

ВІДНОВЛЕННЯ КОНДИЦІЙНОСТІ БАЗ ДАНИХ ДЛЯ КОРЕКЦІЇ МОДЕЛЕЙ РОЗПОДІЛІВ ВМІСТІВ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ПРИРОДНИХ ВОДАХ

М.Н. Жуков, А.В. Клипа

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, Київ 01601, Україна,
e-mail: Klypaaa@bigmir.net

Продемонстровано метод відновлення гідрохімічних даних на основі логарифмічної моделі кореляційного зв'язку для розв'язання задачі моделювання розподілів вмісту мікроелементів у природних водних об'єктах Полтавської області. На підставі наявної інформації відновлено вміст сухого залишку та розраховано реальний вміст мікроелементів у досліджуваному об'єкті. Доведено дієвість методу та його ефективність, яка залежить від коефіцієнта кореляції між логарифмами досліджуваних значень. Застосування методу дало можливість повноцінно провести запланований експеримент і отримати реальні оцінки інтегральних характеристик екологічного стану природних вод Полтавщини. Для автоматизованих розрахунків розроблено програмний модуль, який може бути рекомендований для застосування в аналогічних ситуаціях.

Ключові слова: логарифмічна модель, імовірно-статистичне моделювання, розподіл мікроелементів, природні води, сухий залишок, інтегральні характеристики.

Постановка проблеми. Моніторинг екологічного стану природних вод є одним з найпріоритетніших і найважливіших завдань державної політики в галузі охорони навколишнього середовища. Вдосконалення засобів моніторингу підвищує його ефективність і розширює можливості, що дає змогу детальніше дослідити об'єкт і отримати інформацію, пов'язану з його змінами.

Для вирішення поставленого завдання автори запропонували використати ймовірно-статистичне моделювання розподілів вмісту хімічних компонентів у природних водах для знаходження оптимальної моделі, яка б адекватно описувала їх розподіли на територіях з різними природно-техногенними умовами. Така модель створює необхідну базу для подальших оцінок інтегральних екологічних характеристик, які зазвичай і складають значну частину інформації, що подається на виході екологічного моніторингу. За допомогою моделі можна отримувати оптимальні оцінки, які, у свою чергу, дають можливість робити висновки стосовно екологічних змін досліджуваного об'єкта. Від точності оцінки щільності розподілу залежить точність розрахункових характеристик (площ перевищення критичних меж вмісту компонентів, їх питома та сумарне навантаження на водний об'єкт); у разі неадекватного опису ці характеристики не відповідатимуть дійсності тим більше, чим яскравіше ця неадекватність виражена. Знаходження такої моделі було головним завданням, вирішення якого підвищило б якість екологічного моніторингу водних об'єктів.

Для реалізації запланованого експерименту стосовно моделювання розподілів вмісту хімічних

компонентів у природних водах використано дві об'ємні бази даних, які отримано під час проведення гідролітохімічних знімів на території Полтавської області Казенним підприємством "Кіровогеологія" у 1985–1988 (БД1 – 264 проби) та 1991–1992 рр. (БД2 – 560 проб). За результатами напівкількісного спектрального аналізу у складі природних вод цього регіону виявлено Ва, Со, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn.

Порівняння числових статистичних характеристик досліджуваних хімічних елементів, щільностей їх розподілу та інтегральних характеристик показало, що дані БД1 не відповідають дійсності. Це унеможливило виконання запланованого експерименту, тому для доведення дієздатності запропонованої моделі та одержання результатів стосовно реальної зміни екологічної ситуації на території дослідження потрібно було привести дані до необхідної метрологічної якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню закономірностей розподілів вмісту хімічних компонентів у природних водах у другій половині ХХ ст. були присвячені праці А.І. Гавришина, С.І. Смирнова, В.І. Пелешенка, М.І. Ромася [2, 3, 7, 8]. Питання з того часу залишилося невирішеним через відсутність моделі, яка б адекватно описувала розподіли вмісту різних компонентів природних об'єктів у різних природно-техногенних умовах. Згадані дослідники для розв'язання проблеми використовували передусім класичні моделі: нормальну (гаусівський закон розподілу) та логарифмічно-нормальну (нормальний розподіл логарифмів значень), які виявилися недієздатними. В окремих випадках дещо кращою

була нормальна модель, в інших, навпаки, – лог-нормальна, але здебільшого розподіл не відповідав жодній із зазначених моделей [5]. Для вирішення цього питання ми запропонували композиційну модель розподілу, математичний зміст якої наведено у статті [4]. Модель виявилась оптимальною, точною і ефективною, незважаючи на неоднорідні природно-техногенні умови Полтавської області.

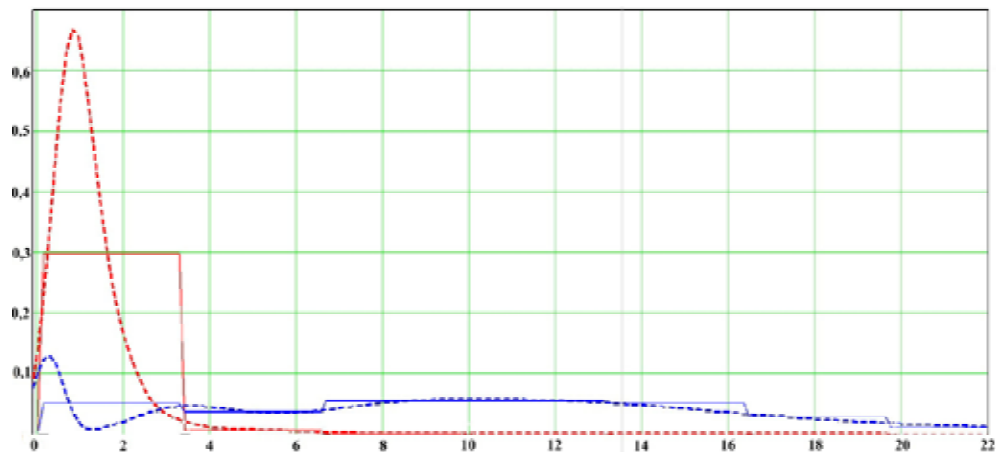
Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для моделювання розподілів вмісту хімічних компонентів у природних водних об'єктах Полтавської області (за класичними моделями та композиційною моделлю), перевірки ступеня їх адекватності та розрахунку інтегральних характеристик екологічного стану об'єктів автори розробили програмний модуль у середовищі MathCad, який дає змогу виконувати всі необхідні розрахункові процедури у автоматизованому режимі. Моделювання проводили для макрокомпонентів і мікроелементів, проте

найбільший інтерес становили саме мікроелементи, більшість яких є важкими металами, що забруднюють природні води.

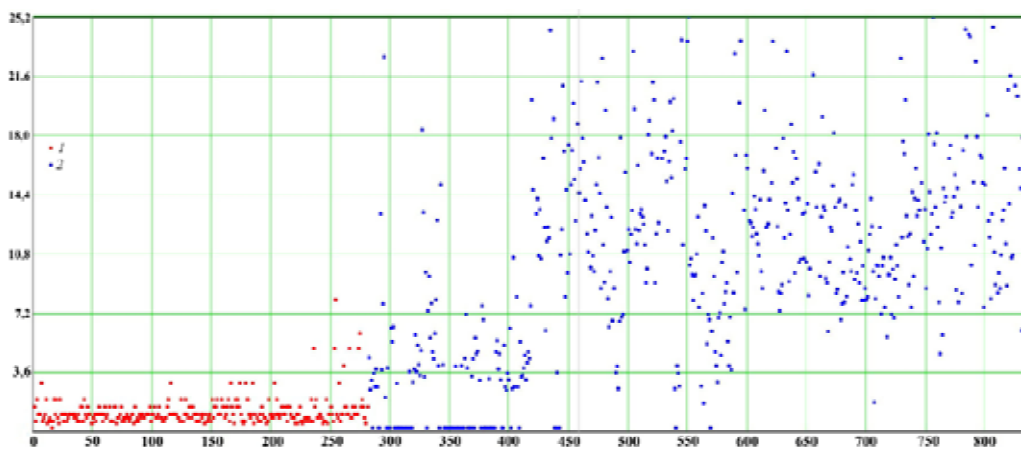
Запропонована композиційна модель в усіх випадках виявилась найточнішою порівняно з класичними моделями. Про це свідчили результати перевірки адекватності досліджуваних моделей на основі кількох критеріїв, визначених за методом моментів, за середнім абсолютним значенням, за методом альтернативи і методом максимальної правдоподібності. На рис. 1 пунктирні криві чітко повторюють контур гістограм, що вказує на точність апроксимації композиційної моделі.

Критерієм адекватності було порівняння оцінок площ перевищення критичних меж вмісту мікроелементів у природних водах ($D_{кр}$), отриманих інтегруванням щільності розподілу з прямою оцінкою за частотою (гістограмою) (рис. 2).

Площа, на якій вміст нікелю перевищує $D_{кр}$, збільшилася з 13 до 62 %. Для міді ($D_{кр} = 10 \cdot 10^{-2}$ мг/дм³) у 1985–1988 рр. площа перевищення $D_{кр}$ відсутня, у 1991–1993 рр. вона стано-



a



б

Рис 1. Результати моделювання розподілів вмісту міді у природних водах Полтавщини: а – моделювання розподілів за композиційною моделлю: *непараметрична щільність* (суцільна червона лінія – дані 1985–1988 рр., синя – 1991–1993 рр.); *параметрична щільність* (пунктирна червона лінія – дані 1985–1988 рр., синя – 1991–1993 рр.); б – відображення спостережень (вісь абсцис – порядкові номери спостережень; вісь ординат – концентрація міді, $\mu\text{г}/\text{дм}^3$): 1 – 1985–1988 рр.; 2 – 1991–1993 рр.

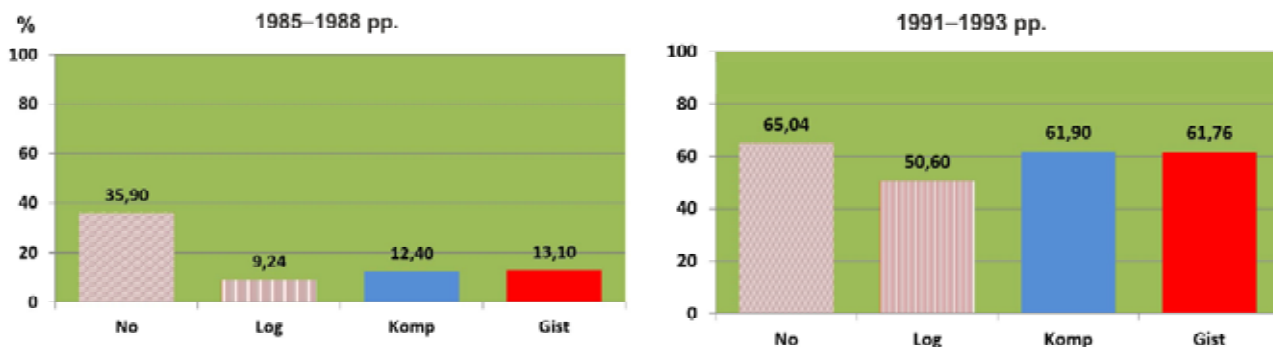


Рис. 2. Графічне відображення статистичних оцінок площ перевищення критичної межі вмісту нікелю у природних водах Полтавщини ($D_{кр} = 2 \cdot 10^{-2}$ мг/дм³). Модель: No – нормальна, Log – логнормальна, Komp – композиційна; Gist – пряма оцінка за частотою (гістограмою)

виль 53%. Таке різке збільшення площ перевищення у 5–25 разів критичних меж спостерігалося за вмістом усіх досліджуваних мікроелементів.

Хоча у деяких випадках (здебільшого за даними 1985–1988 pp.) логнормальна модель демонструвала задовільну апроксимацію емпіричних даних, оцінки площ перевищення критичних меж (рис. 2) були нестійкими й суттєво відрізнялися від контрольних оцінок. На відміну від класичних, композиційна модель показала значно кращий результат: оцінки площ були стійкими і практично збігалися з прямою оцінкою [5]. Отже, модель виявилась оптимальною для розв'язання поставленої задачі на території Полтавської області.

Проте після моделювання (див. рис. 1) розрахунку числових характеристик розподілів та оцінок площ перевищення критичних меж (рис. 2) отримані результати стосовно зміни екологічного стану в акваторіях області було поставлено під сумнів. Адже таке різке підвищення концентрацій мікроелементів у воді за порівняно невеликий проміжок часу є практично нереальним.

На рис. 1 візуально простежується значна різниця між розподілами БД1 та БД2. Це підтверджується порівнянням оцінок числових характеристик розподілів, які відрізняються у 5 і більше разів. Вміст елементів у моделі БД1 виявився нижчим за їх фоновий вміст у природних водах досліджуваної території [1]. Це свідчило про те, що принаймні одна з баз (БД1 чи БД2) є некондиційною і не може бути використана для часового порівняння.

Після детального ознайомлення з методикою виконання робіт по обох зніманнях [9] було встановлено, що концентрації мікроелементів визна-

чали у відсотках від сухого залишку і в базі даних першого знімання вони містились саме у такому вигляді. Результати другого знімання було внесено в базу у вигляді $n \cdot 10^{-k}$ мг/дм³. Потрібно було перерахувати відсотки у одиницю виміру – мг/дм³. Проте з'ясувалося, що база даних 1985–1988 pp. не містить даних стосовно концентрацій макрокомпонентного складу, у тому числі сухого залишку, через що не можна було виконати перерахунок і провести повноцінне дослідження поведінки мікроелементів у природних водах. Лише 30 проб із 264 містили всю потрібну інформацію. Однак в усіх пробах води було зафіксовано вміст гідрокарбонатів. На основі наявної інформації і були відновлені втрачені дані.

За даними еколого-географічного атласу України [10], у період літньої межени (саме тоді відбирали проби) на території Полтавської області поширені води гідрокарбонатно-кальцієвого та гідрокарбонатно-кальцієво-магнієво-натрієвого складу, тобто гідрокарбонати – основний аніон, концентрація якого переважає у макрокомпонентному складі природних вод. Це, в свою чергу, означає, що мінералізація безпосередньо має залежати від вмісту гідрокарбонатів. Для перевірки було оцінено кореляційний зв'язок між концентраціями гідрокарбонатів і мінералізацією, а також між логарифмами їх значень. Отже, у середовищі MathCad було розроблено програмний модуль, який крім оцінки коефіцієнтів кореляції давав можливість візуально оцінювати вказаний зв'язок (рис. 3).

За даними щодо концентрацій гідрокарбонатів і мінералізації тих проб, які містили необхідну

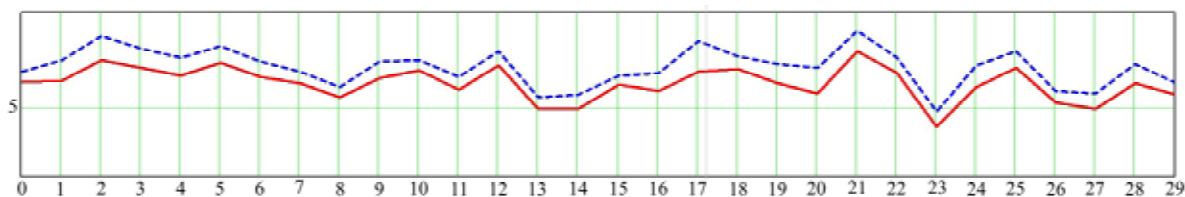


Рис. 3. Графічне відображення значень логарифмів концентрації гідрокарбонатів (суцільна червона лінія) та мінералізації (пунктирна синя лінія) у період 1985–1988 pp.

інформацію, коефіцієнт кореляції між цими показниками дорівнював 0,95, а між логарифмами показників – 0,968.

Для отримання розрахункової формули, за якою на основі даних стосовно вмісту гідрокарбонатів можна розрахувати рівень мінералізації, спочатку було використано лінійну модель. З'ясувалося, що досягнутий на її основі результат можна поліпшити. Для цього було застосовано лінійну модель між логарифмами значень вмісту компонентів, яка виявилася ефективнішою. Після необхідних розрахунків отримано формулу, за якою і перераховано логарифми значень:

$$YL_i = aL \cdot LX_i + bL, \quad (1)$$

де YL_i – логарифм значення мінералізації у i -й пробі; LX_i – логарифм значень вмісту гідрокарбонатів (HCO_3) у i -й пробі; aL , bL – розрахункові коефіцієнти.

В результаті статистичного аналізу встановлено оцінки параметрів: $aL = 1,084$; $bL = 0,054$. Отже, з'ясувалося, що за допомогою формули (1) можна оптимально розв'язати поставлену задачу. Цей висновок підтверджує рис. 4 – розрахункові значення практично відповідають реальним.

На основі формули (1) отримано кінцеву формулу перерахунку значень вмісту гідрокарбонатів у значення мінералізації:

$$Y_i = e^{aL \cdot LX_i + bL}, \quad (2)$$

де Y_i – значення мінералізації у i -й пробі; LX_i – логарифм значень вмісту HCO_3 у i -й пробі; aL , bL – розрахункові коефіцієнти.

На рис. 5 зображено рівні реальної мінералізації та мінералізації, отриманої за перерахунком значень вмісту гідрокарбонатів. Розрахункові значення майже збігаються з реальними і лише у декількох випадках дещо відрізняються. Це свідчить про ефективність запропонованого методу.

На підставі наявної інформації було встановлено зв'язок між мінералізацією та сухим залишком. За коефіцієнтами кореляції між самими значеннями та значеннями їх логарифмів встановлено, що ступінь статистичного зв'язку близький до детермінованого: коефіцієнти кореляції дорівнюють 0,988 та 0,991 відповідно. Це дало можливість скористатися створеним для попереднього перерахунку модулем. Для визначення сухого залишку було проведено ідентичний аналіз та процедури між значеннями мінералізації та сухого залишку.

Результати перерахунку за формулами (1), (2), відображені на рис. 6. Коефіцієнти перерахунку aL та bL становили 1,046 та $-0,62$ відповідно. Рис. 6 наочно демонструє високу точність запропонованого розрахункового методу. Перераховані значення (пунктирна червона лінія) збігаються з реальними значеннями (суцільна синя лінія), що підтверджує дієвість запропонованого методу.

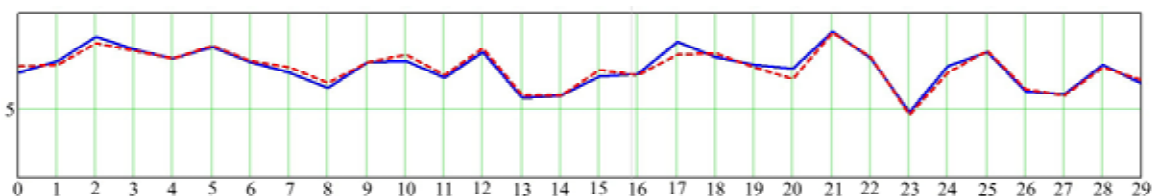


Рис. 4. Графічне відображення реальних значень логарифмів мінералізації (суцільна синя лінія) та перерахованих (пунктирна червона лінія) у період 1985–1988 рр.

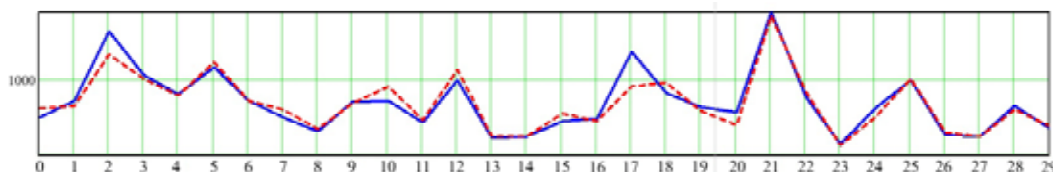


Рис. 5. Графічне відображення реальних значень (мг/дм^3) мінералізації (суцільна синя лінія) та перерахованих (пунктирна червона лінія) у період 1985–1988 рр.

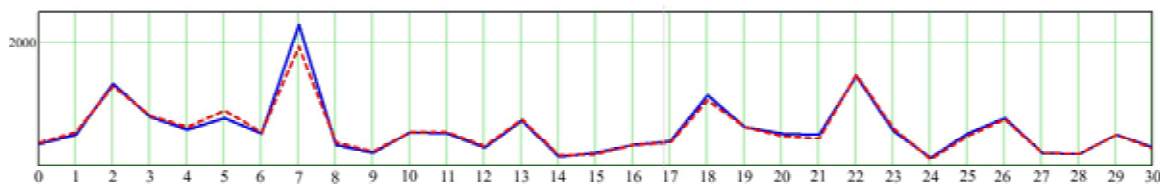


Рис. 6. Графічне відображення реальних значень (мг/дм^3) сухого залишку (суцільна синя лінія) та перерахованих (пунктирна червона лінія)

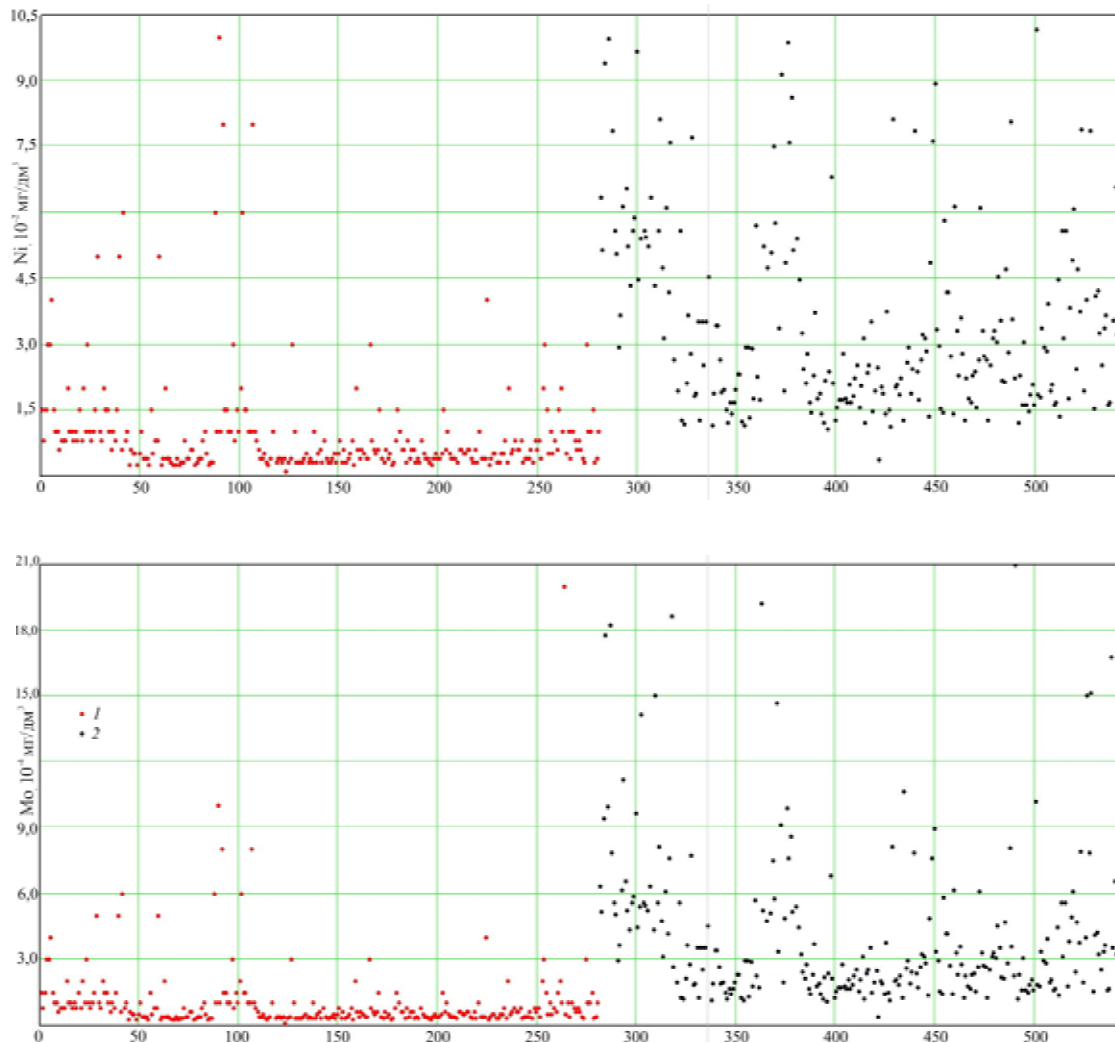


Рис 7. Відображення спостережень вмісту нікелю та молібдену у природних водах Полтавщини 1985–1988 рр. до (1) і після (2) перерахунку: вісь абсцис – порядкові номери спостережень; вісь ординат – концентрації елементів

Після відновлення даних за сухим залишком було розраховано реальний вміст мікроелементів у природних водних об'єктах Полтавської області. Значення до і після перерахунку суттєво відрізнялися (рис 7).

Звичайно така різниця між даними не могла не позначитися на щільності розподілів вмісту мікроелементів у природних водах (рис. 8). Саме тому після моделювання розподілів на основі некондиційної бази даних статистичні оцінки площ перевищення критичних меж вмісту мікроелементів у природних водах Полтавщини так різнилися. Ми отримали дані, які були далекими від реальності. Звичайно це призвело б до хибних висновків стосовно екологічної ситуації досліджуваного регіону.

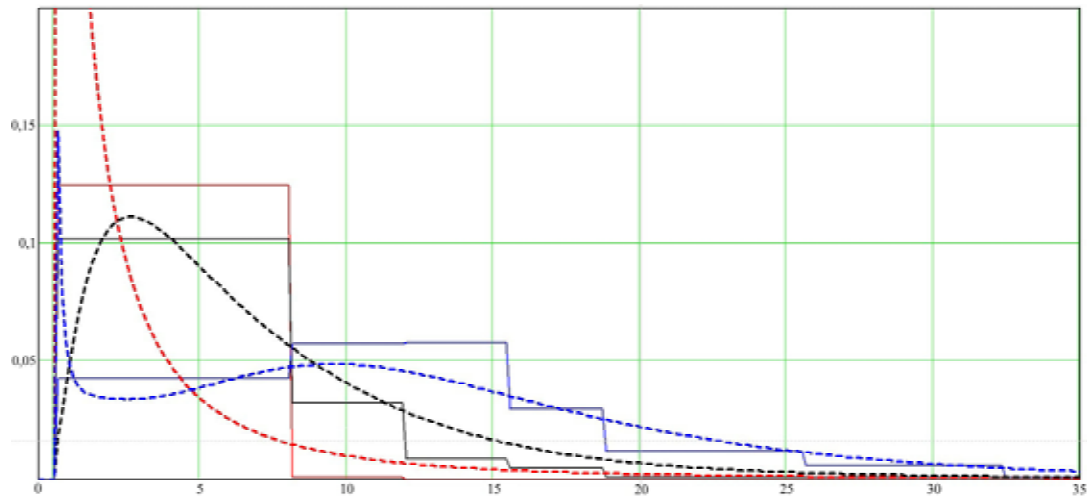
Як видно з рис. 8, крива щільності розподілу перелічених даних (чорна пунктирна лінія) значно відрізняється від попередньої (червона пунктирна лінія) і доволі точно повторює контури гістограми, що свідчить про її точність й оптимальність для опису розподілів вмісту мікроеле-

ментів у природних водах. Це саме підтверджують і критерії згоди, особливо критерій максимуму правдоподібності [6], і статистичні оцінки площ перевищення критичних меж (рис. 9).

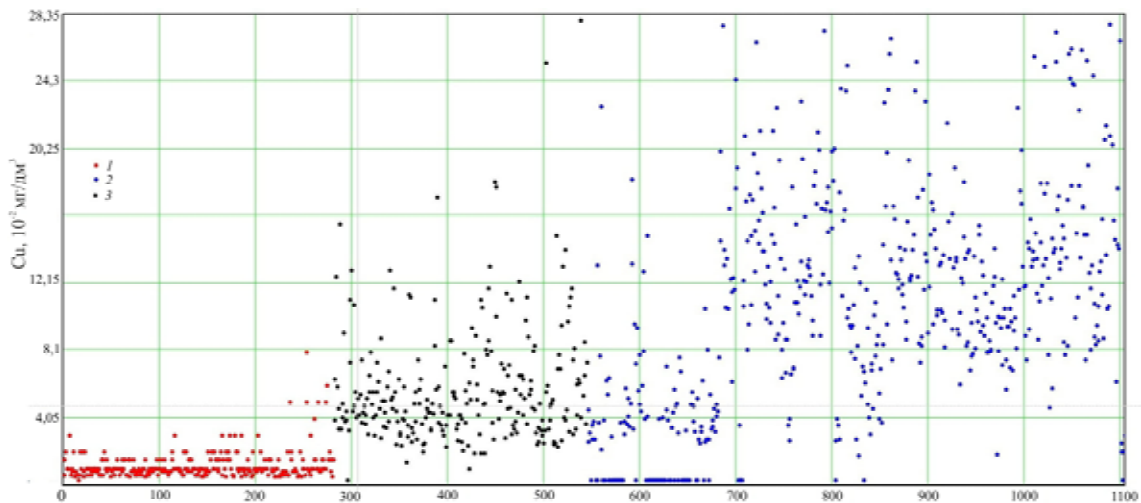
Порівнявши оцінки площ перевищення критичних меж вмісту нікелю, можна з'ясувати, наскільки були б далекими від реальності висновки стосовно зміни екологічного стану природних вод Полтавської області. Адже для нікелю площа перевищення $D_{кр}$ не зросла з 12 до 62 %, а навпаки, зменшилась з 71 до 62 %. Проте поліпшення спостерігається лише стосовно вмісту нікелю та ванадію, щодо всіх інших елементів площі збільшились на 2–20 %, але це збільшення незначне порівняно з попередніми результатами [6].

Результати порівняння статистичних характеристик до і після перерахунку дають можливість оцінити масштаб спотворення даних (див. таблицю).

Після розрахунків максимальні значення вмісту елементів підвищились у 2–7 разів, математичне сподівання – у 5 і більше разів, середне



а



б

Рис. 8. Результати моделювання розподілів вмісту міді у природних водах Полтавщини після перерахунку даних 1985–1988 рр.: а – моделювання розподілів за композиційною моделлю: *непараметрична щільність*, дані 1985–1988 рр. (суцільна червона лінія – до перерахунку, чорна лінія – після перерахунку), дані 1991–1993 рр. – синя лінія; *параметрична щільність*, дані 1985–1988 рр. (пунктирна червона лінія – до перерахунку, пунктирна чорна лінія – після перерахунку), дані 1991–1993 рр. – синя лінія; б – відображення спостережень (вісь абсцис – порядкові номери спостережень; вісь ординат – концентрація міді); спостереження 1985–1988 рр.: 1 – до перерахунку, 2 – після перерахунку; 3 – спостереження 1991–1993 рр.

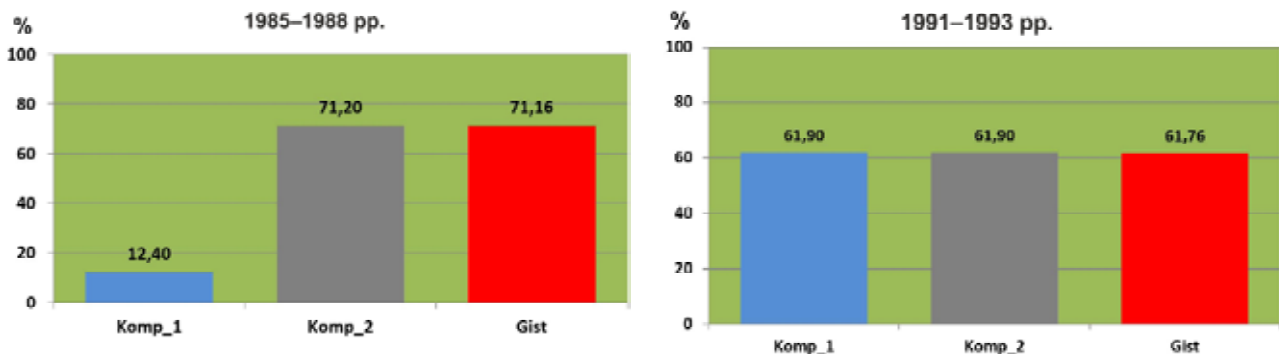


Рис. 9. Графічне відображення статистичних оцінок площ перевищення критичної межі вмісту нікелю у природних водах Полтавщини ($D_{кр} = 2 \cdot 10^{-2}$ мг/дм³) до і після перерахунку за композиційною моделлю: Komp_1 – до перерахунку; Komp_2 – після перерахунку; Gist – пряма оцінка за частотою (гістограмою) після перерахунку

Статистичні оцінки числових характеристик розподілів вмісту мікроелементів у природних водах

Хімічний елемент	До перерахунку			Після перерахунку		
	max	<i>M</i>	σ	max	<i>M</i>	σ
Cu	8	1,187	0,881	33,488	5,93	3,947
Ni	30	1,132	2,407	79,68	5,025	7,662
Mo	6	1,266	0,674	36,6	6,622	4,188
Ti	1	0,1776	0,181	6,4421	0,9448	1,085

Примітка: max – максимальне значення, *M* – математичне сподівання, σ – середній квадратичний відхил (одиниці концентрацій див. на рис. 1).

квадратичне відхилення – у 3–6 разів. Аналогічна ситуація спостерігається і стосовно інших хімічних елементів.

Слід зазначити, що подібні точність і оптимальність були і при першому моделюванні. Модель виявилася працездатною навіть на некондиційній базі даних, що містила сукупність чисел, яка не характеризувала хімічний склад досліджуваного об'єкта. Втім за правильного налаштування модель виявилася ефективною в обох випадках, що свідчить про її універсальність і можливість використання для дослідження природних вод на інших територіях.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

За допомогою методу відновлення кондиційності бази даних розраховано дані за сухим залишком, а отже, відновлено втрачені значення концентрацій мікроелементів у природних водах Полтавщини. Це забезпечило повноцінне моделювання розподілів вмісту елементів у природних водах регіону, визначення оптимальної для опису розподілів моделі, на основі якої отримано реальні оцінки екологічного стану вод.

Розроблений автоматизований програмний модуль відновлення втрачених даних може бути рекомендований для застосування в аналогічних ситуаціях.

1. *Вступ до медичної геології: у 2 т.* / Г.І. Рудько [та ін.]; за ред. Г.І. Рудька, О.М. Адаменка. – К.: Академпред, 2010. – Т. 2. – 448 с.
2. *Гавришин А.И.* Гидрогеохимические исследования с применением математической статистики и ЭВМ / А.И. Гавришин. – М.: Недра, 1974. – 144 с.

3. *Гавришин А.И.* Использование методов математической статистики при обосновании гидрохимических выводов / А.И. Гавришин // *Гидрохимические материалы.* – 1970. – Т. 54. – С. 59–67.
4. *Жуков М.Н.* Моделювання розподілів вмісту забруднюючих речовин в атмосфері мегаполісів (на прикладі м. Києва) / М.Н. Жуков, І.Р. Стахів, А.В. Клипа // *Геоінформатика.* – 2013. – № 2. – С. 61–69.
5. *Імовірнісна оцінка забруднення природного середовища на основі моделювання розподілів вмісту хімічних елементів (на прикладі поверхневих вод Полтавської області) / М.Н. Жуков та ін.* // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* – 2012. – № 58. – С. 52–57.
6. *Клипа А.В.* Оцінка хімічного складу природних вод на основі ймовірнісного моделювання розподілів вмісту хімічних компонентів для вирішення задач екологічного моніторингу (на прикладі Полтавської області): Дис. ... канд. геол. наук.: 04.00.05. – К., 2014. – 184 с.
7. *Пелешенко В.И.* Применение вероятностно-статистических методов для анализа гидрохимических данных / В.И. Пелешенко, М.И. Ромась. – Киев: ИПЦ “Киев. ун-т”, 1977. – 64 с.
8. *Смирнов С.И.* Вероятностно-статистические закономерности распределения химических элементов в природных водах / С.И. Смирнов // *Гидрохимические материалы.* – 1963. – Т. 35. – С. 5–55.
9. *Сукоркин С.Н.* Отчет по гидрогеохимическому картированию по стокам малых рек масштаба 1 : 1 000 000 территории Украины, Молдавии и Белоруссии. Задание 52-67 / С.Н. Сукоркин, В.А. Анисимов, Ю.П. Горяев. – К.: КП “Кировгеология”, 1990.
10. *Україна.* Еколого-географічний атлас. Атлас-монографія. – К.: Варта, 2006. – 220 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОНДИЦИОННОСТИ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СОДЕРЖАНИЙ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Н.Н. Жуков, А.В. Клыпа

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, ул. Владимирская, 64/13, Киев 01601, Украина,
e-mail: KlypaAA@bigmir.net

Представлен метод восстановления гидрохимических данных на основе логарифмической модели корреляционной связи для решения задачи моделирования распределений содержания микроэлементов в природных водных объектах Полтавской области. На основе имеющейся информации восстановлено содержание сухого остатка и рассчитано реальное содержание микроэлементов в исследуемом объекте. Доказаны дееспособность метода и его эффективность, которая зависит от коэффициента корреляции между логарифмами исследуемых значений. Применение метода позволило полноценно провести запланированный эксперимент и получить реальные оценки интегральных характеристик экологического состояния природных вод Полтавщины. Для автоматизированных расчетов разработан программный модуль, который может быть рекомендован для применения в аналогичных ситуациях.

Ключевые слова: логарифмическая модель, вероятностно-статистическое моделирование, распределение микроэлементов, природные воды, сухой остаток, интегральные характеристики.

RECOVERY OF DATABASE QUALITY TO CORRECT CONTENT DISTRIBUTION MODELS OF CHEMICAL ELEMENTS IN NATURAL WATERS

M.N. Zhukov, A.V. Klypa

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Volodymyrska Str., 64/13, Kyiv 01601, Ukraine,
e-mail: KlypaAA@bigmir.net

Purpose. The purpose of the article is to carry out environmental monitoring of natural waters, based on probabilistic methods and statistical modeling of content distribution of chemical elements in water; to recover hydrochemical database quality to correct the model of content distribution of chemical elements in natural waters.

Design/methodology/approach. We used method of probabilistic and statistical analysis to determine patterns of chemical elements behavior in natural waters and evaluate their characteristics of distribution; mathematical modeling for automated construction of parametric density estimates; methods of correlation and regression analysis to establish the relationship between the components of the chemical composition of natural waters and to calculate integral characteristics of ecological condition. Distribution modeling, calculation of statistical characteristics and database quality recovery were performed using MathCad software package.

Findings. The proposed composite model adequately describes the distribution of chemical elements in natural waters in areas with different natural and technogenic conditions. It allows full environmental monitoring of natural water bodies by integrating the density distributions. The quality recovery method of hydrochemical database allowed to calculate the actual content of trace elements in the water, fully carry out the planned experiment and get a real assessment of changes in the ecological condition of the objects.

Practical value/implications. The developed software can be used to assess the ecological state of water not only in the Poltava region, but also in other areas, and can significantly increase the reliability and accuracy of the estimates, which a complete modern environmental monitoring requires. The mathematical module of database quality recovery may also be used to solve such kind of problems.

Keywords: logarithmic model, probabilistic and/or statistical modelling, element distribution, natural waters, solid residue, integral characteristics.

References:

1. Rudko H.I., Adamenko O.M., Smoliar N.I., Zhovynskyi E.Ya., Povorozniuk V.V., Salomatin V.M., Yehorova T.M. *Vstup do medychnoi heolohii: u 2 t.* [Introduction to Medical Geology, vol. 2]. Kyiv, *Akadempres*, 2010, vol. 2, 448 p.
2. Gavrishin A.I. *Gidrogeokhimicheskie issledovaniya s primeneniem matematicheskoy statistiki i EVM* [Hydrogeochemical studies using mathematical statistics and computer]. Moscow, *Nedra*, 1974, 144 p.
3. Gavrishin A.I. *Ispol'zovanie metodov matematicheskoy statistiki pri obosnovanii gidrokhimicheskikh vyvodov* [Using the methods of mathematical statistics in justifying hydrochemical conclusions]. *Gidrokhimicheskie materialy* [Hydrochemical materials]. 1970, vol. 54, pp. 59-67.
4. Zhukov M.N., Stakhiv I.R., Klypa A.V. *Modeliuvannia rozpodiliv vmistu zabrudnuiuchykh rehovyn v atmosferi mehapolisiv (na prykladi m. Kyieva)* [Modeling distributions contents of pollutants in the atmosphere of big cities (for example, the city of Kyiv)]. *Geoinformatika* [Geoinformatics (Ukraine)], 2013, no. 2, pp. 61-69.

5. Zhukov N., Klypa A., Stakhiv I., Makarenko N. *Imovirnisna otsinka zabrudnennia pryrodnoho seredovyscha na osnovi modeliuвання rozpodiliv vmistu khimichnykh elementiv (na prykladi poverkhnevyykh vod Poltavskoi oblasti)* [Probabilistic Assessment of Environmental Pollution by Modeling Of Chemical Elements Content's Distribution (on the Example of the Poltava Region's Surface Waters)], *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*. 2012, issue 58, pp. 52-57.
6. Klypa A.V. *Otsinka khimichnoho skladu pryrodnykh vod na osnovi ymovirnisnoho modeliuвання rozpodiliv vmistu khimichnykh komponentiv dlia vyrishennia zadach ekolohichnoho monitorynhu (na prykladi Poltavskoi oblasti)*. Dis. ... kand. heol. nauk [Evaluation of the Chemical Composition of Natural Waters Based on Probabilistic Modeling Distributions of Chemical Components for Solving Environmental Monitoring Objectives (Evidence from the Poltava Region). D-r Philosophy (geological sci.) diss]. Kyiv, 2014, 184 p.
7. Peleshenko V.I., Romas' M.I. *Primenenie veroyatnostno-statisticheskikh metodov dlya analiza gidrokhimicheskikh dannykh* [Application of probabilistic and statistical methods for the analysis of hydrochemical data]. Kyiv, Publishing center "Kyiv. University", 1977, 64 p.
8. Smirnov S.I. *Veroyatnostno-statisticheskie zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v prirodnykh vodakh* [Probabilistic and statistical regularities in the distribution of chemical elements in natural waters]. *Gidrokhimicheskie materialy* [Hydrochemical materials], 1963, vol. 35, pp. 5-55.
9. Sukorkin S.N., Anisimov V.A., Goryaev Yu.P. *Otchet po gidrolitokhimicheskomu kartirovaniyu po stokam malykh rek m-ba 1:1 000 000 territorii Ukrainy, Moldavii i Belorussii. Zadanie 52-67* [Report hydrochemical mapping on small rivers at a scale of 1:1 000 000 in Ukraine, Moldova and Belarus. Setting 52-67]. Kiev, *Kazennoe predpriyatie "Kirovgeologiya"*, 1990, 276 p.
10. *Ukrayina. Ekoloho-heohrafichnyy atlas. Atlas-monohrafiya* [Ukraine. Ecological atlas. Atlas-monograph]. Kyiv, *Varta*, 2006, 220 p.

*Надійшла до редакції 21.07.2014 р.
Received 21/07/2014*