

АНТРОПОГЕННИЙ ВПЛИВ НА ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

УДК 504.4.054:574.64

А. В. ГРИЦЕНКО, д-р геогр. наук, проф.

*Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут
екологічних проблем», м. Харків*

О. М. КРАЙНЮКОВ, д-р геогр. наук, доц.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

майдан Свободи, 6, 61022, Харків, Україна

alkraynukov@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ РІВНЯМИ ТОКСИЧНОСТІ І КОМПОНЕНТНИМ СКЛАДОМ СТИЧНИХ ВОД

Для дослідження взаємозв'язку між рівнями токсичності і забрудненості води використано результати вимірювання компонентного складу та визначення токсичності стічних вод підприємств різних галузей економіки, що розташовані на території кількох областей України.

Показано, що у кожному із випадків набір значимих фізико-хімічних показників, які корелюють з даними біотестування, різний і залежить від компонентного складу стічних вод. Наведені результати ґрунтуються на використанні значної кількості експериментальних даних і мають важливе практичне значення для виявлення причин виникнення токсичних властивостей стічних вод з метою здійснення відповідних запобіжних природоохоронних заходів щодо їх усунення.

Ключові слова: моделювання, компонентний склад, біотестування, рівні токсичності, стічні води, поверхневі води

Grytsenko A. V., Krainiukov A. N. RESEARCH OF INTERCOMMUNICATION IS BETWEEN LEVEL OF TOXICITY AND COMPONENT STRUCTURE OF SEWAGE

For research of intercommunication between the levels of toxicness and muddiness of water were drawn on the results of measuring of component composition and determination of toxicness of sewages of enterprises of the different industries of economy, located on territory of a few areas of Ukraine.

It is shown that in each of cases the set of meaningful physical and chemical indexes which correlate with data of biotesting is different and depends on component composition of sewages. The brought results over are base on the use of far of experimental data and have an important practical value for the exposure of reasons of origin of toxic properties of sewages with the purpose of realization of corresponding nature protection measures on their removal.

Key words: modeling, composition, biological testing, the levels of toxicity, waste water, surface water

Гриценко А. В., Крайнюков А. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ УРОВНЯМИ ТОКСИЧНОСТИ И КОМПОНЕНТНЫМ СОСТАВОМ СТОЧНЫХ ВОД

Для исследования взаимосвязи между уровнями токсичности и загрязненности воды были использованы результаты измерения компонентного состава и определения токсичности сточных вод предприятий различных отраслей экономики, расположенных на территории нескольких областей Украины.

Показано, что в каждом из случаев набор значимых физико-химических показателей, которые коррелируют с данными биотестирования, различен и зависит от компонентного состава сточных вод. Приведенные результаты основываются на использовании значительного количества экспериментальных данных и имеют важное практическое значение для выявления причин возникновения токсических свойств сточных вод с целью осуществления соответствующих природоохранных мероприятий по их устранению.

Ключевые слова: моделирование, компонентный состав, биотестирование, уровни токсичности, сточные воды, поверхностные воды

Вступ

Постановка проблеми. Однією з важливих проблем у галузі охорони і раціона-

льного використання водних ресурсів є розробка ефективних методів оцінки антропогенного навантаження на гідросферу з ме-

тою забезпечення стійкого функціонування водних екосистем, тому що лише за умов підтримання стабільного біотичного кругообігу можуть активно протікати процеси самовідновлення і самоочищення води. Екосистема водного об'єкта не може розглядатися ізольовано поза зв'язку з площею водозбору. У зв'язку з цим, якість води суттєво залежить від складу і властивостей забруднень, які надходять до водних об'єктів.

Сучасний рівень антропогенного забруднення поверхневих вод обумовлює необхідність отримання даних про реакцію біотичної складової водних екосистем на вплив хімічних забруднень.

Одним із важливих завдань, вирішення якого необхідно для обґрунтування доцільності використання методу біотестування для нормування забруднення поверхневих вод екологічно небезпечними хімічними речовинами, є дослідження зв'язку між результатами оцінки якості води за фізико-хімічними і токсикологічними показниками.

Аналіз літературних джерел свідчить про обмеженість наукових публікацій з цієї проблеми, що обумовлено відсутністю одночасно отриманих даних за фізико-хімічними і токсикологічними показниками стану навколишнього середовища

Стан питання. У роботі [1] представлено результати хімічних аналізів визначення токсичності поверхневих вод, відібраних в районах видобування вуглеводневої сировини. Для оцінки їх токсичних властивостей використовували методики біотестування на *Paramecium caudatum* і *Chlorella vulgaris*. З причин недостатності інформації залежність між результатами аналізів за хімічними і токсикологічними показниками не було встановлено.

З метою отримання інформації з комплексної оцінки якості води (за фізико-хімічними і токсикологічними показниками) було здійснено обстеження стану річок Центральної Польщі [2]. При цьому для отримання екотоксикологічної інформації застосовували метод біотестування з використанням морських бактерій, що світяться. Однак, отримані результати виявились недостатніми для встановлення зв'язків між результатами біотестування та вимірювання компонентного складу води.

У роботі [3] представлено результати порівняльної оцінки фізико-хімічних пара-

метрів складу і властивостей твердих відходів – алюмінієво- та залізохлоридних шламів з їх токсичністю за показниками виживаності (гостра токсичність) і плодючості (хронічна токсичність) дафній. Результати фізико-хімічних аналізів шламів показали, що їх якість не відповідала нормативним вимогам за показниками вмісту завислих речовин, азоту, фосфору, алюмінію і заліза. При цьому не було встановлено прямих зв'язків між перевищенням нормативів вмісту окремих хімічних речовин і токсичністю шламів.

Для комплексної оцінки екологічної безпеки для здоров'я населення води, що була відібрана із декількох озер, використано біопробу на цитотоксичність (клітинні лінії людини). Експерименти проводили в різні сезони року. Встановлено, що найбільші значення цитотоксичності води отримано протягом літнього сезону з досягненням піку у серпні. Співставлення результатів біотестування і вимірювання вмісту хімічних речовин у пробах води показало відсутність будь-якої залежності між цими показниками, що не дозволило авторам отримати дані для комплексної оцінки екостану водних об'єктів [4].

У роботі [5] автори застосовували біотест з використанням кишкової палички (*Escherichia coli*) для визначення токсичності поверхневих, підземних, питних та стічних вод. Чутливість методу оцінювали шляхом співставлення з результатами вимірювання вмісту токсичних речовин у пробах води, однак зв'язків між токсичними властивостями води та її складом за фізико-хімічними показниками не було виявлено.

Мета роботи – дослідження взаємозв'язку між рівнями токсичності і забрудненості води було використано результати вимірювання компонентного складу та визначення токсичності стічних вод підприємств різних галузей економіки, що розташовані на території різних областей України, а також води водних об'єктів, в які скидаються стічні води. У стічних та поверхневих водах вимірювали компонентний склад за фізико-хімічними показниками, токсичні властивості води визначали за допомогою методики біотестування на ракоподібних церіодафніях.

Результати дослідження

Для моделювання результатів біотестування з даними аналітичних досліджень використано один із методів побудови рівняння регресії (моделювання) за умови множинної залежності – покроковий (stepwise) аналіз, який припускає послідовне виключення чинників з моделі, керуючись певними критеріями [6-8]. Множинний аналіз використано для моделювання результатів біотестування та вимірювання компонентного складу стічних вод низки підприємств: енергетичного ВП «Південно-Українська АЕС», хімічного ПрАТ «Севродонецьке об'єднання Азот», нафтопереробного ПрАТ «ЛИНІК» і гірничовидобувного ДП «Кривбасшахтозакриття» та отримано первинні моделі, в яких Y – рівні токсичності стічних вод, OT_r ; X_i – вміст хімічних речовин, $мл/дм^3$:

X_1 – сухий залишок; X_2 – сульфати; X_3 – хлориди; X_4 – азот амонійний; X_5 – нітриди; X_6 – нітрати; X_7 – завислі речовини; X_8 – ХСК; X_9 – фосфати; X_{10} – силікати; X_{11} – нафтопродукти; X_{12} – залізо загальне; X_{13} – мідь; X_{14} – кальцій; X_{15} – магній; X_{16} – СПАР; X_{17} – цинк; X_{18} – нікель; X_{19} – алюміній; X_{20} – хром⁶⁺; X_{21} – БСК₅; X_{22} – феноли; X_{23} – мінералізація.

Первинне регресійне рівняння, яке отримано із застосуванням покрокового аналізу для хімічного підприємства ВП «Південно-Українська АЕС», має наступний вигляд:

$$Y=0,521-0,18*X_1+0,088*X_2-0,15*X_3+0,244*X_4+0,116*X_5-0,07*X_6-0,115*X_7-0,17*X_8+0,481*X_9+0,260*X_{10}+0,175*X_{11}-0,370*X_{12}-0,40*X_{13}+0,994*X_{14}+0,177*X_{15}-0,21*X_{16}, \quad (1)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції між даними біотестування і результатами вимірювань фізико-хімічного складу дорівнює $R=0,94$. Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,92, тобто враховані в моделі факторні ознаки пояснюють результативні на 92%. Перевірка рівняння регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_t$ ($F_p = 3,37$; $F_t = 3,21$).

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії проводилась на основі t-критерію Стьюдента. Обчислені значення критерію

Стьюдента, порівнювали з критичними t , які визначають по таблиці Стьюдента з урахуванням прийнятого рівня значущості (p) і числа ступенів свободи $v = n - m$. Параметр визнається значимим за умови, якщо $t_{розр} > t_{табл}$. У такому разі практично неймовірно, що знайдені значення параметрів обумовлені тільки випадковими збігами.

Якщо в рівнянні усі коефіцієнти регресії значимі, то це рівняння визнають остаточною і застосовують в якості моделі показника, що досліджується, для подальшого аналізу.

Перевірка регресійного рівняння (1) на значущість коефіцієнтів регресії показала, що значення критерію Стьюдента дорівнює $t(6) = 2,7491$ при рівні значущості $p=0,0333$ і є значимим оскільки більше за відповідне табличне значення (2,44).

Результуюча модель з відбракованими незначимими чинниками (система розглядає чинники по порядку і видаляє чинник, виключення якого дасть мінімальне зниження коефіцієнта детермінації) має такий вигляд:

$$Y=0,903+0,979*X_{13}, \quad (2)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції для даної моделі дорівнює $R=0,98$. Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,96, тобто враховані в моделі факторні ознаки пояснюють результативні на 96%. Перевірка рівняння регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_t$ ($F_p = 518,77$; $F_t = 3,21$).

Перевірка регресійного рівняння (2) на значущість коефіцієнтів регресії показала, що значення критерію Стьюдента дорівнює $t(23) = 48,590$ при рівні значущості $p=0,01$ і є значимим оскільки більше за відповідне табличне значення (2,8).

Наступним етапом аналізу є побудова кореляційної матриці з метою підтвердження обгрунтованості відбору факторів для включення в рівняння: виявлення чинників, які можуть незначно впливати на результат, а також колінеарних факторів.

В таблиці 1 наведено кореляційну матрицю для даних енергетичного підприємства ВП «Південноукраїнська АЕС», де знаходяться парні коефіцієнти кореляції кожного з досліджуваних чинників, а також

Таблиця 1

Кореляційна матриця для даних енергетичного підприємства ВП «Південноукраїнська АЕС»

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	tox
X ₁	1,0000 p= ---	,9062 p= ,000	-,3424 p=,094	,8073 p= ,000	-,0846 p=,688	,0395 p=,851	,7131 p= ,000	-,4743 p= ,017	,2313 p=,266	-,8501 p= ,000	-,6468 p= ,000	,6326 p= ,001	,6865 p= ,000	-,3151 p=,125	,7505 p= ,000	,3926 p=,052	,1374 p=,503
X ₂	,9062 p= ,000	1,0000 p= ---	-,6307 p= ,001	,7916 p= ,000	-,1121 p=,594	,3252 p=,113	,6265 p= ,001	-,4505 p= ,024	,1141 p=,587	-,8233 p= ,000	-,6426 p= ,001	,7270 p= ,000	,5938 p= ,002	-,5101 p= ,009	,7903 p= ,000	,6758 p= ,000	,0586 p=,002
X ₃	-,3424 p=,094	-,6307 p= ,001	1,0000 p= ---	-,4450 p= ,026	,4480 p= ,025	-,6924 p= ,000	-,0920 p=,662	,2283 p=,272	,1721 p=,411	,3367 p=,100	,1000 p=,634	-,4561 p= ,022	-,1862 p=,373	,4919 p= ,013	-,4882 p= ,013	-,8646 p= ,000	-,1321 p=,529
X ₄	,8073 p= ,000	,7916 p= ,000	-,4450 p=,026	1,0000 p= ---	-,2006 p=,336	,2314 p=,266	,6939 p= ,000	-,1113 p=,596	,2315 p=,266	-,8123 p= ,000	-,6178 p= ,001	,4296 p= ,032	,7662 p= ,000	-,2040 p=,328	,5277 p= ,007	,5228 p= ,007	,17565 p=,000
X ₅	-,0846 p=,688	-,1121 p=,594	,4480 p=,025	-,2006 p=,336	1,0000 p= ---	-,2521 p=,224	,0986 p=,639	-,0840 p=,690	,0823 p=,696	-,0396 p=,851	-,1420 p=,498	,0998 p=,635	,0353 p=,867	,0311 p=,883	-,3065 p=,136	-,2420 p=,244	,0366 p=,862
X ₆	,0395 p=,851	,3252 p=,113	-,6924 p=,000	,2314 p=,266	-,2521 p=,224	1,0000 p= ---	,1860 p=,373	,3067 p=,136	,2760 p=,182	-,2613 p=,207	-,3273 p=,110	-,1003 p=,633	,1606 p=,443	-,0680 p=,747	-,0363 p=,863	,8697 p= ,000	,0937 p=,656
X ₇	,7131 p= ,000	,6265 p= ,001	-,0920 p=,662	,6939 p= ,000	,0986 p=,639	,1860 p=,373	1,0000 p= ---	,1583 p=,450	,7441 p= ,000	,8839 p= ,000	-,7716 p= ,000	,1628 p=,437	,7311 p= ,000	,1765 p=,399	,1863 p=,373	,2998 p=,145	,37574 p= ,000
X ₈	-,4743 p= ,017	-,4505 p= ,024	,2283 p=,272	-,1113 p=,596	-,0840 p=,690	,3067 p=,136	,1583 p=,450	1,0000 p= ---	,5588 p= ,004	,0798 p=,704	-,0298 p=,888	-,8117 p= ,000	-,0022 p=,992	,6756 p= ,000	-,7081 p= ,000	-,0704 p=,738	-,0013 p=,995
X ₉	,2313 p=,266	,1141 p=,587	,1721 p=,411	,2315 p=,266	,0823 p=,696	,2760 p=,182	,7441 p= ,000	,5588 p= ,004	1,0000 p= ---	-,4541 p= ,023	-,5717 p= ,003	-,3531 p=,083	,3592 p=,078	,6358 p= ,001	-,2956 p=,151	,0559 p=,791	,3436 p=,086
X ₁₀	-,8501 p= ,000	-,8233 p= ,000	,3367 p=,100	-,8123 p= ,000	-,0396 p=,851	-,2613 p=,207	,8839 p= ,000	,0798 p=,704	-,4541 p= ,023	1,0000 p= ---	,7365 p= ,000	-,3611 p=,076	-,7775 p= ,000	,1524 p=,467	-,4144 p= ,039	-,5185 p= ,008	-,27666 p= ,000
X ₁₁	-,6468 p= ,000	-,6426 p= ,001	,1000 p=,634	-,6178 p= ,001	-,1420 p=,498	-,3273 p=,110	-,7716 p= ,000	-,0298 p=,888	-,5717 p= ,003	,7365 p= ,000	1,0000 p= ---	-,2661 p=,199	-,6014 p= ,001	,1474 p=,482	-,2640 p=,202	-,4127 p= ,040	-,16127 p= ,001
X ₁₂	,6326 p= ,001	,7270 p= ,000	-,4561 p= ,022	,4296 p= ,032	,0998 p=,635	-,1003 p=,633	,1628 p=,437	-,8117 p= ,000	-,3531 p=,083	-,3611 p=,076	-,2661 p=,199	1,0000 p= ---	,2601 p=,209	-,7567 p= ,000	,7850 p= ,000	,3079 p=,134	,2578 p=,213
X ₁₃	,6865 p= ,000	,5938 p= ,002	-,1862 p=,373	,7662 p= ,000	,0353 p=,867	,1606 p=,443	,7311 p= ,000	-,0022 p=,992	,3592 p=,078	-,7775 p= ,000	-,6014 p= ,001	,2601 p=,209	1,0000 p= ---	-,0570 p=,787	,2724 p=,188	,3742 p=,065	,9785 p= ,000
X ₁₄	-,3151 p=,125	-,5101 p= ,009	,4919 p= ,013	-,2040 p=,328	,0311 p=,883	-,0680 p=,747	,1765 p=,399	,6756 p= ,000	,6358 p= ,001	,1524 p=,467	,1474 p=,482	-,7567 p= ,000	-,0570 p=,787	1,0000 p= ---	-,6265 p= ,001	-,3898 p=,054	-,0349 p=,869
X ₁₅	,7505 p= ,000	,7903 p= ,000	-,4882 p= ,013	,5277 p= ,007	-,3065 p=,136	-,0363 p=,863	,1863 p=,373	-,7081 p= ,000	-,2956 p=,151	-,4144 p= ,039	-,2640 p=,202	,7850 p= ,000	,2724 p=,188	-,6265 p= ,001	1,0000 p= ---	,3442 p=,092	,2883 p=,162
X ₁₆	,3926 p=,052	,6758 p= ,000	-,8646 p= ,000	,5228 p= ,007	-,2420 p=,244	,8697 p= ,000	,2998 p=,145	-,0704 p=,738	,0559 p=,791	-,5185 p= ,008	-,4127 p= ,040	,3079 p=,134	,3742 p=,065	-,3898 p=,054	,3442 p=,092	1,0000 p= ---	,2896 p=,160
tox	,1374 p=,503	,0586 p=,002	-,1321 p=,529	,17565 p=,000	,0366 p=,862	,0937 p=,656	,37574 p= ,000	-,0013 p=,995	,3436 p=,086	-,27666 p= ,000	-,16127 p= ,001	,2578 p=,213	,9785 p= ,000	-,0349 p=,869	,2883 p=,162	,2896 p=,160	1,0000 p= ---

коефіцієнти, що оцінюють міри тісноти зв'язку між чинниками. У матриці виділені кольором значення, де перетинаються елементи, зв'язок між якими значимий. У кожній клітині наведено два числа: верхнє – коефіцієнт кореляції, нижнє – рівень значущості.

Як видно з даних матриці, практично не впливають на ознаку-результат (tox) чинники: сухий залишок, хлориди, сульфати, азот амонійний, нітрити, нітрати, ХСК, фосфати, загальне залізо, кальцій, магній та СПАР.

Значення коефіцієнта парної кореляції між чинниками завислі речовини, силікати та нафтопродукти і результатом (tox) статистично значимо, проте, вказує на дуже слабкий зв'язок. Отже, немає необхідності включати ці три чинники в модель.

Переконаємося в правильності отриманих результатів, розглянувши кореляційну матрицю на предмет виявлення колінеарних чинників, тобто тих, між якими існує тісна лінійна залежність. Такими чинниками у даному випадку є завислі речовини та силікати, оскільки коефіцієнти парної кореляції між завислими речовинами та силікатами близькі до одиниці (0,88). Це означає, що ці чинники опосередковують вплив один одного, і в моделі досить залишити лише один з них. У рівняння включається той чинник, для якого коефіцієнт кореляції з результатом (tox) вищий (в даному випадку – завислі речовини).

Розраховане нове рівняння регресії з відібраними чинниками має наступний вигляд:

$$\text{tox} = 0,31 + 0,79 * X_7 - 0,17 * X_{13},$$

коефіцієнт множинної кореляції даного рівняння дорівнює 0,77; коефіцієнт детермінації – 0,60. Перевірка рівняння регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_T$ ($F_p = 16,71$; $F_T = 3,12$). Однак значення коефіцієнтів множинної кореляції і детермінації менші за їх значення, отримані для рівняння регресії $Y = 0,903 + 0,979 * X_{13}$, котре було розраховане при покроковому аналізі, тому воно більш адекватно моделює отримані результати біотестування з даними аналітичних досліджень для енергетичного підприємства ВП «Південно-Українська АЕС» і більш значимим показником, що корелює з результатами біотестування стічних вод є мідь.

Первинне регресійне рівняння, яке було отримано із застосуванням покрокового аналізу для хімічного підприємства ПрАТ «Северодонецьке об'єднання Азот», має наступний вигляд:

$$Y = 0,95 - 0,28 * X_1 + 0,063 * X_2 + 0,224 * X_3 + 0,06 * X_4 + 0,054 * X_5 + 0,16 * X_6 + 0,261 * X_8 - 0,13 * X_9 + 0,001 * X_{11} + 0,205 * X_{12} + 0,1 * X_{13} - 0,32 * X_{16} + 0,01 * X_{17} + 1,13 * X_{18} + 0,47 * X_{19} + 0,073 * X_{20}, \quad (3)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції між даними біотестування і результатами вимірювань фізико-хімічного складу дорівнює $R = 0,977$. Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,956, тобто враховані в моделі факторні ознаки пояснюють результативні на 96%. Перевірка рівняння регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_T$ ($F_p = 44,61$; $F_T = 3,12$).

Перевірка регресійного рівняння (3) на значущість коефіцієнтів регресії показала, що значення критерію Стьюдента дорівнює $t(8) = 1,90858$ при рівні значущості $p = 0,1248$ і є значимим оскільки більше за відповідне табличне значення (1,85).

Результуюча модель з відбракованими незначимими чинниками (система розглядає чинники по порядку і видаляє чинник, виключення якого дасть мінімальне зниження коефіцієнта детермінації) має такий вигляд:

$$Y = 0,902 - 0,1 * X_{12} + 0,086 * X_{16} + 1,01 * X_{20}, \quad (4)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції для даної моделі дорівнює $R = 0,985$. Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,97, тобто враховані в моделі факторні ознаки пояснюють результативні на 97%. Перевірка рівняння регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_T$ ($F_p = 105,11$; $F_T = 3,12$).

Перевірка регресійного рівняння (4) на значущість коефіцієнтів регресії показала, що значення критерію Стьюдента дорівнює $t(23) = 34,223$ при рівні значущості $p = 0,01$ і є значимим оскільки більше за відповідне табличне значення (2,8).

Наступним етапом аналізу є побудова кореляційної матриці з метою підтвердження обґрунтованості відбору факторів для включення в рівняння: виявлення чинників, які можуть незначно впливати на результат, а також колінеарних факторів.

В таблиці 2 наведено кореляційну матрицю для даних хімічного підприємства ПрАТ «Сверодонецьке об'єднання Азот», в якій знаходяться парні коефіцієнти кореляції кожного з досліджуваних чинників, а також коефіцієнти, що оцінюють міри тісноти зв'язку між чинниками.

Як видно з даних матриці, практично не впливають на ознаку-результат (tox) чинники: сухий залишок, хлориди, сульфати, азот амонійний, нітрити, нітрати, ХСК, БСК₅, фосфати, нафтопродукти, цинк, нікель, алюміній.

Значення коефіцієнта парної кореляції між чинником нафтопродукти і результатом (tox) статистично не значимо та має дуже слабкий зв'язок. Отже, немає необхідності включати цей чинник в модель.

Також у кореляційній матриці не виявлено колінеарних чинників, оскільки коефіцієнти парної кореляції між чинниками загальне залізо, СПАР та хром⁶⁺ не мають сильного зв'язку ($R < 0,7$).

Отже, результуюча модель $Y = 0,902 - 0,1 * X_{12} + 0,086 * X_{16} + 1,01 * X_{20}$, (4) з відбракованими незначимими чинниками після додаткового аналізу за допомогою кореляційної матриці з метою підтвердження обґрунтованості відбору факторів для включення в рівняння не змінила свій вигляд, а більш значимими показниками, що корелюють з результатами біотестування стічних вод є загальне залізо, СПАР та хром⁶⁺.

Первинне регресійне рівняння, яке було отримано із застосуванням покровоного аналізу для нафтопереробного підприємства ПрАТ «ЛИНІК», має наступний вигляд:

$$Y = -1,073 - 0,8 * X_1 - 0,04 * X_2 + 0,709 * X_3 + 0,15 * X_4 - 0,19 * X_5 + 0,273 * X_6 + 1,84 * X_7 + 0,213 * X_8 + 0,037 * X_9 + 0,093 * X_{11} + 0,179 * X_{16} - 0,22 * X_{19} - 0,35 * X_{21} + 0,615 * X_{22}, \quad (5)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції між даними біотестування і результатами вимірювань фізико-хімічного складу дорівнює $R = 0,89$. Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,801, тобто враховані в моделі факторні ознаки пояснюють результативні на 80%. Перевірка рівняння регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_t$ ($F_p = 9,68$; $F_t = 3,12$).

Перевірка регресійного рівняння на значущість коефіцієнтів регресії показала, що значення критерію Стюдента дорівнює $t(11) = -0,6753$ при рівні значущості $p = 0,5134$ і є незначимим оскільки більше за

відповідне табличне значення (1,79). Зважаючи на такий результат, оцінку значущості коефіцієнтів регресії за допомогою t-критерію слід провести для визначення істотних чинників в процесі багатокрокового регресійного аналізу.

Результуюча модель з відбракованими незначимими чинниками (система розглядає чинники по порядку і видаляє чинник, виключення якого дасть мінімальне зниження коефіцієнта детермінації) має такий вигляд:

$$Y = 0,95 - 0,38 * X_1 + 0,317 * X_3 + 0,823 * X_{22}, \quad (6)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції для даної моделі дорівнює $R = 0,93$. Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,91, тобто враховані в моделі факторні ознаки пояснюють результативні на 91%. Перевірка рівняння регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_t$ ($F_p = 67,16$; $F_t = 3,12$).

Перевірка регресійного рівняння (6) на значущість коефіцієнтів регресії показала, що значення критерію Стюдента дорівнює $t(24) = 16,796$ при рівні значущості $p = 0,01$ і є значимим оскільки більше за відповідне табличне значення (2,79).

Наступним етапом аналізу побудовано кореляційну матрицю для обґрунтованості відбору факторів для включення в рівняння: виявлення чинників, які можуть незначно впливати на результат, а також колінеарних факторів.

В таблиці 3 наведено кореляційну матрицю для даних нафтопереробного підприємства ПрАТ «ЛИНІК», де надано парні коефіцієнти кореляції кожного з досліджуваних чинників, а також коефіцієнти, що оцінюють міри тісноти зв'язку між чинниками. У матриці виділені кольором значення в тих клітинах, де перетинаються елементи, зв'язок між якими значимий. У кожній клітині наведено два числа: верхнє – коефіцієнт кореляції, нижнє – рівень значущості.

Як видно з даних матриці, практично не впливають на ознаку-результат (tox) чинники: сульфати, азот амонійний, нітрити, нітрати, ХСК, БСК₅, СПАР, фосфати, нафтопродукти, алюміній, завислі речовини.

У кореляційній матриці не виявлено колінеарних чинників, оскільки коефіцієнти парної кореляції між чинниками хлориди і феноли не мають сильного зв'язку ($R < 0,7$).

Отже, результуюча модель є

$$Y = 0,95 - 0,38 * X_1 + 0,317 * X_3 + 0,823 * X_{22},$$

Таблиця 2

Кореляційна матриця для даних хімічного підприємства ПрАТ «Сєвєродонецьке об'єднання Азот»

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₉	X ₁₂	X ₈	X ₁₃	X ₁₁	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	tox
X ₁	1,0000 p= ---	,5949 p= ,002	,7273 p= ,000	-,3152 p=,125	,4789 p= ,015	-,1520 p=,468	,2618 p=,206	,5456 p= ,005	,2717 p=,189	-,4713 p= ,017	-,1756 p=,401	,3836 p=,058	,7676 p= ,00	,0449 p=,83	-,1754 p=,402	,3049 p=,138	,2548 p=,21
X ₂	,5949 p= ,002	1,0000 p= ---	,1593 p=,447	-,7261 p= ,000	,3639 p=,074	,4360 p= ,029	,1200 p=,568	,2035 p=,329	-,2162 p=,299	-,3007 p=,144	-,3283 p=,109	,0529 p=,802	,573 p= ,01	-,225 p=,27	-,0200 p=,924	,0435 p=,836	,0618 p=,76
X ₃	,7273 p= ,000	,1593 p=,447	1,0000 p= ---	,1043 p=,620	,3591 p=,078	-,0778 p=,712	,3160 p=,124	,4724 p= ,017	,2424 p=,243	-,2428 p=,242	,1332 p=,526	,3408 p=,096	,4327 p= ,03	,2736 p=,18	-,3226 p=,116	,3770 p=,063	,3292 p=,10
X ₄	-,3152 p=,125	-,7261 p= ,000	,1043 p=,620	1,0000 p= ---	-,2460 p=,236	-,3258 p=,112	,0817 p=,698	-,0209 p=,921	,2890 p=,161	,2377 p=,253	,3586 p=,078	,0516 p=,807	-,140 p=,50	,1702 p=,41	-,1994 p=,339	,0730 p=,729	,0875 p=,67
X ₅	,4789 p= ,015	,3639 p=,074	,3591 p=,078	-,2460 p=,236	1,0000 p= ---	,1290 p=,539	,4362 p= ,029	-,1335 p=,525	-,2276 p=,274	-,1515 p=,470	-,2290 p=,271	-,1430 p=,495	,5565 p= ,01	,0751 p=,72	,2060 p=,323	-,1999 p=,338	-,1658 p=,42
X ₆	-,1520 p=,468	,4360 p= ,029	-,0778 p=,712	-,3258 p=,112	,1290 p=,539	1,0000 p= ---	,1457 p=,487	-,2331 p=,262	-,7263 p= ,000	,2088 p=,317	,0392 p=,852	-,1945 p=,352	-,123 p=,55	-,113 p=,59	,2633 p=,204	-,1056 p=,616	-,1034 p=,62
X ₉	,2618 p=,206	,1200 p=,568	,3160 p=,124	,0817 p=,698	,4362 p= ,029	,1457 p=,487	1,0000 p= ---	,1460 p=,486	-,1170 p=,578	-,2001 p=,337	-,2207 p=,289	-,3334 p=,103	,2415 p=,24	,2568 p=,21	-,2441 p=,240	-,0345 p=,870	-,0434 p=,83
X ₁₂	,5456 p= ,005	,2035 p=,329	,4724 p= ,017	-,0209 p=,921	-,1335 p=,525	-,2331 p=,262	,1460 p=,486	1,0000 p= ---	,4339 p=,030	-,3679 p=,070	-,1948 p=,351	,4253 p= ,034	,3737 p=,06	,0272 p=,89	-,4403 p= ,028	,5468 p= ,000	,7006 p= ,00
X ₈	,2717 p=,189	-,2162 p=,299	,2424 p=,243	,2890 p=,161	-,2276 p=,274	-,7263 p= ,000	-,1170 p=,578	,4339 p= ,030	1,0000 p= ---	-,0360 p=,864	-,0623 p=,768	,5577 p= ,004	,1595 p=,44	,0231 p=,91	-,3823 p=,059	,2402 p=,247	,2622 p=,20
X ₁₃	-,4713 p= ,017	-,3007 p=,144	-,2428 p=,242	,2377 p=,253	-,1515 p=,470	,2088 p=,317	-,2001 p=,337	-,3679 p=,070	-,0360 p=,864	1,0000 p= ---	,1796 p=,390	,1589 p=,448	-,270 p=,19	,0810 p=,70	,1869 p=,371	-,2416 p=,245	-,2276 p=,27
X ₁₁	-,1756 p=,401	-,3283 p=,109	,1332 p=,526	,3586 p=,078	-,2290 p=,271	,0392 p=,852	-,2207 p=,289	-,1948 p=,351	-,0623 p=,768	,1796 p=,390	1,0000 p= ---	,3599 p=,077	-,333 p=,10	,2599 p=,21	,0355 p=,866	,2581 p=,213	,2208 p= ,28
X ₁₆	,3836 p=,058	,0529 p=,802	,3408 p=,096	,0516 p=,807	-,1430 p=,495	-,1945 p=,352	-,3334 p=,103	,4253 p= ,034	,5577 p= ,004	,1589 p=,448	,3599 p=,077	1,0000 p= ---	,1553 p=,45	-,042 p=,84	,0085 p=,968	,5197 p= ,008	,4672 p= ,01
X ₁₇	,7676 p= ,000	,5713 p= ,003	,4327 p= ,031	-,1409 p=,502	,5565 p= ,004	-,1238 p=,555	,2415 p=,245	,3737 p=,066	,1595 p=,446	-,2702 p=,191	-,3339 p=,103	,1553 p=,459	1,000 p= ---	-,115 p=,58	-,2284 p=,272	,0956 p=,649	,1068 p=,61
X ₁₈	,0449 p=,831	-,2255 p=,278	,2736 p=,186	,1702 p=,416	,0751 p=,721	-,1133 p=,590	,2568 p=,215	,0272 p=,897	,0231 p=,913	,0810 p=,700	,2599 p=,210	-,0412 p=,845	-,115 p=,58	1,000 p= ---	-,3718 p=,067	,0045 p=,983	-,0402 p=,84
X ₁₉	-,1754 p=,402	-,0200 p=,924	-,3226 p=,116	-,1994 p=,339	,2060 p=,323	,2633 p=,204	-,2441 p=,240	-,4403 p= ,028	-,3823 p=,059	,1869 p=,371	,0355 p=,866	,0085 p=,968	-,228 p=,27	-,37 p=,06	1,0000 p= ---	-,26 p=,192	-,28 p=,16
X ₂₀	,3049 p=,138	,0435 p=,836	,3770 p=,063	,0730 p=,729	-,1999 p=,338	-,1056 p=,616	-,0345 p=,870	,5468 p= ,000	,2402 p=,247	-,2416 p=,245	,2581 p=,213	,5197 p= ,008	,0956 p=,64	,0045 p=,98	-,2696 p=,192	1,0000 p= ---	,9779 p= ,00
tox	,2548 p=,219	,0618 p=,769	,3292 p=,108	,0875 p=,678	-,1658 p=,428	-,1034 p=,623	-,0434 p=,837	,7006 p= ,000	,2622 p=,205	-,2276 p=,274	,2208 p= ,289	,4672 p= ,019	,1068 p=,61	-,040 p=,84	-,2897 p=,160	,9779 p= ,000	1,0000 p= ---

Таблиця 3

Кореляційна матриця для даних нафтопереробного підприємства ПрАТ «ЛІНІК»

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₁	X ₁₆	X ₁₉	X ₂₁	X ₂₂	tox
X ₁	1,0000 p= ---	,0490 p=,812	,0585 p=,777	-,1363 p=,507	-,0448 p=,828	,1232 p=,549	-,1410 p=,492	-,0213 p=,918	,0669 p=,745	,0630 p=,760	,3817 p=,054	,1072 p=,602	-,0548 p=,790	,3444 p=,085	,7042 p=,000
X ₂	,0490 p=,812	1,0000 p= ---	,7376 p=,000	,4698 p=,015	-,0612 p=,767	,5526 p=,003	,6299 p=,001	,1595 p=,436	,2600 p=,200	-,1353 p=,510	,2707 p=,181	,2173 p=,286	,4303 p=,028	,4226 p=,031	,0365 p=,860
X ₃	,0585 p=,777	,7376 p=,000	1,0000 p= ---	,3356 p=,094	,0952 p=,644	,5076 p=,008	,3805 p=,055	,1765 p=,388	,1342 p=,513	-,0313 p=,880	,0153 p=,941	,3695 p=,063	,2060 p=,313	,4436 p=,023	,7565 p=,000
X ₄	-,1363 p=,507	,4698 p=,015	,3356 p=,094	1,0000 p= ---	,1244 p=,545	,4580 p=,019	,3065 p=,128	,0285 p=,890	,1140 p=,579	-,2372 p=,243	,1441 p=,482	,0295 p=,886	,6238 p=,001	,1812 p=,376	,0116 p=,955
X ₅	-,0448 p=,828	-,0612 p=,767	,0952 p=,644	,1244 p=,545	1,0000 p= ---	-,1153 p=,575	-,0984 p=,633	-,2255 p=,268	,2711 p=,180	-,1052 p=,609	-,2899 p=,151	,2290 p=,260	,3094 p=,124	-,0389 p=,850	,3779 p=,057
X ₆	,1232 p=,549	,5526 p=,003	,5076 p=,008	,4580 p=,019	-,1153 p=,575	1,0000 p= ---	,3971 p=,045	,2214 p=,277	-,0908 p=,659	-,4834 p=,012	,1915 p=,349	,0639 p=,756	,4103 p=,037	,3618 p=,069	,0531 p=,797
X ₇	-,1410 p=,492	,6299 p=,001	,3805 p=,055	,3065 p=,128	-,0984 p=,633	,3971 p=,045	1,0000 p= ---	,4560 p=,019	,2778 p=,169	,1061 p=,606	,1511 p=,461	,2242 p=,271	,5119 p=,008	,1836 p=,369	,1679 p=,412
X ₈	-,0213 p=,918	,1595 p=,436	,1765 p=,388	,0285 p=,890	-,2255 p=,268	,2214 p=,277	,4560 p=,019	1,0000 p= ---	,1433 p=,485	,5308 p=,005	,1793 p=,381	-,2054 p=,314	,0790 p=,701	,2652 p=,190	-,2015 p=,324
X ₉	,0669 p=,745	,2600 p=,200	,1342 p=,513	,1140 p=,579	,2711 p=,180	-,0908 p=,659	,2778 p=,169	,1433 p=,485	1,0000 p= ---	,2835 p=,161	,0720 p=,727	,0934 p=,650	,1125 p=,584	,1240 p=,546	,1683 p=,411
X ₁₁	,0630 p=,760	-,1353 p=,510	-,0313 p=,880	-,2372 p=,243	-,1052 p=,609	-,4834 p=,012	,1061 p=,606	,5308 p=,005	,2835 p=,161	1,0000 p= ---	,0587 p=,776	-,1653 p=,420	-,2429 p=,232	-,0974 p=,636	-,1671 p=,415
X ₁₆	,3817 p=,054	,2707 p=,181	,0153 p=,941	,1441 p=,482	-,2899 p=,151	,1915 p=,349	,1511 p=,461	,1793 p=,381	,0720 p=,727	,0587 p=,776	1,0000 p= ---	-,2070 p=,310	,0343 p=,868	,3284 p=,101	-,2378 p=,242
X ₁₉	,1072 p=,602	,2173 p=,286	,3695 p=,063	,0295 p=,886	,2290 p=,260	,0639 p=,756	,2242 p=,271	-,2054 p=,314	,0934 p=,650	-,1653 p=,420	-,2070 p=,310	1,0000 p= ---	,2125 p=,297	,0284 p=,891	-,0511 p=,804
X ₂₁	-,0548 p=,790	,4303 p=,028	,2060 p=,313	,6238 p=,001	,3094 p=,124	,4103 p=,037	,5119 p=,008	,0790 p=,701	,1125 p=,584	-,2429 p=,232	,0343 p=,868	,2125 p=,297	1,0000 p= ---	,1730 p=,398	,2234 p=,273
X ₂₂	,3444 p=,085	,4226 p=,031	,4436 p=,023	,1812 p=,376	-,0389 p=,850	,3618 p=,069	,1836 p=,369	,2652 p=,190	,1240 p=,546	-,0974 p=,636	,3284 p=,101	,0284 p=,891	,1730 p=,398	1,0000 p= ---	,8583 p=,000
tox	,7042 p=,000	,0365 p=,860	,7565 p=,000	,0116 p=,955	,3779 p=,057	,0531 p=,797	,1679 p=,412	-,2015 p=,324	,1683 p=,411	-,1671 p=,415	-,2378 p=,242	-,0511 p=,804	,2234 p=,273	,8583 p=,000	1,0000 p= ---

з відбракованими незначними чинниками після додаткового аналізу за допомогою кореляційної матриці з метою підтвердження обґрунтованості відбору факторів для включення в рівняння не змінила свій вигляд, а більш значимими показниками, що корелюють з результатами біотестування стічних вод є сухий залишок, хлориди та феноли.

Первинне регресійне рівняння, яке було отримано із застосуванням покрокового аналізу для гірничо-видобувного підприємства ДП «Кривбасшахтозакриття», має наступний вигляд:

$$Y=0,28-0,11*X_2+0,15*X_3-0,11*X_4+0,104*X_5+0,01*X_6-0,05*X_7-0,08*X_9+0,464*X_{11}-0,05*X_{12}-0,14*X_{21}-0,60*X_{22}+0,246*X_{23}, \quad (7)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції між даними біотестування і результатами вимірювань фізико-хімічного складу дорівнює $R=0,87$. Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює $0,82$, тобто враховані в моделі факторні ознаки пояснюють результативні на 82% . Перевірка рівняння регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_t$ ($F_p = 3,37$; $F_t = 3,21$).

Перевірка регресійного рівняння на значущість коефіцієнтів регресії показала, що значення критерію Стьюдента дорівнює $t(12)=11,13$ при рівні значущості $p=0,01$ і є значимим оскільки більше за відповідне табличне значення ($1,78$).

Результуюча модель з відбракованими незначними чинниками (система розглядає чинники по порядку і видаляє чинник, виключення якого дасть мінімальне зниження коефіцієнта детермінації) має такий вигляд:

$$Y=9,648 +0,398*X_{11}-0,43*X_{22}+0,151*X_{23}, \quad (8)$$

Значення коефіцієнта множинної кореляції для даної моделі дорівнює $R=0,91$. Коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює $0,92$, тобто враховані в моделі факторні ознаки пояснюють результативні на 92% . Перевірка рівняння регресії на значущість за крите-

рієм Фішера довела, що рівняння можна вважати адекватним і значимим, оскільки $F_p > F_t$ ($F_p = 71,23$; $F_t = 3,12$).

Перевірка регресійного рівняння (8) на значущість коефіцієнтів регресії показала, що значення критерію Стьюдента дорівнює $t(24)=19,71$ при рівні значущості $p=0,01$ і є значимим оскільки більше за відповідне табличне значення ($2,79$).

Наступним етапом аналізу була побудова кореляційної матриці з метою підтвердження обґрунтованості відбору факторів для включення в рівняння: виявлення чинників, які можуть незначно впливати на результат, а також колінеарних факторів.

В таблиці 4 наведено кореляційну матрицю для даних гірничо-видобувного підприємства ДП «Кривбасшахтозакриття», в якій знаходяться парні коефіцієнти кореляції кожного з досліджуваних чинників, а також коефіцієнти, що оцінюють міри тисноти зв'язку між чинниками. У матриці виділені кольором значення в тих клітинах, де перетинаються елементи, зв'язок між якими значимий. У кожній клітині наведено два числа: верхнє – коефіцієнт кореляції, нижнє – рівень значущості.

Як видно з даних матриці, практично не впливають на ознаку-результат (tox) чинники: хлориди, сульфати, азот амонійний, нітрити, нітрати, БСК₅, фосфати, завислі речовини.

У кореляційній матриці не виявлено колінеарних чинників, оскільки коефіцієнти парної кореляції між чинниками не мають сильного зв'язку ($R<0,7$).

Результуюча модель є

$$Y=9,648+0,398*X_{11}-0,43*X_{22}+0,151*X_{23},$$

з відбракованими незначними чинниками після додаткового аналізу за допомогою кореляційної матриці з метою підтвердження обґрунтованості відбору факторів для включення в рівняння не змінила свій вигляд, а більш значимими показниками, що корелюють з результатами біотестування стічних вод є нафтопродукти, мінералізація та феноли.

Висновки

Найбільш значимими показниками, що корелюють з результатами біотестування стічних вод, є такі: для енергетичного підприємства – мідь; хімічного – залізо за-

гальне, СПАР, хром⁶⁺; нафтохімічного – сухий залишок, хлориди, феноли; гірничо-видобувного – мінералізація, нафтопродукти, феноли.

Таблиця 4

Кореляційна матриця для даних гірничо-видобувного підприємства ДП «Кривбасшахтозакриття»

	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₉	X ₁₁	X ₁₂	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	tox
X ₂	1,0000 p= ---	,2532 p=,222	,5267 p=,007	,0877 p=,677	-,1683 p=,421	-,0501 p=,812	,4709 p=,018	,2683 p=,195	-,0993 p=,637	,2901 p=,160	,1642 p=,433	-,0046 p=,983	,1961 p=,348
X ₃	,2532 p=,222	1,0000 p= ---	,5507 p=,004	,4964 p=,012	-,1401 p=,504	-,4747 p=,016	,2632 p=,204	-,0327 p=,877	,1284 p=,541	-,0216 p=,918	,0220 p=,917	-,1474 p=,482	,0217 p=,918
X ₄	,5267 p=,007	,5507 p=,004	1,0000 p= ---	,4005 p=,047	-,1111 p=,597	-,1801 p=,389	,2664 p=,198	,0264 p=,900	,0215 p=,919	,1066 p=,612	,0412 p=,845	-,2699 p=,192	,0542 p=,797
X ₅	,0877 p=,677	,4964 p=,012	,4005 p=,047	1,0000 p= ---	,1363 p=,516	-,2312 p=,266	,5017 p=,011	,0301 p=,886	,5955 p=,002	,1736 p=,406	-,5268 p=,007	-,0074 p=,972	,2209 p=,289
X ₆	-,1683 p=,421	-,1401 p=,504	-,1111 p=,597	,1363 p=,516	1,0000 p= ---	-,3459 p=,090	,0818 p=,697	,1615 p=,440	,2363 p=,255	,3210 p=,118	,0055 p=,979	,2059 p=,323	,1213 p=,564
X ₇	-,0501 p=,812	-,4747 p=,016	-,1801 p=,389	-,2312 p=,266	-,3459 p=,090	1,0000 p= ---	-,3146 p=,126	-,3737 p=,066	,1934 p=,354	-,3763 p=,064	-,1639 p=,434	,4320 p=,031	-,1461 p=,486
X ₉	,4709 p=,018	,2632 p=,204	,2664 p=,198	,5017 p=,011	,0818 p=,697	-,3146 p=,126	1,0000 p= ---	,3518 p=,085	,2206 p=,289	,5769 p=,003	-,0788 p=,708	-,1248 p=,552	,2668 p=,197
X ₁₁	,2683 p=,195	-,0327 p=,877	,0264 p=,900	,0301 p=,886	,1615 p=,440	-,3737 p=,066	,3518 p=,085	1,0000 p= ---	-,1297 p=,537	,6559 p=,000	-,0717 p=,733	-,3137 p=,127	,8734 p=,016
X ₁₂	-,0993 p=,637	,1284 p=,541	,0215 p=,919	,5955 p=,002	,2363 p=,255	,1934 p=,354	,2206 p=,289	-,1297 p=,537	1,0000 p= ---	-,0393 p=,852	-,5117 p=,009	,2927 p=,156	,0719 p=,733
X ₂₁	,2901 p=,160	-,0216 p=,918	,1066 p=,612	,1736 p=,406	,3210 p=,118	-,3763 p=,064	,5769 p=,003	,6559 p=,000	-,0393 p=,852	1,0000 p= ---	,1547 p=,460	-,2086 p=,317	,3754 p=,064
X ₂₂	,1642 p=,433	,0220 p=,917	,0412 p=,845	-,5268 p=,007	,0055 p=,979	-,1639 p=,434	-,0788 p=,708	-,0717 p=,733	-,5117 p=,009	,1547 p=,460	1,0000 p= ---	-,1365 p=,515	-,9419 p=,094
X ₂₃	-,0046 p=,983	-,1474 p=,482	-,2699 p=,192	-,0074 p=,972	,2059 p=,323	,4320 p=,031	-,1248 p=,552	-,3137 p=,127	,2927 p=,156	-,2086 p=,317	-,1365 p=,515	1,0000 p= ---	-,9419 p=,094
tox	,1961 p=,348	,0217 p=,918	,0542 p=,797	,2209 p=,289	,1213 p=,564	-,1461 p=,486	,2668 p=,197	,8734 p=,016	,0719 p=,733	,3754 p=,064	-,9419 p=,094	-,8516 p=,006	1,0000 p= ---

Значення коефіцієнта множинної кореляції (R) знаходилось у межах $0,7 < R < 1$, що свідчить про сильний прямий зв'язок між даними біотестування і результатами вимірювань фізико-хімічного складу стічних вод, також слід зазначити, що у результативних рівняннях його значення у всіх випадках є вищим. Перевірка рівнянь регресії на значущість за критерієм Фішера довела, що їх можна вважати адекватними і значимими, оскільки у всіх випадках ($F_p > F_t$). Оцінка значущості коефіцієнтів регресії на основі t -критерію Стьюдента показала, що у всіх випадках коефіцієнти регресії значимі і рівняння визнаються остаточними, окрім його значення у первинному регресійному

рівнянні для нафтопереробного підприємства ПрАТ «ЛІНІК».

Отже, за результатами моделювання зв'язку між даними біотестування і вимірювання фізико-хімічних показників стічних вод показано, що у кожному із випадків набір значимих фізико-хімічних показників, які корелюють з даними біотестування, різний і залежить від компонентного складу стічних вод. Наведені результати ґрунтуються на використанні значної кількості експериментальних даних і мають важливе практичне значення для виявлення причин виникнення токсичних властивостей стічних вод.

Література

1. Экологическая оценка методом биотестирования качества водных объектов в регионах добычи нефти/[Кузнецов Д. И., Мамедов Р.М. и др.]/ Сибирский экологический журнал. – 2009. - № 3. - С. 337-339.
2. Toxicity Assessment of Water Samples from Rivers in Central Poland Using a Battery of Microbiotests – a Pilot Study/[Kaza M., Mankiewicz-Boczek J., Izydorczyk K., Sawicki J.] // Polish J. of Environ. Stud. - Vol. 16. - № 1. - 2007. - P. - 81-89.
3. Pollumaa L. Biotest - and Chemistry-Based Hazard Assessment of Soils, Sediments and Solid Wastes/ L. Pollumaa, A. Kahru, L. Manusadzianas // JSS - J Soils & Sediments, Vol. 4 №4. 2004. - P. - 267-275.
4. Application of Simple Bioassay Using Cultured Human Cell Lines to the Assessment of Total Hazards in Lake Water/[Toshikazu F., Tomohiro F., Norio S., Yasushi H., Miki S.] // Journal of Japan Society on Water Environment. -2002. - Volume 25. - Issue 2. - P.119–124.
5. Proposal and application of an ecotoxicity biotest based on *Escherichia coli*/ [Espigares M., Roman I., Gonzalez Alonso J. M., Yeste F. et all.] // Journal of Applied Toxicology. -1990. - Volume 10. - Issue 6. - P. 443–446.
6. Bulgakov N. G., Dubinina V. G., Levich A. P., Teriochin A. T. A Method of Searching for Correlation Between Hydrobiological Indices and Abiotic Factors (Using Commercial Fish Catches and Productivity as Examples) // Biology Bulletin of the Russian Academy of Science. 1995. V. 22. № 2. P. 184–190.
7. Беднаржевский С. С., Голубятников В. П., Захариков Е. С. и др. О корреляции информационных данных биотестирования и экоаналитического контроля окружающей среды в районах нефтедобычи / Беднаржевский С. С., Голубятников В. П., Захариков Е. С. и др.// Весник Новосибирского гос. ун-та: научный журнал. Сер.: Математика. Механика. Информатика. – 2007. №1. Т.7 – С.3-9.
8. Крайнюков О.М. Регресійний аналіз залежності між результатами вимірювань компонентного складу і визначення рівнів токсичності води / О.М. Крайнюков // Вісник ХНУ. Сер.: Екологія. - №1004. – X. : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2013. – С.68-73.

Надійшла до редколегії 12.06.2015