

### СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ СТУПЕНІВ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПРИБРУДНЕННІ ПОВЕРХНЕВИХ ПРИРОДНИХ ВОД

**С. П. Давидчук**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: davidsp@ukr.net

Приведено результати досліджень, пов'язані з вивченням екологічного ризику від техногенно-природного забруднення поверхневих вод на прикладі м. Кременчука та Кременчуцького району Полтавської області. Період вивчення охоплює 2008–2014 роки за наявними статистичними даними замірів концентрацій на станціях водопідготовки Власівського водозабору, міськводоканалу м. Кременчука. Розроблено блок-схему визначення величин екологічного ризику від забруднення хімічними речовинами різної природи та походження поверхневих природних вод. Запропоновано математичні підходи до визначення ступенів екологічного ризику з урахуванням фізико-хімічних характеристик забруднюючих речовин, ефекту розбавлення та змін у стані водних екосистем за нескінченно малий проміжок часу.

**Ключові слова:** екологічний ризик, поверхневі води, забруднюючі речовини, математичні моделі.

### СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД

**С. П. Давидчук**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: davidsp@ukr.net

Приведены результаты исследований по изучению экологического риска при техногенно-природном загрязнении поверхностных вод на примере г. Кременчуг и Кременчугского района Полтавской области. Период исследования охватывает 2008–2014 годы по имеющимся статистическим данным замеров концентраций на станциях водоподготовки Власовского водозабора, горводоканала г. Кременчуг. Разработана блок-схема определения величин экологического риска при загрязнении химическими веществами разной природы и происхождения поверхностных природных вод. Предложены математические подходы к определению степеней экологического риска с учетом физико-химических характеристик загрязняющих веществ, эффекта разбавления и изменений в состоянии водных экосистем за бесконечно малый промежуток времени.

**Ключевые слова:** экологический риск, поверхностные воды, загрязняющие вещества, математические модели.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Підвищення рівня екологічної безпеки техногенно навантажених територій є однією з важливіших задач екологічних досліджень, оскільки рівні хімічного забруднення всіх компонентів навколишнього середовища призвели до порушення рівноважного стану екологічних систем як природного, так і природно-антропогенного походження.

Хімічні речовини, що потрапляють у природні поверхневі та підземні водоносні горизонти, впливають на динаміку популяцій, на зміни кількісних показників захворюваності населення за певними нозологічними групами [1–3]. При цьому спостерігається погіршення показників стану компонентів навколишнього природного середовища, здоров'я внаслідок навіть однократної цілеспрямованої дії хімічних речовин. Повну оцінку впливу хімічного забруднення поверхневих природних вод можна здійснити із застосуванням методології оцінки екологічного ризику [4–7].

Актуальність використання останньої полягає в необхідності оцінки мінімізації рівня екологічного ризику при забезпеченні екологічної безпеки техногенно навантажених територій.

Мета роботи – розробка й обґрунтування теоретичних і практичних підходів до встановлення взаємозв'язків між рівнями хімічного забруднення природних поверхневих вод і станом компонентів навколишнього природного середовища задля створення прогностичних математичних моделей визначення ступенів екологічного ризику.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Представлена мета обумовлює задачі, необхідні для вирішення: здійснити аналіз динаміки хімічних речовин неорганічної та органічної природи у природних поверхневих водах; розробити математичний підхід до визначення ступенів шкідливого впливу хімічних речовин природно-техногенного походження; визначити за запропонованим підходом ступінь шкідливого впливу хімічних речовин органічної та неорганічної природи; встановити взаємозв'язки між величинами шкідливого впливу та екологічного ризику наявності хімічних речовин у поверхневих природних водах.

У даному випадку об'єктом дослідження виступає хімічне забруднення поверхневих природних вод, а предметом дослідження є екологічний ризик у системі «екологічна безпека → людина → техногенний об'єкт → природне середовище».

Робота здійснювалась в рамках наукового напрямку кафедри безпеки життєдіяльності «Дослідження екологічного ризику забруднення природних поверхневих і підземних вод», а також «Дослідження стану безпеки життєдіяльності техногенно навантажених територій».

У загальному випадку, коли йдеться про забруднення компонентів навколишнього природного середовища, можна вести мову про складну систему управління, яка складається зі значної кількості взаємно пов'язаних елементів. Екологічні системи неможливо конкретно описати математично, оскільки в них поєднано багато різноманітних чинників, що кількісно не визначаються.

Головною проблемою є багатомірність і багатокритеріальність екологічних систем.

В оцінюванні ризику можна виділити чотири основних напрямки: інженерний, модельний, експертний і соціальний [8].

*Інженерний напрямок* полягає у розрахунку ймовірностей аварій. Основні зусилля спрямовуються на збір статистичних даних про аварії та пов'язані з ними викиди токсичних речовин у навколишнє середовище.

*Модельний напрямок* – розробляються математичні моделі процесів, які призводять до небажаних наслідків для людини та довкілля при використанні шкідливих хімічних речовин і сполук

*Експертний напрямок.* При використанні перших двох підходів для оцінювання ризику часто недостатньо статистичних даних або не зовсім зрозумілі

деякі принципи залежності. У такому випадку єдиним джерелом інформації є експерти. Перед ними ставиться завдання ймовірного оцінювання наслідків подій, пов'язаних з аналізом ризику.

*Соціальний напрямок* має суб'єктивний характер, оскільки базується на індивідуальному сприйнятті наслідків події та не піддається обчисленню.

Слід зазначити, що вивчення будь-яких систем, особливо незамкнених екологічних систем, видозмінених під дією техногенного навантаження, є процесом складним і багатоетапним.

В основу вивчення техногенно забруднених природних вод як підсистеми навколишнього природного середовища покладена схема (рис. 1), яка і стала послідовністю для вирішення поставлених задач у даному дослідженні.

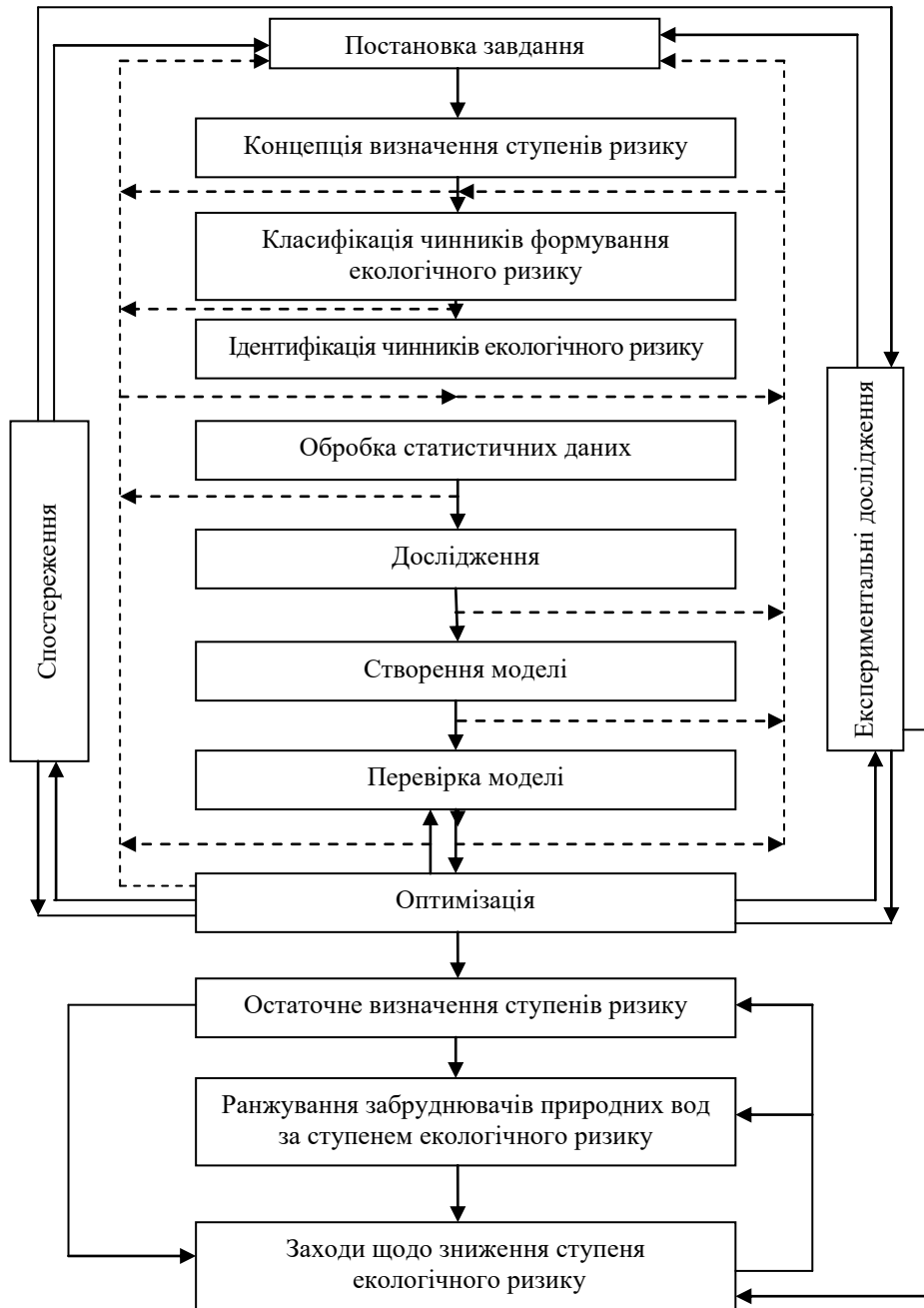


Рисунок 1 – Послідовність дослідження екологічного ризику та створення математичних моделей

Для побудови математичної моделі взаємозв'язків шкідливого впливу забруднюючих речовин на стан техногенно зміненої екологічної системи доцільно застосувати метод розв'язання нечітких систем лінійних алгебраїчних рівнянь [9], оскільки екологічні системи є динамічними, нерівноважними, характеризуються змінами параметрів стану за нескінченно малий проміжок часу. При цьому зазначені зміни зафіксувати дуже складно. У зв'язку з цим можна скласти матрицю векторів імовірності шкідливого впливу забруднюючих речовин поверхневих вод різної структури та природи:

$$\begin{pmatrix} P(i) = [P_1(i) \cdot P_2(i) \dots P_n(i)] \\ P(j) = [P_1(j) \cdot P_2(j) \dots P_n(j)] \\ \dots \\ P(n) = [P_1(n) \cdot P_2(n) \dots P_n(n)] \end{pmatrix} \quad (1)$$

Стан екосистеми до забруднення можна описати вектором імовірності початкового стану:

$$P(0) = [P_1(0) \cdot P_2(0) \dots P_n(0)]. \quad (2)$$

Якщо кожний шкідливий вплив може бути охарактеризованим як деяка випадкова подія  $p_{kj}$ , то залежно від кількості етапів переходу екосистеми від початкового стану до кінцевого, буде мати місце сумарний шкідливий вплив, тобто рівень екологічної небезпеки, який дорівнюватиме одиниці за рахунок самовідновлення екологічної системи:

$$PEHB = \sum_k^n p_k(j) = 1, \quad (3)$$

де  $PEHB$  – рівень екологічної небезпеки;  $p_k(j)$  – випадкова подія, або шкідливий вплив.

В усіх інших випадках  $PEHB \neq 1$ , буде знаходитись в інтервалі від 0 до 1.

На теперішній час загально прийнятим стандартизованим підходом для оцінки екологічного ризику стану компонентів навколишнього природного середовища є підхід за виразами (4), (5), причому математичний вираз (4) позиціонується як прогнозна оцінка екологічного ризику [10]. Але цей підхід містить оцінку стану лише на момент замірів концентрацій забруднюючих речовин і не дає змоги оцінити величини екологічного ризику на перспективу.

$$R_{kj} = A \cdot e^{B \cdot e^{D_{kj}}}, \quad (4)$$

$$D_{kj} = -e^{I_{kj}^{-1}}, \quad (5)$$

де  $R_{kj}$  – ризик  $k$ -го етапу за  $j$ -им компонентом навколишнього природного середовища;  $A, B$  – константи,  $4,99 \cdot 10^{-6}$  і  $-7,577$  відповідно;  $D_{kj}$  – величина, що визначається відповідно  $k$ -го етапу розрахунку ризику за  $j$ -им компонентом, яка розраховується як показник ризику впливу кожної специфічної забруднюючої речовини на відповідні компоненти навколишнього середовища. де  $I_{kj}$  – індекс забруднення за  $j$ -им компонентом навколишнього середовища для  $k$ -го етапу розрахунку ризику: на першому та другому етапах  $I_{kj}$  визначається як  $0,2 \cdot I3B$ , де  $I3B$  – індекс забруднення вод.

Оцінка якості питної води за виразом (6) містить також деякі неоднозначні моменти: усередненість значень доз, масу тіла організму, тривалість впливу, середня тривалість життя (приймається 70 років). Тут необхідно вносити поправки на вікові категорії, конституціональну будову організму, індивідуальну чутливість до того або іншого забруднювача [11]. Але цей підхід може бути запропонованим як прогнозний в оцінці екологічного ризику.

$$LADWE(ED) = \frac{CC}{LT} \int_{t_0}^{t_0+ED} k(t) \frac{WCR(t)}{BW(t)} dt, \quad (6)$$

де  $LADWE(ED)$  – щоденна експозиція при споживанні питної води, усереднена по масі тіла і тривалості життя;  $CC$  – концентрація агента в питній воді;  $WCR$  – добове споживання питної води;  $ED$  – тривалість впливу;  $BW$  – маса тіла;  $LT$  – середня тривалість життя;  $k$  – безрозмірний коефіцієнт, що визначає частку забрудненої води обсягом добового споживання,  $0 < k < 1$ ;  $t$  – час.

Моніторинг концентрацій забруднюючих речовин різноманітної структури та природи дозволив встановити експоненціально-логіфімічний характер їх змін у часі, що знайшло своє відображення у виразі:

$$P_i = \frac{\exp(-\Delta C_i \beta)}{t \lg C_i} \cdot \int_0^t dt, \quad (7)$$

$$Risk = \sum P_i \cdot 10^{-6},$$

де  $P_i$  – показник шкідливого впливу, з урахуванням  $10^{-6}$  – величина ризику;  $C_i$  – концентрація забруднюючої речовини, мг/л;  $\beta$  – частка забруднюючої речовини в загальній концентрації забруднювачів;  $t$  – час, через який починається шкідливий вплив забруднювача (період формування захворювання, порушення екологічної рівноваги тощо);  $t_i$  – час впливу забруднювача.

На базі цього рівняння було сформовано підхід до створення моделі забруднення природних вод з урахуванням чинників водного середовища та дифузії забруднюючих речовин [12]:

$$C_i(x, y) = \sum_{j=1}^k v_{i,j} \cdot f(x_j, y_j, h_j, T_j, d_j, v_j, u, \varphi, T, x, y), \quad (8)$$

де  $v_{i,j}$  – об'єм  $i$ -ї домішки, яка виділяється  $j$ -м джерелом за одиничний інтервал часу;  $x_j, y_j$  – координати джерела;  $h_j, T_j$  – глибина розташування джерела та температури скиду;  $d_j, v_j$  – потужність джерела та швидкість скиду;  $u, \varphi$  – швидкість та напрямок течії;  $T$  – температура природних вод.

$$f = v \frac{\partial c}{\partial x} + w \frac{\partial c}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial c}{\partial y} - \alpha c, \quad (9)$$

де  $C$  – середня концентрація;  $x$  та  $y$  – вісі, які знаходяться в горизонтальній площині розповсюдження течії;  $z$  – вісь, що знаходиться по вертикалі розповсюдження домішок;  $v$  і  $w$  – складові середньої швидкості переміщення домішки відповідно до напрямку вісей  $x$  і  $y$ ;  $k_z$  та  $k_y$  – вертикальні та горизон-

тальні складові коефіцієнту обміну між водними шарами;  $\alpha$  – коефіцієнт, який визначає зміни концентрації за рахунок перетворення домішки. Для органічної домішки  $w=0$ , а у випадку домішки, не здатної до перетворення,  $\alpha=0$ .

Розв'язання зазначених рівнянь дозволяє встановити окремі залежності для визначення максимальних і усереднених рівнів концентрацій, а й відповідно, ступенів екологічного ризику (табл. 1).

Таблиця 1 – Показники шкідливого впливу неорганічних забруднювачів природних вод

Рік	Залізо (Fe заг)	Мідь $Cu^{2+}$	Нафто-продукти $C_xY_zO_zN_kS_L$	Амоній $(NH_4^+)$	Нітрити $(NO_2^-)$	Нітрати $(NO_3^-)$	Фосфати $(PO_4^{3-})$
2010	1879	0,17	0,4	0,75	0,255	0,03	95,5
2011	749,7	0,012	0,17	0,2	0,102	0,012	35,64
2012	689	0,053	0,16	0,26	0,09	0,012	32,1
2013	374,8	0,036	0,08	0,13	0,051	0,006	16,39
2014	141,9	0,01	0,03	0,054	0,018	0,002	6,8

Отримані дані свідчать, що величини екологічного ризику перевищують нормативно встановлені інтервали  $10^{-8}$ – $10^{-6}$  для заліза загального та для фосфатів, оскільки ці два показники забруднення природних вод належать до техногенної природи – наявність залізних трубопроводів водопостачання та застосування СПАР у діяльності людини. Зменшення показників за 2013–2014 роки пов'язані зі зменшенням обсягів техногенної діяльності в Україні внаслідок економічної кризи. У зв'язку з цим необхідно враховувати у відповідних моделях ефекти розбавлення та надходження додаткової кількості забруднюючих речовин із ґрунтів, підземних водо-

носних горизонтів і зі скидними водами з очисних споруд.

$$Risk = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{V_i}{V_o} \cdot (t_i - t_j) - \frac{V_i}{V_o} \cdot t_j \right] \cdot (1 - v_{i,j}), \quad (10)$$

де  $n$  – кількість забруднювачів, що оцінюються ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ );  $t_i$  – час надходження забруднювача до водного об'єкту у точці скиду;  $t_j$  – час розбавлення;  $V_i$  – об'єм скидних вод за одиницю часу;  $V_j$  – об'єм скидних вод за одиниці часу, що піддався розбавленню;  $V_o$  – початковий об'єм скидних вод або об'єм природного водоносного горизонту;  $v_{i,j}$  – коефіцієнт, що характеризує ступінь переходу забруднюючих речовин зі скидних вод і тих, що піддалися розбавленню, до ґрунтів і підземних водоносних горизонтів.

Проведені дослідження показали, що найбільш доцільним є врахування величин екологічного ризику за нескінченно малий проміжок часу  $\tau$  із подальшим встановленням ступенів екологічного ризику для окремих речовин і комплексно:

$$Risk_i \{C_{ij}(t + \tau) = j | C_{ij}(t) = i\} = k_{ij} \cdot \tau + R_o(\tau), i \neq j, \quad (11)$$

$$Risk_i \{C_{ij}(t + \tau) = j | C_{ij}(t) = i\} = (1 - k_{ij} \cdot \tau) \cdot R_o(\tau), k_i = -\sum_{j=i} k_{ij} \quad (12)$$

На базі вищезазначеного розроблена блок-схема визначення ступенів екологічного ризику з метою моделювання стану природно-техногенних систем моделювання їх реакції на зміни зовнішнього впливу через відповідні канали зв'язку – канали інформації.

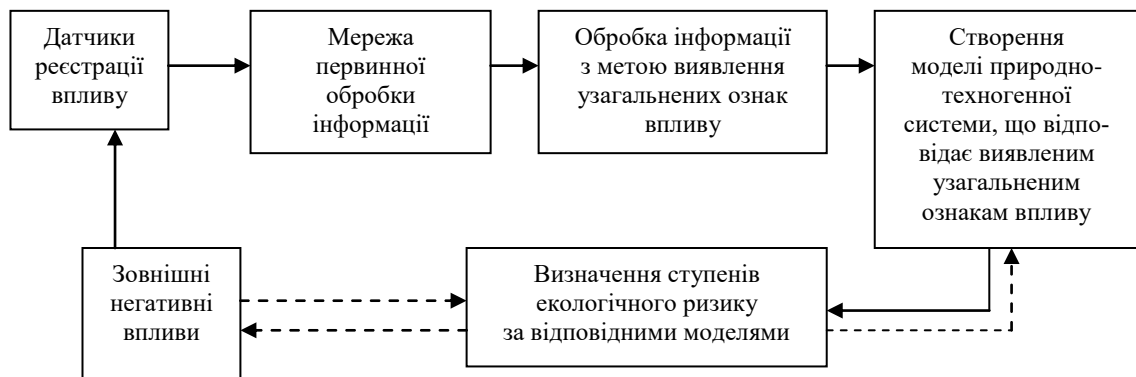


Рисунок 2 – Блок-схема визначення ступенів екологічного ризику: моделювання стану природно-техногенних систем – моделювання їх реакції на зміни зовнішнього впливу через відповідні канали зв'язку та канали інформації

Застосування пропонувані математичні вирази дає змогу розглядати дифузні (неоднорідні) процеси. Через величини ступенів екологічного ризику оцінювати імовірнісні стани динамічних природних систем під впливом негативних чинників навколишнього природного або техногенного середовища, визначати кількісні характеристики екологічного ризику різного генезису, виявляти реакції відгуку, встановлювати канали безпосередніх впливів, взаємозв'язки між впливами, взаємозалежності впливів:

явища потенціювання, сенсibilізації, сумачії, комбінованої дії негативних чинників навколишнього природного або техногенного середовища.

Отже, для будь-якого компонента навколишнього природного середовища створити реальну прогнозу математичну модель дуже складно, оскільки вона повинна поєднати в собі багато складових і потребує врахування специфічних параметрів змін стану природних вод: фізико-хімічних, термодинамічних, кінетичних тощо.

**ВИСНОВКИ.** Створено практичну систему оцінки екологічного ризику для встановлення взаємозв'язків між рівнями забруднення природних поверхневих вод і станом техногенно навантажених територій. Запропонована система контролю за рівнем забруднення поверхневих природних вод із метою розробки заходів щодо підвищення рівня екологічної безпеки техногенно навантажених територій.

Отримані результати можуть бути застосовані для оцінки будь-яких техногенно навантажених територій.

Таким чином, подальші дослідження повинні бути спрямовані на виявлення зазначених параметрів задля створення моделей оцінки ступеня екологічного ризику при змінах будь-яких специфічних характеристик екологічного стану природних вод в умовах інтенсивного хімічного забруднення.

Одним із найважливіших елементів оцінки ступенів екологічного ризику порушення рівноважного стану будь-якого компонента навколишнього середовища є визначення сукупності критеріїв ризику, тобто кінетичних, термодинамічних і фізико-хімічних характеристик забруднюючих речовин, що надходять до природних поверхневих вод.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Большаков А.М., Крутько В.Н., Пуцилло Е.М. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 256 с.
2. Кисельов А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. – С.-Пб.: Наука, 1997. – 100 с.
3. Общая токсикология / Под ред. Б.А. Курляндского, В.А. Филова. – М.: Медицина, 2002. – 608 с.
4. Звягинцева А.В., Аверин Г.В., Каргин А.А. Количественная оценка рисков в экологической безопасности. Част. 1. Методические принципы оценки рисков // Вісник Донецького університету. – 2006. – № 2, част. 2. – С. 296–304.
5. Давидчук С.П., Козловская Т.Ф. Загрязнение природных поверхностных вод органическими соединениями как фактор формирования экологического риска // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Вип. 2/2013 (79). – С. 139–144.
6. Демехин Г.А., Козловская Т.Ф. Влияние химического состава донных отложений на экологическое равновесие техногенно нагруженных водных экосистем // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України. – 2007. – Вип. 14. – С. 136–144.
7. Качинський А.Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. – К., 2003. – 472 с.
8. Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: навчальний посібник. – К.: Знання, 2007. – 367 с.
9. Абрамович Ф.П., Вагенкнехт М.А., Хургин Я.И. Решение нечетких систем линейных алгебраических уравнений LR-типа. – Рига: Труды Рижского политехнического института, 1987. – С. 35–47.
10. Лисиченко Г.В., Хміль Г.А., Барбашев С.В. Методологія оцінювання екологічних ризиків: монографія. – Одеса: «Астропринт», 2011. – 367 с.
11. Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
12. Давидчук С.П. Екологічний ризик забруднення природних вод як складова екологічної безпеки регіонального рівня // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції, 06–08 листопада 2015 року. – Кременчук: КрНУ, 2015. – С. 140–141.

#### CREATING A MODEL TO ASSESS THE ENVIRONMENTAL RISKS AT CONTAMINATION OF SURFACE NATURAL WATERS

**S. Davidchuk**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: davidsp@ukr.net

**Purpose.** Increasing the level of environmental safety of technogenic loaded area is one of the most important problems of environmental studies, because the levels of the chemical pollution of all environment components led to the violation of environmental equilibrium, both natural and natural-anthropogenic origin. A full assessment of the impact of chemical pollution of surface natural waters can be done using the methodology of the environmental risk assessment. Relevance of the use of the latter is the need to assess the minimization of environmental risks level, while ensuring the environmental safety of technogenic loaded areas. **Methodology.** In general, in the case of contamination of the environment components, we can talk about a complex control system, which consists of a large number of mutually connected elements. Construction of the mathematical model of interrelations between the harmful effects of pollutants on the state of technogenic modified ecological system with application of fuzzy method for solving linear equations, because ecological systems are dynamic, unbalanced, and characterized by changes in the parameters in the infinitely small period of time. **Results.** It is formed an approach to creating a model of natural waters pollution, taking into account the factors of water environment and the diffusion of pollutants, it is set the separate dependences for determining the maximum and the average concentration levels, and correspondingly, degrees of environmental risk and levels of environmental hazards. The effects of dilution and flow of additional quantities of pollutants from soil, groundwater aquifers and from the waste water from sewage treatment plants are taken into account. The flowchart of determining the degree of the environmental risks using the chain "modeling of natural and technogenic systems – modeling their exposure to changes in external influences through appropriate channels of communication and channels of infor-

mation" is developed. **Originality.** Application of the proposed mathematical expressions allows to consider diffuse (non-uniform) processes, through the value of levels of environmental risk to assess the probabilistic states of dynamic natural systems under the influence of negative factors of natural or technogenic environment, to identify the quantitative characteristics of environmental risk of different genesis, to detect the response reactions, to establish the channels of direct impacts, the relationship between the influences, the interdependencies of influences – phenomena of potentiation, sensitization and summation, combination of negative factors of natural or anthropogenic environment. **Practical value.** A practical system of environmental risk assessment for establishing of interrelations between the levels of contamination of surface water and the state of technogenic loaded areas is developed. The system of control over pollution level of natural surface waters for development of the measures to increase the level of environmental safety of technogenic loaded areas is proposed. The obtained results can be used to assess any of technogenic loaded areas. References 12, figures 2, tabl. 1.

**Key words:** ecological risk, superficial water, contaminants, mathematical models.

#### REFERENCES

1. Bolshakov, A.M., Krutko, V.N., Putsillo, E.M. (1999), *Otsenka i upravlenie riskami vliyaniya okruzhayushey sredy na zdorove naseleniya* [Risk assessment and management of environmental influences on health], Editorial, Moscow, Russia.
2. Kiselov, A.V., Fridman, K.B. (1997), *Otsenka riska zdorov'yu* [Health risk assessment], Nauka, S.-Pb., Russia.
3. Obschaya toksikologiya, (2002), [General toxicology, ed. B.A. Kurlyandskiy, V.A. Filov], Meditsina, Moscow, Russia.
4. Zvyagintseva, A.V., Averin, G.V., Kargin, A.A. (2006), "Quantitative risk assessment of environmental safety. Part. 1. Methodical principles of risk assessment", *Transaction of Donetsk university*, no. 2, part 2, pp. 296–304.
5. Davidchuk, S.P., Kozlovskaya, T.F. (2013), "Pollution of surface waters with organic compounds as a factor of environmental risk", *Transaction of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, iss. 2 (79), pp. 139–144.
6. Demehin, G.A., Kozlovskaya, T.F. (2007), "Influence of chemical composition of sediments on the ecological balance of aquatic ecosystems technogenic loaded", *Proceedings of Environmental Geochemistry Institute NAS of Ukraine*, iss. 14, pp. 136–144.
7. Kachinskiy, A.B., (2003), *Bezpeka, zagrozi i rizik: naukovi kontseptsii ta matematichni metodi* [Safety threats and risk, scientific concepts and mathematical methods], Kiev, Ukraine.
8. Gogitashvili, G.G., Karchevski, E.T., Lapin, V.M. (2007), *Upravlinnya ohoronoyu pratsi ta rizikom za mizhnarodnimi standartami: navchalniy posibnik* [Management of Occupational Health and the risk of international standards: a tutorial], Znannya, Kiev, Ukraine.
9. Abramovich, F.P., Vagenkneht, M.A., Hurgin, Ya.I. (1987), *Reshenie nechetkih sistem lineynykh algebraicheskikh uravneniy LR-tipa* [Solution of fuzzy systems linear algebraic equations-ray LR-type], Trudy Rzhskogo politehnicheskogo instituta, Riga, Latvian SSR.
10. Lisichenko, G.V., Hmil, G.A., Barbashev, S.V. (2011), *Metodologiya otsinyuvannya ekologichnih rizikiv: monografiya* [The methodology of evaluation of environmental risks: monograph], «Astroprint», Odesa, Ukraine.
11. Onischenko, G.G., Novikov, S.M., Rahmann, Yu.A. (2002), *Osnovni otsenki riska dlya zdorovya naseleniya pri vozdeystvii himicheskikh veschestv, zagryaznyayuschih okruzhayuschuyu sredu* [A framework for assessing health risk when exposed to chemicals, environmental pollutants], NII ECh i GOS, Moscow, Russia.
12. Davidchuk, S.P., (2015), "Environmental risk of contamination of natural waters as part of a regional environmental hazard", *Physical processes and fields of technical facilities and biological materials XIV International Scientific Conference*, 06–08 November 2015, pp. 140–141.

Стаття надійшла 29.10.2015.