

УДК 004.65+519.6

Ю. С. Семчук, асп.;

А. Р. Яцолт, канд. техн. наук, доц.

ГЕОСТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТОВИХ ВОД ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЯКОСТІ КОЛОДЯЗНОЇ ВОДИ РЕГІОНУ

Розглянуто актуальну задачу просторового аналізу забруднення ґрунтових вод за даними спостереження якості колодязної води. Запропоновано та випробувано на прикладі м. Вінниці методу геостатистичного аналізу цих даних моніторингу з використанням ГІС-пакету «ArcGIS» (США).

Вступ

Проблема забруднення ґрунтових вод за даними спостереження якості колодязної води була однією з перших, на яку звернули увагу і почали досліджувати екологічні організації по всій Україні. Вона є актуальною на сьогодні як для урбанізованих територій, так і для сільської місцевості.

Наразі багато джерел не відповідають нормам за мікробіологічними та санітарно-хімічними показниками. За останні десятиріччя в довкілля було викинуто багато хімічних речовин, які отруюють воду, ґрунт і повітря. Існуючі колодязі не досліджені, і часто документація на них відсутня, тому контроль якості води не ведеться [1, 2].

Додатковим аспектом розширеного хімічного спектра ґрунтової води є випадання опадів, які утворюються в забрудненій атмосфері і, по суті, стають розчинами шкідливих речовин. Дощ, сніг, що зібрав за зиму продукти автомобільних вихлопів, роблять свій внесок в глобальне забруднення природних ресурсів. Множинні фактори забруднення призводять до того, що пити колодязну воду без контролю її якості та додаткового очищення не можна. Це може призвести як до гострих отруєнь, так і до розвитку хронічних захворювань [2, 3].

Саме тому одним із найактуальніших напрямків контролю якості ґрунтових вод є моніторинг та обробка даних спостережень якості колодязної води.

Об'єкт дослідження

Питна вода — вода, в якій бактеріологічні, органолептичні показники та показники токсичних хімічних речовин перебувають в межах норм питного водопостачання. У питному водопостачанні підземні води мають значні переваги перед поверхневими, оскільки менше забруднені і характеризуються стійкішими хімічними властивостями. Тому для Вінниці та області характерне досить велике використання колодязної води.

У Вінницькій області експлуатується 26730 громадських колодязів, з них 8838 — на контролі санепідслужби. На цей час у понад 60 % колодязів громадського користування вода не відповідає санітарним нормам за бактеріологічними показниками. Вода в них неякісна тому, що найближчий до поверхні шар підземних вод забруднений органічними речовинами. Це — проблема, яку необхідно негайно вирішувати як на державному, так і на місцевому рівнях [4].

Звичайно, сьогодні контроль здійснювати важко, оскільки більшість джерел колодязної води ніде не зареєстровані, але поступово можна буде поставити на облік всі одиниці і, таким чином, забезпечити життя населення, що користується цією водою.

Наразі санітарно-епідеміологічна станція (СЕС) здійснює моніторинг стану колодязів та якості води. Всю інформацію записують у санітарному паспорті колодязя та протоколі (всі записи ведуться у паперовому вигляді). Моніторинг колодязів проводиться один раз на квартал, а по деяких колодязях і раз у рік, а після реорганізації СЕС такі вимірювання проводитимуться ще рідше і ще в меншій кількості. Оскільки уся інформація ведеться в паперовому вигляді, це ускладнює аналіз та обробку даних моніторингу.

Протягом 2011—2012 років за участі авторів у Вінницькому національному технічному університеті було зібрано основні дані моніторингу колодязної води м. Вінниці на основі даних Вінницької міської СЕС (далі — ВМ СЕС). Створена база даних та карта колодязів, куди занесені осно-

вні дані про колодязі м. Вінниця та результати моніторингу за 2011 рік (рис. 1).

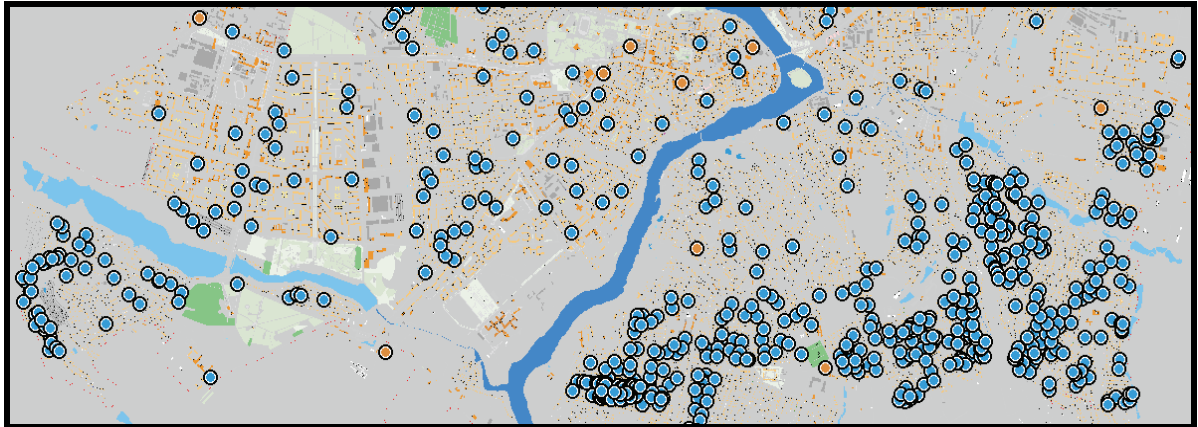


Рис. 1. Карта м. Вінниця з нанесеними колодязями, які контролювалися ВМ СЕС у 2011 році

Методологія аналізу забруднення ґрунтових вод за даними спостереження якості колодязної води засобами геоінформаційних систем

Використовувався спеціальний інструментарій універсального пакета програм для роботи з ГІС — геостатистичний аналіз даних у ГІС «ArcGIS» (США).

Геостатистичний аналіз автоматизовано у пакеті «ArcGIS ArcInfo» та включено до складу додаткового модуля «ArcGIS Geostatistical Analyst». Модуль Geostatistical Analyst забезпечує геостатистичний аналіз і моделювання просторових даних, включаючи надання інтерактивних графічних засобів підбору статистичних параметрів моделей просторових розподілів, містить набір інструментів для геостатистичного аналізу просторових даних і побудови статистично достовірних поверхонь, виявлення глобальних і локальних трендів, аномалій і взаємозв'язків між наборами даних. До геостатистичних методів належать методи кригінгу і кокригінгу [6].

Методи кригінгу дають змогу [6]:

- задавати різні методи інтерполяції (ординарний, простий, універсальний, індикаторний, імовірнісний та диз'юнктивний кригінг);
- створювати різні види вихідних поверхонь: карта інтерпольованих значень, карта квантилей, карта достовірності та карта стандартної помилки інтерполяції.

«ArcGIS Geostatistical Analyst» містить інструменти, що дозволяють визначити, які параметри є оптимальними за певними критеріями, а також пропонує установки за замовчуванням, що забезпечують швидку побудову поверхні.

Аналіз даних проводився за таким алгоритмом:

1. Запуск майстра геостатистики та вибір вхідних даних і методу інтерполяції.
2. Задавання необхідних параметрів в діалозі «Моделювання варіограм/коваріації».
3. В діалозі «Пошук сусідства» зазначається кількість сусідніх точок, які враховуються для побудови карти.
4. За допомогою діалогу «Перехресна перевірка» аналізуються отримані результати, розглядаються різні похибки інтерполяції.
5. Порівняння результатів аналізу та виявлення закономірностей.

Результати аналізу забруднення ґрунтових вод за даними спостереження якості колодязної води з використанням геоінформаційних технологій

За допомогою ГІС «ArcGIS» було здійснено просторовий аналіз забруднення ґрунтових вод за даними спостереження якості колодязної води м. Вінниця згідно з даними ВМ СЕС.

Аналіз даних проводився за таким алгоритмом:

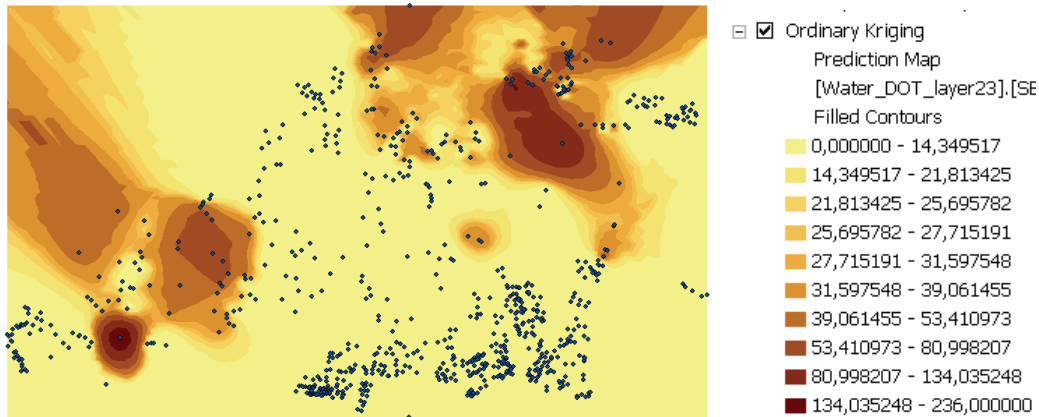
1. Побудова поверхні значень концентрації забруднювальної речовини (ЗР) за даними моніторингу ВМ СЕС за 2011 рік.
2. Порівняння отриманих поверхонь із картою м. Вінниця, виявлення й аналіз закономірностей.

Відповідно до запропонованого алгоритму проведено просторовий аналіз даних за 2011 рік в пакеті «ArcGIS Geostatistical Analyst». Для оцінки стану забруднення колодязної води в м. Вінниця проаналізовано близько 750 місць відбору проб води. Аналіз проводився за допомогою різних методів кригінгу.

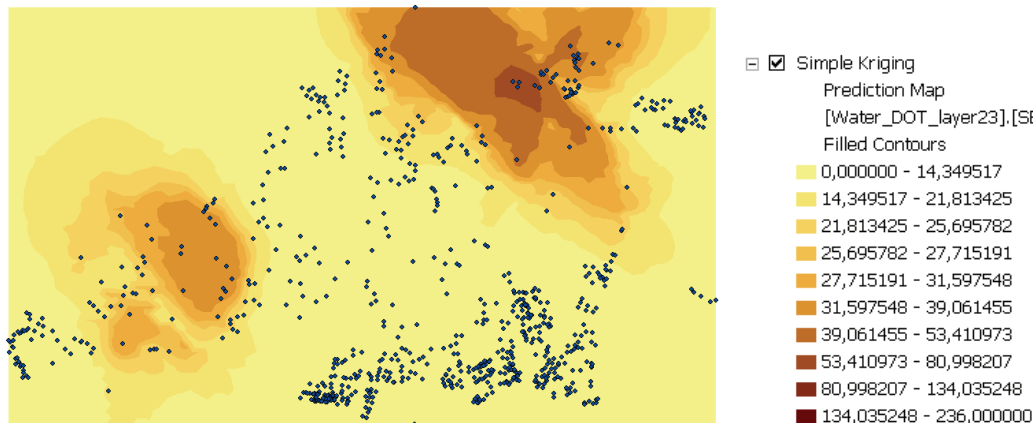
Були побудовані поверхні за значеннями варіограм і відомими вимірюваннями в окремих точках.

При цьому застосовувались різні геостатистичні методи (ординарний кригінг, простий кригінг, універсальний кригінг, індикаторний кригінг, імовірнісний кригінг та диз'юнктивний кригінг), після чого вибирався оптимальний з них. Моделювання проводилося за даними двох показників: концентрації нітратів та хлоридів.

Фрагменти побудованих карт концентрації нітратів за допомогою методу ординарного та простого кригінгу, доступними в «ArcGIS Geostatistical Analyst 9», зображені на рис. 2.



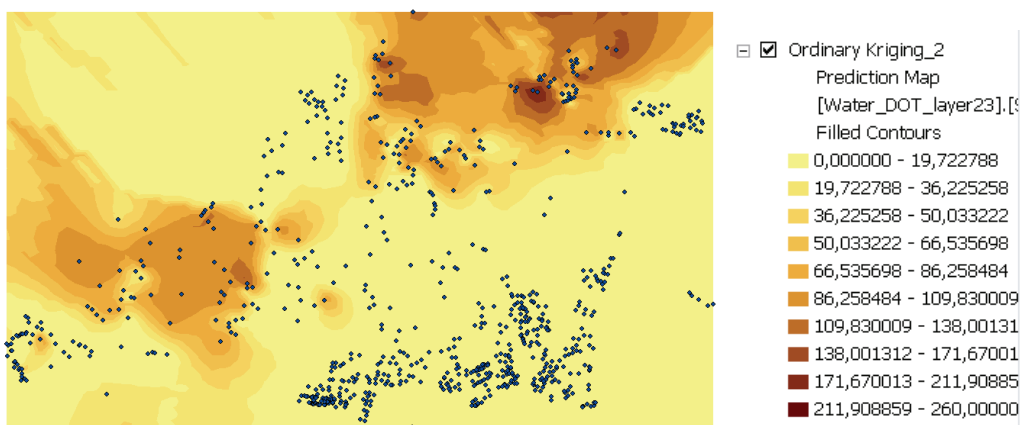
а



б

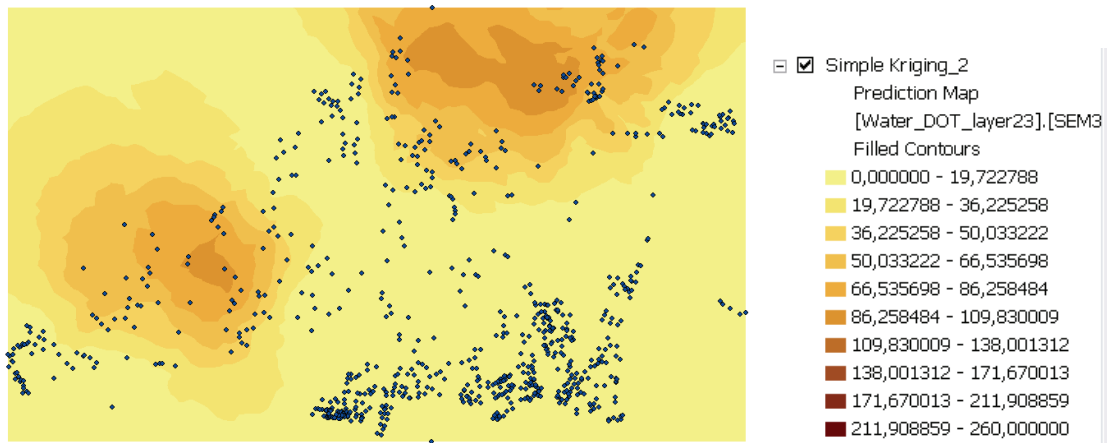
Рис. 2. Фрагменти карт з поверхнею, побудованою за даними моніторингу концентрації нітратів у м. Вінниці за 2011 рік за методами: а — ординарного кригінгу; б — простого кригінгу

Фрагменти побудованих карт концентрації хлоридів зображені на рис. 3.



а

Рис. 3. Фрагменти карт з поверхнею, побудованою за даними моніторингу концентрації хлоридів у м. Вінниці за 2011 рік за методами: а — ординарного кригінгу



б

Рис. 3 (продовження). Фрагменти карт з поверхню, побудованою за даними моніторингу концентрації хлоридів у м. Вінниці за 2011 рік за методами: б — простого кригінгу

Модель ординарного кригінгу виглядає так:

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s), \tag{1}$$

де $Z(s)$ — значення, що розраховується для точки s ; $\varepsilon(s)$ — функція з невідомими середніми значеннями; μ — невідома константа.

Простий кригінг приймає на себе відому сталу тенденцію: $\mu(x) = 0$. Простий кригінг може використовувати варіограми або коваріації, застосовувати перетворення і враховувати похибку вимірювання.

Ординарний кригінг приймає на себе невідому сталу тенденцію: $\mu(x) = \mu$.

Універсальний кригінг приймає на себе загальну лінійну модель тенденції: порівнюючи результати застосування різних методів, варто звернути увагу на два моменти: оптимальність і достовірність. Порівнюючи моделі, потрібно шукати таку, нормована середня помилка якої ближча до нуля, і що має найменшу середньоквадратичну помилку інтерполяції, середню стандартну помилку обчислень найближчу до середньоквадратичної помилки інтерполяції, і нормовану середньоквадратичну помилку, значення якої найближче до одиниці. В результаті порівняння усіх цих значень та помилок з'ясовано, що найоптимальнішим методом для інтерполяції значень концентрації нітратів та хлоридів є ординарний кригінг (рис. 4).

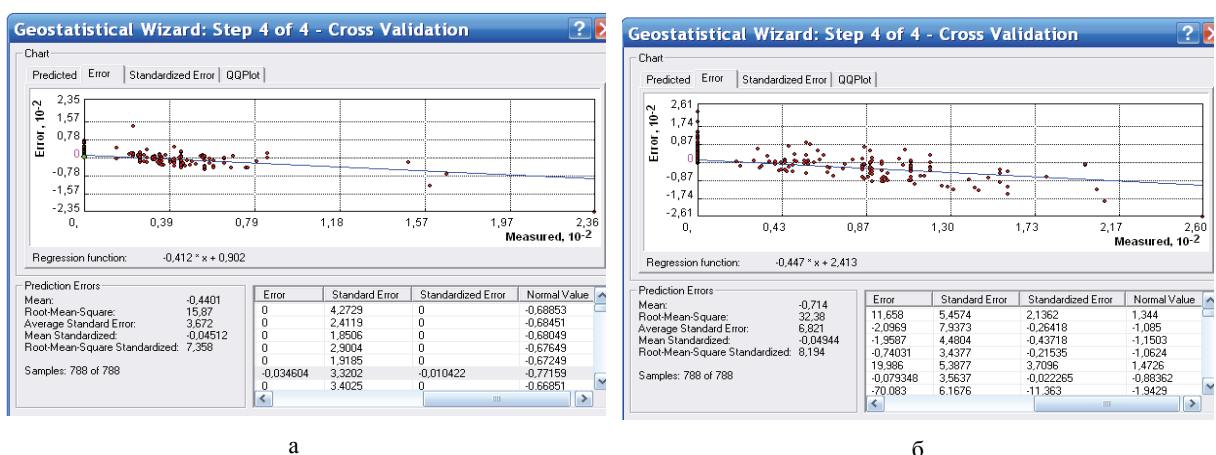


Рис. 4. Загальний вигляд форм різних похибок моделювання концентрацій: а — нітратів; б — хлоридів

Як видно із побудованих на рис. 2 поверхонь, по нітратах досить часто фіксуються перевищення норм гранично допустимих концентрацій ($\Gamma ДК_{NO_3} = 45$ мг/л). Аналіз свідчить, що найбільша концентрація нітратів знаходиться в у приватному секторі в районі Пирогово та у промислових секторах на

місці колишніх підприємств «Термінал» та «Хімпром». На відміну від нітратів із показаних на рис. 3 поверхонь по хлоридах майже всюди стан якості води нижчий норм ($\text{ГДК}_{\text{Cl}} = 250 \text{ мг/л}$). Аналіз підтверджує, що найбільша концентрація хлоридів знаходиться в районі вул. Ушинського та вул. Ф. Кона. Варто зазначити, що використовуючи два методи аналізу ординарного та простого крігінгу, виявлено ті ж самі місця-осередки забруднення по нітратах та хлоридах. Один метод доповнює інший і дозволяє виявляти додаткові потенційні епіцентри (джерела) розповсюдження забруднення. Досить кількісний аналіз дозволяє оцінити масштаб забруднення ґрунтів.

Точніший аналіз варто робити, враховуючи додаткові фактори, які впливають на закономірності поширення підземних вод. Якщо із використанням запропонованої методології провести просторовий аналіз даних забруднення ґрунтових вод, враховуючи дані спостереження якості колодязної води за різні роки, то можна оцінити розповсюдження основних забруднювальних речовин в динаміці.

Висновки

У роботі запропоновано методику просторового аналізу забруднення ґрунтових вод за даними спостереження якості колодязної води з використанням сучасного інструментарію для роботи з ГІС «ArcGIS» (США). Методику успішно апробовано на прикладі м. Вінниці за даними Вінницької міської СЕС. В результаті було встановлено, що використовуючи два методи аналізу ординарного та простого крігінгу, виявлено ті ж самі місця-осередки забруднення по нітратах та хлоридах. Один метод доповнює інший і дозволяє виявляти додаткові потенційні епіцентри (джерела) розповсюдження забруднення.

Завдяки пакету «ArcGIS Geostatistical Analyst» можна проводити геостатистичний аналіз і моделювання просторових даних, включаючи надання інтерактивних графічних засобів підбору статистичних параметрів моделей просторових розподілів, будувати статистично достовірні поверхні, виявляти глобальні та локальні тренди та аномалії.

Методику проведеного дослідження можна застосовувати і для інших регіонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агроекологія / [В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев и др.]. — М. : Колос, 2002. — 536 с.
2. Аналіз стану якості водопровідної питної води у Вінницькій області [Електронний ресурс] / [Петрук В. Г., Гайдей Ю. А., Вовк О. С. та ін.] // Збірник наукових статей III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю. — Вінниця, 2011. — Том. 1. — С. 94—96. — Режим доступу : <http://eco.com.ua/>.
3. Ящика А. В. Водне господарство в Україні / А. В. Ящика, В. М. Хорєва. — К. : Генеза, 2000. — 456 с.
4. ГОСТ 17.1.3.07.82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков / Межгосударственный стандарт. Государственный комитет СССР по стандартам — М. : Госстандарт, 1983.
5. Орлов М. С. Чистый колодец на своем участке / М. С. Орлов. — М. : Центр практической геоэкологии, 1998. — 56 с.
6. Using ArcGIS Geostatistical Analyst / [Johnston K., Ver Hoef J., Krivoruchko K., Lucas N.]. — USA : ESRI, 2003. — 306 p.

Рекомендована кафедрою комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки

Стаття надійшла до редакції 30.04.2013

Рекомендована до друку 13.05.2013

Семчук Юлія Степанівна — аспірантка, **Яцолт Андрій Русланович** — доцент.

Кафедра комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця