

Сокольчук К.І.

Інститут гідрології Словацької академії наук, Словацький сільськогосподарський університет в Німрі

ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ МЕТОДІВ ПРОСТОРОВОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДО ГІДРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ НА ПРИКЛАДІ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПРИП'ЯТЬ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

Стаття присвячена опису та порівнянню методів просторової інтерполяції гідрологічних даних. Розглядаються чотири методи просторової інтерполяції: метод зворотних зважених відстаней (IDW), триангуляція (TIN), сплайн-інтерполяція та Kriging. Джерелом даних є промірна гідрологічна мережа, розташована на території басейну Прип'яті та прилеглих річкових басейнів, в межах України. Було створено картосхеми просторового розподілу середньорічного модулю стоку та оцінено точність отриманих значень. Встановлено, що метод IDW дає кращі результати для узагальнення гідрологічних даних по досліджуваній території. Наступним за надійністю є метод сплайн-інтерполяції, з плавними переходами. Він також може вважатись одним з найбільш перспективних для впровадження. Kriging відрізняється невеликими похибками, але доволі значним неприродним викривленням результатів та кількістю артефактів. Найменш надійним серед досліджуваних методів став метод TIN.

Ключові слова: просторова інтерполяція, геоінформаційні системи, IDW, TIN, Kriging, Spline, модуль стоку, Прип'ять

Вступ. Дані інструментальних вимірювань на мережі гідрологічних спостережень є основою гідрологічних розрахунків та прогнозів. Просторова репрезентативність даних залежить від щільності гідрологічної мережі, яка обумовлює гідрологічну вивченість території, точність визначення водних ресурсів.

Для отримання нерозривної карти розподілу характеристик стоку по досліджуваних територіях необхідно застосовувати різні методи просторової інтерполяції. Вибір оптимального методу залежить від вибірки даних, щільності мережі спостережень, фізико-географічних умов території та особливостей просторового розподілу кожної конкретної характеристики [5]. На сьогоднішній день найбільш зручні методи інтерполяції передбачають використання геоінформаційних систем (ГІС). ГІС є необхідними та корисними інструментами в управлінні поверхневими водами, опис їх можливостей переваг використання ГІС можна знайти в працях українських та міжнародних дослідників [2, 7, 8, 9, 10, 11].

Об'єктом дослідження є територія басейну річки Прип'ять в межах України. Незважаючи на низку робіт, присвячених інтерполяції гідрологічних даних у межах басейну Прип'яті, повноцінні порівняння різних методів інтерполяції на практиці не проводились. Аналізи такого типу проводяться для річкових басейнів по всьому світу, але їх результати неможливо точно екстраполювати на території з іншими природними умовами. Варто також зазначити, що басейн р. Прип'ять має недостатньо щільну мережу спостережних пунктів і нерівномірний розподіл гідрологічних постів по всьому басейну [15]. Це накладає додаткові обмеження для просторової інтерполяції при вивченні річкових басейнів та управління річковими басейнами.

Метою даної роботи є порівняння ефективності методів TIN, IDW, сплайн та Kriging при просторовій інтерполяції гідрологічних даних, висвітлення особливостей результатів інтерполяції та оптимальних налаштувань для кожного методу.

Вихідні дані та методи досліджень. Дане дослідження проводиться на базі даних спостережень з басейну річки Прип'ять, в межах України. Прип'ять — річка в Україні, розташована у Волинській, а також частково в Рівненській і Київській областях та в Білорусі. Найбільша річка серед правих приток Дніпра, впадає в Київське водосховище. Загальна площа басейну річки становить 121 тис. км². Білоруська частина басейну займає приблизно 43% площі водозбору, українська – близько 57% [14].

Басейн Прип'яті займає майже всю північно-західну частину України. Постійні пости гідрологічної вимірювальної мережі розташовані на правому березі Прип'яті. Басейн

Прип'яті має добре розвинену гідрографічну мережу, близько 10,5 тис. річок і струмків. Найбільш значними правобережними притоками є Турія, Стохід, Стир, Горинь, Ствига, Уборть, Словечна, Солонь, Уж.

Клімат на території досліджуваного басейну помірно континентальний з теплим і вологим літом і досить м'якою зимою. Весна тривала і нестійка, з частим чергуванням холодних і теплих періодів, літо тепле і дощове. Річна кількість опадів на території басейну коливається від 550 до 600 мм [4].

Для водного режиму характерні тривала весняна повінь, короткочасна літня межень, яка порушується дощовими паводками та майже щорічними осінніми підвищеннями рівня води. На весну припадає 65% річного стоку [16].

Більша частина басейну Прип'яті розташована в межах Поліської низовини, південно-західна частина басейну — на Волинській височині. Рельєф переважно рівнинно-хвилястих низовин і рівнин. Басейн Прип'яті є однією з найбільш заболочених і лісистих територій України. Рельєф однорідний, ландшафт і метеорологічні умови змінюються плавно, що дозволяє розраховувати на достовірні результати просторової інтерполяції. Враховуючи подібні фізико-географічні умови сусідніх вододілів, для отримання більш достовірних результатів було використано також дані з басейну р. Тетерів та р. Південний Буг.

В якості основної гідрологічної характеристики для даного дослідження обрано середній багаторічний модуль стоку. Він розрахований на основі даних стаціонарних гідрологічних постів. Ця характеристика широко використовується для створення картографічних матеріалів, порівняння вододілів тощо. За допомогою ГІС розраховано центри для водозборів, визначених гідрологічними постами, їх представлено на рис. 1. Дослідження базується на даних 33 постійних гідрологічних постів спостережень, 28 у межах басейну Прип'яті та 5 за його межами.

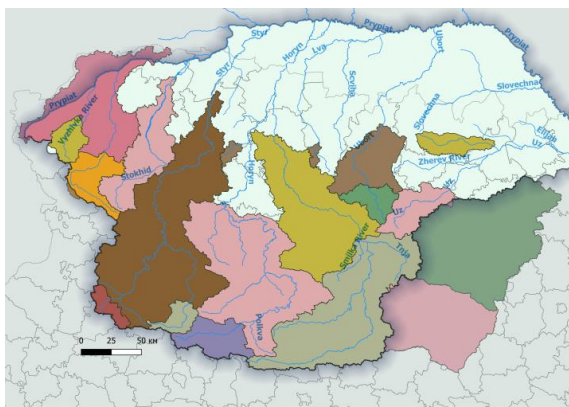


Рис. 1. Поділ басейну Прип'яті на окремі водозбори

Максимальне значення модулю стоку становить $5,94 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, мінімальне $2,1 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, а середнє по досліджуваній території $3,84 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$. Середня тривалість спостережень за стоком води становить понад 60 років. Враховуючи певну нерівномірність розвитку мережі гідрологічних спостережень, для подальшої оцінки та усереднення даних використовувалися всі наявні дані з діючих гідрологічних постів. За відсутності даних в окремі роки вони заповнювалися за допомогою кореляційних залежностей. Серії спостережень достатньо репрезентативні, а параметри стоку в цілому надійні та неупереджені. Ця закономірність порушується для двох рядів даних: на постах Прип'ять - Річиця та Норин - Славенщина [15]. Імовірно фізико-географічні особливості їх басейнів і антропогенна діяльність вплинули на середньорічний стік на цих станціях. Однак, враховуючи, що інтерполяція відбувається від центрів водозборів, а ймовірні причини різких змін середньорічного стоку є специфічними для території цих водозборів загалом, ці дані також були використані в дослідженні.

Порівнювали чотири методи просторової інтерполяції, а саме триангуляцію, метод зворотного зважування відстаней, Kriging та сплайн. За необхідності та з метою порівняння використовувалися також різні базові налаштування.

Перший метод - триангуляція (TIN), заснований на лінійній інтерполяції і близький до ручної лінійної інтерполяції. Початкові точки з'єднуються таким чином, щоб отримана поверхня була покрита трикутниками і жодна зі сторін трикутника не перетинала сторони інших трикутників. Значення поверхні в точках сітки, що знаходяться всередині трикутника, розраховуються виходячи з того, що вони належать площині, котра проходить через вершини конкретного трикутника [17]. Отримана поверхня обов'язково проходить

через усі початкові точки, в яких значення поверхні вже задані. Недостатня кількість вихідних точок призводить до появи на карті великих прямолінійних відрізків; результат, отриманий у цьому випадку, буде помилкою методу [3].

Метод зворотних зважених відстаней базується на обчисленні вагових коефіцієнтів, за допомогою яких “зважуються” значення поверхні у вихідних точках при побудові інтерполяційної функції. Побудована функція використовується в подальшому для розрахунку значень поверхні у вузлах Grid-сітки. Ваговий коефіцієнт, що надається окремій вихідній точці для розрахунку значення поверхні у вузлі Grid-сітки, пропорційний степені зворотної відстані від вихідної точки до розрахункового вузла Grid-сітки. Степінь зворотної відстані та критична відстань (або кількість вихідних точок), при перевищенні якої взаємний вплив точок при відтворенні поверхні стає несуттєвим, задаються дослідником. При обчисленні значення поверхні у вузлі Grid-сітки (при побудові інтерполяційної функції) сума всіх вагових коефіцієнтів вихідних точок, що при цьому використовуються, дорівнює одиниці, а ваговий коефіцієнт кожної вихідної точки є долею цієї загальної одиничної ваги. Якщо вихідна точка співпадає з вузлом Grid-сітки, то ваговий коефіцієнт цієї вихідної точки приймається рівним одиниці, а для всіх інших вихідних точок – нулю. В такому разі значення у вузлі Grid-сітки повністю співпадає зі значенням поверхні у вихідній точці, тобто метод працює як точний інтерполятор. Недоліком методу зворотних зважених відстаней є генерація структури ізоліній типу “бичаче око” навколо точок з великими або малими значеннями величини поверхні. Для зменшення впливу згаданих точок при реалізації методу можна задати значення параметру, що згладжує інтерполяційну функцію. Однак чим більше параметр, що згладжує, тим менший вплив має кожна вихідна точка на розрахункове значення у вузлі Grid-сітки. [13]. Для цього дослідження було використано два значення, $P=2$ та $P=5$, вони є орієнтовними та в межах яких результати є відносно надійними для наявних даних.

Сплайн — третій метод інтерполяції, який оцінює значення за допомогою математичної функції, котра мінімізує загальну кривизну поверхні. Метод підганяє математичну функцію до заданої кількості найближчих вхідних точок, проходячи через точки вибірки. Цей метод дуже корисний для генерування величин, що плавно змінюються, таких як висота, висота ґрунтових вод або концентрація забруднення. Можна з значним ступенем достовірності припустити, що гідрологічна характеристика вододілів має схожі особливості розподілу.

Варто зазначити, що в українській науковій літературі сплайн не є вичерпно представленим для гідрологічної інтерполяції. Це може бути пов'язано зокрема з відсутністю цього методу в стандартному наборі інструментів однієї з найпоширеніших ГІС (QGIS), тобто необхідно застосовувати SAGA ГІС-модуль в QGIS, чи інше програмне забезпечення.

Kriging — четвертий метод, який був обраний для порівняння. Він припускає, що відстань або напрямок між точками вибірки відображає просторову кореляцію, яка може бути використана для пояснення зміни поверхні. Інструмент Kriging підбирає математичну функцію для визначеної кількості точок або всіх точок у межах заданого радіуса, щоб визначити вихідне значення для кожного місця [3].

IDW та сплайн називають методами детермінованої інтерполяції, оскільки вони безпосередньо базуються на навколишніх вимірних значеннях та на визначених математичних формулах, які визначають гладкість отриманої поверхні. Kriging представляє в даному дослідженні геостатистичні методи, які базуються на статистичних моделях та включають в себе автокореляцію, статистичні зв'язки між вимірними точками. Завдяки цьому геостатистичні методи не тільки мають можливість створювати поверхню прогнозування, але також забезпечують певну міру достовірності та точності прогнозів [3, 12].

Оцінку використаних методів проводили шляхом визначення відмінностей між фактичними значеннями модулю стоку та значеннями, знятими зі створених карт. Оцінка проводилася двома способами. Перший – це оцінка відмінностей точок спостереження, використаних для процедури інтерполяції (22 “неконтрольні точки” спостереження із загальних 28 точок). Цей тип оцінки необхідний для визначення точності процедури інтерполяції щодо існуючих (заданих) точок спостереження. Для другого типу оцінювання

було відібрано 6 точок із 28 у межах досліджуваної території та виключено з вихідної бази даних процедури інтерполяції ("контрольні точки"). Оцінку проводили на основі порівняння виміряних (реальних) та інтерпольованих значень у цих контрольних точках. Це було зроблено для перевірки доцільності використання карт, отриманих під час досліджень, для вивчення гідрологічно невивчених водозборів. Точки вибиралися за принципом рівномірного розподілу по території. Гідрологічні пости водозборів, прилеглих до басейну Прип'яті, в цій оцінці не враховувалися.

Щоб обчислити середню абсолютну похибку (MAE) отриманих результатів, усі індивідуальні відмінності зводять у квадрат, підсумовують і суму ділять на загальну кількість перевірених точок [1].

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_p|}{n} \quad (1)$$

де y_i - фактичне значення, отримане із спостережень, y_p - прогнозоване значення, отримане шляхом інтерполяції, n - кількість точок.

Квадратний корінь із цього значення позначається як RMSE (середньоквадратична помилка):

$$RMAE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_p)^2}{n}} \quad (2)$$

Відхилення також представлено у відсотках шляхом ділення середньої абсолютної похибки на середній реальний (виміряний) модуль стоку.

Порівняння такого типу не може базуватися лише на математичній оцінці результатів. Було оцінено також форму ізоліній, наявність помилок на інтерпольованій поверхні, які називаються артефактами — небажаними ефектами, які є результатом використання високоточних ГІС для обробки низькоточних просторових даних, позиційних помилок, помилок атрибутів тощо [6]. Також було враховано загальну відповідність розподілу середнього багаторічного модулю стоку в межах досліджуваної території.

Результати. Для досягнення цілей дослідження було створено мапи просторового розподілу середніх багаторічних модулів стоку з застосуванням різних методів просторової інтерполяції.

Результати порівняння фактичних та інтерпольованих значень наведено в таблиці 1. В абсолютних значеннях найменшу похибку має метод експоненціального методу Kriging, другим за точністю є метод IDW. Найбільші похибки демонструють значення, отримані з допомогою лінійної TIN і сферичного Kriging. При цьому в середньому всі отримані значення відхиляються від фактичних значень середньорічного багаторічного модулю стоку менше ніж на 6%, тобто всі методи дають результат, близький до виміряних значень.

Таблиця 1. Оцінка методів інтерполяції

Метод інтерполяції	Порівняння					
	неконтрольних точок			контрольних точок		
	Похибка середньорічного модулю стоку		Середнє відхилення	Похибка середньорічного модулю стоку		Середнє відхилення
	MSE	RMSE	%	MSE	RMSE	%
	0,14	0,38	4,03	0,55	0,74	15,13
Kriging сферичний	0,17	0,41	4,78	0,35	0,59	9,70
Kriging експоненціальний	0,08	0,29	2,25	0,31	0,56	8,42
TIN кубічна	0,15	0,38	3,85	0,43	0,65	11,63
TIN лінійна	0,18	0,43	5,07	0,36	0,60	10,20
IDW, P=5	0,11	0,33	3,02	0,42	0,65	11,66
IDW, P=2	0,10	0,31	2,73	0,18	0,43	5,43

Оцінка точності отриманих карт під час перевірки для раніше виділених контрольних точок, як і очікувалося, показала більші похибки, але загальні тенденції зберігаються. Kriging показує найточніші результати, за якими послідовно йдуть IDW, TIN і сплайн. Останній метод демонструє значення похибок, що перевищує 15% для оцінки басейнів у межах досліджуваної території.

З усіх чотирьох використаних методів лише IDW дає можливість проводити також екстраполяцію даних (рис. 2). Це дозволяє оцінити значення для більшої частини басейну Прип'яті в межах України. Однак через відсутність спостережних пунктів оцінка їх точності у найвіддаленіших від вихідних точок частинах ускладнена. На рисунку також видно формування ефекту "бичачих очей", тобто інформація не інтерполюється рівномірно по всій території, особливо при збільшенні коефіцієнта відстані. Проте, враховуючи інтерполяцію від центрів водозборів, переважно повільну зміну фізико-географічних умов формування стоку на досліджуваній території, що опосередковано підтверджується невеликими похибками, застосування методу є досить виправданим.

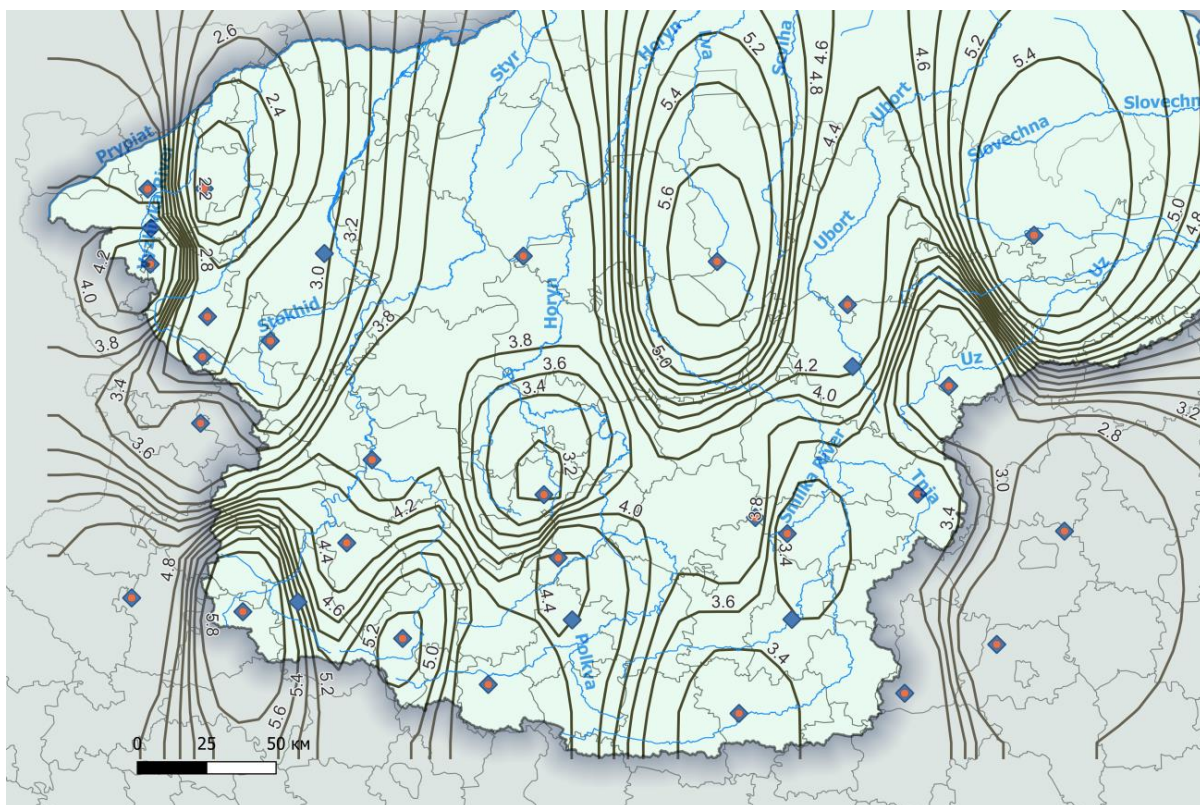
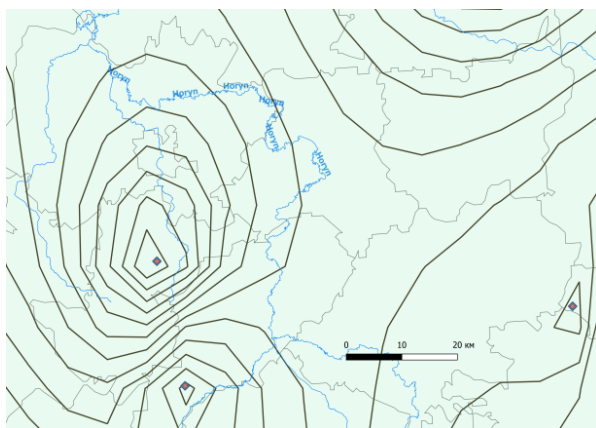


Рис. 2. Ізолінії просторового розподілу модулю стоку по басейну Прип'яті в межах України, створені методом IDW, з $P=5$



Форма отриманих ізоліній достатньо плавна, однак можуть формуватись окремі ділянки з досить гострими кутами. Приклад цього представлено на рис. 3. Не було помічено утворення артефактів.

Рис. 3. Ізолінії, отримані з допомогою методу IDW ($P=2$)

Інтерполяції іншими трьома методами дають результати лише в межах, автоматично визначених вхідними даними. Це не дозволяє повною мірою оцінити водозбори, недостатньо чи нерівномірно охоплені мережею гідрологічних спостережень. Кожен із методів має свої переваги, недоліки та особливості, зумовлені як механізмами їх роботи, так і особливостями механізму роботи QGIS.

При інтерполяції методом Kriging переходи між значеннями більш плавні, відсутня проблема “бичачих очей”. Однак більш детальний аналіз отриманих растрових шарів та виділених із них ізоліній показав, що в деяких точках ізолінії різко змінюють напрям ізоліній і утворюється порівняно значна кількість артефактів. Дані ефекти представлено на рис. 4а – 4д. При цьому не має різниці між експоненційним та сферичним Kriging, використання обох механізмів дає значні викривлення.

При цьому викривлення та артефакти поширені відносно рівномірно по всій території, що може додатково свідчити про системність недоліків методу. Використання Kriging для детального вивчення місцевості може вимагати додаткових операцій з очистки, відсіювання артефактів та хибних результатів, що ймовірно збільшить загальні похибки.

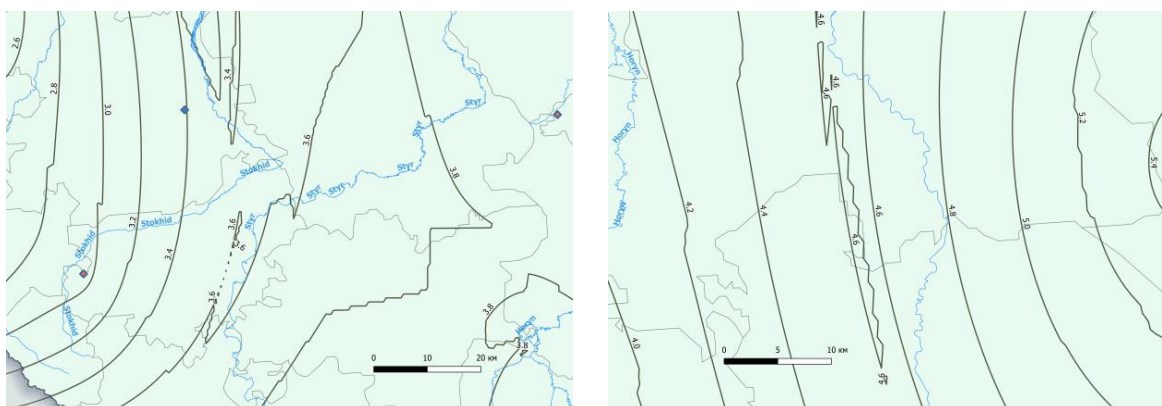


Рис. 4. Артефакти та спотворення ізоліній просторового розподілу модулю стоку, отриманих методом: а) Kriging exponential; б) Kriging spherical.

При інтерполяції за допомогою методу TIN ізолінії також не є гладкими (рис. 5). Можна побачити окремі великі прямокутні області з однаковими значеннями модулю стоку, тобто метод може дати неточні результати. Окрім цього, результати на межі отриманої ділянки інтерполяції на півночі сильно спотворюються при використанні кубічного TIN через особливості механізму інтерполяції в QGIS. Для перевірки неможливо розраховувати на достовірні значення граничних точок, що також було враховано при розрахунках для табл. 1. Варто зазначити, що застосування TIN не призвело до утворення артефактів на поверхні.

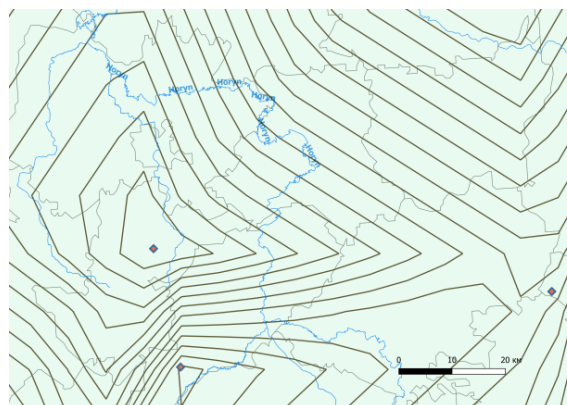


Рис. 5. Ізолінії, отримані з допомогою методу IDW (P=2)

Останнім з застосованих методів просторової інтерполяції був метод сплайн. Результати інтерполяції представлено на рис. 6.

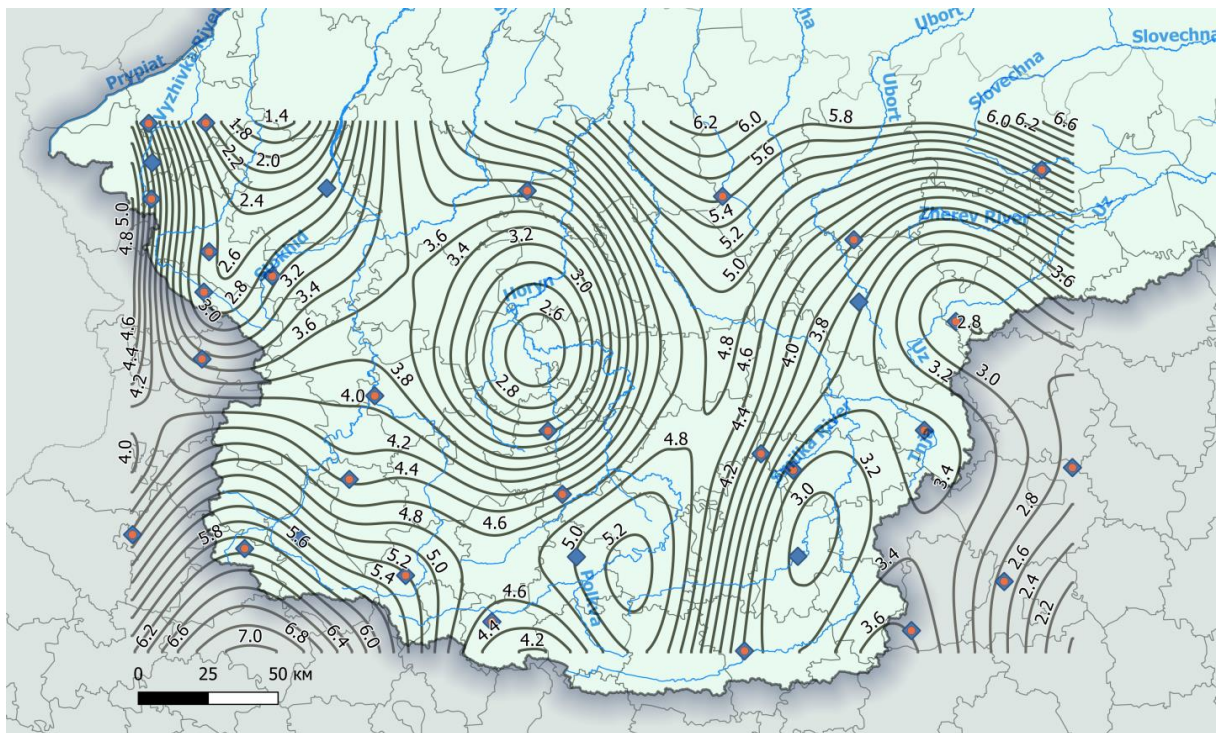


Рис. 6. Ізолінії просторового розподілу модулю стоку по басейну Прип'яті в межах України, створені методом Spline

Переходи між значеннями та ізолінії є дуже плавними, артефактів немає. З усіх представлених методів сплайн єдиний не потребує пост-обробки для застосування картосхем з метою візуального супроводу. Необхідними є подальші аналізи з іншими вихідними даними для оцінки перспектив зменшення похибок отриманих значень.

Висновки. За результатами роботи, враховуючи як похибки, так і візуальну оцінку, дійшли висновку, що метод IDW є кращим для інтерполяції даних по досліджуваній території. Ізолінії доволі плавні, не було помічено артефактів, малі похибки отриманих значень. Перевагою може бути також обмежена екстраполяція даних.

Наступним за надійністю є метод сплайн. Істотними перевагами є найбільш плавні ізолінії серед усіх інших методів, відсутність артефактів, що, разом з невеликими в абсолютному вимірі похибками, дозволяє говорити про значну перспективність його застосування.

Метод Kriging дозволяє отримати результати з відносно невеликими похибками; однак існує необхідність пост-обробки чи вдосконалення вихідних програм, які забезпечують інтерполяцію.

Метод TIN в жодному з варіантів не може бути застосований для точного дослідження меж водозбору та ділянок за межами визначеної території. Враховуючи неможливість швидкого збільшення кількості реперних точок та зазначені вище аспекти, даний метод може рекомендуватись лише для уточнення даних у центральній частині правобережжя басейну р. Прип'ять.

Отримані результати можуть бути використані для аналізу закономірностей просторового розподілу гідрологічних характеристик у басейні Прип'яті та попередніх досліджень водозборів, недостатньо охоплених станціями спостережень. Ці висновки можна з обережністю застосовувати до водозборів інших річок зі схожими умовами, тобто для рівнинних водозборів з плавною зміною умов формування стоку із середньою площею водозбору від 1000 до 10 000 км². Враховуючи повну відсутність у базі даних річок з площею водозбору менше 100 км², отримані висновки потребують окремого підтвердження їх придатності для аналізу малих річок.

Ця стаття також може бути використана як ілюстративний приклад відмінностей між різними методами інтерполяції.

Список літератури

1. Azpurua, M.A, Ramos K.D. Comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. Progress in Electromagnetics Research, Vol. 14, 2010. P. 135–145.
2. Dzhalalvand A., Gaidukova E.V., Burlov V.G.et al. Applying methods of spatial interpolation to hydrological data on example of reception basin of Karun river (Iran). International Research Journal, 2019. №2 (80). URL: <https://research-journal.org/archive/2-80-2019-february/primenienie-metodov-prostranstvennoj-interpolyacii-k-gidrologicheskim-dannym-na-primere-vodosbora-r-karun-iran> (accessed: 09.09.2022). - doi: 10.23670/IRJ.2019.80.2.006
3. ESRI. How Kriging works. ArcGIS for Desktop [Electronic resource] // Environmental Systems Research Institute, 2016. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm> (accessed 01.10.2022)
4. Nabyvanets, Y., Osadcha, N., Hrebin, V., Vasylenko, Y., Koshkina, O. Development of draft river basin management plan for Dnipro river basin in Ukraine: phase 1, step 1. Description of the characteristics of the river basin. EUWI+ Project. 2019.
5. Ghasemi, M., Mahdavi, A., Jafarzadeh A.A. Compare Kriging and IDW interpolation methods for soil mapping. The 2nd National Conference on Environment Hazard of Zagros, Tehran, 5 March 2015.
6. Goodchild M.F., Kemp K.K., NCGIA Core Curriculum in GIS.National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara CA.1990.
7. Hammouri N., El-Naqa A. Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. Revista mexicana de ciencias geológicas, 24, 2007. P. 185–196.
8. Korniienko, V., Obodovskyi, O., Snizhko, S. The spatial analysis of the hydropower modules distribution for the Pripyat basin within Ukraine using open GIS technologies. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2021, 1–6. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521142>
9. Kusre, B.C., Baruah C., Bordoloi P.K., Patra S.C. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). Applied Energy, Volume 87, Issue 1, January, 2010. P. 298–309, URL: doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.019.
10. Pochaievets, O., Obodovskyi, O., Lukianets, O., Grebin, V. Algorithm research and evaluation of minimum water flow of mountain rivers using GIS. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2021. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521123>
11. Sami, K., Mohsen, B. A., Afef, K., Fouad, Z. Hydrological Modeling Using GIS for Mapping Flood Zones and Degree Flood Risk in Zeuss-Koutine Basin (South of Tunisia). Journal of Environmental Protection, 2013. 4(12), 1409–1422. URL: <https://doi.org/10.4236/JEP.2013.412161>
12. Watson, D. F., Philip G. M. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." Geoprocessing 2, 1985.315–327.
13. Іщук О.О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: навчальний посібник / К.: ВПЦ "Київський університет", 2003.196 с
14. Паламарчук М.М. Закорчевна Н.Б. Водний фонд України: довідковий посібник. 2-е вид., доп. Київ. Ніка-Центр, 2006. 320 с.
15. Сокольчук К.І. Оцінка репрезентативності рядів спостережень та вибірових параметрів розподілу середнього річного стоку води річок на правобережній частині басейну Прип'яті. Гідрологія, Гідрохімія, Гідроекологія. 2019. № 2 (53) р. 31-37.
16. Сусідко М. М., Лук'янець О. І. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки. Наукові праці УкрНДГМІ, 2004. Вип. 253. с.196-200.
17. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2010. 313 с.

References

1. Azpurua, M.A, Ramos K.D. Comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. Progress in Electromagnetics Research, Vol. 14, 2010. P. 135–145.
 2. Dzhalalvand A., Gaidukova E.V., Burlov V.G.et al. Applying methods of spatial interpolation to hydrological data on example of reception basin of Karun river (Iran). International Research Journal, 2019. №2 (80). URL: <https://research-journal.org/archive/2-80-2019-february/primenienie-metodov-prostranstvennoj-interpolyacii-k-gidrologicheskim-dannym-na-primere-vodosbora-r-karun-iran> (accessed: 09.09.2022). - doi: 10.23670/IRJ.2019.80.2.006
 3. ESRI. How Kriging works. ArcGIS for Desktop [Electronic resource] // Environmental Systems Research Institute, 2016. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm> (accessed 01.10.2022)
 4. Nabyvanets, Y., Osadcha, N., Hrebin, V., Vasylenko, Y., Koshkina, O. Development of draft river basin management plan for Dnipro river basin in Ukraine: phase 1, step 1 Description of the
- ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2022. № 4 (66)**

characteristics of the river basin. EUWI+ Project. 2019.

5. Ghasemi, M., Mahdavi, A., Jafarzadeh A.A. Compare Kriging and IDW interpolation methods for soil mapping. The 2nd National Conference on Environment Hazard of Zagros, Tehran, 5 March 2015.

6. Goodchild M.F., Kemp K.K., NCGIA Core Curriculum in GIS. National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara CA.1990.

7. Hammouri N., El-Naqa A. Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. Revista mexicana de ciencias geológicas, 24, 2007. P. 185–196.

8. Korniienko, V., Obodovskyi, O., Snizhko, S. The spatial analysis of the hydropower modules distribution for the Pripyat basin within Ukraine using open GIS technologies. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2021, 1–6. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521142>

9. Kusre, B.C., Baruah C., Bordoloi P.K., Patra S.C. Assessment of hydropower potential using GIS and hydrological modeling technique in Kopili River basin in Assam (India). Applied Energy, Volume 87, Issue 1, January, 2010. Pages 298–309, URL: doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.019.

10. Pochaievets, O., Obodovskyi, O., Lukianets, O., Grebin, V. Algorithm research and evaluation of minimum water flow of mountain rivers using GIS. 20th International Conference Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2021. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521123>

11. Sami, K., Mohsen, B. A., Afef, K., Fouad, Z. Hydrological Modeling Using GIS for Mapping Flood Zones and Degree Flood Risk in Zeuss-Koutine Basin (South of Tunisia). Journal of Environmental Protection, 2013. 4(12), 1409–1422. URL: <https://doi.org/10.4236/JEP.2013.412161>

12. Watson, D. F., Philip G. M. "A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation." Geoprocessing 2: 1985. 315–327.

13. Ishchuk O. O. Prostorovyi analiz i modeliuvannia v HIS: navchalnyi posibnyk [Spatial analysis and modeling in GIS: a tutorial] / K.: VPTs "Kyivskyi universytet", 2003. 196 s

14. Palamarchuk M.M. Zakorchevna N.B. Vodnyi fond Ukrainy: Dovidkovyi posibnyk [Water fund of Ukraine: reference guide]. 2-e vyd., dop. Kyiv. Nika-Tsent, 2006. 320 s.

15. Sokolchuk K.I. Otsinka reprezentatyvnosti riadiv sposterezhen ta vybirkovykh parametriv rozpodilu serednoho richnoho stoku vody richok na pravoberezhnii chastyni baseinu Prypiati [Assessment of the representativeness of the series of observations and sample parameters of the distribution of the average annual water flow of rivers on the right bank of the Pripyat River basin]. Hidrolohiia, Hidrokhimiia, Hidroekolohiia. 2019. № 2 (53) p. 31-37.

16. Susidko M. M., Lukianets O. I. Raionuvannia terytorii Ukrainy za stupenem hidrolohichnoi nebezpeky [Zoning of the territory of Ukraine according to the degree of hydrological danger] . Naukovi pratsi UkrNDHMI, 2004. Vyp. 253. s.196-200.

17. Shypulin V. D. Osnovni pryntsyipy heoinformatsiinykh system: navch. Posibnyk [Basic principles of geographic information systems: a study guide]. Khark. nats. akad. misk. hosp-va. Kh.: KhNAMH, 2010. 313 s.

Sokolchuk K.I.

Application of different spatial interpolation methods to hydrological data on the example of the Pripyat river basin (within Ukraine)

The article is devoted to the description and comparison of methods of spatial interpolation for hydrological data. Four spatial interpolation methods are considered: inverse distance weighted interpolation (IDW), triangulation (TIN), spline interpolation and Kriging. The data source is a permanent measuring hydrological network located on the territory of the Pripyat river basin and adjacent river basins, within the borders of Ukraine. Based on them, maps of the spatial distribution of the average annual specific discharge were created. Relief, physical and geographical conditions are changing smoothly, allowing spatial interpolation with sufficiently reliable results.

The accuracy of the obtained results was assessed by mathematical and visual comparison. According to both of them was established, that IDW method gives better and results for the interpolation of hydrological data on the studied territory. The isolines are quite smooth, no artifacts were noticed, the errors of the obtained values are small. IDW is also easy to use, changing inner settings, such as distant coefficient, could significantly decrease negative effects. A certain extrapolation of the data can also be an advantage.

The next most reliable method is the spline interpolation. The smoothest transitions between values and correspondingly extracted isolines, lack of artifacts make its results closer to the expected nature of changes in hydrological parameters. It can also be considered one of the most promising for implementation.

Kriging is characterized by small errors, but rather significant unnatural distortion of the results and the number of artifacts. It is valid for both spherical and exponential versions.

The TIN method was the least reliable among the studied methods. If it is necessary to clarify the data in the central parts of the territory over which the values are interpolated, it is better to use the linear version, which demonstrated slightly less distortion.

Key words: Spatial interpolation, GIS, IDW, TIN, Kriging, Spline, specific discharge, Pripyat.

Надійшла до редколегії 28.10.2022