

## ЕКОЛОГІЯ ГІДРОСФЕРИ ТА АТМОСФЕРИ

Сінченко В.Г.

*ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя МОЗ України», м. Чернівці*

### ДО ПИТАННЯ КОРЕКЦІЇ МЕТОДОМ КОМПОЗИЦІЇ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ПРИ ЗНЕСОЛЮВАННІ ВОДИ З ДЖЕРЕЛ ЛОКАЛЬНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ В КОНТЕКСТІ ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНОГО РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ

Розглянуто трансформацію показників якості води підземних джерел при застосуванні методу композиції. Використано обмеження значень показників діапазонами критерію повноцінності мінерального складу. На основі критерію та інформації про хімічний склад води встановлено алгоритм та співвідношення для розрахунку оптимальних коефіцієнтів розведення та допустимого рівня концентрації (ДРК). Визначено коефіцієнти ДРК для води джерела та ряду джерел, які є усередненими по компонентам критерію. Показана можливість застосування частотного аналізу хімічного складу води для визначення усередненого коефіцієнту розведення, як територіальної характеристики показників якості.

**Ключові слова:** якість питної води, джерела локального водокористування, показники якості, кондиціювання, знесолювання, підземні води

Рассмотрена трансформация показателей качества воды подземных источников а процессе применения метода композиции. Использовано ограничение значений показателей диапазонами критерия полноценности минерального состава. На основе критерия и информации о химическом составе воды установлен алгоритм и соотношения для расчета оптимальных коэффициентов разбавления и допустимого уровня концентрации (ДУК). Определены коэффициенты ДУК для воды источника и ряда источников, которые являются усредненными по компонентам критерия. Показана возможность применения частотного анализа химического состава воды для определения усредненного коэффициента разбавления, как территориальной характеристики показателей качества.

**Ключевые слова:** качество питьевой воды, источники локального водопользования, показатели качества, кондиционирование, обессоливание, подземные воды

The transformation of quality parameters of water from groundwater sources is considered in applying the method of composition. Used limiting values of the range of criteria usefulness mineral composition. An algorithm and formulas to calculate the optimal coefficients of limit levels concentration (LLC) and dilution were established on the basis of criteria and information on the chemical composition of water. LLC was determined coefficients for water and a source of a number of sources that are averaged over component test. The possibility of using frequency analysis of the chemical composition of the water to determine the average dilution factor as territorial characteristics of quality indicators.

**Keywords:** quality of drinking water, sources of local water use, quality, air conditioning, desalination, groundwater

**Вступ.** Якість питної води – фактор не тільки безпеки, але і повноцінності життєдіяльності людини. Контроль за якістю здійснюється на підставі нормативних

документів (НД) [4], а для води з лікувальними властивостями застосовується НД [3]. В мережі централізованого водопостачання безпека та якість води забезпечується заходами та засобами на етапі підготовки води [8]. В той же час, централізована мережа часто є відсутньою в приватних господарствах, садибах, і невеликих підприємствах у приміській та сільській місцевості. Їх забезпечення водою здійснюється джерелами локального водокористування: шахтними колодзями, каптажними джерелами та свердловинами у поверхневі водоносні горизонти. Використання води в якості питної в цьому випадку передбачає дослідження показників якості і безпеки і, часто по їх результатам, необхідність зменшення вмісту солей.

**Вихідні передумови.** Рельєф та наявні розчинні, зокрема вапнякові геологічні породи на значній території України, в тому числі західного регіону, сприяють насиченню водоносних горизонтів продуктами їх взаємодії з водою підземних джерел та інфільтрацією опадів. Сприяє цьому і антропогенне та техногенне навантаження на гідросистеми [1]. В результаті вода при локальному водокористуванні є збагаченою мінеральними солями. Середні значення їх сумарної концентрації в західному регіоні коливається в межах від 0,3 до 0,8 г/дм<sup>3</sup> [5,7]. За даними інших досліджень [13], нерідко спостерігаються і більш високі значення, до 1,3 г/дм<sup>3</sup>, а часом і більше [2], що перевищує регламентовані НД допустимі рівні концентрації (ДРК) Таким чином, ефективно, безпечно та раціональне користування водою підземних джерел на цих територіях потребує засобів здійснення додаткового пом'якшення або знесолювання води.

Якість води при локальному водокористуванні може забезпечуватись автономно функціонуючими системами часткової або глибокої очистки на основі іонного обміну [9]. Процес фільтрації води через іоніти, забезпечує до 98 % поглинання солей на одному модулі системи. Це дозволяє в умовно простому варіанті системи з двома модулями потенційно отримувати практично вільну від солей воду. В той же час, фізіологічно якісною вважається така вода, в якій вміст катіонів і солей відповідає їх ДРК, які визначені критерієм фізіологічної повноцінності мінерального складу ( далі критерій повноцінності ) [4].

В умовах приватної господарської діяльності найпростіший спосіб отримання води, яка за властивостями є наближеною до фізіологічно повноцінної, є застосування методу композиції. В ньому до води з джерела водокористування додається в певній пропорції вода, яка пройшла катіон-аніонну фільтрацію [12]. Пропорція розведення, або поширеніший на практиці коефіцієнт розведення, як правило, встановлюється на основі критерію зменшення загальної мінералізації. Такий коефіцієнт може також служити ознакою відповідності води фізіологічному нормативу. Визначення пропорцій та коефіцієнтів, таким чином, на основі інформації про фізико-хімічні показники води та даних про інтервали ДРК компонент критерію повноцінності є актуальною і практично значимою задачею.

**Мета і завдання.** Робота присвячена дослідженню зміни показників якості при корекції мінерального складу води з підземних джерел. Розглянуто випадок застосування методу композиції. Її метою є оцінка можливостей корекції, знаходження оптимальних умов її проведення, застосування отриманих результатів до оцінки якості на основі експериментально встановлених показників для вод з шахтних колодязів та свердловин.

Завданням роботи є встановлення взаємозв'язку між показниками безпеки і якості води, величинами інтервалів ДРК в компонентах критерію повноцінності та коефіцієнтом розведення. Вирішення потребує також встановлення різних алгоритмів та співвідношень для розрахунку коефіцієнту розведення по визначеним за результатами фізико-хімічного аналізу показникам, як для води конкретного джерела, так і сукупності джерел.

**Основний матеріал та результати.** Позначимо через  $U_{XX}$  початкове, а  $U_{XX}$  кінцеве значення ДРК в інтервалі концентрації компоненти XX критерію повноцінності. Згідно нього, в мг/дм<sup>3</sup> для катіонів Na, K і аніону J  $U_{Na} = U_{K} = 2,0$ ,  $U_{J} = 0,02$  та  $U_{Na} = U_{K} = 20$ , а  $U_{J} = 0,03$ . Для катіонів Ca та Mg відповідно  $U_{Ca} = 25$  і  $U_{Ca} = 75$ , а

${}_{\text{п}}U_{\text{Mg}} = 10$  і  ${}_{\text{к}}U_{\text{Mg}} = 50$ . Інтервали ДРК фторидів ( ФТ ), сухого залишку ( СЗ ), жорсткості загальної ( ЖЗ ) та лужності загальної ( ЛЗ ) становлять  ${}_{\text{п}}U_{\text{ФТ}} = 0,7$ ,  ${}_{\text{к}}U_{\text{ФТ}} = 1,2$ ,  ${}_{\text{п}}U_{\text{СЗ}} = 200$ ,  ${}_{\text{к}}U_{\text{СЗ}} = 500$  мг/дм<sup>3</sup>, а також  ${}_{\text{п}}U_{\text{ЖЗ}} = 1,5$ ,  ${}_{\text{к}}U_{\text{ЖЗ}} = 7,0$  та  ${}_{\text{п}}U_{\text{ЛЗ}} = 0,5$ ,  ${}_{\text{к}}U_{\text{ЛЗ}} = 6,5$  в ммоль / дм<sup>3</sup>.

Розглянемо випадок суттєво наявних компонентів критерію повноцінності. Припустимо, що для  $i$ -го підземного джерела виміряні значення концентрації компонент становлять величини  ${}_iC_{\text{Na}}$ ,  ${}_iC_{\text{K}}$ ,  ${}_iC_{\text{J}}$ ,  ${}_iC_{\text{Ca}}$ ,  ${}_iC_{\text{Mg}}$ ,  ${}_iC_{\text{ФТ}}$ ,  ${}_iC_{\text{СЗ}}$ ,  ${}_iC_{\text{ЖЗ}}$  і  ${}_iC_{\text{ЛЗ}}$ . В узагальненому вигляді ці концентрації можна позначити як  ${}_iC_{\text{XX}}$ , де XX приймає позначення хімічних елементів та інтегральних показників: - ФТ, СЗ, ЖЗ, ЛЗ. Тоді, в рамках критерію повноцінності, позначивши початкове  ${}_i\text{п}k_{\text{XX}}$  і кінцеве  ${}_i\text{к}k_{\text{XX}}$  значення коефіцієнтів можна записати:

$${}_i\text{п}k_{\text{XX}} = {}_{\text{п}}U_{\text{XX}} / {}_iC_{\text{XX}}, \quad {}_i\text{к}k_{\text{XX}} = {}_{\text{к}}U_{\text{XX}} / {}_iC_{\text{XX}} \quad (1)$$

Визначені по (1) коефіцієнти  ${}_i\text{п}k_{\text{XX}}$  та  ${}_i\text{к}k_{\text{XX}}$  можуть приймати значення як менші, так і більші за 1,0. В першому випадку це відповідає процесу розведення, в другому – концентрування води. Вони визначають, відповідно, мінімальну і максимальну величину відношення концентрації компоненти XX на початку та в кінці інтервалу ДРК до її виміряного значення. Коефіцієнти показують трансформацію початкового значення концентрації при розведенні або концентруванні води в значення, які відповідають краям діапазону ДРК.

Оптимальним коефіцієнтом ДРК при розведенні (концентруванні)  ${}_i k_{\text{XX}}$  компоненти XX для  $i$ -го джерела води може вважатись величина  ${}_i k_{\text{XX}} = ( {}_i\text{п}k_{\text{XX}} + {}_i\text{к}k_{\text{XX}} ) / 2$ . При такому виборі, як відомо, мінімізується дисперсія відхилень, тобто величина  $( {}_i\text{п}k_{\text{XX}} - {}_i k_{\text{XX}} )^2 + ( {}_i\text{к}k_{\text{XX}} - {}_i k_{\text{XX}} )^2$  є мінімальною. Для води з концентрацією  ${}_iC_{\text{XX}}$  такий перехід до коефіцієнту  ${}_i k_{\text{XX}}$  означає перехід від інтервальної до точкової оцінки концентрації. Остання відповідає своєму значенню в середній точці інтервалу ДРК. Таким чином, розрахунок коефіцієнту  ${}_i k_{\text{XX}}$  доцільно проводити за співвідношенням  ${}_i k_{\text{XX}} = U_{\text{XX}} / {}_iC_{\text{XX}}$ , де  $U_{\text{XX}} = ( {}_{\text{п}}U_{\text{XX}} + {}_{\text{к}}U_{\text{XX}} ) / 2$ . За його результатами також визначається і коефіцієнт розведення  ${}_i d_{\text{XX}}$  компоненти XX, який через взаємозв'язок об'ємів і концентрацій пов'язаний з коефіцієнтом ДРК рівнянням  ${}_i d_{\text{XX}} = 1 / {}_i k_{\text{XX}}$ .

Для суттєво присутніх у підземній воді компонент, з урахуванням зазначених вище в мг/ дм<sup>3</sup> та ммоль/ дм<sup>3</sup> величин  ${}_{\text{п}}U_{\text{XX}}$  і  ${}_{\text{к}}U_{\text{XX}}$  можна записати наступні співвідношення:

$${}_i k_{\text{Na}} \cdot {}_iC_{\text{Na}} = 11, \quad {}_i k_{\text{K}} \cdot {}_iC_{\text{K}} = 11, \quad {}_i k_{\text{J}} \cdot {}_iC_{\text{J}} = 0,025, \quad {}_i k_{\text{Ca}} \cdot {}_iC_{\text{Ca}} = 50, \quad {}_i k_{\text{Mg}} \cdot {}_iC_{\text{Mg}} = 30, \\ {}_i k_{\text{ФТ}} \cdot {}_iC_{\text{ФТ}} = 0,95, \quad {}_i k_{\text{СЗ}} \cdot {}_iC_{\text{СЗ}} = 350, \quad {}_i k_{\text{ЖЗ}} \cdot {}_iC_{\text{ЖЗ}} = 4,25, \quad {}_i k_{\text{ЛЗ}} \cdot {}_iC_{\text{ЛЗ}} = 3,5 \quad (2)$$

Згідно співвідношень (2), значення коефіцієнтів  ${}_i k_{\text{XX}}$  можуть бути однаковими лише у випадку, коли кількісно сольовий склад води з точністю до постійного множника співпадає з величинами у правих частинах рівнянь (2). Для випадку природних вод така ситуація є мало імовірною. При розведенні знесоленою водою природної води, хімічний склад якої є багатокомпонентною системою, відбувається зменшення початкових концентрацій показників безпеки і якості та компонент критерію повноцінності кратне ступеню розведення. Тому, як правило, коефіцієнти  ${}_i k_{\text{XX}}$  для реальних вод різняться між собою. Це означає, що при розведенні води з багатокомпонентним вмістом солей слід встановити величину оптимального по групі показників коефіцієнта ДРК  ${}_i k_{\text{ср}}$ . Критерій його встановлення доцільно, як і раніше, визначити як мінімізацію суми квадратів відхилень коефіцієнтів  ${}_i k_{\text{XX}}$  від значення  ${}_i k_{\text{ср}}$ . При такій умові значення  ${}_i k_{\text{ср}}$  буде визначатись як середнє по групі показників. Таким чином ,для  ${}_i k_{\text{ср}}$  можна записати:

$${}_i k_{\text{ср}} = (1/ m) \cdot ( {}_i k_{\text{Na}} + {}_i k_{\text{K}} + {}_i k_{\text{J}} + {}_i k_{\text{Ca}} + {}_i k_{\text{Mg}} + {}_i k_{\text{ФТ}} + {}_i k_{\text{СЗ}} + {}_i k_{\text{ЖЗ}} + {}_i k_{\text{ЛЗ}} ) \quad (3)$$

У рівнянні (3)  $m$  – число компонент критерію повноцінності. Як і раніше, оптимальне значення коефіцієнту розведення  ${}_i d_{\text{ср}}$  визначається як  ${}_i d_{\text{ср}} = 1 / {}_i k_{\text{ср}}$ . Зазначимо, що для реальної природної води число  $m$  визначається кількістю компонент, які за результатами фізико-хімічного аналізу наявні у воді з достатньо високою концентрацією. Компоненти критерію, які присутні у воді в незначних кількостях, на етапі

розрахунку не враховуються. Їх вміст, при необхідності, добавляється у воду на етапі її підготовки до споживання.

Практичним надбанням теорії зональності, зокрема гідрохімічної [6], є висновок про однорідність гідрохімічних показників на визначеній території. При виборі ознак однорідності території слід користуватись інформацією про гідрогеологічні, кліматичні та гідрологічні умови формування іонного складу підземних вод. Можливий варіант вибору – фізико-географічне районування, яке в межах невеликої території – району – забезпечує однорідність зазначених вище чинників і, як наслідок, однорідність формування іонного складу. Наявність інформації про коефіцієнти ДРК або розведення для води ряду джерел, які розташовані на території району, також може бути застосована до встановлення усередненого коефіцієнту, значення якого розраховуються на основі цих коефіцієнтів. Такий усереднений коефіцієнт стосується джерел локального водокористування на всій території. Його практичне значення є в тому, що він є орієнтиром при розробці технології покращення показників та розрахунку засобів її реалізації при підготовці води до споживання [11].

Інформація про усереднений по групі показників коефіцієнт ДРК для води з  $i$ -го джерела локального водокористування може бути доповненням до фізико-географічних ознак районування території. Вона також дозволяє більш точно оцінити потенційні можливості джерела та прогнозувати ступінь необхідності додаткової обробки води. Поряд з фіксацією місця розташування джерела, така інформація є корисною при комплексній оцінці потенціалу та розвитку території. При рішенні таких задач, поряд з характеристиками якості і безпеки води для окремих джерел водокористування, часто становлять інтерес узагальнені по території характеристики. Таким чином, визначення оптимального для сукупності джерел коефіцієнту ДРК також може вважатись практично важливою і актуальною задачею.

Розглянемо сукупність  $N$  джерел водокористування, які розташовані на визначеній за певними ознаками території. Присвоїмо кожному джерелу свій порядковий номер  $i$ , який може змінюється від 1 до  $N$ . Припустимо, що по співвідношенню (3) визначено коефіцієнти  $i k_{cp}$ . При цьому число та вид компоненти критерію повноцінності є однаковим для всіх джерел. Тоді, проведений аналогічно розгляд відхилень значень коефіцієнтів  $i k_{cp}$  від усередненого по групі джерел коефіцієнту  $K_{cp}$  приводить до справедливості рівняння:

$$K_{cp} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N i k_{cp} = \frac{1}{mN} \cdot \sum_{i=1}^N (i k_{Na} + i k_{K} + i k_{J} + i k_{Ca} + i k_{Mg} + i k_{Fe} + i k_{S3} + i k_{ЖЗ} + i k_{ЛЗ}) \quad (4)$$

Наведені вище співвідношення застосовано в розрахунках коефіцієнтів для реальних джерел локального водокористування. В якості прикладу використано результати досліджень складу води у прикордонній зоні Чернівецької області [10]. Для аналізу вибрані джерела, шахтні колодязі (ш.к.) і свердловини, які розташовані в межах Передкарпатської височинної області вздовж лінії державного кордону. В таблиці 1, для випадку 7 джерел, представлено результати аналізу складу води за суттєво наявними показниками, які є компонентами критерію повноцінності.

Перейдемо до аналізу відповідності результатів стосовно ДРК групи показників критерію повноцінності. З даних таблиці 1 випливає, що концентрація катіонів Na, Ca, Mg, а також СЗ і ЖЗ в ряді зразків води перевищує регламентовані для цих показників в НД значення. По наведеним в таблиці 1 концентраціям з використанням співвідношень (2), (3) і (4) розраховані коефіцієнти  $i k_{xx}$ ,  $i k_{cp}$  та  $K_{cp}$ . Результати представлені в таблиці 2. Там же подано результати розрахунку величин  $k_{xx} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N i k_{xx}$  по кожному із 5 наявних компонент критерію повноцінності. Величина  $k_{xx}$  є коефіцієнтом ДРК по показнику ХХ, який є оптимальним для сукупності джерел. Середнє значення

Таблиця 1

**Значення деяких показників хімічного складу у воді колодязів та свердловин, які розташовані в межах зазначених населених пунктів**

№№ ч/ч	Населений пункт	Вид джерела	Вид показника				
			Натрій, мг/дм <sup>3</sup>	Кальцій, мг/дм <sup>3</sup>	Магній, мг/дм <sup>3</sup>	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	Жорсткість загальна, ммоль/дм <sup>3</sup>
1	Н. Петрівці	ш.к.	8	48	19	220	4,0
2	Б. Криниця	ш.к.	65	68	73	638	9,4
3	Н. Вовчинець	ш.к.	11	90	52	500	8,8
4	Порубне	ш.к.	18	120	15	480	7,2
5	Н. Синівці	ш.к.	98	80	49	700	8,0
6	Герца	свердл.	70	72	70	676	9,4
7	Куликівка	ш.к.	3	124	46	497	10,0

Таблиця 2

**Значення коефіцієнтів ДРК для різних показників і джерел**

Населений пункт	Знасення коефіцієнтів $i k_{XX}$ , $i k_{cp}$ для різних показників					
	$i k_{Na}$	$i k_{Ca}$	$i k_{Mg}$	$i k_{C3}$	$i k_{жз}$	$i k_{cp}$
Н.Петрівці	1,3750	1,0417	1,5789	1,5909	1,0625	1,3298
Б. Криниця	0,1692	0,7353	0,4110	0,5486	0,4521	0,4632
Н. Вовчинець	1,0000	0,5555	0,5769	0,7000	0,4830	0,8695
Порубне	0,5111	0,4166	2,0000	0,7292	0,5903	0,6631
Н. Синівці	0,1122	0,6250	0,6122	0,5000	0,5313	0,4761
Герца	0,1571	0,6944	0,4286	0,5178	0,4521	0,4500
Куликівка	3,6666	0,4032	0,6522	0,7042	0,4250	1,1703
Коефіцієнти $k_{XX}$ , $K_{cp}$	$k_{Na} = 1,0130$	$k_{Ca} = 0,6388$	$k_{Mg} = 0,8943$	$k_{C3} = 0,7558$	$k_{жз} = 0,5709$	$K_{cp} = 0,7831$

між всіма коефіцієнтами  $k_{XX}$ , а саме в розглянутому випадку величина  $K'_{cp} = (1/5) (k_{Na} + k_{Ca} + k_{Mg} + k_{C3} + k_{жз})$  теоретично повинна бути тотожною коефіцієнту  $K_{cp}$ .

Встановлене значення  $K'_{cp} = 0,7746$  не дорівнює точно розрахованій величині  $K_{cp}$ . Це пов'язано з процедурою заокруглення в процесі проведення розрахунків. Тому, за усереднене по всім джерелам та показникам критерію повноцінності значення коефіцієнту ДРК  $K_{opt}$  для подальшого застосування будемо використовувати середнє між ними значення, а саме  $K_{opt} = 0,5 \cdot (K_{cp} + K'_{cp}) = 0,7788$ .

Проведемо частотний аналіз даних з таблиці 1. Величини концентрацій представимо у вигляді гістограм частотного їх розподілу по вузьким діапазнам. Виберемо  $F$  рівновеликих діапазонів в межах відхилень показників  $C_{max} - C_{min}$ , де  $C_{max}$ ,  $C_{min}$  - відповідно максимальне та мінімальне значення ДРК показника  $XX$  для сукупності джерел. Координати точок переходу між діапазнами становлять величини  $C_{min} + (C_{max} - C_{min}) / F$ ,  $C_{min} + 2 \cdot (C_{max} - C_{min}) / F$ ,  $C_{min} + 3 \cdot (C_{max} - C_{min}) / F$  і так далі до  $C_{min} + (F-1) \cdot (C_{max} - C_{min}) / F$ . Для побудови гістограми значення концентрації показника

XX з табл.1 необхідно співставити з концентрацією в діапазонах. В результаті визначається діапазон, в якому відхилення від меж є мінімальним. В такому випадку вважається, що значення концентрації показника попадає в межі цього діапазону. При співпадінні визначеної величини концентрації з межею діапазону (окрім  $C_{max}$ ) результат трактується в сторону більших значень його одиниць вимірювання. Число попадань  $q_{XX}$  визначає висоту гістограми. При співпадінні визначених концентрацій з  $C_{max}$  вони вважаються приналежними до останнього діапазону.

Представлення у вигляді гістограм результатів вимірювання у воді концентрації компонент критерію повноцінності спрощує розрахунок коефіцієнтів ДРК. При цьому значення коефіцієнтів  $k_{XX}$  визначається для кожної компоненти з використанням рівнянь (2). За величину концентрації компоненти береться концентрація  $C^*_{XX}$ , яка відповідає середині діапазону. Позначимо через  $1q_{XX}, 2q_{XX}, 3q_{XX}, \dots, F-1q_{XX}, Fq_{XX}$  число попадань в 1-й, 2-й, 3-й, та (F-1)-й і F-й діапазони. Також припустимо, що в їх середніх точках концентрація становить відповідно  $1C^*_{XX}, 2C^*_{XX}, 3C^*_{XX}, F-1C^*_{XX}, FC^*_{XX}$ . Тоді, для компоненти XX можна розрахувати коефіцієнт  $k^*_{XX}$ , який за фізичним змістом є тотожним коефіцієнту  $k_{XX}$ , але має інше числове значення. Для розрахунку  $k^*_{XX}$  слід застосувати рівняння:

$$k^*_{XX} = \frac{U_{XX}}{N} \left( \frac{1q_{XX}}{1C^*_{XX}} + \frac{2q_{XX}}{2C^*_{XX}} + \frac{3q_{XX}}{3C^*_{XX}} + \dots + \frac{F-1q_{XX}}{F-1C^*_{XX}} + \frac{Fq_{XX}}{FC^*_{XX}} \right) \quad (5)$$

Рівняння (5) за результатами визначення концентрацій з гістограм та зазначеної вище величини  $U_{XX}$ , визначає коефіцієнти для різних компонент критерію повноцінності. За даними про значення  $k^*_{XX}$ , шляхом розрахунку середнього між ними значення, встановлюється коефіцієнт  $K^*_{cp}$ , значення якого при великій кількості N наближається до значення  $K_{opt}$ . Представлений алгоритм використано для встановлення коефіцієнтів  $k^*_{Na}$ ,  $k^*_{Ca}$ ,  $k^*_{Mg}$ ,  $k^*_{C3}$ ,  $k^*_{Ж3}$  та  $K^*_{cp}$  по експериментальним даним з таблиці 1. Розраховані при варіації F від 4 до 10 їх значення наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Значення усереднених по групі джерел коефіцієнтів ДРК компонент  $k^*_{XX}$  та їх відносні відхилення  $\Psi$  при різній кількості інтервалів гістограми F.**

F	Коефіцієнти $k^*_{XX}$ та $K^*_{cp}$						$\Psi$
	$k^*_{Na}$	$k^*_{Ca}$	$k^*_{Mg}$	$k^*_{C3}$	$k^*_{Ж3}$	$K^*_{cp}$	
4	0,4912	0,6039	0,7665	0,7014	0,5356	0,6197	20,43
5	0,5658	0,6191	0,8161	0,7328	0,5511	0,6570	15,64
6	0,6401	0,6332	0,8213	0,7196	0,5505	0,6729	13,60
8	0,6719	0,6209	0,8418	0,7373	0,5539	0,6852	12,02
10	0,7617	0,6227	0,8652	0,7422	0,5503	0,7084	9,04

В таблиці 3 також для різних величин F представлена інформація про відносну величину відхилень значень усереднених коефіцієнтів ДРК  $K^*_{cp}$  від коефіцієнту  $K_{opt}$ , а саме:  $\Psi = (K_{opt} - K^*_{cp}) / K_{opt}$ . Дані про величину  $\Psi$  та коефіцієнти  $K^*_{cp}$  свідчать, що різниця між коефіцієнтами  $(K_{opt} - K^*_{cp})$  зменшується при рості числа інтервалів F. Величина  $\Psi$ , яка за фізичним змістом є відносною похибкою визначення коефіцієнту  $K^*_{cp}$ , показує, що число інтервалів в межах 8 – 10 забезпечує відносне відхилення між коефіцієнтами  $K_{opt}$  та  $K^*_{cp}$  в межах 9–12 відсотків. Збільшення числа інтервалів F приведе до зменшення значення  $\Psi$ , але при цьому перевага представлення результатів вимірювання у вигляді гістограми буде доцільно лише при збільшенні числа джерел водокористування N. Таким чином, розрахунок величини  $\Psi$  дозволяє, по заданому її значенню, визначити мінімальну кількість інтервалів F, при якій може бути забезпечено

коректність застосування частотного представлення показників безпеки і якості та їх використання при розрахунках.

Розглянемо для  $i$ -го джерела значення концентрації компонент  ${}^{PB}_i C_{XX}$ , яка встановлюється у природній воді після її розведення. Стандартне визначення коефіцієнту розведення  ${}_i d$  - це відношення кінцевого об'єму  ${}_i V_K$  до початкового об'єму  ${}_i V_P$  води, тобто  ${}_i d = {}_i V_K / {}_i V_P$ . Тоді, при збереженні у воді маси розчинених солей, можна записати рівняння  ${}^{PB}_i C_{XX} \cdot {}_i d = {}_i C_{XX}$ . Враховуючи фізичний зміст коефіцієнту  ${}_i k_{XX}$  та наведений раніше його зв'язок з коефіцієнтом  ${}_i d_{XX}$ , а також лінійність зв'язків між коефіцієнтами  ${}_i k_{CP}$ ,  $K_{opt}$ ,  $K^*_{CP}$  у рівняннях (2) – (5), можна визначити концентрацію у розведеній воді для  $i$ -го джерела трьома варіантами розрахунку за наступними рівняннями:

$${}^{PB}_i C_{XX} = {}_i k_{CP} \cdot {}_i C_{XX}, \quad {}^{PB}_i C_{XX} = K_{opt} \cdot {}_i C_{XX}, \quad {}^{PB}_i C_{XX} = K^*_{CP} \cdot {}_i C_{XX} \quad (6)$$

Формули (6) встановлюють зв'язок між величиною концентрації компонент критерію повноцінності до і після розведення води. В таблиці 4 представлені результати трьох розрахунків, які проведені з використанням даних таблиць 2 і 3. Вони відповідають максимальному, проміжному і мінімальному значенню  ${}_i k_{CP}$ . Такі значення, згідно таблиці 2, спостерігаються у воді джерел, які розташовані поблизу с. Н. Петрівці, с. Н. Вовчинець та с.м.т. Герца. Величина коефіцієнту  ${}_i k_{CP}$  для цих джерел дорівнює відповідно 1,3298, 0,8695 і 0,4500. Коефіцієнти розведення визначаються як  ${}_i d_{CP} = ({}_i k_{CP})^{-1}$ , і відповідно дорівнюють 0,752, 1,150 та 2,222. Для розрахунку двох інших варіантів визначення коефіцієнту розведення, а саме:  $d_{opt} = (K_{opt})^{-1}$ , та  $d^*_{CP} = (K^*_{CP})^{-1}$  використано також значення  $K_{opt} = 0,7788$  та  $K^*_{CP} = 0,7084$ . Остання величина відповідає  $F = 10$ , що становить, можливо, близьку до мінімально доцільної, кількість інтервалів гістограми, при якій, орієнтовно, забезпечується похибка розрахунку коефіцієнтів ДРК і розведення в межах 10 відсотків.

Таблиця 4

**Значення концентрації  ${}^{PB}_i C_{XX}$  при різних величинах  ${}_i k_{CP}$ ,  $K_{opt}$ , і  $K^*_{CP}$  для води з джерел в межах населених пунктів Н. Петрівці, Н. Вовчинець та Герца.**

Населений пункт	${}_i k_{CP}$ $K_{opt}$ $K^*_{CP}$	${}_i d_{CP}$ $d_{opt}$ $d^*_{CP}$	Концентрації ${}^{PB}_i C_{XX}$ в мг/дм <sup>3</sup> , ${}^{PB}_i C_{ЖЗ}$ - в ммоль/дм <sup>3</sup>				
			${}^{PB}_i C_{Na}$ , (2-20)	${}^{PB}_i C_{Ca}$ , (25-75)	${}^{PB}_i C_{Mg}$ , (10-50)	${}^{PB}_i C_{Cз}$ , (200-500)	${}^{PB}_i C_{Жз}$ , (1,5-7,0)
Нижні Петрівці	1,3298	0,752	10,64	63,83	25,27	292,6	5,32
	0,7788	1,284	6,23	37,38	14,80	171,3	3,16
	0,7084	1,412	5,67	34,00	13,46	155,8	2,83
Нижній Вовчинець	0,8695	1,150	9,56	78,25	45,21	434,7	7,65
	0,7788	1,284	8,57	70,09	40,50	389,4	6,85
	0,7084	1,412	7,79	63,76	36,84	354,2	6,23
Герца	0,4500	2,222	31,50	32,40	31,50	304,2	4,23
	0,7788	1,284	54,52	56,07	54,52	526,5	7,32
	0,7084	1,412	49,59	51,00	49,59	478,9	6,66

Наведені в таблиці 4 дані свідчать, що для більшості розглянутих компонент критерію повноцінності розраховані значення їх концентрації в розведеній воді знаходяться в межах, або поблизу, допустимого діапазону їх варіації. Величина останнього в мг/дм<sup>3</sup> та ммоль/дм<sup>3</sup> зазначена в дужках. Тільки для компоненти Na є суттєве перевищення величини  ${}^{PB}_i C_{Na}$  допустимого значення в 1,6 – 2,7 рази в залежності від вибору виду коефіцієнта. Аналогічна ситуація спостерігається і для води з інших джерел таблиці 1 ( $i = 2$  та  $i = 5$ ), концентрація солей у воді яких є значною.

Слід зазначити, що аналіз трансформації концентрації компонент  ${}^{PB}_i C_{XX}$ , який проводився для всіх, розглянутих в таблиці 1, джерел, показує можливість застосування для розрахунку, як коефіцієнту  $K_{opt}$ , так і коефіцієнту  $K^*_{cp}$ . Якщо виконується нерівність  $K_{opt} > {}_i k_{cp}$ , то застосування  $K_{opt}$  замість  ${}_i k_{cp}$  приводить до завищення значень концентрації. В цьому випадку може спостерігатись перевищення у воді розрахованих концентрації компонент критерію повноцінності їх ДРК. Якщо  $K_{opt} < {}_i k_{cp}$ , то результат визначення  ${}^{PB}_i C_{XX}$  є заниженим. Аналогічне твердження є справедливим і по відношенню до коефіцієнту  $K^*_{cp}$ . Використання замість  $K_{opt}$  значення  $K^*_{cp}$  для випадку, коли  $K^*_{cp} > {}_i k_{cp}$ , забезпечує результат, який є більш наближеним до значення концентрації  ${}^{PB}_i C_{XX}$ , яке може бути отримано при застосуванні в розрахунках коефіцієнту ДРК  ${}_i k_{cp}$ .

**Висновки.** Отримані в роботі результати та їх порівняння з допустимими рівнями НД дозволяють висловити наступні твердження:

- Проведення корекції мінерального складу підземних вод по методу композиції дозволяє отримувати воду, показники якості якої є наближеними до показників фізіологічно повноцінної води. Комплексний підхід на основі сумісного застосування інформації про хімічний склад води підземних джерел, експериментально встановлені для неї показники безпеки і якості та їх допустимі нормативні значення, дозволив встановити алгоритм та формули розрахунку коефіцієнтів ДРК та відповідних їм коефіцієнтів розведення. У випадку визначеного хімічного складу води, розведення у відповідності до цього коефіцієнту пропорції оптимальним чином корегує показники якості. У випадку ряду джерел, усереднений коефіцієнт розведення характеризує всю їх сукупність. Основне його застосування – це визначення необхідності розведення для води з джерел локального водокористування у визначеному регіоні та встановлення орієнтовних значень пропорцій розведення в рекомендаціях по експлуатації системи підготовки води.

- Частотний аналіз експериментальних даних при визначенні хімічного складу води може застосовуватись в розрахунку параметрів корекції мінерального складу по методу композиції. Отримані співвідношення дозволяють визначити коефіцієнт, який наближено співпадає з усередненим коефіцієнтом розведення. При розбіжності їх значень до 10 відсотків, при проведенні аналізу число інтервалів між максимальним і мінімальним значеннями визначених показників безпеки і якості доцільно вибирати в межах від 8 до 10.

- Цінність роботи для практики стосується застосування її результатів у розробці та створенні систем підготовки фізіологічно повноцінної води. Їх також можна використати при прогнозуванні придатності гідроекосистем для потреб населення. Запропоновані в роботі алгоритми та співвідношення доцільно використовувати у випадках, коли дослідження складу підземних вод та встановлення коефіцієнтів розведення проводяться на репрезентативній кількості джерел. Отримані в такому випадку результати можуть знайти застосування при порівняльних оцінках гідроресурсів територій та їх гідрохімічному районуванні.

### Література

1. Адаменко О.М. Екологічна безпека збалансування ресурсокористування в Карпатському регіоні. Монографія / О.М. Адаменко, Я. О. Адаменко, Л.М. Архипова та ін. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2013. – 368 с.
2. Брюховецька І.В. Дослідження якості води окремих природних джерел Львівщини / І.В. Брюховецька., З.О. Гутович // Зб. наук. праць Подільського держ. аграрно-техн. ун-ту. Спец. випуск до VII наук.-практ. конф. “Сучасні проблеми збалансованого природокористування. – Кам'янець-Подільський: Подільський держ. аграр.-техн. ун-т. - 2012.- С. 68 - 70.
3. Води мінеральні питні. Технічні умови. ДСТУ 878 – 93. – [Чинний від 1995. 01.01].- К.: Держспоживстандарт України, 1994. - 88 с.



4. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10.– [Чинний від 2010–07–01].- [ Електронний ресурс], Режим доступу <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>
5. Горев Л.Н. Региональная гидрохимия: Уч-е пособие / Л.Н. Горев, А.М. Никифоров. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1989.- 280 с.
6. Горев Л.М. Гідрохімія України: Підручник / Л.М. Горев, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський. - К.: Вища шк., 1995.- 307 с.
7. Гуцуляк В.М. Ландшафти Чернівецької області та їх геохімічні особливості: Монографія./ В.М. Гуцуляк. – Чернівці: Чернівецький нац. ун.-т, 2012. – 144 с.
8. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений в 3-х томах. Т 2. Очистка и кондиционирование природных вод / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. – М.: Из – во АСВ, 2004. – 496 с.
9. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленности и бытового использования : Монография / Б.Е. Рябчиков. - М.: ДеЛи принт, 2004. – 328 с.
10. Сінченко В.Г. Деякі результати моніторингу фізико-хімічного складу, показників токсичної та радіаційної дії у воді з колодязів і свердловин в прикордонній зоні Чернівецької області / В.Г. Сінченко, Г.П. Тарасенко, М.М. Тураш, Л.В. Хрикова // Зб. наук. праць Подільського держ. аграрно-технічного ун-ту. Спец. випуск до ІХ науково-практичної конф. “Сучасні проблеми збалансованого природокористування”. – Кам’янець-Подільський: Подільський держ. аграрно - техн. ун-т, 2014. - С. 119-123.
11. Тугай А.М. Водопостачання: Підручник / А.М. Тугай, В.О. Орлов. – К.: Знання, 2009. – 735 с.
12. Фрог Б.Н. Водоподготовка: Уч-е пособие для вузов / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко.- М.: Из-во МГУ, 1996. - 680 с.
13. Шевчук Ю.Ф. Якість питної води в системі джерело - споживач: Навч. посібник / Ю.Ф. Шевчук, В.Г. Явкін, А.Ю. Шевчук. - Чернівці: Чернівецький нац. ун.-т, 2013. – 152с.

*Поступила в редакцію 24 грудня 2014 р.*

*Рекомендувала до друку д.т.н. Л.М. Архипова*

УДК 502.51+504.4+556.166

**Пернеровська С.В.**

*Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

## **ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ, ЯК ОСНОВНОГО ПАРАМЕТРУ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ГІДРОЕКОСИСТЕМИ**

Розроблено та обґрунтовано необхідність визначення гідроекологічного ризику, як запоруки сталого розвитку гідроекосистеми та інструменту адаптації до кліматичних змін. Проаналізовано ряд статистичної інформації, за рахунок чого встановлено аналогії між проходженням паводку в різних часових діапазонах та наведено підстави для впровадження методу басейнового підходу до визначення ризику водозабезпечення. Також обґрунтовано і описано сам метод, через призму екологічної безпеки гідроекосистеми. Доведено актуальність даної проблеми та наведено перспективи та напрями її вивчення.

**Ключові слова:** гідроекологічний ризик, гідроекосистема, сталий розвиток, водозабезпечення, паводок, кліматичні зміни, гідрометеорологічні явища