

<https://doi.org/10.15407/gpimo2022.03.003>

В.О. Ємельянов, чл.-кор. НАН України, д-р геол.-мін. наук, проф., головн. наук. співроб.

e-mail: eva@nas.gov.ua

ORCID 0000-0002-8972-0754

П.О. Кір'яков, канд геол.-мін. наук, старш. наук. співроб.

e-mail: paoloe@ukr.net

О.М. Рибак, канд. геол.-мін. наук, старш. наук. співроб.

ORCID 0000-0001-5746-7259

О.О. Паришев, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.

E-mail: paryshev1974@gmail.com

ORCID 0000-0003-1318-9650

М.О. Маслаков, канд. геол.-мін наук, провідн. наук. співроб.

E-mail: nikalmas6@gmail.com

ORCID 0000-0001-9754-3033

С.В. Клочков, аспірант

E-mail: sklochkov@gmail.com

ORCID 0000-0002-5369-0573

ДНУ "МорГеоЕкоЦентр НАН України"

01054, Київ, вул. Олеся Гончара, 55 б

КОРОТКА ІСТОРІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ І СУЧАСНІ ЗНАННЯ ЩОДО ФЕНОМЕНУ СУБМАРИННОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА ШЕЛЬФАХ МОРІВ І ОКЕАНІВ

Підземні води поширені як на суші, так і в акваторіях морів і океанів. Сьогодні гідрогеологи, океанологи визнають потенційно значний внесок скидання підземних вод (субмаринного розвантаження — СР) до прибережних районів. Цей термін прийнято використовувати для опису джерел, що знаходяться нижче за рівень моря. Слід зазначити, що до субмаринних вод відносять також джерела, розташовані в припливо-відливних зонах (літоральні), хоча підводними вони є лише під час припливів. Спостереження за СР показали значний його вплив на екологічний стан прибережних середовищ. Разом із просочуванням підземних вод уздовж більшості берегових ліній світу, на великих територіях відбувається доставка значної кількості прісної води та розчинених у ній речовин. Однак, роль такого явища, як СР для прибережних обшин майже не розглядається. В статті наводяться приклади з багатьох літературних джерел, що висвітлюють важливість джерел СР для місцевого населення в повсякденній діяльності протягом багатьох століть. Це — питний ресурс, гігієнічний засіб, вода для сільського господарства, рибальства, судноплавства,

Цитування: Ємельянов В.О., Кір'яков П.О., Рибак О.М., Паришев О.О., Маслаков М.О., Клочков С.В. Коротка історія досліджень і сучасні знання щодо феномену субмаринного розвантаження підземних вод на шельфах морів і океанів. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2022. **18**, № 3: 3—18. <https://doi.org/10.15407/gpimo2022.03.003>

культури та туризму. У багатьох частинах світу зустрічаються джерела СР, які мають унікальну форму і вважаються важливими тільки через свою незвичайність та місце існування прісноводних організмів. Це лише деякі приклади, які підтверджують своєрідність такого явища життєдіяльності прибережних обшин. Внаслідок цього виникає необхідність комплексного підходу до вивчення СР, що є актуальним не тільки з погляду зміни прибережних середовищ, але також і з боку глобального кругообігу води та речовин на Землі.

Ключові слова: субмаринне розвантаження, літоральні води, господарська діяльність.

Загальні відомості

У зв'язку з необхідністю вирішення численних теоретичних і прикладних завдань гідрогеології і морської геології, СР викликає значний інтерес. Такий водний ресурс все активніше використовується у прибережних районах. Особливо актуальна проблема оцінки СР в районах гострого дефіциту прісних вод, де субмаринні води використовуються як питна вода, в сільському господарстві, культурних заходах, туризмі тощо. СР вносить зміни в гідрологічні і гідрохімічні характеристики водних мас, тому його комплексне вивчення представляє інтерес для представників різних наукових напрямів: океанології, гідрографії, акустики, екології та інших наукових напрямів наук про Землю. В утилітарному сенсі знання цього явища є необхідним передусім для побудови водного балансу прибережних територій при розробці планування заходів щодо забезпечення прісною водою населення та промисловості відповідних регіонів.

Вивчення цього природного явища лежить на стику таких наук як морська геологія і гідрогеологія та відноситься до досить молодого напрямку геологічної науки — морської гідрогеології [1]. Основу цього нового напрямку науки, в тому числі в Україні, було закладено ще в минулому столітті, коли вчені Інституту геологічних наук Академії наук України під керівництвом відомого українського гідрогеолога члена-кореспондента Академії наук України, професора А.Є. Бабинця привернули увагу до проблеми підземного стоку в море в контексті пошуку зон СР прісних вод в море [3]. Головну увагу було приділено безпосередньо проблемам пошуку зон СР підземних вод [2], дослідженням умов цього явища на прикладі Чорноморського узбережжя Криму, гідрогеологічним особливостям Гірського Криму та прилеглому шельфу [4].

Протягом кількох десятків років вчені ДНУ «Центр проблем морської геології, геоелекології та осадового рудоутворення НАН України» (раніше — ДНУ «Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України», далі — ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України») продовжують досліджувати геологічну будову, геоелекологічні умови Чорного моря, передусім українського сектору азово-чорноморського шельфу, та проблеми розвантаження субмаринних джерел підземних вод. Наукові висновки, щодо прогнозних ресурсів субмаринної прісної води були викладені у звітному матеріалі НДР «Створення комплексу підприємств для видобутку питної води з субмаринних джерел ПБК» Державної програми «Неживі ресурси» Національної програми досліджень та використання ресурсів Азово-Чорноморського басейну, інших районів Світового океану на період до 2000 р. (1994—2000), якою керував видатний український геолог академік, професор Є.Ф. Шнюков.

Комплексними гідрогеологічними дослідженнями, виконаними профільними академічними інститутами, насамперед, Інститутом геологічних наук НАН,

ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України» на кримському узбережжі й шельфі Чорного моря було вивчено умови СР підземних вод Гірського Криму [3] і виконано районування його прибережної частини щодо умов розвантаження у море підземних водних потоків, зроблено кількісну оцінку підземного стоку у море, виявлено роль окремих водоносних комплексів у формуванні СР, а також встановлено основні закономірності його формування по окремих районах, зокрема Криму [5]. Проведені авторами комплексні гідрогеологічні дослідження на чорноморському шельфі України [2], разом з наявною інформацією зарубіжних дослідників, дозволили виділити основні геолого-геоморфологічні умови та геолого-структурні особливості прибережних територій, перспективних щодо СР підземних вод. Насамперед, це райони, де СР здійснюється за рахунок вод тріщино-карстових масивів, що занурюються у море, а розвантаження проявляється у вигляді концентрованих виходів субмаринних джерел. На ділянках, де скельні карстові породи перекриті шаром донних покладів, а тріщини та карстові порожнини закольматовані, розвантаження має розосереджений характер [4].

У світі явище СР вивчається ще з середини 40-х років ХХ ст. [19, 30, 39, 46, 47, 52, 55 та ін.]. Сам термін «СР» зазнав ряд змін залежно від фахівців, що вивчали це явище. Так, в 70-ті роки ХХ ст. вживався термін «підводне скидання підземних вод» [53]. Цей термін був прийнятий фахівцями, що вивчають море [15, 32]. Фахівці, які займалися карстом та пов'язаними з ним воронками і каналами, називали СР — «підземними джерелами» [20, 47]. Деякі автори використовували термін «прибережне просочування» або «просочування підземних вод» [40]. Відсутність єдиного визначення утруднює всебічне вивчення цього явища. Проте, науковий інтерес до СР зростає внаслідок збільшення потреби у питній воді у багатьох прибережних районах. Нещодавно було виявлено вплив СР на екологічний стан прибережних зон, загальний водний баланс території та визначені біохімічні цикли [10, 13, 31].

Як водний ресурс СР відіграє важливе значення для населення прибережних районів світу. Численні дослідження показали, що субмаринні джерела використовувалися з прадавніх часів. Страбон і Пліній Старший описували використання древніми римлянами субмаринних джерел для поповнення питною водою кораблів, водопостачання поселень, що значно збільшувало їх сухопутні запаси [50]. Існують численні згадки про вилов риби, перлів та ін. біля виходів прісних вод. Зазначається також релігійне і культове значення цих виходів.

Незважаючи на важливість такого явища як СР, йому, судячи по наукових публікаціях, не приділяється належної уваги в сучасних дослідженнях. Повідомлення, які з'являються, рідкісні і суперечливі. Наприклад, тільки у 2015 р. з'явилися дослідження з економічною оцінкою СР для водопостачання міста Обама (о. Хонсю, Японія) [11].

Геолого-гідрогеологічні умови формування підземного стоку в морі

Походження і існування СР тісно пов'язане з геолого-структурними, тектонічними, геоморфологічними особливостями прибережних територій та суміжних шельфових областей. Прісні води, що скидаються в море повинні відповідати таким умовам, при яких п'єзометричні натиски підземних вод в області розвантаження перевищують гідростатичний натиск морської води. Всі ці чинники,



Рис. 1. Приклад карстового підводного джерела на острові Ломбок, Індонезія [38]



Рис. 2. Карстове літоральне джерело в Гунунг Кидуле, Індонезія [38]

які контролюють і управляють процесом СР, були проаналізовані в теоретичних моделях [28], а також в моделях, побудованих за даними польових досліджень [24, 51].

У той час, коли основні елементи, що управляють якісними складовими СР відомі, їх кількісна оцінка залишається не вивченою. Як відомо, основними чинниками кількісної оцінки СР є проникність водоносного горизонту і гідравлічний градієнт, що визначає кількість води, яка може бути транспортована цим водоносним горизонтом [45]. На кількісну оцінку СР впливає площа водозбірного басейну, а також припливно-відливні цикли, що змінюють гідравлічний градієнт, дебіт води [22]. Це призводить до інтенсивної мінливості розвантаження, як у часі, так і в просторі, що ускладнює його оцінку і екстраполяцію.



Рис. 3. Субмаринне розвантаження у мулових відкладах (Заленбург, Німеччина) [38]

СР може виникати у вигляді дифузійного виходу через пори і тріщини прибережних донних відкладів, а також у вигляді потоків води, що утворюють грифони (рис. 1—3). Також СР може розвиватися у тріщинуватих породах, карстових печерах [36, 49], у лавових порожнечках [17, 43], мулових осадах над водоносними горизонтами [24].

Слід зазначити, що до «субмаринних» відносять також джерела, розташовані в припливно-відливній зоні, хоча строго кажучи, підводними вони являються тільки під час припливів.

Використання субмаринних вод в господарській діяльності людини

Як природний ресурс, субмаринні води, використовуються по всьому світу історично тривалий час. Особливу цінність вони представляли для людей, що проживають віддалено від комунікацій, внаслідок чого це явище широко не висвітлювалося в наукових публікаціях. На думку N. Moosdorf [38] використання субмаринних вод можна розділити на п'ять основних видів: питний ресурс, для гігієнічних цілей, в сільському господарстві, рибальстві, культурних цілях, судноплавстві (рис. 4). Значний вплив прісних субмаринних джерел на господарську та культурну діяльність населення, що мешкає в прибережних районах не викликає сумніву. Проте, підкреслимо, систематичних наукових досліджень особливостей такого впливу, за рідкісними виключеннями, не ведеться [11].

Як джерело питної води СР використовувалося впродовж тисячоліть. Так, Страбон (63 р. до н.е. — 21 р. н.е.) повідомляв про використання підводного джерела для потреб острівного міста Арвад (Сирія). Наочним прикладом важливості використання субмаринних вод є острівна держава Бахрейн. В середньовіччі його потреба в питній воді задовольнялася за рахунок цього ресурсу [1]. Прісна вода збиралася в океані і продавалася на суші до середини ХХ ст. У м. Чекка (Ліван) пластикові труби використовувалися для транспортування води з підводного джерела на берег до 1963 р. [30]. До ХХ ст. кораблі поповнювали запаси питної

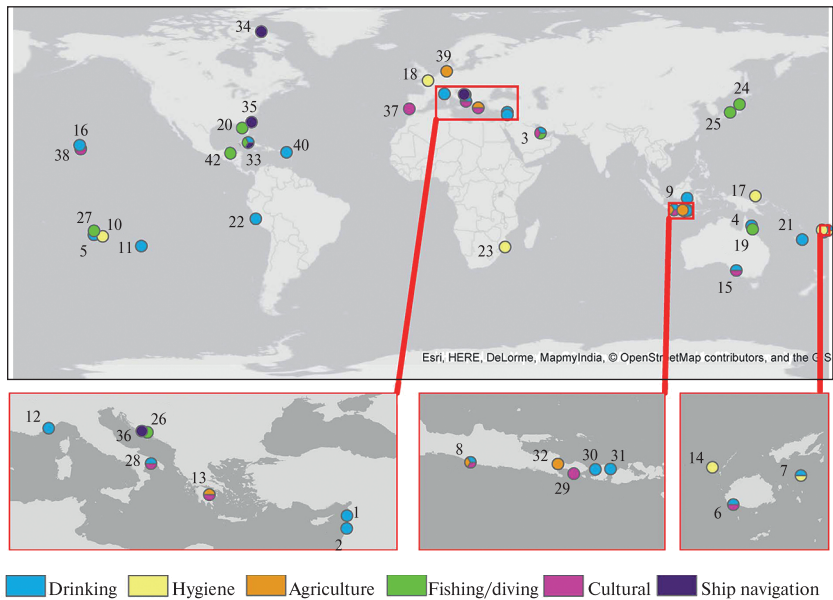


Рис. 4. Карта, що показує приклади господарського використання субмаринних вод [38]

води з субмаринних джерел. Так робили екіпажі кораблів, які не бажали заходити в кубинський порт Ягуа [26]. Екіпаж судна «Ессекс», що затонуло, знайшов на о. Хендерсон (південна частина Тихого океану) джерело прісної води, доступне лише під час відливу (літоральний), що дозволило вижити деяким з них. Цю історію члени екіпажу повідомили Герману Мелвіллу, який поклав її в основу роману «Мобі Дік».

В Перу, поряд з Лімою, субмаринні води збираються в цистерни та розвозяться по областях. На Фіджі в якості питної води використовувалася субмаринна вода, поки не організували центральне водопостачання, але і зараз при пошкодженні водопроводу місцеве населення продовжує використовувати воду з підводних джерел [52].

У великій кількості джерела прісної води спостерігаються на шельфі Середземного моря. Для деяких з них були зроблені спроби технічного освоєння з метою питного водопостачання. В м. Таранта (Італія) у 1970 р. була випробувана установка із скловолкна, що не принесло комерційного успіху. Складніший пристрій використовувався у карстового джерела недалеко від італійського м. Мортолана глибині моря 36 м. Проте через проникнення морської води з сусідніх карстових каналів, вода стала солонуватою і видобуток припинився [21]. Аналогічні зусилля з освоєння прибережних прісних вод були зроблені в Порт-Міу, біля Марселя (рис. 5—7) та інших місцях французького середземноморського узбережжя, також були спроби використовувати прісні води в Которській бухті (Чорногорії), і на Криті [21]. Найбільша система підводних джерел знаходиться у Флориді (США) [16]. Губернатор Флориди навіть запропонував план перекидання води з субмаринних джерел Флориди до Майямі, де існує необхідність в додатковому постачанні прісної води [18].

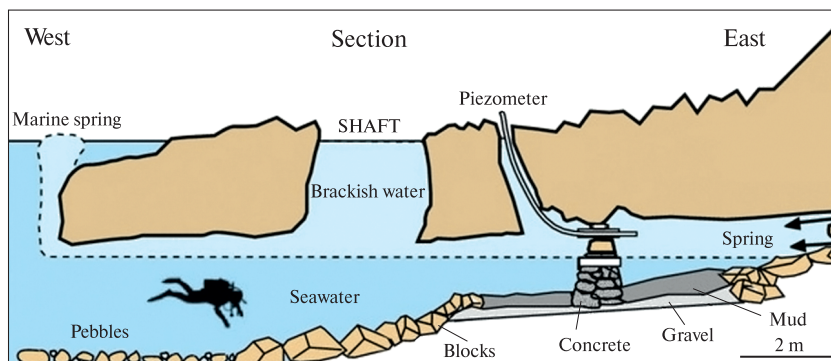


Рис. 5. Розріз джерела та експериментальний водозабір Порт-Міу [21]

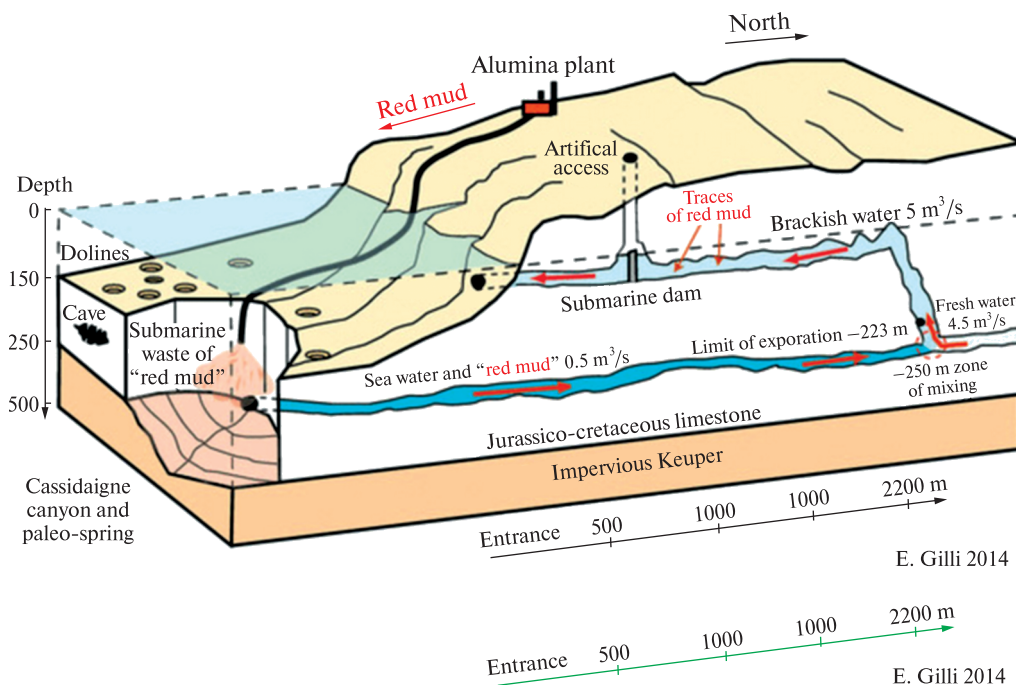


Рис. 6. Схема субмаринного розвантаження Порт-Міу (Франція) [21]

До проблем при експлуатації прісних вод через СР приводить крихкий баланс між солоною морською водою і прісною субмаринною [37]. Система рівноваги з часом зрушується у бік збільшення солоності. Ця проблема може бути зменшена за рахунок з'єднання експлуатації субмаринних вод з опріснювальним устаткуванням [9]. Таке поєднання може знизити солоність води до прийнятних значень. Таким чином можна досягти потрібного обсягу води для питного водопостачання [47].

Слід зазначити, що, не дивлячись на хорошу вивченість підземних вод, СР складає від 0,01 до 10 % річкового стоку [50]. Це актуально в прибережних районах із розвиненим карстом, де метеорні і підземні води швидко просочуються,



Рис. 7. Червоний приплив. Надходження біогенних речовин у прибережні води від субмаринного розвантаження призводить до «червоного припливу», за Karen L. Knee, 2012

поповнюючи джерела СР. Тобто, ці виходи можуть бути основним джерелом прісної води для жителів.

Для гігієнічних і оздоровчих заходів джерела СР можуть використовуватися в деяких місцях, де немає дефіциту питної води. Наприклад, в древніх записях Павсанія (II ст. н. е.) повідомляється про гарячі лазні з підводних джерел в Етруській імперії. Сьогодні на пляжах також використовують холодні джерела СР (наприклад, декілька прісноводних джерел в Індонезії) для купання [34]. Окрім купання існують численні свідчення використання води від джерел СР для прання. Ще в XIX ст. в Етрета (Франція) прісна вода на пляжі використовувалася як в якості питної, так і для прання.

Для сільського господарства СР, практично, використовується дуже мало. Є повідомлення про використання джерел СР для вирощування худоби на півдні о. Ява (Індонезія). Невеликий німецький острів Ваддензе (Халліг Лангенес) повністю забезпечується з субмаринних джерел [33]. У Греції води з субмаринного джерела були перекриті греблею і використовувалася для зрошення [37]. Не дивлячись на те, що солоність субмаринної води низька, все ж її використання з часом збільшує засолення ґрунтів та ґрунтових вод.

Зв'язок СР з рибальством встановлено у багатьох місцях. Рибалками помічено, що там де розвинені субмаринні джерела, водиться велика кількість риби. У Флориді такі місця називають *Mud Hole* (грязьова нора) (Mitchell et al., 1999). Там, де розвантаження прісної води відбувається по палеорулах річок, наприклад, біля берегів Австралії і в Мексиканській затоці — *wonky holes* (хисткі нори) і *blue holes* (блакитні нори) відповідно [8, 48]. Такі ж джерела існують біля Куби, Белізу, де окрім риби скупчуються ламантини.

Проте, сталого наукового обґрунтування появи великої кількості риби біля субмаринних джерел досі немає. Єдине місце, де таке явище було досліджене це затока Обама (Японія) [23]. Тут по каналу розвантаження субмаринних вод надхо-

дить значна кількість біогенних речовин, що беруть участь в харчовому ланцюжку: біогенна речовина → діатомові водорості → багатощетинкові черви → риба.

Окрім живлення прісна вода сприяє лікуванню риб від паразитів, які не витримують низької солоності [41].

Позитивний вплив СР має на двостулкові молюски, зокрема на устриць, що приносить користь устричним фермам, розташованим біля м. Таранта (Італія) [39] та в затоці Камаісо (Японія) [25]. Було помічено, що СР покращує якість морських перлів (Бахрейн) [43]. Дайвери також відмічають підвищену біорізноманітність навколо субмаринних джерел [7]. З іншого боку, там набувають більш активного розвитку і шкідливі водорості, що у великій кількості з'являються біля джерел СР, наприклад, навколо Багам, Флориди, Гонконгу, Кореї, Лонг-Айленду. Ці водорості можуть скоротити промисел, створюючи ризики для господарської діяльності. Таким чином, згадані факти свідчать про екологічний вплив СР на місцеві біоценози.

Соціокультурне значення СР визначається у тому, що поява прісної води в океані впливає на людську уяву. Павсаній (II ст. н.е.) описує як жителі полісу Аргос (Греція) біля таких джерел приносили в жертву коней Посейдону. Така традиція зберігається до сьогодні під назвою Ківери.

У південній Австралії аборигени Каурна вважали, що джерела прісної води на пляжі бухти Халлетт та інших місцях з'явилися внаслідок того, що древній творець оплакував свого племінника, і його сльози на пляжі створили прісноводні джерела.

У Бахреїні шумери вірили в бога Енки, який відповідав за прісноводний океан під землею і створив прісноводні джерела. Сама назва, Бахрейн означає «дві води». Можливо, наявність вод СР і сприяла назві країни [43].

Індійський храм Танах Лот (о. Балі, Індонезія) є однією з головних туристичних пам'яток. Він побудований на карстовому літоральному джерелі, де паломники і туристи отримують благословення, вмиваючись його водою. За легендою, храм був побудований для поклоніння істоті, яка чарівним чином перемістила джерело з суші в море [34].

Про велике значення підводних джерел свідчить їх широке використання в топонімах. Наприклад поселення *Olhos del Aqua* (Водяне око) в Португалії, *Punalu'u* (Пірнаюче джерело) на Гавайях [12]. Ці приклади показують культурну значущість прісних, зокрема субмаринних, вод у всьому світі.

Хоча значення культурного аспекту менш очевидне, ніж використання СР в господарській діяльності, проте воно також важливе, особливо для традиційних суспільств, що живуть поблизу видимих підводних джерел.

Субмаринні джерела мають вплив і на судноплавство, створюючи і підтримуючи ополонки, проталини, зони вільні від льоду. У затоці Баффіна таке явище пропонувалося використовувати для арктичного судноплавства [46]. Але окрім позитивних моментів СР в морі може нести і небезпеку, особливо це стосується малих суден. В цьому сенсі [26] привертають увагу джерела розвантаження в Ягуа (Куба) і Кастела (Хорватія) [28], де вони розташовані за 3 км від берега. Окрім небезпеки для суден, підводні джерела можуть бути причиною обривів підводних кабелів.

Зі звіту підводного човна, що втрачав плавучість через СР на глибині 500 м за 200 км від берега в Атлантичному океані, можна зробити висновок, що ці дже-

рела не обмежуються прибережними районами [28]. Звичайно ризики в сучасному мореплаванні, що пов'язані із розвантаженням прісної води здаються невеликими, проте за певних умов все ж доречно ставитися до можливих впливів цього явища з великою увагою.

Негативний вплив антропогенної діяльності на джерела СР. Границя розділу підземних і морських вод залежить від локальних змін за багатьма аспектами. Були повідомлення про припинення стоку через проведення прибережних будівельних робіт у м. Таранта у 1960-і рр. [39] або зниження гідравлічного тиску, що призвело до зникнення субмаринного джерела у Бахрейні [50]. Також проникнення солоної води у водоносні горизонти з прісною водою може бути наслідком збільшення водозбору з них і призвести до деградації таких джерел.

Додатковою загрозою для СР є їх забруднення, що негативно позначається на прибережних екосистемах [14, 44].

Субмаринні джерела часто пов'язані з водоносними горизонтами високої проникності (тріщинуваті породи), які особливо уразливі для забруднення на водозбірних площах. Таким чином, діяльність людини в районі водозбору субмаринних вод може погіршувати якість і знижувати дебіт.

Зростає вплив на СР і глобальних кліматичних змін. Зокрема, один з небагатьох прогнозів, приведений для регіону Саленто (Італія), показує, що потік субмаринних вод тут в найближчі десятиліття знизиться на 16 % [35].

Накладення антропогенних і глобальних природних, передусім кліматичних, змін імовірно викличе істотне порушення в субмаринних процесах і, відповідно, слід чекати на негативні наслідки для існування населення та бізнесу у прибережних регіонах. Досі точно невідома кількість усіх прибережних районів, де використовується вода субмаринних джерел. Тому складно передбачати, в яких місцях можуть виникнути негативні екологічні й економічні, а отже і соціальні наслідки, якщо ці джерела стануть непридатними для використання.

Необхідно інтенсифікувати вивчення гідрогеологічної складової екологічних процесів, що відбуваються в районах можливого і встановленого субмаринного розвантаження прісних вод, і впливів на його особливості господарської діяльності як на суші, так і в морі. Особливої актуальності ця проблема набуває в сучасних умовах воєнного стану та дефіциту питної води в причорноморських районах України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабінець А. Є., Митропольський О. Ю., Ємельянов В.О., Кір'яков П. О. Морська гідрогеологія — нова галузь геологічних знань. *Вісник АН УРСР*. 1982. № 12. С. 79—83.
2. Бабінець А.Е., Емельянов В.А., Кирьяков П.А., Проблемы поисков зон субмаринной разгрузки подземных вод (на примере Черноморского шельфа Украины). *Девятое совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока*. Иркутск—Петропавловск-Камчатский, 1979. С. 120—121.
3. Бабінець А. Е., Емельянов В.А., Кирьяков П.А. Исследования условий субмарной разгрузки подземных вод на примере Черноморского побережья Крыма. *IV Всесоюзн. школа морской геологии*. Москва: Наука, 1980. С. 5—7.
4. Кирьяков П.А. Гидрогеологические особенности Горного Крыма и прилегающего шельфа. Препринт Института геологических наук АН УССР. Киев, 1981. 53 с.
5. Кирьяков П.А. Условия субмаринной разгрузки подземных вод Горного Крыма: авторефер. дисс. ... канд. геол.-мин. наук, Киев, 1981. 22 с.

6. Ahmad ibn Mājid, A.S., Tibbetts, G.R. Arab Navigation in the Indian Ocean Before the Coming of the Portuguese : Being a Translation of kitāb al — Fawā id fi uṣūl al — baḥr wal — qawā id of Aḥmad b. Mājid al — Najdī; Together with an Introduction on the History of Arab Navigation. *Notes on the Navigational Techniques and on the Topography of the Indian Ocean and a Glossary of Navigational Terms*. XXVI. Oriental Translation Fund Publications. Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland. London, 1971., P. 614. Sold by Luzac. (p., fold. leaf pp).
7. Andric M. Ronjenje u Hrvatskoj. Zagreb: Zar Herc, 2009. 251 p.
8. Arnov B. Fish Florida: Saltwater. VIII. Houston: Gulf Pub. Co., 1991. 232 p.
9. Bakken T.H., Ruden F., Mangset L.E. Submarine groundwater: a new concept for the supply of drinking water. *Water Resour. Manag.* 2012. **26** (4). P. 1015—1026.
10. Beusen A.H.W., Slomp C.P., Bouwman A.F. Global land — ocean linkage: direct inputs of nitrogen to coastal waters via submarine groundwater discharge. *Environ. Res. Lett.* 2013. **8** (3). P. 34—35.
11. Burnett K., Wada C., Endo A., Taniguchi M., The economic value of groundwater in Obama. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 2015.
12. Carvalho L.F., Rocha C., Fleming A., Veiga-Pires C., Anibal J. Interception of nutrient rich submarine groundwater discharge seepage on European temperate beaches by the acoel flatworm, *Symsagittifera roscoffensis*. *Mar. Pollut. Bull.* 2013. **75** (1—2). P. 150—156.
13. Cole J.J., Prairie Y.T., Caraco N.F., McDowell W.H., Tranvik L.J., Striegl R.G., Duarte C.M., Kortelainen P., Downing J.A., Middelburg J.J., Melack J. Plumbing the global carbon cycle: integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems*. 2007. **10** (1). P. 171—184.
14. Costa O.S. Anthropogenic nutrient pollution of coral reefs in Southern Bahia, Brazil. *Braz. J. Oceanogr.* 2007. **55** (4), P. 265—279.
15. Cuet P., Naim O., Faure G., Conan J.Y. Nutrient-rich groundwater impact on benthic communities of la Saline fringing reef (Reunion Island, Indian Ocean): pre-liminary results /Choat J.H., Barnes D., Borowitzka M.A./ *Contributed Papers. 6th International Coral Reef Symposium Executive Committee*. Australia, Townsville. (8th-12th August 1988). V. 2. P. 207—212.
16. Dimova N.T., Burnett W.C., Speer K. A natural tracer investigation of the hydrological regime of Spring Creek Springs, the largest submarine spring system in Florida. *Cont. Shelf Res.* 2011. **31** (6). P. 731—738.
17. Dimova N.T., Swarzenski P.W., Dulaiova H., Glenn C.R. Utilizing multichannel electrical resistivity methods to examine the dynamics of the fresh water — seawater interface in two Hawaiian groundwater systems. *J. Geophys. Res. Oceans*. 2012. V. 117. C02012.
18. Fineout G. From ex-Governor, a Novel Plan Springs Forth. Tallahassee Democrat, Tallahassee.
19. Fischer W.A., Landis G.H., Moxham R.M., Polcyn F. Infrared surveys of Hawaiian volcanoes-aerial surveys with infrared imaging radiometer depict volcanic thermal patterns + structural features. *Science*. 1964. **146** (364). P. 733.
20. Fleury P., Bakalowicz M., de Marsily G. Submarine springs and coastal karst aquifers: a review. *J. Hydrol.* 2007. **339** (1—2), P. 79—92.
21. Gilli E. Deep speleological salt contamination in Mediterranean karst aquifers: perspectives for water supply. *Environ. Earth Sci.* 2015. **74** (1), P. 101—113.
22. Greskowiak J. Tide-induced salt-fingering flow during submarine groundwater discharge. *Geophys. Res. Lett.* 2014. **41** (18). P. 6413—6419.
23. Hata M., Sugimoto R., Hori M., Tomiyama T., Shoji J. Occurrence, distribution and prey items of juvenile marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae* around a submarine groundwater seepage on a tidal flat in southwestern Japan. *J. Sea Res.* 2016. **111**. P. 47—53.
24. Holliday D., Stieglitz T.C., Ridd P.V., Read W.W. Geological controls and tidal forcing of submarine groundwater discharge from a confined aquifer in a coastal sand dune system. *J. Geophys. Res. Oceans*. 2007. **112** (C4). P. 10.
25. Hosono T., Ono M., Burnett W.C., Tokunaga T., Taniguchi M., Akimichi T. Spatial distribution of submarine groundwater discharge and associated nutrients within a local coastal area. *Environ. Sci. Technol.* 2012. **46** (10), P. 5319—5326.
26. Humboldt A.V., Thrasher J.S. 1856. The Island of Cuba. Derby & Jackson, New York: IPCC, 2013. P. 397. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. 1535 p.

27. Hydrologic and Ecologic Inventories of the Coastal Waters of West Hawaii. Water Resources Research Center. University of Hawaii at Manoa, Honolulu / Kay EA, Lau LS, Stroup ED, Dollar SJ, Fellows DP, Young RHF / 1977. WRRC technical report. 105 p.
28. Judd A.G., Hovland, M., Seabed Fluid Flow: The Impact of Geology, Biology and the Marine Environment. Cambridge University Press, Cambridge; New York, 2007. 475 p.
29. Kaleris V. Submarine groundwater discharge: effects of hydrogeology and of near shore surface water bodies. *J. Hydrol.* 2006. **325** (1–4). P. 96–117.
30. Kohout F.A. Ground-water flow and the geothermal regime of the floridian plateau. *Hydrology*, 1966. **26**. P. 391–413.
31. Kwon E.Y., Kim G., Primeau F., Moore W.S., Cho H.-M., DeVries T., Sarmiento J.L., Charette M.A., Cho Y.-K. Global estimate of submarine groundwater discharge based on an observationally constrained radium isotope model. *Geophys. Res. Lett.* 2014. **41** (2014GL061574).
32. Lapointe B.E., Oconnell J.D., Garrett G.S. Nutrient couplings between on-site sewage disposal systems, Groundwaters, and nearshore surface waters of the Florida keys. *Biogeochemistry*. 1990. **10** (3). P. 289–307.
33. Lorenzen J. (Ed.) Geneue Beschreibung der wunderbaren Insel Nordmarsch: 1749/Lorenz Lorenzen. *Veröffentlichungen des Nordfriisk Instituut*. 1982. V. 62. Helmut Buske Verlag, Hamburg.
34. Lubis R.F., Bakti H. Mata Air Tawar Di Tengah Laut. *Geomagz.* 2013. **3** (2). P. 38–42.
35. Masciopinto C., Liso I.S. Assessment of the impact of sea-level rise due to climate change on coastal groundwater discharge. *Sci. Total Environ.* 2016. P. 569–570, 672–680.
36. Mejias M., Ballesteros B.J., Anton-Pacheco C., Dominguez J.A., Garcia-Orellana J., Garcia-Solsona E., Masque P. Methodological study of submarine ground-water discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea. *J. Hydrol.* 2012. **464**. P. 27–40.
37. Milanović P.T. Water Resources Engineering in Karst. CRC Press, Boca Raton, 2004. FL. 312 p.
38. Moosdorf N., Stieglitz T., Waska H., Durr H.H., Hartmann J. Submarine groundwater discharge from tropical islands: a review. *Grundwasser*. 2015. **20** (1). P. 53–67.
39. Parenzan P. Il Mar Piccolo e il Mar Grande di Taranto. *Thalassia Salentina*. 1969. **3**. P. 19–36.
40. Perissinotto R., Borman T.G., Steyn P.P., Miranda N.A.F., Dorrington R.A., Matcher G.F., Strydom N., Peer N. Tufa stromatolite ecosystems on the South African south coast. *S. Afr. J. Sci.* 2014. **110** (9–10). P. 89–96.
41. Pironet F.N., Jones J.B. Treatments for ectoparasites and diseases in captive Western Australian dhufish. *Aquac. Int.* 2000. **8** (4). P. 349–361.
42. Povinec P.P., Burnett W.C., Beck A., Bokuniewicz H., Charette M., Gonnea M.E., Groening M., Ishitobi T., Kontar E., Kwong L.L.W., Marie D.E.P., Moore W.S., Oberdorfer J.A., Peterso R., Ramessur, R., Rapaglia J., Stieglitz T., Top Z. Isotopic, geophysical and biogeochemical investigation of submarine groundwater discharge: IAEA – UNESCO intercomparison exercise at Mauritius Island. *J. Environ. Radioact.* 2012. **104**. P. 24–45.
43. Rausch R., Dirks H., Kallioras A., Schuth C. The riddle of the springs of Dilmun – does the Gilgamesh epic tell the truth? *Groundwater*. 2014. **52** (4). P. 640–644.
44. Redding J.E., Myers-Miller R.L., Baker D.M., Fogel M., Raymundo L.J., Kim K. Link between sewage-derived nitrogen pollution and coral disease severity in Guam. *Mar. Pollut. Bull.* 2013. **73** (1). P. 57–63.
45. Russoniello C.J., Fernandez C., Bratton J.F., Banaszak J.F., Krantz D.E., Andres A.S., Konikow L.F., Michael H.A. Geologic effects on groundwater salinity and discharge into an estuary. *J. Hydrol.* 2013. **498**. P. 1–12.
46. Sadler H.E., Serson H.V. An unusual polynya in an Arctic Fjord / Freeland H., Farmer D., Levings C. *Fjord Oceanography*. NATO Conference. Series Springer. US. 1980. P. 299–304.
47. Stefanon A. Capture and Exploitation of Submarine Springs. *Oceanology International, Brighton*, UK, 1972. P. 427–430.
48. Stieglitz T. Submarine groundwater discharge into the near-shore zone of the Great Barrier Reef, Australia. *Mar. Pollut. Bull.* 2005. **51** (1–4). P. 51–59.
49. Stieglitz T.C., van Beek P., Souhaut M., Cook P.G. Karstic groundwater discharge and seawater recirculation through sediments in shallow coastal Mediterranean lagoons, determined from water, salt and radon budgets. *Mar. Chem.* 2013. **156**. P. 73–84.
50. Taniguchi M., Burnett W.C., Cable J.E., Turner J.V. Investigation of submarine groundwater discharge. *Hydrol. Process.* 2002. **16** (11). P. 2115–2129.

51. Viso R., McCoy C., Gayes P., Quafisi D. Geological controls on submarine groundwater discharge in Long Bay, South Carolina (USA). *Cont. Shelf Res.* 2010. **30** (3–4), P. 335–341.
52. Wiese M. Villagers Enjoy Free Fresh Water Supply. *The Fiji Times*, Suva, Fiji. 1946.
53. Williams M.O. Bahrain: port of pearls and petroleum. *Nat. Geo. Mag.* 2009. **89**. P. 198–210.
54. Zektzer I.S., Loaiciga H.A. Groundwater fluxes in the global hydrologic-cycle — past, present and future. *J. Hydrol.* 1993. **144** (1–4). P. 405–427.
55. Zektzer I.S., Ivanov V.A., Meskheteli A.V. The problem of direct groundwater discharge to the seas. *J. Hydrol.* 1973. **20** (1). P. 1–36.

Стаття надійшла 11.10.2022

V.O. Iemeljanov, NAS Corresp. Member,
Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), prof., Chief Researcher
e-mail: eva@nas.gov.ua
ORCID 0000-00028-9720-754

P.O. Kiriakov, PhD (Geol. & Mineral.), Senior Researcher
e-mail: paoloe@ukr.net

O.M. Rybak, PhD (Geol. & Mineral.), Senior Researcher
ORCID 0000-0001-5746-7259

O.O. Paryshev, PhD (Geol. & Mineral.), Senior Researcher
e-mail: paryshev1974@gmail.com

ORCID 0000-0003-1318-9650

M.O. Maslakov, PhD (Geol. & Mineral.), Senior Researcher, Leading Researcher
e-mail: nikalmas6@gmail.com

ORCID 0000-0001-9754-3033

S.V. Klochkov, PhD student
e-mail: sklochkov@gmail.com

ORCID 0000-0002-5369-0573

MorGeoEcoCenter NAS of Ukraine
55b st. Oles' Honchar, Kyiv, 01054, Ukraine

BRIEF RESEARCH HISTORY AND MODERN KNOWLEDGE OF THE PHENOMENON OF SUBMARINE GROUNDWATER DISCHARGE ON THE SEA AND OCEAN SHELVES

Groundwater is widely spread both on land and under seas and oceans. Today, hydrogeologists and oceanologists recognize the potentially significant contribution of submarine groundwater discharge to coastal areas. The term submarine groundwater discharge (SGD) is commonly used to describe sources below sea level. It should be noted that submarine waters also include the sources located within tidal (littoral) zones, although they get underwater only during high tides. Observation of submarine discharge showed its significant impact on the ecological condition of coastal structures. Along with the percolation of underground water along most of the world's coastlines, a significant amount of fresh water and substances dissolved in it is spread across large areas. However, the role of such a phenomenon as submarine discharge for coastal communities is practically not considered. The article gives examples from many literary sources, highlighting the importance of submarine discharge sources for local population in their everyday activities for many centuries. This is a source of drinking water, hygienic product, water for agriculture, fishing, shipping, culture, and tourism.

In many parts of the world, there are sources of submarine discharge, which have a unique shape and are considered important only because of their exceptional nature and the habitat of freshwater organisms. These examples confirm the uniqueness of such a phenomenon of live activity of coastal communities. As a result, there is a necessity for a comprehensive approach to the study of submarine discharge, which is relevant not only from the point of view of changes in coastal environment but also from the point of view of the global circulation of water and substances on Earth.

Keywords: submarine discharge, littoral waters, economic activity.