

УДК 519.25+550.42

М.Н. Жуков, д-р геол. наук, проф.,  
А.В. КлипаКиївський національний університет імені Тараса Шевченка,  
м.Київ, Україна, e-mail: jukov42@ukr.net; klypaaa@bigmir.netСПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ КОНДИЦІЙНОСТІ БАЗИ ДАНИХ З  
КОНЦЕНТРАЦІЯМИ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ПРИРОДНИХ ВОДАХM.N. Zhukov, Dr. Sci. (Geol.), Prof.  
A.V. KlypaTaras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine,  
e-mail: jukov42@ukr.net, klypaaa@bigmir.netRESTORATION METHOD FOR THE DATABASE  
OF TRACE ELEMENTS CONTENT IN NATURAL WATERS

**Мета.** Розробка методу відновлення кондиційності бази даних мікроелементного складу природних вод Полтавської області на основі наявної інформації для подальшої оцінки закономірностей розподілів вмісту хімічних компонентів у природних водних об'єктах та визначення універсальної моделі, яка б адекватно описувала їх розподіли на територіях з різними природними умовами та різним антропогенним навантаженням.

**Методика.** Використано метод кореляційного аналізу для встановлення зв'язку між хімічними компонентами природних вод на основі лінійної регресії логарифмів досліджуваних значень. Розрахунок статистичних характеристик та реалізацію запропонованого методу виконано за допомогою програмного пакету MathCad.

**Результати.** Розрахункова формула, отримана внаслідок проведеного аналізу та статистичної обробки наявних гідрохімічних даних, дозволяє перерахувати значення вмісту гідрокарбонатів у природних водах досліджуваного регіону у значення мінералізації. За допомогою цієї ж формули відновлено значення сухого залишку, що дало можливість розрахувати концентрації мікроелементів, що містилися в базі даних у відсотках сухого залишку. У результаті була відновлена кондиційність бази даних, що дозволило повноцінно провести запланований експеримент щодо з'ясування закономірностей розподілів вмісту мікроелементів у природних водах Полтавської області.

**Наукова новизна.** Розроблено новий метод відновлення кондиційності бази даних, в основі якого лежить логарифмічна модель кореляційного зв'язку між досліджуваними хімічними компонентами природних вод та доведено його високу ефективність.

**Практична значимість.** На основі зазначеного методу в середовищі MathCad створений програмний модуль, що дає можливість проводити необхідні розрахунки в автоматизованому режимі. Він дозволив відновити втрачені дані стосовно мінералізації, сухого залишку та вмісту мікроелементів у природних водах, що стали доступними для подальшого використання. Модуль може мати самостійне значення в задачах відновлення даних, і може бути використаний для застосування будь-яких вимірювань. Ефективність запропонованого методу залежить від статистичного зв'язку між досліджуваними компонентами.

**Ключові слова:** *природні води, мікроелементи, мінералізація, сухий залишок, кореляційний аналіз, лінійна модель*

**Постановка проблеми.** Дослідження закономірностей розподілів вмісту мікроелементів у природних водах вимагає від масивів даних репрезентативності та необхідної метрологічної якості. Невиконання зазначених вимог призводить до серйозних прорахунків і хибних результатів. Подібна проблема виникла в ході досліджень розподілів вмісту мікроелементів у природних водах Полтавської області [1]. База даних, що містила необхідну інформацію, виявилася некондиційною: дані не відповідали дійсності. Виникла задача з'ясування причин та відновлення кондиційності даних.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідженню закономірностей розподілів вмісту хімічних компонентів у природних водах присвячені праці А.І. Гавришина, С.І. Смірнова, В.І. Пелешенка, М.І. Ромася, що були написані у другій половині минулого століття. Питання з того часу залишилися невирішеними.

**Викладення основного матеріалу.** Для проведення дослідження стосовно з'ясування закономірностей роз-

поділу вмісту мікроелементів у природних водних об'єктах Полтавської області Казенним підприємством (КП) „Кіровогеологія“ було надано дві об'ємні бази даних. Вони були результатом гідролітохімічних зйомок, проведених у 1985–1988 рр. (масштаб зйомки – 1:1000000) та 1991–1993 рр. (1:500000) на території області. У ході проведених зйомок методом напівкількісного спектрального аналізу у природних водах були виміряні концентрації 32 мікроелементів. У період першої зйомки відібрано 288 проб, другої – 560. Аналізувалися елементи, що були представлені достатньо репрезентативними вибірками та відносяться до найбільш типових та небезпечних забруднювачів природних вод: Ba, Co, Cu, Cr, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, V, Zn.

На першому етапі досліджень потрібно було виконати первинну обробку, що полягала в їх систематизації та доведенні до необхідної метрологічної якості для подальшого статистичного аналізу. У ході обробки з'ясувалося, що концентрації мікроелементів у період 1985–1988 рр. суттєво відрізняються від значень періоду

ду 1991–1993 рр. Цю різницю можна побачити на рис. 1.

З рис.1 вбачається, що дані не відповідають дійсності: різке підвищення вмісту досліджуваних елементів у воді не знаходить пояснення. Це підтвердив і аналіз концентрацій мікроелементів, що у період зйомки 1985–1988 рр. були значно нижчими за кларки та фоно-

ві значення їх вмісту у природних водах досліджуваної території [2].

Спочатку було висунуто припущення, що причиною розбіжності можуть бути різні одиниці вимірювання, у яких зафіксовані концентрації мікроелементів. Проте згодом, після перевірки, це припущення було відкинуто.

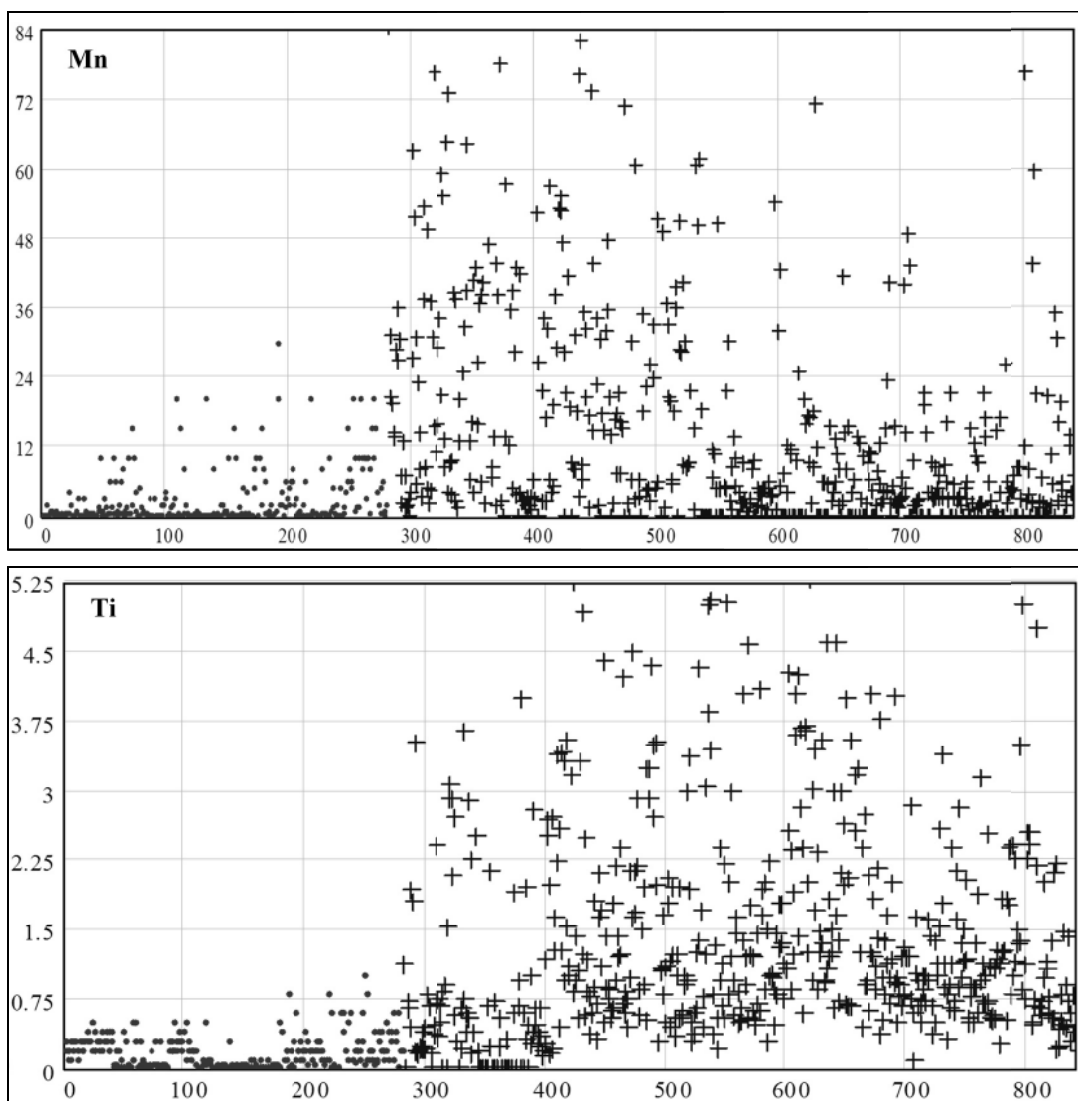


Рис. 1. Відображення спостережень вмісту мікроелементів у природних водах у різні періоди зйомок. По вісі абсцис – порядкові номери спостережень; ординат – концентрації хімічного елементу ( $Mn - 10^2 \text{мг/дм}^3$ ,  $Ti - 10^1 \text{мг/дм}^3$ ); \* – спостереження 1985-1988 рр.; + – спостереження 1991-1993 рр.

У результаті проведеного детального аналізу даних та обставин їх одержання, було встановлено, що концентрації мікроелементів визначалися у відсотках від сухого залишку та містилися в базі даних більш пізньої зйомки саме в такому вигляді. У базі даних другої зйомки (1991–1993 рр.) концентрації мікроелементів були записані у  $\text{мг/дм}^3$ . Здавалося, проблему вирішено: слід виконати перерахунок відсотків, після чого отримаємо реальні концентрації. Проте, з'ясувалося, що база даних 1985–1988 рр. не містить даних стосовно концентрацій макрокомпонентного складу, у тому числі сухого залишку, що не дозволяло реалізувати цей шлях. Вдалося

знайти лише 30 проб, що містили необхідну інформацію. Проте у всіх 288 пробах містилися дані стосовно вмісту гідрокарбонатів ( $\text{HCO}_3$ ) у воді. На основі цієї інформації й вирішувалася задача відновлення втрачених даних.

За даними еколого-географічного атласу України [3] у період літньої межени (саме тоді здійснювався відбір проб) на території Полтавської області розповсюджені води гідрокарбонатно-кальцієвого та гідрокарбонатно-кальцієво-магнієво-натрієвого складу. Це свідчить про те, що гідрокарбонати є основним аніоном, концентрація якого переважає у макрокомпонентному складі при-

родних вод. А це, у свою чергу, означає, що мінералізація безпосередньо має залежати від вмісту гідрокарбонатів. Для перевірки було вирішено оцінити коефіцієнти кореляції між концентраціями гідрокарбонатів і мінералізацією. Розроблено програмний модуль, що окрім розрахунку самих коефіцієнтів кореляції давав можливість візуально порівняти результати (рис. 2).

З рис. 2 вбачається, що розбіжності виглядають пропорційними вимірюваним значенням. Тому проведене аналогічне зіставлення за логарифмами концентрацій (рис. 3)

Коефіцієнт кореляції між значеннями цих показників дорівнював 0,95, тоді як між логарифмами – 0,97. Розбіжності між логарифмами, на відміну від самих концентрацій, носять стабільний характер (рис. 3).

Для отримання розрахункової формули, яка б дозволила на основі вмісту гідрокарбонатів розрахувати значення мінералізації, спочатку було використано лінійну модель. Як показує рис. 3, використання лінійної моделі зв'язку між логарифмами вмістів обіцяло суттєво покращити результат. Для цього було використано формулу для перерахунку логарифмів значень

$$Y_{L_i} = aL \cdot X_{L_i} + bL, \quad (1)$$

де  $Y_{L_i}$  – логарифм значення мінералізації в  $i$ -ій пробі;  $X_{L_i}$  – логарифм значень вмісту  $\text{HCO}_3$  в  $i$ -ій пробі;  $aL$ ,  $bL$  – розрахункові коефіцієнти ( $aL=1,084$ ,  $bL=0,054$ ).

Як і очікувалося, ця модель виявилася оптимальною. Цей висновок підтверджує рис. 4.

Як видно з рис. 4, розрахункові значення майже ідентичні реальним значенням.

На основі формули (1) отримали кінцеву формулу (2) для перерахунку значень вмісту гідрокарбонатів у значення мінералізації

$$Y_i = \exp^{aL \cdot X_{L_i} + bL}, \quad (2)$$

де  $Y_i$  – значення мінералізації в  $i$ -ій пробі;  $X_{L_i}$  – логарифм значень вмісту  $\text{HCO}_3$  в  $i$ -ій пробі;  $aL, bL$  – розрахункові коефіцієнти ( $aL=1,084$ ,  $bL=0,054$ ).

На рис. 5 відображено значення реальної мінералізації та мінералізації, отриманої шляхом перерахунку значень вмісту гідрокарбонатів за формулою (2). Практично всі розрахункові значення збігаються з реальними даними. Це свідчить про спроможність запропонованого методу та дозволяє використовувати його в інших застосуваннях.

Як уже зазначалося, мікроелементи містилися в базі даних у вигляді відсотків від сухого залишку, що залежить від рівня мінералізації. За пробами води, що містять необхідну інформацію, як було описано вище, встановлений зв'язок між мінералізацією та сухим залишком. Коефіцієнти кореляції між самими значеннями та значеннями їх логарифмів продемонстрували ступінь статистичного зв'язку, близький до детермінованого: коефіцієнти кореляції становлять 0,98 та 0,99 відповідно. Це дало можливість скористатися створеним для попереднього перерахунку модулем. Для визначення значень сухого залишку було застосовано наведену вище процедуру.

Результати перерахунку за формулою (2) відображені на рис. 6. Коефіцієнти перерахунку у цьому випадку  $aL=1,046$  та  $bL=-0,62$  відповідно.

З рис. 6 видно, що пунктирна лінія практично ідеально повторює суцільну лінію. Це свідчить про високу точність знайденого розрахункового механізму.

Після перерахунку були отримані значення вмісту елементів, що значно відрізнялися від тих, які містилися в базі даних.

Результати порівняння перерахунку зображені на рис. 7, на прикладі титану (Ti). Виділена різниця між спотвореними даними (рис. 7, а) та виправленими за допомогою розрахункового програмного модуля (рис. 7, б).

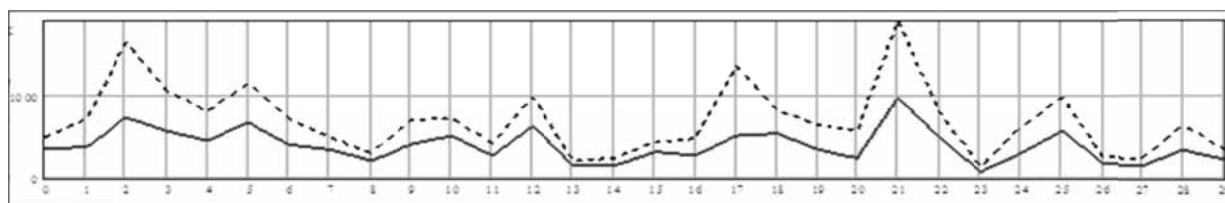


Рис. 2. Відображення концентрацій ( $\text{мг/дм}^3$ ) гідрокарбонатів (суцільна лінія) та мінералізації (пунктирна лінія) у період 1985–1988 рр.

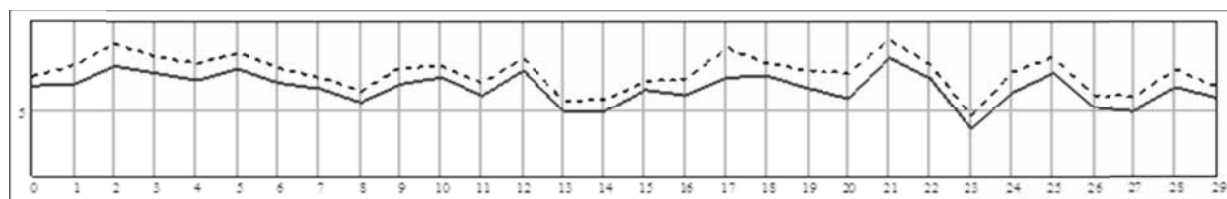


Рис. 3. Відображення логарифмів концентрації гідрокарбонатів (суцільна лінія) та мінералізації (пунктирна лінія) у період 1985–1988 рр.

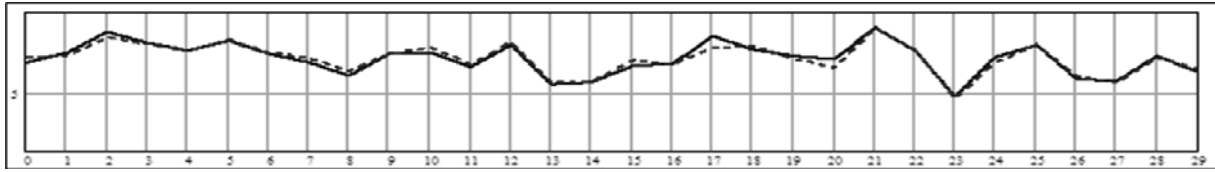


Рис. 4. Відображення реальних значень логарифмів мінералізації (суцільна лінія) та перерахованих (пунктирна лінія) у період 1985–1988 рр.

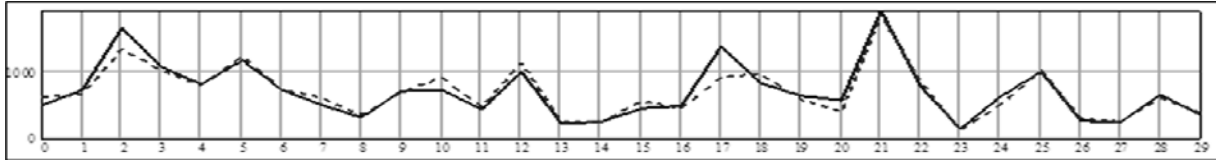


Рис. 5. Відображення реальних значень (мг/дм³) мінералізації (суцільна лінія) та перерахованих по формулі (2) (пунктирна лінія) у період 1985-1988 рр.

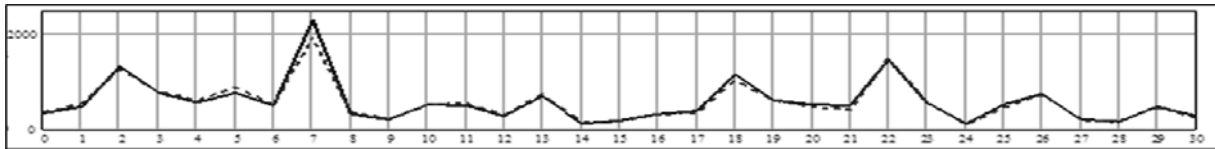


Рис. 6. Відображення реальних значень (мг/дм³) сухого залишку (суцільна лінія) та перерахованих (пунктирна лінія)

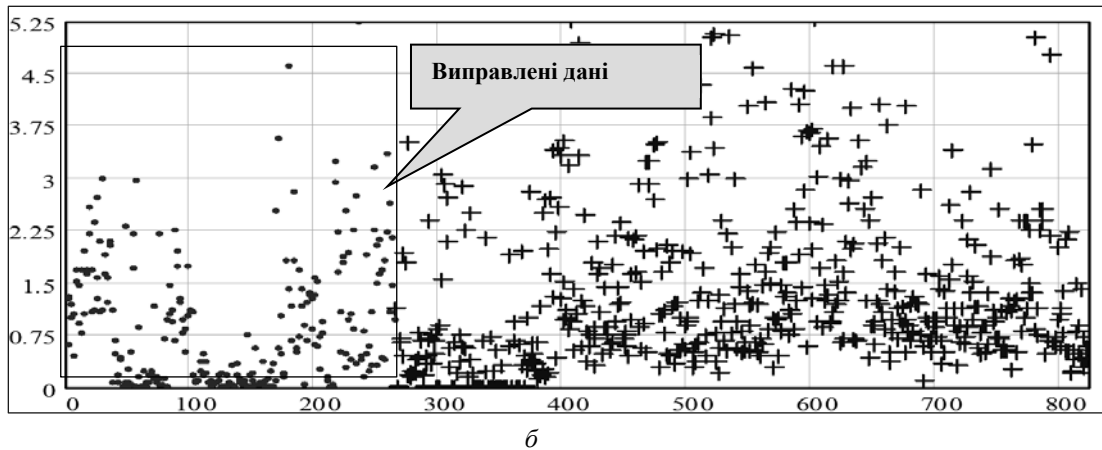
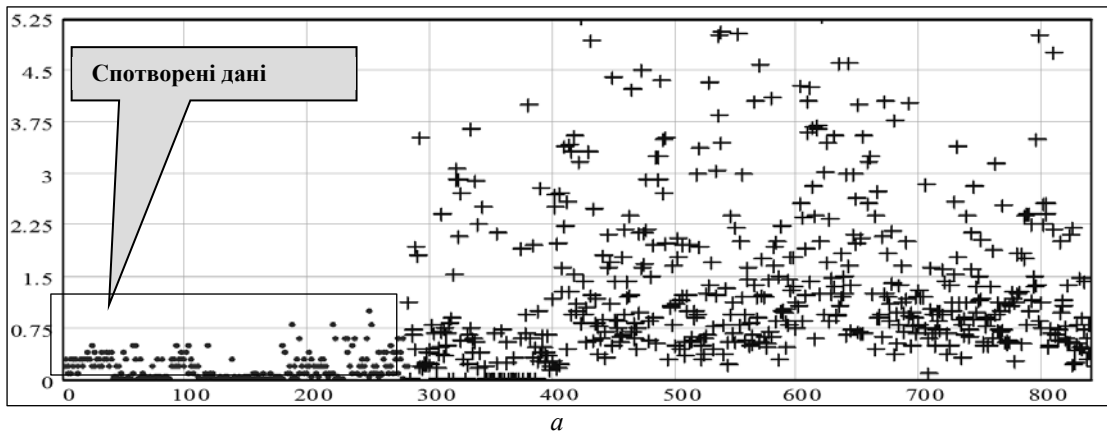


Рис. 7. Відображення спостережень концентрацій титану(позначення див. рис. 1): а – до перерахунку (спотворені дані); б – після перерахунку (виправлені дані)

Результати порівняння статистичних характеристик до та після перерахунку дають можливість оцінити масштаб спотворення даних. Після зазначених розрахунків максимальні значення вмісту елементів підвищилися у 6–7 разів, математичне сподівання – у 5 і більше разів, середнє квадратичне відхилення – майже у 6 разів. Аналогічна ситуація спостерігається й по інших хімічних елементах. Вочевидь таке спотворення призвело би до хибних висновків стосовно закономірностей як імовірнісних, так і просторових розподілів вмісту мікроелементів у природних водах і, як наслідок, до невірних оцінок характеристик екологічного стану (площ перевищення критичних границь вмісту компонентів у природних водах, загальних та питомих навантажень на водний об'єкт). Проте запропонований розрахунковий механізм дозволив уникнути цих прорахунків.

**Висновки.** Розроблений метод відтворення втрачених даних дає можливість отримати реальні дані стосовно вмістів мікроелементів у природних водах, які було використано для подальшого дослідження та досягнення головної мети даної роботи. Він може мати самостійне значення в задачах відновлення та відтворення втрачених даних.

#### Список літератури / References

1. Імовірнісна оцінка забруднення природного середовища на основі моделювання розподілів вмісту хімічних елементів (на прикладі поверхневих вод Полтавської області) / М.Н. Жуков [та ін.] // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2012. – № 58. – С. 52–57.

Zhukov, M.N. (2012), "Probabilistic assessment of environmental pollution by modeling of chemical elements content distribution (on the example of surface waters of the Poltava Region)", *Visnyk Kyivskoho Natsionalnoho Universytetu imeni Tarasa Shevchenko*, Geology, Vol. 58, pp. 52–57.

2. Вступ до медичної геології: у 2 т. – Т. 1 / [Рудько Г.І. та ін.]; під ред. Г.І. Рудька, О.М. Адаменка. – К.: Академпрес, 2010 – 448 с.

Rudko, G.I. and Adamenko, O.M. (2010), *Vstup do medychnoi heolohii* [Introduction to Medical Geology], Vol. 1, Akadempres, Kyiv, Ukraine.

3. Україна. Еколого-географічний атлас. Атлас-монографія. – К.: Варта, 2006. – 220 с.

*Ukraine. Ekoloho-Geohrafichnyi Atlas* (2006), [Ukraine. Ecological Atlas], Atlas-monograph, Varta, Kyiv, Ukraine.

**Цель.** Разработка метода восстановления кондиционности базы данных микроэлементного состава природных вод Полтавской области на основе имеющейся информации для последующей оценки закономерностей распределений содержания химических компонентов в природных водных объектах и определения универсальной модели, которая бы адекватно описывала их распределения на территориях с различными природными условиями и разной антропогенной нагрузкой.

**Методика.** Использован метод корреляционного анализа для установления связи между химическими

компонентами природных вод на основе линейной регрессии логарифмов исследуемых значений. Расчет статистических характеристик и реализация предложенного метода выполнены с помощью программного пакета MathCad.

**Результаты.** Расчетная формула, полученная в результате проведенного анализа и статистической обработки имеющихся гидрохимических данных, позволяет пересчитать значения содержания гидрокарбонатов в природных водах исследуемого региона в значения минерализации. С помощью этой же формулы восстановлено значение сухого остатка, что позволило рассчитать концентрации микроэлементов, содержащихся в базе данных в процентах сухого остатка. В результате была восстановлена кондиционность базы данных, что позволило полноценно провести запланированный эксперимент по выяснению закономерностей распределений содержания микроэлементов в природных водах Полтавской области.

**Научная новизна.** Разработан новый метод восстановления кондиционности базы данных, в основе которого лежит логарифмическая модель корреляционной связи между исследуемыми химическими компонентами природных вод и доказана его высокая эффективность.

**Практическая значимость.** На основе данного метода в среде MathCad создан программный модуль, который дает возможность проводить необходимые расчеты в автоматизированном режиме. Он позволил восстановить утраченные значения минерализации, сухого остатка и содержания микроэлементов в природных водах, которые стали доступными для дальнейшего использования. Модуль может иметь самостоятельное значение в задачах восстановления данных, и может быть использован для применения любых измерений. Эффективность предлагаемого метода заключается в статистической связи между исследуемыми компонентами.

**Ключевые слова:** природные воды, микроэлементы, минерализация, сухой остаток, корреляционный анализ, линейная модель

**Purpose.** Development of the method of restoration of the database of trace element content in natural waters of Poltavaska oblast on the basis of the information available and determination of the universal model able to describe adequately the distribution of chemical elements in natural waters for areas with different natural conditions and different anthropogenic load.

**Methodology.** We applied correlation analysis to define the relationship between the chemical components of natural waters based on the linear regression of logarithms of the studied values. The mathematical calculations were performed using the software package MathCad.

**Findings.** The formula obtained as a result of statistical analysis of hydrochemical data allowed us to translate the concentration of hydrocarbonates in the natural waters of the region to the value of mineralization. The same formula allowed us to calculate the values of dry residue and the concentration of trace elements which contained in the data-

base as a percentage of dry residues. Hydro-chemical database has been restored in order to meet the quality requirements sufficient to carry out the planned study of the chemical elements content distribution in surface waters of the Poltavaska oblast.

**Originality.** We have developed the new database restoration method based on the logarithmic model correlation between the chemical components of natural waters. The efficiency of this method has been proved.

**Practical value.** In the MathCad environment we have created the module for computerized calculations. It allowed

us to recover the lost data on mineralization, dry residue and content of trace elements in natural waters. They became available for future use. Module for automatic calculation can be applied for other data restoration tasks. The effectiveness of the proposed method depends on the statistical relationship between the studied components.

**Keywords:** *natural waters, trace elements, salinity, solid residue, correlation analysis, linear model*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.Є. Шнюковим. Дата надходження рукопису 03.12.13.*

УДК 614.89

**В.І. Голінько, д-р техн. наук, проф.,  
С.І. Чеберячко, канд. техн. наук, доц.,  
Д.І. Радчук,  
Ю.І. Чеберячко, канд. техн. наук**

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м.Дніпропетровськ, Україна,  
e-mail: golinko@nmu.org.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ ДИХАННЮ ПРОТИПИЛОВИХ РЕСПІРАТОРІВ

**V.I. Holinko, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
S.I. Cheberiachko, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,  
D.I. Radchuk,  
Yu.I. Cheberiachko, Cand. Sci. (Tech.)**

State Higher Educational Institution “National Mining University”,  
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: golinko@nmu.org.ua

## STUDY OF AERODYNAMIC BREATHING RESISTANCE OF DUST RESPIRATORS

**Мета.** Визначення основних закономірностей, що впливають на ергономічні показники протипилових респіраторів.

**Методика.** Визначення перепаду тиску на респіраторах проводилось у відповідності до ДСТУ EN 149:2003 (для одноразових півмасок) і ДСТУ EN140:2004 (для багаторазових півмасок). Зміну перепаду тиску на засобах індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) визначали за допомогою спеціального електронного манометра Testo 512. Навантаження моделювались за допомогою бігової доріжки ProteusCBM-1050, на дисплеї якої відображались усі параметри, необхідні для дослідження (час випробування, пульс випробувача та величина навантаження).

**Результати.** Створено згідно з ДСТУ EN 149:2003 стенд для визначення опору диханню протипилових респіраторів при різному навантаженні на людину. Встановлено, що процес зовнішнього дихання при виконанні легкої роботи можна описати за гармонійним законом коливань, тоді як визначення перепаду тиску на респіраторах при важких роботах призводить до значних розбіжностей, що зумовлені впливом додаткового „мертвого простору“, зміни положення тіла, температури повітря, нерівномірності розподілу швидкості фільтрації.

**Наукова новизна.** Встановлено, що перепад тиску на одноразових фільтрувальних півмасках під час дихання можна описувати за гармонійним законом тільки при виконанні легкої роботи, тоді як при визначенні перепаду тиску на ЗІЗОД при важких роботах похибка між теоретичними та експериментальними даними складає 40%.

**Практична значимість.** Визначені показники перепаду тиску протипилових респіраторів при різних видах навантаження на пульсуючому потоці, що дозволяє уточнити процедуру перевірки опору диханню фільтрувальних респіраторів.

**Ключові слова:** *протипиловий респіратор, перепад тиску, опір диханню, частота дихання, глибина дихання, навантаження*

**Постановка проблеми.** Визначення впливу засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) на фізичний стан людини є однією з найважливіших задач. Зрозуміло, що на етапі проектування респіра-

ра з метою оптимізації конструктивних елементів ця задача є досить актуальною. Від правильного її вирішення залежить і величина енергетичних витрат працівників у процесі роботи, і пилове навантаження на органи дихання працівників, і здоров'я людини. Деякі дослідники намагаються знайти теоретичні залежності між захисною ефективністю ЗІЗОД та рівнем