

УДК 504.4.054:574.64

О. М. КРАЙНЮКОВ, канд. геогр. наук, доц.
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
пл. Свободи 6, м. Харків, 61077
alkraynukov@gmail.com

РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ РЕЗУЛЬТАТІВ БІОТЕСТУВАННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВОДИ

Досліджено залежність між результатами вимірювань складу стічних і поверхневих вод за фізико-хімічними і токсикологічними показниками. Встановлено відсутність статистично значущої лінійної залежності між результатами біотестування та вимірювань фізико-хімічного складу стічних вод хімічного і нафтохімічного виробництва та води водних об'єктів, проби з яких відібрані вище та нижче скиду стічних вод.

Для шахтних вод із накопичувача встановлено слабкий взаємозв'язок між результатами біотестування і їх фізико-хімічного складу, але відповідне регресійне рівняння виявилось статистично незначимим для води водних об'єктів, в які відводяться шахтні води встановлено середню міру взаємозв'язку між зазначеними вище показниками.

Ключові слова: регресійний аналіз, фізико-хімічний склад, коефіцієнт забрудненості, біотестування, рівні токсичності, стічні води, поверхневі води

Krainiukov A. N. REGRESSION ANALYSIS OF THE INTERRELATION OF BIOTESTING RESULTS AND MEASUREMENT PHYSICAL AND CHEMICAL COMPOSITION OF WATER

The article presents the dependence between results of composition waste and surface water according to physical, chemical and toxicological characteristics. It was found the lack of statistically significant linear dependence between the results of bioassay and measurement of physical and chemical composition of the wastewater chemical and petrochemical plants and water bodies of water, which were taken above and below wastewater discharges.

For mine water from the drive it was installed a weak correlation between bioassay results and their physical and chemical composition, but the corresponding regression equation proved statistically insignificant, for water of water bodies, which are discharged mine water, it was set the average measurement between the above indicators.

Keywords: regression analysis, physical and chemical composition, an index of contamination, bioassay, toxicity levels, waste water, surface water

Крайнюков О. М. РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ РЕЗУЛЬТАТОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ

Исследована зависимость между результатами измерений состава сточных и поверхностных вод по физико-химическим и токсикологическому показателям. Установлено отсутствие статистически значимой линейной зависимости между результатами биотестирования и измерения физико-химического состава сточных вод химического и нефтехимического производств и воды водных объектов, отобранной выше и ниже сброса сточных вод.

Для шахтных вод из накопителя установлена слабая мера взаимосвязи между результатами биотестирования и их физико-химического состава, но соответствующее регрессионное уравнение оказалось статистически незначимым; для воды водных объектов, в которые отводятся шахтные воды установлена средняя мера взаимосвязи между отмеченными выше показателями.

Ключевые слова: регрессионный анализ, физико-химический состав, коэффициент загрязненности, биотестирование, уровни токсичности, сточные воды, поверхностны воды

Вступ

Актуальність проблеми. Основним і найнебезпечнішим різновидом антропогенного навантаження на поверхневі води є їх забруднення хімічними речовинами, які здатні порушувати самоочисні і біопродуктивні процеси, призводити до глибоких змін у структурно-функціональній організації біотичної складової водних геоекосистем. При наявності таких речовин у водному середовищі вода набуває токсичних властивостей.

За теперішнього часу нормування надходження у водні об'єкти екологічно небезпечних хімічних речовин здійснюється шляхом зіставлення фактичних значень їх вмісту з встановленими величинами гранично допустимих концентрацій (ГДК). Із великої кількості хімічних речовин, які надходять у водні об'єкти (у Європейському реєстрі зареєстровано понад 100000 речовин) лише 30-40 речовин нормуються і контролюються.

Треба підкреслити, що навіть за наявності інформації щодо вмісту у воді окремих хімічних речовин, при такому підході до нормування не враховується їх сумісний вплив на біотичну складову водної геоекосистеми.

Інтегральну оцінку біологічної повноцінності води, як середовища мешкання біоти, з урахуванням різних проявів взаємодії хімічних речовин – адитивності, синергізму, антагонізму, можна отримати за допомогою методу біотестування, який набув поширення у природоохоронній практиці багатьох країн, коли суспільство усвідомило небезпеку для здоров'я людей через забруднення води токсичними речовинами.

Незважаючи на значний досвід використання біотестування у водоохоронній

практиці поряд з аналітичними методиками вимірювання компонентного складу різних категорій вод, залишається невирішеною важлива методологічна проблема з дослідження кореляційної залежності між результатами оцінки якості води за фізико-хімічними і токсикологічними показниками.

Стан проблеми. Аналіз літературних джерел свідчить про обмеженість наукових публікацій з проблеми, що розглядається. Найбільш суттєві результати представлено у роботі [1], де методом регресійного аналізу отримано математичну модель взаємозв'язку результатів біотестування і вмісту нафтопродуктів, важких металів та інших токсичних речовин у поверхневих водах і донних відкладах. Встановлено, що із 14 хімічних показників, які вимірювались у поверхневих водах, найбільш значущими по відношенню до результатів біотестування виявились показники вмісту цинку і хлоридів (коефіцієнт кореляції – 0,53). Залежність між результатами біотестування і фізико-хімічних аналізів донних відкладів виявилась статистично не значущою.

У ряді робіт закордонних авторів надано співставлення результатів визначення токсичності і вмісту хімічних речовин у поверхневих водах, які відбирали в районах видобування вуглеводної сировини [2], при обстеженні екологічного стану водних об'єктів Центральної Польщі [3], у пробах водних витяжок з ґрунтів і відходів [4]. У всіх зазначених роботах зроблено висновок про недостатність інформації для встановлення кореляційної залежності між результатами біотестування і фізико-хімічних аналізів проб, що досліджувались.

Співставлення результатів біотестування і вимірювання вмісту хімічних речо-

вин у пробах води, яка була відібрана із джерел питного водопостачання, визначило відсутність будь-якої залежності між результатами оцінки якості води за фізико-хімічними і токсикологічним показниками [5].

Співставлення результатів вимірювань компонентного складу поверхневих, підземних, питних і стічних вод та їх токсичними властивостями представлено у

Методика дослідження

Для оцінки якості води, до складу якої входить велика кількість інгредієнтів, застосовують узагальнені показники – індекси забруднення, які характеризують рівень забрудненості води інтегрально – одним числом. У роботі [7] пропонується розраховувати середнє значення нормованих показників фізико-хімічного складу води по відношенню до їх максимальних концентрацій. Інші автори пропонують використовувати суму перевищень ГДК речовин у порівнянні з їх фоновими значеннями [8].

Комплексний показник забрудненості поверхневих вод, в основу якого покладено нормування за гігієнічними критеріями, визначається з урахуванням суми кратностей перевищення нормативів ГДК речовин, що контролюються, відповідно до лімітуючих показників їх шкідливості [9]. Для оцінки стану поверхневих вод за екологічними критеріями використовується показник «ін-

Результати дослідження

Для встановлення зв'язку між рівнями забрудненості і токсичності води було використано результати вимірювання компонентного складу та визначення токсичності стічних вод підприємств різних галузей економіки, що розташовані на території Дніпропетровської і Луганської областей, та поверхневих водних об'єктів, в які здійснюються скиди стічних вод. У стічних та поверхневих водах вимірювали: мінералізацію, хлориди, сульфати, азот амонійний, азот нітритний, залізо загальне, нітрати, нітроти, фосфати, завислі речовини, ХСК, БСК₅, нафтопродукти, феноли, СПАР, метанол, мідь, цинк, нікель, свинець, алюміній, хром.

За результатами фізико-хімічних аналізів обчислювали коефіцієнт забрудненості води та оцінювали її якість за відповідною шкалою [11].

Токсичні властивості води визначали за допомогою методики біотестування з ви-

роботі [6]. Будь-яких висновків щодо взаємозв'язків між фізико-хімічними і токсикологічним показниками не встановлено.

Метою роботи є дослідження зв'язку між результатами вимірювання компонентного складу стічних і поверхневих вод та рівнем їх токсичності за допомогою методу регресійного аналізу.

декс забрудненості води», який ґрунтується на обчисленні середньорічних концентрацій окремих хімічних речовин, з яких обов'язковими є БСК₅ та вміст розчиненого у воді кисню [10].

Найбільш прийнятною для співставлення з рівнем токсичності води є методика розрахунку коефіцієнта забрудненості природних вод (K₃), який є узагальненим показником, що характеризує рівень забрудненості води сукупно з урахуванням кратностей перевищення нормативів ГДК окремих хімічних речовин [11]. Наприклад, значення K₃, що дорівнює 1.2, свідчить про перевищення ГДК речовин у 1.2 рази. Значення K₃ більше за одиницю означає порушення норм якості води. Якщо значення K₃ дорівнює одиниці, то в даній пробі води всі показники, що вимірювались, відповідають нормам якості води.

користанням в якості тест-об'єктів ракоподібних церіодафній. Рівні токсичності води оцінювали за шкалою згідно з [12].

У таблиці представлено класифікаційні шкали рівнів забрудненості і рівнів токсичності води.

На рисунках 1-3 наведено результати статистичної обробки отриманих даних за допомогою регресійного аналізу та їх візуалізації з використанням пакету STATISTICA. Статистичний аналіз отриманих регресійних рівнянь:

$$\text{tox} = 1.94 - 0.19 * K_3 \quad (1)$$

$$\text{i tox} = 1.21 + 0.23 * K_3 \quad (2)$$

для стічних вод хімічного виробництва та поверхневих вод, відібраних вище і нижче скиду стічних вод (рис.1) та

$$\text{tox} = 0.72 + 0.11 * K_3 \quad (3)$$

$$\text{i tox} = 1.31 + 0.07 * K_3 \quad (4)$$

Таблиця

Класифікаційні шкали рівнів забрудненості (K_3) і рівнів токсичності (РТ) води

Значення K_3	1	1.01-2.5	2.51-5.0	5.01-10.0	> 10.0
Рівень забрудненості води	незабруднена	слабо забруднена	помірно забруднена	брудна	дуже брудна
Значення РТ стічної води	1	1.1-3.0	3.1-5.0	5.1-10.0	> 10,0
Ступінь токсичності стічної води	нетоксична	слаботоксична	середньо токсична	високотоксична	надзвичайно токсична
Значення РТ поверхневої води	1	1.1-2.0	2.1-4.0	4.1-8.0	> 8,0
Ступінь забрудненості поверхневої води	чиста	слабо забруднена	помірно забруднена	брудна	дуже брудна

для стічних вод нафтохімічного виробництва та поверхневих вод, відібраних вище і нижче скиду стічних вод (рис.2) відповідно показав, що лінійний зв'язок між даними біотестування і результатами вимірювань фізико-хімічного складу у всіх випадках від-

усіх випадках достатньо низьке, тобто немає упевненості у високій загальній якості рівняння регресії. Це дозволяє стверджувати, що зміна залежної змінної «рівень токсичності» не пояснюється незалежною змінною « K_3 ».

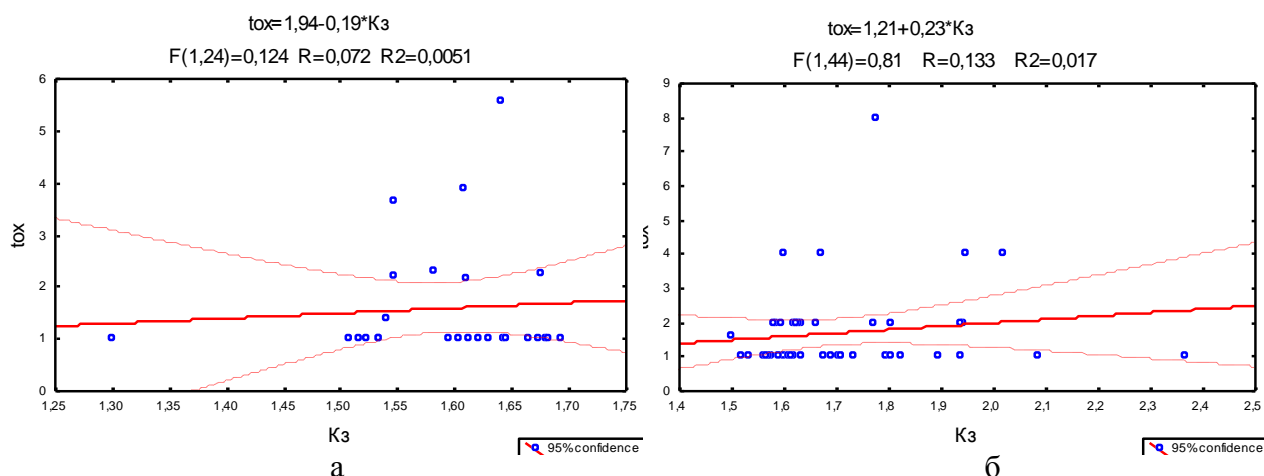


Рис. 1 – Залежність між рівнями токсичності та коефіцієнтом забрудненості води на прикладі стічних вод (а) хімічного виробництва та поверхневих вод (б), відібраних вище і нижче скиду стічних вод

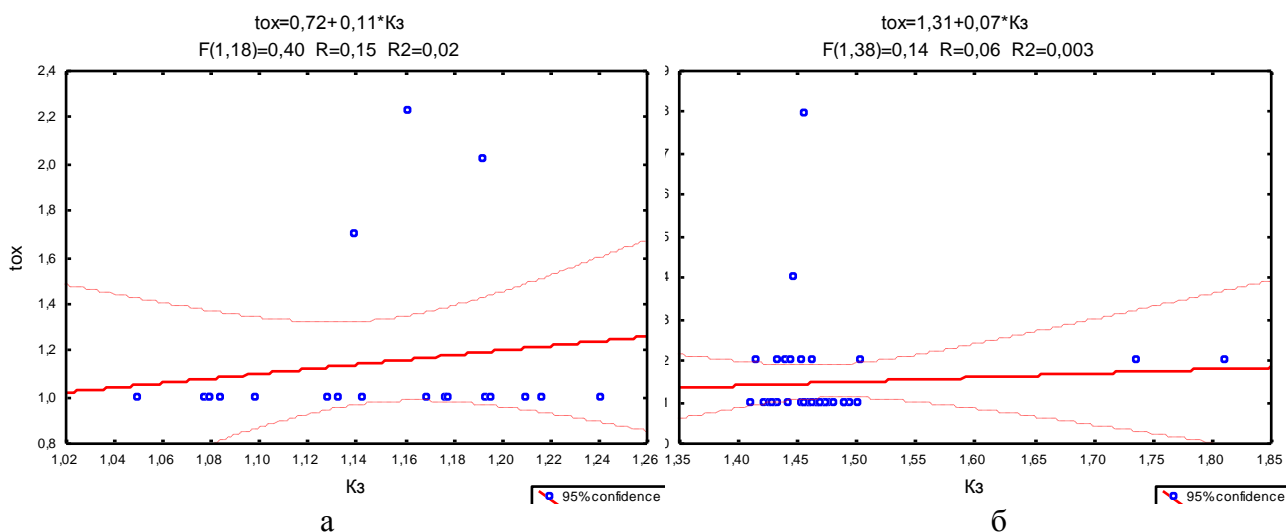


Рис. 2 – Залежність між рівнями токсичності та коефіцієнтом забрудненості води на прикладі стічних вод (а) нафтохімічного виробництва та поверхневих вод (б), відібраних вище і нижче скиду стічних вод

Статистична надійність регресійного рівняння в цілому оцінюється на основі F - критерію Фішера: перевіряється нульова гіпотеза про невідповідність представлених регресійним рівнянням зв'язків реально існуючим ($F_p > F_t$). Розраховані значення F - критерію Фішера $F(1.18)=0.4$, $F(1.38)=0.14$, $F(1.24)=0.124$, $F(1.44)=0.81$ для всіх моделей у порівнянні з його табличним значенням (3.21), визначеним для заданого рівню значущості ($\alpha = 0.05$) і числу ступенів свободи ($m=2$) також дозволяє стверджувати, що коефіцієнт детермінації статистично незначимий, і, отже, в рівнянні регресії не є присутньою значима пояснююча змінна для даних всіх випадків.

Значення коефіцієнта множинної кореляції між даними біотестування і результатами вимірювань фізико-хімічного складу шахтних вод лінійного регресійного рівняння (рис. 3а)

$$\text{tox} = 32.13 - 0.32 \cdot K_3 \quad (5)$$

дорівнює 0.23, що визначає слабкий взаємозв'язок між факторною і результативною ознаками. Значення коефіцієнта детермінації низьке ($R^2=0.049$), побудовані за таких умов регресійні моделі мають низьке практичне значення. Розраховане значення F - критерію Фішера $F(1.23) = 1.2$ для даної моделі у порівнянні з його табличним значенням (3.21), визначеним за рівнем значущості $\alpha = 0.05$ і числу ступенів свободи

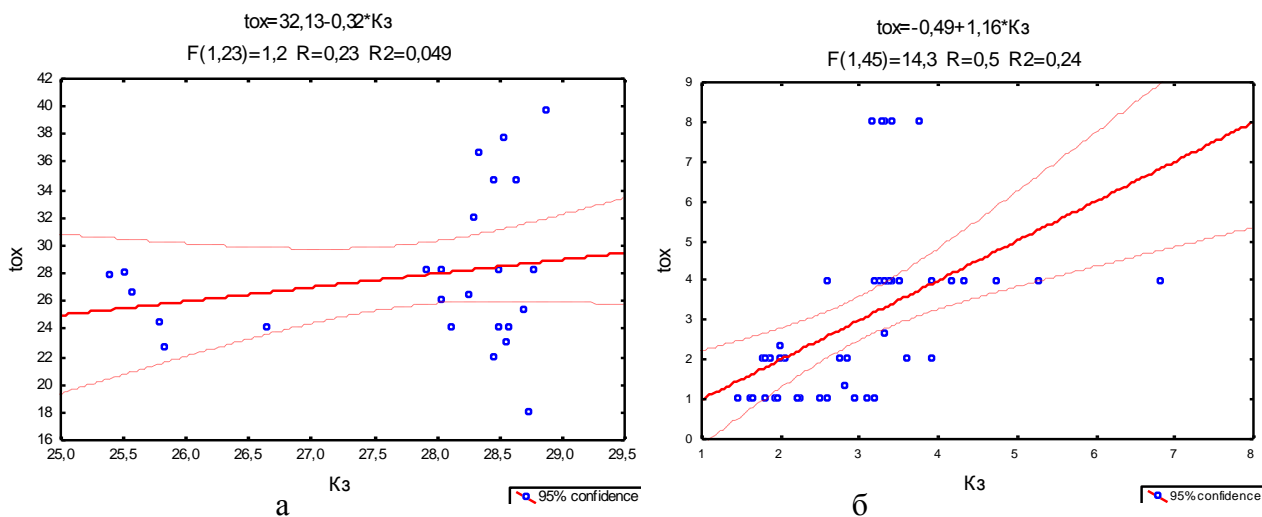


Рис. 3 – Залежність між рівнями токсичності та коефіцієнтом забрудненості води на прикладі накопичувача шахтних вод (а) та води водного об'єкта (б), в які вони відводяться

$m=2$ означає, що коефіцієнт детермінації статистично незначимий.

Таким чином, на основі результатів досліджень встановлено:

відсутність статистично значущої лінійної залежності між показниками для стічних вод хімічного і нафтохімічного виробництв та поверхневих вод вище і нижче скиду стічних вод;

Висновки

На основі дослідження залежності між результатами оцінки якості води за коефіцієнтом забрудненості та рівнем токсичності можна зробити такі основні висновки:

наявність токсичних властивостей води при дотриманні нормативів ГДК за фізи-

слабкий взаємозв'язок між результатами біотестування шахтних вод та результатами вимірювання показників фізико-хімічного складу, при цьому регресійна модель статистично незначима;

середню міру взаємозв'язку між результатами біотестування води водних об'єктів, в які відводяться шахтні води із накопичувача та результатами вимірювання показників фізико-хімічного складу.

ко-хімічними показниками ($K_3=1$) свідчить про те, що інгредієнтів, які вимірювались в процесі контролю якості води, недостатньо й існують неідентифіковані забруднюючі речовини, які зумовлюють токсичність води, або в процесі взаємодії хімічних речо-

вин утворюються токсичні сполуки (синергійний прояв хімічних реакцій);

наявність перевищення ГДК ($K_3 > 1$) при відсутності токсичних властивостей свідчить про те, що в процесі взаємодії хімічних речовин утворюються нетоксичні сполуки, тобто відбувається антагоністичний прояв хімічних реакцій;

відсутність явно вираженої регресійної залежності між рівнем забрудненості води за фізико-хімічними показниками та рівнем її токсичності свідчить про те, що зазначені показники є взаємодоповнюючими і жоден з них не є самодостатнім.

Література

1. Беднаржевский С. С. О корреляции информативных данных биотестирования и экоаналитического контроля окружающей среды в районах нефтедобычи / Беднаржевский С. С., Голубятников В. П., Захариков Е. С. и др. // Вестник Новосибирского гос. ун-та: научный журнал. Сер.: Математика. Механика. Информатика. – 2007. №1. Т.7 – С.3-9.
2. Biotesting of Water in Regions of Oil Extraction / S. S. Bednarzhevsky, E. S. Zakharikov, D. I. Kuznetsov [and others]. // Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal, 2009, Vol. 16, No. 3, P. - 337–339.
3. Kaza M. Toxicity Assessment of Water Samples from Rivers in Central Poland Using a Battery of Microbiotests – a Pilot Study/ M.Kaza, J. Mankiewicz-Boczek, K. Izydorczyk, J. Sawicki // Polish J. of Environ. Stud. Vol. 16, № 1, 2007, P. - 81-89
4. Põllumaa L. Biotest - and Chemistry-Based Hazard Assessment of Soils, Sediments and Solid Wastes./ L. Põllumaa, A.Kahru, L. Manusadzianas // JSS - J Soils & Sediments, Vol. 4 №4. 2004. - P. - 267-275.
5. Toshikazu F. Application of Simple Bioassay Using Cultured Human Cell Lines to the Assessment of Total Hazards in Lake Water/ F. Toshikazu, F. Tomohiro, S. Norio, H. Yasushi, S. Miki // Journal of Japan Society on Water Environment. -Volume 25, Issue 2, 2002. - P.119–124.
6. Espigares M., Roman I., Gonzalez Alonso J. M., B. de Luis, Yeste F., Galvez R. Proposal and application of an ecotoxicity biotest based on *Escherichia coli* // Journal of Applied Toxicology. - Volume 10, Issue 6, 1990. - P. 443–446.
7. Степанов А. М. Методология биоиндикации и фонового мониторинга экосистем суши / А. М. Степанов // Экотоксикология и охрана природы. М., 1988. – С. 28-108.
8. Кайданова О. В. Геохимические наблюдения / О. В. Кайданова. // Принципы и методы геосистемного мониторинга. М, 1989. – С. 58-63.
9. Оценка гигиенической эффективности природоохранных мероприятий: методические рекомендации. / Минздрав РСФСР. – М., 1989. - 11с.
10. Методические рекомендации по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. / Госкомгидромет. – М., 1998. – 8с.
11. Методика розрахунку коефіцієнта забрудненості природних вод // Організація та здійснення спостережень за забрудненням поверхневих вод (в системі Мінекоресурсів). Керівний нормативний документ 211.1.1.106 -2003. – К., 2003. – С. 25-30.
12. Методика визначення рівнів токсичності поверхневих і зворотних вод для контролю відповідності їх якості встановленим нормативним вимогам. – К.: Мінекобезпеки України, 2000. – 28с.

Надійшла до редколегії 14.02.2013