

Д. В. Дядін

*Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова*

ПРИНЦИПИ РОЗМІЩЕННЯ ПУНКТІВ ЛОКАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ПІДЗЕМНИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД НА ДІЛЯНКАХ НАФТОГАЗОВИДОБУВАННЯ

У статті розглянуті принципи просторового розміщення пунктів локального моніторингу стану гідросфери на території діяльності нафтогазовидобувних підприємств. Встановлені загальні концептуальні підходи до формування спостережної мережі з урахуванням специфіки нафтогазовидобувних об'єктів як джерел забруднення підземних і поверхневих вод. Розроблені критерії вибору та розміщення на місцевості пунктів спостереження за категоріями – водозабірні свердловини, колодязі, каптажі джерел, спостережні свердловини та поверхневі водні об'єкти.

Показано, що ключовою основою для встановлення пунктів моніторингу вод є цифрова модель рельєфу, за якою визначається не тільки структура поверхневого стоку, але й напрямки руху неглибоких безнапірних підземних вод. Наведено алгоритм створення цифрової моделі рельєфу та визначення контурів водозбірних площ за обраними створами з використанням геоінформаційних технологій.

Автором статті розглянуті принципи розміщення спостережних свердловин ґрунтуються на напрямках і фільтраційних параметрах першого від поверхні водоносного горизонту, але їхнім головним завданням має бути якомога швидке перехоплення забруднених вод на ділянках експлуатації нафтогазовидобувних об'єктів. Кількість спостережних свердловин залежить, таким чином, від кількості таких об'єктів (або ділянок їхнього зосередження) на родовищі. У разі відсутності гідрогеологічних даних щодо площинної будови рівневої поверхні ґрунтових вод, для визначення напрямків руху води доцільно використовувати модель поверхневого стоку, принаймні в ландшафтних умовах Східного нафтогазоносного басейну на Лівобережній Україні. Для визначення місць розташування пунктів спостережень за якістю поверхневих вод найефективнішим інструментом є побудування цифрової моделі рельєфу та моделювання контурів локальних водозбірних площ за обраними створами методами сучасних геоінформаційних технологій.

У роботі наведені підходи до розміщення пунктів локальної спостережної мережі підземних і поверхневих вод можуть бути застосовані також для проведення процедури оцінки впливу на довкілля як нафтогазових родовищ в цілому, так і окремих нафтогазопромислових об'єктів.

Ключові слова: моніторинг, режимна мережа, підземні та поверхневі води, нафтогазовидобування, цифрова модель рельєфу.

Постановка проблеми. Видобування нафти і газу визнається одним із найбільш екологічно небезпечних видів антропогенної діяльності, який створює високі ризики негативного впливу на всі компоненти довкілля, включаючи прямий та опосередкований вплив на здоров'я людини. Одне з перших місць серед цих ефектів посідають впливи на стан питної води та водних екосистем, що часто викликає серйозну стурбованість як у світової спільноти, так і в українському суспільстві. Саме тому, екологічна політика сучасних і відповідальних нафтогазовидобувних підприємств має бути спрямована на недопущення будь-яких негативних впливів на стан гідросфери шляхом застосування максимально ізольованих систем поводження з продукцією, постійного ретельного контролю технологічних процесів і проведення моніторингу якості водних об'єктів на території своєї діяльності. І якщо перші два пункти є по суті інженерно-технологічними завданнями, то останній передбачає науково-обґрунтовані підходи із залученням спеціальних наукових знань зі сфери гідрології, гідрогеології, екології та охорони довкілля.

За визначенням моніторинг довкілля є системою спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки [1]. Чинне природоохоронне законодавство України зобов'язує нафтогазовидобувні підприємства проводити екологічний моніторинг на території своєї діяльності на всіх етапах її провадження [2]. При цьому,

найбільшої уваги серед інших компонентів довкілля заслуговує водне середовище в силу свої природної динамічності й уразливості від негативного впливу від нафтогазовидобувних процесів [3].

Основою для організації моніторингу природних вод, як цілеспрямованої науково-обґрунтованої системи спостережень, є локальні режимні мережі, які на ділянках техногенного впливу дозволяють визначити просторово-часову картину забруднення підземних і поверхневих вод [4]. Зобов'язання підприємств, що створюють ризики забруднення підземних вод, споруджувати спостережні мережі закріплені у Водному Кодексі України [5].

Складним, але ключовим завданням під час організації моніторингу підземних і поверхневих вод на окремому нафтогазовому родовищі є обґрунтування складу режимної мережі, включаючи вибір пунктів спостережень, визначення їхньої кількості та місць оптимального розміщення. Від цього залежить як ефективність впровадженої системи спостережень, так і її економічна вартість, що є важливим аспектом для будь-якого підприємства. Організація і проведення моніторингу потребують застосування науково-обґрунтованих підходів до визначення складу спостережних мереж, які б забезпечили виконання завдань моніторингу з оптимальними витратами на його провадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підходи до вибору і розміщення пунктів спостережень за станом підземних вод вивчалися як зарубіжними, так і вітчизняними фахівцями. Перші, достатньо змістовні настанови, що діяли на території України, виникали наприкінці радянських часів у складі рекомендацій із проведення досліджень для оцінки забруднення підземних вод [6, 7]. У них були сформульовані важливі базові принципи створення режимних мереж – охоплення зони активного водообміну (як мінімум ґрунтові води і перший від поверхні міжпластовий водоносний горизонт), поєднання існуючих водозабірних об'єктів із спеціальними спостережними свердловинами, регулювання складу і регламенту обслуговування режимних мереж відповідно до змін гідрохімічної ситуації у часі та у просторі.

Згідно настанов щодо моніторингу підземних вод, складених Європейською комісією для виконання Водної Директиви, розробка мережі спостережень має враховувати тривимірність підземних водних об'єктів, а також їхню просторову і часову мінливість, особливо під час вибору місць розміщення пунктів моніторингу. Просторова і часова щільність спостережної мережі має ґрунтуватися на концептуальному розумінні природних особливостей будови водоносних горизонтів та ризиків забруднення. Спостереження мають бути сфокусовані на тих ділянках, де значне антропогенне навантаження поєднується із вразливістю підземних вод [8].

Слід зазначити, що переважна більшість наявних літературних джерел та настанов детально обґрунтовує принципи регулярного за площею розміщення пунктів спостережної мережі. Розташування пунктів за відносно рівномірною мережею є доцільним для моніторингу державного і регіонального рівня, метою якого є отримання узагальнених даних щодо гідрохімічної ситуації на значних площах. Окремі деталі підходів до розташування пунктів гідрохімічного моніторингу на регіональному рівні розроблені у роботах фахівців із Західного нафтогазоносного басейну – наприклад, у межах нафтогазопромислів Богородчанського району [9], Надвірнянського району [10]. У разі організації спостережень на окремому нафтогазовому родовищі, моніторинг носить локальний характер, і потребує інших підходів, які висвітлені в цілому недостатньо.

Метою досліджень є визначити й обґрунтувати ключові принципи розміщення пунктів локального моніторингу підземних і поверхневих вод на ділянках провадження нафтогазовидобувної діяльності. Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- окреслити концептуальні схеми підходів до вибору місць розташування пунктів моніторингу підземних і поверхневих вод у межах нафтогазового родовища;
- встановити критерії розміщення пунктів моніторингу окремо для різних типів водопунктів – водозабірних свердловин, колодязів, каптажів джерел, спостережних свердловин, створів поверхневих водних об'єктів, виходячи зі специфіки кожного типу;
- запропонувати алгоритм визначення структури поверхневого і підземного стоку як основи для встановлення пунктів спостережної мережі засобами геоінформаційних технологій.

Виклад основного матеріалу. Об'єкти нафтогазовидобувної інфраструктури, як техногенний компонент навколишнього середовища, перебувають у постійній взаємодії з об'єктами підземної та поверхневої гідросфери. Вплив на водні об'єкти відбувається шляхом формування техногенних потоків забруднювальних речовин із поверхневим і підземним стоком,

напрямки яких визначаються рельєфом території, ландшафтними позиціями джерел забруднення, морфологією річкової мережі та будовою верхньої частини геологічного розрізу. Створення спостережної мережі за станом гідросфери має спиратися на концептуальне розуміння геологічної будови території нафтогазового родовища, геоморфологічних і гідрологічних умов, просторового розподілу об'єктів-джерел потенційного забруднення вод та водних об'єктів, вразливих до негативного впливу.

Важливим аспектом, який ускладнює схему взаємодії нафтогазовидобувних об'єктів з водними об'єктами є наявність на території родовища інших джерел забруднення, не пов'язаних із нафтогазовидобуванням. Найбільш розповсюдженим прикладом такого стороннього впливу, повсюдно характерним для сільської місцевості України, є забруднення підземних вод господарсько-побутовими стоками із неізольованих вигрібних ям, місць утримання свійських тварин і тваринницьких комплексів. Наявність таких джерел забруднення створює значне погіршення якості колодезних та джерельних вод, переважно за рахунок високого вмісту нітратів і, в меншому ступені, сульфатів і хлоридів [11]. Частими є випадки, коли місцеві мешканці помилково пов'язують погіршення якості води, спричинене господарсько-побутовим забрудненням, із нафтогазовидобувною діяльністю в силу своєї недостатньої обізнаності та поінформованості.

Крім того, залежно від літологічних і структурних факторів, якість підземних вод зони вільного водообміну може не відповідати вимогам для питної води і з природних причин. Прикладами можуть слугувати прояви засолення верхніх прісних горизонтів у місцях проявів солянокупольної тектоніки на Глинсько-Розбишівському родовищі [4], підвищені концентрації літію в складі підземних вод морських піщаних відкладів канівсько-бучацького горизонту на Качанівському родовищі [12], високий вміст сульфатів у підземних водах у загіпсованих четвертинних суглинках на родовищах півдня Полтавської області [13].

Локальна мережа пунктів моніторингу складається із набору точок на місцевості, в яких здійснюються вимірювання кількісних та якісних показників підземних і поверхневих вод, відбираються проби води на лабораторний аналіз та оцінюється стан водних об'єктів згідно попередньо розробленої програми моніторингу.

Основними завданнями локальної мережі пунктів моніторингу за станом гідросфери на території нафтогазовидобувних промислів є такі:

1. Систематичне спостереження і своєчасне виявлення факту забруднення об'єктів гідросфери;
2. Контроль технічного стану об'єктів нафтогазовидобувної інфраструктури і виявлення порушень у режимі їхньої експлуатації (розгерметизація, витоки, тощо);
3. Оцінка масштабів забруднення, визначення просторово-часових характеристик і прогноз розповсюдження ореолу забруднених вод;
4. Сигналізування про небезпеку для систем питного водопостачання і необхідність прийняття невідкладних заходів із недопущення споживання забрудненої води;
5. Стеження за процесами самоочищення забруднених підземних вод після ліквідації джерела забруднення;
6. Надання інформації щодо фонового стану підземних і поверхневих вод на ділянках, де відсутня промислова діяльність на період спостережень.

Першочерговим завданням спостережної мережі, на нашу думку, є оперативне виявлення факту забруднення підземних і поверхневих вод на ділянках розташування об'єктів нафтогазовидобувної інфраструктури. У зв'язку з цим, пріоритетними об'єктами для контролю мають виступати екологічно найнебезпечніші споруди, які становлять найвищі ризики забруднення водного середовища. До таких об'єктів можна віднести (в порядку зменшення ризиків і масштабів забруднення): 1) відкриті ємності для накопичення і зберігання пластових флюїдів; 2) водоводи та насосні станції для перекачування пластової води; 3) скидні та нагнітальні свердловини для повернення супутніх пластових вод у надра; 4) майданчики свердловин на стадії буріння; 5) майданчики свердловин в режимі операцій гідророзриву пласта та освоєння привибійної частини; 6) горизонтальні факельні установки (амбари); 7) установки з переробки і підготовки нафти і газу; 8) експлуатаційні нафтові свердловини; 9) експлуатаційні газові свердловини. Окрему позицію у цьому переліку посідають ділянки аварійних свердловин, де внаслідок крупних аварій минулих років, утворилися техногенні водойми [14].

Вибір об'єктів (пунктів) спостережної мережі та місця їхнього розміщення визначається особливостями геоморфологічної, гідрологічної та гідрогеологічної будови району, ландшафтною позицією технологічних об'єктів, які створюють загрозу забруднення природних вод, розташуванням особливо вразливих до забруднення водних об'єктів. До останніх слід відносити:

- підземні води у межах зон санітарної охорони водозаборів централізованого водопостачання;
- підземні води у межах зон живлення індивідуальних джерел децентралізованого водопостачання (колодязів) та каптажів джерел;
- підземні води, які на ділянках свого розвантаження формують наземні водні екосистеми;
- поверхневі водні екосистеми, що забезпечують збереження біорізноманіття (водно-болотні угіддя, гідрологічні природно-заповідні об'єкти);
- поверхневі водні об'єкти господарського значення (рекреаційного, рибогосподарського);
- ділянки трансграничного переносу поверхневих та підземних вод.

Розглянемо нижче основні принципи вибору пунктів спостереження окремо за підземними і поверхневими водами.

Основу локальних мереж спостереження за підземними водами повинні скласти водозабірні споруди, які вже існують у населених пунктах на території родовища і використовуються для організації господарсько-питного водопостачання. До них належать водозабірні артезіанські свердловини, колодязі, приватні неглибокі свердловини та каптажі джерел. Такі споруди завжди так чи інакше наявні у кожному населеному пункті у межах будь-якого з родовищ. Однак, наш досвід моніторингу показує, що територіальне розташування цих об'єктів на родовищі не завжди виявляється придатним для контролю впливу від певних нафтогазовидобувних споруд, тому обов'язковим елементом мережі є також спеціальні спостережні свердловини. Останні доцільно споруджувати не тільки на першій від поверхні водоносний горизонт (для контролю розливів на поверхні землі, витоків із трубопроводів та ємностей-накопичувачів), але також на другий і третій міжпластові водоносні горизонти, якщо вони мають гідравлічний зв'язок із поверхнею землі. До того ж, саме ці більш глибокі горизонти, як правило, виступають в якості джерел централізованого питного водопостачання у населених пунктах.

Водозабірні свердловини. Існуючі водозабірні свердловини централізованого водопостачання у населених пунктах обов'язково мають включатися до мережі пунктів моніторингу, оскільки це є майже єдиним економічно доступним способом досліджувати стан відносно глибоких питних водоносних горизонтів. У сільській місцевості Лівобережної України (Харківська, Полтавська, Сумська, Чернігівська області) розповсюдженими є артезіанські водозабірні свердловини, споруджені на полтавський водоносний горизонт (на глибині 20–40 м), харківський горизонт (глибина 40–60 м) або канівсько-бучацький (близько 100 м) водоносний горизонт. За допомогою таких свердловин у переважній більшості сільських населених пунктів організоване централізоване водопостачання населення. Крім цього, такі свердловини часто споруджувалися на тваринницьких комплексах у радянські часи, і досі могли залишитися в експлуатації.

Іншими типами водозабірних свердловин, що представляють інтерес для включення до моніторингу, є свердловини на об'єктах нафтогазовидобувної інфраструктури. Їх споруджують для водопостачання бурових майданчиків, установок з переробки нафти і газу, адміністративних будівель та інших промислових об'єктів.

Виходячи з того, що зазвичай загальна кількість глибоких водозабірних свердловин на території одного родовища невелика – всього декілька штук, доцільним є включення до мережі моніторингу всіх наявних свердловин без винятку.

Колодязі та приватні свердловини. Традиційно колодязі у селах є основними водозабірними спорудами для питного та побутового водопостачання із першого від поверхні водоносного горизонту на глибині від 5 до 30 м. Тим більше, що у теперішній час спорудження колодязя або неглибокої свердловини на власному подвір'ї є технічно та фінансово доступним заходом для пересічних громадян. Враховуючи, те що колодязі або приватні неглибокі свердловини є у кожному дворі, для моніторингу слід вибирати такі, що відповідають певним критеріям:

- 1) розташування нижче нафтогазовидобувних об'єктів за потоком ґрунтових вод;

2) регулярне та інтенсивне використання – для того, щоб постійне оновлення води забезпечило репрезентативність проб підземних вод. Найбільше цьому критерію відповідають колодязі загального користування, розташовані на вулиці, або такі, що обладнані електронасосами;

3) перебування в належному технічному стані і відповідність санітарним вимогам, встановленим в ДержСанПіН 2.2.4.171-10 – має бути кришка, достатня висота надземної частини, бетонне вимощення на гирлі та своєчасне очищення днища від осаду [15];

4) репрезентативність фонових складу підземних вод, відсутність забруднення господарсько-побутового або сільськогосподарського походження;

5) доступність для відвідування, відбирання проби і вимірювання статичних рівнів.

Достатню кількість колодязів для регулярних спостережень обчислити складно. Одного алгоритму розрахунку для всіх територій запропонувати неможливо, оскільки умови просторового розподілу нафтогазовидобувних об'єктів, населених пунктів і колодязів у них значно варіюють за територіями. Практика показує, що всім вище встановленим критеріям, зазвичай, відповідає невелика кількість колодязів в окремо взятому населеному пункті, тому в більшості випадків проблема вибору не виникає.

Каптажі джерел. Джерела, тобто природні місця зосередженого виходу підземних вод на поверхню землі, є дуже важливим та інформативним інструментом моніторингу. Вони надають можливість отримання репрезентативної проби підземних вод із певного водоносного горизонту без витрачання додаткових зусиль. Єдиним обмеженням їхнього залучення до мережі пунктів моніторингу є їхня наявність, адже для виникнення джерела повинні існувати певне поєднання гідрогеологічних та геоморфологічних умов – достатня ступінь ерозійного врізання до рівня підземних вод та високі фільтраційні властивості водоносної товщі. Часто доцільним є пошук необладнаних джерел у верхів'ях та під схилами балок, де формується витікання підземних вод у вигляді ключів та мочарів.

Джерела, на яких споруджені каптажі, як правило, стають важливим об'єктом децентралізованого водопостачання на локальному та, іноді, регіональному рівні, оскільки в переважній більшості випадків характеризуються високою питною якістю в порівнянні з колодязними водами. Історично склалося, що серед місцевих водокористувачів часто формується впевненість у добрих або цілющих властивостях води з джерел. Тому, люди можуть надавати перевагу джерельним водам, навіть віддаленим на значну відстань. Це додатково підвищує значимість джерел як об'єктів водопостачання та необхідність їхнього контролю в межах моніторингу на площі робіт.

Можливість виміряти витрату джерела є дуже цінною характеристикою, оскільки це дозволяє гідрогеологічними розрахунками встановити контури та розміри області його живлення, а звідси уточнити напрямки можливого розповсюдження забруднення підземних вод на цій території [16].

Спостережні свердловини. Спостережні гідрогеологічні свердловини є фактично єдиним керованим інструментом контролю стану підземних вод, оскільки, на відміну від колодязів, водозабірних свердловин і джерел, ми можемо обрати місця їхнього розміщення з урахуванням гідрогеологічної ситуації та розташування нафтогазовидобувних споруд. В усіх випадках пріоритетним для контролю є перший від поверхні водоносний горизонт (грунтові води), оскільки основні джерела забруднення розташовані на поверхні землі (ємності для зберігання пластових флюїдів, факельні амбари) або на невеликій глибині (водоводи СПВ). Другий від поверхні міжпластовий горизонт також має включатися до спостережень у разі його незахищеності через наявність гідрогеологічних вікон [7].

Безумовно, ключовим фактором вибору місць розташування спостережних свердловин є напрямки потоку ґрунтових вод, тобто потенційного розповсюдження забруднених вод. Для достовірного встановлення цих напрямків в ідеальному варіанті нам необхідно знати будову рівневої поверхні («дзеркала») ґрунтових вод по всій площі розповсюдження водоносної товщі. Це досягається шляхом якомога більш рівномірного і частого розподілу точок спостереження за площею. У реальних умовах неможливо застосувати схему рівномірного розміщення спостережних свердловин за сіткою з певним кроком, оскільки ділянок, придатних для спорудження і подальшого обслуговування свердловин небагато, та розташовані вони нерівномірно. До них належать майданчики нафтогазопромислових об'єктів, лісосмуги, будь-які неорані земельні ділянки (лучні схили та днища балок, узлісся, пустирі).

Враховуючи вищевикладене, у таких умовах має бути застосований цільовий підхід у залежності від конкретних гідрогеологічних і геоморфологічних умов та інфраструктури родовища. Основні спостережні свердловини слід розмістити, перш за все, у безпосередній близькості (10–20 м) від промислових споруд, які створюють ризики витоків і забруднення підземних вод. Вони першими перехоплять забруднені ґрунтові води і швидко сигналізують нам про факт забруднення. Далі, доцільним є спорудження додаткових свердловин на ділянках ландшафтів акумулятивного типу – у нижніх частинах вододільних схилів, в улоговинах стоку, у тальвегах крупних балок, у притерасних пониженнях, по локальних басейнах стоку [4]. Ці свердловини перехоплюють підземний стік, який акумулюється на певній частині водозбору і дренується від'ємними елементами локального рельєфу. У площинному відношенні свердловини мають бути розміщені між потенційними джерелами забруднення (нафтогазовидобувними об'єктами) та вразливими водними об'єктами (ділянки водозаборів, поверхневі водойми), які живляться підземним стоком із цієї території.

Як свідчить досвід регіональних гідрогеологічних досліджень на Лівобережній Україні [17], підземний стік неглибоких водоносних горизонтів четвертинного, неогенового і палеогенового віку майже повсюдно контролюється морфологією річкових долин. Зони живлення цих горизонтів приурочені до піднесених вододільних місцевостей міжріччя, а ділянки розвантаження – до підніжжя схилів балок, терас і річкових берегів. Напрямки руху підземних вод в цілому співпадають із напрямками понижень у сучасному рельєфі, тому їх можна орієнтовно визначати за структурою поверхневого стоку території. У разі ж наявності карти гідроізогіпс водоносного горизонту, які могла бути раніше побудована для даної території за результатами середньо- або великомасштабної гідрогеологічної зйомки або інженерно-геологічних вишукувань, визначення параметрів підземного стоку будуть точніші.

Отже, основними принципами розміщення спостережних свердловин є такі:

- 1) максимально можлива наближеність до промислових об'єктів, які є потенціальними джерелами забруднення підземних вод;
- 2) розташування нижче потенційних джерел забруднення за напрямками потоку підземних вод, розміщення фонових свердловин вище за потоком;
- 3) доступність місця спостережної свердловини для її спорудження та подальшої експлуатації (наявність під'їзних шляхів).

Останній пункт є дуже важливим, а іноді й визначальним фактором, оскільки можливість дістатися свердловини у будь-яку пору року є запорукою ефективного виконання нею завдань моніторингу та перебування в належному технічному стані. Критичним моментом є також необхідність розміщення свердловини у зоні нагляду та охорони від несанкціонованого вандалного доступу.

Необхідно також більш детально зупинитися на питанні глибини спорудження спостережних свердловин, адже вона може визначатися, у тому числі, їх просторовим розташуванням. Першочерговому контролю спостережними свердловинами має підлягати перший від поверхні водоносний горизонт (ґрунтові води), глибина якого може варіювати від перших метрів до 30–40 м залежно від будови верхньої частини розрізу.

Важливо зазначити, що специфікою забруднень від нафтогазовидобувних об'єктів є різна густина рідин-забрудників, яка істотно відрізняється від густини прісної підземної води. Легкі рідкі вуглеводні густиною 0,6–0,8 г/см³ утворюють лінзи на поверхні водоносної товщі, у той час як солоні супутні пластові води із високою густиною (1,0–1,2 г/см³) опустяться до підшови водоносного горизонту. Така гравітаційна диференціація зумовлює необхідність організації контролю на різних глибинах в одній водоносній товщі. Це досягається шляхом спорудження куца спостережних свердловин на одній ділянці, або застосування більш продуктивної, сучасної технології – багатоканальних гнучких труб, які дозволяють відбирати проби одночасно з 7 інтервалів із однієї свердловини [18].

Якщо на території моніторингу існують ділянки гідравлічного зв'язку першого водоносного горизонту (ґрунтових вод) з більш глибокими горизонтами, виникає необхідність організовувати спостереження і за ними, тим більше, що на ці горизонти зазвичай споруджені свердловини централізованого водопостачання у прилеглих населених пунктах. Це завдання виконується шляхом встановлення додаткових спостережних свердловин, принаймні на другий від поверхні водоносний горизонт, або шляхом включення до спостережень вже готових наявних

свердловин, які використовувалися (або використовуються) як водозабірні, наприклад, для потреб буріння.

Нарешті, слід звернутися до такого параметру фільтраційного руху підземних вод, як швидкості фільтрації. В умовах непорушеного субгоризонтального залягання осадових порових водоносних горизонтів (піски, суглинки) гідравлічні градієнти потоку безнапірних або слабо напірних підземних вод становлять 0,001–0,01 часток одиниць. Навіть, за високих значень активної пористості (0,2–0,3) і коефіцієнтів фільтрації (5–10 м/добу) водоносних порід швидкості фільтрації підземних вод становлять лише кілька міліметрів або сантиметрів за добу. Це означає, що в спостережних свердловинах або колодязях, розташованих на відстані, наприклад, 500 м від джерела забруднення, масив забруднених вод може з'явитися лише за декілька років. За умов такої повільної швидкості фільтрації стає очевидною необхідність максимального наближення спостережних свердловин до нафтогазопромислових об'єктів-джерел забруднення підземних вод.

Поверхневі води. Вибір пунктів моніторингу поверхневих вод має здійснюватися на основі моделювання рельєфу та структури поверхневого стоку. Це означає виділення у межах нафтогазового родовища мікробасейнів поверхневого стоку, розділених вододільними лініями, та визначення основних параметрів стоку – напрямків та інтенсивності. Іншими словами, територію родовища необхідно представити як набір суміжних локальних водозбірних площ, межі та розміри яких визначаються формами мезо- і мікрорельєфу. Очевидно, що пункти моніторингу поверхневих вод мають розташовуватися на шляху можливих техногенних потоків від об'єктів нафтогазовидобувної інфраструктури. При цьому, практика свідчить, що не менш важливим критерієм є доступність точок для під'їзду на місцевості. Точка спостереження, теоретично вдало розміщена на виході з ділянки зосередження джерел забруднення, може виявитися недоступною для відвідування під час польових досліджень з причин відсутності доріг або, наприклад, затоплення території навесні паводковими водами.

Ми пропонуємо вирішувати поставлене завдання з проектування спостережних пунктів поверхневих вод за такими етапами:

1) визначити потенційні місця розташування пунктів моніторингу поверхневих вод на топографічній основі за принципом: а) розміщення нижче основних ділянок зосередження нафтогазовидобувних об'єктів за потоком, та б) уздовж тальвегів основних водотоків родовища;

2) провести польові обстеження обраних точок для того, щоби встановити доступність для подальшого відвідування і відбирання проб (під'їзні шляхи, доступ до берега тощо);

3) виконати коректування місць розташування точок, якщо виявляться недоступні;

4) винести відкориговані точки на карту і побудувати контури водозбірних площ для кожної із визначених точок засобами геоінформаційних технологій на основі цифрової моделі рельєфу;

5) проаналізувати отримані водозбірні площі кожної точки на предмет, які об'єкти нафтогазової інфраструктури припадають на кожний контур, а також визначити наявність джерел стороннього забруднення вод;

б) в подальшому уточнювати місця розташування пунктів моніторингу після проведення перших відборів проб, коригувати їх у разі змін в інфраструктурі родовища з відповідним перебудуванням контурів водозбірних площ для кожної точки.

Завдання із моделювання контурів водозбірних площ ефективно й швидко вирішуються інструментами геоінформаційних систем (ГІС) на основі цифрової моделі рельєфу (ЦМР) території. Сучасний рівень розвитку геоінформаційних технологій дозволяє нам користуватися готовими ЦМР, побудованими за даними супутникової зйомки, які є у відкритому доступі. Найбільш відомими доступними ЦМР, які охоплюють всю поверхню суші Землі, є набори даних SRTM, створений шляхом радарної топографічної зйомки поверхні Землі [19] та ASTER GDEM, розроблений за даними супутникового радіометру теплового випромінювання та відбивання [20]. Роздільна здатність моделі SRTM становить 30 м, ASTER GDEM – 15 м, що є цілком достатнім для побудування водозбірних площ регіонального рівня, наприклад, басейну таких річок як Оріль, Ворскла, Псел площею 10–20 тис. км² або їх частин у середніх та дрібних масштабах. Але під час проектування мережі пунктів моніторингу на одному нафтогазовому родовищі розглядаються площі водозборів на рівні мікробасейнів стоку (10–100 км²) у крупних масштабах (1:2 000–1:10 000). У таких масштабах глобальні ЦМР створюють значні похибки за рахунок того, що сигнал радарної зйомки відбивався не тільки від поверхні землі, але й від поверхні крон дерев, дахів будівель. Для створення коректної моделі локальних водозбірних площ доцільно

використовувати векторну топографічну основу масштабу 1:50 000 і крупніше (ізолінії рельєфу, точки висот на місцевості та лінії перегину поверхні – тальвеги і хребти), до якої застосовувати геоінформаційні інструменти гідрологічного моделювання.

Для цього можна використати інструменти з гідрологічного моделювання набору *Spatial Analyst* у програмі *ArcGIS*. Процедура визначення контурів водозбірних площ включає низку послідовних операцій, кожна з яких базується на результатах попередньої (рис. 1).

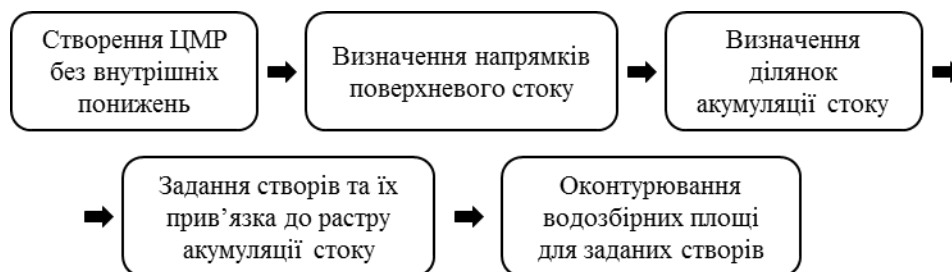


Рис. 1. Алгоритм визначення контурів водозбірних площ території

Перший етап – створення ЦМР – передбачає 1) векторизацію сканованих топографічних карт (за умов відсутності готової векторної топографічної основи), 2) створення триангуляційної моделі поверхні землі на основі векторних шарів рельєфу та 3) створення растру висот із роздільною здатністю, достатньою для подальших моделювань стоку (зазвичай 5–10 м). На виході отримуємо растрове зображення, кожна елементарна комірка якого зберігає значення висоти над рівнем моря, тобто власне ЦМР.

Для коректного моделювання поверхні стоку важливо використовувати сітку висот, в якій відсутні внутрішні замкнуті безстічні пониження. Іншими словами, у використовуваній моделі висот не має бути комірок, повністю оточених комірками із більшими значенням висоти, тобто таких точок, з яких не витікає вода. Для цього ми використаємо інструмент *Fill* в наборі інструментів *Hydrology* модулю *Spatial Analyst* програми *ArcGIS*. Цей інструмент заповнює помилкові пониження у вхідному растрі ЦМР розміром від 1 комірки та забезпечує безперервність поверхні стікання, що моделюється. Для отримання растру напрямків потоку використаємо інструмент *Flow Direction*, принцип побудови якого – присвоєння кожній комірці коду, який відповідає 8 можливим напрямкам руху води із комірки. Напрямок розраховується відповідно до різниці висот комірки по відношенню до сусідніх, і результатом є растр, в якому кожна комірка отримує кодоване значення напрямку потоку (рис. 2).

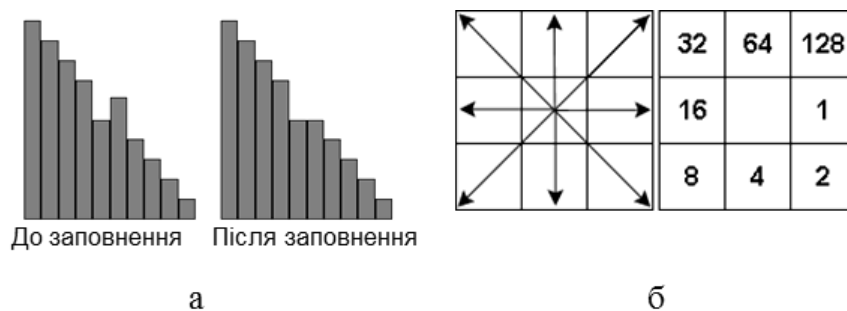


Рис. 2. Принципи заповнення понижень у растрі висот (а) і кодування комірок растру висот для визначення напрямків поверхневого стоку (б)

Для створення растру акумуляції стоку використаємо інструмент *Flow Accumulation* в наборі інструментів *Hydrology* модулю *Spatial Analyst*. У результаті кожна комірка растру отримає значення кількості комірок, розташованих вище неї за течією. Комірки з високими значеннями приурочені здебільшого до тальвегів, ніж до схилів або хребтів.

Наступним етапом ми вибираємо створи на водотоках, для яких хочемо побудувати водозбірні площі. Кожен створ є точкою виходу стоку з певної площі водозбору, якою проходить весь стік, що утворюється на даній площі. В якості розрахункових створів ми використаємо клас запроєктованих точок відбору проб поверхневих вод. Водозбірні площі утворюються не від точок

безпосередньо, а від комірок растру, тому необхідно прив'язати їх до комірок растру. Тому, нам необхідно встановити точки на комірках растру акумуляції стоку, у місцях з високим значенням акумуляції, розташованих нижче певних мікробасейнів стоку для коректного оконтурювання останніх. Для цього використаємо інструмент *Snap to Pour Points*. В якості вихідних даних вказуємо растр напрямків стоку та клас із пунктами моніторингу (створами). У результаті ми отримуємо точки у вигляді растру із розмірами комірки, що відповідають вихідним параметрам растру висот.

Для оконтурювання водозбірних площ використаємо інструмент *Watershed* із того ж набору *Hydrology* модулю *Spatial Analyst*. В якості вихідних даних вказується растр напрямків стоку та растр точок створів, створений на попередньому кроці. Отриманий растр водозбірних площ ми конвертуємо у векторні полігони, для чого використовується інструмент *Raster to Polygon* із набору *Conversion Tools – From Raster*. Після завершення конвертації доцільно провести перевірку на топологію меж полігонів, а саме – на витримування правил «відсутність проміжків між полігонами» та «полігони не мають перекриватися один одним».

Отримані таким чином водозбірні площі кожного з пунктів моніторингу поверхневих вод надають уяву щодо того, які з наявних на родовищі нафтогазовидобувних об'єктів контролюються яким створом.

Окремої уваги заслуговує необхідність встановлення фонових пунктів спостереження, які надають інформацію щодо якості поверхневих вод, що не зазнали впливу видобувної діяльності на родовищі. Вони мають бути розміщені на всіх постійних водотоках, що втікають на територію родовища і виступатимуть базою порівняння під час подальших спостережень у межах родовища.

Висновки та перспективи. Створення спостережних мереж локального моніторингу підземних і поверхневих вод на території нафтогазового родовища є важливим завданням, ефективне виконання якого гарантує екологічну безпеку діяльності нафтогазовидобувного підприємства. Спостережні мережі мають закладатися на основі існуючих на території водозабірних споруд (свердловин водопостачання, колодязів, каптажів джерел) із обов'язковим спорудженням спеціальних спостережних свердловин для контролю якості підземних вод безпосередньо на ділянках експлуатації нафтогазопромислових об'єктів.

Принципи розміщення пунктів моніторингу гідросфери у межах родовища базуються, перш за все, на геоморфологічній та гідрогеологічній будові території, але мають враховувати взаємне розташування нафтогазовидобувних споруд та вразливих водних об'єктів – водозабірних ділянок і поверхневих водних екосистем. Всі наявні свердловини централізованого водопостачання та джерела підземних вод мають бути залучені до спостережної мережі, у той час як колодязі мають відповідати встановленим критеріям – розташовуватися за потоком розповсюдження можливого забруднення та перебувати в належному технічному санітарному стані.

Принципи розміщення спостережних свердловин ґрунтуються на напрямках і фільтраційних параметрах першого від поверхні водоносного горизонту, але їхнім головним завданням має бути якомога швидке перехоплення забруднених вод на ділянках експлуатації нафтогазовидобувних об'єктів. Кількість спостережних свердловин залежить, таким чином, від кількості таких об'єктів (або ділянок їхнього зосередження) на родовищі. У разі відсутності гідрогеологічних даних щодо площинної будови рівневої поверхні ґрунтових вод, для визначення напрямків руху води доцільно використовувати модель поверхневого стоку, принаймні в ландшафтних умовах Східного нафтогазоносного басейну на Лівобережній Україні. Для визначення місць розташування пунктів спостережень за якістю поверхневих вод найефективнішим інструментом є побудування цифрової моделі рельєфу та моделювання контурів локальних водозбірних площ за обраними створами методами сучасних геоінформаційних технологій.

Наведені у роботі підходи до розміщення пунктів локальної спостережної мережі підземних і поверхневих вод можуть бути застосовані також для проведення процедури оцінки впливу на довкілля як нафтогазових родовищ в цілому, так і окремих нафтогазопромислових об'єктів.

Подяки. Робота виконана за матеріалами багаторічних доробок ТОВ «СВНЦ Інтелек-сервіс ЛТД» (м. Харків). Автор висловлює щирю подяку науковому керівникові робіт Журавлю Миколі Юхимовичу та заступникові директора Ключко Петру Васильовичу за плідні консультації, цінні поради та наставництво.

Література

- 1 Положення про державну систему моніторингу довкілля від 30.03.1998 р. № 391. Дата оновлення: 25.10.2017. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF> (дата звернення 22.11.2018)
- 2 Правила розробки нафтових і газових родовищ: затв. наказом Мін-ва екології та природних ресурсів України від 15.03.2017 р. № 118. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0692-17#n13> (дата звернення: 21.11.2018)
- 3 Екологічна безпека нафтогазового комплексу у Західному регіоні України: колект. монографія / за ред. Я. О. Адаменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 384 с.
- 4 Васильев А. Н., Журавель Н. Е., Ключко П. В. Организация гидрохимического мониторинга в условиях нефтегазоносного северо-востока Украины. Харьков: Экограф, 2001. 112 с.
- 5 Водний Кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. Дата оновлення: 18.12.2017. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 21.08.2018)
- 6 Рекомендации по проведению гидрохимического опробования и физико-химических исследований для оценки загрязнения подземных вод / ПНИИИС. Москва: Стройиздат, 1986. 32 с.
- 7 Гольдберг В. М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды: монография. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 248 с.
- 8 Guidelines Document No 15. Guidance on Groundwater Monitoring under the Water Framework Directive. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007. 54 pp.
- 9 Основні принципи організації системи екологічного моніторингу довкілля у межах території нафтогазових промислів Богородчанського району / Адаменко Я. О. та ін. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2010. №1 (1). С. 5–11.
- 10 Скрипник В. С. Система екологічного моніторингу та заходи стабілізації стану довкілля Надвірнянського нафтогазопромислового району. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2010. №1 (1). С. 16–26.
- 11 Виставна Ю. Ю., Вергелес Ю. І., Яковлев В. В., Дядін Д. В., Чистикова А. В., Жидких І. О. Дослідження нітратного забруднення гідросфери у трансграничному районі басейну Сіверського Донця. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Вып. 6/10 (72). С. 20–27.
- 12 Журавель Н. Е., Ключко П. В., Дядин Д. В. Современное экологическое состояние подземных и поверхностных вод в районе Качановского нефтепромыслового узла. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. 2007. № 4. С. 66–73.
- 13 Дядин Д. В., Ключко П. В., Голик Ю. С., Яременко В. В. Организация мониторинга подземных вод на территории деятельности СП «Полтавская газонефтяная компания» (Полтавская область, Украина). Современные научные исследования: инновации и опыт: материалы XVII-XVIII междунар. науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, Россия, 04–05.12.2015). Екатеринбург, 2015. С. 11–17.
- 14 Дядін Д. В., Журавель М. Ю., Ключко П. В. Оцінка стану довкілля на ділянках аварійних свердловин. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2018. № 1 (17). С. 4–13.
- 15 Державні санітарні правила і норми України 2.2.4.171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»: затв. наказом М-ва здоров'я України від 12.05.2010 р. № 400. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 20.11.2018).
- 16 Дмитренко Т. В. Повышение экологической безопасности использования родниковых вод на примере Харьковского региона: дисс. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / УкрНИИЭП. Харьков, 2005. 157 с.

17 Яковлев В. В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. ... д-ра геол. наук: 21.06.01 / Харк. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна, 2017. 351 с.

18 Long Screen Data vs CMT Multilevel Data. Solinst Canada Ltd. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=2UYg2R080j0> (дата звернення: 10.11.2018).

19 Shuttle Radar Topography Mission: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, NASA. URL: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (дата звернення: 18.11.2018).

20 ASTER Global Digital Elevation Map: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, NASA. URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (дата звернення: 18.11.2018).

Надійшла до редакції 03 грудня 2018 р.

D. V. Diadin

*O. M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv*

PRINCIPLES OF INSTALLING LOCAL MONITORING POINTS OF THE GROUND AND SURFACE WATER AT OIL AND GAS PRODUCTION SITES

The article considers the principles for the spatial layout of local monitoring points of the hydrosphere state on the territory of oil and gas production enterprises. The general conceptual approaches to the development of monitoring network have been defined with account of the specifics of oil and gas production facilities that are viewed as pollution sources of the underground and surface water. The selection and location criteria for the monitoring points have been developed, which have been classified into such categories as water supply wells, water pits, tapping springs, monitoring wells and surface water objects.

The author has proved that the key basis for installing the water monitoring points is the digital terrain model, which serves the basis for defining not only the structure of surface water runoff, but also the water flow course of shallow unconfined groundwater. The algorithm for developing the digital terrain model and for modeling the borders of water catchment areas on the selected sections by means of geoinformation technologies has been provided.

The author of the article has analyzed the principles of installing the monitoring wells, based on the directions and filtration parameters of the phreatic aquifer. However, their main task should be the quick interception of contaminated water at the operation sites of oil and gas production facilities. Therefore, the number of monitoring wells depends on the number of such objects (or areas of their concentration) on the oil and gas field. In the absence of hydrogeological data on the plane structure of the groundwater surface levels, it is appropriate to use the model of water runoff to define the water flow course, at least in the landscape conditions of the Eastern oil and gas basin in Left-Bank Ukraine. To define the layout of the surface water quality monitoring points, the most effective tools are to develop the digital terrain model and to model the borders of water catchment areas on the selected sections by means of modern geoinformation technologies.

The article includes the approaches to the installation of local network monitoring points of the underground and surface water, which can be also applied to the estimation procedure of the environmental impact of both oil and gas deposits in general and separate oil and gas facilities.

Key words: monitoring, operation network, underground and surface water, oil and gas production, digital terrain model.

References

1 Polozhennya pro derzhavnu sistemu monitoringu dovkillya vid 30.03.1998 r. № 391. Data onovlennya: 25.10.2017. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF> (data zvernennya 22.11.2018)

2 Pravila rozrobki naftovih i gazovih rodovishch: zatv. nakazom Min-va ekologії ta prirodnih resursiv Ukraїni vid 15.03.2017 r. № 118. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0692-17#n13> (data zvernennya: 21.11.2018)

3 Ekologichna bezpeka naftogazovogo kompleksu u Zahidnomu regioni Ukraїni: kolekt. monografiya / za red. Ya. O. Adamenka. Ivano-Frankivs'k: IFNTUNG, 2017. 384 s.

- 4 Vasil'ev A. N., Zhuravel' N. E., Klochko P. V. Organizaciya gidrohimicheskogo monitoringa v usloviyah neftegazonosnogo severo-vostoka Ukrainy. Har'kov: Ekograf, 2001. 112 s.
- 5 Vodnij Kodeks Ukraïni vid 06.06.1995 r. № 213/95-VR. Data onovlennya: 18.12.2017. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> (data zvernennya: 21.08.2018)
- 6 Rekomendacii po provedeniyu gidrohimicheskogo oprobovaniya i fiziko-himicheskikh issledovaniy dlya ocenki zagryazneniya podzemnyh vod / PNIIS. Moskva: Strojizdat, 1986. 32 s.
- 7 Gol'dberg V. M. Vzaimosvyaz' zagryazneniya podzemnyh vod i prirodnoj sredy: monografiya. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 248 s.
- 8 Guidelines Document No 15. Guidance on Groundwater Monitoring under the Water Framework Directive. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007. 54 pp.
- 9 Osnovni principii organizacii sistemi ekologichnogo monitoringu dovkillya u mezhah teritorii naftogazovih promisliv Bogorodchans'kogo rajonu / Adamenko Ya. O. ta in. Ekologichna bezpeka ta zbalansovane resursokoristuvannya. 2010. №1 (1). S. 5–11.
- 10 Skripnik V. S. Sistema ekologichnogo monitoringu ta zahodi stabilizacii stanu dovkillya Nadvirnyans'kogo naftogazopromislivogo rajonu. Ekologichna bezpeka ta zbalansovane resursokoristuvannya. 2010. №1 (1). S. 16–26.
- 11 Vistavna Yu. Yu., Vergeles Yu. I., Yakovlev V. V., Dyadin D. V., Chistikova A. V., Zhidkih I. O. Doslidzhennya nitratnogo zabrudnennya gidrosferi u transgranichnomu rajoni basejnu Sivers'kogo Doncy. Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. 2014. Vyp. 6/10 (72). S. 20–27.
- 12 Zhuravel' N. E., Klochko P. V., Dyadin D. V. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie podzemnyh i poverhnostnyh vod v rajone Kachanovskogo neftepromyslovogo uzla. Ekologiya dovkillya ta bezpeka zhittediyal'nosti. 2007. № 4. S. 66–73.
- 13 Dyadin D. V., Klochko P. V., Golik Yu. S., Yaremenko V. V. Organizaciya monitoringa podzemnyh vod na territorii deyatel'nosti SP «Poltavskaya gazoneftyanaya kompaniya» (Poltavskaya oblast', Ukraina). Sovremennye nauchnye issledovaniya: innovacii i opyt: materialy XVII-XVIII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Ekaterinburg, Rossiya, 04–05.12.2015). Ekaterinburg, 2015. S. 11–17.
- 14 Dyadin D. V., Zhuravel' M. Yu., Klochko P. V. Ocinka stanu dovkillya na dilyankah avarijnih sverdlovin. Ekologichna bezpeka ta zbalansovane resursokoristuvannya. 2018. № 1 (17). S. 4–13.
- 15 Derzhavni sanitarni pravila i normi Ukraïni 2.2.4.171-10 «Gigienichni vimogi do vodi pitnoï, priznachenoi dlya spozhivannya lyudinoyu»: zatv. nakazom M-va zdorov'ya Ukraïni vid 12.05.2010 r. № 400. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (data zvernennya: 20.11.2018).
- 16 Dmitrenko T. V. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti ispol'zovaniya rodnikovyh vod na primere Har'kovskogo regiona: diss. ... kand. tekhn. nauk: 21.06.01 / UkrNIIEP. Har'kov, 2005. 157 s.
- 17 Yakovlev V. V. Perspektivni dzherela prirodnih vod dlya pitnogo vodopostachannya Ukraïni, ih ohorona i racional'ne vikoristannya: dis. ... d-ra geol. nauk: 21.06.01 / Hark. nac. un-t im. V. N. Karazina, 2017. 351 s.
- 18 Long Screen Data vs CMT Multilevel Data. Solinst Canada Ltd. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=2UYg2R080j0> (data zvernennya: 10.11.2018).
- 19 Shuttle Radar Topography Mission: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, NASA. URL: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (data zvernennya: 18.11.2018).
- 20 ASTER Global Digital Elevation Map: Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, NASA. URL: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (data zvernennya: 18.11.2018).