

УДК 004.92:912.43:614.7

МОДЕЛЮВАННЯ ФОНОВОЇ ЯКОСТІ ВОДИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НОРМАТИВІВ СКИДУ

В.П. Білогуров

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (057) 702-16-03

E-mail: v.belogurov@gmail.com

Г.А. Нагорна*

Контактний тел.: (057) 364-08-48

E-mail: Annabellanna@mail.ru

*Кафедра геоінформаційних систем та геодезії

Харківська національна академія міського господарства

вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002

Робота присвячена методам визначення фонових концентрацій забруднюючих речовин, що необхідно для розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами

Ключові слова: гранично допустимий скид, фонове якість води

Робота посвящена методам определения фоновых концентраций загрязняющих веществ, что необходимо для разработки и утверждения предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ в водные объекты с возвратными водами

Ключевые слова: предельно допустимый сброс, фоновое качество воды

The paper purpose is a method development for definition of background water pollutants concentration, which are necessary for limitation of waste water

Keywords: a limitation of waste water, a background water pollutants concentration

1. Вступ

Охорона вод – це система заходів, спрямованих на запобігання, обмеження і ліквідацію наслідків забруднення, засмічення і виснаження вод. З цих трьох напрямків найголовнішим є охорона вод від забруднення. Державне управління з охорони вод в Україні базується на нормуванні якості природних та зворотних вод, які скидаються у водні об'єкти. Скидання зворотних вод підприємств та установ регламентується встановленням для них шляхом розробки та затвердження нормативів гранично допустимого скиду (ГДС) забруднюючих речовин.

Розрахунки нормативів ГДС регламентуються Інструкцією про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами [1]. Відповідно до цієї Інструкції усі розрахунки базуються на даних моніторингу якості води щодо складу та властивостей зворотних вод, що скидаються у водний об'єкт в деякому створі, фоновій якості води у створі, який розташований вище створу скидання зворотних вод у безпосередній близькості до нього, а також на значеннях гранично допустимих концентрацій (ГДК) у контрольному створі нижче створу скидання. Якщо фоновий створ входить в число створів, які контролюються державною гідрометслужбою, то дані моніторингу, які необхідні для розрахунків ГДС, надає гідрометслужба у вигляді офіційної довідки за результатами спостережень. Якщо фоновий створ не надходить до мережі спостережень гідрометслужби, вона надає довідку про це розробникам ГДС, які вимушені визначати значення концентрацій забруднюючих речовин самостійно, що не відповідає встановленим нормативним документам.

Гідрометслужба проводить спостереження за станом забруднення водних об'єктів України на базовій мережі спостережень. На сьогоднішній день мережа спостережень за хімічним станом водних об'єктів Держкомгідромету складається з 239 пунктів, що розташовані на 112 річках, 7 озерах, 15 водосховищах та 1 лимані. Загалом ця мережа налічує 374 контрольних створів. Карта, що створена нами за даними гідрометслужби показує, що хоча створи мережі спостережень розташовані на всіх основних річках України, однак вони не охоплюють достатньо повно усі річки, в які скидають зворотні води підприємства та установи. Оскільки кількість водокористувачів наближується до десяти тисяч, а кількість створів, де здійснюється державний моніторинг складає лише 374, то проблема визначення фонових концентрацій для розрахунку нормативів гранично допустимого скиду зворотних вод у створах, які не надходять до базової мережі спостережень на водних об'єктах України є дуже актуальною.

2. Постановка задачі

Контрольні створи визначаються органами Мінприроди України за погодженням з органами МОЗ України та Держрибгосспрому України. Лімітуючий контрольний створ – це створ на водному об'єкті, для дотримання норм якості води в якому необхідне встановлення найбільш суворих обмежень на скид речовин із зворотними водами. Фоновим створом називається створ, розташований на водному об'єкті безпосередньо до місця впливу скиду зворотних вод з урахуванням напрямку течії. Розрахунковий створ – це створ, для якого визначають розрахункові характеристики во-

дною об'єкта; ним можуть бути контрольний, фоновий, гідрометричний, гирловий (для річок) та інші створи.

Фоновою якістю води в Інструкції [1] називають якість води водного об'єкта, що сформована під впливом природних процесів і усіх джерел надходження домішок, за винятком впливу розглядуваного джерела домішок. Природна фоновая якість – це якість води, що сформована природними процесами за відсутності антропогенного навантаження або в умовах тривалого неінтенсивного впливу антропогенних факторів, що важко піддаються регулюванню [1]. Фоновим розрахунковим значенням показника якості води у Словнику нормативних термінів і визначень у галузі охорони і використання вод називається значення показника якості води у фоновому створі водою або водотоку, обчислене стосовно до даного джерела домішок при розрахункових гідрологічних умовах з урахуванням впливу всіх джерел домішок за винятком даного джерела.

Розрахункова фоновая якість і розрахункова природна фоновая якість води – характеристики якості води визначені (розраховані) для прийнятих розрахункових умов. Розрахунковими умовами називають сукупність характеристик, що приймаються для розрахунку умов скиду зворотних вод та інших видів господарського впливу на водні об'єкти в сучасний період і перспективі. До них належать гідрографічні, гідрологічні, гідрохімічні та інші характеристики водних об'єктів, характеристики водозаборів, випусків зворотних вод, водоохоронних заходів. Суміщені у часі розрахункові умови, за яких формується найменша (лімітуюча) асимілююча спроможність водного об'єкта, визначають лімітуючі періоди (сезони, місяці), що розглядаються в розрахунках умов скиду зворотних вод.

Перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується у всіх випадках скидання зворотних вод, наведений у списку А до постанови Кабінету Міністрів України N 1100 [2]. До списку А належать: розчинений кисень (мг/л), завислі речовини, мінералізація води, сульфати, хлориди, азот амонійний, нітрати, нітриди, фосфати, нафтопродукти. Крім того, обов'язково нормуються такі фізико-хімічні показники, як біохімічне споживання кисню (БСК 5), хімічне споживання кисню (ХСК) – перманганатна окислюваність та біхроматна окислюваність, рівень токсичності води (на основі біотестування), показники бактеріологічного забруднення і рівень радіоактивності води (сумарна радіоактивність), та враховуються водневий показник (рН) і температура.

Метою даної роботи є розробка просторової моделі, що дозволяє визначати фонові концентрації забруднюючих речовин зі списку А для розрахунку нормативів скиду зворотних вод у водні об'єкти в пунктах, які не належать до базової мережі спостережень, де здійснюється державний моніторинг вод.

3. Обґрунтування методу рішення задачі

Найбільш відомим засобом побудови просторових моделей є геоінформаційні системи (ГІС) та ГІС-технології. Для побудови просторових моделей, що дозволяють визначати фонову якість води в створах, які не належать до базової мережі спостережень, доцільно

використовувати найсучасніші ГІС – ArcGIS 9. З цієї метою можна застосувати модулі Spatial Analyst, Model Builder та Geostatistical Analyst. Оскільки модуль Geostatistical Analyst дозволяє будувати детерміновані та стохастичні моделі, а також має можливість визначити точність моделі за вихідними натурними даними моніторингу, використання геостатистичних методів у даній роботі є найбільш доцільним.

Математико-картографічне моделювання – це процес перетворення вихідних карт до результуючого картографічного інформаційного продукту за допомогою геоінформаційних технологій та математичних перетворень, які орієнтовані на рішення деякої прикладної задачі. Для рішення задачі визначення фонових концентрацій у створах, які не надходять до базової мережі спостережень та розташовані по всій території водозбору, найбільш доцільно використовувати стохастичні моделі. Починати дослідження треба з найбільш простої із класу стохастичних моделей – моделі ординарного кригингу.

Рівняння кригингу. Для інтерполяції значення у точці з відомими координатами (X та Y), яка називається шуканою точкою, ми можемо скористатися методом ординарного кригингу [5]. Модель ординарного кригингу визначається формулою

$$Z(s) = m + e(s), \quad (1)$$

де $s = (X, Y)$ – положення точки та $Z(s)$ – значення виміряної величини для даної точки. Модель основана на постійному середньому m для даних (немає тренду) та випадкових помилок $e(s)$ з просторовою залежністю. Допустимо, що випадковий процес $e(s)$ є внутрішньо стаціонарним. Інтерполятор може бути отриманий як зважена сума даних

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i), \quad (2)$$

де $Z(s_i)$ – виміряне значення в i -ій точці;
 I_i – невідома вага для виміряного значення в i -ій точці;
 s_0 – координати шуканої точки;
 N – число опорних точок.

Формула аналогічна формулі інтерполяції по методу зважених відстаней (IDW). Однак, в методі IDW, вага I_i , залежить виключно від відстані до шуканої точки. В ординарному кригингу, вага I_i , залежить від варіограми, тобто від відстані до шуканої точки, а також від просторових взаємозв'язків між опорними точками, розташованими навколо шуканої точки.

При виконанні інтерполяції для декількох точок, деякі з шуканих значень виявляться вище чи нижче фактичних значень величин. У середньому, різниця між проінтерпольованими значеннями та фактичними значеннями повинна дорівнювати нулю. Така умова називається «умовою не зміщення інтерполятора». Для гарантії того, що інтерполятор є не зміщеним для невідомого виміру, сума ваг I_i повинна дорівнювати одиниці. Скориставшись цим обмеженням, ми можемо впевнитись, що різниця між істинним значенням, $Z(s_0)$, та інтерполятором, $\sum I_i Z(s_i)$, має найменше з можливих значень. Це мінімізує статистичне очікування наступної формули, на базі якої отримують рівняння кригингу

$$\left(Z(s_0) - \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \right)^2 \tag{3}$$

Рішення для мінімізації, обмежене умовою не зміщення, дає рівняння кригингу

$$\Gamma \cdot l = g \tag{4}$$

або

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \Lambda & \gamma_{1N} & 1 \\ M & O & M & M \\ \gamma_{N1} & \Lambda & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & \Lambda & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ M \\ \gamma_N \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ M \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{pmatrix} \tag{5}$$

Гамма – матриця G містить змодельовані значення варіограми для всіх пар опорних точок, де g_{ij} означає змодельовані значення варіограми, основані на відстані між двома опорними точками, визначеними як точки i -а та j -а. Вектор g містить змодельовані значення варіограми для кожної пари з опорної точки та шуканої точки, де g_{i0} означає змодельовані значення варіограми, основані на відстані між i -ою точкою та шуканою точкою. Також оцінюється невідоме значення m у векторі I ; воно росте із-за умови не зміщення.

Розрахунок емпіричної варіограми. Для розрахунку значень матриці G ми повинні вивчити структуру даних шляхом створення емпіричної варіограми. На варіограмі показані значення половини квадрата різниці для пар точок (відкладається по осі y) в залежності від відстані між ними (відкладаються по осі x). Перший крок в створенні емпіричної варіограми – обчислення відстані та квадрата різниці між значеннями для кожної пари точок. Відстань між двома точками розраховується з використанням Евклідової відстані:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \tag{6}$$

Емпірична дисперсія – це половина квадрата різниці

$$0.5 \cdot \text{середнє} [(\text{значення у точці } i - \text{значення у точці } j)^2] \tag{7}$$

Для великих наборів даних (з великою кількістю виміряних опорних точок) число пар точок буде швидко рости й стане не керованим. Таким чином, ми можемо згрупувати пари точок; такий процес відомий як бінінг. Бін – це заданий діапазон відстаней. Це означає, що всі точки, що знаходяться на відстані від 0 до 1 згруповані у перший бін, ті точки, що знаходяться на відстані від 1 до 2 метрів одна від одної згруповані у другий бін, і т.д. Береться середня емпірична дисперсія для всіх пар точок.

Підбір моделі. Тепер ми можемо відобразити на графіку – емпіричній варіограмі – середню дисперсію в залежності від середньої відстані для біна. Але значення емпіричної варіограми не можуть бути використані безпосередньо в матриці G, оскільки ми можемо отримати від’ємні стандартні похибки розрахунків; замість цього ми повинні підібрати модель для емпіричної варіограми. Після підбору моделі, ми будемо використовувати отриману модель для

визначення значень варіограми для різних відстаней. Це – лінія регресії, побудована з використанням метода найменших квадратів, що має додатний кутовий коефіцієнт та проходить через нуль. В модулі Geostatistical Analyst включено більша кількість моделей, які можна використати для підбору. Формула для визначення дисперсії для будь-якої заданої відстані має наступний вигляд:

$$\text{Дисперсія} = \text{Кутовий коефіцієнт} \cdot \text{Відстань} \tag{8}$$

Кутовий коефіцієнт визначає нахил підбраної прямої. Відстань – це відстань між парами точок, воно позначається як h.

Створюємо матрицю значень G. Таким чином, для пари точок, величина лага обчислюється з використанням відстані між двома точками. Значення варіограми визначається шляхом множення кутового коефіцієнта на відстань. Одиниці та нулі визначаються у відповідності з умовою не зміщення.

Формула значень матриці для ординарного кригингу наступна:

$$G \cdot I = g \tag{9}$$

Тепер, коли побудована матриця G, необхідно знайти значення вектора I, який містить значення ваг, що будуть присвоєні виміряним значенням, які знаходяться навколо шуканої точки. Тому, виконаємо просту операцію з матричної алгебри та отримаємо наступну формулу:

$$I = G^{-1} \cdot g \tag{10}$$

де G^{-1} – обернена матриця G. Обернену матрицю G отримуємо, виконавши операцію лінійної алгебри.

Далі, для шуканої точки будується вектор g, визначаємо підбрану дисперсію. Після того, як були створені матриця G та вектор g, обчислимо вектор ваг кригингу за формулою (10). Для цього, скористаємося формулами лінійної алгебри. Маючи значення ваг, помножимо вагу кожного виміряного значення на це значення. Складемо результати та отримаємо шукане значення для кожної точки інтерполяційного ґриду, що розробляється.

Дисперсія кригингу. Одна з сильних сторін використання статистичного підходу – це можливість обчислення статистичної міри похибки інтерполяції. Для цього необхідно помножити кожне значення вектора I на кожне значення вектора g та скласти їх усі разом, щоб отримати значення, відоме як дисперсія значень, отриманих з використанням кригингу. Корінь квадратний з дисперсії кригингу носить назву стандартної похибки кригингу.

4. Експериментальні дослідження

Обчислювальні експерименти здійснювались за допомогою ArcGIS 9.3. Для побудови інтерполяційного ґриду та визначення точності моделювання був використаний модуль Geostatistical Analyst. Розрахунки проводились за методами ординарного кригингу та індикаторного кригингу. За вихідні дані були взяті результати моніторингу, що здійснювався Держкомгі-

дрометом на базовій мережі спостережень (374 створи) за показниками списку А.

Виконання інтерполяції дозволяє вивчити отримані результати. Як і очікувалось, ваги зменшуються з відстанню, але таке зменшення визначене більш точно, оскільки при присвоєнні ваг враховувалась не тільки відстань між точками, а і просторовий розподіл даних. Виконана інтерполяція виглядає цілком достовірною.

У результаті експериментів встановлено, що ординарний кригинг та індикаторний кригинг мало відрізняються один від одного за точністю, що визначається за рівнянням (8). В результаті обчислюваних експериментів встановлено, що просторові моделі, які побудовані тільки за даними державного моніторингу якості води на базовій мережі спостережень, не дозволяють визначати фонові концентрації на всьому просторі водозбірної території. Таким чином, цих даних для побудови якісної моделі недостатньо.

Була введена інформація для додаткових опорних точок, що визначені за довідником [3] та відомою монографією [4], які містять результати натурних гідрохімічних обстежень території України. Використання результатів додаткових спостережень на множині опорних точок дозволяє покращити просторову модель. В процесі виконання розрахункових експериментів була запропонована ітеративна процедура геостатистичного моделювання, яка дозволяє визначати мінімальну кількість та місце розташування опорних точок.

В результаті рішення задачі отримані просторові моделі у вигляді інтерполяційних ґридів, які дозволяють визначати фонові концентрації забруднюючих речовин із списку А поза створами, які систематично контролюються ГМС. Зразок інтерполяційного ґриду для значень узагальненої характеристики впливу забруднюючих речовин – коефіцієнту забрудненості – наведено на рис. 1. Ступінь забрудненості водних об'єктів зростає від світлих зон до більш темних.

5. Висновки

1. Досвід розробки просторової моделі для визначення фонових концентрацій тільки за даними державного моніторингу якості води на базовій мережі спостережень показує, що цих даних для побудови якісної моделі фонових концентрацій недостатньо.
2. Для покращення моделі необхідно використати результати додаткових спостережень в деяких опорних точках. Запропонована ітеративна процедура геостатистичного моделювання дозволяє визначати мінімальну кількість та місце розташування опорних точок.
3. Розроблений інтерполяційний ґрид є достатньо точною моделлю для визначення концентрацій забруднюючих речовин за всіма точками водозбірної території, яка моделюється.



Рис. 1. Зразок моделі фонової якості води для басейну Сіверського Дінця

Література

- 1 Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами [Текст] / УкрНЦОВ, ЮНИТЕП. - Х., 1994. - 79 с.
- 2 Про порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується [Текст] : Постанова Кабінету Міністрів України. - № 1100. - 11 вересня 1996 р. - К. : КМУ, 1996.
- 3 Малі річки України [Текст] : довідник / А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Є. О. Богатов та ін. ; під заг. ред. А. В. Яцика. - К. : Урожай, 1991. - 296 с.
- 4 Горев, Л. Н. Региональная гидрология [Текст] : учеб. пособие / Л. Н. Горев, А. М. Никаноров, В. И. Пелешенко ; под. общ. ред. Л. Н. Горева. - К. : Вища школа, 1989. - 280 с.
- 5 ArcGIS 9 Geostatistical Analyst. User Guides [Text]. - USA, Redlands, CA 92373-8100. : ESRI Press, 2006. - 434 Pp.