

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.1.196974>  
УДК 556.332(477)

**В.М. ШЕСТОПАЛОВ**, акад. НАН України, д-р геол.-мінерал. наук, проф., дир.,  
ДУ “Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України”,  
вул. О. Гончара, 55-6, Київ, Україна, 01054  
E-mail: vsh@hydrosafe.kyiv.ua

**Б.Д. СТЕЦЕНКО**, канд. геол.-мінерал. наук, стар. наук. співроб.,  
ДУ “Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України”,  
вул. О. Гончара, 55-6, Київ, Україна, 01054  
E-mail: stecenko@hydrosafe.kiev.ua

**Ю.Ф. РУДЕНКО**, канд. геол.-мінерал. наук, стар. наук. співроб., заст. дир.,  
ДУ “Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України”,  
вул. О. Гончара, 55-6, Київ, Україна, 01054  
E-mail: rud@hydrosafe.kiev.ua

## **ПРОБЛЕМИ ПИТНОГО ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАРІУПОЛЯ І ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇХ ВИРІШЕННЯ ЗА РАХУНОК ПІДЗЕМНИХ ВОД (УКРАЇНА)**

*Представлені результати вивчення можливості питного водозабезпечення Маріуполя за рахунок підземних вод на випадок втрати її основного сучасного джерела прісної води — р. Сіверський Донець через можливі агресивні дії донецьких сепаратистів. Для цього спочатку були вивчені ресурси підземних вод Маріупольського родовища для вирішення проблем забезпечення Маріуполя питною водою. Створено гідрогеологічну модель Маріупольського родовища підземних вод, на якій вивчено структуру водообміну і джерела формування експлуатаційних ресурсів підземних вод. Показано, що в межах цього родовища підземні води з мінералізацією, що не перевищує 1,5 г/дм<sup>3</sup>, трапляються спорадично і їх експлуатаційні ресурси дуже малі. Запаси технічних вод з мінералізацією понад 1,5 г/дм<sup>3</sup> в межах Маріупольського родовища обмежені величиною 40 тис. м<sup>3</sup>/добу, що теж недостатньо для Маріуполя. У подальшому було вивчено можливості питного водозабезпечення Маріуполя за рахунок прісних підземних вод крейдово-палеогенового водоносного комплексу Ялинського родовища, що знаходиться в 60—65 км на північний захід від Маріуполя. Створено гідрогеологічну модель Ялинського родовища підземних вод, на якій вивчено структуру водообміну і джерела формування експлуатаційних запасів підземних вод Іванівської та Зачатівської перспективних ділянок. Показано, що цей водоносний комплекс має достатньо ресурсів прісних підземних вод для забезпечення Маріуполя, Волновахи та інших населених пунктів навколо Ялинського родовища, але також є ризик поступового погіршення якості води Зачатівської ділянки через підтягування солонуватих вод з інших водоносних горизонтів. Оцінено вплив солонуватих підземних вод із тріщинуватих порід докембрійського кристалічного фундаменту і четвертинного водоносного горизонту поза межами Конксько-Ялинської западини на якість води перспективних ділянок Ялинського родовища. Розглянуто різні схеми розташування експлуатаційних свердловин і водовідбору для збереження якості води. Зроблено висновок про перспективність перенесення частини затверджених експлуатаційних запасів підземних вод Зачатівської ділянки на вододіл між цією і Іванівською ділянками або на декілька кілометрів нижче за течією р. Мокрі Яли. При відхиленні вищерозглянутого варіанту оптимізації відбору води авторами статті висунуто пропозицію перезатвердити запаси підземних вод Іванівської і Зачатівської ділянок, тобто на Іванівській ділянці збільшити запаси приблизно у два рази, а на Зачатівській ділянці зменшити їх майже у два рази. Воду з Іванівської і Зачатівської ділянок, призначену для питного забезпечення Маріуполя, треба подавати в змішаному вигляді.*

**Ключові слова:** підземні води; крейдово-палеогеновий водоносний комплекс; математичне моделювання; Маріупольське родовище підземних вод; Ялинське родовище підземних вод; експлуатаційні запаси; якість підземних вод.

Ц и т у в а н н я: Шестопапов В.М., Стеценко Б.Д., Руденко Ю.Ф. Проблеми питного водозабезпечення Маріуполя і пропозиції щодо їх вирішення за рахунок підземних вод (Україна). *Geological Journal*. 2020. № 1. С. 03—16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.1.196974>

## Вступ

Маріуполь на сьогодні забезпечується питною водою з двох джерел: Кальчицького водосховища на р. Кальчик, що впадає в р. Кальміус у межах цього міста (за якістю ця вода є незадовільною, бо вміст солей в ній становить 3,0—3,5 г/дм<sup>3</sup>, що втричі перевищує норму), та з Південно-Донбаського водогону від р. Сіверський Донець, що проходить по тимчасово непідконтрольній Україні території. Воду з цих двох джерел змішують в пропорції 3:7, досягаючи прийнятної якості. У засушливі роки рівень води у водосховищі значно знижується і подача води зменшується. Та й дію водогону з р. Сіверський Донець наразі важко назвати стабільною. Багато підприємств пробурили свердловини для автономного водопостачання. Здебільшого вода з них не відповідає нормам для питної води.

Адміністративно територія досліджень знаходиться на півдні Донецької області на березі Азовського моря, де розташовано промислове м. Маріуполь з населенням близько 500 тис. жителів.

Маріуполь має великий порт та є великим промисловим центром України. У місті діють два потужних металургійних комбінати (ВАТ “Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча” та “Азовсталь”) і найбільше в Україні машинобудівне підприємство — концерн “Азовмаш”, продукція яких складає значну частину експорту України. У промисловості України частка Маріуполя становить близько 7%. Крім того, це кліматичний і грязьовий курорт. Також у районі досліджень широко розвинена хімічна індустрія, багатогалузеве сільське господарство (тваринництво, птахівництво, рослинництво, садівництво, виноградарство та ін.).

В регіоні добре розвинена транспортна система. По території проходять залізничні дороги, автомобільні магістралі, які з'єднують Маріуполь, Донецьк, Запоріжжя, Бердянськ та автошляхи різних рівнів, також у Маріуполі є пасажирський та транспортний аеродроми.

Ризик втрати важливого джерела прісної води з р. Сіверський Донець через можливі диверсії сепаратистів, в тому числі на ділянці Південно-Донбаського водогону, що знаходиться на тимчасово непідконтрольній Україні території, спонукає до пошуку альтернативних

джерел питної води. Одним із джерел може бути прісна підземна вода за межами Маріуполя, звичайно, на економічно доцільній відстані від нього.

В даному дослідженні розглянуто геолого-гідрогеологічний матеріал, який свідчить про можливість забезпечення Маріуполя прісною водою за рахунок тільки підземних вод.

## Природні умови району досліджень

Клімат району робіт помірно-континентальний з яскраво вираженим степовим, засушливим характером і дефіцитом вологи, з середньорічною кількістю опадів 400—460 мм (дані Гідрометеорологічного довідника Азовського моря) з нерівномірним їх розподілом протягом року.

В районі досліджень переважають вітри східного і південно-східного напрямків. У літній період спостерігаються шторми в Азовському морі, викликані вітрами південно-західного і західного напрямків. Зима нестійка, з частими відлигами, слабким і непостійним сніговим покривом.

У геоморфологічному відношенні територія району робіт відноситься до південної частини Приазовської рівнини, ускладненої долинами річок і балок, яка уступом обривається до Азовського моря.

Гідрографічна мережа представлена річками Кальміус, Кальчик, Мокра Білосарайка, балками Самаріна, Зінцева, Кленова, Водяна та ін. Річка Кальміус — найбільша водна артерія в районі даних досліджень. Вона тече з півночі на південь. Балки та яри ускладнюють схили річних долин і берегової зони Азовського моря. Вздовж усього узбережжя Азовського моря, у підніжжя берегового схилу, спостерігається морська тераса з відмітками 0,5—2,5 м, шириною до 900 м, частіше 300—400 м.

Крім того, на території досліджень простежуються антропогенні форми рельєфу — відвали, насипи, кар'єри, сміттєзвалища та ін. Потужність насипних верств у середньому досягає 1—4 м, інколи 10—30 м.

Широкий розвиток у межах району робіт мають штучні водойми різного призначення, а також ставки, водосховища, накопичувачі шлаку, відстійники. На схід від Маріуполя є декілька солоних озер, які утворилися з лиману, що відділився від моря сушею. Це все усклад-

ное природний рельєф і часто є джерелами забруднення навколишнього середовища.

Вода в Азовському морі має відносно невисоку для моря мінералізацію (сухий залишок 11—20 г/дм<sup>3</sup>) і хлорид-натрієвий склад.

У геоструктурному відношенні район досліджень розташований в зоні зчленування південно-східного схилу Українського щита (Приазовський мегаблок) та північного крила Причорноморської западини. Має надзвичайно складну геологічну будову як докембрійського фундаменту, так і мезозой-кайнозойського осадового чохла.

В геологічній будові району робіт задіяні кристалічні породи архею та протерозою, їх кора вивітрювання, а також осадові відклади крейдової, палеогенової, неогенової і четвертинної систем.

Границя виходів кристалічних порід на поверхню проходить по лінії: Мангуш — Старий Крим — р. Кальчик — Чермалик на р. Кальміус.

Між морським узбережжям і вказаною лінією поверхня кристалічних порід знижується і ховається під постійним покривом осадових порід. У районі м. Маріуполь поверхня кристалічних порід знаходиться на глибині 70—80 м, в цілому по району робіт коливається в широких межах — від 22,5 до 113,0 м, в середньому 45,8 м. В основному кристалічні породи перекриті товщею неогенових відкладів, рідше крейди, палеогену і четвертинних відкладів.

Кора вивітрювання кристалічних порід у межах даного району має широке розповсюдження. Відсутня вона на окремих ділянках заплавлі річок і днищ балок. Представлена каоліном і жорствою. Потужність кори змінюється від 0,8 до 30 м, в середньому 8,5 м.

У районі Маріуполя на морській терасі ближче до корінного схилу морські відклади перекриті насипною верствою, яку складають доменні шлаки, суглинки і супіски потужністю від 0,5 до 8,0 м.

На фоні блокової будови кристалічного фундаменту сучасний рельєф описуваного району формувався і формується під впливом неотектонічних процесів. Так, аналізуючи палеогеографічні умови, І.М. Лобанов (1962 р.) та Р.А. Щербаков (1965 р.) встановили деякі закономірності неотектонічного руху для даного району. Так, 1) середня швидкість евстатичного підняття рівня моря становить 1,0 м в тисячоліт-

тя; 2) територія гирла р. Кальміус опускається зі швидкістю 1,5 мм/рік.

Неотектонічні рухи на даний час сприяють розвитку зсувних явищ, абразивних процесів, росту кіс в залежності від належності території до ділянок підняття та опускання.

Гідрогеологічні умови визначаються геоструктурними особливостями, літологічним складом порід, які складають геологічний розріз, характером рель'єфу, а також техногенними факторами.

В районі Маріуполя виділено понад 10 водонесних горизонтів і комплексів. Мінералізація підземних вод у цих гідрогеологічних структурах майже всюди значно перевищує гранично допустиме для цієї території значення 1,5 г/дм<sup>3</sup>. Тому для альтернативного постачання прісної води в Маріуполь в даному дослідженні передбачається її залучення з найближчого до Маріуполя Ялинського родовища підземних вод.

Дана стаття присвячена вивченню можливості використання прісних підземних вод Іванівської і Зачатівської ділянок Ялинського родовища підземних вод для питного водопостачання Маріуполя. Робота виконана із застосуванням методу чисельного математичного моделювання.

### **Гідрогеологічні моделі Маріупольського та Ялинського родовищ підземних вод**

Метод чисельного математичного моделювання ґрунтується на розв'язанні систем диференціальних рівнянь з розподіленими параметрами [Chiang, Kinzelbach, 2001].

В гідрогеологічній моделі Маріупольського родовища, що розташоване в південно-західній частині Приазов'я (рис. 1), використано систему диференціальних рівнянь, що описує процес планової геофільтрації і вертикального водообміну у водонапірній системі з двох поверхово розташованих водонесних горизонтів (комплексів) з роздільним слабо проникним шаром між ними. Перший водонесний шар цієї моделі відповідає неоген-четвертинному водонесному комплексу, а другий — водонесному горизонту в зоні частково вивітрених тріщинуватих кристалічних порід докембрію.

В гідрогеологічній моделі Ялинського родовища підземних вод, розташованого в межах



**Рис. 1.** Оглядова карта району досліджень в межах Ялинського і Маріупольського родовищ підземних вод: 1 — перспективна ділянка Ялинського родовища; 2 — границя Конксько-Ялинської западини; 3 — гідрологічна мережа; 4 — населений пункт; 5 — границя моделі Маріупольського родовища; 6 — границя моделі Ялинського родовища

**Fig. 1.** Overview map showing region of the studies within Yaly and Mariupol groundwater deposits: 1 — promising area of the Yaly groundwater deposit; 2 — boundary of Konka-Yaly depression; 3 — hydrological network; 4 — settlement; 5 — boundary of Mariupol groundwater deposit model; 6 — boundary of Yaly groundwater deposit model

південно-східного краю Конксько-Ялинської западини (рис. 1) на відстані приблизно 60—65 км від Маріуполя, використано дві системи диференціальних рівнянь. Одна з цих систем описує процес планової геофільтрації і вертикального водообміну у водонапірній системі з трьох поверхово розташованих водоносних горизонтів (комплексів) з розділними слабо проникними шарами між ними, а друга система описує у часі і просторі можливу зміну якості підземних вод під впливом водовідбору.

Зміна якості підземних вод може відбуватися внаслідок підтягування некондиційних підземних вод із докембрійського водоносного горизонту, а також за межами Конксько-Ялинської западини.

Перший водоносний шар моделі Ялинського родовища в межах Конксько-Ялинської западини відповідає неоген-четвертинному водоносному комплексу, а за її межами — четвер-

тинному водоносному комплексу. Другий водоносний шар моделі відповідає крейдово-палеогеновому водоносному комплексу, а за межами Конксько-Ялинського родовища — водоносному горизонту в зоні підвищеної тріщинуватості докембрійських кристалічних порід. Третій водоносний шар моделі Ялинського родовища відповідає водоносному горизонту в зоні тріщинуватих кристалічних порід докембрію.

Гідрологічні мережі на моделях Маріупольського та Ялинського родовищ задавали за допомогою граничної умови (ГУ) 3-го роду ( $q = f(\Delta H)$ ), де  $q$  — інтенсивність водообміну між річкою і шаром водоносних порід, що залягає безпосередньо під нею;  $f(\Delta H)$  — задана залежність від різниці між позначками рівнів води в водоносному горизонті безпосередньо під річкою і позначкою дна природної чи штучної дрени. Рівень Азовського моря фіксувався за допомогою ГУ 1-го роду ( $H = \text{const}$ ). Дебіти експлуатаційних свердловин задавали за допомогою ГУ 2-го роду ( $Q = \text{const}$ ), де  $Q$  — дебіт свердловини.

На контурі області моделювання Маріупольського родовища задавали ГУ 2-го роду ( $Q = 0$ ).

Ця ж гранична умова була використана на східній і південній частинах контуру області моделювання Ялинського родовища, а на інших частинах контуру моделі в другому водоносному шарі (крейдово-палеогеновому водоносному комплексі) задавали ГУ 1-го роду ( $H = \text{const}$ ).

В даних дослідженнях згадані системи диференціальних рівнянь в скінченнорізницевою вигляді вирішували за допомогою комп'ютерних програм MODFLOW і MT3D з пакету PMWIN [Ciang, Kinzelbach, 2001].

Для цього область моделювання Маріупольського родовища була поділена рівномірною прямокутною сіткою на розрахункові блоки розміром 500×500 м. Область моделювання Ялинського родовища була поділена нерівномірною прямокутною сіткою на розрахункові блоки розміром від 1000×1000 м на периферії моделі до 200×200 м у межах Іванівської і Зачатівської ділянок.

Для параметричного наповнення згаданих моделей були використані узагальнені матеріали польових геолого-гідрогеологічних дослід-

джен (А.В. Мезенцев, 1967; Л.П. Калашник, 2002, 2004; Л.М. Яндюк, 2004; Н.В. Левичева, 2007). Згідно з цими матеріалами середня водопровідність порід осадового чохла в межах розповсюдження сарматських вапняків на захід від Маріуполя становить 280 м<sup>2</sup>/добу, а на схід від Маріуполя в межах поширення сарматських пісків — 200 м<sup>2</sup>/добу.

В інших частинах району досліджень водопровідність товщі неоген-четвертинних порід оцінювали із залученням довідкової інформації про типові значення коефіцієнта фільтрації різних осадових порід і їх потужності, визначеної за геологічними розрізами, представленими у попередніх звітах, а саме 45—75 м<sup>2</sup>/добу.

Середня водопровідність четвертинних порід осадового чохла вище лінії виходів докембрійських кристалічних порід на поверхню в області моделювання Маріупольського родовища досягає 40 м<sup>2</sup>/добу.

Водопровідність зони підвищеної тріщинуватості докембрійських кристалічних порід на моделі Маріупольського родовища підземних вод задавали одним числом, оціненим як середньгеометричне для всіх докембрійських розвідувальних свердловин Маріупольського родовища, а саме 5 м<sup>2</sup>/добу.

У вертикальному гідрогеологічному розрізі осадового чохла Ялинського родовища можна узагальнено виділити два водоносних комплекси: неоген-четвертинний і крейдово-палеогеновий.

За даними відкачок із розвідувальних свердловин водопровідність порід неоген-четвертинного комплексу відносно невелика — в середньому 50—80 м<sup>2</sup>/добу при середній потужності 50 м. Водопровідність порід крейдово-палеогенового комплексу знаходиться в межах 500—940 м<sup>2</sup>/добу при середній потужності 40 м.

Водопровідність докембрійських кристалічних порід в межах Ялинського родовища за аналогією з Маріупольським задавали одним числом 5 м<sup>2</sup>/добу при середній потужності зони підвищеної тріщинуватості 40 м. Водопровідність четвертинного чохла над цими породами за межами Конксько-Ялинської западини становить 15 м<sup>2</sup>/добу при середній потужності 20 м.

За оцінками попередніх досліджень, питома проникність роздільного шару ( $k_o/m_o$ ) між

крейдовими і докембрійськими породами Маріупольського родовища при середній потужності  $m_o \approx 30$  м і середньому значенні коефіцієнта фільтрації порід, що складають цей шар,  $k_o \approx 3 \cdot 10^{-5}$  м/добу наближено дорівнює  $k_o/m_o \approx 10^{-6}$  1/добу. За межами розповсюдження роздільного шару під неогеновими відкладами у північній частині району досліджень питома проникність регіонального роздільного шару збільшується до  $k_o/m_o = 10^{-2}$  1/добу, тобто тут гідравлічний зв'язок між неоген-четвертинним і докембрійським водоносними горизонтами стає майже довершеним.

На Ялинському родовищі неоген-четвертинний і крейдово-палеогеновий комплекси відокремлені один від одного шаром піщанистих глин. За оцінками попередніх досліджень, питома водопрохідність цього шару знаходиться в межах  $(0,2—5,0) \cdot 10^{-4}$  1/добу. При цьому менше значення відноситься до південно-східної частини родовища, а більше значення — на решті цієї території.

Коефіцієнт питокої проникності слабо проникного роздільного шару між крейдово-палеогеновим і докембрійським водоносними комплексами на моделі Ялинського родовища, як і у південній частині моделі Маріупольського родовища, задавали одним числом  $k_o/m_o \approx 10^{-6}$  1/добу. Цей шар складається з кори вивітрювання докембрійських порід і глин крейдового віку на контакт з цією корою. За межами Конксько-Ялинської западини, як і на північній окраїні Маріупольського родовища, коефіцієнт питокої проникності роздільного шару між четвертинним і докембрійським водоносними комплексами задавали одним числом  $k_o/m_o \approx 10^{-2}$  1/добу.

В річкових розрахункових блоках моделей обох родовищ питома фільтраційну проникність шару підруслових відкладів задавали одним числом 0,025 1/добу як відношення коефіцієнта фільтрації суглинків з довідкового діапазону 0,1—0,01 м/добу [Климентов, Богданов, 1977; Справочник..., 1967] до потужності цього шару 1 м.

У попередніх дослідженнях представлені дані про інтенсивність живлення підземних вод, яку оцінювали в основному через модуль підземного стоку в річки. Так, для Маріупольського родовища (Л.М. Яндюк, 2004) модуль підземного стоку оцінювали через середнє зна-

чення модуля річкового стоку 95%-ої забезпеченості  $1,42 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$  або в іншій розмірності —  $1,22 \cdot 10^{-4} \text{ м}/\text{добу}$  (44,8 мм/рік).

Для Ялинського родовища (Г.Г. Лютий, І.В. Санина, 2003) модуль підземного стоку оцінювали через середнє значення модуля меженого річкового стоку 50%-ої забезпеченості  $0,5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$  або в іншій розмірності —  $4,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}/\text{добу}$  (16 мм/рік). Наведену інтенсивність живлення підземних вод для Ялинського родовища можна також визначити як відношення природних ресурсів підземних вод (101,9 тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$ ) до площі ( $630,7 \text{ км}^2$ ) цього родовища (А.Е. Артеменко, В.Т. Харечко, 1975), що становить  $1,616 \cdot 10^{-4} \text{ м}/\text{добу}$  (60 мм/рік). При моделюванні формування експлуатаційних ресурсів підземних вод крейдово-палеогенового комплексу на перспективних ділянках Ялинського родовища розглядали варіанти з обома оцінками наведеної інтенсивності живлення підземних вод.

Відтворені на моделі Маріупольського родовища абсолютні позначки рівнів підземних вод неоген-четвертинного комплексу і докембрійського водоносного горизонту в природних умовах продемонстрували задовільний збіг з фактичними позначками рівнів підземних вод у контрольних точках.

Моделювання рівнів підземних вод неоген-четвертинного і крейдово-палеогенового водоносних комплексів на Ялинському родовищі, а також докембрійського водоносного горизонту за межами південно-східної частини Конксько-Ялинської западини в природних умовах для обох вказаних вище значень інтенсивності живлення підземних вод засвідчило задовільний збіг із загальними особливостями просторового розподілу рівнів підземних вод, представленими на відправних схемах гідрозон'єз різних масштабів (А.Е. Артеменко, В.Т. Харечко, 1975). Але, безперечно, абсолютні позначки рівнів підземних вод дещо відрізнялися, особливо в неоген-четвертинному водоносному комплексі.

В Маріуполі по берегах річок Кальміус і Кальчик існують джерела, що дренують осадовий чохол і кристалічний масив. Одне з них (Сартанський водозабір) використовується для водозабезпечення ВАТ "Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча" і навколишніх житлових будинків. Його природний дебіт

становить  $1000 \text{ м}^3/\text{добу}$ . В парку ім. Петрівського також існує декілька джерел із загальним дебітом  $3000 \text{ м}^3/\text{добу}$ , але поки що вода з них містом не використовується.

Аналізуючи статті балансу в розрахункових блоках моделі Маріупольського родовища, що прилягають до місць виходу джерел, відмічаємо задовільний збіг їх модельних і фактичних дебітів. Так, дебіт джерела біля комбінату імені Ілліча на моделі становить  $1260 \text{ м}^3/\text{добу}$ , а загальний дебіт модельних джерел в парку ім. Петровського —  $2870 \text{ м}^3/\text{добу}$ , що позитивно характеризує якість моделі.

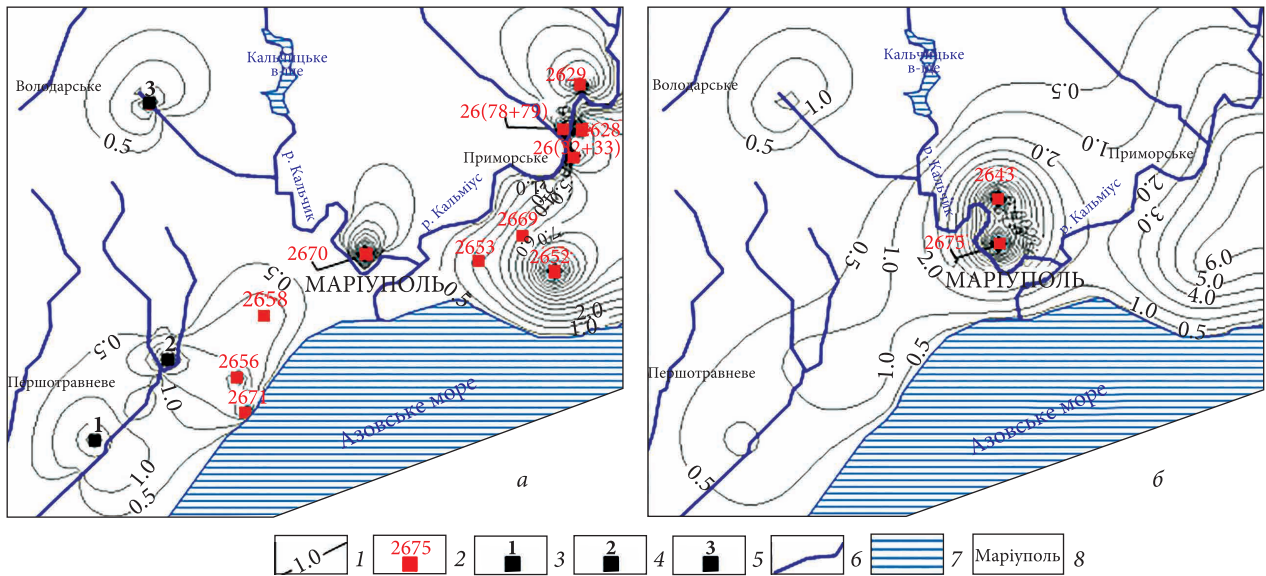
Загалом, модельні балансові складові в природних умовах свідчать про те, що водообмін у неоген-четвертинному комплексі Маріупольського родовища і в крейдово-палеогеновому комплексі Ялинського родовища набагато інтенсивніший, ніж такий у зоні відносно підвищеної тріщинуватості докембрійських кристалічних утворень.

### **Експлуатаційні ресурси підземних вод Маріупольського та Ялинського родовищ**

Як вже відмічалось, основним джерелом водопостачання населення Маріуполя на сьогодні є поверхневі води з Кальчицького водосховища і р. Сіверський Донець. Невелика частина потреби у воді забезпечується за рахунок підземних вод з джерел і свердловин Маріупольського родовища.

На жаль, з відомих причин, для водопостачання населення Маріуполя існує нагальна потреба у використанні інших більш захищених джерел води. До таких джерел можна віднести технічні підземні води Маріупольського родовища і прісні підземні води Ялинського родовища, яке знаходиться приблизно в 65 км на північний захід від Маріуполя в південно-східній частині Конксько-Ялинської западини.

Для оцінки експлуатаційних ресурсів технічних підземних вод у районі Маріуполя були використані дані про затверджені в ДКЗ України запаси підземних вод на найближчих до Маріуполя перспективних ділянках: Першотравнева, Петрівська і Володарська, а також 15 розвідувально-експлуатаційних свердловин, які були використані для оцінки експлуатаційних запасів технічних підземних вод у районі Маріуполя



**Рис. 2.** Модельні схеми ізознижень рівнів підземних вод за 27 років їх відбору в: а) неоген-четвертинному водоносному комплексі і б) докембрійському водоносному горизонті: 1 — лінія ізозниження, м; 2 — розвідувально-експлуатаційна свердловина та її номер; 3 — Першотравнева ділянка; 4 — Петрівська ділянка; 5 — Володарська ділянка; 6 — гідрологічна мережа; 7 — Азовське море і Кальчицьке водосховище; 8 — населений пункт

**Fig. 2.** Model schemes showing contours of groundwater level drawdown after 27 year groundwater withdrawal from (a) Neogene-Quaternary water-bearing complex and (b) Pre-Cambrian aquifer: 1 — drawdown contour, m; 2 — exploratory-production well and its number; 3 — Pershotravneva area; 4 — Petrivske area; 5 — Volodarske area; 6 — hydrological network; 7 — Azov Sea and Kalchik water reservoir; 8 — settlement

в попередніх дослідженнях (Л.М. Яндюк, 2002). Оцінка експлуатаційних ресурсів технічних вод виконана підбором дебітів розвідувально-експлуатаційних свердловин (рис. 2) при умові досягнення гранично допустимих знижень (ГДЗ) рівнів підземних вод (табл. 1) і практичної стабілізації рівнів підземних вод у них за термін  $\leq 10\,000$  діб. Підібрані дебіти свердловин і терміни стабілізації рівнів підземних вод у них подані в табл. 2 (стовпчики 3 і 4).

Загальний водовідбір з неоген-четвертинного водоносного горизонту при досягненні ГДЗ у свердловинах в умовах сталого режиму фільтрації підземних вод склав 41,0 тис. м<sup>3</sup>/добу, а з докембрійського — 0,5 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Структура водообміну на моделі Маріупольського родовища при зазначеному вище водовідборі свідчить про те, що експлуатаційні ресурси неоген-четвертинного водоносного комплексу формуються в основному за рахунок природних ресурсів підземних вод.

Після цього було виконано моделювання при нарощуванні водовідбору з розвідувально-експлуатаційних свердловин (див. табл. 2, стовпчики 5—10, ряди 4—16), за умови не перевищення ГДЗ рівнів підземних вод у цих

свердловинах при несталому режимі фільтрації. Останній експеримент було призначено для оцінки термінів дії свердловин в умовах форсованої експлуатації.

З результатів модельних досліджень випливає, що при водовідборі 41 тис. м<sup>3</sup>/добу рівні

**Таблиця 1. ГДЗ рівнів підземних вод в експлуатаційних свердловинах**  
**Table 1. Maximum allowable drawdown of groundwater level into operating wells**

№ з/п	№ свердловини	ГДЗ, м
1	2628	17,3
2	2629	13,5
3	2632	22,7
4	2633	18,5
5	2643	26,6
6	2652	22,5
7	2653	3,0
8	2656	5,0
9	2658	3,0
10	2669	3,0
11	2670	29,3
12	2671	14,0
13	2675	29,2
14	2678	15,5
15	2679	14,4

підземних вод встановлюються на позначках ГДЗ, а усталений режим фільтрації настає переважно за 125—430 діб. При нарощуванні водовідбору у 1,2—1,7 раза терміни дії розвідувально-експлуатаційних свердловин до досягнення ГДЗ значно зменшуються і при збільшенні водовідбору у 1,7 раза в основному знаходяться в діапазоні від 1 до 6 діб. При цьому максимальний водовідбір з урахуванням затверджених запасів на Першотравневій, Петрівській і Володарській перспективних ділянках становить 62,3 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Як видно з наведених даних, перспективи для задоволення потреб населення м. Маріуполь у воді господарсько-питного призначення за рахунок підземних вод, що можуть бути добути безпосередньо в місті та його околицях, мізерні. По-перше, ці води мають підвищену мінералізацію (інколи до 3—4 г/дм<sup>3</sup>) і потребують проведення спеціальної підготовки води (рис. 3). По-друге, нарощування водовідбору понад 41 тис. м<sup>3</sup>/добу веде до швидкого виснаження як неоген-четвертинного, так і докембрійського водоносних горизонтів. По-третє, ті

підземні води, які зараз видобуваються, використовуються на промислових підприємствах міста в технічних цілях.

Тому, з нашої точки зору, мабуть, єдиним реальним альтернативним джерелом водопостачання міста є підземні води Ялинського родовища в південно-східній частині Конкської Ялинської западини. Це родовище прісних підземних вод знаходиться на відстані приблизно 60—65 км на північний захід від Маріуполя.

За даними Приазовської комплексної гідрогеологічної партії КП “Південургіологія” в межах Ялинського родовища підземних вод найбільш перспективним для централізованого водопостачання є палеоцен-середньоеоценові відклади, які залягають безпосередньо на водоносних відкладах крейдового віку, утворюючи об’єднаний крейдово-палеогеновий водоносний комплекс (А.Е. Артєменко, В.Т. Харченко, 1975). Водовмісними породами цього водоносного комплексу є піски від дрібно- до крупнозернистих і гравелистих, мергелі, пісковики. Дебіти свердловин тут досягають 38,5 дм<sup>3</sup>/с при зниженнях рівнів води в них

Таблиця 2. Термін досягнення ГДЗ підземних вод у залежності від дебіту на перспективних ділянках і в розвідувально-експлуатаційних свердловинах у межах м. Маріуполь та його околиць

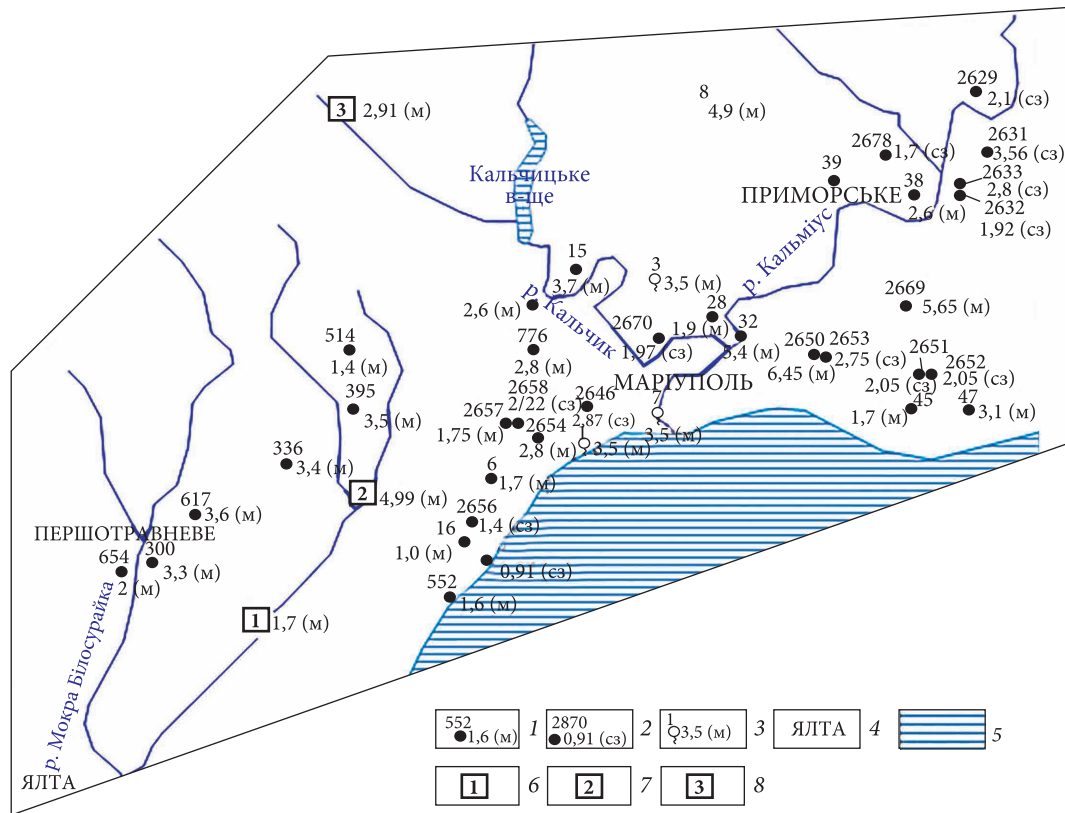
Table 2. Period for reaching the maximum allowable drawdown of groundwater levels depending on production rate at the promising areas and in the exploratory-production wells within Mariupol and its surroundings

№ з/п	Перспективні ділянки і номери розвідувально-експлуатаційних свердловин	Q, м <sup>3</sup> /добу	Термін стабілізації рівня, доба	1,2 · Q, м <sup>3</sup> /добу	Термін досягнення ГДЗ, доба	1,5 · Q, м <sup>3</sup> /добу	Термін досягнення ГДЗ, доба	1,7 · Q, м <sup>3</sup> /добу	Термін досягнення ГДЗ, доба
1	Ділянка Першотравнева	2320	—	2320	—	2320	—	2320	—
2	Ділянка Петрівська	5360	—	5360	—	5360	—	5360	—
3	Ділянка Володарська	3290	—	3290	—	3290	—	3290	—
4	Св. 2671	1030	160	1236	14	1545	5,5	1751	4,1
5	Св. 2656	860	144	1032	28	1290	10,5	1462	6
6	Св. 2658	860	125	1032	28	1290	6	1462	3
7	Св. 2670	11000	20	13200	5	16500	1,5	18700	1,1
8	Св. 2653	300	190	360	70	450	40,5	510	31
9	Св. 2652	6800	430	8160	50	10200	12	11560	6
10	Св. 2669	0	—	—	—	—	—	—	—
11	Св. 2632 + 2633	2500	200	3000	25	3750	6	4250	4
12	Св. 2678 + 2679	2200	45	2640	7	3300	3,5	3740	2
13	Св. 2628	2450	430	2940	30	3675	6,3	4165	3,6
14	Св. 2629	1750	180	2100	14	2625	5	2975	3,1
15	Св. 2643-AR	220	230	264	10	310	3,8	374	1,65
16	Св. 2675-AR	245	230	294	50	367,5	5	416,5	1,61
	Разом	41185		47228		56272,5		62335,5	

Примітка: Св. 2669 була виключена з розгляду через дуже швидке досягнення ГДЗ.

Note: well No. 2669 was excluded from review due to the very rapid achievement of maximum allowable drawdown of groundwater level.





**Рис. 3.** Мінералізація підземних вод неоген-четвертинного водоносного комплексу в районі Маріуполя: 1 — розвідувальна свердловина, зверху — номер, збоку — мінералізація, г/дм<sup>3</sup>; 2 — розвідувальна свердловина, зверху — номер, збоку — сухий залишок, г/дм<sup>3</sup>; 3 — джерело, зверху — номер, збоку — мінералізація, г/дм<sup>3</sup>; 4 — населений пункт; 5 — Азовське море; 6 — Першотравнева ділянка; 7 — Петрівська ділянка; 8 — Володарська ділянка

**Fig. 3.** Groundwater mineralization of the Neogene-Quaternary water-bearing complex within the Mariupol area: 1 — exploration well: at the top — number, at the side — mineralization, g/dm<sup>3</sup>; 2 — exploration well: at the top — number, at the side — dry residue, g/dm<sup>3</sup>; 3 — spring, at the top — number, at the side — mineralization, g/dm<sup>3</sup>; 4 — settlement; 5 — Azov Sea; 6 — Pershotravneve area; 7 — Petrivske area; 8 — Volodarske area

2,5—7,0 м. Коефіцієнти фільтрації дрібно- та крупнозернистих пісків становлять відповідно 10 та 30 м/добу.

За хімічним складом підземні води цього водоносного комплексу є хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатні натрієво-кальцієві з мінералізацією в основному до 1,5 г/дм<sup>3</sup> та загальною жорсткістю 6—10 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Для крейдово-палеогенового водоносного комплексу підраховані експлуатаційні ресурси підземних вод у кількості 150,0 тис. м<sup>3</sup>/добу.

За результатами розвідувальних робіт у межах Ялинського родовища були виявлені ділянки, перспективні для централізованого водопостачання населених пунктів. Це насамперед Іванівська, Зачатівська та Катеринівська ділянки.

Іванівська та Зачатівська ділянки вивчені детально, для них затверджені запаси підзем-

них вод. Катеринівська ділянка є перспективною для постановки майбутніх детальних геологорозвідувальних робіт.

Іванівська ділянка розташована в долині балки Ярцюзька між селами Іванівка та Степне Волноваського району. Глибина залягання покрівлі горизонту — 90 м. Середня потужність водоносних пісків сягає 35 м. Підземні води напірні, величина напору становить 75 м. Дебіти свердловин коливаються від 6,0 до 38,0 дм<sup>3</sup>/с при зниженнях рівнів підземних вод в них 2,3—8,0 м. За хімічним складом підземні води Іванівської ділянки є змішаними трикомпонентними з деяким переважанням сульфат- та хлор-іона. Мінералізація підземних вод — 0,7—1,2 г/дм<sup>3</sup>. Загальна жорсткість — 7,4—12,0 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Підземні води цієї ділянки за усіма показниками, за винятком загальної жорсткості та вмісту заліза (1,2—7,6 мг/дм<sup>3</sup>

при нормі  $0,2 \text{ мг/дм}^3$ ), задовольняють вимогам ДСанПіНу 2.2.4—171—10.

Зачатівська ділянка знаходиться у долині р. Мокрі Яли між селами Златоустівка та Зачатівка Волноваського району. Глибина залягання покрівлі водоносного горизонту — 240 м. Середня потужність — 52 м. Підземні води напірні, величина напору сягає 178 м. Дебіти свердловин —  $8,0\text{—}24,0 \text{ дм}^3/\text{с}$  при зниженнях рівнів підземних вод в них  $13,6\text{—}33,3 \text{ м}$ . Підземні води Зачатівської ділянки є сульфатно-хлоридними з мінералізацією  $1,3\text{—}1,85 \text{ г/дм}^3$ . Загальна жорсткість —  $12,4\text{—}17,1 \text{ мг-екв/дм}^3$ . Підземні води цієї ділянки також практично за всіма показниками відповідають вимогам ДСанПіНу. Винятком є вміст заліза (до  $11,8 \text{ мг/дм}^3$ ), сульфатів ( $450\text{—}780 \text{ мг/дм}^3$ ) та загальної жорсткості ( $12,4\text{—}17,1 \text{ мг-екв/дм}^3$ ).

За бактеріологічними показниками підземні води обох ділянок є питними.

Сумарні експлуатаційні запаси Іванівської та Зачатівської ділянок, затверджені на засіданні Української територіальної комісії по запасах корисних копалин, становили  $38,4 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ , в тому числі за сумою категорій А + В —  $25,6 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ , за категорією  $C_1$  —  $12,8 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ , за категорією  $C_2$  —  $111,6 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ .

Варто зазначити, що Зачатівська ділянка з середньою мінералізацією підземних вод крейдово-палеогенового водоносного комплексу в природних умовах  $1,5 \text{ г/дм}^3$  знаходиться ближче до границі Конксько-Ялинської западини, ніж Іванівська ділянка з середньою мінералізацією підземних вод цього ж комплексу  $0,9 \text{ г/дм}^3$ . Це дає підставу припустити, що мінералізація підземних вод крейдово-палеогенового комплексу значною мірою залежить від міграції вод з підвищеною мінералізацією за межами Конксько-Ялинської западини, де підземні води четвертинних осадових відкладів і докембрійських кристалічних порід занадто мінералізовані.

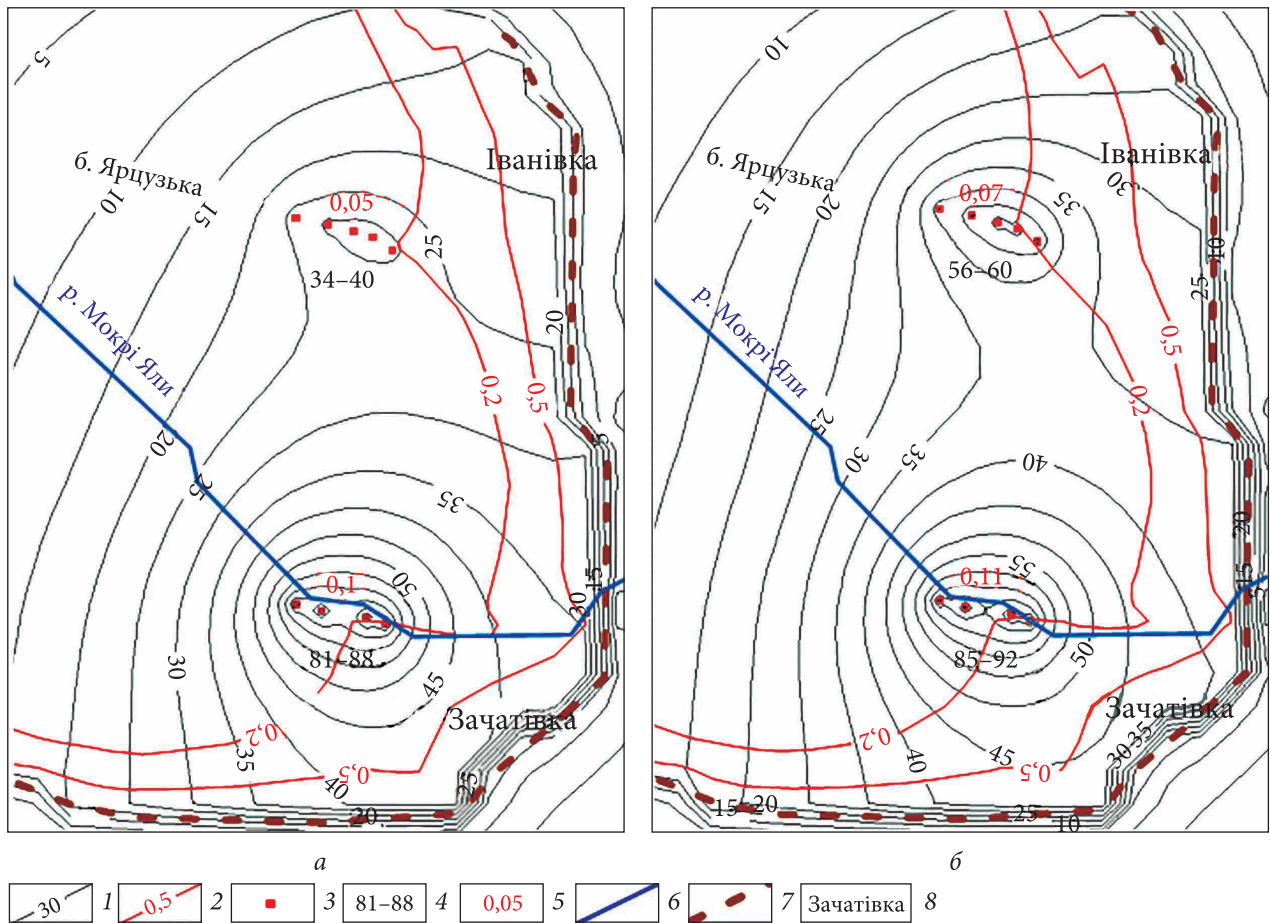
Для задоволення сучасних потреб Маріуполя у господарсько-питній воді необхідно надавати споживачам, за різними оцінками, від  $85$  до  $110 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ . З урахуванням запасів підземних вод, оцінених у межах Ялинського родовища, проблему питного водопостачання Маріуполя можна вирішити.

Моделювання процесу відбору підземних вод протягом 27 років на згаданих вище пер-

спективних ділянках Ялинського родовища із загальними дебітами, що відповідають експлуатаційним запасам за сумою категорій А + В +  $C_1$  +  $C_2$  (Іванівська ділянка —  $40 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$  і Зачатівська ділянка —  $110 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ ), показало, що при ГДЗ рівнів підземних вод на Іванівській ділянці  $56,0\text{—}80,6 \text{ м}$  модельні зниження не перевищують  $34,0\text{—}40,0 \text{ м}$ , а на Зачатівській ділянці, де ГДЗ становлять  $225\text{—}237 \text{ м}$ , зниження на моделі не перевищують  $81,0\text{—}88,0 \text{ м}$  (рис. 4, а). Оцінки попередніх досліджень щодо запасів підземних вод є досить надійними, і надлишок підземних вод на цих ділянках може бути використано для забезпечення м. Маріуполь. Але треба ще розглянути питання збереження якості підземних вод протягом щонайменше 27 років від початку їх видобування, як при затверджених загальних дебітах, так і додатково нарощених.

Варто зазначити, що в підшві крейдово-палеогенового водоносного комплексу Ялинського родовища знаходиться водоносний горизонт у кристалічних породах докембрію (третій водоносний шар на моделі) з підвищеною мінералізацією, а за межами Конксько-Ялинської западини, де крейдово-палеогеновий комплекс відсутній, розвинені четвертинні відклади і докембрійські кристалічні породи, які також мають підвищену мінералізацію. Мінералізація підземних вод у четвертинних відкладах тут знаходиться в межах  $1,2\text{—}6,0 \text{ г/дм}^3$ , переважно  $3,0\text{—}4,0 \text{ г/дм}^3$ , а в докембрійських кристалічних породах —  $0,7\text{—}8,0 \text{ г/дм}^3$ , іноді до  $40 \text{ г/дм}^3$ , здебільшого  $3,0\text{—}5,0 \text{ г/дм}^3$  [Камзіст, Шевченко, 2009].

Для визначення можливого впливу мінералізованих четвертинних і докембрійських водоносів на якість підземних вод крейдово-палеогенового водоносного комплексу Іванівської і Зачатівської перспективних ділянок в умовах їх промислової експлуатації була використана програма МТЗД, яка здатна відтворити на моделі Ялинського родовища процес можливої зміни мінералізації підземних вод в експлуатаційних свердловинах у часі. Для цього в дослідній моделі було відображено третій водоносний шар, імітуючий докембрійський водоносний горизонт з водопровідністю  $5 \text{ м}^2/\text{добу}$ , і роздільний відносно водотривкий прошарок в його покрівлі з питомою проникністю, за аналогією з південною частиною сусіднього

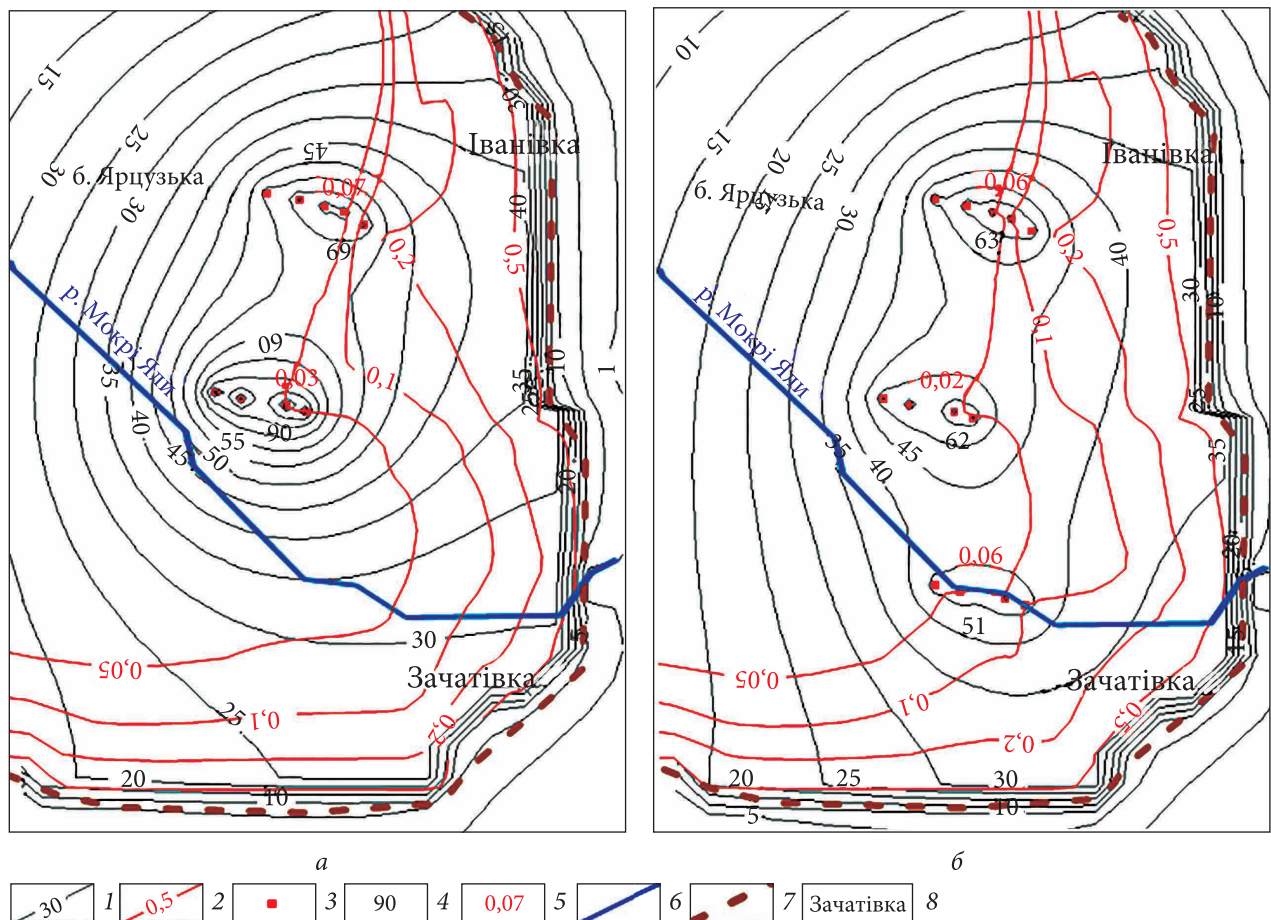


**Рис. 4.** Модельні схеми ізознижень та підвищення мінералізації підземних вод у крейдово-палеогеновому водоносному комплексі Ялинського родовища під впливом його прогнозної експлуатації протягом 27 років на Зачатівській ділянці із загальним дебітом 110 тис. м<sup>3</sup>/добу і на Іванівській ділянці із загальним дебітом а) 40 тис. м<sup>3</sup>/добу і б) 70 тис. м<sup>3</sup>/добу: 1 — лінія ізозниження рівнів підземних вод, м; 2 — лінія ізопідвищення мінералізації підземних вод, г/дм<sup>3</sup>; 3 — експлуатаційна свердловина; 4 — максимальне зниження рівня підземних вод, м; 5 — середній приріст мінералізації підземних вод, г/дм<sup>3</sup>; 6 — гідрологічна мережа; 7 — границя Конксько-Ялинської западини; 8 — населений пункт

**Fig. 4.** Model contours of groundwater level drawdown and mineralization increase in Cretaceous-Paleogene water-bearing complex of Yaly deposit under the influence of its 27-year exploitation at the Zachativka area with total withdrawal rate of 110 thousands m<sup>3</sup>/day and at the Ivanivka area — with total withdrawal rate of (a) 40 thousands m<sup>3</sup>/day and (b) 70 thousands m<sup>3</sup>/day: 1 — drawdown contour, m; 2 — contour of mineralization increase, g/dm<sup>3</sup>; 3 — water well; 4 — maximum drawdown of groundwater level, m; 5 — average increase of groundwater mineralization, g/dm<sup>3</sup>; 6 — hydrological network; 7 — boundary of the Konka-Yaly depression; 8 — settlement

Маріупольського родовища,  $k_0/m_0 = 10^{-6}$  1/добу. Тут цей прошарок сформовано корою вивітрювання докембрійських порід і глинами крейдового віку на контакті з цією корою. За межами Конксько-Ялинської западини поблизу Ялинського родовища на докембрійських кристалічних породах без відчутного роздільного шару залягають тільки четвертинні відклади. Тому на моделі питому проникність роздільного шару між цими водоносними горизонтами, за аналогією з північною окраїною Маріупольського родовища, задавали  $10^{-2}$  1/добу.

Підтягування мінералізованих підземних вод до перспективних ділянок Ялинського родовища моделювали при значеннях коефіцієнтів активної пористості порід у неоген-четвертинному водоносному комплексі 0,2, у крейдово-палеогеновому водоносному комплексі 0,05 і у тріщинуватій зоні докембрійських порід 0,003. При цьому в докембрійському водоносному горизонті Ялинського родовища і в докембрійсько-четвертинному водоносному комплексі за межами Конксько-Ялинської западини була задана мінералізація, що переви-



**Рис. 5.** Модельні схеми ізознижень та підвищення мінералізації підземних вод у крейдово-палеогеновому водоносному комплексі Ялинського родовища під впливом його прогнозованої експлуатації протягом 27 років із загальним дебітом на Іванівській ділянці 70 тис. м<sup>3</sup>/добу, а на Зачатівській ділянці а) 110 тис. м<sup>3</sup>/добу на вододілі і б) 55 тис. м<sup>3</sup>/добу на вододілі та 40 тис. м<sup>3</sup>/добу біля русла Мокрі Яли: 1 — лінія ізозниження рівнів підземних вод, м; 2 — лінія однакового підвищення мінералізації води, г/дм<sup>3</sup>; 3 — експлуатаційна свердловина; 4 — максимальне зниження рівня підземних вод, м; 5 — середнє підвищення мінералізації підземних вод, г/дм<sup>3</sup>; 6 — гідрологічна мережа; 7 — границя Конксько-Ялинської западини; 8 — населений пункт

**Fig. 5.** Model contours of groundwater level drawdown and mineralization increase in Cretaceous-Paleogene water-bearing complex of Yaly deposit under the influence of its 27-year forecasted exploitation at the Ivanivka area — with total withdrawal rate of 70 thousands m<sup>3</sup>/day and at the Zachativka area — with total withdrawal rate of (a) 110 thousands m<sup>3</sup>/day and (b) with total withdrawal rate of 55 thousands m<sup>3</sup>/day — within the watershed and 40 thousands m<sup>3</sup>/day — close to the river of Mokri Yaly: 1 — drawdown contour, m; 2 — contour of mineralization increase, g/dm<sup>3</sup>; 3 — water well; 4 — maximum drawdown of groundwater level, m; 5 — average increase of groundwater mineralization, g/dm<sup>3</sup>; 6 — hydrological network; 7 — boundary of the Konka-Yaly depression; 8 — settlement

щувала природну мінералізацію підземних вод у крейдово-палеогеновому водоносному комплексі на 3 г/дм<sup>3</sup>.

Моделювання показало, що при одночасному відборі запасів підземних вод за сумою категорій А + В + С<sub>1</sub> + С<sub>2</sub> на обох перспективних ділянках протягом 27 років мінералізація підземних вод в експлуатаційній свердловині Іванівської ділянки, що знаходяться ближче до східної границі Конксько-Ялинської западини, може збільшитись на 0,12—0,13 г/дм<sup>3</sup>, а в се-

редньому по всіх свердловинах цієї ділянки на 0,05 г/дм<sup>3</sup>. Мінералізація підземних вод в експлуатаційній свердловині Зачатівської ділянки в свердловині, що знаходиться ближче до східної і південної границь Конксько-Ялинської западини, може збільшитись на 0,19—0,23 г/дм<sup>3</sup>, а в середньому по всіх свердловинах цієї ділянки на 0,1 г/дм<sup>3</sup> (рис. 4, а).

Нарощування інтенсивності відбору води на Іванівській ділянці з 40 до 70 тис. м<sup>3</sup>/добу при максимальних зниженнях рівнів підзем-

них вод в експлуатаційних свердловинах до 56—60 м через 27 років може підвищити мінералізацію води в свердловині, що знаходиться ближче до східної границі Конксько-Ялинської западини, на 0,18—0,20 г/дм<sup>3</sup>, а в середньому по всіх свердловинах даної ділянки на 0,07 г/дм<sup>3</sup>. На Зачатівській ділянці мінералізація підземних вод в свердловині, що знаходиться ближче до східної і південної границь Конксько-Ялинської западини, може збільшитись на 0,21—0,25 г/дм<sup>3</sup>, а в середньому по всіх свердловинах цієї ділянки на 0,11 г/дм<sup>3</sup> (рис. 4, б).

Враховуючи, що середня мінералізація підземних вод крейдово-палеогенового водоносного комплексу в природних умовах на Іванівській ділянці становить 0,9 г/дм<sup>3</sup>, її можливе підвищення на 0,04—0,07 г/дм<sup>3</sup> в умовах відбору експлуатаційних запасів не вплине на якість води цього комплексу.

На Зачатівській ділянці середня мінералізація підземних вод крейдово-палеогенового водоносного комплексу в природних умовах вже досягла гранично допустимого значення 1,5 г/дм<sup>3</sup>. Тому довготривалий інтенсивний відбір води на цій ділянці може призвести до поступового погіршення її питної якості, для поліпшення якої потрібно буде змішувати воду обох згаданих вище перспективних ділянок.

Загалом через незадовільну якість води на Зачатівській ділянці, мабуть, доцільно було б перенести її експлуатаційні свердловини на більшу відстань від границь Конксько-Ялинської западини, де мінералізація підземних вод крейдово-палеогенового водоносного комплексу в природних умовах значно менша за 1,5 г/дм<sup>3</sup>, наприклад на вододіл між балкою Ярузька і р. Мокрі Яли або біля русла р. Мокрі Яли, але на декілька кілометрів нижче за течією. До того ж і тестове моделювання одночасного видобування підземних вод з крейдово-палеогенового водоносного комплексу на згаданому вище вододілі із загальним дебітом у 110 тис. м<sup>3</sup>/добу і на Іванівській ділянці 70 тис. м<sup>3</sup>/добу, при невеликій різниці між значеннями фільтраційних параметрів водоносних і відносно водотривких порід на існуючій і новій ділянках, встановило на вододілі помітно

менший приріст мінералізації підземних вод (рис. 5, а), ніж такий у попередньому варіанті розташування свердловин Зачатівської ділянки біля русла р. Мокрі Яли (див. рис. 4, б).

На рис. 5, б показано також результати моделювання одночасної експлуатації крейдово-палеогенового водоносного комплексу на Іванівській, Зачатівській і вододільній ділянках із загальним дебітом 180 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Щодо водопостачання Маріуполя, то з наведених вище результатів модельних експериментів випливає, що нарощування відбору підземних вод на Іванівській і Зачатівській ділянках без ризику втрати якості води на Зачатівській ділянці неможливо. Якщо не переносити частину або всі запаси підземних вод Зачатівської ділянки на екологічно більш сприятливе місце, то цю проблему можна вирішити за такою схемою:

- наростити експлуатаційні запаси підземних вод крейдово-палеогенового водоносного комплексу на Іванівській ділянці до 70—80 тис. м<sup>3</sup>/добу;
- частину раніше затверджених експлуатаційних запасів підземних вод крейдово-палеогенового водоносного комплексу на Зачатівській ділянці (55—65 тис. м<sup>3</sup>/добу) залишити на потреби Волноваського району, а різницю 45—55 тис. м<sup>3</sup>/добу плюс 30—40 тис. м<sup>3</sup>/добу з Іванівської ділянки в змішаному вигляді перевести на потреби Маріуполя.

## Висновки

На підставі проведених досліджень можна стверджувати таке:

1. Експлуатаційні ресурси технічних підземних вод у Маріуполі та його околицях обмежені. Вони сягають 40 тис. м<sup>3</sup>/добу. Середня мінералізація підземних вод тут становить близько 3 г/дм<sup>3</sup>.

2. Найбільш реальним резервним джерелом питного водопостачання населення Маріуполя можуть бути підземні води Іванівської і Зачатівської ділянок Ялинського родовища на південно-східному краї Конксько-Ялинської западини, що знаходиться в 60—65 км на північний захід від Маріуполя.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Камзіст Ж.С., Шевченко О.Л. Гідрогеологія України. Київ: ІНКОС, 2009. 614 с.  
Климентов П.П., Богданов Г.Я. Общая гидрогеология. Москва: Недра, 1977. 357 с.  
Справочник гидрогеолога. Т. 1: Максимов В.М. (ред.). Ленинград: Недра, 1967. 592 с.  
Chiang W.-H., Kinzelbach W. 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. 346 p.

Стаття надійшла 16.12.2019

## REFERENCES

- Kamzist Zh.S., Shevchenko O.L. (2009). Hydrogeology of Ukraine. Kyiv, INKOS, 614 p. (in Ukrainian).  
Chiang W.-H., Kinzelbach W. (2001). 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, Berlin, Heidelberg, 346 p. (in English).  
Climentov P.P., Bogdanov G.Ya. (1977). General Gydrogeology. Moscow, Nedra, 357 p. (in Russian).  
Handbook for Hydrogeologist. Vol. 1. (Ed. V.M. Maksimov). (1967). Leningrad, Nedra, 592 p. (in Russian).

Received December 16, 2019

V.M. Shestopalov, Acad. of NAS of Ukraine, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.),  
Prof., Director, SI "Radioenvironmental Centre of NAS of Ukraine",  
55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054  
E-mail: vsh@hydrosafe.kiev.ua  
B.D. Stetsenko, Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), SRF,  
SI "Radioenvironmental Centre of NAS of Ukraine",  
55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054  
E-mail: stetsenko@hydrosafe.kiev.ua  
Yu.F. Rudenko, Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), SRF, Deputy Director,  
SI "Radioenvironmental Centre of NAS of Ukraine",  
55-b, O. Honchara str., Kyiv, Ukraine, 01054  
E-mail: rud@hydrosafe.kiev.ua

## THE PROBLEMS OF DRINKING WATER SUPPLY TO MARIUPOL AND PROPOSALS TO SOLVE THEM THROUGH THE USE OF GROUNDWATER (UKRAINE)

The results of studying the possibility for drinking water supply of Mariupol by groundwater in case of loss of its main modern source of fresh water — Siversky Donets river due to possible aggressive actions of the Donetsk separatists are presented. For this, the groundwater resources of the Mariupol deposit were first studied to solve the problems of supply of Mariupol with drinking water. A hydrogeological model of this deposit has been created for it, on which the structure of water exchange and the sources of formation of groundwater operational resources have been studied. It has been shown that within this deposit, groundwater with mineralization not exceeding  $1.5 \text{ g/dm}^3$  is found sporadically and their operational reserves are very small. Safe yield of industrial water with mineralization of more than  $1.5 \text{ g/dm}^3$  are limited to 40 thousand  $\text{m}^3/\text{day}$ , which is also insufficient to satisfy Mariupol. Subsequently, the possibilities of drinking water supply to Mariupol due to fresh groundwater of Cretaceous and Paleogene water-bearing complex of Yaly deposit, located 60—65 km northwest of Mariupol, were studied. A hydrogeological model of the Yaly groundwater deposit has been created, on which the structure of the water exchange and sources of the formation of groundwater exploitable resources of the Ivanivka and Zachativka promising areas have been studied. It is shown that this water-yielding complex has fresh groundwater resources sufficient to provide drinking water to Mariupol, Volnovakha and other settlements around Yaly deposit, but there is also a risk of a gradual deterioration of the groundwater quality of the Zachativka area due to the pulling of brackish water from other aquifers. The influence of brackish groundwater from the Precambrian crystalline basement and the Quaternary aquifer outside the Konka-Yaly depression on the water quality of promising sites of the Yaly deposit is estimated. Various layouts of producing wells and the intensity of water withdrawal from them to preserve its quality are considered. It is concluded that it is promising to transfer part of the exploitable groundwater resources of the Zachativka area to the watershed between the Zachativka and Ivanivka areas or several kilometers downstream of Mokri Yaly river. If the aforementioned option for optimizing water withdrawal is rejected, the authors of the article put forward a proposal to reapprove the safe yield of groundwater of the Ivanivka and Zachativka areas, that is, to increase it at the Ivanivka area by about two times, and decrease it by about two times at the Zachativka area. Waters from Ivanivka and Zachativka areas for drinking water supply of Mariupol must be mixed.

**Keywords:** groundwater; Cretaceous-Paleogene water-bearing complex; mathematical modeling; Mariupol groundwater deposit; Yaly groundwater deposit; safe yield; quality of groundwater.