

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ КАПТАЖІВ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В СУЧАСНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Яковлев В.В.¹, Цифра Ю.М.², Дмитренко Т.В.¹

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків

²Незалежний дослідник

yakovlev030157@gmail.com, ubk_tsifra@ukr.net, Tetyana.Dmytrenko@kname.edu.ua

З огляду на швидку аридизацію клімату, загрозу тероризму і воєнних дій, обґрунтовано актуальність удосконалення каптажних споруд (КС) децентралізованого водопостачання. У звичайних умовах навіть зменшені ресурси поверхневих вод у купі з захищеними запасами підземних вод можуть вирішувати задачу водопостачання. Останні події військової агресії проти України показали, що наразі централізовані системи водопостачання дуже вразливі. Це стосується пошкодження водозабірних станцій і водоводів, враження систем генерації й передачі електричної енергії, без яких стає функціонування системи централізованого водопостачання припиняється.

У роботі запропоновано оригінальну конструкцію каптажної споруди, яка має переваги у порівнянні з колодязями й свердловинами, та позбавлена їх недоліків. Розглянуто переваги запропонованої конструкції КС у порівнянні з традиційними колодязями й неглибокими свердловинами. Надаються пояснення щодо способу і порядку її будівництва – буріння та облаштування. Нова конструкція є безпечною при її спорудженні, забезпечує накопичення достатньої кількості води та герметизацію устя, що дозволяє зменшити нітратне забруднення води, яке у відкритих колодязях спричиняється накопиченням насиченого біотою мулу. Експлуатаційними перевагами у порівнянні з колодязями є більша глибина, що дозволяє уникнути зневоднення каптажу при зниженні рівня ґрунтових вод, яке пов'язане з аридизацією клімату. Робочими є два експлуатаційних стовбури, один з яких призначений для видобування води насосом, а другий – для ручного підйому. Екологічною і санітарною перевагою у порівнянні з колодязною конструкцією є ізолюваність джерела підземної води від атмосфери та забруднень, які можуть надходити з поверхні. *Ключові слова:* колодязь, свердловина, каптажна споруда, питна вода, децентралізоване водопостачання.

Improvement of groundwater tapping facilities of the decentralised water supply under current environmental conditions.
Yakovlev V., Tsyfra Yu., Dmytrenko T.

In the context of the rapid aridisation of the climate, the threats of terrorism and hostilities, the topicality of improving the ground water tapping facilities (GWTF) of decentralized water supply is substantiated. Under normal conditions, even reduced surface water resources, together with protected groundwater resources, can solve the problem of water supply. Recent events of military aggression against Ukraine have shown that centralized water supply systems are currently very vulnerable. This applies to damage to water intake stations and water conduits, damage to systems for generating and transmitting electrical power, without which the permanent functioning of the centralised water supply system is terminated.

The authors propose an original design of a ground water tapping facility which has advantages over wells and drillholes and is devoid of their faults. The advantages of the proposed GWTF design in comparison with traditional wells and shallow drillholes are considered. Explanations about the method and procedure for its construction – drilling and outfitting – are given. The new design is safe to construct and ensures the accumulation of sufficient water and wellhead sealing, which reduces the nitrate contamination of water, associated with the accumulation of biota-saturated sludge in open drillholes. In comparison with common wells, the operational advantage of the proposed design is a greater depth allowing to avoid dehydration of ground water tapping facility when the groundwater table drops by the impact of climate aridisation. There are two operational horeshafts, one of which is designed for water extraction by an electrically driven pump, and the second one for manually operated pump. The environmental and sanitary advantages compared to the common well design is the isolation of the groundwater source from the atmosphere and pollution that may come from the ground surface. *Key words:* well, drillhole, groundwater tapping structure, potable water, decentralised water supply.

Постановка проблеми. Забруднення поверхневих водних об'єктів та погіршення якості води в системах централізованого водопостачання привело до пошуку додаткових джерел водопостачання населення. За останні роки у великих містах України, наприклад, Києві, Харкові, Одесі та ін., введено в експлуатацію артезіанські свердловини, які забезпечують населення водою більш високої якості. Вода забирається з підземних горизонтів, захищених від антропогенного впливу. Наявність додаткового джерела водопостачання дозволяє забезпечити надійність водопостачання. Це особливо важливо

у разі виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із можливими техногенними катастрофами, воєнними діями, небезпекою терористичних актів та ін. Роботу присвячено проблемі удосконалення каптажних споруд децентралізованого водопостачання, які використовуються населенням для господарсько-побутових і питних цілей.

Актуальність дослідження. Події військової агресії Росії проти України показали, що централізовані системи водопостачання дуже вразливі. Це стосується не тільки пошкодження водозабірних станцій та водоводів, а й порушення систем генера-

ції і передачі електричної енергії, без яких централизоване водопостачання припиняється. У свій час автор робив застереження щодо такого характеру ураження систем водопостачання [1], але вони залишилися без необхідної уваги.

Державними програмами покращення сфери водопостачання [2; 3] передбачається шлях удосконалення систем централізованого водопостачання. З огляду на швидку зміну клімату та, особливо, критичні ситуації, такі як воєнні дії й тероризм, доцільним є дублювання систем водопостачання запасними й альтернативними системами. Стосовно населених пунктів у сільській місцевості й, взагалі, приватних садиб, незалежно від їх місцезнаходження, актуальним є новий погляд на конструкцію каптажних споруд децентралізованого водопостачання, що удосконалює традиційні колодязі та неглибокі свердловини.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи відповідає основним принципам і напрямкам державної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення водних ресурсів України, зокрема, Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття в Україні, у зв'язку з аридизацією клімату, загострюється проблема водопостачання. У звичайних умовах навіть зменшені ресурси поверхневих вод у купі з захищеними запасами підземних вод, за великим рахунком, можуть вирішувати задачу водопостачання. Але поверхневі води як джерело питного водопостачання дуже вразливі. Вони не захищені від техногенного впливу через токсичні атмосферні опади на глобальному рівні, про що свідчить забруднення навіть антарктичного льоду [4]. Повсюдно зі стічними водами з селітебних територій до поверхневих вод надходять поверхнево-активні речовини [5], фармацевтичні препарати [6–11]. Дуже поширеним є забруднення ґрунтів і елементів поверхневої гідросфери нафтопродуктами [12–14]. Існує постійна загроза терористичних актів отруєння джерел водопостачання [1; 15; 16] і глобального впливу на гідросферу аж до рівня «ядерної зими», що передбачає довгострокове забруднення і замерзання поверхневих джерел прісної води [17; 18].

Ґрунтові води на території України, як і повсюдно у Світі, також схильні до забруднення [19–22], але відносно поверхневих вод, при належних заходах охорони вони мають перевагу. Тому, в умовах вразливості централізованих систем водопостачання, актуальним є питання, перш за все, екологічного удосконалення каптажів децентралізованого водопостачання, які у своїй сукупності є більш розосередженою і стійкою системою життєзабезпечення.

Викладення основного матеріалу. Характерною особливістю колодязів є можливість накопичення

в них певного об'єму води, який звичайно є достатнім для покриття добової потреби у приватному господарстві. У період відстою, навіть при слабо фільтруючих водовмісних ґрунтах, відбувається відновлення статичного рівня та об'єму води, і таким чином забезпечується стабільність умов водокористування. В цьому є перевага перед свердловинами, де такого об'єму води немає і тому їх звичайно облаштовують на більш проникні та водорясні шари ґрунтів, які, як правило, залягають глибше. Окрім того, у свердловинах видобуток води відбувається за допомогою електричних насосів, що з точки зору надійності дає перевагу колодязям, де підйом води можливий ручним способом. Суттєвими перевагами використання колодязів є те, що за допомогою них використовується найбільш доступний ресурс води першого від поверхні водоносного горизонту, їх будівництво не потребує спеціального бурового устаткування, і, як правило, облаштування колодязя дешевше за буріння та облаштування свердловин.

З іншої сторони, перевагою свердловин є те, що вони у більшості випадків можуть забезпечувати більш рясний водоприплив внаслідок їх облаштування на водоносні шари з кращими фільтраційними властивостями та більшого зниження динамічного рівня. Також перевагою свердловин є більша захищеність джерела водопостачання від забруднення з поверхні. Однак практика показала, що при спорудженні свердловин на другий від поверхні, більш захищений водоносний горизонт, діючі бурові фірми з економічних причин обмежуються встановленням «прямої» колони труб, яка одночасно є й експлуатаційною, і фільтровою. Це призводить до проникнення забруднених ґрунтових вод до експлуатаційного горизонту уздовж затрубного простору між стінкою свердловини та обсадною трубою. Водокористувачі не беруть до уваги цей аспект конструкції, оскільки не мають знань у цій області, і при виборі виконавця будівництва свердловини переважно керуються економічними міркуваннями, що передбачає реалізацію якомога простої конструкції. Очевидним стає факт, що страждає не тільки сам водокористувач – одночасно пробурена свердловина стає постійним джерелом забруднення більш глибоких, ніж ґрунтовий, водоносних горизонтів, вода з яких використовується і сусідніми водозабірними спорудами.

Автори спробували вирішити актуальну проблему технічного удосконалення каптажних споруд (КС) децентралізованого водопостачання шляхом усунення вищевказаних недоліків і поєднання переваг колодязного і свердловинного способів конструктивного облаштування.

Типовими гідрогеологічними умовами в Україні є двошарова будова – слабо фільтруючий суглинстий шар підстеляється відносно більш проникним шаром піщаних або інших ґрунтів. При значній потужності верхнього шару глибина споруди для видобутку води може не досягати його підшви, і для

колодязів в таких умовах характерним є малий приплив води. Окрім того, за рахунок малої величини активної пористості водовмісних ґрунтів, характерною є значна амплітуда сезонних коливань рівнів ґрунтових вод, що подекуди перевищує 3 м [23].

Враховуючи вищесказане, питання удосконалення конструкції КС розглянемо для найбільш несприятливого для видобутку випадку, коли шар відносно малопроникних суглинків підстеляється більш щільними й більш водотривкими суглинками та глинами. При цьому необхідно зазначити, що з деякими відмінностями пропонується технологія спорудження КС може бути використана і в умовах іншого геологічного розрізу, зокрема з відкриттям в нижній частині більш проникних ґрунтів, наприклад, піщаних.

На рис. 1 наведена принципова конструкція запропонованої КС, а нижче надаються пояснення

щодо способу і порядку її будівництва – буріння та облаштування.

КС необхідно розташовувати з урахуванням санітарних вимог на віддалені від джерел забруднення [24], а спосіб буріння визначається гідрогеологічними умовами, головними з яких є склад ґрунтів (проектного геологічного розрізу) і глибина рівня ґрунтових вод на вибраній ділянці. Для коректного обґрунтування зони санітарної охорони та способу буріння КС доцільно залучити спеціаліста – гідрогеолога, завданням якого є обґрунтування зони захвату підземних вод, виходячи з проектного об'єму забору води та конкретних гідрогеологічних умов. Також, на основі даних про характер водовмісних порід гідрогеологом визначається глибина і спосіб буріння КС. Для зв'язних порід (суглинки, глини) буріння виконується шнековим способом без кріплення стінок діаметром 500–600 мм.

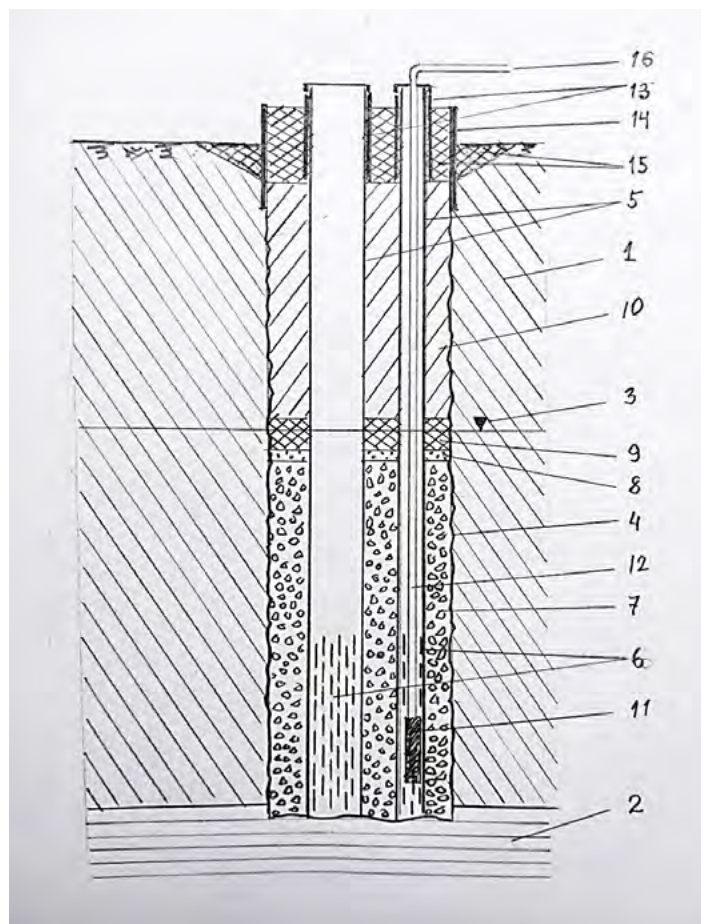


Рис. 1. Принципова конструкція удосконаленої каптажної споруди у слабопроникних відкладах, призначена для децентралізованого водопостачання

- 1 – суглинок; 2 – глина; 3 – рівень ґрунтових вод; 4 – стінки свердловини діаметром 500–600 мм;
- 5 – пластикові труби діаметром 100–140 мм (для встановлення насоса) і труби діаметром 140–250 мм (для ручного підйому води); 6 – щелева перфорація; 7 – гравійна засипка;
- 8 – піщана подушка; 9 – цементна пробка; 10 – зворотна засипка вибуреним суглинком;
- 11 – електричний поглиблений насос; 12 – водопідйомна труба; 13 – металеві патрубки й кришки на устях експлуатаційних колон; 14 – короткий патрубок на усті каптажної споруди діаметром 350–600 мм; 15 – цементна заливка на усті й відмостка; 16 – подача води на використання

Слід зазначити, що при наявності нестійких порід (наприклад, піщаних) застосовується буріння з промивкою, або з тимчасовим кріпленням стінок технічною обсадною колоною.

В пробурену свердловину великого діаметра встановлюються дві фільтрові (вони ж експлуатаційні) пластикові колони труб, перфоровані у нижній частині, як показано на рис. 1. Перфорація робиться не на всю потужність обводнених ґрунтів, а тільки на нижню частину для запобігання потрапляння атмосферного повітря у водоносний горизонт, що зменшує вірогідність розвитку бактеріального забруднення води у джерелі. Після встановлення фільтрових труб їх обсіпають гравійним або гребістим матеріалом – кварцового, вапнякового, доломітового або іншого складу (застосовуються хімічно інертні породи). Оскільки активна пористість і коефіцієнт фільтрації такого насипного матеріалу (експертно – 0,25–0,35 і 50–300 м/добу, відповідно) значно перевищують такі у суглинистому ґрунті (0,05–0,07 і 0,01–0,5 м/добу), це дозволить накопичувати у період відстою КС і відбирати певний об'єм гравітаційної води за один прийом.

Завантаження гравійно-піщаного матеріалу доцільно робити при доливі води через фільтрові колони з метою більш щільної укладки насипного матеріалу. Контроль рівня засипки виконується за допомогою металевого щупа або рулетки. Після заповнення виробки до рівня, на 0,15–0,20 м нижче природного рівня ґрунтових вод (який встановлюється при бурінні), поверх гравійно-піщаного матеріалу засипають 0,10–0,15 м шар дрібного кварцового піску. Цей шар є спеціальною подушкою для наступного цементного шару товщиною 0,30–0,50 см, який призначений для ізоляції від забруднення ґрунтових вод з поверхні уздовж каналу буріння.

На цій стадії доцільно виконати промивку позафільтрової обсіпки для видалення мулу шляхом почергового прокачування води у фільтрових колонах з доливом її у сусідню. Закінчують прокачування після повного освітлення води.

Після затвердіння цементної пробки верхня частина виробки заповнюється вибуреним суглинком, який попередньо замочується до текуче-пластичного стану. Такий стан ґрунту потрібен для ефективного заповнення всього об'єму при умові, що ущільнення стовбура трамбуванням небажане з причини можливого порушення вертикальності пластикових експлуатаційних колон.

На усті КС встановлюється короткий патрубок, який бетонується зсередини. Верхні частини свердловин армуються сталевими патрубками необхідного діаметру, які закріплюються у бетонній тумбі. Також навколо устя облаштовується цементна відмостка, як це показано на рис. 1.

При заборі води за допомогою занурювального насоса необхідно встановити датчик сухого ходу для автоматичного відключення насоса при зниженні рівня води до критичної глибини.

При відсутності електроенергії для відбору води ручним способом не потрібно підіймати насос, а відбір відбувається ручним способом у іншій експлуатаційній колоні більшого діаметра. Воду підіймають відром об'ємом 5–10 л з нижнім клапаном. Для цього на усті КС встановлюється вороток, подібний колодязному. Для запобігання пошкодженню пластикових труб фільтрової колони, ширина барабана, на який намотується підйомний трос, не повинна перевищувати діаметр експлуатаційної труби.

Зрозуміло, що якість ґрунтових вод далеко не завжди відповідає нормативам для питної води. Проте, відносно варіанта звичайного колодязя, якість води у спорудженій КС буде вищою за рахунок більшої глибини підземних вод і захищеності від забруднення з атмосфери. Опис деяких способів кондиціювання колодязних вод і збереження їх свіжості у побутових умовах надані автором окремо [14].

Головні висновки. Як висновки перелічимо переваги запропонованої конструкції КС у порівнянні з традиційними колодязями й неглибокими свердловинами.

Експлуатаційними перевагами у порівнянні з колодязями є більша глибина, що дозволяє уникнути зневоднення каптажу при зниженні рівня ґрунтових вод, пов'язаним з аридизацією клімату. У порівнянні зі свердловинами відповідної глибини, запропонована конструкція КС дозволяє користуватися запасеним об'ємом води, що накопичується в інтервалі гравійно-піщаної засипки. Перевагою є можливість дублювання механічного забору води ручним відбором зі спеціальної фільтрової колони. Наявність двох каналів забору води збільшує функціональну стійкість КС, адже з виходом зі строю одного з фільтрів, експлуатацію можливо повноцінно продовжувати механічним і ручним способами в другій фільтровій колоні в перемінному режимі.

Екологічною і санітарною перевагою, у порівнянні з колодязною конструкцією, є ізолюваність джерела підземної води від атмосфери та забруднень, які можуть надходити з поверхні. Це дозволяє підтримати бактерицидність води та захистити її від аномального забруднення нітратами, яке у колодязях пов'язане з накопиченням у донних відкладах залишків біоти.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень можуть бути використані органами виконавчої влади, об'єднаних територіальних громад при облаштуванні колективних джерел децентралізованого водопостачання, а також фермерами, окремими господарями з метою покращення якості та захищеності колодязних вод.

Література

1. Яковлев В.В. Угрозы бесперебойному функционированию городских водопроводов Украины и меры по защите населения. *Науковий вісник будівництва*. 2010. Вип. 56. С. 147–152.
2. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.04.2021 р. № 388-р. *Офіційний вісник України*. 2021. № 37. Ст. 2250.
3. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну ріки Дніпро на період до 2021 року. *Відомості Верховної Ради України*. 2013. № 17. Ст. 146.
4. Environmental contamination in Antarctica / Ed. by S. Caroli, P. Cescon, D.W.H. Walton. Amsterdam: Elsevier (2001). 420 p.
5. Яцик А. В. Екологічна ситуація в Україні і шляхи її поліпшення. Київ : Оріяни, 2003. 84 с.
6. Виставна Ю.Ю., Руско Ю.О. Фармацевтичні речовини у природних водах: моніторинг та екологічний ризик. *Комунальне господарство міст, серія «Технічні науки та архітектура»*. 2011. Вип. 97. С. 134–140.
7. Bartelt-Hunt, Snow, S.L., Damon, D. D. [et al.]. (2009). The occurrence of illicit and therapeutic pharmaceuticals in wastewater effluent and surface waters in Nebraska. *Environmental Pollution*. № 157 (3). P. 786–791.
8. Clara M., Strenn, B., Kreuzinger, N. (2004). Carbamazepine as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations on the behavior of carbamazepine in wastewater treatment and during groundwater infiltration. *Water Research*. № 38 (4). P. 947–954.
9. Cleuvers, M. (2003). Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology Letters*. 142 (3). P. 185–194.
10. MacLeod, S.L., McClure E. L., Wong, C. S. (2007). Laboratory calibration and field deployment of the polar organic chemical integrative sampler for pharmaceuticals and personal care products in wastewater and surface water. *Environmental Toxicology and Chemistry*. № 26. P. 2517–2529.
11. Vystavna Y., Frkova Z., Celle-Jeanton H., Diadin D., Huneau F., Steinmann M., Crini N., Loup C. (2018). Priority substances and emerging pollutants in urban rivers in Ukraine: Occurrence, fluxes and loading to transboundary European Union watersheds. *Science of the Total Environment*. Vol. 637–638. P. 1358–1362.
12. Суярко В.Г., Сердюкова О.О. Особливості забруднення підземних вод у зонах впливу нафтогазопромислів. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія – Географія – Екологія»*. 2010. № 924. С. 222–225.
13. Огняник Н.С., Парамонова Н.К., Брик А.Л. и др. Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев : LAT&K, 2013. 254 с.
14. Osborn, S.G., Vengosh A., Warner N.R., Jackson R.B. (2011). Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. *PNAS*. Vol. 108. P. 8172–8176.
15. Яковлев В.В. Інженерні заходи впливу на гідрохімічний склад ґрунтових вод. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2012. Вип. 5. С. 98–102.
16. Яковлев В.В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. ... д-ра геол. наук: 21.06.01 / Харків. нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна. Харків, 2017. 351 с.
17. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях / Шестопапов В.М., Огняник Н.С., Дробноход Н.И. и др.; отв. ред. В.М. Шестопапов. Киев: Наукова думка, 1991. 528 с.
18. Crutzen, P.L., Birks, J.W. (1982). The Atmosphere after a Nuclear War: Twilight at Noon. *Ambio*. V. 11. № 2/3. P. 114–125.
19. Яковлев Є.О. Регіональна оцінка територіального розподілу та екологічного стану підземних вод України (зона активного водообміну). *Водопостачання та водовідведення*. 2008. С. 46–51.
20. Злобина В.Л., Джамалов Р.Г. Тенденции изменения качества подземных вод при загрязнении атмосферных осадков. *Геоэкология*. 1998. № 3. С. 17–23.
21. Дмитренко Т.В., Яковлев В.В., Костенко Н.В. Экологические аспекты использования родниковых вод урбанизированных территорий для питьевого водоснабжения (на примере г. Харькова). *Науковий вісник будівництва*. 2003. Вип. 21. С. 209–224.
22. Дмитренко Т.В., Яковлев В.В. Техногенез ґрунтових вод на подтоплених територіях на прикладі Харківська. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2014. Вип. 7. С. 46–52.
23. Стан підземних вод України: щорічник / під ред. С.І. Примушко, Т.Д. Білошпаської, В.Ф. Величко. Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2011. 120 с.
24. Постанова Кабінету Міністрів України «Про правовий режим зон санітарної охорони водних об'єктів» від 18.12.1998 р. № 2024. *Офіційний вісник України*. 1998. № 51. Ст. 1890.