан, Шинкаревський, 2005). Водопроникність тріщинуватості зони кристалічних порід досить непостійна як по площі, так і за глибиною. За даними пробних відкачок, виконаних у 1970- та 1980-х рр. з різних свердловин у районі родовища, коефіцієнти фільтрації становили відповідно 0,007–0,006 та 0,03 м/добу. Проте, виходячи з фактичного водоприпливу до кар'єру (225 м³/добу), розрахований коефіцієнт фільтрації склав 0,56 м/добу (Отчет..., 1984). Середній коефіцієнт фільтрації приймався 0,2–0,6 м/добу, хоча бралось до уваги, що на окремих ділянках ці породи фактично є водотривими (Робочий..., 2019).

Живлення горизонту відбувається внаслідок інфільтрації атмосферних опадів у місцях виходу кристалічних порід на поверхню, в місцях, де вони вкриті обводненими пісками, — в результаті перетоку з четвертинного водоносного горизонту. Розвантаження тріщинних вод відбувається за межами району розташування родовища в глибоку ерозійну мережу річкових долин та, враховуючи розташування району на західній окраїні кристалічного масиву, ймовірно, частково в інші водоносні горизонти.

Водоносний горизонт тріщинуватості зони є основним і єдиним джерелом централізованого водопостачання. Він також є основним джерелом водоприпливу до Вирівського кар'єру. Меншу роль у формуванні водоприпливу відіграють атмосферні опади, що зазначалося в процесі дорозвідки родовища (Отчет..., 1984) та підтверджується розрахунками на поточний період часу. Сучасна площа кар'єрної виробки становить близько 42 га. Якщо прийняти, що всі опади, при середньорічному значенні 650 мм, на цій площі надходять до кар'єру, то величина живлення сягне 273 тис. м³/рік. Це становить майже 1/3 від обсягу води, що відкачувалась з кар'єру останніми роками. Проте надходження атмосферних опадів є ще меншим. За уступчастого характеру чаші кар'єру частина атмосферних опадів затримується та випаровується, не надходячи до зумпфу на дні кар'єру.

Води тріщинуватого горизонту визначають якісні характеристики кар'єрних вод, особливо

за відсутності атмосферних опадів. За даними проведених моніторингових досліджень мінералізація підземних вод тріщинного горизонту (св. 2) становить 0,2–0,3 г/дм³. Вміст сульфатів та хлоридів, що контролювалися в кар'єрних водах, співставний з показниками тріщинних вод. Протягом 2022 р. вміст сульфатів у підземних водах становив 65–170 мг/дм³, у кар'єрних — 62–86 мг/дм³; вміст хлоридів у підземних водах — 14–28 мг/дм³, у кар'єрних — 14–248 мг/дм³, при цьому здебільшого не перевищував 85 мг/дм³.

В умовах інфільтраційного живлення тріщинного водоносного горизонту та тісного взаємозв'язку підземних та поверхневих вод скид кар'єрних вод, що відбувається у струмок, який впадає у р. Люблинка, певною мірою відповідає додатковому підземному живленню. Відсутність негативного впливу на екосистему поверхневих вод підтверджується гідробіологічними дослідженнями (Звіт..., 2022). Встановлено, що кар'єрні води характеризуються трофічністю, нижчою за трофічність води у р. Люблинка; отже, мають позитивно впливати на якість води у річці нижче за течією. Вміст важких металів та інших токсичних елементів реєструвався у низьких концентраціях, здебільшого нижчих, ніж у середньому спостерігається на водних об'єктах на території України.

В геоморфологічному відношенні Вирівське родовище приурочено до Поліської низовини, яка являє собою слабо підвищену рівнину, густо вкриту лісом, абсолютні відмітки якої змінюються від 150,0 до 210,0 м. Гідрографічна мережа району розвинута слабо, незважаючи на велику кількість дрібних водотоків, які беруть початок в урочищах, таких як Люблинка, Грабівка, Воронець та ін. До більших річок відносяться р. Льва, яка протікає у 9,5 км на схід від родовища, та р. Случ, що протікає в 14 км на захід від родовища. Річки відносяться до басейну р. Прип'ять. На північному сході в 3–4 км від родовища протікає р. Люблинка, яка впадає в р. Канал Бениський, що є правою притокою р. Горинь. Довжина р. Люблинка становить близько 30 км, ширина русла — 6–10 м, глибина в меженний період — 0,3–0,5 м, середньозважений уклін — 0,8 м/км. Річна амплітуда коливання рівнів води дорівнює 0,7–2,6 м.

Історія розробки Вирівського кар'єру

Вирівський кар'єр розташований у Сарненському районі Рівненської області, в 0,5 км на південний схід від с. Гранітне та 0,5 км на північний захід від с. Вири (рис. 1).

Вирівське родовище вперше було розвідане Українським геологічним управлінням у 1940 р. Запаси граніту ділянки № 4 були затверджені в загальній кількості 8035,0 тис. м³ до відмітки +170 м. У подальшому запаси родовища неодноразово переоцінювались зі збільшенням планованої глибини його розробки: в 1953 р. — до відмітки +160 м; у 1979 р. — до відмітки +143 м; у 1984 р. — до відмітки +91 м. У 2014–2015 та у 2017 рр. проводилась повторна геолого-економічна оцінка ділянки № 4 в межах існуючого контура родовища за умови розробки родовища до горизонту з абсолютною відміткою +91 м. Згідно з Протоколом Державної комісії України по запасах корисних копалин № 4346 від 05.04.2018 р., загальні запаси корисної копалини становлять 44 272 тис. м³.

Розробка кар'єру розпочалася у 1963 р. Корисна копалина розробляється уступами з висотою від 11,0 до 14,0 м. Позначки підосви уступів: +181, +167, +155, +143, +132, +118, +104, +91 м. Абсолютні відмітки поверхні корисних кристалічних відкладів на бортах кар'єру становлять +190 — +198 м. На даний час підосва кар'єру знаходиться на відмітці +104 м.

Площа кар'єрного поля в межах гірничого відводу на кінець відпрацювання дорівнює 88,6 га. Сучасна площа ділянки кар'єрного поля приблизно сягає 42 га. Виходячи з наявності промислових запасів корисної копалини і річного об'єму видобутку сировини (800–1000 тис. м³), строк служби кар'єру щонайменше становить 40 років.

Водовідведення з кар'єру організовано з водозбірників, облаштованих на горизонтах +104,0 та +132,0 м. Кар'єрні води по нагірній каналі поступають надходять у два відстійники, а потім у р. Люблинка.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Продовження розробки Вирівського кар'єру зумовило оцінку впливу планованої діяльності на довкілля, складовою якої є оцінка очікуваних змін у підземній гідросфері. Висновком з ОВД перебачено післяпроектний моніторинг включно з гідрогеологічними спостереженнями з метою контролю стану підземних вод у зоні впливу кар'єру.

Реалізація поставленого завдання можлива із застосуванням методу математичного моделювання, що дозволяє оцінити зону впливу кар'єру, обсяг водоприпливу і відповідно об'ємів водовідливу з кар'єру. Для створення геофільтраційної моделі було використано програмний ком-

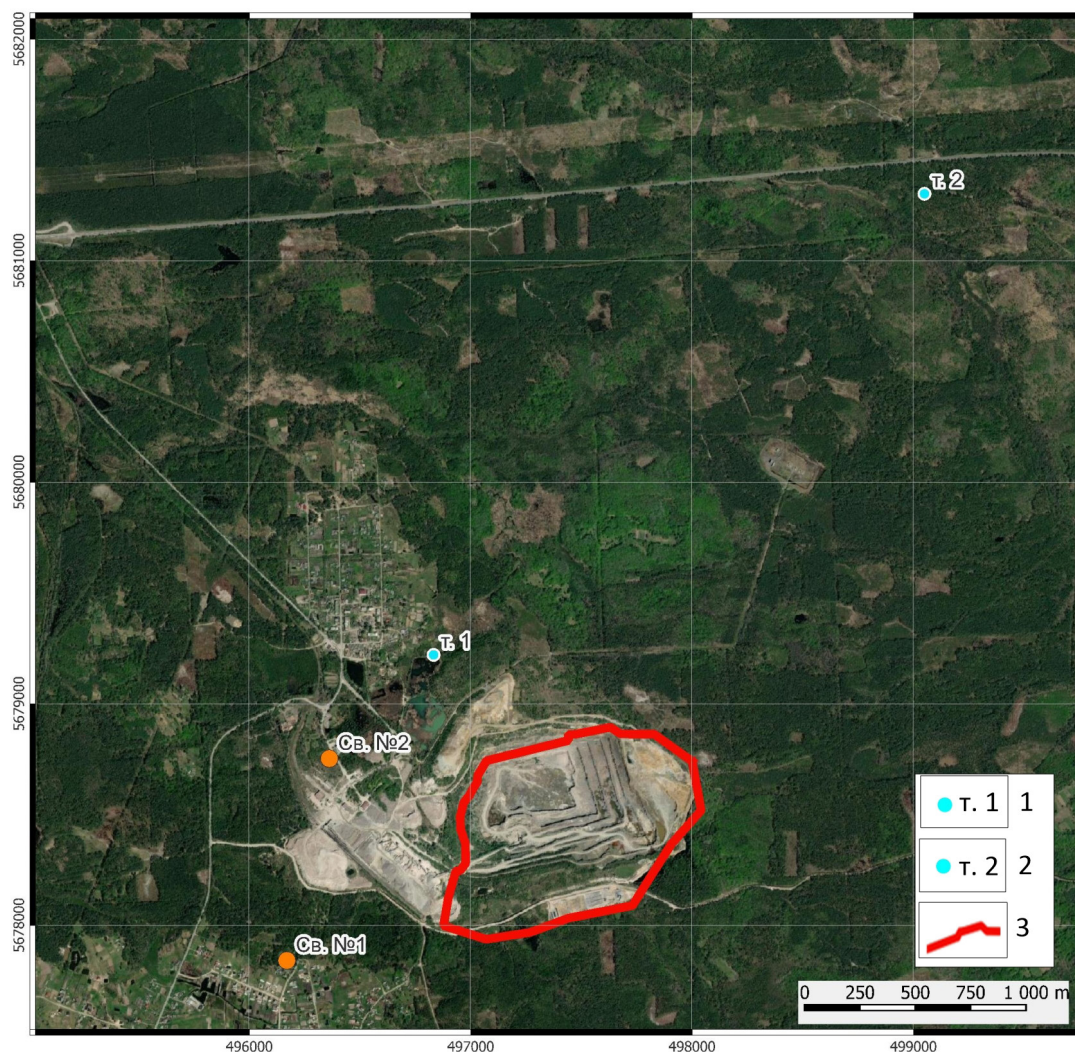


Рис. 1. Оглядова карта району робіт (супутниковий знімок):

1 — місце скиду кар'єрних вод у струмок; 2 — точка надходження кар'єрних вод до р. Люблинка; 3 — контур гірничого відводу.

Fig. 1. Overview map of the work area (satellite image):

1 — The point of discharge of quarry water into the stream; 2 — The point of quarry water inflow to the Lublynka River; 3 — Mining concession contour.

плекс MODFLOW, програму оболонки ModelMuse (Winston, 2022).

Вихідними даними для схематизації гідрогеологічних умов були результати розвідки та дорозвідки родовища різних років (Отчет..., 1984; Робочий..., 2019.), дані про атмосферні опади з агро-гідрологічної моделі річкових басейнів України Land & Water (<https://landwater.uhmi.org.ua>), а також фактичні дані про водоприпливи до кар'єру за період 2011–2022 р., надані ТОВ «Вирівський кар'єр».

РЕЗУЛЬТАТИ

Створення гідрогеологічної моделі

За результатами аналізу вихідних даних побудована тривимірна геолого-гідрогеологічна модель кар'єру та прилеглої до нього території. На базі створеної моделі побудовані цифрові контури розповсюдження та числові масиви відміток поверхні землі, покрівлі та підшви водоносного горизонту, абсолютні відмітки рівнів у поверхневих водотоках. Для побудови поверхні землі були використані дані супутникової тривимірної цифрової моделі Землі:

- SRTM4 (<https://srtm.csi.cgiar.org>);
- топографічних карт масштабу 1:100 000 (номенклатури листів: М-35-018, М-35-019, М-35-030, М-35-031).

Розміри області фільтрації, для якої була створена модель, вибирались з урахуванням геоморфологічних особливостей території, геологічної будови та потенційного впливу кар'єру на підземну гідросферу.

Західна та східна границі (межі) моделі були задані, виходячи з аналізу геоморфологічної будови території за річковою мережею. За цими межами була задана гранична умова (далі — ГУ) III роду ($Q = f(H)$). Північна та південна границі моделі були задані з урахуванням особливостей

геоморфологічної будови і визначені як границі, що не мають стоку, ГУ II роду ($Q = 0$).

Значення абсолютних відміток рівнів підземних вод були прийняті на підставі даних, наведених у роботах (Отчет..., 1984; Шевчук та ін., 2021), нижче рівня земної поверхні на 2–4 м. Ці дані були підтверджені натурними спостереженнями, проведеними авторами у 2022 р., за св. 1, 2 та колодзями, розташованими в селах Гранітне та Вири.

Загальна площа території моделювання орієнтовно становила 809 км². Крок модельної сітки нерівномірний, змінюється від 500 м на краях моделі, де немає необхідності у високій детальності до 70 м безпосередньо в районі кар'єру (рис. 2).

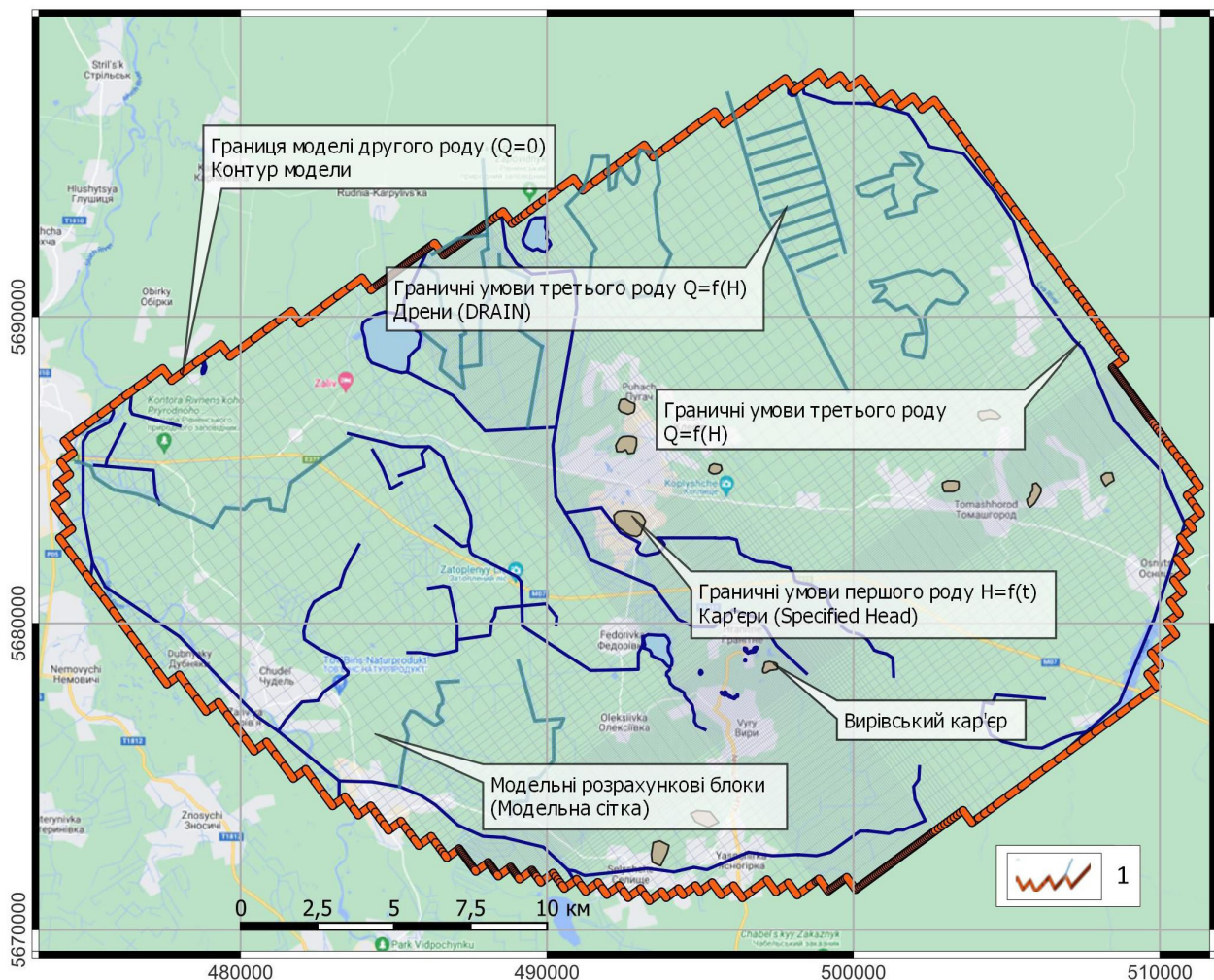


Рис. 2. Карта граничних умов та просторової дискретизації моделі:
1 — контур моделі.

Fig. 2. Map of boundary conditions and spatial discretization of the model:
1 — Model outline.

Загальна кількість розрахункових блоків на моделі 26 288, з них активних — 21 388 (102×124).

Для схематизації дослідної території в розрізі було задано два водоносних горизонти: перший водоносний горизонт — у четвертинно-палеогенових відкладах, другий — в тріщинуватих породах.

Своєрідним водотривом між тріщинними водами та водами осадової товщі є шар продуктів вивітрювання кристалічних порід. Товща представлена переважно каолінізованою жорсткою, відносно водонепроникною для ґрунтових вод. У той же час існує тісний гідравлічний зв'язок між водоносними горизонтами, враховуючи неоднорідність літологічного складу та фільтраційних властивостей жорсткої та її невитриманість як по площі, так і у розрізі (Шевчук..., 2021).

Попередні значення коефіцієнтів фільтрації тріщинного водоносного горизонту були взяті за даними дослідно-фільтраційних робіт (Робочий..., 2019; Отчет..., 1984). Їх широке варіювання пояснюється неоднорідною тріщинуватістю кристалічних порід, зміною густоти, розміру та орієнтації тріщин, літологічного складу, матеріалу заповнення тріщин тощо. Важливу роль в зміні тріщинуватості порід відіграють вибухи, які є складовою розробки кар'єру.

У процесі створення моделі були прийняті такі коефіцієнти фільтрації: для водоносного горизонту в четвертинно-палеогенових відкладах — $1-0,1$ м/добу, для водоносного горизонту в кристалічних породах — $0,1-0,01$ м/добу.

Величина інфільтраційного живлення (інфільтрація та конденсація атмосферної вологи без урахування випаровування та транспірації ґрунтової води) була прийнята на рівні 60 мм/рік по всій площі моделі. Це значення базується на даних попередніх досліджень (Шестопапов та ін., 1989).

Коефіцієнт інфільтрації атмосферних опадів для дослідної території становить $K_w \approx 0,1$. Тобто, на моделі фактично задавалась перемінна інфільтрація, яка складає орієнтовно 10% від величини реальних атмосферних опадів.

Взаємозв'язок водоносного горизонту в кристалічних породах з поверхневими водами відповідає граничним умовам III роду ($Q = f(H)$) на їх контурах. Відмітки рівня води в річках для кожного річного блоку було задано у відповідності до топографічних карт.

Відмітки підшви підруслових відкладів достовірно не відомі та орієнтовно були задані нижче середньобагаторічних рівнів води в по-

верхневих водотоках на 3 м. Коефіцієнти фільтрації підруслових відкладів річок були прийняті за даними літературних джерел (Руденко та ін., 2021) та за результатами обернених задач на рівні $0,1-0,01$ м/добу.

Кар'єри на моделі були задані як ГУ I роду ($H = \text{const}$) на його забої, а контроль достовірності такого підходу відбувався шляхом порівняння модельних та натурних водоприпливів у кар'єри.

Прогнозне моделювання

На моделі були задані параметри та граничні умови (внутрішні та зовнішні), що описані вище. Задача розв'язувалась в стаціонарних умовах. Контроль достовірності розв'язання оберненої задачі проводився за співпадінням модельних та натурних рівнів у спостережних свердловинах та припливів у кар'єр. Ці дані досить достовірні. Для перевірки відповідності створеної математичної моделі природним гідрогеологічним умовам об'єкта досліджень було виконано розв'язання кількох зворотних задач.

Перша задача — розв'язання оберненої стаціонарної фільтраційної задачі на доексплуатаційний період. Результати оберненої стаціонарної задачі приймалися початковими умовами при розв'язанні фільтраційної задачі для сучасних умов на території кар'єру з урахуванням зниження рівнів, обумовлених наявністю кар'єрів.

Друга задача — розв'язання оберненої стаціонарної фільтраційної задачі для сучасних умов глибини кар'єру до відмітки +104 м.

Третя задача — розв'язання стаціонарної прогностичної задачі на моделі на кінець розробки кар'єру до відмітки +91 м.

Метою розв'язання цих задач було коригування початкових параметрів таким чином: по-перше, щоб вони не суперечили розрахунковим даним; по-друге, щоб гідродинамічна ситуація, одержана на моделі, максимально вірогідно відображала природну гідродинамічну картину. Складність при розв'язанні зворотних задач у даному випадку спричинена браком вихідних даних, оскільки режимні спостереження за рівнями підземних вод проводились нерегулярно.

Головним питанням при розв'язанні оберненої стаціонарної задачі було відтворення гідродинамічної обстановки на дослідній території до початку розробки кар'єру. Шляхом багатоваріантного розв'язання прямих задач було з'ясовано, що для відображення на моделі природної гідродинамічної картини необхідно було виділити

декілька зон на території кар'єру з різними коефіцієнтами фільтрації в діапазоні 1,0–0,1 м/добу для четвертинних відкладів та 0,1–0,01 м/добу в тріщинуватих породах.

У результаті були отримані задовільні значення модельних рівнів. В якості пунктів узгодження рівнів (контрольних точок) були використані 12 спостережних точок по всій моделі, серед яких чотири безпосередньо примикають до кар'єру (рис. 3). Різниця між натурними та модельними значеннями не перевищує 1 м, що є достатньо задовільним результатом. Це значення знаходиться в межах річної амплітуди коливання рівнів ґрунтових вод.

Розв'язання оберненої стаціонарної фільтраційної задачі для сучасних умов відмітки глибини підосви кар'єру до +104 м та розв'язання стаціонарної прогностичної задачі на моделі на кінець розробки кар'єру до +91 м проводилось із заданням граничної умови ГУ I роду ($H = \text{const}$) на відповідні глибини.

Контроль достовірності результатів здійснювався по контрольних точках, особлива увага була приділена св. 1, 2 і колодязям, розташованим у селах Гранітне та Вири (рис. 4, 5).

Достовірність результатів також перевірялась зіставленням водоприпливу в кар'єр за даними моделювання та фактичними даними. За даними

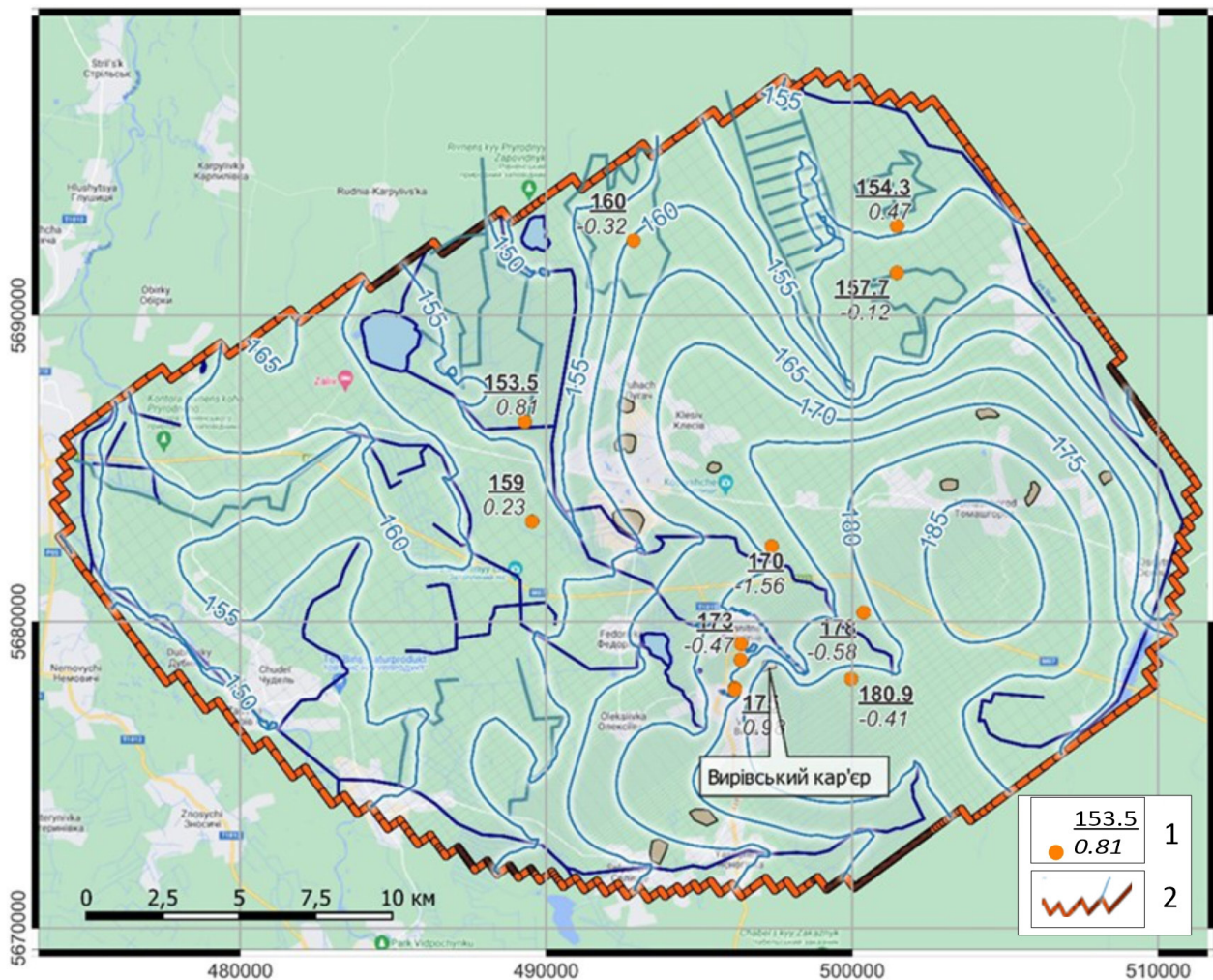


Рис. 3. Карта гідроізогіпс підземних вод у неперушених умовах:

1 — контрольна точка: в чисельнику — відмітка рівня ґрунтових вод, у знаменнику — різниця модельного та натурального рівнів; 2 — границі моделі.

Fig. 3. Hydroisogypsum map of groundwater in undisturbed conditions:

1 — Control point: in the numerator — the groundwater level mark, in the denominator — the difference between the model and natural levels; 2 — Model boundaries.

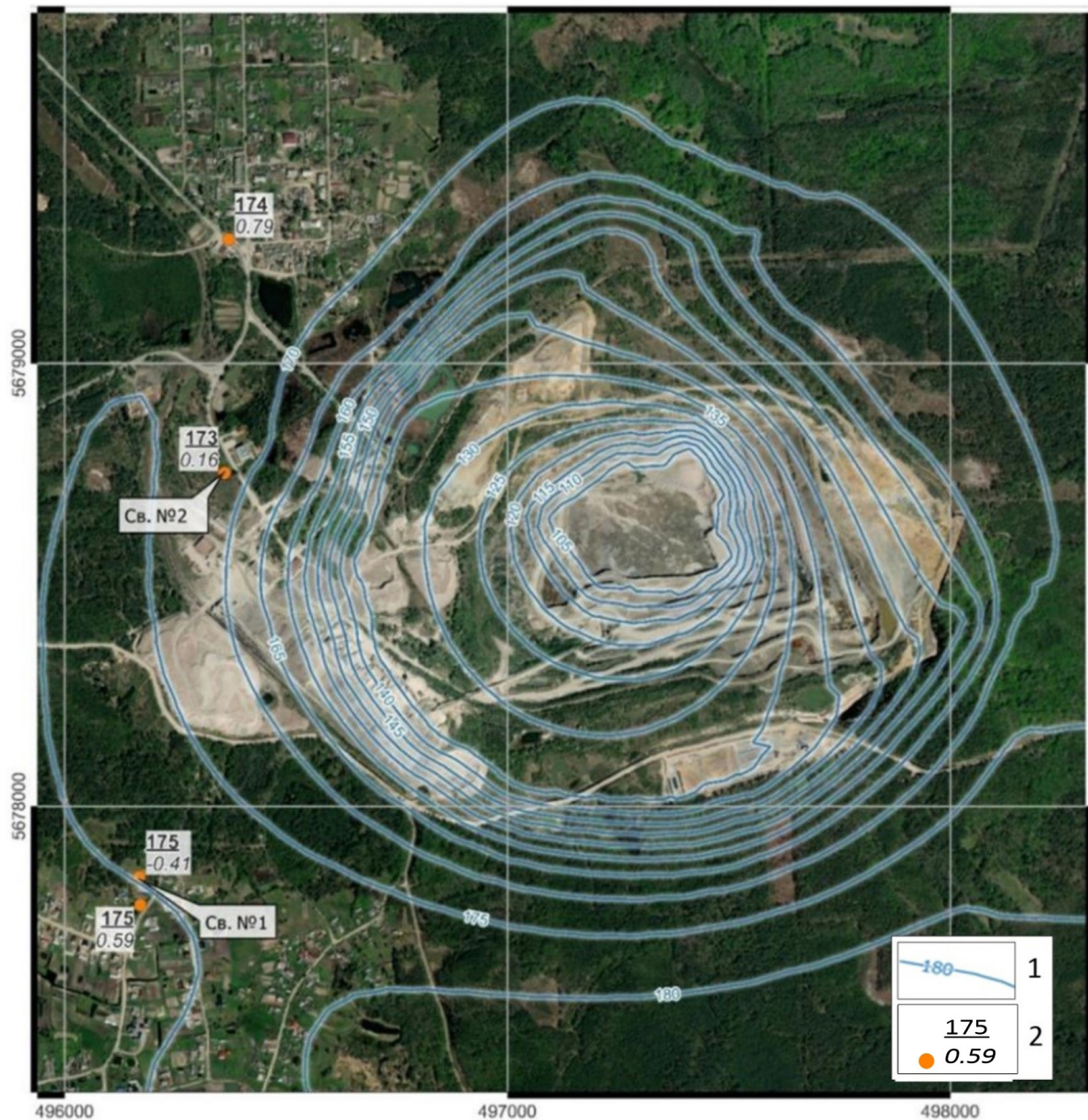


Рис. 4. Карта гідроізогіпс за результатами моделювання (абсолютна відмітка підшви кар'єру +104 м): 1 — гідроізогіпси; 2 — контрольна точка: в чисельнику — відмітка рівня ґрунтових вод, у знаменнику — різниця модельного та натурального рівнів.

Fig. 4. Hydroisogypsum map based on modeling results (absolute elevation of the quarry bottom +104 m): 1 — Hydroisogypsum; 2 — Control point: in the numerator — the groundwater level mark, in the denominator — the difference between the model and natural levels.

ТОВ «Вирівський кар'єр» скид кар'єрних вод станом на 2021 р. становив 2250 м³/добу. Модельний водоприплив у кар'єр сягає 2220 м³/добу. Розбіжність між модельними та фактичними даними становить приблизно 1%. Таким чином, на підставі аналізу результатів розв'язання модельних задач можна дійти висновку, що створена математична модель з достатньою ймовірністю

відповідає природним умовам району робіт і може слугувати основою для вирішення практичних завдань.

За результатами моделювання побудовані карти гідроізогіпс та карти знижень рівня підземних вод на сучасний період — відмітка підшви розробки кар'єру +104 м та прогнозний — для

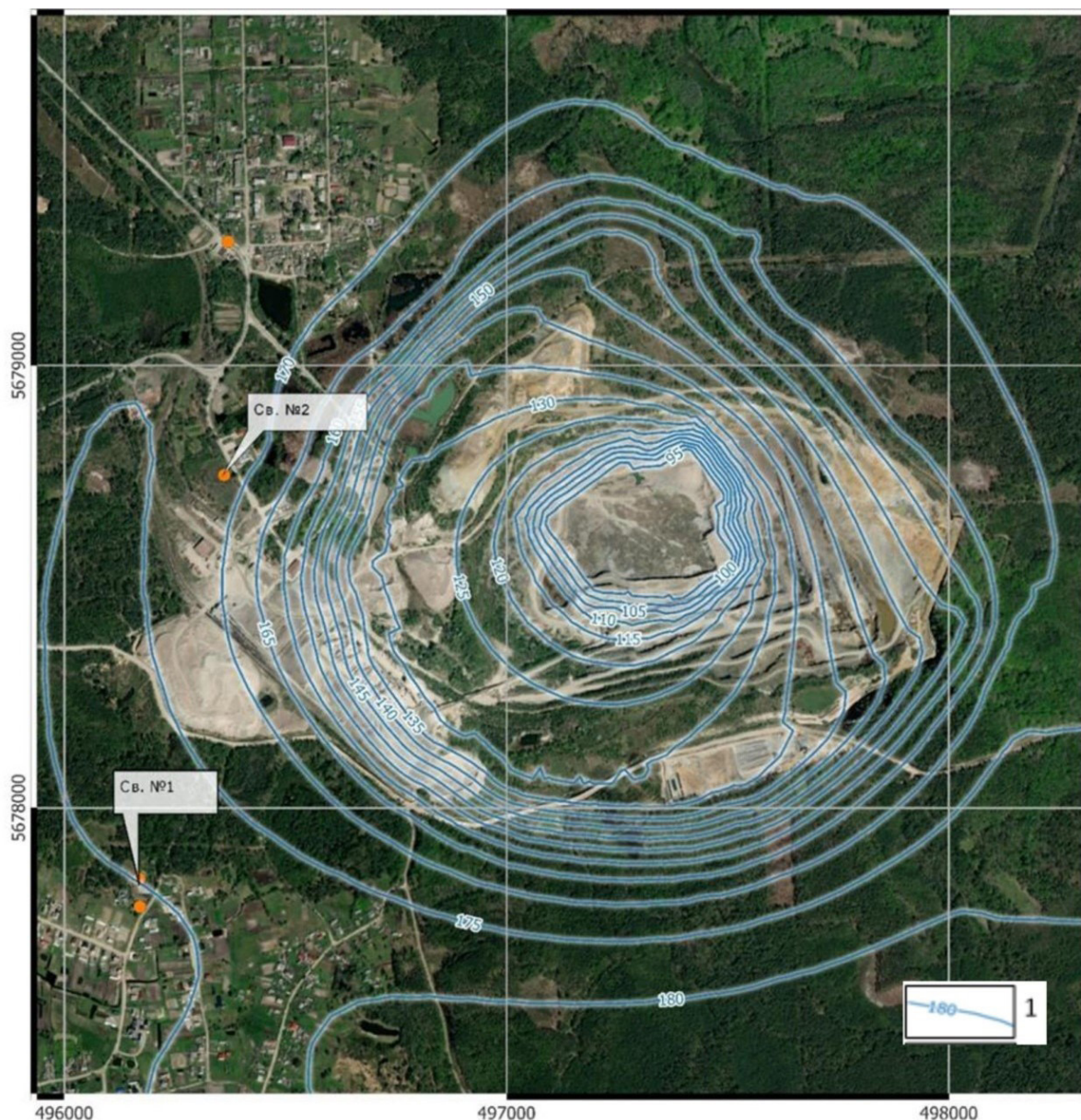


Рис. 5. Прогнозна карта гідроізогіпс за результатами розробки кар'єру до абсолютної відмітки підосви +91 м: 1 — гідроізогіпси.

Fig. 5. Forecast map of hydroisogypsum as a result of quarry development to the absolute base mark +91 m: 1 — Hydroisogypsums.

умов розробки до нижньої границі підрахунку промислових запасів +91 м (див. рис. 4, 5).

За даними моделювання орієнтовний радіус впливу кар'єру на підземні води для відміток +104 та +91 м майже не змінюється (рис. 6, 7) і знаходиться в діапазоні 850–1100 м. Водоприплив до кар'єру за даними моделювання для відмітки горизонту розробки кар'єру +104 м становить близько 2220 м³/добу, для відмітки

+91 м — 2270 м³/добу, тобто збільшується несуттєво, в межах похибки моделювання.

Суттєвого впливу розробки кар'єру на гідродинамічний стан підземних вод у районах населених пунктів за результатами моделювання не очікується.

Оскільки кар'єр є місцем дренажу підземних вод, по суті — це великий колодязь, з якого вилучаються підземні води, що сформувалися на прилеглій території в результаті природних



Рис. 6. Карта знижень рівнів водоносного горизонту в тріщинуватій зоні кристалічних порід за результатами моделювання (абсолютна відмітка підшви кар'єру +104 м):

1 — зона впливу кар'єру; 2 — контрольна точка: в чисельнику — відмітка рівня ґрунтових вод, у знаменнику — різниця модельного та натурального рівнів.

Fig. 6. Map of aquifer level reductions in the fractured zone of crystalline rocks based on modeling results (absolute pit bottom elevation +104 m):

1 — Area of influence of the quarry; 2 — Control point: in the numerator — the groundwater level mark, in the denominator — the difference between the model and natural levels.

процесів формування водоносних горизонтів. Він не є джерелом живлення підземних вод; отже, сам по собі він не може бути додатковим джерелом їх забруднення.

Доцільності в облаштуванні додаткових спостережних свердловин на підземні води, виходячи з визначеної зони впливу кар'єру, не встановлено.

Моніторинг рівневого режиму підземних вод рекомендується здійснювати за св. 2. Якщо в процесі моніторингу буде зафіксовано динаміку зниження рівнів підземних вод під впливом кар'єру, необхідно буде переоцінити систему моніторингу підземних вод. Облік обсягів скиду кар'єрних вод є обов'язковим для подальшого контролю гідро-

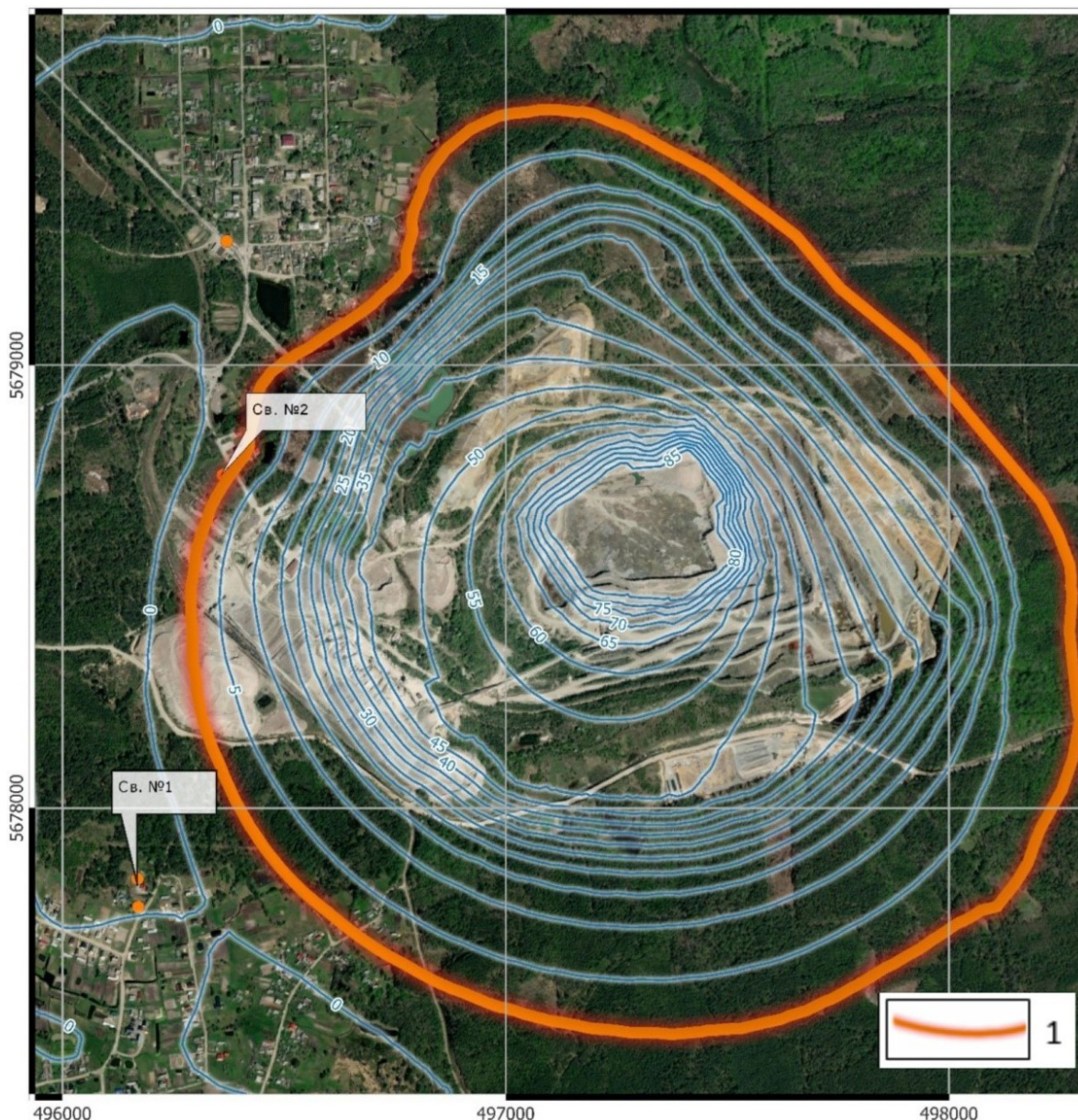


Рис. 7. Прогнозна карта знижень рівнів водоносного горизонту в тріщинуватій зоні кристалічних порід за результатами моделювання за умов розробки кар'єру до абсолютної відмітки +91 м:

1 — зона впливу кар'єру.

Fig. 7. Predicted map of aquifer level reductions in the fractured zone of crystalline rocks based on modeling results under quarry development conditions to an absolute level of +91 m:

1 — Area of influence of the quarry.

геологічної ситуації з використанням створеної моделі. Рекомендується здійснювати моніторинг гідрохімічних показників кар'єрних вод у нижньому зумпфі кар'єру, а також підземних вод у св. 2 для контролю їх співставності.

Створена математична модель може бути використана для подальших оцінок водоприпливу

до кар'єру з урахуванням зміни умов та режиму експлуатації родовища, а також для прогнозу гірничотехнічної рекультивації, яку передбачено здійснити шляхом заповнення виробленого кар'єру водою після повної розробки запасів корисної копалини.

ВИСНОВКИ

Вперше для ОВД розробки родовища кристалічних порід кар'єрним способом у межах УЩ застосовано гідрогеологічне моделювання. Створено гідрогеологічну модель Вирівського кар'єру та території його впливу, загальною площею 809 км². Висока детальність моделі, крок сітки якої змінюється від 500 м на краях моделі до 70 м безпосередньо в районі кар'єру, дозволила детально відобразити гідрогеологічні умови зони впливу кар'єру. Функціональна відповідність моделі природним умовам об'єкта досліджень доведена шляхом розв'язання оберненої стаціонарної фільтраційної задачі. Контроль достовірності результатів проводився по контрольних точках, особлива увага була св. 1, 2 та колодязям, розташованим у селах Гранітне та Вири, а також за даними водоприпливу у кар'єр.

При схематизації гідрогеологічних умов ділянки Вирівського родовища вперше запропоновано схематизувати перший від поверхні водонесний горизонт не як четвертинний, а палеоген-четвертинний, враховуючи палеонтологічне виокремлення у піщаній товщі палеогенових відкладів межигірської світи.

Встановлено, що радіус впливу кар'єру на підземні води для відміток +104 та +91 м майже не змінюється і знаходиться в межах 850–1100 м. Суттєвого впливу розробки кар'єру на гідродинамічний стан підземних вод у районах населених пунктів за результатами моделювання не очікується.

Водоприплив до кар'єру за даними моделювання для відмітки горизонту розробки кар'єру +104 м становить близько 2185 м³/добу, для відмітки +91 м — 2200 м³/добу, тобто збільшується несуттєво, в межах похибки моделювання.

Для контролю за станом підземних вод у зоні впливу діяльності ТОВ «Вирівський кар'єр» рекомендується здійснювати моніторинг гідрохімічних показників кар'єрних вод у нижньому зумпфі кар'єру, а також підземних вод у св. 2.

Кар'єрні води, що формуються внаслідок припливу підземних вод та атмосферних опадів, за

своїми параметрами близькі до таких поверхневих вод району досліджень, що пояснюється інфільтраційним живленням основного водоносного горизонту та тісним взаємозв'язком поверхневих та підземних вод. Скид очищених від завислих речовин кар'єрних вод у поверхневі води р. Люблинка фактично відповідає додатковому підземному живленню. Враховуючи те, що кар'єр є дренаєм для підземних вод та не є джерелом їх живлення, він не може здійснювати будь-який відчутний вплив на якісний стан підземних вод.

Для поточного контролю гідродинамічних змін у зоні впливу кар'єру, отримання необхідних даних для регулювання питань місцевого водозабезпечення, з'ясування достовірності і коригування прогнозних даних та оцінок доцільне розширення гідрогеологічної моніторингової мережі за принципом її мінімальної достатності.

Створена математична модель може бути використана для подальших оцінок водоприпливу до кар'єру з урахуванням зміни умов та режиму експлуатації родовища, а також для прогнозу гірничотехнічної рекультивації, яку передбачено здійснити після повної розробки запасів корисної копалини шляхом заповнення виробленого кар'єру водою.

Результати досліджень підтверджують доцільність та ефективність застосування методу математичного моделювання для ОВД кар'єрів з видобування корисних копалин в умовах у межах УЩ, зокрема для оцінки водоприпливу до кар'єру, зони впливу кар'єру тощо. Створення математичної моделі також є доцільним для розв'язання задач постпроектного моніторингу, дозволяє відслідковувати зміни у гідрогеологічній обстановці, робити достовірні прогнози щодо впливу планованої діяльності на підземні води при будь-яких технологічних змінах. Враховуючи, що для багатьох кар'єрів кристалічних порід передбачено рекультивацію методом затоплення, наявність математичної моделі дозволить спрогнозувати цей процес та спланувати таку консервацію, а також оцінити її вплив на прилеглі території.

REFERENCES

- Report on the assessment of the diversity of fauna and flora in the area of influence of the planned activities of the Limited Liability Company "Vyrivsky Quarry" and quarry and wastewater on the hydroecosystem of the Lyublynska River, 2022. Schmalhausen Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Ukraine. R. V. Babko. Kyiv. 168 p. (In Ukrainian).
- Kamzist Zh.S., Shevchenko O. L., 2009. Hydrogeology of Ukraine. Study guide. K.: Inkos Firm,. 613 p. (In Ukrainian).
- Methodological recommendations for the preparation of an environmental impact assessment report for mining activities. Approved by the Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine on December 28, 2021, No 884. 120 p.
- Kyrylyuk H. Y., 1984. Report on preliminary exploration within the limits of the mountain diversion and on the adjacent area of the Virovsky granite deposit, Sarnensky district, Rivne region. 1981–1983. Ukrainian SSR Volume 1. Kyiv: Ministry of Industry of Construction Materials of the Ukrainian SSR, Complex Geological Expedition «UKRGEOLSTOM», 223 p. (in Russian).
- Working project for the development of the Vyrivsky deposit of granites, granodiorites and diorite in the Sarnensky district of the Rivne region of Vyrivsky Karier LLC. 2019. Volume I. Field development working project. Vinnytsia: Subsidiary enterprise «Hirnyk» of a small design and production enterprise «Hirnyk-REMO LTD», LLC, 145 p. (In Ukrainian).
- Ruban S. A., Shynkarevsky M. A., 2005. Hydrogeological assessments and forecasts of the groundwater regime of Ukraine. K.: UkrDGRI. 572 p. (In Ukrainian).
- Rudenko, Yu. F., Shestopalov, V. M., Negoda, Iu. O., Gural, O. V., 2021. Assessment of changes in the hydrogeological conditions caused by wet-based conservation of the Styl'skyi quarry operated by "Dokuchaevsk flux and dolomite complex" PJSC using mathematical modelling. *Geologichnij zhurnal*, 3 (376). Pp. 17–34. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.3.237248>.
- Sharavara, V. V., Bondarenko, O. A., Tarasova, O. H., Gavriluk, R. B., Hulevets, D. V., & Savchenko, S. A., 2018. IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN UKRAINE:: RISKS ANALYSIS AND PERSPECTIVES (PUBLIC VISION). *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, No 2 (18), Pp. 94–106. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2\(18\)-94-106](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2(18)-94-106).
- Shevchuk S. A., Shevchenko A. M., Kozitskyi O. M., Mavrykin Ye. O., 2021. Scientific and expert opinion on the influence of the Vyriv granite quarry on the state of surface and groundwater in the Vryi village of the Sarnen district of the Rivne region. Kyiv: National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Institute of Water Problems and Reclamation, 48 p. (In Ukrainian).
- Shestopalov V. M., Lyalko V. I., Ognyanik M. S. et al., 1989. Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine: Water exchange in natural conditions. Kyiv: IGS of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Naukova Dumka. 288 p.
- Звіт оцінки різноманіття тваринного населення та рослинності в зоні впливу планованої діяльності товариства з обмеженою відповідальністю «Вирівський кар'єр» та кар'єрних і стічних вод на гідроекосистему річки Люблинка. Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України. Р. В. Бабко. 2022. Київ. 168 с.
- Камзіст Ж. С., Шевченко О. Л. Гідрогеологія України. Навч. посібник. К.: Фірма Інкос, 2009. 613 с.
- Методичні рекомендації з підготовки звіту з оцінки впливу на довкілля для видів діяльності у галузі видобування корисних копалин. Затверджено Наказом Міністерства захисту довкілля і природних ресурсів України 28 грудня 2021 року № 884. 120 с.
- Отчет о доразведке в пределах горного отвода и на прилегающей площади Вировского месторождения гранита, Сарненский район Ровенская область УССР 1981–1983. Том 1. Комплексная геологическая экспедиция «УКРГЕОЛСТОМ», Кирилюк Г. И. Киев, 1984. 223 с.
- Робочий проект розробки Вирівського родовища гранітів, гранодіоритів та діоритів у Сарненському районі Рівненської області ТОВ «Вирівський кар'єр» ТОМ I. Робочий проект розробки родовища. Вінниця: Дочірнє підприємство «Гірник» малого проектно-виробничого підприємства «Гірник-РЕМО ЛТД», ТОВ. 2019. 145 с.
- Рубан С. А., Шинкаревський М. А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. К.: УкрДГРІ. 2005. 572 с.
- Руденко Ю. Ф., Шестопалов В. М., Негода Ю. О., Гураль О. В. Оцінка змін гідрогеологічних умов у результаті «морої» консервації кар'єру Стильський ПрАТ «Докучаєвський флюсо-доломітний комбінат» методом математичного моделювання. *Геол. журн.* № 3 (376). 2021. С. 17–34. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.3.237248>.
- Шаравара В. В., Бондаренко О. О., Тарасова О. Г., Гаврилюк Р. Б., Гулевець Д. В., Савченко С. А. Впровадження оцінки впливу на довкілля в Україні: аналіз ризиків і перспектив (громадське бачення). *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Науково-технічний журнал. Випуск 2 (18).* 2018. С. 93–105. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2\(18\)-94-106](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2018-2(18)-94-106).
- Шевчук С. А., Шевченко А. М., Козицький О. М., Маврикін Є. О. Науково-експертний висновок щодо впливу Вирівського гранітного кар'єру на стан поверхневих і ґрунтових вод у межах села Вири Сарненського району Рівненської області Київ: Національна академія аграрних наук України Інститут водних проблем і меліорації (ІВПІМ НААН). 2021. 48 с.
- Шестопалов В. М., Лялько В. І., Огняник Н. С. и др. Водобмен в гидрогеологических структурах Украины: Водобмен в естественных условиях. Киев: ИГН АН УССР. Научная думка, 1989. 288 с.

Anderson, M. P., Woessner, W. W., & Hunt, R. J., 2015. Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport (Second edition). Academic Press. Pp.

Havryliuk, R.; Savchenko, S., 2022. Water Resources Assessment. In Clean Water and Sanitation; Springer International Publishing: Cham, Switzerland. Pp. 871–883. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_102-1.

Shevchenko T., Kurepa Y., Ochakovskiy V. 2023. Palynological age control and paleoenvironments of paleogene sediments near Klesiv village, Rivne region, Ukraine. Organic world of the precambrian and phanerozoic: theoretical and applied aspects of research. Materials of the International Scientific Conference and XLI Session of the Ukrainian Paleontological Society of the NAS of Ukraine. Pp. 59–61. <https://doi.org/10.30836/igs.UPS20230> (in Ukrainian).

Winston, R. B., 2022, ModelMuse version 5.1.1: U. S. Geological Survey Software Release, 15 November 2022. <https://doi.org/10.5066/P90QQ94D>.

Anderson, M. P., Woessner, W. W., & Hunt, R. J. . Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport (Second edition). Academic Press. 2015.

Havryliuk, R.; Savchenko, S. (2022). Water Resources Assessment. In Clean Water and Sanitation; Springer International Publishing: Cham, Switzerland. Pp. 871–883. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_102-1.

Shevchenko T., Kurepa Y., Ochakovskiy V. Palynological age control and paleoenvironments of paleogene sediments near Klesiv village, Rivne region, Ukraine. Органічний світ докембрію та фанерозою: теоретичні та прикладні аспекти досліджень. Матеріали міжнародної наукової конференції та XLI Сесії Українського палеонтологічного товариства НАН України. 2023. Р. 59–61. <https://doi.org/10.30836/igs.UPS20230>.

Winston, R. B. ModelMuse version 5.1.1: U. S. Geological Survey Software Release, 15 November 2022. <https://doi.org/10.5066/P90QQ94D>.

Manuscript received April 11, 2023;
revision accepted May 21, 2023.

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна