

ЛІТІЙ У ПРИРОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ТРОФІЧНОМУ ЛАНЦЮЗІ

Соболєв О. І., Петришак Р. А., Наумюк О. С.

ВСТУП

Літій за геохімічними властивостями належить до великоіонних літофільних елементів. Залежно від фізико-хімічних умов мінерало- і літогенезу літій може проявляти різні властивості, що визначає різноманіття шляхів його міграції в літосфері, гідросфері та атмосфері. Характер і форма міграції літію у природному середовищі обумовлені не тільки його хімічними властивостями, а й складною сукупністю реакцій взаємодії з різноманітними адендами підземних вод, гранулометричним і хіміко-мінералогічним складом ґрунтоутворюючих порід і ґрунтів, біогенними та техногенними процесами. Вміст літію у природних водах, ґрунтах та рослинах може коливатися в досить широких межах і залежить від багатьох чинників. Зокрема, концентрація його у підземних і поверхневих водах залежить від природного геологічного середовища, тиску, температури, метеорологічних і антропогенних факторів; у ґрунтах – від їх типу, регіону, особливостей ґрунтоутворюючих процесів, хімічного складу материнських порід, кліматичних умов та кількості органічної речовини; у рослинах – від їх видової та сортової приналежності, стадії росту самої рослини, забезпеченості ґрунтів цим елементом, форми літєвих сполук у ґрунтах (неорганічна чи органічна), здатності ґрунтів зберігати лабільні форми літію та кліматичних умов.

Аналіз фактичного вмісту літію в раціонах харчування свідчить про недостатній рівень забезпеченості організму людини цим мікроелементом, через низькі концентрації його в продуктах харчування та воді.

В Україні до цього часу не проводився комплексний екологіко-токсикологічний аналіз рівнів та закономірностей міграції літію у природному середовищі та трофічному ланцюзі. Подальші наукові дослідження з цього питання необхідні передусім для мінімізації негативних наслідків для здоров'я людей, пов'язаних з небезпечними концентраціями літію у продуктах харчування та воді окремих регіонів.

1. Історія відкриття літію

За класифікацією, що ґрунтується на біологічній ролі для живих організмів та широко використовується у біохімії та фізіології, літій

відноситься до групи умовно-есенціальних елементів^{1,2}. Проте, сьогодні він розглядається вченими як «серйозний кандидат на есенціальність»³.

Як біотичний елемент він має цікаву історію, і ця історія ще далеко не закінчена. Літій був відкритий шведським хіміком і мінералогом Юханом Августом Арфведсоном у 1817 році. Під час проведення повного аналізу мінералу петаліт $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$ у Стокгольмському університеті він виділив із нього «вогнепостійний луг досі невідомої природи» (це був гідроксид літію). Його вчитель Йенсом Якобі Берцеліус запропонував назвати його літіоном (Lithion), оскільки цей луг уперше був виявлений у «царстві» каменів (з греч. Lithos – камінь). Незабаром після відкриття, літій бу виявлений і в інших мінералах, а також у мінеральних джерелах Карлсбада, Марієнбада та Віші. Спроби А. Арфведсона виділити у чистому вигляді літій у той час не увінчалися успіхом. У 1818 році англійський хімік Гемфрі Деві отримав із «літіона» новий метал, який назвав літієм⁴. Інший англійський хімік – Вільям Томас Бранде у 1821 вперше виділив металевий літій шляхом електролізу його гідроксиду, але в незначній кількості. І тільки у 1855 році відомий німецький хімік Роберт Вільгельм Бунзен отримав металевий літій шляхом електролізу розплаву літію хлориду, у кількостях, достатніх для вивчення властивостей металу. У промисловому масштабі, літій був уперше випущений у 1923 році німецькою компанією Metallgesellschaft AG⁵.

У наступні роки вченими виконано значний обсяг робіт щодо подальшого вивчення розподілу літію у навколишньому природному середовищі, біологічної ролі та механізму дії його на живі організми.

2. Фізико-хімічні властивості літію

Одержати повне наукове уявлення щодо особливостей біоаккумуляції та біологічної дії літію на живий організм імовірно не можливо без урахування його фізико-хімічних властивостей та положення у періодичній системі хімічних елементів Д.І. Менделєєва. Літій – 3-й хімічний елемент I групи, 2 періоду (головної підгрупи) періодичної системи, з відносною атомною масою 6,941, лужний метал. Атомний та

¹ A review on role of essential trace elements in health and disease / L. Prashanth et. al. *Journal Dr.NTR University of Health Sciences*. 2015. Vol. 4, № 2. P. 75–85. DOI: 10.4103/2277-8632.158577

² Левітін Є.Я., Ведерникова І.О., Коваль А.О., Криський О.С. Біоактивність неорганічних сполук: навч. посіб. для аудит. та самост. роботи студентів. Харків : НФаУ, 2017. 83 с.

³ Bauer M., Gitlin M. Lithium and Its History. *The essential guide to lithium treatment*. Springer Cham, 2016. P. 25–31. DOI: 10.1007/978-3-319-31214-9_3.

⁴ Grew E., Jonsson E., Langhof J. Lithium – 200 years: Symposium and field trip June 14–16, 2018. *Elements*. 2018. Vol. 14, № 4. P. 284.

⁵ Mohandas E., Rajmohan V. (2007). Lithium use in special populations. *Indian Journal of Psychiatry*. 2007. Vol. 49, № 3. P. 211–218. DOI: 10.4103/0019-5545.37325.

іонний радіус становлять відповідно, 0,157 та 0,068 нм. Енергія іонізації – 5,39 еВ. Електронегативність за Полінгом – 0,98. Температура плавлення та кипіння 180,5 та 1340,0 °С, відповідно. Густина – 0,539 г/см³. Колір – сріблясто-білий. Низький іонний потенціал літію (1,47), що обумовлений малим розміром іонного радіусу і зарядом іона, свідчить про його високу розчинність. Будучи катіоногенним елементом, літій у водних розчинах найчастіше утворює прості вільні катіони з низьким зарядом. Металевий літій має кубічну об'ємно-центровану кристалічну ґратку.

Атом літію містить 3 протони та 4 нейтрони. У атомі літію є два енергетичні рівні, на яких знаходяться 3 електрони. Електронна формула атома літію має вигляд $1s^2 2s^1$. На зовнішній електронній оболонці атома літію 1 неспарений електрон (що зумовлює валентність рівну +1), а на внутрішній – 2 електрони. Валентність літію постійна в усіх відомих сполуках^{6, 7}. Численні біологічні функції літію, вчені пов'язують з його маленьким іонним радіусом⁸.

3. Розподілення літію у природному середовищі

Згідно сучасної біогеохімічної класифікації елементів літій відноситься до групи літофільних елементів, які утворили земну кору і верхню мантію. У зв'язку з високою реакційною здатністю, літій не зустрічається у природі в елементарній формі. Відомо більш як 100 мінералів (силікатів, фосфатів, фторидів та ін.), що включають літій, але промислово та економічно значення мають лише декілька: сподумен – $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (3,7 % Li), лепідоліт – $\text{K}_2(\text{Li,Al})_{5-6}\{\text{Si}_{6-7}\text{Al}_{2-1}\text{O}_{20}\}(\text{OH,F})_4$ (1,4–3,6 % Li), петаліт – $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$ (1,6–2,3 % Li), евкріптіт – $\text{LiAl}[\text{SiO}_4]$ (2,1–5,5 % Li), амблігоніт – $\text{LiAl}[\text{PO}_4][\text{F,OH}]$ (3,4–4,7 % Li), гекторіт – $\text{Na}_{0,3}(\text{Mg,Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (0,5 % Li), джадаріт – $\text{LiNaSi}_3\text{B}_3\text{O}_7(\text{OH})$ (7,3 % Li)⁹. Саме вони формують промислові родовища літію у гранітоїдах, пегматитах та грейзенізованих гранітах. Крім того, підвищені концентрації літію характерні для таких мінералів як, глауконіт, біотит, турмалін, флогопіт, маргарит, берил¹⁰.

Природний літій складається з двох стабільних ізотопів, з такою розповсюдженістю: ⁶Li (7,5 % за масою) і ⁷Li (92,5 %). У деяких зразках літію ізотопне співвідношення може бути порушено внаслідок

⁶ Johanson P. Lithium. New York: Rosen Publishing Group, 2007. 48 p.

⁷ Meyer J., Stahl S. The Lithium Handbook: Stahl's Handbooks (Stahl's Essential Psychopharmacology Handbooks). Cambridge: Cambridge University Press, 2023.

⁸ Lithium toxicity in plants : reasons, mechanisms and remediation possibilities – a review / V. Shahzad et. al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016. Vol. 107. P. 105–115. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.034.

⁹ Mineral profiles: Lithium. British Geological Survey Keyworth, Nottingham, UK, 2016. 39 p.

¹⁰ Жук О.А., Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Основні закономірності розподілу літію у ґрунтах УЩ. *Геохімія та рудоутворення*. 2010. Вип. 28. С. 130–132.

природного або штучного фракціонування ізотопів (відповідно 3,75 та 96,25 %). Також відомо ще сім короткоживучих штучних радіоактивних ізотопів літію, з різними періодами напіврозпаду (від мс і менше), в діапазоні масових чисел від 4 до 12¹¹.

Літій відноситься до групи розсіяних елементів. Масова частка його у земній корі за різними оцінками становить, %: $(1,7-2,0) \cdot 10^{-312}$; $3,0 \cdot 10^{-3}$ та $(5,0-6,5) \cdot 10^{-313}$. Кларк літію у живій речовині, за розрахунками В. І. Вернадського, становить $6,0 \cdot 10^{-5}$ %. Низький кларк літію пов'язують з аномально високим значенням дефекту мас атомного ядра елемента. Концентрація літію в природних водах варіює залежно від геології, топографії, гідрогеології та інших змінних. Так, діапазон концентрацій літію у морській воді становить від 0,17 до 11,7 мг/л, у прісній воді – від 0,001 до 0,020 мг/л¹⁴. Низькі концентрації літію (2 нг/м^3) виявлені у повітрі¹⁵. По окремих регіонах світу, максимальні значення цього показника коливаються від 2,3 до 8,9 нг/м³¹⁶.

Відомо, що переміщення хімічних елементів у біосфері відбувається за схемою: ґрунт – вода – рослина – тваринні організми – людина. Цей послідовний шлях міграції складає трофічний ланцюг, котрий ми і розглянемо, щоб одержати повне уявлення про біологічні функції, особливості накопичення і розподілення та значення літію для живих організмів. Згідно геохімічної класифікації елементів за особливостями їх міграції в ландшафтах, запропонованої О.І. Перельманом, літій відноситься до слабо рухливих елементів, які мігрують як у газоподібному стані, так і з водними розчинами¹⁷. Розподілення літію у ґрунтах, воді, рослинах, продукції тваринництва та птахівництва, організмі людини, у різних регіонах світу відзначається великою різноманітністю¹⁸.

¹¹ Munteanu C. Lithium biology. București: Editura Balneară, 2013. 104 p.

¹² Evans R.K. Lithium. *Critical metals handbook*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, Ltd, 2014. P. 230–260. DOI: 10.1002/9781118755341.

¹³ Mueller R., Betz L., Anke M. Essentiality of the ultra trace element lithium to the nutrition of animals and man. *Proceedings of the 30 Scientific symposium of industrial toxicology*. Slovakia: Slovenska spoločnosť priemyselnej chemie, 2010. P. 134–143.

¹⁴ Potential health benefits of deep sea water : a review / S.Z. Mohd Nani et. al. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicin*. 2016. Vol. 2016. P. 6520475. DOI: 10.1155/2016/6520475.

¹⁵ Schäfer U. Lithium. Elements and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004. P. 478–496. DOI: 10.1002/9783527619634.ch23a.

¹⁶ Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace Elements from Soil to Human. Heidelberg: Springer Berlin, 2007. 550 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1.

¹⁷ Геохімія довкілля: навч. посібник / Н.Т. Тверезовська та ін. Ніжин; Боярка: Видавець Лисенко М.М., 2015. 403 с.

¹⁸ Is lithium biologically an important or toxic element to living organisms? An overview / B. Shahzad et. al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24, № 1. P. 103–115. DOI: 10.1007/s11356-016-7898-0.

4. Літій у ґрунтах

Залежно від типу та мінерального складу ґрунтоутворювальних порід, наявності аутигенних мінералів, що утворюються в процесі гіпергенезу, окисно-відновних і лужно-кислотних умов, концентрація літію у ґрунтах може значно варіювати. Його середній вміст у магматичних породах рідко перевищує 40–45 мг/кг, а в осадових – 60–75 мг/кг¹⁹. На території Українського щита вміст літію у магматичних породах зростає від ультраосновних до лужних, а в осадових – від вапняків, до порід зі значним вмістом глинистої складової (аргіліти)^{20, 21}.

Ґрунти успадковують рівень концентрації літію у підстилаючих корінних породах. Внаслідок вивітрювання материнських порід, літій порівняно легко вивільняється із первинних мінералів, переходить у рухомі форми і накопичується у глинистих мінералах, що входять до складу гранітів. На акумуляцію та розподілення літію в ґрунтах впливає вміст гумусу та склад глинистих мінералів. Вміст літію у різних ґрунтах і в їх генетичних горизонтах може коливатися в широких межах, за одними даними – від 0,01 до 160 мг/кг²⁰²⁰, за іншими – від 7 до 200 мг/кг²². Середній вміст літію в ґрунтах зазвичай становить 25–30 мг/кг. Рівень літію у ґрунті також залежить від кислотно-лужних умов. Вчені вважають, що кислі ґрунти сприяють підвищенню розчинності літію. Саме тому, у кислих ґрунтах вміст літію вищий, ніж у лужних²³.

Проведений українськими вченими моніторинг умісту літію у різних типах ґрунтів, виявив, що у верхньому горизонті (0–10 см) темно-каштанових ґрунтів його валовий вміст становить 6–9 мг/кг, дерново-карбонатних – 10–15, дерново-підзолистих – 15–35, опідзолених чорноземах – 25–35, чорноземах типових – 40–50 мг/кг²⁴1010. Розподілення літію по всьому ґрунтовому профілю неоднакове. Його вміст у нижчих горизонтах ґрунтів підвищується²⁵. При визначенні

¹⁹ Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 403 p.

²⁰ Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Жук О.А. Геохімічні пошуки за екзогенними сольовими ореолами літію. *Мінералогічний журнал*. 2011. Т. 33, № 3. С. 84–89.

²¹ Жук О.А. Геохімічні особливості розподілу літію у сольових ореолах гетерогенного походження. *Геохімія та рудоутворення*. 2013. Вип. 33. С. 81–85.

²² Schrauzer G.N. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *Journal of the American College of Nutrition*. 2002. Vol. 21, № 1. P. 14–21.

²³ Aral H., Vecchio-Sadus A. Toxicity of lithium to humans and the environmen – a literature review. *Ecotoxicol Environ Safety*. 2008. Vol. 70, № 3. P. 349–356. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.026.

²⁴ Цвей Я.П., Широконос А.М., Феденко П.Я., Звягінцев С.С. Вміст важких металів на моніторингових ділянках біосферного заповідника «Асканія-Нова». *Наукові записки НАУКМА*. 2001. Т. 19: Біологія та екологія. С. 83–85.

²⁵ The occurrence of lithium in the environment of the Jordan Valley and its transfer into the food chain / T.G. Ammari et. al. *Environmental Geochemistry and Health*. 2011. Vol. 33, № 5. P. 427–437. DOI: 10.1007/s10653-010-9343-5.

вмісту літію у ґрунтах також встановлено, що на його рухомі форми припадає від 4 до 8 % від валового вмісту.

5. Літій у природних водах

Вивчення еколого-гідрогеохімічних особливостей розподілу мікроелементів показало, що літій присутній у поверхневих і підземних водах у всьому світі. Він зазвичай легко переходить у природні води з твердої фракції. Літій знаходиться у воді як у вигляді простих іонів Li^+ , так і в комплексних сполуках з різними адендами природних вод. З підвищенням мінералізації води, відмічається тенденція до зниження частки простих іонів Li^+ і збільшення частки комплексних сполук. Літій у природних водах розглядається, передусім як один з дефіцитних рідкісних металів²⁶.

Як відомо мікроелементний склад природних вод корелює з його вмістом у тих породах, по яких вони циркулюють. Тому, вміст літію у воді обумовлений фізико-хімічними умовами середовища і переходом його з породи у розчин, в наслідок розчинності багатьох літєвих сполук. Концентрації літію в поверхневих і підземних водах можуть бути вищими за природний фон у місцях, де зустрічаються багаті літєм розсоли та мінерали, а також у місцях, де утилізуються або переробляються літєві батареї.

Концентрація літію у поверхневих водах зазвичай низька. Так, у найбільших річках США середній вміст літію становить близько 2 мг/л²⁷ і варіює від 0,26 до 4,16 мг/л²⁸. Проте, ці ж вчені зазначають, що середня концентрація літію у поверхневих водах може становити 40 мг/л і більше²⁹. Результати одержані при вивченні концентрації мікроелемента у поверхневих водах південного сходу Ірландії підтверджують цей висновок. Вчені встановили варіабельність рівнів літію упродовж року в діапазоні від 20 до 91 мг/л³⁰.

У світі існують території, поверхневі води яких містять високі рівні літію. Природні розсоли з високим вмістом літію знаходяться на півночі

²⁶ Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters. *Treatise on Geochemistry*. 2003. Vol. 5. P. 225–272. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/05165-3.

²⁷ Kszos L.A., Beauchamp J.J., Stewart A.J. Toxicity of lithium to three freshwater organisms and the antagonistic effect of sodium. *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12, № 5. P. 427–437. DOI: 10.1023/A:1026160323594.

²⁸ Anderson M.A., Bertsch P.M., Miller W.P. The distribution of lithium in selected soils and surface waters of the southeastern USA. *Applied Geochemistry*. 1988. Vol. 3, № 2. P. 205–212. DOI: 10.1016/0883-2927(88)90008-X.

²⁹ Kszos L.A., Stewart A.J. Review of lithium in the aquatic environment: distribution in the united states, toxicity and case example of groundwater contamination. *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12, № 5. P. 439–447. DOI: 10.1023/A:1026112507664.

³⁰ Lithium in the natural waters of the south East of Ireland / L. Kavanagh et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 4, № 6. P. 561. DOI: 10.3390/ijerph14060561.

Чилі (1400–1500 мг/л)³¹, у Китаї (560–1300 мг/л)³², Болівії (700–900 мг/л)³³ і Аргентині (520–620 мг/л)³⁴. Озера, ропа яких містить нижчі концентрації літію (200 мг/л) розташовані в США³⁵.

Високим вмістом літію (0,08–0,14 мг/дм³) характеризуються також поверхневі води техногенно-забруднених територій³⁶. Зокрема, у результаті надходження у річкові екосистеми Донбасу (Україна) значних обсягів скидних шахтових вод максимальні концентрації літію у річках можуть досягати 11,8–13,7 мг/л³⁷. За висновками вчених, хімічний склад поверхневих вод, що знаходяться в умовах техногенного навантаження, не сприяє їх безпечному використанню, як джерел питного водопостачання.

У ґрунтових водах концентрація літію вища, ніж у поверхневих і зазвичай коливається в межах від 0,05 до 150 мкг/л³⁸. Проте, у деяких географічних регіонах Австрії, Аргентини та Чилі були зареєстровані високі концентрації літію (більше 1000 мкг/л) у ґрунтових водах^{39, 40}. У літературі є повідомлення, що ґрунтові води помірних вологих областей містять літію менше, ніж жарких засушливих.

Дані отримані вченими з різних країн свідчать, що концентрація літію у воді, яка використовується для пиття, неоднакова. Так, уміст літію у питній воді окремих районів Австрії коливається в межах 4,0–

³¹ Ogawa Y., Koibuchi H., Suto K., Inoue C. Effects of the chemical compositions of salars de Uyuni and Atacama Brines on lithium concentration during evaporation. *Resource Geology*. 2014. Vol. 64, № 2. P. 91–101. DOI: 10.1111/rge.12030.

³² Song J., Nghiem L.D., Xue-Mei L., Tao H. Lithium extraction from chinese salt-lake brines : opportunities, challenges, and future outlook. *Environmental Science : Water Research Technology*. 2017. Vol. 3, № 4. P. 593–597. DOI: 10.1039/C7EW00020K.

³³ Recovery of lithium from Uyuni salar brine / J.W. An et. al. *Hydrometallurgy*. 2012. Vol. 117–118. P. 64–70. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2012.02.008.

³⁴ Warren J.K. *Evaporites : a geological compendium*. Springer Cham, 2016. 1813 p. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2012.02.008.

³⁵ Global lithium resources : relative importance of pegmatite, brine and other deposits / S.E. Kesler et. al. *Ore Geology Reviews*. 2012. Vol. 48. P. 55–69. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2012.05.006.

³⁶ Удалов І.В. Гідрохімічна характеристика поверхневих та ґрунтових вод Лисичанського та Алмазно-Мар'євського геолого-промислових районів північно-східного Донбасу. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Геологія. Географія*. 2014. Т. 22, вип. 16. С. 188–197.

³⁷ Онищенко В.І. Вплив скидних шахтових вод на річкові екосистеми Донбасу. *Екологія та ноосферологія*. 2006. Вип. 17, т. 1–2. С. 61–68.

³⁸ Lithium levels in the public drinking water supply and risk of suicide : a pilot study / V. Liaugaudaitė et. al. *Journal of trace elements in medicine and biology*. 2017. Vol. 43. P. 197–201. DOI: 10.1016/j.jtemb.2017.03.009.

³⁹ High-level exposure to lithium, boron, cesium, and arsenic via drinking water in the andes of Northern Argentina / G. Concha et. al. *Environmental Science Technology*. 2010. Vol. 44, № 17. P. 6875–6880. DOI: 10.1021/es1010384.

⁴⁰ Lithium in drinking water and suicide mortality / N.D. Kapusta et. al. *The British Journal of Psychiatry*. 2011. Vol. 198, № 5. P. 346–350. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.091041.

16,0 мкг/л (медіана 11,3 мкг/л)⁴¹; Греції – 0,1–121,0 (медіана 11,10)⁴²; Данії – 0,6–30,7 (медіана 11,6)⁴³; Італії – 0,11–60,80 (медіана 11,10)⁴⁴; Китаю – 0,14–110,80⁴⁵; Литви – 0,48–35,53 (медіана 3,60); Македонії – 0,11–5,20 (медіана 1,21)⁴⁶; Північної Англії – 1,0–21,0⁴⁷; Техасу 2,8–219,0⁴⁸; України – 0–50,0⁴⁹; Японії – 0–59,0 мкг/л^{50, 51, 52}. Слід також відзначити, що сьогодні у національних стандартах багатьох країн світу відсутні гранично допустимі концентрації літію у питній воді.

Моніторинг літію у питних водах, розлитих у пляшки показав, що його концентрація має великий діапазон коливань, з варіаціями у чотири-п'ять порядків. Так, при дослідженні 132 марок бутильованої води із 28 країн світу встановлено, що вміст літію у пробах коливався від 0,057 до 5460 мкг/л (медіана 4,8 мкг/л). Найвища концентрація літію (5460 мкг/л) була виявлена в пляшці води з Франції. Дещо нижчі

⁴¹ Helbich M., Blüml V., Leitner M., Kapusta, N.D. Does altitude moderate the impact of lithium on suicide? A spatial analysis of Austria. *Geospatial Health*. 2013. Vol. 7, № 2. P. 209–218. DOI: 10.4081/gh.2013.81.

⁴² Giotakos O., Nisianakis P., Tsouvelas G., Giakalou, V.V. Lithium in the public water supply and suicide mortality in Greece. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 156, № 1–3. P. 376–379. DOI: 10.1007/s12011-013-9815-4.

⁴³ Lithium in drinking water and incidence of suicide : a nationwide individual-level cohort study with 22 years of follow-up / N.N. Knudsen et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 14, № 6. E627. DOI: 10.3390/ijerph14060627.

⁴⁴ Relationships of local lithium concentrations in drinking water to regional suicide rates in Italy / M. Pompili et. al. *World Journal of Biological Psychiatry*. 2015. Vol. 16, № 8. P. 567–574. DOI: 10.3109/15622975.2015.1062551.

⁴⁵ Liu Y., Yuan Y., Luo K. Regional Distribution of Longevity Population and Elements in Drinking Water in Jiangjin District, Chongqing City, China. *Biological trace element research*. 2018. Vol. 184, № 2. P. 287–299. DOI: 10.1007/s12011-017-1159-z.

⁴⁶ Kostik V., Bauer B., Kavrovskii Z. Lithium content in potable water, surface water, ground water, and mineral water on the territory of republic of Macedonia. *International Journal of Medicine and Public Health*. 2014. Vol. 4, № 3. P. 189–193. DOI: 10.4103/2230-8598.137700.

⁴⁷ Lithium in drinking water and suicide rates across the East of England / N. Kabacs et. al. *British Journal of Psychiatry*. 2011. Vol. 198, № 5. P. 406–407. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.088617.

⁴⁸ Lithium in the public water supply and suicide mortality in Texas / V. Blüml et. al. *Journal of Psychiatric Research*. 2013. Vol. 47, № 3. P. 407–411. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2012.12.002.

⁴⁹ Прибилова В.М. Оцінка якісного складу питних підземних вод сеноман-нижньокрейдного водоносного комплексу на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. Харків, 2015. Вип. 43. С. 75–82.

⁵⁰ Lithium levels in drinking water and risk of suicide / H. Ohgami et. al. *British Journal of Psychiatry*. 2009. Vol. 194, № 5. P. 464–465. DOI: 10.1192/bjp.bp.108.055798.

⁵¹ Lithium in tap water and suicide mortality in Japan / N. Sugawara et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013. Vol. 10, № 11. P. 6044–6048. DOI: 10.3390/ijerph10116044.

⁵² Lithium in drinking water may be negatively associated with depressive temperament in the nonclinical population / N. Ishii et. al. *Clinical Neuropsychopharmacology and Therapeutics*. 2017. Vol. 8. P. 7–11. DOI: 10.5234/cnpt.8.7.

концентрації мікроелементу виявлені у воді, що була розлита у пляшки у Німеччині та Югославії, відповідно 1,4 та 1,3 мг/л⁵³.

Дослідження мінеральної води в пляшках, як газованої так і не газованої, придбаної у різних районах Італії, шляхом випадкової вибірки, дозволили встановити, що середня концентрація літію у воді становила 3,4 мкг/л, а максимальне значення в окремих пробах – 241,0 мкг/л⁵⁴.

Цікаві дані отримані при вивченні концентрації літію у мінеральній воді, придбаної у супермаркетах 40 європейських країн. Середній показник умісту літію у бутильованій воді становив 10,0 мкг/л. Найвище значення цього показника (9860 мкг/л) було зафіксовано у мінеральній воді з Словаччини⁵⁵.

6. Літій у рослинах і продуктах харчування рослинного походження

Варіабельність якісного та кількісного складу ґрунтів і води різних континентів зумовлює суттєві відмінності щодо концентрації літію у рослинах. Нечисленні літературні дані щодо вмісту літію у рослинах свідчать про те, що його рівень може коливатися від 0,1 до 2680 мг/кг сухої речовини. На вміст літію в рослинах впливають ряд чинників: тип ґрунту, його рН, валовий вміст мікроелементу у ґрунті та величина його рухомої форми, період року, вид рослини, місце зростання, погодні та кліматичні умови тощо. Величина надходження літію із поживного середовища у рослини часто обумовлена наявністю у останніх бар'єрних механізмів^{56, 57}.

Хоча літій і не відноситься до основних елементів мінерального живлення рослин, у науковій літературі є дані про його важливу роль у багатьох фізіолого-біохімічних процесах. Так, достовірно встановлено, що літій у незначних кількостях позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, підвищує їх стійкість до хвороб, покращує водно-сольовий обмін і транспортування калію, посилює фотохімічну активність хлоропластів, синтез і транслокацію цукрів, азотний обмін, активує ферментативні процеси, регулює біосинтез і накопичення алкалоїдів та

⁵³ Krachler M., Shotyk W. Trace and ultratrace metals in bottled waters: survey of sources worldwide and comparison with refillable metal bottles. *Science of the Total Environment*. 2009. Vol. 407, № 3. P. 1089–1096. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.10.014.

⁵⁴ Trace Elements and ions in Italian bottled mineral waters : identification of anomalous values and human health related effects / D. Cicchella et. al. *Journal of Geochemical Exploration*. 2010. Vol. 107, № 3. P. 336–349. DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.04.004.

⁵⁵ European Ground Water Geochemistry Using Bottled Water as a Sampling Medium / A. Demetriades et. al. *Clean soil and safe water*; F.F. Quercia, D.Vidojevic. Springer Netherlands, 2012. P. 115–139. DOI: 10.1007/978-94-007-2240-8_10.

⁵⁶ Kalinowska M., Hawrylak-Nowak B., Szymańska M. The influence of two lithium forms on the growth, l-ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 152, № 2. P. 251–257. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

⁵⁷ Reimagining safe lithium applications in the living environment and its impacts on human, animal, and plant system / N. Shakoor et. al. *Environmental science and ecotechnology*. 2023. Vol. 15. P. 100252. DOI: 10.1016/j.ese.2023.100252.

їх попередників, підвищує інтенсивність дихання, поглинання та накопичення ряду мінеральних елементів. За дефіциту літію у рослинах уповільнюється синтез вітаміну В₁₂. Високі концентрації літію порушують метаболізм нуклеїнових кислот, експресію деяких генів, розвиток пилку, пошкоджують клітинні органели та макромолекули, уповільнюють ріст рослин, викликають появу хлоротичних і некротичних плям на листках. Водночас, учені відзначають, що точні механізми дії літію при низьких і високих концентраціях на морфогенез рослин до кінця ще не з'ясовані⁵⁸.

За здатністю акумулювати літій всі рослини умовно можна поділити на дві групи: рослини-концентратори та рослини-неконцентратори. До першої групи відносяться рослини родин *Rosales*, *Caryophyllaceae*, *Solanaceae*, *Ranunculaceae*, *Asteraceae*, а також деякі види рослин, що належать до групи галофітів. Надвисокі концентрації літію (до 4,0 мг/кг сухої речовини) характерні для алое деревовидного, блекоти чорної, касії вузьколистої, беладони звичайної, татарнику звичайного, шабельника болотяного та ін. До другої групи можна віднести всі інші рослини, у тому числі й більшість сільськогосподарських культур⁵⁹. На думку вчених, для літієфілів (деякі види рослин родин *Solanaceae* і *Ranunculaceae*), літій є життєво необхідним мікроелементом.

Вміст літію у рослинах не завжди корелює з його концентрацією у поживному середовищі. Встановлено, що поглинання літію багато в чому залежить від біологічних особливостей рослин, їх віку, і в першу чергу, від катіонообмінної ємності коренів та їх біохімічного складу, а також від міцності зв'язків іонів з клітинними оболонками⁶⁰. Крім того, на ступінь поглинання літію рослинами може впливати концентрація в ґрунті іонів Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ та Cl⁻.

Надземні вегетативні частини рослин містять літію більше, ніж корені. Ще менше літію у насінні⁶¹. Зазвичай середній вміст літію у рослинах, за різними оцінками, становить 0,15–0,42 мг/кг сухої речовини.

Високі концентрації літію токсичні для рослин. Для більшості видів рослин, токсичні рівні літію коливаються в межах 5–50 мг/кг, крім

⁵⁸ Hawrylak-Nowak B., Kalinowska M., Szymańska M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. *Biological Trace Element Research*. 2012. Vol. 149, № 3. P. 425–430. DOI: 10.1007/s12011-012-9435-4.

⁵⁹ Induced Plant Accumulation of Lithium / L. Kavanagh et al. *Geosciences*. 2018. Vol. 8, № 2. P. 56. DOI: 10.3390/geosciences8020056.

⁶⁰ Assessment of Lithium, Macro- and Microelements in Water, Soil and Plant Samples from Karst Areas in Romania / A.I. Török et al. *Materials (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 14, № 14. P. 4002. DOI: 10.3390/ma14144002.

⁶¹ Tomascak P.B., Magna T., Dohme, R. *Advances in lithium isotope geochemistry*. Springer Cham, 2016. 195 p.

рослин-концентратів. Надзвичайно чутливі до підвищеного вмісту літію цитрусові дерева (авокадо, апельсин).

Серед сільськогосподарських культур, які складають значну частку добового раціону людини, найменший вміст літію у фруктах і ягодах, зокрема, у лимоні 0,103 мг/кг; гарбузі та дині – 0,060; банані – 0,033; айві та абрикосі – 0,300; яблуку – 0,008; чорниці – 0,060; полуниці – 0,030 мг/кг.

На порядок вище концентрація літію в овочах. Є дані, що вміст цього мікроелементу у шпинаті становить 4,60 мг/кг; зеленій цибулі – 1,80; перці – 0,87; картоплі – 0,77; салаті – 0,30; помідорах – 0,29 мг/кг.

Серед зернових культур, злакові містять менше літію, ніж бобові. Загальною закономірністю для злакових культур є те, що вміст літію у їх зерні знижується у такій послідовності: ячмінь > кукурудза > рис > пшениця тверда > просо > овес > жито > пшениця м'яка, і становить, мг/кг: 0,231; 0,149; 0,120; 0,110; 0,072; 0,060; 0,050 та 0,020 відповідно. Величина виносу літію із ґрунту із зерном чечевиці, сої, гороху та бобів становить, відповідно, 0,748; 0,670; 0,031 та 0,021 мг/кг^{62, 63, 64}.

У літературі зустрічаються повідомлення про способи підвищення концентрації літію в овочах і фруктах, а також продуктах їх технологічної переробки⁶⁵.

Слід також відмітити, що одні й ті ж види рослини, в одній і тій же фазі вегетації, але в різних екологічних умовах, значно відрізняються між собою за вмістом літію⁶⁶.

Дані, щодо природного вмісту літію у грибах нечисленні. Водночас встановлено, гриби, що ростуть у лісах, містять незначну кількість цього елемента, а культивовані форми можуть містити лише його сліди, якщо він присутній у субстраті у низьких концентраціях. Вчені, проаналізувавши 171 зразок 38 видів їстівних диких грибів, зібраних на території Угорщини, встановили, що середній вміст у них літію становить 0,189 мг/кг. Найвищі середні концентрації літію були виявлені у грибах таких видів, як *Craterellus cornucopioides* (0,609 мг/кг), *Amanita*

⁶² Anke M., Schäfer U., Arnhol W. Lithium. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*; В.Сабаллеро, Р.Фінглас, Ф.Толдра. Academic Press, 2003. P. 3589–3593/ DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00710-0.

⁶³ Suttle N.F. Mineral nutrition of livestock. Cambridge: CABI, 2010. 587 p. DOI: 10.1079/9781845934729.0000.

⁶⁴ Коновалова О.Ю., Мітченко Ф.А., Шураєва Т.К., Джан Т.В. Мінеральні елементи лікарських рослин та їх роль у життєдіяльності людини. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. 192 с.

⁶⁵ Pifferi P.G. 2017. EP 2 794 516 B1. Composition for increasing lithium and selenium content in vegetables and their processed products and use thereof. Date of publication and mention of the grant of the patent: 08.03.2017. Bologna, Italy.

⁶⁶ Franzaring J., Schlosser S., Damsohn W., Fangmeier A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. *Environmental pollution*. 2016. Vol. 216. P. 858–865. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.06.059.

strobiliformis (0,520 мг/кг) та *Psathyrella candolleana* (0,390 мг/кг)⁶⁷. Низка концентрація літію (0,25 мг/кг) була зареєстрована і в грибах зібраних у регіоні Тоскана (Італія)⁶⁸.

Обмеженою є кількість публікацій щодо вмісту літію у чаї. У науковій літературі є повідомлення, що концентрація літію у 29 видах чаю, що споживаються в Китаї, виявилася низькою і коливалась від 0,02 до 0,60 мг/кг. Висока концентрація літію (більше 11 мг/кг) була знайдена тільки в одному виду чаю – *Luobuma* (*Arocynum venetum*)⁶⁹. Подібні результати отримали й польські вчені, які досліджували вміст літію в 55 настоях чорного, зеленого, червоного, фруктових і трав'яних чаїв. За їхніми даними, найнижча середня концентрація літію була виявлена в настой зеленого чаю (0,19 мкг/г сухого листа чаю), дещо вища – в настой чорного чаю (0,40 мкг/г сухого листа чаю), а найвища – в настой червоного чаю (0,64 мкг/г сухого листа чаю)⁷⁰.

7. Літій у продуктах харчування тваринного походження

На думку багатьох учених, основними факторами, що визначають концентрацію літію у продуктах харчування тваринного походження (м'яси, молоці, яйцях, рибі тощо), є його рівень у ґрунтах, воді, повітрі та у кормових рослинах. Відомо, що літій у малих кількостях міститься в усіх органах і тканинах, але розподіляється по них дуже нерівномірно, причому неоднаково у різних видів сільськогосподарських тварин і птиці. Високі концентрації ендogenous літію відмічаються у селезінці, легенях, нирках, мозку та крові практично всіх видів тварин, більш низькі – у печінці та м'язах. Встановлено, що середній вміст літію у печінці та нирках великої рогатої худоби становить 5 мг/кг сухої речовини. Концентрація літію в м'ясі різних видів сільськогосподарських тварин збільшується у такому порядку: м'ясо птиці < яловичина < баранина. Це пояснюється тим, що зелені корми та силос, які складають основу раціону великої рогатої худоби та овець, містять більше літію, ніж фуражне зерно, яке згодують сільськогосподарській птиці у складі комбікорму. Риба за вмістом літію практично не відрізняється від м'яса птиці (близько 3 мг/кг сухої

⁶⁷ Vetter J. Lithium content of some common edible wild-growing mushrooms. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 90. P. 31–37. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.03.019.

⁶⁸ The trace element content of top-soil and wild edible mushroom samples collected in Tuscany, Italy / G. Giannaccini et. al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184, № 12. P. 7579–7595. DOI: 10.1007/s10661-012-2520-5.

⁶⁹ Wang L., Jiang L., Zhao Z.Y., Tian C.Y. Lithium content of some teas and their infusions consumed in China. *Food Science and Biotechnology*. 2014. Vol. 23, № 1. P. 323–325. DOI: 10.1007/s10068-014-0045-0.

⁷⁰ Maria D., Žaneta K., Jadwiga M. Lithium content in the tea and herbal infusions. *European Food Research and Technology*. 2015. Vol. 241, № 2. P. 289–293. DOI: 10.1007/s00217-015-2456-4.

речовини). Для харчових яєць і молока характерна більш висока концентрація літію – у середньому 7,4 та 7,5 мг/кг сухої речовини відповідно. На відміну від молока, молочні продукти (м'які та тверді сири) містять лише 20–55 % літію, від його концентрації у висхідній сировині. Концентрація літію у маслі, що виготовлено із тваринних жирів (молока) становить 1,2 мг/кг сухої речовини. Масло, виготовлене з рослинних жирів містить літію менше.

У науковій літературі є відомості, що при введенні добавок літію в комбікорми для гусенят, що вирощуються на м'ясо, його концентрація у м'язовій тканині та печінці птиці збільшується у такому порядку: м'язи стегна та голіпки < м'язи грудей < печінка. Достатньо високі значення коефіцієнтів накопичення літію в органах і тканинах гусенят (3,21–14,44) вказують на те, що цей елемент має значну акумулюючу здатність⁷¹.

У меду літій присутній у незначній кількості. Концентрація цього мікроелементу сильно варіює і залежить від ботанічного та географічного походження меду, а також від умов місцевості, де він одержаний (прибережні чи гірські території, сільські чи міські райони). Так, результати досліджень зразків моно– і багатоквіткового меду, отриманого у різних країнах світу, показали, що у меду з Франції вміст літію коливається від 0,0 до 0,24 мкг/кг⁷², Туреччини – від 0,30 до 1,50⁷³, Іспанії – від 0 до 110,0⁷⁴ та Польщі – від 0,4 до 5,3 мкг/кг натурального продукту⁷⁵.

Якщо природний фон літію невисокий, його концентрація у тваринницькій продукції також невисока, наприклад, у молоці та молочних продуктах від 0,01 до 0,50 мг/кг, риби – від 0 до 0,58 мг/кг⁷⁶,

⁷¹ Sobolev O., Borshch O.O., Riznychuk I., Kyshlaly O. Fortification of meat products of geese farming with lithium by introducing it into poultry mixed feed. *Agraarteadus*. 2022. Vol. 33. № 1. P. 154–161. DOI: 10.15159/jas.22.11.

⁷² Chemometrical analysis of 18 metallic and nonmetallic elements found in honeys sold in France / J. Devillers et. al. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50, № 21. P. 5998–6007. DOI: 10.1021/jf020497t.

⁷³ Bağcı Y., Arslan D., Ozcan M.M., Dursu, N. Determination of the mineral content of bee honeys produced in Middle Anatolia. *Food sciences and nutrition*. 2007. Vol. 58, № 7. P. 567–575. DOI: 10.1080/09637480701343804.

⁷⁴ Terrab A., Recamales A.F., Gonzalez Miret M.L., Heredia F.J. Contribution to the study of avocado honeys by their mineral contents using inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 92, № 2. P. 305–309. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.07.033.

⁷⁵ Steckha H., Pohl P. Pre-concentration of lithium prior to its determination in honey by flame optical emission spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2011. Vol. 22, № 4. P. 677–683. DOI: 10.1590/S0103-5053201100040001.

⁷⁶ Nabrzyski M., Gajewska K. Content of strontium, lithium and calcium in selected milk products and in some marine smoked fish. *Nahrung*. 2002. Vol. 46, № 3. P. 204–208. DOI: 10.1002/1521-3803(20020501)46:3<204::AID-FOOD204>3.0.CO;2-8.

м'яких і твердих сирах – від 0,015 до 0,028 мг/кг, маслі – 0,0075 мг/кг⁷⁷. Водночас, більш пізні дослідження французьких учених довели, що рівень літію у рибі може бути ще нижчим, зокрема, у вугра та лосося – менше 0,01 мг/кг, сардини, оселедця та гренадера – 0,031–0,045 мг/кг, анчоуса та пілчарда – 0,105 та 0,093 мг/кг відповідно⁷⁸.

Зовсім інша картина спостерігається у регіонах, де ґрунти та поверхневі води мають високий вміст мікроелементу. Як наслідок, продукти харчування тваринного і рослинного походження, містять більш високі рівні літію, ніж в інших місцях. Один з таких регіонів – північна частина Чилі. Вміст літію у рибі різних видів, виловленої у цьому регіоні, варіює від 18,2 до 103,2 мг/кг. Продукція тваринництва також містить дуже високі рівні літію, зокрема, м'ясо різних видів тварин – від 10,2 до 99,3 мг/кг, молоко коров'яче – від 4379 до 4996 мг/л. Концентрація літію у козиному молоці має більш широкий діапазон коливань – від 3129 до 4997 мг на 1 л натурального продукту⁷⁹.

8. Рівні споживання літію з їжею та потреба у ньому людини

Наведені дані щодо вмісту літію у воді та продуктах харчування дають підставу припустити, що літій, знаходячись у харчовому ланцюзі, може здійснювати вплив і на людину. Сьогодні більшість населення (за винятком деяких регіонів) споживає літію менше, ніж потрібно. Аналіз фактичного споживання літію з їжею та водою свідчить про недостатній (або навіть низький) рівень забезпеченості організму людини цим мікроелементом.

Фахівці з Управління охорони навколишнього середовища США підрахували, що добове споживання літію дорослою людиною вагою 70 кг варіює від 0,65 до 3,10 мг. Люди, що проживають у таких географічних регіонах, як Північна Аргентина та Північна Чилі, за їх оцінками споживають літію від 2 до 30 мг/добу⁸⁰.

Значна кількість країн світу характеризується помірними та низькими показниками споживання літію населенням. У різних країнах світу рівень споживання літію з їжею та водою становить, мг/добу: Бельгія – 0,001–0,015; Канада – 0,022; Фінляндія – 0,035; Франція – 0,048; Туреччина – 0,029–0,051; Іспанія – 0,011–0,105; Англія – 0,107;

⁷⁷ Trace elements content in cheese, cream and butter / N. Bilandžić et. al. *Mljekarstvo/Dairy*. 2014. Vol. 64, № 3. P. 150–158. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2014.0302.

⁷⁸ Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market / T. Guerin et. al. *Food Chemistry*. 2011. Vol. 127, № 3. P. 934–942. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.01.061

⁷⁹ Environmental lithium exposure in the north of Chile – II. Natural food sources / L.T. Figueroa et. al. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 151, № 1. P. 122–131. DOI: 10.1007/s12011-012-9543-1.

⁸⁰ Marshall T.M. Lithium as a nutrient. *Journal of American Physicians and Surgeons*. 2015. Vol. 20, № 4. P. 104–109.

Австрія – 0,348; Німеччина – 0,182–0,546; Японія – 0,812; США – 0,429–0,821; Данія – 1,009; Швеція – 1,09; Мексика – 1,485; Китай – 1,560^{81, 82}. При недостатньому надходженні літію в організм людини порушується ріст тканин і репродуктивна функція, скорочується тривалість життя через передчасне старіння, підвищується агресивність, виникають проблеми у поведінці. Використовуючи методи кореляційного аналізу, вчені встановили обернену залежність між рівнем літію в організмі людини та рівнем самогубств серед населення, а також рівнем насильницьких злочинів, таких як вбивства, зґвалтування та пограбування^{83, 84}. З огляду на викладене вище, забезпечення організму людини літієм в оптимальних кількостях має важливе значення.

До сьогодні офіційних рекомендацій експертів ФАО/ВООЗ щодо дієтичних норм споживання літію людиною немає⁸⁵. Водночас, існуючі результати наукових досліджень дають підставу вважати, що рекомендованою нормою споживання літію з їжею та водою для дорослої людини вагою 70 кг є 1,0 мг/добу. У подальшому, була рекомендована доза щоденного споживання літію – 14,3 мкг на 1 кг маси тіла людини. Екстраполяція вказаної величини з урахуванням ваги тіла дітей та підлітків дозволяє розрахувати їхню орієнтовну фізіологічну потребу в літії.

Слід відмітити, що потреба людини в літії носить індивідуальний характер і є змінною величиною, яка залежить від фізіологічного стану організму, виду діяльності (розумова чи фізична) рівня фізичної активності та стану здоров'я, що вимагає постійної корекції його надходження в організм з їжею.

Високі рівні літію в раціоні харчування можуть становити небезпеку для здоров'я людини, через його токсичні ефекти. Характерними ознаками отруєння літієм є загальна слабкість, сонливість, втрата апетиту, спрага і сухість у роті, деколи салівація, нудота, блювання, профузний пронос, тремор губ, нижньої щелепи, рук, гіперрефлексія,

⁸¹ Van Cauwenbergh R., Hendrix P., Robberecht H., Deelstra H. Daily dietary lithium intake in Belgium using duplicate portion sampling. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung*. 1999. Vol. 208, № 3. P. 153–155. DOI: 10.1007/s002170050393.

⁸² Nutritional Risk Assessment of Eleven Minerals and Trace Elements: Prevalence of Inadequate and Excessive Intakes from the Second French Total Diet Study / E. Kalonji et. al. *European Journal of Nutrition and Food Safety*. 2015. Vol. 5, № 4. P. 281–296. DOI: 10.9734/EJNFS/2015/18193.

⁸³ A negative association between lithium in drinking water and the incidences of homicides, in Greece / O. Giotakos et. al. *Biological Trace Element Research*. 2015. Vol. 164. P. 165–168. DOI: 10.1007/s12011-014-0210-6.

⁸⁴ Kohno K., Ishii N., Hirakawa H., Terao T. Lithium in drinking water and crime rates in Japan: Cross-sectional study. *BJPpsych Open*. 2020. Vol. 6, № 6. P. E122. DOI: 10.1192/bjo.2020.63.

⁸⁵ WHO/IAEA/FAO. Trace elements in human nutrition and health. Geneva: World Health Organization, 1996. 343 p.

запаморочення, дизартрія, розлади зору. У важчих випадках – епілептичні напади, судоми, деколи психічні розлади, кома, смерть⁸⁶.

9. Літій і здоров'я людини

Літій вже давно з успіхом використовуються у медицині, як ефективний та безпечний засіб для лікування та профілактики багатьох хвороб⁸⁷. Літієва терапія використовується для лікування афективних біполярних розладів, у маніакальній та депресивній фазах, а також для профілактики рецидивів. Є ефективним засобом у профілактиці самогубств^{88, 89, 90}.

Препарати літію використовуються для зменшення ризиків розвитку деменції (недоумства) і мають значний нейропротекторний ефект у низьких і навіть дуже низьких дозах^{91, 92}.

Доведена висока ефективність літію при лікуванні пацієнтів з хворобою Альцгеймера та з легкою когнітивною недостатністю. Тривале використання мікродоз літію попереджає розвиток хвороби Альцгеймера та когнітивних порушень, покращує загальний стан, служить профілактикою їх подальшого прогресу^{93, 94}. Літій розглядається як можливий терапевтичний агент для лікування інших хронічних нейродегенеративних захворювань, таких як хвороби Паркінсона та Хантингтона⁹⁵.

⁸⁶ Перепелиця О.П. Екохімія та ендоекологія елементів : довідник з екологічного захисту. Київ: НУХТ, Екохім, 2004. 736 с.

⁸⁷ Bourgeois M.-L., Masson M. The history of lithium in medicine and psychiatry. *The science and practice of lithium therapy*; G.S. Malhi, M. Masson, F. Bellivier. Springer International Publishing Switzerland, 2017. P. 181–188. DOI: 10.1007/978-3-319-45923-3.

⁸⁸ Machado-Vieira, R., Manji H.K., Zarate C.A. The role of lithium in the treatment of bipolar disorder: convergent evidence for neurotrophic effects as a unifying hypothesis. *Bipolar Disorders*. 2009. Vol. 11, № 2. P. 92–109. DOI: 10.1111/j.1399-5618.2009.00714.x.

⁸⁹ Lithium for prevention of mood episodes in bipolar disorders: systematic review and meta-analysis / E. Severus et. al. *International Journal of Bipolar Disorders*. 2014. Vol. 2. P. 15. DOI: 10.1186/s40345-014-0015-8.

⁹⁰ Malhi G.S., Gessler D., Outhred T. The use of lithium for the treatment of bipolar disorder: Recommendations from clinical practice guidelines. *Journal of Affective Disorders*. 2017. Vol. 217. P. 266–280. DOI: 10.1016/j.jad.2017.03.052.

⁹¹ Mauer S., Vergne D., Ghaemi S.N. Standard and trace-dose lithium: a systematic review of dementia prevention and other behavioral benefits. *The Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*. 2014. Vol. 48, № 9. P. 809–818. DOI: 10.1177/0004867414536932.

⁹² Lithium treatment and risk for dementia in adults with bipolar disorder: population-based cohort study / T. Gerhard et. al. *The British Journal of Psychiatry*. 2015. Vol. 207, № 1. P. 46–51. DOI: 10.1192/bjp.bp.114.154047.

⁹³ Lithium as a treatment for Alzheimer's Disease: a systematic review and meta-analysis/ S. Matsunaga et. al. *Journal of Alzheimer's disease*. 2015. Vol. 48, № 2. P. 403–410. DOI: 10.3233/JAD-150437.

⁹⁴ Chronic microdose lithium treatment prevented memory loss and neurohistopathological changes in a transgenic mouse model of Alzheimer's Disease / M.A. Nunes et. al. *PLoS One*. 2015. Vol. 10, № 11. P. e0142267. DOI: 10.1371/journal.pone.0142267.

⁹⁵ Lazzara C.A., Kim, Y.-H. Potential application of lithium in Parkinson's and other neurodegenerative diseases. *Frontiers in Neuroscience*. 2015. Vol. 9. P. 403. DOI: 10.3389/fnins.2015.00403.

Клінічні та експериментальні дослідження показали, що літій володіє антиканцерогенним ефектом і здатний попереджати та лікувати деякі види раку^{96, 97}.

Препарати літію стимулюють остеогенез, збільшують щільність кістки та кісткову масу і використовуються як підтримуюча терапія при лікуванні остеопорозу^{98, 99}. Низькі дози літію знижують загальну смертність населення і сприяють продовженню життя людини¹⁰⁰.

ВИСНОВКИ

Переміщення літію у природному середовищі визначається поєднанням механічних, фізико-хімічних, біогенних і техногенних міграційних процесів. Міграція літію відбувається переважно в іонній формі. Низький енергетичний коефіцієнт іонів літію свідчить про їх високу міграційну здатність. Елемент виявлено в атмосфері, літосфері, гідросфері та біосфері. Вміст літію у ґрунтах і природних водах може коливатися в широких межах і залежить в основному від ландшафтно-геохімічних особливостей різних географічних регіонів. Основними чинниками, що визначають концентрацію літію в овочах, фруктах, ягодах, зернових культурах, продуктах харчування тваринного походження, є його рівень у ґрунтах, воді та у кормових рослинах. Крім того, суттєву роль у біоаккумуляції літію відіграють видові особливості рослин і тварин. Фактичний вміст літію в раціонах харчування свідчить про недостатній рівень забезпеченості організму людини цим мікроелементом, через низькі концентрації його в продуктах харчування та воді. На сьогодні відсутні офіційні рекомендації експертів ФАО/ВООЗ щодо дієтичних норм споживання людиною літію. Незважаючи на те, що існує значна кількість наукових напрацювань щодо накопичення і міграції літію в основних компонентах природного середовища, деякі питання ще до кінця не вивчені, а деякі літературні дані – суперечливі, і потребують пояснення або уточнення. Подальші комплексні еколого-токсикологічні дослідження рівнів та закономірностей міграції та накопичення літію у абіотичних і біотичних

⁹⁶ Lithium chloride promotes apoptosis in human leukemia NB₄ cells by inhibiting glycogen synthase kinase-3 beta / L. Li et. al. *International Journal of Medical Sciences*. 2015. Vol. 12, № 10. P. 805–810. DOI: 10.7150/ijms.12429.

⁹⁷ Berk M., Cowdery S., Williams L., Malhi G.S. Recalibrating the risks and benefits of lithium therapy. *The British Journal of Psychiatry*. 2017. Vol. 211, № 1. P. 1–2. DOI: 10.1192/bjp.bp.116.193789.

⁹⁸ Zamani A., Omrani G.R., Nasab, M.M. Lithium's effect on bone mineral density. *Bone*. 2009. Vol. 44, № 2. P. 331–334. DOI: 10.1016/j.bone.2008.10.001.

⁹⁹ Tang L., Chen Y., Pei F., Zhang H. Lithium chloride modulates adipogenesis and osteogenesis of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Cell Physiol Biochem*. 2015. Vol. 37. P. 143–152. DOI: 10.1159/00043034.

¹⁰⁰ Low-dose lithium uptake promotes longevity in humans and metazoans / K. Zarse et. al. *European Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 50, № 5. P. 387–389. DOI: 10.1007/s00394-011-0171-x.

компонентах природного середовищі необхідні передусім для мінімізації негативних наслідків для здоров'я людей, пов'язаних з небезпечними концентраціями цього мікроелемента.

АНОТАЦІЯ

Літій є природним елементом з унікальними фізико-хімічними властивостями, які й визначають його біологічну роль в організмі рослин, тварин і людини. У низьких концентраціях літій позитивно впливає на фізіологічні процеси в живих організмах, тоді як високі дози, викликають інтоксикацію і можуть призвести до патологічних функціональних змін окремих органів або систем. Знання рівнів і закономірностей міграції літію в основних компонентах природного середовища необхідні передусім для мінімізації біологічних ризиків для здоров'я людини, пов'язаних з небезпечними концентраціями цього мікроелементу. В аналітичному огляді узагальнені та систематизовані результати багаторічних наукових досліджень, щодо вмісту літію у ґрунтах, воді, повітрі, рослинах, продуктах харчування рослинного та тваринного походження. Овочі, фрукти, ягоди, зернові культури, продукція тваринництва та птахівництва, що вирощені в різних екологічних умовах, значно відрізняються між собою за вмістом літію. Знаходячись у харчовому ланцюзі літій може здійснювати вплив на організм людини. Аналіз фактичного вмісту літію в раціонах харчування свідчить про недостатній рівень забезпеченості організму людини цим мікроелементом, через низькі концентрації його в продуктах харчування та воді. При недостатньому надходженні літію в організм людини порушується ріст тканин і репродуктивна функція, скорочується тривалість життя через передчасне старіння, підвищується агресивність, виникають проблеми у поведінці. На сьогодні відсутні офіційні рекомендації експертів ФАО/ВООЗ щодо дієтичних норм споживання людиною літію. Представлені дані, дозволяють більш об'єктивно оцінити еколого-біогеохімічний статус територій різних географічних регіонів та у подальшому спрогнозувати рівень надходження цього мікроелементу з водою і продуктами харчування в організм людини.

Література

1. A review on role of essential trace elements in health and disease / L. Prashanth et. al. *Journal Dr.NTR University of Health Sciences*. 2015. Vol. 4, № 2. P. 75–85. DOI: 10.4103/2277-8632.158577.
2. Левітін Є.Я., Ведерникова І.О., Коваль А.О., Криський О.С. Біоактивність неорганічних сполук: навч. посіб. для аудит. та самост. роботи студентів / Харків : НФаУ, 2017. 83 с.

3. Bauer M., Gitlin M. Lithium and Its History. *The essential guide to lithium treatment*. Springer Cham, 2016. P. 25–31. DOI: 10.1007/978-3-319-31214-9_3.
4. Grew E., Jonsson E., Langhof J. Lithium – 200 years: Symposium and field trip June 14–16, 2018. *Elements*. 2018. Vol. 14, № 4. P. 284.
5. Mohandas E., Rajmohan V. (2007). Lithium use in special populations. *Indian Journal of Psychiatry*. 2007. Vol. 49, № 3. P. 211–218. DOI: 10.4103/0019-5545.37325.
6. Johanson P. Lithium. New York: Rosen Publishing Group, 2007. 48 p.
7. Meyer J., Stahl S. The Lithium Handbook: Stahl's Handbooks (Stahl's Essential Psychopharmacology Handbooks). Cambridge: Cambridge University Press, 2023.
8. Lithium toxicity in plants : reasons, mechanisms and remediation possibilities – a review / B. Shahzad et. al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016. Vol. 107. P. 105–115. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.05.034.
9. Mineral profiles: Lithium. British Geological Survey Keyworth, Nottingham, UK, 2016. 39 p.
10. Жук О.А., Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Основні закономірності розподілу літію у ґрунтах УЩ. *Геохімія та рудоутворення*. 2010. Вип. 28. С. 130–132.
11. Munteanu C. Lithium biology. București: Editura Balneară, 2013. 104 p.
12. Evans R.K. Lithium. *Critical metals handbook*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, Ltd, 2014. P. 230–260. DOI: 10.1002/9781118755341.
13. Mueller R., Betz L., Anke M. Essentiality of the ultra trace element lithium to the nutrition of animals and man. *Proceedings of the 30 Scientific symposium of industrial toxicology*. Slovakia: Slovenska spolocnost priemyselnej chemie, 2010. P. 134–143.
14. Potential health benefits of deep sea water : a review / S.Z. Mohd Nani et. al. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicin*. 2016. Vol. 2016. P. 6520475. DOI: 10.1155/2016/6520475.
15. Schäfer U. Lithium. Elements and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004. P. 478–496. DOI: 10.1002/9783527619634.ch23a.
16. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace Elements from Soil to Human. Heidelberg: Springer Berlin, 2007. 550 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1.
17. Геохімія довкілля: навч. посібник / Н.Т. Тверезовська та ін. Ніжин; Боярка: Видавець Лисенко М.М., 2015. 403 с.
18. Is lithium biologically an important or toxic element to living organisms? An overview / B. Shahzad et. al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 24, № 1. P. 103–115. DOI: 10.1007/s11356-016-7898-0.

19. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 403 p.
20. Жук О.А. Геохімічні особливості розподілу літію у сольових ореолах гетерогенного походження. *Геохімія та рудоутворення*. 2013. Вип. 33. С. 81–85.
21. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Жук О.А. Геохімічні пошуки за екзогенними сольовими ореолами літію. *Мінералогічний журнал*. 2011. Т. 33, № 3. С. 84–89.
22. Schrauzer G.N. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *Journal of the American College of Nutrition*. 2002. Vol. 21, № 1. P. 14–21.
23. Aral H., Vecchio-Sadus A. Toxicity of lithium to humans and the environment – a literature review. *Ecotoxicol Environ Safety*. 2008. Vol. 70, № 3. P. 349–356. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2008.02.026.
24. Цвей Я.П., Широконос А.М., Феденко П.Я., Звягінцев С.С. Вміст важких металів на моніторингових ділянках біосферного заповідника «Асканія-Нова». *Наукові записки НаУКМА*. 2001. Т. 19: Біологія та екологія. С. 83–85.
25. The occurrence of lithium in the environment of the Jordan Valley and its transfer into the food chain / T.G. Ammari et. al. *Environmental Geochemistry and Health*. 2011. Vol. 33, № 5. P. 427–437. DOI: 10.1007/s10653-010-9343-5.
26. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters. *Treatise on Geochemistry*. 2003. Vol. 5. P. 225–272. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/05165-3.
27. Kszos L.A., Beauchamp J.J., Stewart A.J. Toxicity of lithium to three freshwater organisms and the antagonistic effect of sodium. *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12, № 5. P. 427–437. DOI: 10.1023/A:1026160323594.
28. Anderson M.A., Bertsch P.M., Miller W.P. The distribution of lithium in selected soils and surface waters of the southeastern USA. *Applied Geochemistry*. 1988. Vol. 3, № 2. P. 205–212. DOI: 10.1016/0883-2927(88)90008-X.
29. Kszos L.A., Stewart A.J. Review of lithium in the aquatic environment: distribution in the united states, toxicity and case example of groundwater contamination. *Ecotoxicology*. 2003. Vol. 12, № 5. P. 439–447. DOI: 10.1023/A:1026112507664.
30. Lithium in the natural waters of the south East of Ireland / L. Kavanagh et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 4, № 6. P. 561. DOI: 10.3390/ijerph14060561.
31. Ogawa Y., Koibuchi H., Suto K., Inoue C. Effects of the chemical compositions of salars de Uyuni and Atacama Brines on lithium concentration during evaporation. *Resource Geology*. 2014. Vol. 64, № 2. P. 91–101. DOI: 10.1111/rge.12030.

32. Song J., Nghiem L.D., Xue-Mei L., Tao H. Lithium extraction from chinese salt-lake brines : opportunities, challenges, and future outlook. *Environmental Science : Water Research Technology*. 2017. Vol. 3, № 4. P. 593–597. DOI: 10.1039/C7EW00020K.
33. Recovery of lithium from Uyuni salar brine / J.W. An et. al. *Hydrometallurgy*. 2012. Vol. 117–118. P. 64–70. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2012.02.008.
34. Warren J.K. Evaporites : a geological compendium. Springer Cham, 2016. 1813 p. DOI: 10.1016/J.HYDROMET.2012.02.008.
35. Global lithium resources : relative importance of pegmatite, brine and other deposits / S.E. Kesler et. al. *Ore Geology Reviews*. 2012. Vol. 48. P. 55–69. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2012.05.006.
36. Удалов І.В. Гідрохімічна характеристика поверхневих та ґрунтових вод Лисичанського та Алмазно-Мар'євського геолого-промислових районів північно-східного Донбасу. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Геологія. Географія*. 2014. Т. 22, вип. 16. С. 188–197.
37. Онищенко В.І. Вплив скидних шахтових вод на річкові екосистеми Донбасу. *Екологія та ноосферологія*. 2006. Вип. 17, т. 1–2. С. 61–68.
38. Lithium levels in the public drinking water supply and risk of suicide : a pilot study / V. Liaugaudaite et. al. *Journal of trace elements in medicine and biology*. 2017. Vol. 43. P. 197–201. DOI: 10.1016/j.jtemb.2017.03.009.
39. High-level exposure to lithium, boron, cesium, and arsenic via drinking water in the andes of Northern Argentina / G. Concha et. al. *Environmental Science Technology*. 2010. Vol. 44, № 17. P. 6875–6880. DOI: 10.1021/es1010384.
40. Lithium in drinking water and suicide mortality / N.D. Kapusta et. al. *The British Journal of Psychiatry*. 2011. Vol. 198, № 5. P. 346–350. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.091041.
41. Helbich M., Blüml V., Leitner M., Kapusta, N.D. Does altitude moderate the impact of lithium on suicide? A spatial analysis of Austria. *Geospatial Health*. 2013. Vol. 7, № 2. P. 209–218. DOI: 10.4081/gh.2013.81.
42. Giotakos O., Nisianakis P., Tsouvelas G., Giakalou, V.V. Lithium in the public water supply and suicide mortality in Greece. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 156, № 1–3. P. 376–379. DOI: 10.1007/s12011-013-9815-4.
43. Lithium in drinking water and incidence of suicide : a nationwide individual-level cohort study with 22 years of follow-up / N.N. Knudsen et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. Vol. 14, № 6. E627. DOI: 10.3390/ijerph14060627.
44. Relationships of local lithium concentrations in drinking water to regional suicide rates in Italy / M. Pompili et. al. *World Journal of Biological Psychiatry*. 2015. Vol. 16, № 8. P. 567–574. DOI: 10.3109/15622975.2015.1062551.

45. Liu Y., Yuan Y., Luo K. Regional Distribution of Longevity Population and Elements in Drinking Water in Jiangjin District, Chongqing City, China. *Biological trace element research*. 2018. Vol. 184, № 2. P. 287–299. DOI: 10.1007/s12011-017-1159-z.
46. Kostik V., Bauer B., Kavrakovski Z. Lithium content in potable water, surface water, ground water, and mineral water on the territory of republic of Macedonia. *International Journal of Medicine and Public Health*. 2014. Vol. 4, № 3. P. 189–193. DOI: 10.4103/2230-8598.137700.
47. Lithium in drinking water and suicide rates across the East of England / N. Kabacs et. al. *British Journal of Psychiatry*. 2011. Vol. 198, № 5. P. 406–407. DOI: 10.1192/bjp.bp.110.088617.
48. Lithium in the public water supply and suicide mortality in Texas / V. Blüml et. al. *Journal of Psychiatric Research*. 2013. Vol. 47, № 3. P. 407–411. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2012.12.002.
49. Прибилова В.М. Оцінка якісного складу питних підземних вод сеноман-нижньокрейдного водоносного комплексу на території Харківської області. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. Харків, 2015. Вип. 43. С. 75–82.
50. Lithium levels in drinking water and risk of suicide / H. Ohgami et. al. *British Journal of Psychiatry*. 2009. Vol. 194, № 5. P. 464–465. DOI: 10.1192/bjp.bp.108.055798.
51. Lithium in tap water and suicide mortality in Japan / N. Sugawara et. al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013. Vol. 10, № 11. P. 6044–6048. DOI: 10.3390/ijerph10116044.
52. Lithium in drinking water may be negatively associated with depressive temperament in the nonclinical population / N. Ishii et. al. *Clinical Neuropsychopharmacology and Therapeutics*. 2017. Vol. 8. P. 7–11. DOI: 10.5234/cnpt.8.7.
53. Krachler M., Shotyk W. Trace and ultratrace metals in bottled waters: survey of sources worldwide and comparison with refillable metal bottles. *Science of the Total Environment*. 2009. Vol. 407, № 3. P. 1089–1096. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.10.014.
54. Trace Elements and ions in Italian bottled mineral waters : identification of anomalous values and human health related effects / D. Cicchella et. al. *Journal of Geochemical Exploration*. 2010. Vol. 107, № 3. P. 336–349. DOI: 10.1016/j.gexplo.2010.04.004.
55. European Ground Water Geochemistry Using Bottled Water as a Sampling Medium / A. Demetriades et. al. *Clean soil and safe water*; F.F. Quercia, D.Vidojevic. Springer Netherlands, 2012. P. 115–139. DOI: 10.1007/978-94-007-2240-8_10.
56. Kalinowska M., Hawrylak-Nowak B., Szymańska M. The influence of two lithium forms on the growth, l-ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 152, № 2. P. 251–257. DOI: 10.1007/s12011-013-9606-y.

57. Reimagining safe lithium applications in the living environment and its impacts on human, animal, and plant system / N. Shakoor et. al. *Environmental science and ecotechnology*. 2023. Vol. 15. P. 100252. DOI: 10.1016/j.ese.2023.100252.

58. Hawrylak-Nowak B., Kalinowska M., Szymańska M. A study on selected physiological parameters of plants grown under lithium supplementation. *Biological Trace Element Research*. 2012. Vol. 149, № 3. P. 425–430. DOI: 10.1007/s12011-012-9435-4.

59. Induced Plant Accumulation of Lithium / L. Kavanagh et. al. *Geosciences*. 2018. Vol. 8, № 2. P. 56. DOI: 10.3390/geosciences8020056.

60. Assessment of Lithium, Macro- and Microelements in Water, Soil and Plant Samples from Karst Areas in Romania / A.I. Török et. al. *Materials (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 14, № 14. P. 4002. DOI: 10.3390/ma14144002.

61. Tomascak P.B., Magna T., Dohme, R. Advances in lithium isotope geochemistry. Springer Cham, 2016. 195 p.

62. Anke M., Schäfer U., Arnhol W. Lithium. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*; B.Caballero, P. Finglas, F. Toldra. Academic Press, 2003. P. 3589–3593/ DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00710-0.

63. Suttle N.F. Mineral nutrition of livestock. Cambridge: CABI, 2010. 587 p. DOI: 10.1079/9781845934729.0000.

64. Коновалова О.Ю., Мітченко Ф.А., Шураєва Т.К., Джан Т.В. Мінеральні елементи лікарських рослин та їх роль у життєдіяльності людини. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. 192 с.

65. Pifferi P.G. 2017. EP 2 794 516 B1. Composition for increasing lithium and selenium content in vegetables and their processed products and use thereof. Date of publication and mention of the grant of the patent: 08.03.2017. Bologna, Italy.

66. Franzaring J., Schlosser S., Damsohn W., Fangmeier A. Regional differences in plant levels and investigations on the phytotoxicity of lithium. *Environmental pollution*. 2016. Vol. 216. P. 858–865. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.06.059.

67. Vetter J. Lithium content of some common edible wild-growing mushrooms. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 90. P. 31–37. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.03.019.

68. The trace element content of top-soil and wild edible mushroom samples collected in Tuscany, Italy / G. Giannaccini et. al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184, № 12. P. 7579–7595. DOI: 10.1007/s10661-012-2520-5.

69. Wang L., Jiang L., Zhao Z.Y., Tian C.Y. Lithium content of some teas and their infusions consumed in China. *Food Science and Biotechnology*. 2014. Vol. 23, № 1. P. 323–325. DOI: 10.1007/s10068-014-0045-0.

70. Maria D., Żaneta K., Jadwiga M. Lithium content in the tea and herbal infusions. *European Food Research and Technology*. 2015. Vol. 241, № 2. P. 289–293. DOI: 10.1007/s00217-015-2456-4.

71. Sobolev O., Borshch O.O., Riznychuk I., Kyshlaly O. Fortification of meat products of geese farming with lithium by introducing it into poultry mixed feed. *Agraarteadus*. 2022. Vol. 33. № 1. P. 154–161. DOI: 10.15159/jas.22.11.
72. Chemometrical analysis of 18 metallic and nonmetallic elements found in honeys sold in France / J. Devillers et. al. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50, № 21. P. 5998–6007. DOI: 10.1021/jf020497r.
73. Bağcı Y., Arslan D., Ozcan M.M., Dursu, N. Determination of the mineral content of bee honeys produced in Middle Anatolia. *Food sciences and nutrition*. 2007. Vol. 58, № 7. P. 567–575. DOI: 10.1080/09637480701343804.
74. Terrab A., Recamales A.F., Gonzalez Miret M.L., Heredia F.J. Contribution to the study of avocado honeys by their mineral contents using inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Food Chemistry*. 2005. Vol. 92, № 2. P. 305–309. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.07.033.
75. Steckha H., Pohl P. Pre-concentration of lithium prior to its determination in honey by flame optical emission spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2011. Vol. 22, № 4. P. 677–683. DOI: 10.1590/S0103-5053201100040001.
76. Nabrzyski M., Gajewska R. Content of strontium, lithium and calcium in selected milk products and in some marine smoked fish. *Nahrung*. 2002. Vol. 46, № 3. P. 204–208. DOI: 10.1002/1521-3803(20020501)46:3<204::AID-FOOD204>3.0.CO;2-8.
77. Trace elements content in cheese, cream and butter / N. Bilandžić et. al. *Mljekarstvo/Dairy*. 2014. Vol. 64, № 3. P. 150–158. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2014.0302.
78. Determination of 20 trace elements in fish and other seafood from the French market / T. Guerin et. al. *Food Chemistry*. 2011. Vol. 127, № 3. P. 934–942. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2011.01.061.
79. Environmental lithium exposure in the north of Chile – II. Natural food sources / L.T. Figueroa et. al. *Biological Trace Element Research*. 2013. Vol. 151, № 1. P. 122–131. DOI: 10.1007/s12011-012-9543-1.
80. Marshall T.M. Lithium as a nutrient. *Journal of American Physicians and Surgeons*. 2015. Vol. 20, № 4. P. 104–109.
81. Van Cauwenbergh R., Hendrix P., Robberecht H., Deelstra H. Daily dietary lithium intake in Belgium using duplicate portion sampling. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und –Forschung*. 1999. Vol. 208, № 3. P. 153–155. DOI: 10.1007/s002170050393.
82. Nutritional Risk Assessment of Eleven Minerals and Trace Elements: Prevalence of Inadequate and Excessive Intakes from the Second French Total Diet Study / E. Kalonji et. al. *European Journal of Nutrition and Food Safety*. 2015. Vol. 5, № 4. P. 281–296. DOI: 10.9734/EJNFS/2015/18193.
83. A negative association between lithium in drinking water and the incidences of homicides, in Greece / O. Giotakos et. al. *Biological Trace Element Research*. 2015. Vol. 164. P. 165–168. DOI: 10.1007/s12011-014-0210-6.

84. Kohno K., Ishii N., Hirakawa H., Terao T. Lithium in drinking water and crime rates in Japan: Cross-sectional study. *BJPsych Open*. 2020. Vol. 6, № 6. P. E122. DOI: 10.1192/bjo.2020.63.
85. WHO/IAEA/FAO. Trace elements in human nutrition and health. Geneva: World Health Organization, 1996. 343 p.
86. Перепелиця О.П. Екохімія та ендоекологія елементів : довідник з екологічного захисту. Київ: НУХТ, Екохім, 2004. 736 с.
87. Bourgeois M.-L., Masson M. The history of lithium in medicine and psychiatry. *The science and practice of lithium therapy*; G.S. Malhi, M. Masson, F. Bellivier. Springer International Publishing Switzerland, 2017. P. 181–188. DOI: 10.1007/978-3-319-45923-3.
88. Machado-Vieira, R., Manji H.K., Zarate C.A. The role of lithium in the treatment of bipolar disorder: convergent evidence for neurotrophic effects as a unifying hypothesis. *Bipolar Disorders*. 2009. Vol. 11, № 2. P. 92–109. DOI: 10.1111/j.1399-5618.2009.00714.x.
89. Lithium for prevention of mood episodes in bipolar disorders: systematic review and meta-analysis / E. Severus et. al. *International Journal of Bipolar Disorders*. 2014. Vol. 2. P. 15. DOI: 10.1186/s40345-014-0015-8.
90. Malhi G.S., Gessler D., Outhred T. The use of lithium for the treatment of bipolar disorder: Recommendations from clinical practice guidelines. *Journal of Affective Disorders*. 2017. Vol. 217. P. 266–280. DOI: 10.1016/j.jad.2017.03.052.
91. Mauer S., Vergne D., Ghaemi S.N. Standard and trace-dose lithium: a systematic review of dementia prevention and other behavioral benefits. *The Australian and New Zealand journal of psychiatry*. 2014. Vol. 48, № 9. P. 809–818. DOI: 10.1177/0004867414536932.
92. Lithium treatment and risk for dementia in adults with bipolar disorder: population-based cohort study / T. Gerhard et. al. *The British Journal of Psychiatry*. 2015. Vol. 207, № 1. P. 46–51. DOI: 10.1192/bjp.bp.114.154047.
93. Lithium as a treatment for Alzheimer's Disease: a systematic review and meta-analysis/ S. Matsunaga et. al. *Journal of Alzheimer's disease*. 2015. Vol. 48, № 2. P. 403–410. DOI: 10.3233/JAD-150437.
94. Chronic microdose lithium treatment prevented memory loss and neurohistopathological changes in a transgenic mouse model of Alzheimer's Disease / M.A. Nunes et. al. *PLoS One*. 2015. Vol. 10, № 11. P. e0142267. DOI: 10.1371/journal.pone.0142267.
95. Lazzara C.A., Kim, Y.-H. Potential application of lithium in Parkinson's and other neurodegenerative diseases. *Frontiers in Neuroscience*. 2015. Vol. 9. P. 403. DOI: 10.3389/fnins.2015.00403.
96. Lithium chloride promotes apoptosis in human leukemia NB₄ cells by inhibiting glycogen synthase kinase-3 beta / L. Li et. al. *International Journal of Medical Sciences*. 2015. Vol. 12, № 10. P. 805–810. DOI: 10.7150/ijms.12429.
97. Berk M., Cowdery S., Williams L., Malhi G.S. Recalibrating the risks and benefits of lithium therapy. *The British Journal of Psychiatry*. 2017. Vol. 211, № 1. P. 1–2. DOI: 10.1192/bjp.bp.116.193789.

98. Zamani A., Omrani G.R., Nasab, M.M. Lithium's effect on bone mineral density. *Bone*. 2009. Vol. 44, № 2. P. 331–334. DOI: 10.1016/j.bone.2008.10.001.

99. Tang L., Chen Y., Pei F., Zhang H. Lithium chloride modulates adipogenesis and osteogenesis of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Cell Physiol Biochem*. 2015. Vol. 37. P. 143–152. DOI: 10.1159/00043034.

100. Low-dose lithium uptake promotes longevity in humans and metazoans / K. Zarse et. al. *European Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 50, № 5. P. 387–389. DOI: 10.1007/s00394-011-0171-x.

Information about the authors:

Sobolev Oleksandr Ivanovych,

Doctor of Agricultural Sciences,

Professor at the Department of Technology of poultry breeding
and pig breeding products production

Bila Tserkva National Agrarian University

8/1, Soborna sq., Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine

Petryshak Roman Anatoliiovych,

Candidate of Agricultural Sciences,

Associate Professor at the Department of Animal Feeding
and Feed Technology

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and
Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

Naumyk Oleksandr Serhiiiovych,

Candidate of Agricultural Sciences,

Associate Professor at the Department of Animal Feeding
and Feed Technology

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and
Biotechnologies Lviv

50, Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine