

## ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЯ

УДК 556.388

DOI: 10.18524/2303-9914.2018.2(33).146642

**С. М. Левонюк**<sup>1</sup>, молодший науковий співробітник

**І. В. Удалов**<sup>2</sup>, доктор геол. наук, доцент, зав. кафедри

<sup>1</sup> Український науково-дослідний інститут природних газів, Гімназійна наб., 20, Харків, 61010;

<sup>2</sup> Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, Харків, 61022

sergii.levonyuk@gmail.com

### КОМПЛЕКСНА ГЕОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАХИЩЕНОСТІ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД

Робота присвячується актуальній екологічній темі – оцінці захищеності питних підземних вод в умовах сучасного інтенсивного техногенезу на геологічне середовище. Авторами розроблено ефективний і комплексний геоecологічний методичний підхід до оцінки ризику забруднення підземних вод з урахуванням виявлених недоліків наявної методичної бази та сучасних реалій.

Виконано раціональне комплексування геоecологічних показників, що дозволяє визначити ступінь комплексної захищеності водоносного комплексу від забруднення як техногенного (поверхневого), так і природного (неотектонічного) характерів. Проведено апробацію методичного підходу на водозаборах буцацько-канівського комплексу, який у межах Східної України є одним із стратегічно важливих. Визначено, що поверхнєве забруднення – не превалюючий фактор погіршення якості вод цільового комплексу. Не менш рважливим є неотектонічний фактор формування хімічного складу цих вод, який наразі є недооціненим.

**Ключові слова:** підземні води, буцацько-канівський водоносний комплекс, екологічні та гідрогеологічні фактори захищеності, техногенез, методичний підхід, поверхнєве і неотектонічне забруднення.

#### ВСТУП

*Загальна постановка проблеми та її актуальність.* Активізація техногенного навантаження на навколишнє середовище створила загрозу значного забруднення як поверхневих, так і підземних вод. Це призвело до сталої тенденції погіршення якості питних вод. У сучасних реаліях особлива увага, з точки зору екологічної безпеки досліджуваної території, приділяється питним підземним водам. Вони досить широко використовуються для водопостачання населення великих та малих міст, підприємств та інших важливих об'єктів.

Однак, підземні води в умовах інтенсивного техногенезу також піддаються активному пресингу. Це відбувається внаслідок впливу цілого комплексу причин. Однією із найважливіших є їх локальна недостатня природна захищеність від техногенних та природних факторів забруднення [3, 17, 20, 28, 29].

Наразі, згідно із діючою Водною рамковою директивою ЄС 2000/60/ЕС, наріла нагальна потреба у більш детальній оцінці показнику захищеності (або вразливості) перспективних для цілей водоспоживання водоносних комплексів, для створення комплексних цільових систем екологічної безпеки регіону. Це є стратегічною проблемою для всієї України. А тому одним із головних гідрогеологічних завдань сьогодення є удосконалення наявної методичної бази та створення ефективного та раціонального підходу до оцінки ризику забруднення підземних вод.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** Важливими роботами, у яких розглядалися питання природної захищеності підземних вод у розрізі екологічної безпеки територій, а також споріднені питання – визначення шляхів міграції забруднюючих речовин у підземні води (як «зверху», так і «знизу»), визначення гідрогеологічних «вікон» та ін. – є роботи вітчизняних дослідників Н. В. Роговської, В. М. Гольдберга, М. А. Сунцова, Ф. М. Бочевера, С. М. Слохіної, В. А. Мироненко, В. Р. Руминіна, І. С. Зекцера, І. К. Гавич, К. Є. Питьєвої, А. Є. Орадовської, М. М. Лапшина, Р. В. Булатова, Є. Л. Мінкіна, Є. М. Споріднених, В. М. Пілатовського, В. М. Шестакова, Н. Р. Туменко, Н. Н. Веригіна, В. С. Саркіяна, С. Н. Бузінова, І. Д. Умрихіна, В. М. Шестопадова, В. Н. Бубляся, А. С. Богуславського, М. С. Огняника, І. К. Решетова, Л. М. Рогачевської, Д. Ф. Чомко, М. І. Плотникова, І. В. Удалова, В. В. Яковлева, О. Є. Кошлякова, Н. П. Осокіної, А. Б. Климчука, Т. В. Ємчук, О. А. Остроух та ін.

У вітчизняній літературі по дослідженню забруднення підземних вод традиційно вживалося поняття «захищеність підземних вод», запропоноване в 1976 р. Н. В. Роговською [17]. Дане поняття було уточнене з геофільтраційних позицій В. М. Гольдбергом [3].

Науковці далекого зарубіжжя застосовують протилежне за значенням поняття «вразливість підземних вод до забруднення», введене французьким гідрогеологом Ж. Марга в 1968 р. [28]. Проблемі її оцінки присвячується значна кількість робіт дослідників, серед яких: М. Vrana, М. Olmer, В. Rezac, G. B. Engelen, L. J. Andersen, E. Gosk, B. Marcolongo, L. Pretto, S. S. D. Foster, D. C. Rundquist, G. Murray, J. Vrba, A. Zaporozec, P. Magiera, M. Civita, M. De Maio та інші.

Сучасна методична база з оцінки захищеності (вразливості) підземних вод достатньо широка та різноманітна. Далі наведений аналіз найбільш вживаних з існуючих методів, з урахуванням еколого-гідрогеологічних факторів захищеності (вразливості).

**Метод гідрогеологічного районування.** Застосовувався у зарубіжних роботах М. Альбіне та ін. [21], М. Врана [32], М. Ольмера та ін. [29], О. Силило та

ін. [30], Д. Бала та ін. [23]. Серед вітчизняних робіт виділяється дослідження групи науковців на чолі з академіком НАН України В. М. Шестопаловим [18].

До *плюсів методу* нами віднесено:

– універсальність, яка проявляється у можливості вибору геоecологічних параметрів, які необхідні саме для заданих гідрогеологічних умов досліджуваної території;

– можливість врахування як літолого-фільтраційного фактору, так і змін інтенсивності техногенного навантаження на геологічне середовище;

– зрозумілість та нескладність у використанні при наявності потужних ГІС-систем.

Виявлені *слабкі сторони методу*:

– необхідна наявність дуже значного об'єму актуальних геологічних та гідрогеологічних даних по регіону досліджень, які наразі дуже важко знайти;

– у разі нестачі необхідних даних – метод може мати значну погрішність.

**Індексно-рейтингові методи.** Розроблені та використані зарубіжними та вітчизняними науковцями Л. Аллером та ін. [22], І. С. Зекцером та ін. [5], М. Чівіта та ін. [24], С. Фостером [25], А. Запорожцем [26], Т. В. Ємчук у межах Чернівецької області, Україна [4].

До *плюсів методів* слід віднести наступне:

– оперативність при оцінці ризику забруднення підземних вод;

– універсальність методів, яка проявляється у можливості вибору геоecологічних параметрів, які необхідні саме для заданих гідрогеологічних умов регіону досліджень;

– методи дають можливість враховувати літолого-фільтраційний фактор захищеності (вразливості), а також зміни інтенсивності техногенного навантаження на геологічне середовище досліджуваної території;

– зрозумілість та нескладність у використанні при наявності потужних ГІС-систем.

*Мінуси методів:*

– наявність значного суб'єктивного фактору у визначенні рейтингових шкал оцінки;

– як наслідок з попереднього – методи можуть мати суттєву погрішність.

**Параметричні методи.** Найбільш вживаною серед вітчизняних є система оцінки захищеності підземних вод В. М. Гольдберга [2], яка отримала подальший розвиток у роботах В. А. Мироненко та В. Р. Руминіна [8], В. С. Пашковського [12], К. Є. Питьєвої [13] та ін. Також у багатьох суміжних роботах використовувалася дана система оцінки та її модифікації (О. А. Остроух [11], О. Є. Кошляков [6], Г. С. Міхневич [9], О. М. Шпак [19], О. В. Щербак [20], Л. М. Рогачевська [16]). Серед сучасних закордонних параметричних методів виділяється метод AVI [31].

*Плюсом методів* є їх універсальність та пристосованість до різних геолого-гідрогеологічних умов території.

*Мінуси методів:*

- методи недостатньо враховують інтенсивність техногенного навантаження на територію та її зміни;
- недостатньо слабе врахування літолого-фільтраційного фактору оцінки, а саме – фільтраційних відмінностей у розрізі по території;
- як наслідок попередніх недоліків – наявність суттєвої погрішності методів.

**Методи оцінки захищеності і вразливості підземних вод з використанням моделювання.** Даний метод використовувався у зарубіжних роботах Р. Жанга та ін. [34], К. Лоага та ін. [27], а також ін. Серед вітчизняних дослідників необхідно виділити роботи В. М. Шестопалова та ін. [18], О. А. Потапова [15].

*Виявлені плюси методів:*

- мінімальна погрішність, яка забезпечується використанням значного об'єму екологічної й гідрогеологічної інформації та потужних ГІС-систем;
- врахування літолого-фільтраційного фактору оцінки;
- гнучкість оцінки, яка пов'язана із відсутністю прив'язки до конкретної території, а також більшій надійності прогнозу при урахуванні інтенсивності техногенного навантаження та її змін.

*До мінусів методів слід віднести наступне:*

- при оцінці захищеності (вразливості) у межах значних територій методи стають перевантажені великим об'ємом еколого-гідрогеологічної інформації, вони стають досить трудомісткими та витратними;
- наразі проблемою для всієї України є відсутність у достатній кількості актуальної еколого-гідрогеологічної інформації та її оперативної обробки. А тому ще одним недоліком методів є важкість, а подекуди – і неможливість, у знаходженні необхідного об'єму даних для досліджень;
- як наслідок попередніх недоліків – при проведенні робіт втрачаються такі важливі фактори, як оперативність оцінки та швидкість прийняття управлінських рішень на їх основі.

Тобто, як висновок, використання параметричних методів дає тільки попередню, приблизну оцінку захищеності (вразливості) території. Вони не підходять для детальних досліджень, так як мають суттєву погрішність.

Методи оцінки з використанням моделювання найбільш ефективні при дослідженні відносно невеликих ділянок, у межах яких наявні необхідні геоекологічні дані. При регіональній оцінці втрачаються такі важливі фактори, як оперативність та швидкість прийняття рішень.

При регіональній оцінці захищеності (вразливості) найбільш доцільно використовувати індексно-рейтинговий метод або метод гідрогеологічного районування, адаптовані саме для заданих еколого-гідрогеологічних умов. Саме використання даних методів може забезпечувати в умовах відсутності у значній кількості актуальної еколого-гідрогеологічної інформації та її оперативної

обробки зменшення часу у ланцюгу «отримання та обробка геоекологічної інформації – проведення оцінки території – отримання результатів оцінки – прийняття управлінських рішень на їх основі».

При цьому, наразі метод гідрогеологічного районування використовується, в основному, як допоміжний для проведення попереднього етапу оцінки при моделюванні еколого-гідрогеологічних процесів. Індексно-рейтингові методи є самостійними.

Таким чином, питання захищеності та вразливості підземних вод досить складне та актуальне, а тому викликає широкий інтерес серед науковців.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Найбільш вживані методи оцінки захищеності (вразливості) підземних вод та виявлено ряд їх слабких сторін з урахуванням екологічних та гідрогеологічних факторів захищеності (вразливості): необхідність наявності значного об'єму актуальної геоекологічної інформації, погрішності методів, відсутність оперативності при дослідженнях та ін. Всі методи мають один загальний недолік – це їх односторонність. Дані роботи направлені суто на вирішення питання оцінки ступеню захищеності (вразливості) підземних вод від поверхневого забруднення. Але у межах територій із наявною сучасною геодинамічною активністю земної кори простежується значний вплив глибинних високомінералізованих підземних вод на якість питних вод зони активного водообміну. Особливо, цей процес активізувався в умовах сучасного інтенсивного техногенезу на підземні води регіону. А тому цим фактором нехтувати неможливо.

Сучасні методи оцінки повинні відповідати наступним головним критеріям: ефективність, оперативність, універсальність та репрезентативність. У даній роботі автори спробували удосконалити методичний підхід до оцінки з урахуванням виявлених недоліків та сучасних реалій. Було необхідним провести раціональне комплексування геоекологічних показників, що дозволяло б визначити ступінь комплексної захищеності водоносного комплексу від забруднення не тільки техногенного (поверхневого), а й природного (неотектонічного) характерів.

У межах Східної України одним із стратегічних запасів питних підземних вод є бучацько-канівський водоносний комплекс. Але даний комплекс є недостатньо вивчений. Автори спробували вирішити проблему, провівши апробацію розробленої оцінки саме на водах даного комплексу.

**Метою роботи** є розробка ефективного комплексного геоекологічного методичного підходу до оцінки ризику забруднення підземних вод на основі раціонального комплексування наявної методичної бази.

**Задачі дослідження:**

1) на основі раціонального комплексування наявної методичної бази з оцінки захищеності (вразливості) підземних вод, розробити робочий апарат для виконання поставленого завдання (з урахуванням екологічних та гідрогеологічних факторів захищеності (вразливості));

2) розробити власні пропозиції по удосконаленню методичної бази, виходячи із геоекологічних передумов міграції забруднюючих компонентів до цільового водоносного комплексу;

3) провести апробацію удосконаленого геоекологічного методичного підходу у межах обраного регіону.

### **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Розробки авторів базуються на застосуванні результатів буріння понад 450 свердловин регіону, пробурених на бучацько-канівський водоносний комплекс, та понад 500 – на вищезалігаючі комплекси, понад 700 хімічних аналізів підземних вод цільового комплексу зі свердловин території, а також близько 500 замірів рівнів сусідніх цільового та першого міжпластового комплексів на протязі 1960–2015 рр. Також використовувалася інформація екологічного характеру – наявність існуючих і потенційних поверхневих джерел забруднення й виснаження підземних вод та характер їх розташування; наявність водозаборів, де якість підземних вод залежить від впливу природних неотектонічних факторів та ін. Окремо використані наявні сучасні дані неотектонічних умов території досліджень.

Для обробки необхідної гідрогеологічної та екологічної інформації по регіону досліджень застосовувався ряд загальних методів досліджень – аналіз, синтез, систематизація, класифікація, моделювання. При обробці отриманого значного масиву даних використовувався статистичний метод. При моделюванні екологічних та гідрогеологічних факторів захищеності підземних вод використовувалися методи інтерполяції та аналогій.

Автори вважають доречним виділяти незалежну від джерела забруднення власну захищеність як внутрішню властивість системи підземних вод, яка характеризує чутливість цієї системи до антропогенних і/або природних впливів, на відміну від специфічної захищеності до того чи іншого забруднювача. Дану думку також розділяють багато дослідників, у т.ч. далекого зарубіжжя (Дж. Врба і А. Запорожець у роботі [33] та ін.).

Необхідно зазначити, що методичний підхід до оцінки, який розглядається у роботі, особливо ефективний для напірних підземних вод у межах територій із наявною сучасною геодинамічною активністю земної кори. Для практичної наочності у статті використані результати апробації оцінки на прикладі бучацько-канівського водоносного комплексу у межах центральної частини Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. Гідрогеологічні умови даної території відповідають необхідним критеріям.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Удосконалений методичний підхід до оцінки базується на наступних основних еколого-гідрогеологічних показниках:

1) інтенсивність техногенного навантаження на геологічне середовище та її

зміни у межах території;

2) характер комплексної бар'єрної функції верхньої частини геологічного середовища, яка визначається літолого-фільтраційною захисною здатністю бар'єрів (шарів відкладів), які залягають між поверхнею землі та цільовим водоносним комплексом, у який можлива інфільтрація забрудненої поверхневої води;

3) параметр інфільтрації через регіонально витриманий роздільний шар слабопроникних відкладів, що залягає у покрівлі цільового водоносного комплексу;

4) вплив природних неотектонічних факторів на якість підземних вод цільового комплексу;

5) сучасна геодинамічна активність земної кори у межах регіону.

Захищеність підземних вод досліджуваної території визначається у два наступні етапи, які відповідають поставленим завданням:

I) оцінка захищеності підземних вод від техногенного забруднення, яке надходить у підземні води у процесі низхідної вертикальної фільтрації та міграції із поверхні землі;

II) оцінка захищеності підземних вод від природних факторів забруднення (перетік глибинних некондиційних вод через активні тектонічні порушення).

Дослідження можуть обмежуватися виконанням тільки першого чи другого етапів, у залежності від поставленої цілі. У результаті кожного етапу складається карта, яка може використовуватися окремо або для складання комплексної синтетичної карти. Використання незалежних компонентів (інтенсивність техногенного навантаження, захисна здатність відкладів, гідродинамічна характеристика водотриву, геодинамічна активність земної кори та ін.) робить даний метод гнучким по відношенню до запитів різних користувачів.

Розглянемо більш детально кожен із етапів оцінки.

На першому етапі (оцінка захищеності підземних вод від поверхневого забруднення) територія регіону досліджень умовно ділиться на блоки, розміри яких залежать від інтенсивності техногенного навантаження на геологічне середовище. Було проаналізовано характер розповсюдження існуючих та потенційних поверхневих джерел забруднення та виснаження підземних вод. У межах регіону найбільш інтенсивний вплив здійснюють підприємства, що розташовані у межах великих міст (Полтава, Миргород, Красноград, Хорол, Гадяч, Карлівка та деякі ін.). Як правило, такі території охоплені водозабірними свердловинами найбільше, а відстані між ними мінімальні.

Тому нами були виділені зони інтенсивного та неінтенсивного техногенного навантаження на геологічне середовище. У межах перших, завдяки значній охопленості території свердловинами (відстань між сусідніми водозаборами від 50–500 м до 1–2 км), погрішність досліджень є мінімальною. У межах останніх (відстань складає 5–10 км) погрішність є вищою, але це компенсується відсутністю значного техногенного пресингу на підземні води даних ділянок.

Наступним є визначення категорії захищеності підземних вод від техногенних факторів. Вона розраховується у кожному блоці досліджуваної території як сума 5 показників, які помножені на відповідні їм рейтингові (вагові) коефіцієнти:

$$\text{Категорія захищеності} = k_1 \text{ П1} + k_2 \text{ П2} + k_3 \text{ П3} + k_4 \text{ П4} + k_5 \text{ П5},$$

де **П1** – показник літології верхньої (приповерхневої) частини розрізу;

**П2** – показник власної геологічної захищеності першого міжпластового водоносного комплексу;

**П3** – показник проникності відкладів першого міжпластового водоносного комплексу;

**П4** – показник проникності роздільного шару;

**П5** – показник швидкості вертикального перетоку через роздільний шар.

Кожен із цих показників оцінюється по 5-бальній шкалі у відповідності із спеціально розробленими таблицями, по яким встановлюється його значення у залежності від локальних гідрогеологічних характеристик. Вагові коефіцієнти  $k_1-k_5$  визначають відносну важливість даного показнику в оцінці.

*Показник літології верхньої (приповерхневої) частини розрізу.* Досліджуваний регіон був умовно поділений на ділянки трьох типів відносно літологічного складу відкладів четвертинного віку:

1) відклади у межах ділянок I-ого типу представлені лише добре проникними різнозернистими пісками товщиною, в основному, близько 10–20 м. Підземні води у межах даних ділянок є найуразливішими до можливого техногенного забруднення, так як у їх покрівлі відсутні слабопроникні породи, які могли би слугувати фізичними бар'єрами для забруднюючих речовин;

2) у розрізі ділянок II-ого типу присутній як шар різнозернистих пісків тієї ж потужності, так і незначний шар лесових суглинків товщиною до 5–10 м. Останні виступають у ролі незначних, але все ж бар'єрів для можливого проникнення техногенного забруднення нижче по розрізу;

3) у межах ділянок III-ого типу дана частина розрізу складається із більш потужного шару слабопроникних порід – лесових та піщанистих суглинків потужністю до 30–50 м і більше, а тому умови захищеності підземних вод є значно сприятливішими.

*Показник власної геологічної захищеності першого міжпластового водоносного комплексу.* Він виражається у розподілі по площі регіону показнику удільної проникності слабопроникних порід у покрівлі та безпосередньо у товщі водоносного комплексу олігоцен-пліоценових або олігоцен-міоценових відкладів. У покрівлі комплексу залягають пліоцен-нижньочетвертинні піщанисті глини, у товщі – прошарки олігоценових піщанистих глин.

*Показник проникності відкладів першого міжпластового водоносного комплексу.* Виражається у розподілі по площі показнику удільної проникності проникних порід у товщі водоносного комплексу олігоцен-пліоценових або олігоцен-міоценових відкладів. Це різнозернисті піски, часто глинисті, їх за-



гальна товщина складає від 1 до 150 м.

*Показник проникності роздільного шару.* Досліджувалися літолого-фільтраційні властивості роздільного шару водотривких порід київського віку, які залягають у покрівлі бучацько-канівського водоносного комплексу. Це щільні глини та мергелі. Їх потужність у розрізі надр регіону змінюється від 1 до 67 м.

*Показник швидкості вертикального перетоку через роздільний шар.* Динамічною складовою оцінки є показник інфільтрації через єдиний регіонально витриманий роздільний шар-водотрив між поверхнею та цільовим водоносним комплексом. Це відклади київського віку. Згідно з передумовою Мятієва-Гиринського про вертикальний характер перетікання між водоносними комплексами [14], у ролі даного показнику виступає параметр швидкості вертикального перетоку. Показник визначався за формулою:

$$w = k/m (H_1 - H_2),$$

де  $k/m$  – удільна проникність порід роздільного шару ( $k$ , м/добу – коефіцієнт фільтрації;  $m$ , м – потужність шару);

$H_1 - H_2$  – різниця між абсолютними відмітками п'єзометричних рівнів сусідніх першого міжпластового та цільового водоносних комплексів відповідно.

Різниця рівнів  $H_1 - H_2$  має особливе значення, так як співвідношення рівнів обумовлює можливість та характер надходження забруднюючих речовин до цільового водоносного комплексу і має велике значення для його захищеності [3].

У процесі оцінки було виділено три випадки різниці рівнів:

1)  $H_1 < H_2$ . Вертикальний градієнт потоку направлений знизу вгору, тому при витриманості шару водотривких порід у покрівлі, який забезпечує збереження цього перепаду рівнів, цільовий водоносний комплекс можна вважати умовно захищеним;

2)  $H_1 \approx H_2$ . Перетоки між сусідніми водоносними комплексами майже відсутні;

3)  $H_1 > H_2$ . Виникають гідродинамічні умови для перетікання забруднених вод до цільового комплексу.

Було визначено, що даний параметр є динамічним і активно змінювався на протязі періоду досліджень. Період досліджень (1960–2015 рр.) є досить показовим, так як він був визначений як період активного техногенного навантаження на геологічне середовище та, зокрема, на питні підземні води регіону робіт.

Індикатором даного процесу саме в центральній частині ДДАБ є характер водовідбору підземних вод сеноман-нижньокрейдного водоносного комплексу із свердловин найбільш потужної мережі водозаборів регіону – полтавських водозаборів, а також залежність рівневого режиму комплексу від водовідбору (рис. 1). Активний відбір питних підземних вод комплексу, що розпочався на початку 1960-их років, призвів до суттєвих техногенних змін сталих природних гідрогеологічних умов регіону, що проявилось у значних зниженнях рівнів

підземних вод як у даному, так і у сусідньому, бучацько-канівському водоносних комплексах.

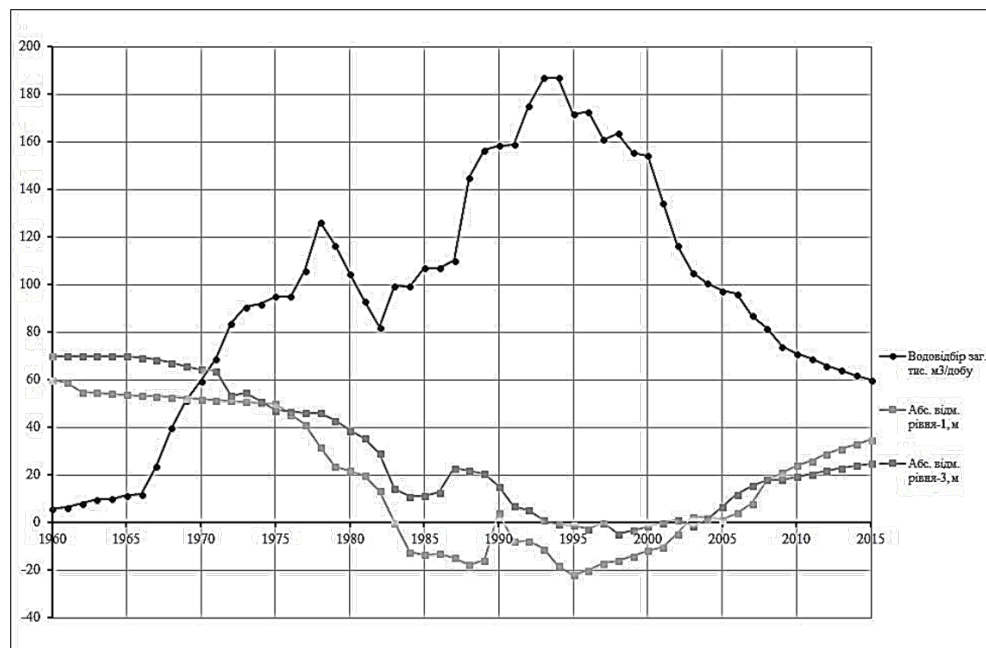


Рис. 1. Графіки залежності рівневого режиму підземних вод сеноман-нижньокрейдового водоносного комплексу від їх водовідбору у межах водозаборів № 1 і № 3 м. Полтава

Окрім розробленої 5-бальної шкали для кожного показнику, не менш важливим етапом робіт був розрахунок вагових коефіцієнтів  $k_1$ – $k_5$ , які визначають відносну важливість кожного показнику в загальній системі оцінки. Оптимальною для визначення вагових коефіцієнтів визначено більш гнучку 10-бальну шкалу – від 1 до 10. Чим більше бал – тим більша важливість даного показнику. За 1 бал приймалися параметри із мінімальною захисною здатністю, за 10 – із максимальною.

Найбільше значення для оцінки захищеності бучацько-канівського водоносного комплексу мають літолого-фільтраційні характеристики роздільного слабопроникного шару відкладів, який залягає у покрівлі комплексу. Він є першим у розрізі надр регіону водотривом, який має повсюдне розповсюдження та складається, в основному, виключно із щільних порід – глин та мергелів. Він є єдиним надійним бар'єром для проникнення забруднюючих речовин із ґрунтових вод та вод олігоцен-пліоценових (олігоцен-міоценових) відкладів. Тому вагові коефіцієнти  $k_4$  (проникність роздільного шару) та  $k_5$  (швидкість вертикального перетоку через нього) прийняті за максимальні значення – 10.

Наступним по важливості є коефіцієнт  $k_2$ . Він характеризує захисну здатність водотривких порід у покрівлі та товщі вищезалягаючого, відносно ці-

льового, водоносного комплексу. Дані породи не відзначаються регіональною сталістю відносно потужності та літологічного складу. Тому значення  $k_2$  прийняте за 5, що у 2 рази менше максимального.

Найбільш проникними є відклади приповерхневої частини розрізу та першого міжпластового водоносного комплексу. При чому захисна здатність даних відкладів порівнянна. Це наглядно видно в табл. 1, де приводиться порівняння їх літологічного складу та загальної удільної проникності.

Таблиця 1

**Порівняння параметру удільної проникності порід верхньої частини розрізу та першого міжпластового водоносного комплексу**

Показник захищеності, бали	Літологічний склад порід, їх товщина (розрахований середній показник удільної проникності відкладів)	
	Верхня (приповерхнева) частина розрізу	Перший міжпластовий водоносний комплекс
1	Різнзернисті піски, 10–20 м (0,6 діб <sup>-1</sup> )	Різнзернисті глинисті піски, до 10 м (0,6 діб <sup>-1</sup> )
2	Різнзернисті піски, 10–20 м; лесові суглинки, 5–10 м (0,3 діб <sup>-1</sup> )	Різнзернисті глинисті піски, 10–20 м (0,2 діб <sup>-1</sup> )
3	–	Різнзернисті глинисті піски, 20–30 м (0,12 діб <sup>-1</sup> )
4	–	Різнзернисті глинисті піски, 30–40 м (0,08 діб <sup>-1</sup> )
5	Лесові і піщані суглинки, від 5–10 до 30–50 м (0,02 діб <sup>-1</sup> )	Різнзернисті глинисті піски, 40–150 м (0,03 діб <sup>-1</sup> )

Тому вагові коефіцієнти  $k_1$  та  $k_3$  прийняті за однакові значення. Також вони повинні бути максимально наближені до мінімального значення – 1 – так як дані відклади мають значно меншу захисну здатність порівняно з іншими. А так як поряд з добре проникними піщаними породами до їх складу все ж таки входять слабопроникні – лесові суглинки та суттєво глинисті піски – коефіцієнти  $k_1$  та  $k_3$  прийняті за значення трохи більше за мінімальне, яке відводилося для суто проникних порід.

Загальний розподіл вищенаведених показників відносно оцінки захищеності цільового водоносного комплексу наведений у табл. 2.

Після визначення усіх п'ятьох складових оцінки, проводився підрахунок отриманих балів по кожному блоку території з використанням ГІС-інструментів. Отриманий результат визначив категорії захищеності підземних вод від техногенного забруднення. Також були розраховані зміни даного показнику за період дослідження (табл. 3).

Причини даних змін у одній із динамічних складових оцінки – інтенсивності

Таблиця 2  
Загальний розподіл показників оцінки захищеності цільового водонесного комплексу

№№ з/п	Назва показнику	Параметр, який визначається та одиниця виміру	Інтервал значень	Показник захищеності, бали	Ваговий коефіцієнт
1	Літологія верхньої (приповерхневої) частини розрізу	Визначення характерного літологічного складу відкладів верхньої частини розрізу відповідно до типових ділянок	Ділянки I-ого типу Ділянки II-ого типу Ділянки III-ого типу	1 2 5	1,5
2	Власна геологічна захищеність першого міжпластового водонесного комплексу	Удільна проникність слабопроникних порід у покрівлі та безпосередньо у товщі першого міжпластового водонесного комплексу, діб <sup>-1</sup>	$>6,7 \times 10^{-5}$ $6,7 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$ $5 \times 10^{-5} - 3,3 \times 10^{-5}$ $3,3 \times 10^{-5} - 2,5 \times 10^{-5}$ $< 2,5 \times 10^{-5}$	1 2 3 4 5	5
3	Проникність відкладів першого міжпластового водонесного комплексу	Удільна проникність проникних порід у товщі першого міжпластового водонесного комплексу, діб <sup>-1</sup>	$>0,3$ $0,3 - 0,15$ $0,15 - 0,1$ $0,1 - 0,075$ $< 0,075$	1 2 3 4 5	1,5
4	Проникність роздільного шару	Удільна проникність регіонально витриманого роздільного шару слабопроникних порід, який залягає у покрівлі цільового водонесного комплексу, діб <sup>-1</sup>	$>5 \times 10^{-6}$ $5 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-6}$ $4 \times 10^{-6} - 3,3 \times 10^{-6}$ $3,3 \times 10^{-6} - 2,9 \times 10^{-6}$ $< 2,9 \times 10^{-6}$	1 2 3 4 5	10
5	Швидкість вертикального перетоку через роздільний шар	Швидкість вертикального перетоку через регіонально витриманий роздільний шар слабопроникних порід у покрівлі цільового водонесного комплексу, м/добу	$>10^4$ $10^4 - 5 \times 10^5$ $5 \times 10^5 - 10^5$ $10^5 - 10^7$ $10^7 - 0$ $< 0$	1 2 3 4 5 Умовно захищені	10

Таблиця 3

## Визначені категорії захищеності підземних вод

Показник захищеності, бали	Категорія захищеності	Ступінь захищеності	Розповсюдженість у 1960 р., % від загальної площі	Розповсюдженість у 2015 р., % від загальної площі	Зміни за 55 років, % від загальної площі
28–52,5	1	Дуже низька захищеність	10	13	+3
52,5–77	2	Низька захищеність	20	38	+18
Разом 1+2 категорії ( <i>незахищені</i> )			30	51	+21
77–101,5	3	Умовна захищеність (у т.ч. зони висхідного потоку)	46	28	-18
101,5–126	4	Висока захищеність	23	18	-5
126–140	5	Дуже висока захищеність	1	3	+2
Разом 4+5 категорії ( <i>захищені</i> )			24	21	-3

інфільтрації через роздільний шар. Отримані межі зміни сучасної (станом на 2015 р.) швидкості вертикальної фільтрації по досліджуваній території є досить широкими та змінюються (не враховуючи ділянок висхідного потоку) від 0 до 1460 мм/рік. Це зумовлюється наявністю діючих водозаборів в районі м. Полтава, а також найбільших міст регіону (Миргород, Лубни, Гадяч, Красноград та деякі ін.), які активно експлуатують цільовий, буцацько-канівський та нижчезалягаючий, сеноман-нижньокрейдовий водоносні комплекси і формують депресійні лійки зі значними низхідними швидкостями потоку в цільовий комплекс.

На другому етапі роботи виконується оцінка захищеності підземних вод від природних неотектонічних факторів забруднення, які значно активізувалися в умовах сучасного інтенсивного техногенезу на підземні води регіону за рахунок наступних процесів:

- інтенсифікація водовідбору підземних вод;
- зміни гідродинамічних умов водоносних комплексів за рахунок збільшення мережі водозаборів;
- як наслідок попередніх процесів – фіксується інтенсивне надходження глибинних забруднювачів (наприклад, хлоридів та ін.).

Під час досліджень було проаналізовано понад 700 хімічних аналізів під-

земних вод цільового комплексу зі свердловин території робіт та співставлено їх з неотектонічною будовою регіону. До уваги бралася тектонічна будова по відбивальному горизонту IVб (Т) [1], у межах якого тектонічні порушення можуть впливати на гідрогеологічні умови зони активного водообміну.

Гідрохімічне опробування підземних вод проводилося на водозаборах згідно із відповідними методичними рекомендаціями по відбору проб підземних вод зі свердловин [7].

Для простеження впливу глибинних некондиційних вод на якість вод цільового комплексу було обрано два класичні параметри хімічного складу: сухий залишок та вміст хлоридів. Їх підвищені значення характерні для глибинних солоних вод.

Загальним принципом вибору водозаборів для досліджень було їх розташування у межах тектонічних структур або поряд із тектонічними порушеннями. У ході робіт були виділені найбільш характерні ділянки, які відповідають принципам вибору та у межах яких експлуатується бучацько-канівський водонесний комплекс і проводяться багаторічні гідрохімічні дослідження. Це:

- 1) водозабір родовища питних підземних вод «Ливарне» (східна околиця м. Полтава);
- 2) міські водозабори м. Котельва;
- 3) Центральний та Федорівський водозабори м. Карлівка.

У якісному складі підземних вод спостерігаються наступні закономірності. При наближенні до тектонічних порушень на відстань від 2 км та менше вміст сухого залишку та хлоридів стрімко збільшується до 1350–1600 та 450–600 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. При віддаленні на відстань 2,5 км та більше спостерігається зменшення показників до фонових значень – до 1000–1200 і 300–350 мг/дм<sup>3</sup> відповідно.

Отримані дані підтверджують, що у межах територій із наявною сучасною геодинамічною активністю земної кори простежується значний вплив глибинних високомінералізованих підземних вод на якість питних вод зони активного водообміну. Зонами міграції виступають активні тектонічні порушення. Особливо, цей процес помітний у межах тектонічних структур, які активно поділені на блоки розривними порушеннями.

Проаналізувавши усі подібні випадки у межах регіону досліджень, територія була умовно поділена на блоки, однакові за розмірами – 2,5 × 2,5 км. Саме у межах даного таксону спостерігається вплив неотектонічних природних факторів на якість вод цільового комплексу.

Далі проводилася оцінка сучасної геодинамічної активності земної кори регіону як параметру, що здійснює максимальний вплив на активність тектонічних порушень. Показник розрахований за допомогою дослідження сумарних амплітуд неоген-четвертинних рухів земної кори у межах території досліджень. Були розраховані характерні інтервали значень показнику, яким відповідають відповідні індекси захищеності від А до Е (табл. 4).

Таблиця 4

**Визначені індекси захищеності підземних вод**

Сумарна амплітуда неоген-четвертинних рухів земної кори, м	Індекси захищеності
<130	A
130–140	B
140–150	C
150–160	D
>160	E

Потім поєднуються обидва етапи робіт за допомогою суміщення категорій та індексів захищеності. У результаті, отримуємо комплексну оцінку захищеності підземних вод від техногенного (поверхневого) та природного (неотектонічного) забруднень. Вона складається із 25 різних комбінацій категорій та індексів (табл. 5).

Таблиця 5

**Підсумкові градації комплексної оцінки захищеності**

Підсумкові градації захищеності	Ступінь захищеності від техногенного забруднення	Ступінь захищеності від природного забруднення
1	2	3
E1	Дуже низька	Дуже низька
D1		Низька
C1		Умовна
B1		Висока
A1		Дуже висока
E2	Низька	Дуже низька
D2		Низька
C2		Умовна
B2		Висока
A2		Дуже висока
E3	Умовна	Дуже низька
D3		Низька
C3		Умовна
B3		Висока
A3		Дуже висока

## Продовження таблиці 5

1	2	3
E4	Висока	Дуже низька
D4		Низька
C4		Умовна
B4		Висока
A4		Дуже висока
E5	Дуже висока	Дуже низька
D5		Низька
C5		Умовна
B5		Висока
A5		Дуже висока

У результаті ГІС-обробки отримуємо карту захищеності підземних вод цільового водоносного комплексу від техногенного (поверхневого) та природного (неотектонічного) забруднень. Умовні позначення карти наступні: ступінь захищеності від техногенного забруднення показується кольором, від природного – відповідними індексами на зонах карти.

Таким чином, розроблений удосконалений методичний підхід до оцінки дозволяє визначити усі можливі вертикальні шляхи міграції забруднюючих компонентів до цільового водоносного комплексу. Він є комплексним та раціональним, його можливо пристосувати до будь-яких гідрогеологічних умов. Також він є достатньо нескладним, завдяки чому можливо ефективно та оперативно оцінити ризики забруднення та розробити комплексні цільові системи екологічної безпеки територій, відсутність яких є стратегічною проблемою для всієї України.

### ВИСНОВКИ

Проведене раціональне комплексування геоекологічних показників дозволяє визначити ступінь комплексної захищеності підземних вод водоносного комплексу від забруднення як техногенного (поверхневого), так і природного (неотектонічного) характерів.

Виявлені усі можливі вертикальні шляхи міграції забруднюючих компонентів до цільового водоносного комплексу та уточнені його еколого-гідрогеологічні фактори захищеності. Розроблений удосконалений методичний підхід дозволяє визначити ступінь ризику забруднення підземних вод відносно кожного із факторів.

За допомогою аналізу гідрохімічних особливостей підземних вод, визначено, що поверхневе забруднення – не превалюючий фактор погіршення якості вод цільового комплексу. Не менш важливим є неотектонічний фактор форму-



вання хімічного складу цих вод, який наразі є недооціненим.

Ефективність, оперативність та нескладність у використанні удосконаленого методичного підходу була доведена апробацією на водозаборах бучацько-канивського водоносного комплексу, який у межах Східної України є одним із стратегічно важливих. Проведені дослідження дозволяють внести вклад у розробку комплексних систем екологічної безпеки питних підземних вод регіону.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Гузік Я. І.* Узагальнення та оперативний аналіз геолого-геофізичних матеріалів в центральній частині Дніпровсько-Донецької западини [Текст] : звіт тематичної партії 45/07 за 2007–2009 рр. / Я. І. Гузік . – ДГП «Укргеофізика» Східно-Українська геофізична розвідувальна експедиція. – Полтава, 2009. – 85 с.
2. *Гольдберг В. М.* Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды [Текст] / В. М. Гольдберг. – Л., 1987. – 248 с.
3. *Гольдберг В. М.* Природные и техногенные факторы защищенности грунтовых вод [Текст] / В. М. Гольдберг // Бюл. МОИП, № 2, 1983. – С. 103–110.
4. *Ємчук Т. В.* Оцінка захищеності підземних вод: методологічні аспекти і практичне застосування [Текст] / Т. В. Ємчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: ВГЛ «Обрії», 2011, Том 1 (22). – С. 45–50.
5. Региональная оценка уязвимости пресных подземных вод: методологические аспекты и практическое применение [Текст] / И. С. Зекцер, О. А. Каримова, Ж. Бужуоли [и др.] // Водные ресурсы, т. 31, № 6, 2004. – С. 645–650.
6. *Кошляков О. Є.* До питання вразливості питних підземних вод в межах Київської міської агломерації з урахуванням природної захищеності [Текст] / О. Є. Кошляков, О. В. Диняк, І. Є. Кошлякова // Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки, 2014. – Т. 19. – № 3 (22). – С. 269–273.
7. Методические рекомендации по изучению и прогнозу режима химического состава подземных вод в естественных и нарушенных условиях [Текст] / сост.: *Е. Н. Ярцева, В. А. Барон, В. М. Гольдберг* [и др.]. – М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. институт гидрогеологии и инж. геологии «ВСЕГИНГЕО». – М.: ВСЕГИНГЕО, 1974. – 117 с.
8. *Мироненко В. А.* Оценка защитных свойств зоны аэрации (применительно к загрязнению подземных вод) [Текст] / В. А. Мироненко, В. Г. Румынин // Инженерная геология, № 2, 1990. – С. 3-18.
9. *Михневич Г. С.* Оценка защищенности подземных вод Калининградской области от загрязнения [Текст] / Г. С. Михневич // Вестник Российского государственного университета им. Иммануила Канта. Серия естественные науки. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2010. – Вып. №1. – С. 93–101.
10. *Огняник Н. С.* Постоянно действующие математические модели гидрогеологических процессов (на примере юга УССР) [Текст] / Н. С. Огняник. – К.: Наук. думка, 1983. – 168 с.
11. *Остроух О. А.* Якісна оцінка природної захищеності підземних вод засобами ГІС [Текст] / О. А. Остроух // Вісник Харк. нац. університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія-Географія-Екологія», 2013. – № 1049. Вип. 38. – С. 34–38.
12. *Пашковский И. С.* Принципы оценки защищенности подземных вод от загрязнения [Текст] / И. С. Пашковский // Современные проблемы гидрогеологии и гидромеханики. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. – С. 122–131.
13. *Питьева К. Е.* Гидрогеологические исследования в районах нефтяных и газовых месторождений [Текст] / К. Е. Питьева. – М.: Недра, 1999. – 199 с.
14. *Полубаринова-Кочина П. Я.* Теория движения грунтовых вод [Текст] / П. Я. Полубаринова-Кочина. – М.: Наука, 1977. – 664 с.

15. *Потапов А. А.* Защищенность подземных вод и ее виды [Текст] / А. А. Потапов, И. О. Панова // Современные проблемы гидрогеологии. V Толстихинские чтения. – С-Пб, 1996. – С. 35–40.
16. *Рогачевская Л. М.* Региональная оценка уязвимости грунтовых вод восточной части Днепровского артезианского бассейна к радионуклидному загрязнению [Текст] : автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук / Л. М. Рогачевская. – М., 2002. – 23 с.
17. *Роговская Н. В.* Карта естественной защищенности подземных вод от загрязнения [Текст] / Н. В. Роговская. – М.: Природа, № 3, 1976. – С. 57–76.
18. *Шестопалов В. М.* Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции [Текст] / В. М. Шестопалов, А. С. Богуславский, В. Н. Бублясь. – Научно-инженер. центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований, Ин-т геол. наук НАН Украины. – Киев, 2007. – 120 с.
19. *Шпак Е. Н.* Гидрогеологические исследования для оценки защитных свойств зоны аэрации при проникновении легких нефтепродуктов [Текст] / М. С. Огняник, Н. К. Парамонова, Е. Н. Шпак [и др.] // Тезисы докладов международной конференции «Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов». – Москва, 2001. – С. 46–48.
20. *Щербак О. В.* Зміна природної захищеності підземних вод в умовах підтоплення на території Херсонської області [Текст] / О. В. Щербак // Вісник Одеського нац. університету. Серія: Географічні та геологічні науки, 2013. – Т. 18. Випуск 1 (17). – С. 249–253.
21. *Albinet M.* Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine [Text] / M. Albinet and J. Margat // Bulletin BRGM 2nd Series, 1970. – No. 3 (4). – P. 13–22.
22. *Aller L.* DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings [Text] / L. Aller, T. Bennet, J. H. Lehr [Eds.]. – US Environmental Protection Agency. – Ada, EPA/600/2-87-036, 1987.
23. *Ball D.* Development of a groundwater vulnerability screening methodology for the Water Framework Directive [Text] / D. Ball, A. MacDonald, B. Dochartaigh [Eds.] // Final report. Project WFD28, SNIFFER, 2004.
24. *Civita M.* Assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination: The Italian «combined» approach [Text] / M. Civita, M. De Maio // Geofisica Internacional, 2004. – Vol. 43, No. 4. – P. 513–532.
25. *Foster S. S. D.* Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy [Text] / S. S. D. Foster // Atti Int. Conf. Vulnerab. of Soil and Groundw. to Pollutants, RIVM Proc. and Inf. 38, 1987. – P. 69–86.
26. *Groundwater Resources of Southern Wisconsin* [Text]. – Southern Wisconsin Regional Planning Commission. Wisconsin Geological and Natural History Survey. Wisconsin Department of Natural Resources, 2002. – Technical Report No. 37.
27. *Loague K.* A case study simulation of DBCP groundwater contamination in Fresno County, California: 2. Transport in the saturated subsurface [Text] / K. Loague, R. H. Abrams, S. N. Davis [Eds.] // J. Contaminant Hydrology, 1998. – No. 29. – P. 137–163.
28. *Margat J.* Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution (Vulnerability of groundwater to pollution) [Text] / J. Margat // BRGM Publication 68 SGL 198 HYD, Orleans, 1968.
29. *Olmer M.* Methodical principles of maps for protection of groundwater in Bohemia and Moravia scale 1:200 000 [Text] / M. Olmer, B. Rezac // Mem. I.A.H. 10, 1, 1974. – P. 105–107.
30. *Sililo O. T. N.* A procedure for deriving qualitative contaminant attenuation maps from land type data. [Text] / O. T. N. Sililo, J. E. Conrad, T. E. Doehse [Eds.] // Journal of Hydrology 241, 2001. – P. 104–109.
31. *Van Stempvoort D.* A method for groundwater protection mapping in the Prairie Province of Canada [Text] / D. Van Stempvoort, L. Ewert and L. Wassenaar // PPWB Report No. 114. National Hydrogeology Research Institute, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 1995.
32. *Vrana M.* Ochrana prostyc podzemnich vod v Cechach a na Morava. Vysvetlivsky k mape

- 1:500 000 [Текст] / М. Vrana // Wat. Res. Plan Cent., Praha (in Ceco), 1968.
33. Vrba J. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability [Текст] / J. Vrba, A. Zaporozec [Eds.] // International Contributions to Hydrogeology, v. 16. International Association of Hydrogeology, Heise, Hanover, 1994. – 131 p.
34. Zhang R. Determination of nonpoint-source pollution using GIS and numerical models [Текст] / R. Zhang, J. D. Hamerlinck, S. P. Gloss [Eds.] // Journal of Environmental Quality 25 (3), 1996. – P. 411–418.

## REFERENCES

1. Guzik, Ya. I. (2009), *Uzagal'nennya ta operatyvnyj analiz geologo-geofizychnykh materialiv v central'ni chasty ni Dniprovs'ko-Donecz'koyi zapady'ny': zvit tematychnoyi partiyi 45/07 za 2007–2009 rr.* [Generalization and operational analysis of geological and geophysical materials in the central part of the Dnipro-Donetsk depression: thematic party report 45/07 for 2007–2009], DGP «Ukrgeophysics» East-Ukrainian geophysical prospecting expedition, Poltava, 85 p.
2. Goldberg, V. M. (1987), *Vzaimosvyaz zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoy sredy* [Interrelation of pollution of groundwater and environment], Leningrad, 248 p.
3. Goldberg, V. M. (1983), *Prirodnye i tekhnogennye faktory zashchishchennosti gruntovykh vod* [Natural and technogenic factors of groundwater protection], Bull. MOIP, No. 2, pp. 103–110.
4. Yemchuk, T. V. (2011), *Ocinka zaxyshhenosti pidzemnykh vod: metodologichni aspekty i praktychne zastosuvannya* [Estimation of groundwater protection: methodological aspects and practical application], *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, Kyiv: «Horizon», No. 1 (22), pp. 45–50.
5. Zektser, I. S., Karimova, O. A., Buzhuoli, Zh. (Eds.). (2004), *Regionalnaya otsenka uyazvimosti presnykh podzemnykh vod: metodologicheskie aspekty i prakticheskoe primenenie* [Regional assessment of vulnerability of unlevended groundwater: methodological aspects and practical application], *Water resources*, 31, No. 6, pp. 645–650.
6. Koshlyakov, O. Ye. (2014), *Do py'tannya vrazlyvosti py'tnykh pidzemnykh vod v mezhax Ky'yivs'koyi mis'koyi aglomeratsiyi z uraxuvannyam pry'rodnoyi zaxyshhenosti* [To the issue of vulnerability of drinking groundwater within the Kyiv city agglomeration taking into account the natural protection], *Bulletin of Odessa National University. Series: Geographical and geological sciences*, No. 3 (22), pp. 269–273.
7. Yartseva, Ye. N., Baron, V. A., Goldberg, V. M. (Eds.). (1974), *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu i prognozu rezhima khimicheskogo sostava podzemnykh vod v estestvennykh i narushennykh usloviyakh* [Methodical recommendations for studying and forecasting the regime of the chemical composition of groundwater in natural and disturbed conditions], Ministry of Geology of the USSR. All-Union Scientific Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Moscow, 117 p.
8. Mironenko, V. A., Rumynin, V. G. (1990), *Otsenka zashchitnykh svoystv zony aeratsii (primenitelno k zagryazneniyu podzemnykh vod)* [Assessment of the protective properties of the aeration zone (in relation to groundwater pollution)], *Engineering Geology*, No. 2, pp. 3–18.
9. Mikhnevich, G. S. (2010), *Otsenka zashchishchennosti podzemnykh vod Kaliningradskoy oblasti ot zagryazneniya* [Assessment of the protection of underground waters in the Kaliningrad Region from pollution], *Bulletin of the Immanuel Kant Russian State University. Series of natural sciences*, No. 1, Kaliningrad, pp. 93–101.
10. Ognyanik, N. S. (1983), *Postoyanno deystvuyushchie matematicheskie modeli gidrogeologicheskikh protsessov (na primere yuga USSR)* [Constantly operating mathematical models of hydrogeological processes (on the example of the south of the USSR)], Kyiv: Scientific thought, 168 p.
11. Ostroux, O. A. (2013), *Yakisna ocinka pry'rodnoyi zaxyshhenosti pidzemnykh vod zasobamy GIS* [Qualitative assessment of the natural protection of groundwater by means of GIS], *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology-Geography-Ecology"*, No. 1049, pp. 34–38.

12. Pashkovskiy, I. S. (2002), Printsipy otsenki zashchishchennosti podzemnykh vod ot zagryazneniya [Principles for assessing the protection of groundwater from pollution], *Modern problems of hydrogeology and hydromechanics*. St. Petersburg: St. Petersburg, pp. 122–131.
13. Piteva, K. Ye. (1999), *Gidrogeologicheskie issledovaniya v rayonakh neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Hydrogeological investigations in areas of oil and gas fields], Moscow: Nedra, 199 p.
14. Polubarinova-Kochina, P. Ya. (1977), *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod* [Theory of groundwater movement], Moscow: Science, 664 p.
15. Potapov, A. A. (1996), Zashchishchennost podzemnykh vod i ee vidy [The protection of groundwater and its types], *Modern problems of hydrogeology. 5th Tolstikhin Readings*, St. Petersburg, pp. 35–40.
16. Rogachevskaya, L. M. (2002), Regionalnaya otsenka uyazvimosti gruntovykh vod vostochnoy chasti Dneprovskogo artezianskogo basseyna k radionuklidnomu zagryazneniyu [Regional assessment of the vulnerability of groundwater in the eastern part of the Dnieper artesian basin to radionuclide pollution], *Extended abstract of candidate's thesis*, Moscow, 23 p.
17. Rogovskaya, N. V. (1976), *Karta estestvennoy zashchishchennosti podzemnykh vod ot zagryazneniya* [Map of natural groundwater protection from pollution], Moscow: Nature, No. 3, pp. 57–76.
18. Shestopalov, V. M. (2007), *Otsenka zashchishchennosti i uyazvimosti podzemnykh vod s uchetom zon bystroy migratsii* [Assessment of groundwater protection and vulnerability in view of rapid migration zones], The Scientific and Engineering Center of Radiohydrogeoeological Range Studies, the Institute of Geological Sciences of the Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 120 p.
19. Shpak, Ye. N. (2001), *Gidrogeologicheskie issledovaniya dlya otsenki zashchitnykh svoystv zony aeratsii pri proniknovenii legkikh nefteproduktov* [Hydrogeological investigations to assessment the protective properties of the aeration zone in the penetration of light petroleum products], *Abstracts of the international conference "New technologies for cleaning oil-polluted waters, soils, processing and utilization of oil sludge"*, Moscow, pp. 46–48.
20. Sherbak, O. V. (2013), *Zmina pry`rodnoyi zaxy`shhenosti pidzemny`x vod v umovax pidtoplennya na tery`toriyi Xersons`koyi oblasti* [Changing the natural protection of groundwater under flood conditions on the territory of the Kherson region], *Bulletin of Odessa National University. Series: Geographical and geological sciences*, No. 1 (17), pp. 249–253.
21. *Albinet, M. and Margat, J. (1970), Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau souterraine. – Bulletin BRGM 2<sup>nd</sup> Series, 3 (4), pp. 13–22.*
22. *Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H. (Eds.). (1987), DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US Environmental Protection Agency, Ada, EPA/600/2-87-036.*
23. *Ball, D., MacDonald, A., Dochartaigh, B. (Eds.). (2004), Development of a groundwater vulnerability screening methodology for the Water Framework Directive. Final report. Project WFD28, SNIFFER, 2004.*
24. *Civita, M., DeMaio, M. (2004), Assessing and mapping groundwater vulnerability to contamination: The Italian «combined» approach. – Geofisica Internacional, Vol. 43, No. 4, pp. 513–532.*
25. *Foster, S. S. D. (1987), Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Atti Int. Conf. Vulnerab. of Soil and Groundw. to Pollutants, RIVM Proc. and Inf. 38, pp. 69–86.*
26. *Groundwater Resources of Southern Wisconsin. (2002), Southern Wisconsin Regional Planning Commission. Wisconsin Geological and Natural History Survey. Wisconsin Department of Natural Resources. Technical Report No. 37.*
27. *Loague, K., Abrams, R. H., Davis, S. N. (Eds.). (1998), A case study simulation of DBCP groundwater contamination in Fresno County, California: 2. Transport in the saturated subsurface. – J. Contaminant Hydrology, 1998, 29, pp. 137–163.*
28. *Margat, J. (1968), Vulnerabilite des nappes d'eau souterraine a la pollution (Vulnerability of*

- groundwater to pollution). BRGM Publication 68 SGL 198 HYD, Orleans.
29. *Olmer, M., Rezac, B.* (1974), Methodical principles of maps for protection of groundwater in Bohemia and Moravia scale 1:200 000. Mem. I.A.H. 10, 1, pp. 105–107.
  30. *Sililo, O. T. N., Conrad, J. E., Doehse, T. E. (Eds.)*. (2001), A procedure for deriving qualitative contaminant attenuation maps from land type data. – *Journal of Hydrology* 241, 2001, pp. 104–109.
  31. *Van Stempvoort, D., Ewert, L. and Wassenaar, L.* (1995), A method for groundwater protection mapping in the Praire Province of Canada. PPWB Report No. 114. National Hydrogeology Research Institute, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
  32. *Vrana, M.* (1968), Ochrana prostyc podzemnich vod v Cechach a na Morava. Vysvetlivsky k mape 1:500 000. – *Wat. Res. Plan Cent., Praha* (in Ceco).
  33. *Vrba, J., Zaporozec, A. (Eds.)*. (1994), Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. – *International Contributions to Hydrogeology*, v. 16. International Association of Hydrogeology, Heise, Hanover. 131 p.
  34. *Zhang, R., Hamerlinck, J. D., Gloss, S. P. (Eds.)*. (1996), Determination of nonpoint-source pollution using GIS and numerical models. – *Journal of Environmental Quality* 25 (3), pp. 411–418.

Надійшла 04. 09. 2018

**С. М. Левонюк<sup>1</sup>**, младший научный сотрудник,

**И. В. Удалов<sup>2</sup>**, доктор геол. наук, доцент, зав. кафедры,

<sup>1</sup> Украинский научно-исследовательский институт природных газов,  
Гимназийная наб., 20, Харьков, 61010;

<sup>2</sup> Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина,  
пл. Свободы, 4, Харьков, 61022

sergii.levonyuk@gmail.com

## КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

### Резюме

Работа посвящается актуальной экологической теме – оценке защищенности питьевых подземных вод в условиях современного интенсивного техногенеза на геологическую среду.

Авторами разработан эффективный и комплексный геоэкологический методический подход к оценке риска загрязнения подземных вод с учетом выявленных недостатков существующей методической базы и современных реалий.

Впервые выполнено рациональное комплексирование геоэкологических показателей, что позволяет определить степень комплексной защищенности водоносного комплекса от загрязнения как техногенного (поверхностного), так и естественного (неотектонического) характеров. Проведена апробация методического подхода на водозаборах бучакско-каневского комплекса, который в пределах Восточной Украины является одним из стратегически важных.

Определено, что поверхностное загрязнение – не преобладающий фактор ухудшения качества вод целевого комплекса. Не менее важным является неотекто-

нический фактор формирования химического состава этих вод, который сейчас является недооцененным.

**Ключевые слова:** подземные воды, бучакско-каневский водоносный комплекс, экологические и гидрогеологические факторы защищенности, техногенез, методический подход, поверхностное и неотектоническое загрязнение.

**S. M. Levoniuk<sup>1</sup>**

**I. V. Udalov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ukrainian Research Institute for Natural Gases, Gimnaziyna emb., 20, Kharkiv, 61010

<sup>2</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022

sergii.levonyuk@gmail.com

## COMPLEX GEO-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE PROTECTION OF DRINKING GROUNDWATER

### Abstract

**Problem Statement and Purpose.** The work is dedicated to a very important ecological issue – assessment of the protection of drinking groundwater in conditions of modern intensive technogenesis on the geological environment. The purpose of the article was development an effective complex geo-ecological methodological approach to the assessment of the risk of groundwater pollution.

**Data & Methods.** The author's development is based on the use of the results of drilling more than 950 wells and more than 700 chemical analyzes of groundwater in the region, and about 500 measurements of the levels of adjacent target and first interlayer complexes during the 1960–2015 period. Also, environmental information and current data of the neotectonic conditions of the research area were used.

A number of general research methods – analysis, synthesis, systematization, classification, modeling, and statistical method were used in process the necessary information in the research area. Interpolation methods and analogies were used in modeling of ecological and hydrogeological factors of groundwater protection.

**Results.** For the first time a rational aggregation of geo-ecological indicators was conducted, it allows determining the degree of groundwater complex protection of the aquifer from pollution of technogenic (surface) and natural (neotectonic) characters. An improved methodological approach allows to determine all possible vertical migratory ways of contaminants to the target aquifer.

The approbation of an improved methodological approach to water intakes of the buchak-kaniv aquifer, which is one of the strategically important within Eastern Ukraine, was conducted. It has shown the efficiency, operativeness and simplicity use of this approach.

It was determined that the surface pollution is not a predominant factor in the deterioration of water quality of the target aquifer. The neotectonic factor of the chemical composition formation of these waters which is unappreciated now is important too.

The conducted researches allow to contribute to the development of complex target systems of ecological security of drinking groundwater of territories, their absence is a strategic problem for the whole Ukraine.

**Keywords:** groundwater, the buchak-kaniv aquifer, ecological and hydrogeological factors of protection, technogenesis, methodological approach, surface and neotectonic pollution.