



ГЕОСТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗАСОБАМИ ГІС

Описывается теория и практика применения геоинформационных и геостатистических методов для анализа данных мониторинга поверхностных вод Киевской области. Исследования качества поверхностных вод в бассейне реки Днепр в пределах Киевской области проведено согласно общей схемы построения геостатистических моделей методами простого кригинга и тематического картографирования. Полученные результаты показали, что качество воды изменяется от хорошей и умеренно загрязненной.

The theory and practice of application of geoinformation and geostatistical methods for analysis of monitoring findings of open water of Kyiv region are described. Studies of open water quality in the Dnipro Basin within Kyiv region were conducted according to the general scheme of construction of geostatistical models by means of methods of simple kriging and thematic mapping. The obtained results showed that the water quality varied from good to moderate polluted.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Однією з основних функцій моніторингу поверхневих вод є аналіз інформації про їх стан, тобто про конкретні гідрофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні та інші специфічні кількісні показники, які є елементарними характеристиками якості води. Якість поверхневих вод залежить від складних хімічних процесів обміну водного середовища з іншими компонентами природних комплексів у різних географічних умовах та при різному антропогенному навантаженні. Моніторити найкраще за умови рівномірного розташування пунктів спостереження на річках різних рангів та в різних природно-географічних областях і водних басейнах. Проте через велику протяжність гідрографічної мережі, а також через проблеми з фінансуванням державних суб'єктів моніторингу ця умова не виконується: спостереження охоплені не всі річки країни, у т. ч. і річки Київської області [5]. Тому, на нашу думку, для цього найкраще підходять сучасні геоінформаційні та геостатистичні методи, якими можна достатньо точно оцінити якість води і певною мірою зняти гостроту проблеми обмеженості дослідницьких ресурсів системи моніторингу.

Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження вмотивоване постановою Кабінету Міністрів України "Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля" від 30.03.1998 р. № 391, Державною цільовою екологічною програмою проведення моніторингу навколишнього природного середовища, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 5.12.2007 р. № 1376, і науково-дослідною роботою під назвою "Картографоінформаційне забезпечення моніторингу природних комплексів, територій та об'єктів системи моніторингу", виконаною в Науково-дослідному інституті геодезії і картографії (2009, 2010 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і які використала автор. Застосуванням геостатистичних методів для моніторингу поверхневих вод,

а саме для аналізу стану поверхневих вод і якості води займалося багато зарубіжних та вітчизняних вчених, зокрема Я. Акіта, В. В. Алексеев, Є. С. Анпілова, А. Бітнерович, К. Ван, В. Н. Ємельянов, В. І. Зацерковний, А. К. Зіглер, Г. Картер, С. А. Коробейников, Н. Крессі, С. В. Кривоберець, Є. М. Крижановський, Н. І. Куракіна, В-Ч. Лі, К. Ю. Лі, В. Б. Мокін, Е. С. Моне, Н. В. Орлов, Б. Е. Пікап, Е. Е. Петерсен, Т. Дж. Расмуссен, П. П. Расмуссен, М. Серре, Н. С. Ургант, Р. Л. Тортореллі, В. Фрачек, К. Чан, Ю. Лю, Дж. Ху, Г. Хрістакос та ін.

Н. Крессі та Е. Е. Петерсен у своїх працях [19, 23] розглянули питання про використання анізотропного простору, коли до уваги береться фактор річкової відстані. Вони змогли оцінити якість поверхневих вод за допомогою Евклідового методу. Деякі зарубіжні та українські дослідники [1, 2, 7, 8, 10, 12, 20, 21, 24-26] розглядають питання застосування для цього класичних геостатистичних методів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета даної статті – дослідження теоретичних основ і практичних методів застосування інструментарію геостатистики й геоінформатики при аналізі даних моніторингу поверхневих вод, а змістом є побудова геостатистичних моделей для оцінювання параметрів якості поверхневих вод Київської області.

Виклад основного матеріалу дослідження. Точні дані про якість води слугують для регулювання діяльності водокористувачів, забезпечення раціонального використання водних ресурсів, інформування населення про небезпечні ситуації, пов'язані з забрудненням водних об'єктів. Для підтримання належного рівня споживання води різними користувачами існують свої критерії визначення якості води. Висувають такі вимоги до якості води: питна вода, вода для зрошування, вода для забезпечення потреб тваринництва, рибного господарства, рекреаційних та естетичних цілей. Окремо виділяють екологічні вимоги до якості води. При цьому розглядають якість води з урахуванням фізико-хімічних параметрів, які визначають життєдіяльність у водному середовищі.

За цими критеріями в світі (в Україні теж) було розроблено методики для оцінювання та класифі-



кування якості води. Методики базуються на системі контрольних показників, з якими порівнюється якість досліджуваної води. Застосовують одиничні, непрямі та комплексні критерії оцінювання якості води. Останні вважаються найбільш об'єктивними [13, 15, 22].

У рамках даного дослідження для комплексного оцінювання використано індекс забрудненості води (ІЗВ), який використовує Центральна геофізична обсерваторія (ЦГО) [3, 13].

ІЗВ є найпростішим критерієм методики комплексного оцінювання якості води. Розрахунок ІЗВ проводиться за обмеженим числом інгредієнтів. Спочатку визначається середнє арифметичне значення результатів хімічних аналізів по кожному з таких показників: азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню (БСК₅). Потім знайдене середнє арифметичне значення порівнюється з гранично допустимими концентраціями по кожному показнику. У випадку розчиненого кисню величина допустимої концентрації ділиться на знайдене середнє значення концентрації кисню, тоді як для інших показників – навпаки.

ІЗВ розраховується за формулою:

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \quad (1)$$

де C_i – середня концентрація одного із шести показників якості води; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація кожного з шести показників якості води.

Залежно від величини ІЗВ об'єкти поверхневих вод поділяють на класи з різним ступенем забрудненості (табл. 1).

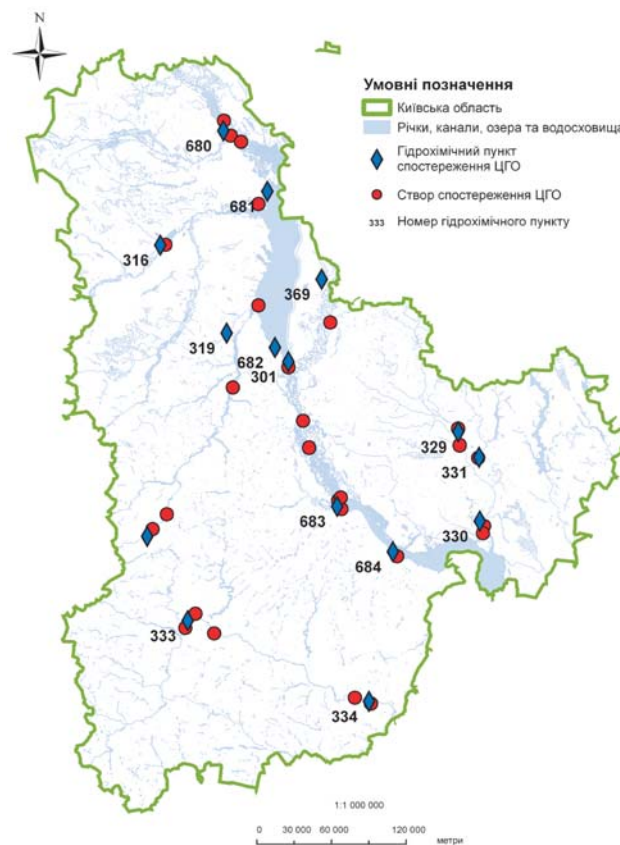
Таблиця 1. Класи якості води в залежності від величини ІЗВ [15]

Клас якості води	Характеристика води	Величина ІЗВ
I	Дуже чиста	$\leq 0,3$
II	Чиста	$0,3 < 1$
III	Помірно забруднена	$1 < 2,5$
IV	Забруднена	$2,5 < 4$
V	Брудна	$4 < 6$
VI	Дуже брудна	$6 < 10$
VII	Надзвичайно брудна	> 10

Система оцінювання якості поверхневих вод побудована в середовищі Microsoft Excel [1, 2, 8]. Отримані результати експортовані в середовище ArcGIS 9.2 для побудови геостатистичних моделей оцінювання якості води у вигляді баз статистичних даних моніторингу поверхневих вод з 2006 по 2010 рр. На жаль, вони дозволяють оцінити стан води лише у місцях відбору проб, тому оцінювання і прийняття загального рішення стає надто складним завданням, оскільки бажано мати показники, які характеризували б стан поверхневих вод у будь-якій точці гідрографічної мережі. Але, як було зазначено перед цим, проводити моніторинг усіх об'єктів поверхневих вод країни немає мож-

ливості. Хоч якось наблизитись до вирішення цієї проблеми можуть допомогти методи просторового ГІС-аналізу та геостатистичного моделювання.

Вхідними даними для проведення геостатистичного моделювання стану поверхневих вод Київської області є відомості з пунктів спостереження ЦГО, а це 15 пунктів і 29 створів (мал. 1).



Мал. 1. Розташування гідрохімічних пунктів та створів ЦГО, на яких здійснюється моніторинг поверхневих вод Київської області

Моніторинг забруднення поверхневих вод за гідрохімічними показниками у 2006-2010 рр. проводиться на 6-ти річках області (Ірпінь, Унава, Десна, Трубіж, Недра, Рось) і на Київському та Канівському водосховищах. Спостереженнями було охоплено такі показники: кисень, хлориди, сульфати, біохімічне споживання кисню за п'ять діб (БСК₅), нітритні та нітратні іони, фосфор загальний, залізо загальне, мідь, цинк, хром, марганець, феноли, нафтопродукти, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), пестициди [5].

Дані моніторингу були надані ЦГО у вигляді збірників "Щорічники якості поверхневих вод України за даними державної системи спостережень Гідрометслужби" [14]. Але вхідні дані в такому вигляді неможливо було інтегрувати в середовище ArcGIS 9.2. Тому спочатку довелося побудувати нову реляційну базу даних статистики спостережень поверхневих вод з ключовим атрибутом "RIVER PUNKT" для її підключення до бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів.

На другому етапі, згідно із загальною схемою геостатистичної моделі, було проаналізовано вхідні статистичні дані по всіх характеристиках поверхневих вод на створах спостереження з використанням методів статистики, геостатистики і ГС для виявлення просторових закономірностей розподілу та забезпечення основи для оцінювання ступенів небезпеки. Для перевірки нормального розподілу показників моніторингу поверхневих вод, який є необхідним для кригінгу, було використано критерій асиметрії, ексцесу та критерій Пірсона або критерій χ^2 [9]. Результати перевірки відображує табл. 2.

Таблиця 2. Результати перевірки на нормальний розподіл необроблених вхідних даних

Показник	Значення		
	коефіцієнта асиметрії	ексцесу	критерію χ^2 (Пірсона)
Кисень	0,24094	0,05182	0,64218
Хлориди	0,68094	-0,80308	0,00629
Сульфати	0,45181	-0,93496	0,01473
Сума іонів	0,37442	-1,53358	0,00001
БСК ₅	-1,16561	5,53677	0,00127
Іони амонію	1,41215	1,55145	0,01395
Нітритні іони	1,29119	1,75538	0,08801
Нітратні іони	1,50609	2,08403	0,00189
Фосфор (загальний)	2,38222	5,79596	0,00000
Залізо (загальне)	1,07558	0,29800	0,03007
Мідь	0,71726	0,36701	0,13902
Цинк	1,07072	3,14460	0,66278
Хром	-0,17758	-0,52115	0,42747
Марганець	0,44348	-0,85430	0,22503
Феноли	0,59353	-0,30710	0,00825
Нафтопродукти	1,73715	3,25131	0,00111
СПАР	-0,18755	-0,86952	0,10951

У ході оброблення даних було виявлено, що лише результати спостереження за концентрацією кисню і цинку розподілено за законом, який досить близький до нормального. Через те що 15 із 17-ти показників розподілено не за нормальним законом, це могло негативно вплинути на коректність побудови поверхні, що відображує концентрацію вимірюваних характеристик по річках області. Тому вхідні дані було трансформовано за відповідним алгоритмом, щоб отримати розподіл, близький до нормального. Для цього використано метод Бокса – Кокса та його окремий випадок – логарифмічне перетворення.

Перетворення Бокса – Кокса для деякої вхідної послідовності x_i , де $i=0, 1, 2, 3...n$, визначалося так:

$$x(\lambda) = \begin{cases} \frac{x_i^\lambda - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0 \\ \ln(x), & \lambda = 0. \end{cases} \quad (2)$$

При значенні $\lambda=0$ здійснюється логарифмічне перетворення вхідної послідовності, при значенні λ відмінного від нуля – степеневе. В залежності від значення λ , перетворення Бокса – Кокса включає такі часткові випадки:

$$\begin{aligned} \lambda = -1; & \quad x_i(\lambda) = \frac{1}{x_i}; & \lambda = -0,5; & \quad x_i(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{x_i}}; \\ \lambda = 0; & \quad x_i(\lambda) = \ln(x_i); & \lambda = 0,5; & \quad x_i(\lambda) = \sqrt{x_i}; \\ \lambda = 2; & \quad x_i(\lambda) = x_i^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Одним зі способів вибору оптимального значення λ є використання такого значення, яке максимізує логарифм функції правдоподібності:

$$f(x, \lambda) = -\frac{N}{2} \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^N (x(\lambda) - \bar{x}(\lambda))^2}{N} \right] + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^N \ln(x_i), \quad (4)$$

де $\bar{x}(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(\lambda)$ – середньоарифметичне з даних,

перетворених за методом Бокса – Кокса [11, 18].

Результати перевірки трансформованих даних наведено в таблицях 3 і 4.

Таблиця 3. Результати перевірки на нормальний розподіл вхідних даних, перетворених методом Бокса – Кокса

Показник	Значення		
	коефіцієнта асиметрії	ексцесу	критерію χ^2 (Пірсона)
Кисень	-0,00662	-0,05501	0,63390
Хлориди	0,15643	-1,58082	0,00003
Сульфати	-0,00567	-1,59526	0,00096
Сума іонів	0,11627	-1,73435	0,00143
БСК ₅	-0,10685	2,72342	0,20390
Іони амонію	0,03007	0,09441	0,83830
Нітритні іони	0,00512	0,40053	0,71164
Нітратні іони	0,03583	-0,01389	0,90579
Фосфор (загальний)	0,00751	0,04768	0,34706
Залізо (загальне)	0,03011	0,58673	0,39521
Мідь	0,02098	-0,86412	0,05807
Цинк	-0,01119	1,97661	0,34808
Хром	-0,15762	-0,75941	0,50147
Марганець	-0,04386	-0,68988	0,55500
Феноли	-0,00757	-0,11179	0,00101
Нафтопродукти	0,27568	-1,21947	0,22337
СПАР	-0,25564	-0,64376	0,22726

Таблиця 4. Результати перевірки на нормальний розподіл вхідних даних, перетворених логарифмічним методом

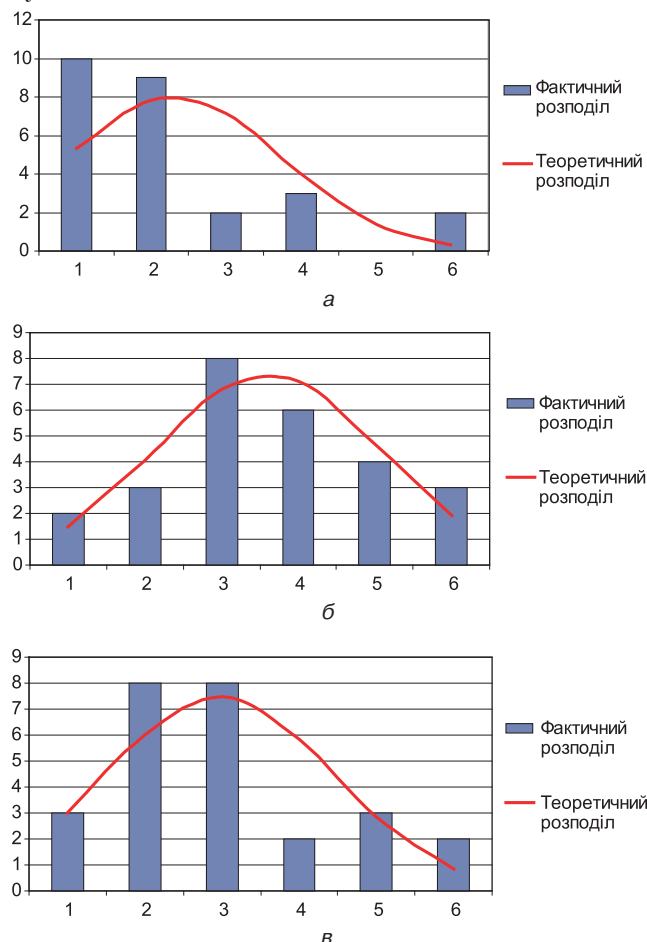
Показник	Значення		
	коефіцієнта асиметрії	ексцесу	критерію χ^2 (Пірсона)
Кисень	-0,19180	-0,03141	0,67999
Хлориди	0,36328	-1,43542	0,00384
Сульфати	-0,01353	-1,59959	0,00095
Сума іонів	0,22798	-1,67361	0,00064
БСК ₅	-4,72329	23,44628	0,00000
Іони амонію	0,72188	0,23991	0,24549
Нітритні іони	-0,44212	0,79299	0,63168
Нітратні іони	0,75955	0,39472	0,44777
Фосфор (загальний)	0,39387	0,38881	0,24452
Залізо (загальне)	-1,67240	5,26188	0,04890
Мідь	0,13289	-0,71498	0,04637
Цинк	0,12374	1,99960	0,36946
Хром	-0,76807	0,03951	0,15740
Марганець	-0,36076	-0,30618	0,99357
Феноли	-0,26012	0,35107	0,00069
Нафтопродукти	1,07614	0,49837	0,00659
СПАР	-0,25564	-0,64376	0,22726



Як видно із табл. 3, перетворення Бокса – Кокса наблизило частину показників до нормального розподілу, а саме іони амонію, нітритів та нітратів. Логарифмічне ж перетворення наблизило до нормального розподілу кисень, нітритні іони та марганець (див. табл. 4). Середнє значення критерію χ^2 для необроблених даних становило 0,13950, для даних, перетворених методом Бокса – Кокса, – 0,35015, для логарифмічно перетворених даних – 0,24148, що свідчить про відносну ефективність методу перетворення Бокса – Кокса для наближення досліджуваних даних до нормального розподілу (мал. 2).

Аналіз методів трансформування даних показав, що перетворення Бокса – Кокса оптимально трансформує дані, а їх розподіл став ближчим до нормального.

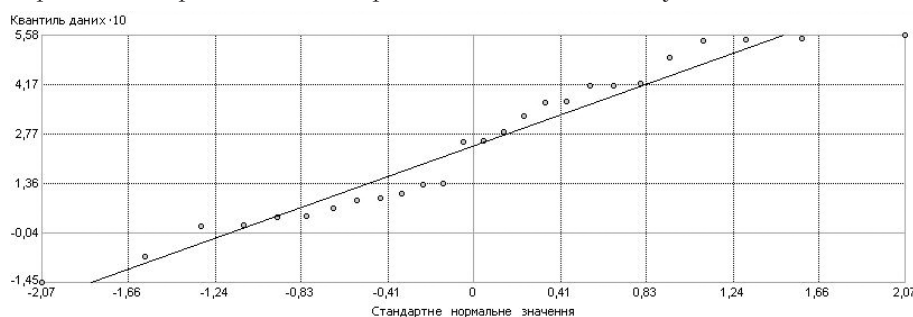
Застосування методів геостатистики для оцінювання стану поверхневих вод має певну специфіку. Наведемо приклад побудови геостатистичної моделі



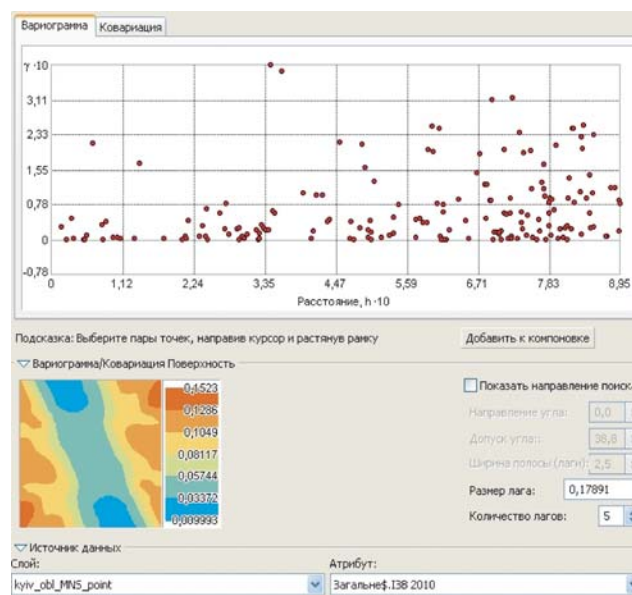
Мал. 2. Розподіл рівнів концентрації нітратних іонів у місцях забору проб ґрунту, отриманий методами: а – без перетворення; б – Бокса – Кокса; в – логарифмічним. По осі абсцис відкладено інтервали, на які було розділено дані; по осі ординат – кількість проб, що потрапили в інтервал

просторового розподілу індексу забруднення води в басейні Дніпра на території Київської області на основі трансформованих вхідних статистичних даних станом на 2010 р. у модулі Geostatistical Analyst програмного забезпечення ArcGIS 9.2.

Перевірка даних ІЗВ на відповідність нормальному розподілу засобами дослідницького аналізу геопросторових даних (ESDA) в середовищі ArcGIS 9.2 показала, що вони розподілені за нормальним законом (мал. 3, а). Варіограма (мал. 3, б) показує, що відстань між пунктами спостереження за поверхневими водами несуттєво впливає на



а

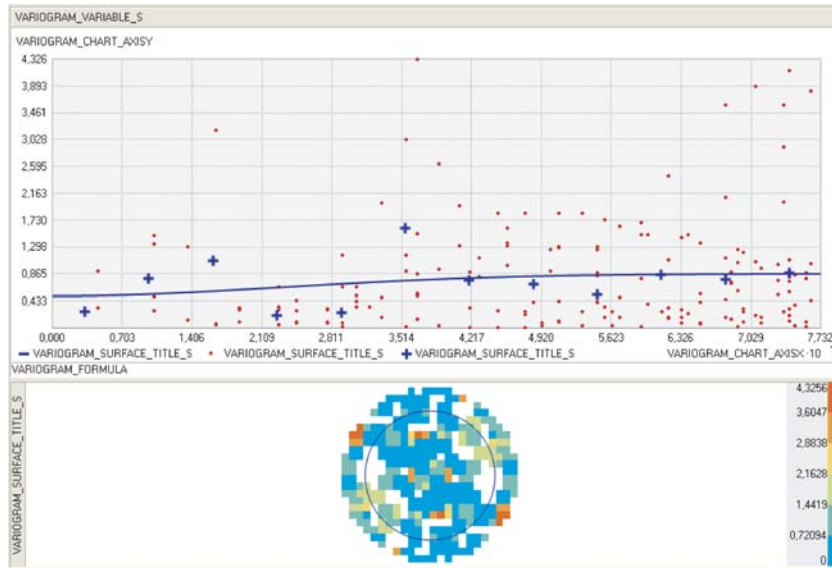


б

Мал. 3. Дослідження даних ІЗВ 2010 р. за допомогою: а – нормального графіка квантиль-квантиль; б – варіограми

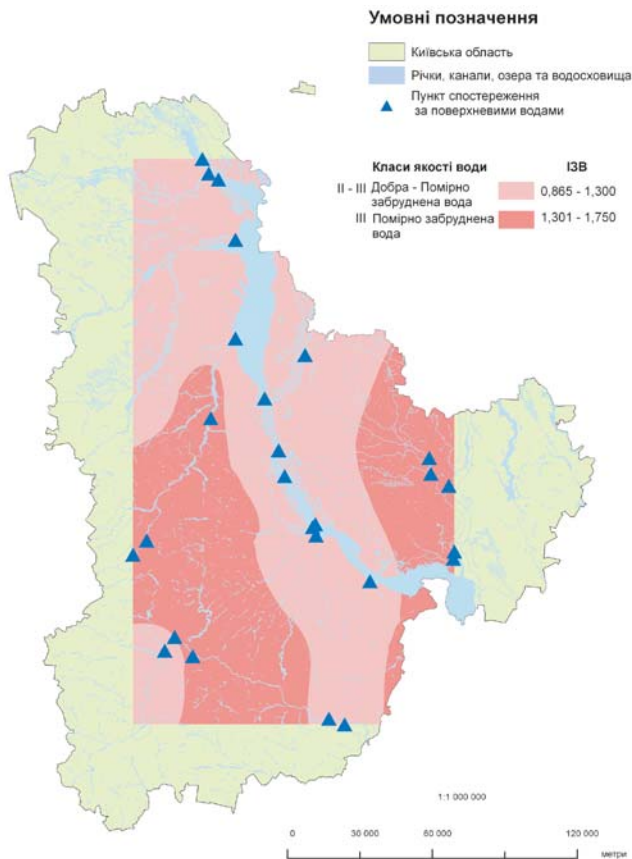
коваріацію між ними. Це пояснюється використанням евклідової відстані для визначення віддалей між пунктами.

Просторова структура ІЗВ розкривається варіограмою поверхні, яка утворює форму круга. Оскільки значення самородка досить велике (0,5), опорні точки (створи) розташовані на значних відстанях одна від одної (мал. 4), які більші, ніж радіус впливу. Це вказує на незначну кореляцію між ними. Тому побудовані моделі будуть неточними, для більшої точності необхідно брати більше створів і відповідно менші відстані між ними.



Мал. 4. Просторова варіограма ІЗВ 2010 р.

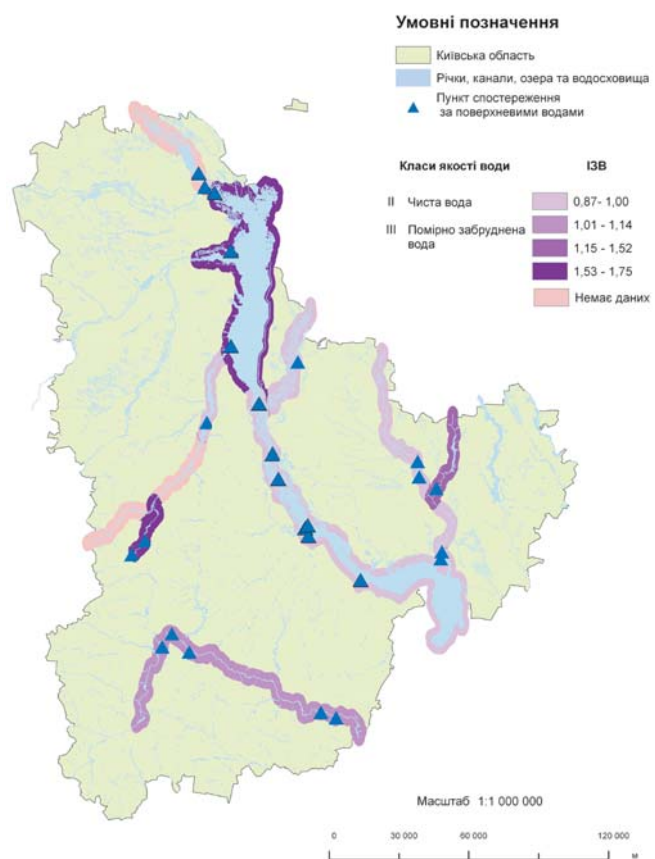
Результати моніторингу якості поверхневих вод річок басейну Дніпра на території Київської області було одержано з використанням методу простого кригінгу [16], який вважається найефективнішим і найточнішим для відображення якості вод [1, 2, 8]. Інтерполяцію значень індексу забруднення води показано на мал. 5.



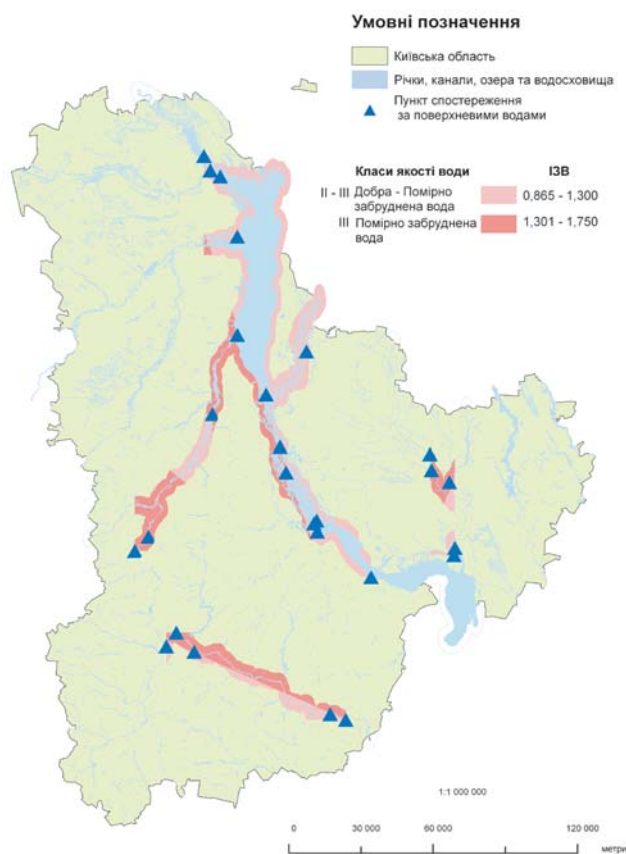
Мал. 5. Просторовий розподіл ІЗВ в річках басейну Дніпра на території Київської області станом на 2010 р.

Картина розподілу ІЗВ в річках Київщини, отримана методом простого кригінгу, показує, що клас якості води змінюється з II на III, тобто якість води – від доброї до помірно забрудненої.

Але такий підхід до інтерполяції значень стану поверхневих вод некоректний. Оскільки гідрографічна мережа подається лінійними та площинними об'єктами, то побудова поверхонь якості поверхневих вод має здійснюватися саме по цих об'єктах, а не по всій території області. Тому з метою уникнення впливу даних при інтерполяції значень, отриманих на створах відбору проб, на значення по притоках вищих порядків весь набір створів було розбито на підмножини, що відповідають гідрологічним об'єктам дослідження (Київське і Канівське водосховища, річки Прип'ять, Ірпінь, Рось, Стугна, Трубіж та Десна). Для отриманих підмножин створів було побудовано поверхні на основі даних ІЗВ 2010 р. методом тематичного картографування та методом простого кригінгу. Для кращої візуалізації просторового розподілу індексу забруднення води навколо об'єктів поверхневих вод було виділено окремі буферні зони (мал. 6 і 7) [12].



Мал. 6. Просторовий розподіл індексу забруднення вод у річках Київщини, отриманий методом тематичного картографування



Мал. 7. Те саме із застосуванням методу простого кригінгу для кожної окремо взятої річки

Висновки. Запропоновані методи геостатистичного аналізу та моделювання стану і змін компонентів поверхневих вод значно полегшують процес оцінювання результатів моніторингу.

Недоліком нинішньої системи моніторингу є те, що спостереження здійснюються не на всій території, а лише на окремих об'єктах мережі. Авторські геостатистичні методи дозволяють не тільки інтерполювати значення у місцях, де не було спостережень, будувати поверхні просторового розподілу показників результатів моніторингу компонентів природних комплексів, а й визначити похибку побудови геостатистичних моделей.

У ході дослідження, проведеного за схемою побудови геостатистичної моделі, було виявлено, що вхідні статистичні дані результатів моніторингу поверхневих вод не відповідають нормальному закону розподілу, як це характерно для лінійної геостатистики. Для перетворення даних було використано методи трансформування Бокса – Кокса та його частковий випадок – логарифмічне перетворення. Результати трансформування показали, що перетворення методом Бокса – Кокса краще трансформує дані, наближуючи їх розподіл до нормального.

Побудована варіограма поверхні індексу забруднення води також показала незначну кореляцію значень між створами спостереження.

Просторова картина розподілу ІЗВ в басейні р. Дні-

про в межах Київської області отримана методами простого кригінгу і тематичного картографування, показує, що клас якості води змінюється з II на III, тобто якість води – від доброї до помірно забрудненої.

Запропоновані геостатистичні та геоінформаційні методи можна застосовувати для моделювання й оцінювання стану і змін інших компонентів природних комплексів при вирішенні завдань екологічного моніторингу, а отриману в результаті інформацію використовувати для аналізу ризиків та прийняття управлінських рішень у сфері землепорядкування й кадастру і загалом для процесу планування розвитку економіки.

Література

1. Анпілова, Є.С. Аналіз даних якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець геостатистичним методом / Є.С. Анпілова, О.М. Трофимчук // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: тези доп. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (АР Крим, с. Рибаче, 7-11 верес. 2009 р.): зб. наук. пр. – НАНУ – Київ – Харків – АР Крим, 2009. – С. 5-13.
2. Анпілова, Є.С. Просторове моделювання якості басейну р. Сіверський Донець засобами ГІС/ДЗЗ-технологій / Є.С. Анпілова, О.М. Трофимчук // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр. Мін-ва осв. Укр.; КНУБА; НАНУ; ГГПШ. – К., 2011. – № 7. – С. 35-44.
3. Вербецька, К.Ю. Порівняльний аналіз методик оцінки якості поверхневих вод (на прикладі типової р. Губіцкалі) / К.Ю. Вербецька // Вісн. Нац. ун-ту водн. госп. та природокорист. – 2011. – № 3. – С. 91-99.
4. Залеський, І.І. Засади інтегрованої басейнової моделі управління водними ресурсами річок Українського Полісся / І.І. Залеський // Вісн. Нац. ун-ту. водн. госп. і природокорист. – 2011. – № 2. – С. 31-35.
5. Карпінський, Ю.О. Геоінформаційний аналіз просторового розподілу пунктів у мережі моніторингу поверхневих вод / Ю.О. Карпінський, Н.Ю. Лазоренко-Гевель // Вісн. геодез. та картогр. – 2012. – № 5. – С. 43-50.
6. Клименко, М.О. Моніторинг довкілля: підручник / М.О. Клименко, А.М. Прищепа, Н.М. Вознюк. – К.: Вид. центр "Академія", 2006. – 360 с.
7. Крижановський, Є.М. Автоматизація методики антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок Вінницької області / Є.М. Крижановський, А.В. Васильчук // Наук. пр. ВНТУ. – 2011. – № 1. – С. 1-4.
8. Куракина, Н.И. Пространственное моделирование загрязнения водных объектов / Н.И. Куракина, В.Н. Емельянова, С.А. Коробейников, Е.С. Никанорова // ArcReview. – 2006. – № 1. – С. 12-13.
9. Лазоренко-Гевель, Н.Ю. Геостатистичне моделювання агроекологічного моніторингу ґрунтів засобами ГІС / Н.Ю. Лазоренко-Гевель // Вісн. геодез. та картогр. – 2013. – № 2. – С. 36-40.
10. Мокін, В.Б. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми: монографія / В.Б. Мокін, М.П. Боцула,



Г.В. Горячев [та ін.]; під ред. В.Б. Мокіна. – Вінниця: УНІ-ВЕРСУМ, 2005. – 309 с.

11. *Перунов, А.Н.* Mathcad в руках економіста. Бокс – Кокс-преобразование и иллюзия "нормальности" макроэкономического ряда / А.Н. Перунов // Бизнес-информатика. – 2010. – № 2. – С. 3-10.

12. *Сандимиров, С.С.* ГИС-анализ техногенного загрязнения хибинских рек и озер в результате деятельности горного и обогащительного производства / С.С. Сандимиров, Н.А. Кашулин, Г.А. Евдокимова, В.В. Кошкин // ArcReview. – 2004. – № 4. – С. 8-9.

13. *Сніжко, С.І.* Оцінка та прогнозування якості природних вод: підручник / С.І. Сніжко. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с.

14. *Щорічник якості поверхневих вод України за даними державної системи спостережень Гідрометслужби.* К.: Центр. геофіз. обсерв. – 2007-2011.

15. *Яцик, А.В.* Досвід використання "Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями" (пояснення, застереження, приклади) / А.В. Яцик, В.М. Жукинський, А.П. Чернявська, І.С. Єзловецька. – К.: Оріяни, 2006. – 44 с.

16. *ArcGis 9 Geostatistical Analyst.* Руководство пользователя. Russian Translation by DATA+, Ltd., 2001. – 285 с.

17. *Cressie, N.* Spatial Prediction on a River Network / N. Cressie, J. Frey, B. Harch, M. Smith // Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics. – 2006. – № 11. – P. 127-150.

18. *Hossain, M.Z.* The Use of Box-Cox Transformation Technique in Economic and Statistical Analyses / M.Z. Hossain // Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences (JETEMS) 2 (1): 32-39. – Scholarlink Research Institute Journals. – 2011. – P. 32-39.

19. *Peterson, E.E.* Predicting water quality impaired stream segments using landscape-scale data and a regional geostatistical model: a case study in Maryland / E.E. Peterson, N.S. Urquhart // Environmental Monitoring and Assessment. – 2006. – № 121. – P. 613-636.

20. *Rasmussen, T.J.* Estimation of constituent concen-

trations, densities, loads, and yields in lower Kansas River, northeast Kansas, using regression models and continuous water-quality monitoring, January 2000 through December 2003 / T.J. Rasmussen, A.C. Ziegler, P.P. Rasmussen // USGS Scientific Investigation Reports. – 2005. – № 5165. – 126 p.

21. *Tortorelli, R.L.* Phosphorus concentrations, loads, and yields in the Illinois River basin, Arkansas and Oklahoma, 2000-2004 / R.L. Tortorelli, B.E. Pickup // USGS Scientific Investigation Reports. – 2006. – № 5175. – 38 p.

Інтернет-джерела

22. *Васенко, О.Г.* Екологічна оцінка стану поверхневих вод України з урахуванням регіональних гідрохімічних особливостей / О.Г. Васенко, Д.Ю. Верниченко-Цветков, М.С. Коваленко [та ін.]: зб. наук. пр. УНДіЕП. – Х., 2010. – Реж. доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/Natural/ponp/2010/2010-Articles/UkrNDIEP_2010_04.pdf

23. *Ладик, М.М.* Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн р. Трубіж / М.М. Ладик, Н.С. Гобеяк, О.В. Корх, А.В. Дорошенко // Наук. доп. НУБіП. – 2012. – № 3. – Реж. доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_3/12dav.pdf

24. *Fraczek, W.* Automating the use of geostatistical tools for lake Tahoe area study / W. Fraczek, A. Bytnerowicz // ESRI. – 2007. – Реж. доступу: http://www.esri.com/news/arcuser/0807/ga_network.html

25. *Liu, W-Ch.* Assessment of water quality in a subtropical Alpine lake using multivariate statistical techniques and geostatistical mapping: a case study / W-Ch. Liu, H-L. Yu, Ch-E. Chung // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2011. – № 8. – P. 1126-1140. – Реж. доступу: www.mdpi.com/journal/ijerph

26. *Zeng, C.* An integrated approach for assessing aquatic ecological carrying capacity: a case study of Wujin district in the Tai lake basin, China / C. Zeng, Y. Liu, J. Hu [et. al.] // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2011. – № 8. – P. 264-280. – Реж. доступу: www.mdpi.com/journal/ijerph

Надійшла 26.12.13