

## МОЖЛИВОСТІ ШТУЧНОГО ПОПОВНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД КРИСТАЛІЧНИХ ПОРІД ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ

**Л.І. Петренко**

*(Рекомендовано акад. НАН України В.М. Шестопаловим)*

*Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: Petrenko.L@nas.gov.ua  
Кандидат геологічних наук, науковий співробітник відділу гідрогеологічних проблем.*

Висвітлено проблему додаткового водозбагачення водоносного комплексу окремих ділянок кристалічних порід у межах центральної частини Українського щита.

Доступ користувача до якісної води для водоспоживання, а також для технічних потреб з часом ускладнюється з різних причин. Так, використання згаданих ресурсів у районах з розвитком кристалічних порід розповсюджене, однак через те, що породи не відзначаються високою водозбагаченістю і, як правило, є мало дебітними. Зростаюча потреба у водних ресурсах у майбутньому, але низький досвід зберігання та накопичення поверхневих вод саме в умовах Українського щита свідчать про необхідність вирішення питання продуктивності водозаборів підземних вод тріщинуватих кристалічних порід. Підвищення ефективності їх використання є дуже складним завданням, проте можливим при умові штучного поповнення підземних вод кристалічних порід.

Розглянуто можливості штучного поповнення запасів підземних вод, яке широко відоме для водоносних горизонтів осадових відкладів, на відміну від підземних вод тріщинуватих кристалічних порід.

Наведено стислу характеристику водоносності кристалічних порід, а також приклади деяких підходів до збільшення запасів підземних вод у цих породах.

*Ключові слова:* водозбагачення; ресурси; підземні води; тріщинуваті кристалічні породи; штучне поповнення запасів підземних вод; водозбір; водоносний комплекс.

## THE POSSIBILITY OF ARTIFICIAL RECHARGE OF GROUND WATER IN THE CRYSTALLINE ROCKS FOR WATER SUPPLY

**L.I. Petrenko**

*(Recommended by academician of NAS of Ukraine V.M. Shestopalov)*

*Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: Petrenko.l@nas.gov.ua  
PhD of geological sciences, researcher of the department of hydrogeological problems.*

The problem of additional water-absorption of the aquifer complex of separate sections of crystalline rocks within the central part of the Ukrainian shield is highlighted.

The user's access to high-quality water for water use, as well as for technical needs, is complicated by time for various reasons. Thus, the use of these resources in areas with the development of crystalline rocks is widespread, however, because rocks are not characterized by high water absorption and, as a rule, ineffective. The growing need for water resources in the future, but the low experience of storing and accumulation of surface water in the conditions of the Ukrainian Shield, indicates the need to address the issue of productivity of water intake of groundwater of cracked crystalline rocks. Increasing the efficiency of their use is a very difficult task, but it is possible under the condition of artificial replenishment of groundwater of crystalline rocks.

The possibilities of artificial recharge of groundwater system, which is widely known for the aquifers of sediment deposits, are considered, in contrast to underground waters of cracked crystalline rocks.

A brief characterization of the water content of crystalline rocks is given, as well as examples of some approaches to increasing groundwater reserves in these rocks.

*Key words:* water enrichment; resources; underground waters; cracked crystalline rocks; artificial recharge of groundwater system; water intake; aquifer complex.

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ПОПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Л.И. Петренко

(Рекомендовано акад. НАН Украины В.М. Шестопаловым)

Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: Petrenko.L@nas.gov.ua  
Кандидат геологических наук, научный сотрудник отдела гидрогеологических проблем.

Освещена проблема дополнительного восполнения водоносного комплекса отдельных участков кристаллических пород в пределах центральной части Украинского щита.

Доступ пользователя к качественной воде для водопотребления, а также для технических нужд со временем усложняется по разным причинам. Так, использование упомянутых ресурсов в районах с развитием кристаллических пород распространено, однако из-за того, что породы не отличаются высокой водообильностью и, как правило, мало дебитные. Растущая потребность в водных ресурсах в будущем на фоне низкого опыта хранения и накопления поверхностных вод именно в условиях Украинского щита свидетельствует о необходимости решения вопроса производительности водозаборов подземных вод трещиноватых кристаллических пород. Повышение эффективности их использования является очень сложной задачей, однако возможным при условии искусственного пополнения подземных вод кристаллических пород.

Рассмотрены возможности искусственного пополнения запасов подземных вод, которое широко известно для водоносных горизонтов осадочных отложений, в отличие от подземных вод трещиноватых кристаллических пород.

Приведены краткая характеристика водоносности кристаллических пород, а также примеры некоторых подходов к увеличению запасов подземных вод в этих породах.

*Ключевые слова:* восполнение; ресурсы; подземные воды; трещиноватые кристаллические породы; искусственное пополнение запасов подземных вод; водозабор; водоносный комплекс.

### Вступ

Сьогодні потреба у питній воді нормованої якості особливо гостро постає перед суспільством. Приблизно 50% від поточного споживання води у світі забезпечується за рахунок підземних вод [Giordano, 2009]. Передбачається, що зі зміною клімату збільшиться кількість посух [Alcamo et al., 2007], а також використання підземних вод для зрошення та питних потреб. Україна, згідно із [Шестопалов та ін., 2005], належить до держав, які мало забезпечені водними ресурсами (менше 1000 м<sup>3</sup>/рік на одного мешканця, тоді як ООН вважає достатнім цей показник на рівні 10-15 тис. м<sup>3</sup>/рік). Це вимагає пошуку нових підходів і методів для поповнення підземних вод, які експлуатуються для водопостачання, особливо в тих районах, де їх кількість досить обмежена.

*Актуальність.* Забезпечення доступу будь-якого користувача до якісної води в достатній кількості у різних гідрологічних та гідрогеологічних умовах є життєво важливим завданням для України. З цього випливає актуальність питання підвищення продуктивності водозаборів, що можуть бути закладені у слабководоносних кристалічних породах, створення водозаборів із штучно організованою системою поповнення їх ресурсів.

*Постановка проблеми.* Водоносні горизонти, які в даний час використовуються у кожній країні, – це ті, що характеризуються достатньою пористістю і проникністю, в той час як менше уваги приділяється водоносності кристалічних порід з низькою проникністю.

Низький рівень використання ресурсів підземних вод для питного водопостачання в районах з розвитком кристалічних порід пов'язаний із поганою вивченістю водоносних комплексів кристалічних порід та з особливостями обводнення кристалічних порід. Великі втрати ресурсів поверхневих вод для водопостачання маємо в результаті повеней/паводків і випаровування у разі штучних водойм. Як було згадано, у майбутньому потреба у водних ресурсах зросте ще більше – як у зв'язку із розвитком виробництва, так і зі змінами клімату. Це все свідчить про доцільність вирішення питання підвищення продуктивності водозаборів підземних вод, особливо тих, що закладені в тріщинуватих кристалічних породах.

*Аналіз літературних джерел.* На сьогодні штучне поповнення запасів підземних вод (ШПЗПВ) широко використовується для підтримки господарсько-питного постачання у ряді країн – Німеччині, Нідерландах, Ізраїлі та ін.

[Григорійчук, 2014]. Там отримані суттєві наукові та практичні результати щодо збільшення запасів підземних вод та їхнього забору разом із використанням поверхневих вод. Дослідження у контексті поповнення водоносних горизонтів підземних вод, що відбуваються в осадових відкладах, продовжуються сьогодні і на сучасному рівні. Так, у роботі [Tagun et al., 2016], з метою оцінки фактичного обсягу води, необхідної для насичення зони аерації та встановлення місць для проведення робіт щодо ШПЗПВ на основі використання супутникових даних та ГІС-технологій, дослідники пропонують попередньо створити систему тематичних карт-шарів. Це карти геологічних умов, глибини залягання рівнів підземних вод та областей їх розвантаження у різні сезонні періоди, геоморфологічних умов, карти складу ґрунтів, землекористування та ін. Аналіз таких карт та їх зіставлення допоможуть знайти найбільш вдалі ділянки та місця для закладення споруд з метою штучного поповнення горизонтів підземних вод. Перелік карт подібної тематики наведено також і у [Zare, Koch, 2016]. У статті [Hashemi et al., 2013] запропоновано методологію дослідження кількісного внеску поповнення водоносних горизонтів від уявного русла річки і від введеної системи штучного поповнення (внаслідок повеней) шляхом зворотного моделювання. Згідно з результатами, у нормальний рік без екстремальних природних явищ паводкова система на 80% виступає основним джерелом поповнення, тоді як уявне русло річки – тільки на 20% від загального поповнення в досліджуваній області. Було також встановлено, що за рахунок розширення системи штучного поповнення підземних вод обсяг поповнення водоносного горизонту може бути збільшений навіть при невеликій повені, в той час як поповнення запасів у випадку зростання русла річки можливе лише при великих повенях.

Дослідження поповнення запасів підземних вод у кристалічних породах (гранітах), наприклад у роботі [Raposo, 2012], виконано на підставі дослідження стосовно оцінки ресурсів підземних вод одного іспанського гідрогеологічного району, серед геологічних відкладів якого переважають тріщинуваті граніти та метаморфічні породи. Для оцінки швидкості поповнення підземних вод дев'яти пілотних водозаборів було використано підхід моделювання водного балансу. Результати підтвердились перехресною перевіркою незалежними технічними методами,

зокрема методом хлоридного масового балансу. Було отримано дві логарифмічні криві, які показують зв'язок живлення підземних вод та річних опадів, що дозволяє проводити параметризацію живлення за допомогою лише кількох гідрогеологічних параметрів. У статті [Bour et al., 2013] представлені результати чисельного моделювання взаємозв'язку між ресурсами підземних вод у кристалічних породах і гідравлічними та геометричними властивостями зон розломів.

ШПЗПВ застосовувалося і в нашій країні. Так, у м. Чернівці функціонують водозабори такого типу ще з початку ХХ ст. Подібні водозабори відомі в Івано-Франківську, Надвірній, Яремчі, Коломиї та багатьох інших населених пунктах Прикарпаття та Закарпаття [Григорійчук, 2014; Штогрін, 1963; Штогрін, Гавриленко, 1968].

Підземні води тріщинуватої зони кристалічних порід майже на всій території Українського щита (УЩ) використовують для водопостачання, незважаючи на те, що окремі комплекси порід не характеризуються високою водозбагаченістю [Шестопалов и др., 1989]. Водоносність та обводненість тріщинуватих кристалічних порід території УЩ вивчали багато радянських та українських дослідників. Це роботи Ф.А. Руденка, Е.Е. Соболевського, М.І. Дробнохода, В.М. Шестопалова та ін. [Шестопалов и др., 1989; Руденко, 1958; Соболевский, 1978 та ін.]. Пошуки підземних вод ґрунтувались майже виключно на матеріалах спеціальних геофізичних робіт. Зокрема, у 1983 р. було проведено районування території за класами родовищ тріщинних вод і було надано імовірнісні моделі розподілу питомих дебітів свердловин для різних районів УЩ [Литвак, Никиташ, 1983]. З метою дослідження умов водопостачання, наприклад у Вінницькій області, проведено польові роботи із використанням методу вертикального електричного зондування [Волик, 1993 та ін.]. В останні десятиліття роботи з пошуків питних підземних вод для водопостачання центральної частини УЩ продовжуються [Михайленко, Панченко, 2012; Павлюченко, 2006 та ін.]. Однак складність гідрогеологічних умов у масивах тріщинуватих порід і недостатнє розроблення методів розрахунку продуктивності водозаборів не дозволяють вважати жоден з методів прогнозу, що застосовуються зараз, достатньою мірою прийнятним для вирішення практичних завдань з необхідною достовірністю.

### Теоретично-методична частина

Український щит являє собою, відповідно до «Державного водного кадастру України», басейн тріщинних вод [Курганевич, 2007; Про затвердження..., 1996], а у системі гідрогеологічного районування – гідрогеологічний район першого порядку (або мегарегіон, за В.М. Шестопаловим) [Шестопалов и др., 1989]. У природних умовах УЩ (у регіональному масштабі) за особливістю водообміну виділяють групу водоносних горизонтів і комплексів осадового чохла і групу водоносних горизонтів і комплексів тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію і продуктів їх вивітрювання [Шестопалов и др., 1989].

Водоносні горизонти та комплекси осадового чохла мають важливе значення як осередки природного і штучного формування запасів і ресурсів підземних вод, як джерела припливу вод до свердловин, що розкрили кристалічні породи та отримуватимуть з них воду, яка формується у залягаючих вище шарах, особливо у локальних ерозійних западинах, де потужності осадових відкладів збільшуються. Вони розглядатимуться на стадії детального вивчення району чи області, що буде обрана як найбільш перспективна з позиції тріщинуватості, умов формування ресурсів та інших характеристик. Надалі підземні води тріщинуватих кристалічних порід за особливостями їх водоносності будуть подаватися в якості водоносного комплексу.

Водоносний комплекс кристалічних порід може складатись із підземних вод кори вивітрювання кристалічних порід та/або підземних вод власне зони тріщинуватості кристалічних порід.

*Водоносність кори вивітрювання кристалічних порід.* Кристалічні породи на значній площі масиву вкриті продуктами руйнування – жорсткою материнської породи і каолінами. Потужність порід кори вивітрювання змінюється від 1 до 130 м, але частіше не перевищує 12-20 м. Підземні води кори вивітрювання здебільшого безнапірні або слабонапірні, величина напору сягає в середньому 20-22 м. Найчастіше вони гідравлічно пов'язані з тріщинно-жильними водами регіональної тріщинуватості кристалічних порід; тоді величина напору збільшується в окремих випадках до 30 м; іноді свердловини фонтанують. Глибина їх залягання найчастіше не перевищує 20-30 м, рідко становить 70-80 м і більше.

Води кори використовуються для водопостачання (міста Біла Церква, Житомир, Вінниця та ін.). Продуктивність свердловин і колодязів звичайно не перевищує 3 дм<sup>3</sup>/с. На вододілах продуктивність набагато менша, ніж на схилах вододілів. На ділянках, вкритих відкладами осадового чохла, підземні води кори вивітрювання знаходяться в тісному гідравлічному зв'язку з водами кристалічних порід (міста Кіровоград, Вінниця).

*Водоносність докембрійських кристалічних порід.* Ці підземні води, які пов'язані з верхньою тріщинуватою зоною кристалічних порід, у межах УЩ мають найбільше площинне розповсюдження. Отримані при бурінні свердловин дані свідчать, що глибина розвитку активної тріщинуватості в середньому сягає 60-90 м (у долинах річок) [Бабінец и др., 1979]. У межах зон розломів вона іноді збільшується до декількох сотень метрів. Існує ряд непрямих критеріїв (морфологічні, структурні та ін.) і методів, за якими можна виокремити зони тріщинуватості. Особливу увагу приділяють наземним геофізичним дослідженням. Згідно із цими дослідженнями зони підвищеної тріщинуватості кристалічних порід мають протяжність сотні, рідко понад тисячі метрів і ширину від декількох десятків до 200-300 м.

Підземні води тріщинуватої зони кристалічних порід майже на всій території поширення є основним, а іноді й єдиним джерелом водопостачання. Однак кристалічні породи фундаменту характеризуються досить нерівномірною водозбагаченістю. Ділянки з підвищеною водозбагаченістю розвинуті значно рідше порівняно з ділянками із зниженою водозбагаченістю. Тому навіть при наявності ресурсів підземних вод (наприклад, значні природні запаси підземних вод в осадових відкладах) важко гарантувати необхідний водовідбір із кристалічних порід реальною системою водозаборів.

Водозбагаченість свердловин, що випробували зону тріщинуватості кристалічних порід центральної частини УЩ (зокрема, у Кіровоградській області), коливається в широких межах – від практично безводних до обводнених з дебітом до 25 дм<sup>3</sup>/с і питомим дебітом до 0,7-4,4 дм<sup>3</sup>/с (м. Долинська) [Литвак, Никиташ, 1983]. Більшість свердловин з підвищеним дебітом знаходяться в придолинних ділянках, що, як правило, приурочені до локальних чи регіональних розломних зон. Крім того, кристалічні

породи у таких місцях часто залягають близько до поверхні, де створюються сприятливі умови для їх вивітрювання, живлення і циркуляції підземних вод.

Спостереженнями в глибоких свердловинах Новоград-Волинського, Звенигородки, у шахтах та надглибокій свердловині Криворізького залізничного басейну (НГ-8) та інших місцях встановлено, що заглиблення свердловин нижче 120 м дуже слабо позначається на збільшенні припливу води. Характер і форми розвитку депресійних воронок у кристалічних породах при проведенні розвідувальних робіт свідчать про переважання орієнтування воронок вздовж поверхневих водотоків (незалежно від умов взаємозв'язку підземних і поверхневих вод) і про нерівномірний розподіл знижень всередині воронки за напрямком і на відстані.

Води зони активної тріщинуватості слабонапірні. Однак трапляються також високонапірні води. Величина напору може становити 25-40 м над поверхнею кристалічних порід, досягаючи інколи 90 м. Окремі свердловини, пробурені на території кристалічного масиву, фонтанують. Напір тріщинних вод обумовлюється відносно високим гіпсометричним положенням областей живлення та наявністю водотривкого шару, який перекриває кристалічні породи і представлений глинистими різновидами (часто каолінами); іноді напір викликається тим, що у верхній зоні кристалічних порід тріщини відсутні або ж закольматовані глинистим матеріалом. Падіння напорів спостерігається від вододілів до долин річок, де відбувається дренажування тріщинних вод. Зони розломів є найбільш сприятливими, при всіх інших рівних умовах, місцями для накопичення значних ресурсів підземних вод у річкових долинах.

Поповнення запасів підземних вод зони тріщинуватості кристалічних порід УЩ відбувається в основному внаслідок інфільтрації атмосферних опадів. Інтенсивність цього живлення у різних частинах УЩ різна (як правило, через різну потужність покривних відкладів і ступінь тріщинуватості кристалічних порід). Поповнення вод зони тріщинуватості відбувається і в результаті перетікання. Найбільш сприятливі умови живлення підземних вод у північній частині щита; на решті території у зв'язку із зменшенням кількості опадів умови накопичення значно погіршуються.

Максимальні рівні підземних вод приурочені до підвищених у рельєфі ділянок, де тріщинні води інтенсивно поповнюються внаслідок низхідної фільтрації із залягаючих вище водонесних горизонтів осадової товщі або інфільтрації атмосферних вод, де кристалічні породи виходять на поверхню. Спад рівнів відбувається в бік областей розвантаження, тобто у прирічкові зони і річки.

Ступінь відокремленості умов формування підземних вод на конкретних територіях, при інших рівних умовах, визначається інтенсивністю розчленування рельєфу. Зародження потоків підземних вод тріщинуватої зони кристалічних порід відбувається у місцях з найбільш високими відмітками сучасного рельєфу. Загальний напрямок потоку прослідковується від основного вододілу на північ і північний схід до долини р. Дніпро і на південь до Чорного моря [Tagun et al., 2016]. Згідно із [Бабинець и др., 1979], рух підземних вод тріщинуватих кристалічних порід характеризується підпорядкованістю руху поверхневого стоку. Відповідно, і глибина залягання тріщинних вод також обумовлюється рельєфом денної поверхні та гіпсометрією поверхні кристалічних порід. У долинах річок вона становить від 1–5 до 30 м, на вододілах і в зниженнях кристалічного фундаменту – від 10 до 160 м. При цьому тріщини вивітрювання розповсюджуються до глибини 40-60 м, а тріщини тектонічного походження – до 120-150 м і більше. Нижче цієї глибини трапляються лише дрібні волосні тріщини, циркуляція підземних вод в яких утруднена [Шестопапов та ін., 1989; Руденко, 1958]. У розрізі свердловин потужності окремих зон водотоків частіше становлять 1-3 м.

Водозбагаченість кристалічних порід різко зростає в зонах тектонічних порушень з відкритою тріщинуватістю. Так, зони тектонічних порушень характеризуються значеннями коефіцієнтів фільтрації, які можуть досягати до 228 м/добу [Шестопапов та ін., 1989].

За даними Е.Е. Соболевського [Соболевский, 1978], визначення впливу різноманітних чинників на водозбагаченість тріщинуватих кристалічних порід вивчається під час проведення пошуково-розвідувальних робіт на окремих родовищах підземних вод. Аналіз результатів цих робіт полягає у визначенні:

– ступеня водозбагаченості тріщинуватих кристалічних порід у розрізі;

– зміни глибин розвитку активної тріщинуватості кристалічних порід від сучасної поверхні Землі;

– характеру зміни водозбагаченості тріщинуватих кристалічних порід з глибиною;

– залежності водозбагаченості тріщинуватих кристалічних порід від потужності кори вивітрювання;

– залежності водозбагаченості тріщинуватих кристалічних порід від глибини їх залягання;

– залежності ступеня співпадіння покрівлі кристалічних порід і верхньої границі водопрпливу в свердловину;

– залежності водозбагаченості тріщинуватих кристалічних порід від зміни верхньої границі зони водопрпливу в свердловину;

– ступеня участі свердловин різної водозбагаченості в загальній кількості розвіданих експлуатаційних запасів підземних вод.

Додатково слід зауважити, що досвід проведення пошуково-розвідувальних робіт і буріння поодиноких розвідувально-експлуатаційних свердловин з метою питного водопостачання вказує на те, що реальні умови відбору підземних вод з тріщинуватих кристалічних порід для практичних цілей можливі тільки на обмежених по площі ділянках, незважаючи на суцільне розповсюдження кристалічних порід на території УЩ.

Згідно із [Бабинець и др., 1979], узагальнені характеристики водоносного комплексу у докембрійських кристалічних гірських породах такі:

– майже суцільне поширення;

– приуроченість до порід різного петрографічного складу;

– неоднорідність та анізотропність фільтраційних властивостей водовмісних порід, обумовлених нерівномірним і орієнтованим розвитком тріщин;

– нерівномірна тріщинуватість кристалічних порід у плані і розрізі;

– нерівномірна обводненість тріщинуватих кристалічних порід;

– нерівномірний розподіл у розрізі інтервалів активної тріщинуватості, їх невелика кількість і досить обмежені розміри (перші метри, іноді десятки сантиметрів). Частими є випадки, коли водопрплив у свердловини забезпечується єдиним інтервалом;

– нерідкісними випадками є неспівпадіння глибин залягання кристалічних порід і початкових інтервалів водопрпливів у свердловини;

– практично замкнутий баланс формування підземних вод у тріщинуватих кристалічних породах у межах окремих басейнів. Це зумовлено досить низькими фільтраційними властивостями кристалічних порід на вододілах і їх відносно високим ступенем тріщинуватості у долинах річок.

Проаналізувавши умови живлення та інші характеристики водоносного комплексу у кристалічних породах УЩ, а також враховуючи складність гідрогеологічних умов зони тріщинуватості для прогнозування значних дебітів свердловин, можна зробити такий попередній висновок. Перспективні для експлуатації ділянки повинні бути приурочені до знижених форм рельєфу (долини поверхневих водотоків); мати підвищену тріщинуватість кристалічних порід, пов'язану з ділянками розломів (прогнозується комплексом досліджень: геофізичних, гідрологічних, гідрогеологічних, оцінками за аналогією та експертними); мати тісний взаємозв'язок підземних і поверхневих вод; ділянки повинні характеризуватись відсутністю кори вивітрювання, представленою первинними або вторинними каолінами; мати відносно невелику глибину залягання кристалічних порід та характеризуватись сприятливим петрографічним складом кристалічних порід (граніти, мігматити, гнейси).

ШПЗПВ, як правило, застосовується для забезпечення збільшення експлуатаційних запасів на діючих водозаборах, якщо водозбір не забезпечується природними джерелами формування експлуатаційних запасів. В областях чи районах некристалічних порід при необхідності збільшити такі запаси на конкретному водозборі або розширюють діючий водозбір на флангах (однак це не завжди можна зробити – проблеми із землевідводом та організацією зони санітарної охорони, взаємодія із сусідніми водозаборами та ін.), або застосовують власне штучне поповнення запасів. В умовах кристалічних тріщинуватих порід розширення водозбору на флангах може бути неефективним, оскільки часто водоносні зони в тріщинуватих відкладах обмежені по площі поширення.

По суті, проблема підвищення водопостачання за рахунок підземних вод, що містяться у кристалічних тріщинуватих породах, зводиться до технічної можливості вилучення (водозбору) природних і залучених ресурсів, дотримуючись умов допустимого ступеня впливу на

навколишнє середовище. Варто зазначити, що новизна у даному контексті не стосується ШПЗПВ як самого по собі, а тільки у застосуванні його в умовах УЩ.

ШПЗПВ можна розглядати у двох самостійних напрямках. При першому водозабір закладається з урахуванням наявності:

- зони тріщинуватості, яка може забезпечити необхідний дебіт свердловин;
- ресурсів поверхневих вод, з допомогою яких можна створити джерело поповнення експлуатаційних запасів підземних вод;
- ємності для накопичення додаткових запасів води.

Другий напрям – водозабір вже є і необхідно знайти визначені вище компоненти для підвищення його дебіту.

### Обговорення результатів

Таким чином, основні висновки, які слід брати до уваги при розгляді можливостей використання підземних вод із кристалічних тріщинуватих відкладів, такі:

- розкрита свердловинами потужність кристалічних порід характеризується нерівномірною тріщинуватістю;
- водопритливи в каптажні споруди забезпечуються із зон так званої активної тріщинуватості;
- вірогідність наявності зон активної тріщинуватості зменшується зі збільшенням глибин залягання кристалічних порід;
- найбільш водозбагаченою є товща кристалічних порід, що не перевищує 50 м від їх покрівлі, інколи вона сягає 80 м;
- найбільш водозбагаченими є тріщинуваті кристалічні породи, пов'язані із зонами розломів;
- покрівлю кристалічних порід не слід отожнювати з початковою границею водопритливів, оскільки інтервали водопритливів зв'язані з окремими зонами тріщинуватості, потужність яких змінюється в основному від десятків сантиметрів до 2-3 м, і знаходяться на різних глибинах залягання кристалічних порід;
- основними складовими формування експлуатаційних запасів підземних вод у тріщинуватих кристалічних породах є природні ресурси та залучення поверхневого (транзитного) стоку.

Експлуатаційні запаси родовищ підземних вод у тріщинуватих кристалічних відкладах зде-

більшого невеликі та становлять від декількох тисяч до декількох десятків тисяч кубометрів за добу [Шестопалов та ін., 1989]. Головну роль у формуванні експлуатаційних запасів родовищ у тріщинуватих відкладах відіграють природні і залучені ресурси поверхневих водопритливів. Часто поверхневий стік на родовищах тріщинних вод діє періодично, головним чином у весняний період у вигляді короткотривалих паводків. У місцях розташування великої потужності тріщинуватих порід доцільно здійснювати інтенсифікований відбір тріщинних вод (завідомо більший від природного живлення) з одночасним штучним поповненням за рахунок поверхневих вод.

Наприклад, район, який має потребу у воді, у геоморфологічному плані характеризується розчленованістю рельєфу або знаходиться поблизу річки чи її притоки. В таких умовах можна розглядати варіант спорудження запруды чи греблі для збору і накопичення поверхневих вод, які слугують джерелом живлення підземних вод. Важливою особливістю родовищ підземних вод у тріщинуватих породах є зв'язок більш водозбагачених ділянок із долинами річок і зонами тектонічних порушень [Шестопалов та ін., 1989]. Найкращий варіант розташування загати – зона найбільшої чи посиленої тріщинуватості. Іноді такі ділянки локалізуються на окремих тріщинах і зонах дроблення.

Інший приклад, коли кристалічні породи не характеризуються підвищеною тріщинуватістю. Тоді треба дослідити район щодо можливості штучного посилення тріщинуватості із застосуванням вибухової речовини. Цей метод не є новим при вирішенні завдань збільшення притливу води до свердловини [Григорійчук, 2014]. Непоодинокі випадки, коли свердловини, пробурені поруч, розкривають породи з істотною відмінною водопроникністю. Це варто враховувати при виборі технічних можливостей водозбору – наприклад, пробурити свердловину із горизонтальними відводами (система променів) замість простої свердловини і т.п.

Як варіант, можемо спостерігати ситуацію, коли осадові відклади, що залягають на тріщинуватих породах, можуть мати значну потужність. Природні запаси водоносних відкладів осадового чохла у загальному балансі експлуатаційних ресурсів нерідко виявляються досить суттєвими. Тобто водоносність осадового чохла може виступати основним джерелом

поповнення вод у кристалічних породах. Адже, незважаючи на малу потужність, низьку проникність і невитриманість водовмісних кристалічних порід, у ряді випадків саме ці запаси повністю визначають загальні експлуатаційні можливості ділянок водозаборів, закладених на підземні води зони тріщинуватості [Бабінець і др., 1979]. Для оцінки умов взаємозв'язку підземних вод, приурочених до осадових і кристалічних порід, необхідно розглядати взаємовідношення у розрізі проникних і слабопроникних відкладів.

У складних гідрогеологічних умовах, що властиві водоносним комплексам у тріщинуватих малопроникних кристалічних відкладах, досліднику варто мати інформацію про живлення та розвантаження, глибину залягання підземних вод, оцінити ступені обводненості та неоднорідності, володіти базою даних про геофільтраційні параметри, знати фізико-географічні умови ділянки – наявність чи відсутність річки, інших поверхневих джерел, мати відомості про кліматичні умови в період весняного сніготанення та період повеней і паводків, режим витрат води у річках за певні періоди часу та дані про інші гідрологічні параметри і т. д. Крім цього, дуже важливим у даному контексті є вибір оптимального режиму експлуатації, дотримання балансу між потребами у воді в тому чи іншому районі і природними можливостями водоносної системи.

## Список літератури

**Бабінець А.Е., Боревский Б.В., Шестопалов В.М.** Формирование эксплуатационных ресурсов подземных вод платформенных структур Украины. Киев: Наук. думка, 1979. 216 с.

**Волик А.П.** Отчет о результатах геофизических исследований на воду, выполненных с целью водоснабжения колхозов в Винницкой области за 1991-1993. Киев: АП Киевская ГФЭ Госкомводхоза Украины, 1993. 70 с.

**Григорійчук В.В.** Світовий досвід використання штучного поповнення запасів підземних вод, 2014. URL: <http://geopolitika.crimea.edu/arhiv/2014/tom10-v-1/079grigor.pdf>

**Курганевич Л.П.** Водний кадастр. Львів: Видав. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. 116 с.

**Литвак Д.Р., Никитаи А.П.** Отчет о результатах работ по оценке водообильности гидрогеологических скважин на территории Украинского щита применительно к задачам разведки и оценки

## Висновки

Роль підземних вод у вирішенні завдань питного водопостачання важлива. Обґрунтування водозабаченості кристалічних порід є складним завданням. Природні запаси підземних вод зони тріщинуватості незначні. Тому оцінку експлуатаційних ресурсів підземних вод у кристалічних породах необхідно виконувати перш за все у межах найбільш перспективних ділянок. Якщо ресурсів оцінено як «достатньо» у рамках конкретного завдання, то тріщинуватість кристалічних порід зможе забезпечити витрату водозабору; в іншому випадку витрата води швидко ним реалізується і такий водозабір буде неефективний. У такому разі треба вдатися до вивчення можливостей і способів використання штучного поповнення ресурсів. Можливості застосування ШПЗПВ доцільно розглядати як в умовах вже діючих водозаборів, так і при проектуванні нових. Для цього необхідно уточнювати реальні гідрологічні, гідрогеологічні, геоморфологічні, геологічні та інші умови. Наведені у статті варіанти не можуть охопити всі можливі створені природою випадки. Проте вони вимагають розгляду різних підходів, найбільш характерних для конкретних умов при вирішенні задачі застосування штучного поповнення підземних вод кристалічних порід з метою оптимізації їх використання для водопостачання.

Автор висловлює подяку акад. НАН України В.М. Шестопалову за цінні зауваження та побажання, які використані під час підготовки статті.

эксплуатационных запасов подземных вод на 1981-1983 гг.: (в 4 т.). Киев: Мингео УРСР, “Севукргеология”, Комплексная геофизическая экспедиция, 1983. 160 с.

**Михайленко М.Г., Панченко Т.О.** Пошуки питних підземних вод для водопостачання м. Умань Черкаської області. Маньківський, Жашківський та Уманський райони Черкаської області. Черкаси: ДП “Центрукргеология”, 2012. 80 с.

**Павлюченко В.Г.** Звіт з вивчення режиму підземних вод на території Черкаської та Кіровоградської областей за 2001-2005 рр. Черкаси: ДП “Центрукргеология”, 2006. 100 с.

**Про затвердження** Порядку введення державного водного кадастру, 1996. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/413-96-%D0%BF>

**Руденко Ф.А.** Гидрогеология Украинского кристаллического массива. Москва: Госгеолтехиздат, 1958. 214 с.



**Соболевский Э.Э.** Особенности региональной оценки эксплуатационных запасов подземных вод массивов трещиноватых пород (на примере северо-западной части Украинского щита): дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Пос. Зеленый, 1978. 208 с.

**Шестопалов В.М., Лялько В.І., Гудзенко В.В.** Підземні води як стратегічний ресурс. *Вісн. НАН України*. 2005. Т. 5. С. 32–39.

**Шестопалов В.М., Лялько В.І., Огняник Н.С.** Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в естественных условиях. Киев: Наук. думка, 1989. 288 с.

**Штогрін О.Д.** Підземні води четвертинних відкладів Передкарпаття. Київ: Вид-во АН УРСР, 1963. 50 с.

**Штогрін О.Д., Гавриленко С.К.** Підземні води західних областей України. Київ: Наук. думка, 1968. 316 с.

**Alcamo J., Floerke M., Maerker M.** Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*. 2007. Vol. 52. P. 247–275.

**Bour O., Roques C., Leray S., J.-R. De Dreuzy.,** 2013. Fault zones properties and groundwater resources in crystalline rocks. *Geological Society of America*. URL://gsa.confex.com/gsa/2013AM/webprogram/Paper229146.html

**Giordano M.** Global groundwater? Issues and solutions. *Ann. Rev. Environ. Resour.* 2009. Vol. 34. P. 7.1-7.26.

## References

**Alcamo J., Floerke M., Maerker M.,** 2007. Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 52, p. 247–275 (in English).

**Babinets A.E., Borevsky B.V., Shestopalov V.M.,** 1979. Formation of the exploitable resources of groundwater in Ukrainian platform structures. Kiev: Naukova Dumka, 216 p. (in Russian).

**Bour O., Roques C., Leray S., J.-R. De Dreuzy.,** 2013. Fault zones properties and groundwater resources in crystalline rocks. *Geological Society of America*. URL://gsa.confex.com/gsa/2013AM/webprogram/Paper229146.html (in English).

**Giordano M.** 2009. Global groundwater? Issues and solutions. *Ann. Rev. Environ. Resour.*, vol. 34, p. 7.1-7.26 (in English).

**Grigoriychuk V.V.,** 2014. World experience of artificial replenishment of groundwater reserves URL: http://geopolitika.crimea.edu/arhiv/2014/tom10-v-1/079grigor.pdf (in Ukrainian).

**Hashemi H., Berndtsson R., Kompani-Zare M., Persson M.,** 2013. Natural vs. artificial groundwater recharge, quantification through inverse modeling. *Hy-*

*drol. EarthSyst. Sci.* URL: https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/637/2013/hess-17-637-2013.pdf

**Raposo J.R.,** 2012. Parameterization and quantification of recharge in crystalline fractured bedrocks in Galicia-Costa (NW Spain). *Hydrol. EarthSyst. Sci.* URL: https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/1667/2012/hess-16-1667-2012.pdf

**Tarun K., Tripathi M.P., Katre P., Priti T.,** 2016. Groundwater recharge plan for durg district of chhattisgarh using satellite data and GIS technique. *Agric Res.* URL: https://www.researchgate.net/publication/305040325\_GROUNDWATER\_RECHARGE\_PLAN\_FOR\_DURG\_DISTRICT\_OF\_CHHATTISGARH\_USING\_SATELLITE\_DATA\_AND\_GIS\_TECHNIQUE DOI No. 10.5958/2395-146X.2016.00044.2

**Zare M., Koch M.,** 2016. Integrating Spatial Multi Criteria Decision Making (SMCDM) with Geographic Information Systems (GIS) for determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge. Sustainable Hydraulics in the Era of Global Change. URL: https://www.researchgate.net/publication/295903796\_Integrating\_Spatial\_Multi\_Criteria\_Decision\_Making\_SMCDM\_with\_Geographic\_Information\_Systems\_GIS\_for\_determining\_the\_most\_suitable\_areas\_for\_artificial\_groundwater\_recharge

*drol. EarthSyst. Sci.* URL: https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/637/2013/hess-17-637-2013.pdf (in English).

**Kurganevich L.P.,** 2007. Water cadastre. Lviv: Vydavnychyy Tsentrl LNU imeni Ivana Franka, 116 p. (in Ukrainian).

**Litvak D.R., Nikitash A.P.,** 1983. Report on the results of the work on the assessment of the water availability of hydrogeological wells in the territory of the USh with reference to the tasks of exploration and assessment of the operational reserves of groundwater for 1981-1983. (in 4 volumes). Kiev: Mingeo URSR, "Sevukgeologiya", Complex geophysical expedition, 160 p. (in Russian).

**Mikhailenko M.G., Panchenko T.O.,** 2012. The search for drinking groundwater for water supply in the city of Uman, Cherkasy region. Mankovsky, Zhashkivsky and Uman district of Cherkasy region. Cherkasy: State Enterprise "Centrukrgeologiya", 80 p. (in Ukrainian).

**On approval** of the procedure for conducting state water cadastre, 1996. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/413-96-%D0%BF (in Ukrainian).

**Pavlyuchenko V.G.**, 2006. Report on the study of the regime of groundwater in the territory of Cherkasy and Kirovograd regions for 2001-2005. Cherkasy: SE "Centrukrgeologiya", 100 p. (in Ukrainian).

**Raposo J.R.**, 2012. Parameterization and quantification of recharge in crystalline fractured bedrocks in Galicia-Costa (NW Spain). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* URL: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/1667/2012/hess-16-1667-2012.pdf> (in English).

**Rudenko F.A.**, 1958. Hydrogeology of the Ukrainian crystal massif. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 214 p. (in Russian).

**Shestopalov V.M., Lyalko V.I., Gudzenko V.V.**, 2005. Underground waters as a strategic resource. *Visnyk NAN Ukrainy*, vol. 5, p. 32-39 (in Ukrainian).

**Shestopalov V.M., Lyalko V.I., Ognyanik N.S.**, 1989. Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine: Water exchange in natural conditions. Kiev: Naukova Dumka, 288 p. (in Russian).

**Shtogrin O.D.** 1963. Underground waters of the Quaternary deposits of Precarpathians. Kyiv: Vydavnytstvo AN USSR, 50 p. (in Ukrainian).

**Shtogrin O.D., Gavrilenko S.K.**, 1968. Underground waters of the western regions of Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka, 316 p. (in Ukrainian).

**Sobolevsky E.E.**, 1978. Features of the regional assessment of the operational reserves of groundwater in fractured rock massifs (on the example of the northwest-

ern part of the Ukrainian Shield): dis. ... cand. geol.-min. sci. v. Pos. Zeleny, 208 p. (in Russian).

**Tarun K., Tripathi M.P., Katre P., Priti T.**, 2016. Groundwater recharge plan for durg district of chhattisgarh using satellite data and GIS technique. *Agric Res.* URL: [https://www.researchgate.net/publication/305040325\\_GROUNDWATER\\_RECHARGE\\_PLAN\\_FOR\\_DURG\\_DISTRICT\\_OF\\_CHHATTISGARH\\_USING\\_SATELLITE\\_DATA\\_AND\\_GIS\\_TECHNIQUE](https://www.researchgate.net/publication/305040325_GROUNDWATER_RECHARGE_PLAN_FOR_DURG_DISTRICT_OF_CHHATTISGARH_USING_SATELLITE_DATA_AND_GIS_TECHNIQUE) DOI No. 10.5958/2395-146X.2016.00044.2 (in English).

**Volyk A.P.**, 1993. A report on the results of geophysical studies on water carried out for the purpose of supplying water to collective farms in the Vinnytsia region for 1991-1993. Kiev: AP Kiev GFE Goskomvodkhov Ukrainy, 70 p. (in Russian).

**Zare M., Koch M.**, 2016. Integrating Spatial Multi Criteria Decision Making (SMCDM) with Geographic Information Systems (GIS) for determining the most suitable areas for artificial groundwater recharge. Sustainable Hydraulics in the Era of Global Change. URL: [https://www.researchgate.net/publication/295903796\\_Integrating\\_Spatial\\_Multi\\_Criteria\\_Decision\\_Making\\_SMCDM\\_with\\_Geographic\\_Information\\_Systems\\_GIS\\_for\\_determining\\_the\\_most\\_suitable\\_areas\\_for\\_artificial\\_groundwater\\_recharge](https://www.researchgate.net/publication/295903796_Integrating_Spatial_Multi_Criteria_Decision_Making_SMCDM_with_Geographic_Information_Systems_GIS_for_determining_the_most_suitable_areas_for_artificial_groundwater_recharge) (in English).

Стаття надійшла  
01.03.2018