

УДК 504.61 (477.8)

Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова, О. М. Мандрик

### ТЕРИТОРІАЛЬНИЙ НОРМАТИВ ЯКОСТІ ГІДРОЕКОСИСТЕМ ЗАПОВІДНИХ ТЕРИТОРІЙ

Наведено результати статистичної обробки даних фонового моніторингу гідрохімічних показників якості води у р. Прут в межах Карпатського національного природного парку. Встановлено залежність показників якості води від висоти місцевості та відстані від витoku річки. Запропоновано використовувати отримані статистичні формули для нормування рівня антропогенного навантаження на основну течію р. Прут, а також його приток у межах верхньої частини басейну.

**Ключові слова:** фоновий моніторинг, гідросистема, гідрохімічний показник, статистична закономірність.

Важлива роль при організації і проведенні екологічного моніторингу належить заповідним об'єктам, на території яких здійснюється «фоновий моніторинг». Цей різновид екологічного моніторингу є базовою основою щодо оцінювання динаміки змін природних компонентів в умовах техногенезу [1].

Метою досліджень було вивчення та встановлення загальних і часткових закономірностей просторово-часового розвитку гідрохімічних показників якості поверхневих вод заповідних територій.

Об'єктом досліджень є водна екосистема р. Прут в межах території Карпатського національного природного парку (КНПП). Завдання дослідження — визначення екологічної норми гідрохімічних показників якості природних вод у межах КНПП з подальшим моделюванням гідроекологічної системи р. Прут.

**Матеріал та методика досліджень.** Методи досліджень — аналітичний, з накопиченням матеріалів екологічної інформації щодо гідроекосистем, та їхнє статистичне та математичне оброблення з використанням прикладних пакетів програм Microsoft Excel. В статті використані дані багаторічних спостережень (2001—2014 рр.) за станом водного середовища Карпатського національного природного парку.

В межах КНПП спостереження за станом екосистеми р. Прут проводяться з 2001 р. у восьми створах: вище і нижче спортивної бази «Заросляк» біля

© Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова, О. М. Мандрик, 2016

г. Говерли на відстані 2,0—3,425 км від витоку р. Прут на висоті 1300—1124 м н. р. м (пункт спостереження 1, 2); вище і нижче санаторія «Гірське повітря» у м. Ворохта на відстані 26,425—27,785 км від витоку на висоті 744—736 м н. р. м (пункт спостереження 3, 4); вище і нижче санаторія МВС у с. Татарів на відстані 36,045—37,878 км від витоку на висоті 680—616 м н. р. м (пункт спостереження 5, 6); і у м. Яремча вище і нижче міських очисних споруд Виробничого управління водного комунального господарства (ВУВКГ) на відстані 57,067—60,671 км від витоку (пункт спостереження 7, 8) на висоті 480—460 м н. р. м. (рис. 1).

За результатами фонового моніторингу якості поверхневих вод гідросистему р. Прут в межах КНПП було віднесено до класу «чиста» або «досить чиста», «добра» або «дуже добра». Враховуючи те, що скидання в межах КНПП комунально-побутових стічних вод в переважній більшості випадків (99 %) не призводить до перевищень нормативів якості, нами запропоновано визначити екологічні норми компонентів якості природних вод та змоделювати їхні просторові зміни в межах досліджуваної території.

### *Результати досліджень та їх обговорення*

Для визначення і вивчення закономірностей просторово-часового розвитку гідрохімічних показників якості поверхневих вод нами використано статистичну модель, яка базується на математичній обробці масиву статистичних даних за результатами гідрохімічних аналізів поверхневих вод (проби відбираються з 2001 р. чотири рази на рік в різні сезони у восьми створах з визначенням 21 компоненту) лабораторією аналітичного контролю КНПП. Формалізована знакова модель дає кількісний, а тому надійніший прогноз [2].

Існуючу базу даних гідрохімічного фонового моніторингу КНПП оброблено за методикою визначення середнього геометричного:

$$F(x) = \ln x \quad (1)$$

Загальне поняття середнього наступне: середньою величиною є будь-яка функція  $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , така, що за всіх можливих значень аргументів значення цієї функції не менше, ніж мінімальне з чисел  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , і не більше, ніж максимальне з цих чисел. Середнє геометричне відображає середнє арифметичне від логарифмів початкових чисел, при цьому сильно знижується вплив на середню різких крайніх відхилень, що часто спостерігається у варіаційних рядах моніторингових спостережень за якістю природних вод. За А. М. Колмогоровим, в шкалі відношень зі всіх середніх стійкими відносно порівняння є тільки ступеневі середні та середнє геометричне [3].

Таким чином, для кожного пункту спостережень, з урахуванням всіх дат відбору проб, одержали середні геометричні значення щодо кожного з таких груп компонентів:

1. Розташування пунктів спостереження за якістю поверхневих вод на території Карпатського національного природного парку (1—8, опис у тексті).

— загальні і сумарні гідрохімічні показники: мінералізація, загальна жорсткість, водневий показник (рН), розчинений кисень, окислюваність перманганатна і біхроматна (ХСК), біохімічне споживання кисню (БСК<sub>5</sub>);

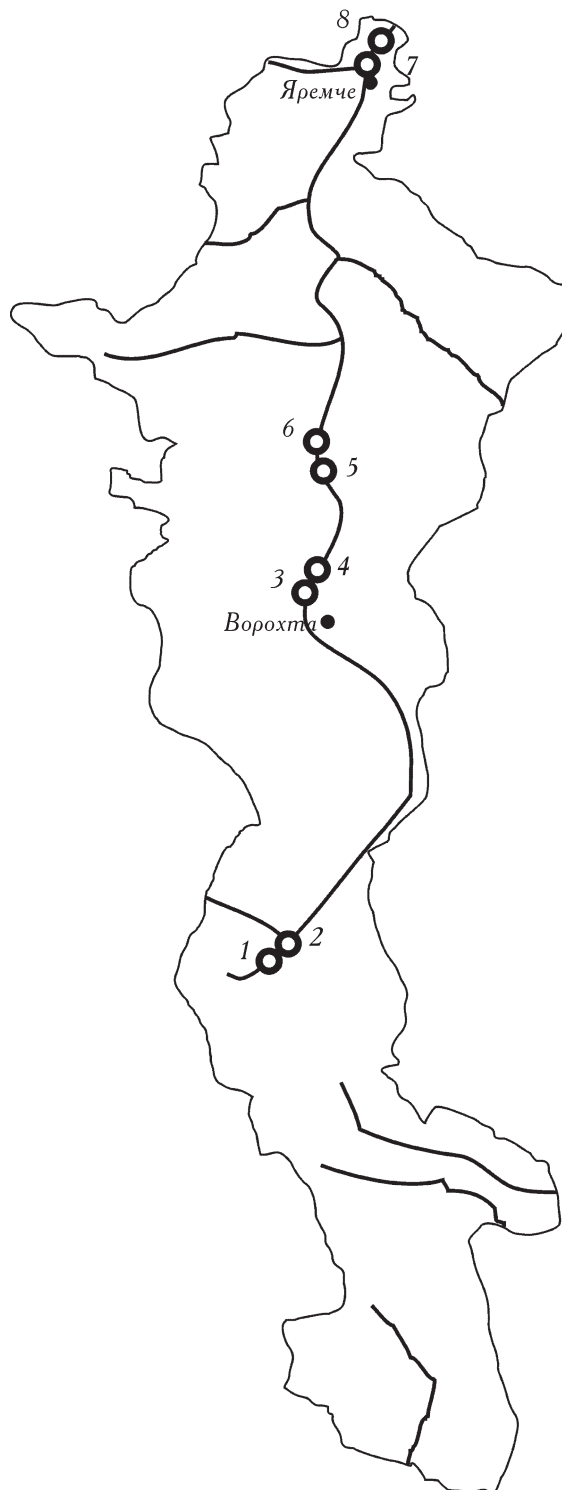
— концентрації неорганічних речовин: азот нітритний, нітратний, амонійний, фосфор загальний, фосфати мінеральні, сульфати, хлориди, кальцій, магній, цинк, залізо, мідь, хром, кадмій, кобальт, марганець;

— концентрації органічних речовин: нафтопродукти, феноли, пестициди, формальдегід, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР);

— гідрофізичні і органолептичні показники: температура води в придонному шарі, органолептичні спостереження (запах, каламутність, кольоровість, прозорість).

Для середньо багаторічних значень показників якості провели аналіз їхнього зв'язку з висотою місцевості та за довжиною ріки (за даними географічної прив'язки створів спостережень).

Лініями тренду доповнено ряди даних, представлені



**1. Норматив якості природних вод р. Прут ( $C_i$ , мг/дм<sup>3</sup>) залежно від абсолютної висоти місцевості ( $H_i$ , м) в межах Карпатського національного природного парку**

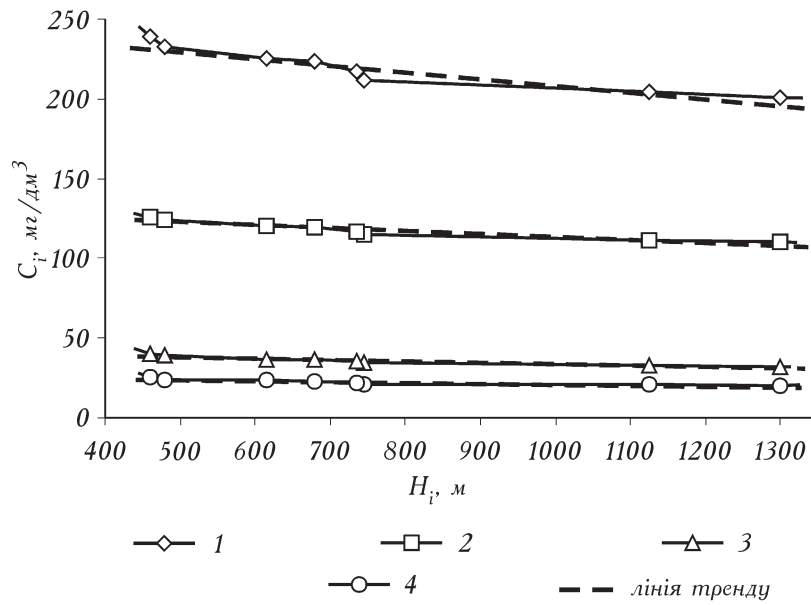
Гідрохімічні показники	Формули модельної лінії тренду	Коефіцієнт парної кореляції, $R^2$
Кольоровість, град.	$C_i = -0,0025H_i + 11,07$	0,8621
pH	$C_i = -0,0003H_i + 7,94$	0,9417
Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>	$C_i = -0,0003H_i + 2,26$	0,8750
Розчинений кисень, мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = -0,0007H_i + 9,45$	0,8237
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = -0,0005H_i + 2,43$	0,8705
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = -0,017H_i + 131,17$	0,8873
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = -0,0056H_i + 26,64$	0,8339
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = -0,0015H_i + 4,95$	0,8555
Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = -0,0087H_i + 42,64$	0,8795
Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = -0,0423H_i + 251,90$	0,8806

на лінійчатих діаграмах. Використання лінії тренду (лінійна, поліноміальна, експоненціальна) визначається типом даних та достовірністю коефіцієнта апроксимації. До модельних кривих не включено тренди, за якими отриманий коефіцієнт апроксимації менший 0,8.

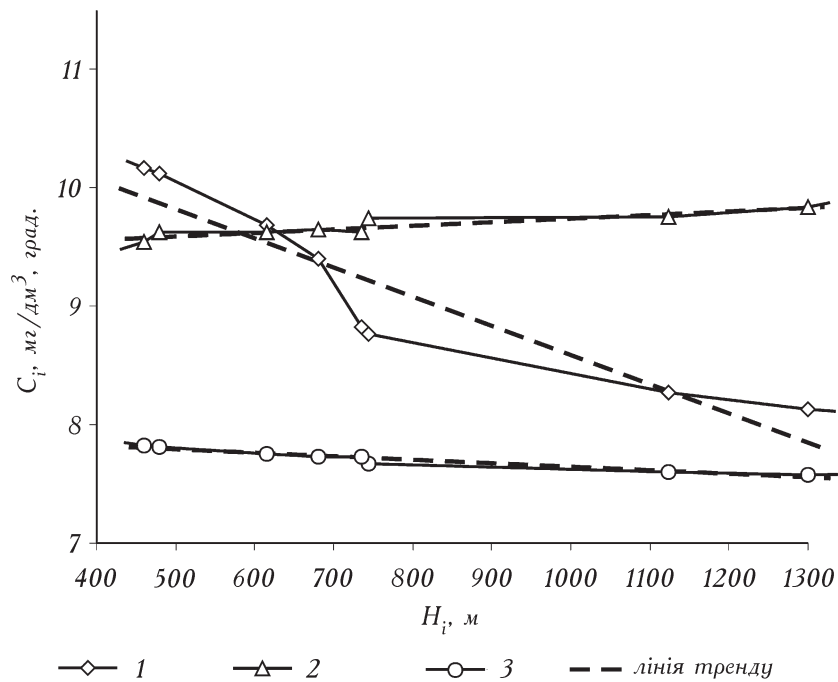
Для більшості випадків найкращі результати отримано за допомогою лінійної апроксимації. Вона застосовується для змінних, які збільшуються або зменшуються з постійною швидкістю. Тобто, згідно з отриманими результатами, було знайдено лінійні закономірності підвищення (крім розчиненого кисню — зниження) концентрацій природних компонентів хімічного складу поверхневих вод у межах екосистеми р. Прут на природоохоронній території КНПП залежно від зміни висоти місцевості з вищих до нижчих абсолютних відміток. Надійність лінії тренду до фактичних даних оцінюється за показником відповідності (достовірність апроксимації) величини  $R^2$ . Величина  $R$  може змінюватись від 0 до 1. Чим більша величина цього показника, тим достовірніша лінія тренду. Значення  $R^2$  автоматично розраховується за програмою Microsoft Excel при підборі лінії тренду до даних. Ці значення відображено на модельних діаграмах.

Таким чином, одержано лінії тренду та рівняння, за якими можна визначати норму компонентів природних вод р. Прут у межах КНПП за висотою місцевості (табл. 1, рис. 2—4).

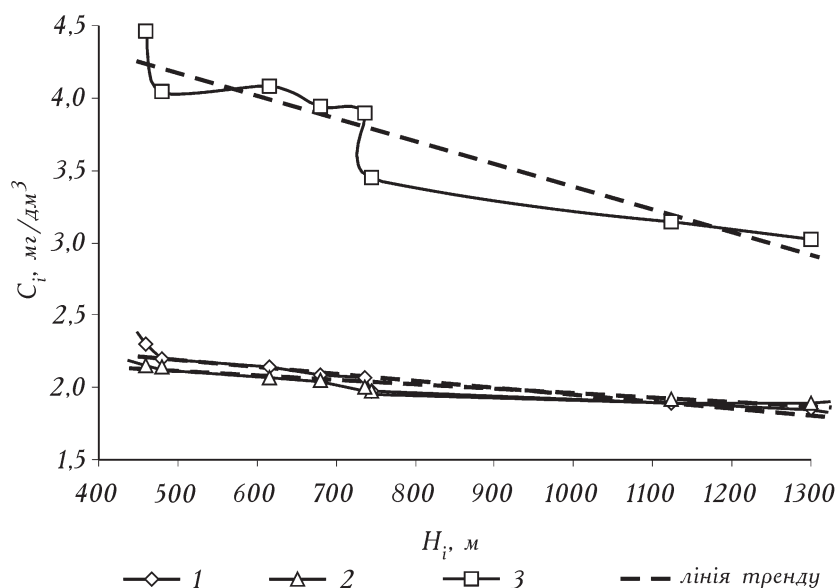
Аналогічні дані одержано при аналізі зв'язку зміни середніх геометричних компонентів хімічного складу природних вод з довжиною річки (табл. 2, рис. 5—8). Ці результати були очікуваними, адже коефіцієнт парної кореляції між абсолютною висотою місцевості і довжиною р. Прут у межах КНПП за нашими розрахунками дорівнює 0,99.



2. Модель екологічної норми компонентів природних вод (1 — мінералізація; 2 —  $HCO^-$ ; 3 —  $Ca^+$ ; 4 —  $SO^-$ ) за висотою місцевості.



3. Модель екологічної норми компонентів природних вод (1 — кольоровість; 2 — розчинений кисень; 3 — рН) за висотою місцевості.

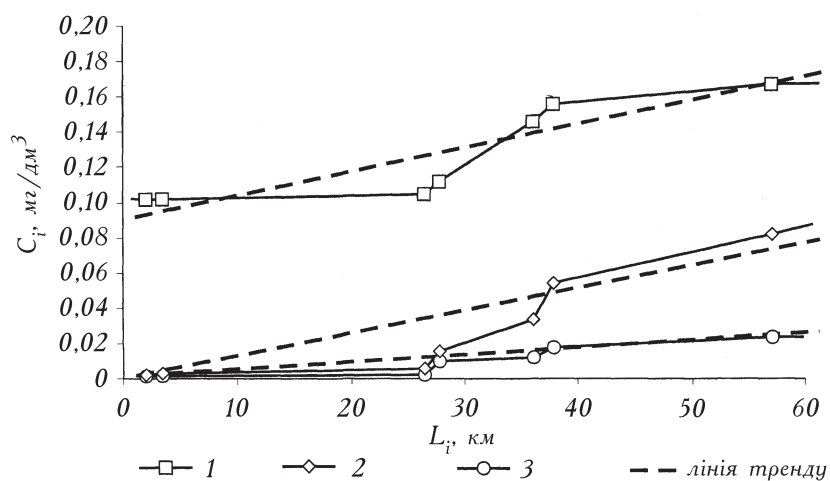


4. Модель екологічної норми компонентів природних вод (1 — БСК<sub>5</sub>; 2 — лужність; 3 — нітрат-іон) за висотою місцевості.

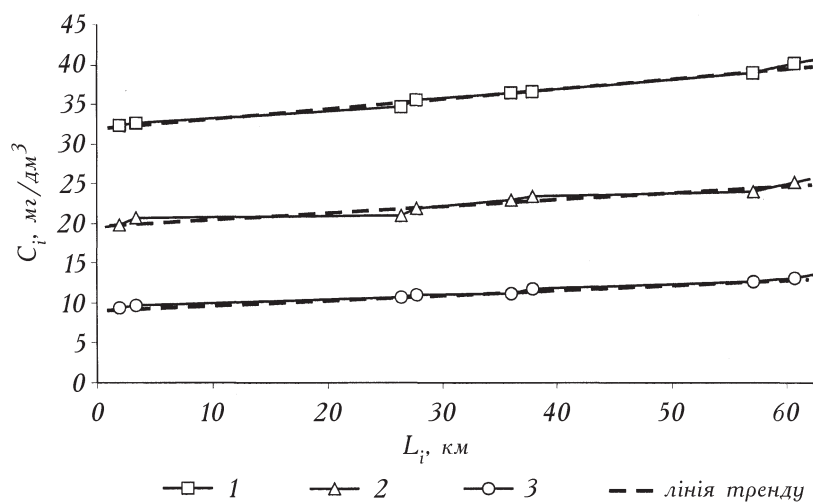
**2. Норматив якості природних вод р. Прут ( $C_i$ , мг/дм<sup>3</sup>) залежно від довжини річки ( $L_i$ , м) в межах Карпатського національного природного парку**

Гідрохімічні показники	Формули модельної лінії тренду	Коефіцієнт парної кореляції, $R^2$
Кольоровість, град.	$C_i = 0,0359L_i + 8,0456C_i$	0,9555
Завислі частки, мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0552L_i + 3,3522C_i$	0,9215
pH	$C_i = 0,0041L_i + 7,5865C_i$	0,9558
Жорсткість, мг-екв./дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0049L_i + 1,9264C_i$	0,8790
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0069L_i + 1,8467C_i$	0,9501
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0807L_i + 19,840C_i$	0,9259
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0607L_i + 9,2961C_i$	0,9809
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0217L_i + 3,0746C_i$	0,8753
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0005L_i + 0,0030C_i$	0,8500
Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,1270L_i + 31,976C_i$	0,9866
Fe <sup>2+, 3+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0014L_i + 0,0908C_i$	0,8406
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$C_i = 0,0016L_i - 0,0144C_i$	0,8499

Усього визначали 21 компонент. Достовірні зв'язки, за якими можна визначити норму компонента хімічного складу природних вод для КНПП, нам вдалося отримати для 16 складових.



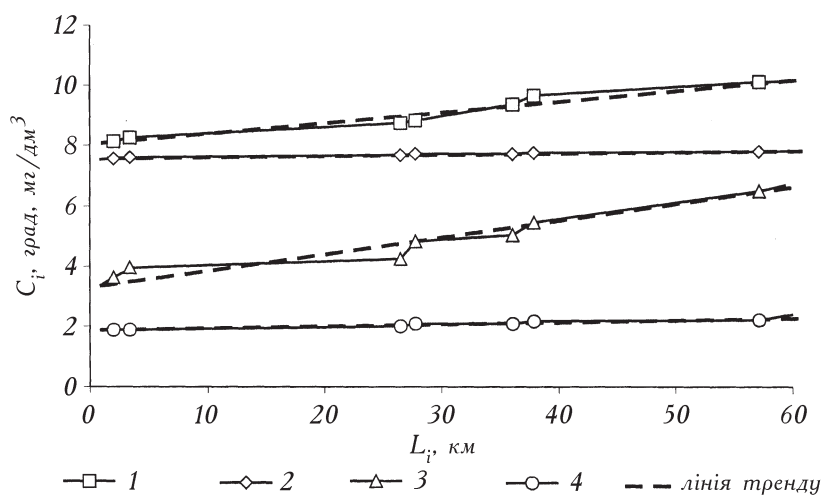
5. Модель екологічної норми компонентів природних вод (1 — залізо; 2 — іон амонію; 3 — нітрит-іон) за довжиною річки.



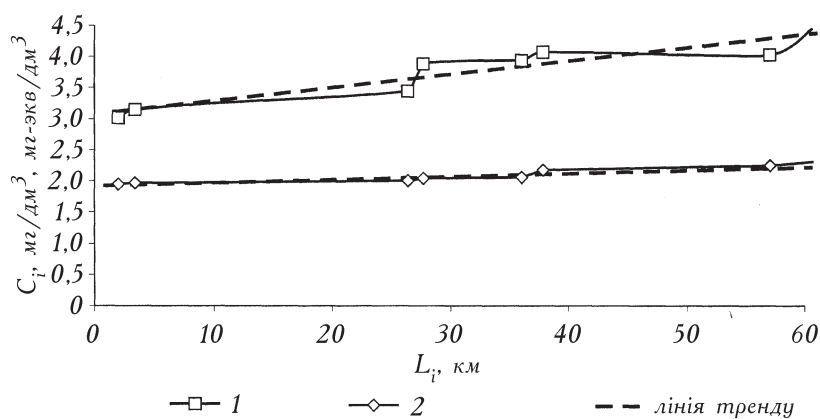
6. Модель екологічної норми компонентів природних вод (1 — кальцій; 2 — сульфати; 3 — хлориди) за довжиною річки.

Отже, отримано лінії тренду та рівняння, за якими можна визначати норму компонентів природних вод р. Прут у межах КНПП за довжиною річки.

У другому і третьому створах (Ворохта і Татарів) у більшості випадків спостерігали стрибкоподібне погіршення показників якості на фоні загального зменшення залежно від висоти місцевості і довжини річки.



7. Модель екологічної норми компонентів природних вод (1 — кольоровість; 2 — рН; 3 — завіслі речовини, 4 — БСК<sub>5</sub>) за довжиною річки.



8. Модель екологічної норми якісних компонентів природних вод (1 — нітрат-іон; 2 — жорсткість загальна) за довжиною річки.

### Висновки

Для заповідної території — Карпатського національного природного парку гранично допустимим навантаженням на гідроекосистему може бути таке, при якому вміст хімічних складових якості води не зменшується нижче розрахованих за модельними рівняннями.

Такий підхід дає можливість нормувати рівень антропогенного навантаження на водні об'єкти не тільки в межах основної течії р. Прут, а й усіх його приток у межах верхньої частини басейну. Для збереження природних екологічних гідросистем Карпатського національного природного парку рекомендуємо одержані



багаторічні залежності використовувати як територіальні нормативи якості гідро-екологічного середовища.

\*\*

*Приведены результаты статистической обработки данных фонового мониторинга гидрохимических показателей качества воды в реке Прут в пределах Карпатского национального природного парка. Установлена зависимость показателей качества воды от высоты местности и расстояния от истока реки. Предложено использовать полученные статистические формулы для нормирования уровня антропогенной нагрузки на основное течение р. Прут, а также ее притоков в пределах верхней части бассейна.*

\*\*

*The paper has presented the results of the statistical data of the background hydrochemical monitoring of water quality in the Prut River within the Carpathian National Nature Park. The given article deals with the regularities of water quality concentrations on the altitude and distance from the river source. It is proposed to use the statistical formula for rationing anthropogenic stress on the main level for Prut River and its tributaries within the upper part of the basin.*

\*\*

1. Фоновий моніторинг навколишнього природного середовища / За ред. М. М. Приходька. — Івано-Франківськ: Фоліант, 2010. — 324 с.
2. Архипова Л.М., Кочмелюк М.В. Гідроекологічний потенціал поверхневих вод Карпатського національного природного парку / / Наук. вісник нац. лісотехн. ун-ту України: Зб. наук.-техн. праць. — Львів: НЛТУУ, 2011. — Вип. 21.3. — С. 74—79.
3. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.

Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу

Надійшла 31.10.16