

УДК 550.4:556.3:628.1:614  
DOI <https://doi.org/10.30970/vgl.40.13>

## РОЛЬ ВОДНОГО ЧИННИКА У ФОРМУВАННІ ЗДОРОВ'Я СПОЖИВАЧІВ ПІДЗЕМНИХ ВОД ТА БІОГЕОХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЇХ ЯКОСТІ

Тетяна Кошлякова <https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка  
НАН України, проспект Академіка Палладіна, 34, Київ, Україна, 03142  
e-mail: [tatianakoshliakova@gmail.com](mailto:tatianakoshliakova@gmail.com)*

Стаття присвячена аналізу ролі водного чинника у формуванні здоров'я населення, що споживає підземні питні води, з акцентом на біогеохімічні критерії оцінки їх якості та екологічної безпеки. Актуальність дослідження зумовлена зростанням антропогенного навантаження на водні ресурси та необхідністю переосмислення традиційних підходів до нормування хімічного складу питної води з позицій довготривалого впливу на здоров'я людини. Показано, що чинна система оцінки якості води, заснована переважно на порівнянні концентрацій компонентів з гранично допустимими значеннями, є формалізованою та не враховує пролонговану дію мікроелементів, їх антагоністичні й синергічні ефекти, а також форми міграції хімічних елементів у водному середовищі.

На основі огляду вітчизняних і зарубіжних наукових публікацій проаналізовано сучасні підходи до оцінювання ризику для здоров'я людини, пов'язаного зі споживанням підземних вод різного хімічного складу, зокрема методи потенційного та реального екологічного ризику, розрахунок неканцерогенних токсичних ефектів і коефіцієнтів небезпеки. Особливу увагу приділено біогеохімічній індикації як інструменту виявлення мікроелементозів і геохімічних ендемій, що ґрунтується на аналізі взаємозв'язків між хімічним складом вод, біокосних систем і реакціями живих організмів.

Обґрунтовано доцільність використання біогеохімічних критеріїв у системі моніторингу якості питних підземних вод, які дозволяють оцінювати екологічний стан територій за градаціями «норма – ризик – криза». Показано, що застосування сучасних високочутливих аналітичних методів, термодинамічного моделювання та інтеграції гідрогеохімічних, токсикологічних і епідеміологічних даних створює наукове підґрунтя для об'єктивної оцінки впливу питної води на здоров'я населення та розробки превентивних заходів.

*Ключові слова:* підземні води, біогеохімія, мікроелементози, геохімічні ендемії, екологічний ризик.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Збалансованість мінерального складу питної води розглядається не лише як критерій її якості, а й як один із визначальних чинників впливу на стан здоров'я населення [8]. Підтримання стабільного хімічного складу організму людини є базовою передумовою його повноцінного функціонування. Порушення оптимального вмісту макро- та мікроелементів, спричинене фізико-географічними, антропогенними та іншими чинниками, призводить до розладів гомеостазу. До групи екологічно обумовлених захворювань відносять біогеохімічні ендемії, або мікроелементози, що проявляються у вигляді патологічних станів, зумовлених дефіцитом, надлишком чи дисбалансом мікроелементів в організмі.

За умов перманентно зростаючого техногенного забруднення поверхневих водних джерел, усе більшу роль відіграють саме підземні води, які мають ряд біогеохімічних переваг з точки зору питно-господарського водопостачання. Як стверджує В.М. Шестопалов та Н.Б. Овчиннікова [9], особлива роль підземних вод для задоволення питних потреб пояснюється тим, що вони мають цілий ряд переваг перед поверхневими водами: краще захищені від забруднення і випаровування, більш якісні, їх запаси меншою мірою залежать від сезонних і багаторічних змін клімату, у багатьох випадках їх можна отримати поблизу споживача. При цьому особливого значення набувають процеси сорбції забруднюючих хімічних сполук крізь умовно водонепроникні породи, що розділяють водоносні горизонти один від одного, а також уповільнені темпи водообміну (у порівнянні з поверхневими водними джерелами). В умовах глобального потепління для посушливих районів підземні води стають необхідним стратегічним запасом прісної питної води. Крім того, вони не залежать від нерівномірності живлення по площі.

Проблематиці забруднення підземних питних вод, а також впливу дефіциту чи надлишку мікроелементів на стан здоров'я населення, яке їх споживає, присвячено значну кількість вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень. У світовій науковій практиці спостерігається зростання уваги до питань нормування мінерального складу питної води та прогнозування його впливу на здоров'я людини [5]. Відомості про можливі патологічні зміни в організмі людини, зумовлені як надлишком, так і недостатнім вмістом есенційних (біологічно значущих) елементів, підкреслюють необхідність урахування цих чинників під час оцінювання та прогнозування відповідних ризиків.

В.М. Шестопалов і Н.Б. Овчиннікова [3] зазначають, що на сучасному етапі розвитку науки відсутня повністю обґрунтована відповідь на питання щодо впливу на здоров'я людини навіть тієї частини хімічного складу води, яка представлена неорганічними компонентами природного походження. Автори вказують, що однією з ключових причин цього є обмеженість традиційного хімічного аналізу, в межах якого оцінюється лише вміст основних іонів без урахування їхніх форм існування та комплексних сполук. Науковці підкреслюють, що реакція організму людини визначається не загальним вмістом окремого іона, а концентрацією конкретної хімічної форми речовини. У зв'язку з цим для коректного розуміння впливу питної води на організм людини, а також для оцінювання потенційних ризиків і довгострокових наслідків для здоров'я населення та майбутніх поколінь за умов тривалого споживання води певного складу, необхідно максимально точно характеризувати її хімічний склад, а не обмежуватися наближеними оцінками [3].

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** З огляду на природну мінливість кількісного й якісного складу питної води, застосування виключно лінійних методів апроксимації для встановлення взаємозв'язку між показниками захворюваності населення та якістю питної води є малоефективним і методологічно необґрунтованим [9]. У зв'язку з цим актуальним є перехід від чинної системи оцінювання якості питної води за бінарним принципом «відповідає – не відповідає» до підходів, що дають змогу визначати кількісні та/або якісні критерії шкідливого впливу на здоров'я населення, зумовленого екологічним станом джерел питного водопостачання.

На сучасному етапі фізичні та хімічні методи екологічного моніторингу переважно ґрунтуються на зіставленні фактичних рівнів забруднення компонентів природно-територіальних комплексів із встановленими гранично допустимими концентраціями [3]. Водночас чинна нормативна система не забезпечує належного рівня екологічної безпеки, оскільки не гарантує ефективного захисту довкілля від негативного впливу чинників як природного, так і антропогенного походження.

До основних недоліків системи гранично допустимих концентрацій належать неможливість оцінювання вторинних ефектів і пролонгованої дії забруднювальних речовин на живі організми, ігнорування послаблювального або, навпаки, підсилювального впливу природних факторів, а також неврахування антагоністичних і синергічних взаємодій між політантами. Крім того, навіть за високої інформативності результатів ідентифікації забруднених територій застосування таких підходів характеризується значною трудомісткістю та високою вартістю досліджень. У зв'язку з цим доцільно надавати перевагу методам біоіндикації, які дозволяють безпосередньо фіксувати реакції живих організмів на дію різних екологічних чинників.

Наразі активно формується новий напрям геохімічної науки – геохімія людини [3], що орієнтований на встановлення взаємозв'язків між хімічним складом органів і тканин населення окремих територій та геохімічними умовами їх проживання. Розв'язання цієї проблеми потребує не лише накопичення емпіричних даних щодо елементного складу організму людини, але й проведення науково обґрунтованої класифікації хімічних елементів, визначення закономірностей їх міграції та розподілу в різних природних середовищах і функціональних системах організму.

**Мета** представленої роботи полягає в узагальненні та критичному аналізі сучасних підходів до оцінки впливу хімічного складу питних підземних вод на здоров'я людини, обґрунтуванні доцільності застосування біогеохімічних критеріїв і ризик-орієнтованих методів у системі моніторингу їх якості, а також у визначенні наукових передумов для вдосконалення оцінки екологічної безпеки питного водопостачання з урахуванням довготривалої дії мікроелементів.

**Виклад основного матеріалу.** Серед різноманітних методів біоіндикації особливе місце посідає біогеохімічний підхід, який передбачає контроль міграції макро- та мікроелементів, а також визначення рівнів їх вмісту в компонентах довкілля й живих організмах із подальшим зіставленням отриманих показників із критичними концентраціями, чинними нормативами та оціночними критеріями.

Біогеохімічна індикація ґрунтується на моніторингу змін елементного хімічного складу та інших параметрів біологічних об'єктів і систем за різних екологічних станів і варіацій умов середовища існування організмів (рис. 1).



Рис. 1. Біогеохімічна індикація за [4]: БГХ – біогеохімічний, МЕ – мікроелемент, Кб – коефіцієнт біологічного поглинання

Під час діагностики мікроелементозів, ідентифікації біогеохімічних провінцій та екологічно неблагодолучних територій фахівці дедалі частіше застосовують інтегровані системні підходи до досліджень. Такі підходи передбачають аналіз специфічних патологічних проявів, використання комплексу морфологічних тестів, у тому числі для оцінювання дії токсикантів, а також проведення цитогенетичних досліджень. У зв'язку з цим значення комплексного вивчення впливу геохімічних та інших чинників у межах біогеохімічних провінцій і так званих фонових територій неухильно зростає.

З огляду на провідну роль біогеохімічних циклів в екосистемах, які об'єднують усі їх компоненти в єдину функціональну систему внаслідок біогенної міграції хімічних елементів і трансформації енергії, біогеохімічний підхід до оцінювання екологічного стану територій є ефективним інструментом для виявлення зон підвищеного ризику, екологічного неблагодолуччя та кризових станів. В основі біогеохімічних критеріїв лежить еколого-біогеохімічна концепція залежності життєдіяльності організмів від концентрацій, співвідношень і форм міграції хімічних елементів у навколишньому середовищі. Ця концепція базується на комплексному аналізі даних про хімічний склад організмів і біокосних систем, критичні рівні мікроелементів, токсикологічні та гігієнічні характеристики, а також на фактах існування патологічних реакцій організмів, зумовлених як надлишком, так і дефіцитом біологічно активних хімічних елементів та їх сполук [3].

Біогеохімічна індикація мікроелементозів переважно базується на встановленні взаємозв'язків між живими організмами та середовищем їх існування через аналіз хімічного елементного складу [3]. Характерні особливості елементного складу біокосних систем і тканин живих організмів є основою для формування критеріїв біогеохімічної оцінки ризику розвитку мікроелементозів. Хоча цей чинник належить до визначальних, його інтерпретація має ґрунтуватися на чітко встановлених причинно-наслідкових зв'язках з біологічними об'єктами. Відповідно, рівні вмісту біологічно активних макро- та мікроелементів у компонентах довкілля, зокрема у водному середовищі, є важливим індикатором біогеохімічного благополуччя територій.

У зв'язку з браком науково обґрунтованих критеріїв оцінювання функціонування ендемічних біогеоценозів актуальним є проведення досліджень, спрямованих на визначення ключових біогеохімічних параметрів, зокрема концентрацій і співвідношень біологічно активних мікроелементів, їх потоків у межах екосистем, показників добового надходження, детального аналізу біогеохімічних трофічних ланцюгів та коефіцієнтів переходу мікроелементів між компонентами середовища [3]. При цьому особливу увагу доцільно приділяти ранжуванню біогеохімічних показників і критеріїв залежно від ступеня прояву ендемічних захворювань, характеру взаємодії мікроелементів у процесах їх міграції в навколишньому середовищі та живих організмах, а також питанням корекції мікроелементозів і біогеохімічного прогнозування стану ендемічних територій.

Застосування науково обґрунтованої системи критеріїв і параметрів у процесі моніторингу мікроелементозів дає змогу отримувати достовірну та об'єктивну інформацію про екологічний стан територій, особливості хімічного складу організмів і середовища їх існування з метою ухвалення своєчасних та ефективних профілактичних рішень. За наявності репрезентативних даних щодо живої речовини та вмісту мікроелементів відкривається можливість створення відповідних геоінформаційних систем і здійснення біогеохімічного моделювання процесів, що відбуваються в межах природно-техногенних комплексів. Водночас реакції організмів на дію екстремальних геохімічних чинників залишаються недостатньо вивченими, а в сучасній медичній практиці під час аналізу патологій людини переважає оцінка загальної захворюваності, тоді як специфічна діагностика мікроелементозів застосовується вкрай обмежено.

З огляду на значну варіабельність елементного складу умовно здорових організмів та його співвідношення з патологічними станами, залишається складним завданням ранжування концентраційного чинника відповідно до рівнів екологічного стану території, таких як норма, зона ризику або кризовий стан.

Протягом останніх десятиліть відслідковування актуальних ризиків стало невід'ємною частиною будь-якої галузі [2]. З-поміж ризиків, що нині викликають найбільшу стурбованість суспільства центральне місце займає екологічний. Ризик є комплексним і охоплює дуже широкий спектр проблем, що обумовлено значним переліком негативних впливів на хід функціонування природних систем. З цих причин, вміння ідентифікувати та чітко конкретизувати нагальні виклики й будь-які інформаційні прогалини відносно досліджуваних об'єктів є вкрай необхідними, як для проведення аналізу поточного, так і прогнозування майбутнього сценарію розвитку подій в рамках локального чи національного масштабів. Іншими словами, проведення якісної оцінки є обов'язковою складовою ефективного управління екологічними ризиками та їх стримування на прийнятних рівнях.

Розроблення та впровадження системних підходів до аналізу стану екологічних систем на сучасному етапі є одним із пріоритетних наукових завдань. Провідне місце в цьому контексті посідають методи оцінювання ризику, що зумовлено вимогами чинного законодавства у сфері техногенної й екологічної безпеки, яке передбачає обов'язковість проведення ризик-аналізу. Нині в більшості країн світу загальновизнані підходи до оцінки ризиків широко застосовуються в різних напрямках моніторингу довкілля, зокрема екологічному, соціально-гігієнічному, кризовому та інших.

У цьому сенсі методологію оцінювання ризику доцільно розглядати як один із ключових системоутворювальних компонентів моніторингу навколишнього природного середовища. Загальноприйнята шкала оцінки екологічного ризику ґрунтується на кількісному вимірюванні ступеня прояву ризику, пов'язаного з певними видами діяльності, де під ризиком розуміють сукупність таких показників, як масштаб можливих збитків від небажаних подій і явищ (економічні втрати, рівень захворюваності, травматизм, смертність тощо) та ймовірність їх виникнення. У наукових дослідженнях екологічний ризик також трактується як ймовірність настання несприятливих наслідків для довкілля, зокрема змін стану природних об'єктів і чинників [3]. Загалом ризик визначають як кількісно виражену ймовірність виникнення надзвичайних подій упродовж заданого часового інтервалу.

У сучасному світі аналіз ризику для здоров'я населення з суто практичного інструменту, розробленого для прийняття управлінських рішень, трансформувався в один із найважливіших елементів оцінки не тільки несприятливого впливу та гігієнічного нормування факторів довкілля, але й екології, як інтегрованої, міждисциплінарної науки, що вивчає взаємозв'язки людини з середовищем існування [2].

З метою визначення ступеня екологічного ризику для здоров'я людини науковці пропонують застосовувати біогеохімічні критерії, в основу яких покладені результати епідеміологічних, санітарно-гігієнічних та біогеохімічних досліджень [3]. Перевагою цих критеріїв є те, що вони носять системний характер. Визначення граничних (критичних) концентрацій хімічних елементів та біогеохімічна модель гомеостазу лежать в основі еколого-біогеохімічних критеріїв, які представлені графічно на рис. 2. Дана схема відображає загальний закон розподілу, відомий в екології під назвою закону мінімуму Ю. Лібіха або закону біологічної резистентності Ламотта.

У медико-науковому контексті поняття ризику щодо здоров'я людини сформувалося в середині ХХ століття. Сучасні трактування цього терміна, як і спроби його теоретичного обґрунтування, мають певною мірою умовний характер. Водночас ризик доцільно розуміти як ймовірність виникнення несприятливих або негативних ефектів у окремій особи чи групи

населення за умови впливу визначеної дози або концентрації небезпечного чинника в конкретних умовах [6]. В англійській науковій літературі традиційно розмежують поняття ризику для здоров'я людини (human health risk) та ризику порушення стану природного навколишнього середовища (environmental risk). Натомість у вітчизняних дослідженнях ці категорії зазвичай об'єднують під узагальнювальним терміном «екологічний ризик», що зумовлено орієнтацією оцінки стану довкілля передусім на його вплив на здоров'я та благополуччя людини. Згідно [4], екологічний ризик можна розглядати у двох аспектах: потенційному та реальному. Проте при оцінюванні екологічної безпеки питного водопостачання перевагу слід надавати потенційному екологічному ризику. З цих позицій Д.О. Крисінська та Л.П. Клименко пропонують застосовувати ризик-орієнтовані методи [4].

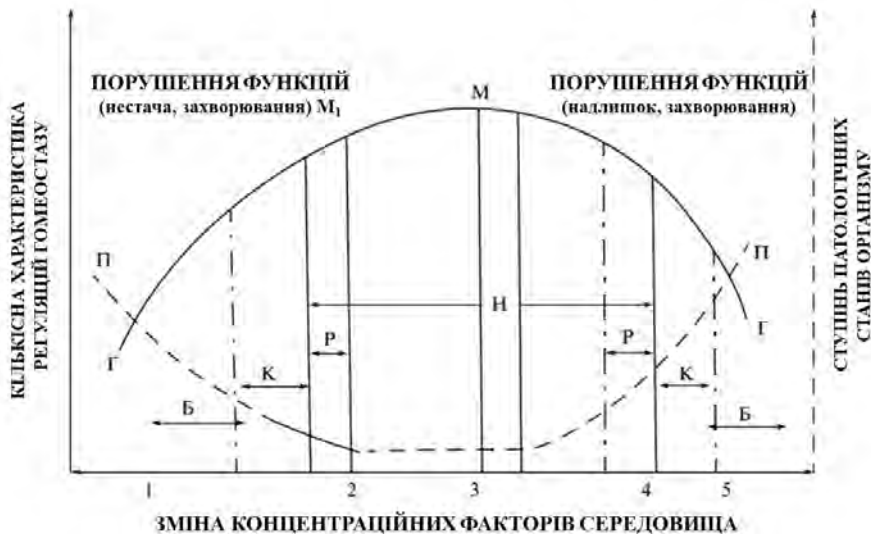


Рис. 2. Залежність регуляторних фізіологічних функцій організму (Г) та ступеня його патологічних станів (П) від концентраційних факторів середовища за [3]: 1 – стан нестачі хімічних елементів; 2 – нижня критична (гранична) концентрація (межа), 3 – інтервал нормальних концентрацій (смість гомеостазу, що відповідає відносно задовільному екологічному стану середовища (Н); 4 – верхня критична (гранична) концентрація; 5 – умови надлишку хімічних елементів або їх сполук; М – потенційна середня оптимальна потреба організму в хімічних елементах;  $M_1$  – ймовірне значення фізіологічної мінімальної потреби в хімічних елементах; Б, К, Р – інтервали концентрацій хімічних елементів та їх співвідношень, що відповідають зонам екологічного лиха, кризи та ризику

Автори підкреслюють, що чинна система аналізу та контролю нормованих показників якості питної води, яка базується на окремому визначенні їх концентрацій і порівнянні з установленими нормативами, не завжди є результативною, оскільки не враховує негативні наслідки для здоров'я людини, пов'язані з реалізацією потенційних ризиків, зокрема зростання захворюваності, рівня інвалідності та смертності.

Для обчислення значень екологічних ризиків авторами використано методи математичного моделювання та прогнозування з реалізацією моделей з використанням програмних комплексів Microsoft Office Excel 2013 та Curve Expert). Науковці дійшли висновку, що найефективнішим є використання методики розрахунку екологічного потенційного ризику, який є головним інструментом оцінювання екологічної безпеки.

Самі поняття «потенційний» та «реальний» екологічний ризик можна тлумачити наступним чином [3]. Потенційний екологічний ризик – це явище небезпеки порушення відносин живих організмів з навколишнім середовищем внаслідок дії природних чи антропогенних чинників. Реальний екологічний ризик утворюється потенційним з урахуванням ймовірної частоти його реалізації.

Для оцінювання потенційного ризику для здоров'я людини, пов'язаного із забрудненням питної води, Д.О. Крисінська та Л.П. Клименко пропонують використовувати модель оцінювання потенційного ризику [4]:

$$R = 1 - \exp(\ln(0,84)/MAC \cdot C_s) \cdot C_r, \quad (1)$$

де:  $R$  – ймовірність розвитку токсичних ефектів;

$C_s$  – концентрація речовини у питній воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$MAC$  – гранично допустима концентрація, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_r$  – коефіцієнт запасу (для всіх речовин – 10, для свинцю – 3, для канцерогенних речовин – 100).

Межі потенційного ризику у запропонованій методиці визначають так:

- 0-0,02 – прийнятний;
- 0,021-0,16 – задовільний;
- 0,161-0,50 – незадовільний;
- 0,51-0,84 – небезпечний;
- 0,85-1 – надзвичайно небезпечний.

У роботі [6] науковцями за формулами 2 і 3 були визначені кількісні показники ризику: середньодобова доза надходження та коефіцієнт небезпеки як показники токсичного ефекту хімічних компонентів в результаті постійного споживання підземних вод без проведення спеціальної процедури її очищення.

Середньодобова доза надходження хімічної речовини протягом всього життя людини разом з питною водою розраховується за допомогою наступної формули:

$$СДД = \frac{[C \times V \times ED \times EF]}{[BW \times AT \times 365]}, \quad (2)$$

де: СДД – середньодобова доза надходження хімічної речовини протягом життя, мг/кг×доба;

$C$  – концентрація речовини в питній воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  – величина споживання води, 2 дм<sup>3</sup>/добу;

$ED$  – тривалість впливу, 30 років;

$EF$  – частота впливу, 350 днів/рік;

$BW$  – маса тіла людини, 70 кг;

$AT$  – період усереднення експозиції, 30 років;

365 – кількість днів в одному році.

Ризик можливого розвитку неканцерогенних ефектів оцінювався за показниками коефіцієнтів небезпеки. Коефіцієнтом небезпеки (КН) є відношення впливаючої дози або концентрації хімічної речовини до його безпечного (референтного) рівня впливу. Він розраховується за такою формулою:

$$КН = \frac{СД_а}{П_о}, \quad (3)$$

де  $ПД$  – порогова (референтна) доза, мг/кг×доба.

Згідно з відповідною методологією оцінки ризику для здоров'я населення, автори [6] за вищенаведеними формулами визначали кількісні показники ризику: порогова (референтна) доза ( $ПД$ ), середньодобова доза надходження ( $СДД$ ) та коефіцієнт небезпеки як показники токсичного ефекту хімічних компонентів в результаті постійного споживання підземних вод без проведення спеціальної процедури її очищення.

При впливі компонентів, що містяться у підземній воді на одні й ті ж органи та системи організму людини найбільш вірогідним типом їх комбінованої дії є сумація. Автори [6] відмічали чітку тенденцію – води горизонтів, що залягають глибше, характеризуються меншими коефіцієнтами небезпеки зважаючи на їх більшу захищеність від потрапляння шкідливих речовин з поверхні.

Так чи інакше сучасні методи розрахунків відносного ризику для здоров'я населення тією чи іншою мірою засновані на оцінці співвідношення між «дозою» забруднювача і результируючим «ефектом», який може проявлятися у вигляді як швидких реакцій – інфекційних захворювань або гострих отруєнь (якщо дози впливу великі), так і відтермінованих, наприклад зростання захворюваності через якийсь час. З цих причин, розуміння обсягів токсичної речовини, яку в перерахунку на масу тіла можна вживати щоденно протягом всього життя без суттєвого ризику для здоров'я разом із їжею та питною водою є невід'ємним елементом у процесі оцінки ризику для здоров'я [2].

Для оцінювання впливу хімічних чинників питної води на здоров'я населення у праці [7] застосовано модель неканцерогенного ризику. Розрахунок здійснюється безпороговим методом, де ключовим параметром є індивідуальні величини безпечних доз для конкретних речовин.

$$Risk = 1 - \exp\left(-\frac{\ln(0,84)}{ГДК_3} C\right), \quad (4)$$

де  $Risk$  – імовірність розвитку неспецифічних токсичних ефектів при хронічній інтоксикації (від 0 до 1);

$C$  – середня щоденна концентрація речовини, що надходить в організм людини з питною водою протягом життя. Для оцінки ефектів, пов'язаних із тривалим впливом речовин, використовується середнє значення концентрацій за 3 роки;

ГДК – гранично допустима концентрація речовин;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, який приймається залежно від вираженої ймовірності віддалених наслідків.

Для інтерпретації результатів неканцерогенного ризику застосовують рангову шкалу, де величини понад 0,05 свідчать про наявність достовірного токсичного впливу. Оцінка сумарного ризику обмежується групами речовин односпрямованої дії. Враховуючи однотипний неспецифічний ефект компонентів питної води при малих концентраціях, загальну якість водоспоживання оцінюють за формулою (5) (якщо сумарний безпороговий ризик перевищує 0,001):

$$Risk_{\text{сум}} = 1 - (1 - Risk_1) \cdot (1 - Risk_2) \cdot \dots \cdot (1 - Risk_n), \quad (5)$$

де  $Risk_{\text{сум}}$  – ризик від комбінованого впливу речовин;

$Risk_1, Risk_2, Risk_3$  – ризики від впливу кожної окремої речовини.

При цьому, чим ближче до одиниці величина сумарного ризику, тим імовірність настання негативних наслідків буде вища.

Для прогнозування можливих наслідків споживання питної води застосовують показник скорочення тривалості життя  $LLE$  (*Loss of Life Expectancy*), розроблений Бернардом Коеном [10]. Цей параметр визначається як похідна від імовірності настання небезпечної події або впливу ( $Risk$ ) та середнього значення очікуваного залишку життя ( $L$ ):

$$LLE = Risk L, \quad (6)$$

де  $L$  – середня величина залишку життя людини, роки.

Оцінку ризику загрози здоров'ю людини внаслідок впливу порогових доз токсикантів неканцерогенного характеру проводиться відповідно методики, рекомендованої Агентством із захисту навколишнього середовища США [11]. Розраховується середньодобове надходження токсиканту з питною водою  $m$  (мг/дм<sup>3</sup>), віднесене до 1 кг маси тіла людини:

$$m = C \cdot V \cdot f \cdot T_p / P \cdot T, \quad (7)$$

де  $C$  і  $V$  – концентрації забруднювача в питній воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$V$  – інтенсивність надходження забруднювача в організм, л/добу, приймається рівною 2 літри води на добу;

$f$  – кількість днів у році, протягом яких відбувається вплив токсиканту;

$T_p$  – кількість років, протягом яких відбувається вплив токсиканту;

$P$  – середня маса тіла дорослої людини, що приймається рівною 70 кг;

$T$  – усереднений час впливу токсиканту, приймається рівним 30 років, що складає 10950 діб.

При цьому індекс небезпеки  $HQ$  (Hazard Quotient) визначається за формулою:

$$HQ = m / HD, \quad (8)$$

де  $HD$  – порогова потужність дози.

Оцінка ризику загрози здоров'ю відповідно  $HQ$  здійснюється згідно зі специфічними критеріями. Якщо в питній воді містяться кілька токсикантів, то повний індекс небезпеки  $HQ_t$  дорівнює сумі індексів небезпеки окремих токсикантів:

$$HQ_t = HQ_1 + HQ_2 + HQ_3 + \dots + HQ_n. \quad (9)$$

Якщо  $HQ_t < 1$ , то небезпеки немає – ризик загрози здоров'ю відсутній або ним можна знехтувати; якщо  $HQ_t = 1$ , це гранична величина, яка не потребує термінових заходів, однак не може розглядатися як досить прийнятна; якщо  $HQ_t > 1$  – ймовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню  $HQ_t$  [5].

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Протягом останніх кількох десятиліть оцінка ризику для здоров'я людини була одним з основних елементів охорони навколишнього середовища. Часто, результатами оцінки ризику є числові значення, отримані внаслідок токсикологічних досліджень, які виконувалися відносно умов із високими дозами окремих хімічних речовин [2]. Цей підхід суттєво сприяв розвитку розуміння явних наслідків їх впливу та приділення їм більше уваги. Процес оцінювання ризиків для здоров'я, спричинених хімічним забрудненням довкілля, ускладнюється низкою чинників. Зокрема, суттєвий вплив мають індивідуальна чутливість і неоднорідність популяції, тривалий латентний період між дією речовин та появою клінічних симптомів, а також наявність загального фонового забруднення. Усвідомлення першого – є фактором, який часто складно досягнути та включити в оцінку, а ефекти впливу, що мав місце в ранньому віці часто мають відстрочений характер. Об'єктивну оцінку ризиків часто обмежує фонове забруднення середовища. Воно здатне викривляти фонові показники здоров'я та коригувати реакцію організму на вплив конкретних хімічних агентів. Збільшення обсягів даних щодо небезпеки та впливу різного роду хімічних речовин може бути використано для кращого розуміння біологічних шляхів, які призводять до несприятливих наслідків для здоров'я. Одним із підходів, який може підвищити наше розуміння того, як хімічні речовини можуть впливати на здоров'я, є використання несприятливих результатів, пов'язуючи їх з ініціюючими ключовими подіями. В той же час інтеграція різноманітних потоків даних (наприклад, гідрогеологічних, епідеміологічних, токсикологічних та ін.) та врахування багатьох джерел і шляхів надходження впливу здатне суттєво покращити систему інформування та сприяти прийняттю більш ефективних екологічних рішень щодо охорони здоров'я.

Таким чином, встановлення впливу компонентів хімічного складу питних підземних вод на здоров'я людини є складним питанням. Для його вирішення необхідно застосовувати сучасні високочутливі аналітичні методи аналізу води, термодинамічне моделювання форм міграції хімічних елементів у водному розчині, а також науково-обґрунтовану систему критеріїв та параметрів моніторингу мікроелементозів. Цей комплексний підхід дасть можливість виявляти біогеохімічні провінції та ендемії, оцінювати реальну загрозу для здоров'я людини та обґрунтовувати необхідність розробки відповідних превентивних заходів [3].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клімкіна І. І., Грунтова В. Ю. Основи екологічної токсикології. Методичні рекомендації. Дніпропетровськ : НГУ, 2015. 44 с.
2. Кошарна С. К. Оцінювання екологічних ризиків : навч. посіб. Київ : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2023. 212 с. URL: <https://geol.univ.kiev.ua>
3. Кошлякова Т. О. Гідрогеохімія мікроелементів водоносних систем селітебних ландшафтів України: дис. ... д-ра геол. наук : 04.00.02. Київ, 2025. 337 с.
4. Крисінська Д. О., Клименко Л. П. Експериментальні дослідження якості питної води та оцінювання екологічної безпеки питного водопостачання. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. № 31. Вип. 1. С. 147–151. <https://doi.org/10.36930/40310124>
5. Мокієнко А. В. Мінеральний склад питних та мінеральних вод як фактор впливу на здоров'я населення (огляд літератури). *Вода: гігієна і екологія*. 2015. № 1–2(3). С. 50–60.
6. Прибилова В. М., Качан А. М. Хімічний склад підземних вод Харківської області як фактор ризику для здоров'я населення. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2017. Вип. 46. С. 37–45.
7. Рой І. О. Підвищення екологічної безпеки питного водопостачання шляхом інтенсифікації процесу окислення органічних речовин: дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Суми, 2017. 187 с.
8. Сафранов Т. А., Грабко Н. В., Поліщук А. А., Трохименко Г. Г. Збалансованість мінерального складу питних вод як чинник впливу на здоров'я населення міських агломерацій північно-західного Причорномор'я. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2016. № 20. С. 5–17.
9. Шестопалов В. М., Овчиннікова Н. Б. Дослідження рівноважного стану води та проблема впливу питної та мінеральної води на здоров'я людини. *Геологічний журнал*. 2017. № 358. Вип. 1. С. 23–36.
10. Bernard L. C. Risks in Perspective. *Journal of American Physicians and Surgeons*. 2003. Vol. 8. № 2. P. 50–53.
11. Kammen D. M., Hassenzaht D. M. Should We Risk It? *The Mathematical Gazette*. 2002. Vol. 86. P. 376.

## REFERENCES

1. Klimkina, I. I. & Gruntova V. Yu. (2015). *Osnovy ekolohichnoyi toksykolohiyi. Metodychni rekomendatsiyi [Basics of environmental toxicology. Guidelines]*. Dnipropetrovsk: National Mining University. [in Ukrainian].
2. Kosharna, S. K. (2023). *Otsinyuvannya ekolohichnykh ryzykiv : navchalnyy posibnyk [Assessment of environmental risks: Training manual]*. Online resource of Taras Shevchenko National University of Kyiv. URL: <https://geol.univ.kiev.ua> [in Ukrainian].
3. Koshliakova, T. O. (2025). *Hidroheokhimiya mikroelementiv vodonosnykh system selitebnykh landshaftiv Ukrayiny [Hydrogeochemistry of trace elements of aquifer systems of residential landscapes of Ukraine]*. Doctoral Dissertation: 04.00.02. Kyiv. [in Ukrainian].
4. Krysinska, D. O. & Klymenko, L. P. (2021). *Eksperymentalni doslidzhennya yakosti pytnoyi vody ta otsinyuvannya ekolohichnoyi bezpeky pytnoho vodopostachannya [Experimental studies of drinking water quality and assessment of ecological safety of drinking water supply]*. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 31 (1), 147–151. <https://doi.org/10.36930/40310124> [in Ukrainian].
5. Mokiienko, A. V. (2015). *Mineralnyy sklad pytnykh ta mineralnykh vod yak faktor vplyvu na zdorovya naseleння (ohlyad literatury) [The mineral composition of drinking and mineral waters as a factor affecting public health (literature review)]*. *Water: hygiene and ecology*, 1–2 (3), 50–60. [in Ukrainian].
6. Prybylova, V. M. & Kachan, A. M. (2017). *Khimichnyy sklad pidzemnykh vod Kharkivskoyi oblasti yak faktor ryzyku dlya zdorovya naseleння [Chemical composition of underground waters of the Kharkiv region as a risk factor for public health] // Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, 46, 37–45. [in Ukrainian].
7. Roi, I. O. (2017). *Pidvyshchennya ekolohichnoyi bezpeky pytnoho vodopostachannya shlyakhom intenyfikatsiyi protsesu okyslennya orhanichnykh rechovyn [Increasing the*

- ecological safety of drinking water supply by intensifying the process of oxidation of organic substances*]: PhD theses: 21.06.01. Sumy. [in Ukrainian].
8. Safranov, T. A., Hrabko, N. V., Polishchuk, A. A., & Trokhymenko H. H. (2016). Zbalansovanist mineralnoho skladu pytnykh vod yak chynnyk vplyvu na zdorovya naselennya miskykh ahlomeratsiy pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ya [The balance of the mineral composition of drinking water as a factor affecting the health of the population of the urban agglomerations of the northwestern Black Sea region]. *Bulletin of Odessa State Environmental University*, 20, 5–17. [in Ukrainian].
  9. Shestopalov, V. M. & Ovchynnikova, N. B. (2017). Doslidzhennya rivnovazhnoho stanu vody ta problema vplyvu pytnoyi ta mineralnoyi vody na zdorovya lyudyny [Research on the equilibrium state of water and the problem of the influence of drinking and mineral water on human health]. *Geological Journal*, 1 (358), P. 23–36. [in Ukrainian].
  10. Bernard, L. C. (2003). Risks in Perspective. *Journal of American Physicians and Surgeons*, 8 (2), P. 50–53.
  11. Kammen, D. M. & Hassenzaht, D. M. (2002). Should We Risk It? *The Mathematical Gazette*, 86, 376.

## THE IMPACT OF WATER QUALITY ON GROUNDWATER CONSUMERS' HEALTH AND BIOGEOCHEMICAL CRITERIA FOR QUALITY ASSESSMENT

**Tetiana Koshliakova**

*M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, 34, Palladina Ave., Kyiv, Ukraine, 03142  
e-mail: tatianakoshliakova@gmail.com*

This article analyzes the role of water quality in shaping the health of populations that rely on drinking groundwater. It emphasizes biogeochemical criteria for assessing the quality and environmental safety of this water. The study is particularly relevant given the increasing anthropogenic pressure on water resources and the urgent need to reassess traditional methods of regulating the chemical composition of drinking water, focusing on its long-term effects on human health.

The current water quality assessment system primarily compares individual component concentrations to maximum allowable values. However, this approach is overly simplistic, as it does not adequately account for the prolonged effects of trace elements, their antagonistic and synergistic interactions, or the ways in which chemical elements migrate within aquatic environments.

This article reviews domestic and international scientific publications to analyze modern approaches to assessing health risks associated with consuming groundwater of various chemical compositions. The methods discussed include potential and actual environmental risk assessments, evaluations of non-carcinogenic toxic effects, and calculations of hazard quotients. Special attention is given to biogeochemical indication as a tool for identifying disorders caused by trace elements and geochemical endemics. This approach analyzes the relationships between water chemical composition, biogeochemical systems, and the responses of living organisms.

The article supports the use of biogeochemical criteria within groundwater quality monitoring systems, as they allow for the assessment of the environmental status of areas based on a scale of “normal – risk – crisis.” Furthermore, the application of modern, highly sensitive analytical methods, thermodynamic modeling, and the integration of hydrogeochemical, toxicological, and epidemiological data provides a solid scientific foundation for objectively assessing the impact of drinking water on public health, as well as for developing appropriate preventive measures.

*Key words:* groundwaters, biogeochemistry, trace element diseases, geochemical endemics, environmental risk.

Дата першого надходження статті до видання: 13.01.2026  
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026  
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026