

УДК 504.53:572.022:616.379 (477.81)
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.149.1.41>

ВПЛИВ ВМІСТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ В ҐРУНТАХ НА ЗАХВОРЮВАНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ЦУКРОВИЙ ДІАБЕТ

Клименко М.О. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища
та лісового господарства,
Національний університет водного господарства та природокористування
orcid.org/0000-0003-0892-0648

Буглак С.Ю. – аспірант кафедри екології, технології захисту навколишнього
середовища та лісового господарства,
Національний університет водного господарства та природокористування
orcid.org/0009-0007-3889-6497

У статті викладені результати досліджень впливу есенціальних і токсичних мікроелементів ґрунтів Рівненської області на поширеність захворюваності населення.

Надлишок або дефіцит мікроелементів змінює перебіг обмінних процесів в організмі людини і у багатьох випадках спричиняє появу різноманітних захворювань. Так марганець впливає на функціонування щитоподібної, підшлункової, статевої залози, бере участь у кровотворенні. Кадмій входить до складу білкового комплексу, здатний токсично впливати на підшлункову залозу. Мідь впливає на функціонування щитоподібної та підшлункової залози, входить до складу білків і ферментів.

Судячи з ролі і функцій, які марганець, мідь й кадмій виконують в організмі людини, доцільно встановити їх дію на поширеність захворюваності населення на цукровий діабет.

Установлено, що впродовж 2015–2020 років, за даними агрохімічних обстежень ґрунтів районів області, вміст рухомих форм мікроелементів змінювався в межах: у зоні Полісся по марганцю від 4,6 до 17,1 мг/кг, міді від 0,10 до 0,75 мг/кг, кобальту від 0,18 до 2,5 мг/кг, кадмію від 0,08 до 0,50 мг/кг; у зоні Лісостепу по марганцю від 10,08 до 23,5 мг/кг, міді від 0,08 до 0,23 мг/кг, кобальту від 0,24 до 0,42 мг/кг, кадмію від 0,05 до 0,14 мг/кг.

Отримані математичні моделі поширеності захворюваності населення області на цукровий діабет від вмісту у ґрунтах рухомих форм марганцю, міді, кобальту, кадмію, які мають вид зростаючих, або спадаючих прямих при коефіцієнтах кореляції від 0,07 до 0,35 у 2015 році та від 0,08 до 0,53 у 2020 році.

Досліджувалась сумісна дія рухомих форм мікроелементів марганцю, міді, кобальту, кадмію на величину поширеності захворюваності населення районів області на цукровий діабет і були отримані математичні моделі між цими показниками, які мають вид лінійних багаточинних регресій при коефіцієнтах детермінації у зоні Полісся від 0,23 до 0,99, а в зоні Лісостепу від 0,76 до 0,99.

Установлено, що для запобігання захворюваності населення на цукровий діабет ґрунти потребують корегування в них вмісту мікроелементів до високого і дуже високого їх вмісту у системі ґрунт – рослина – людина.

Ключові слова: захворюваність, цукровий діабет, мікроелементи, коефіцієнти кореляції, коефіцієнти детермінації, математичні моделі.

Klymenko M.O., Buhlak S.Yu. Impact of the content of trace elements in soils on the incidence of diabetes mellitus among the population of Rivne region

The article presents the results of the studies of essential and toxic trace elements impact on the soils of Rivne region for disease prevalence among its population.



An excess or deficiency of trace elements alters metabolic processes in the human body and, in many cases, leads to the development of various diseases. For example, manganese affects the functioning of the thyroid gland, pancreas, and gonads, and also participates in hematopoiesis. Cadmium is a component of protein complexes and may exert toxic effects on the pancreas. Copper influences the functioning of the thyroid gland and pancreas and is also a component of proteins and enzymes.

Considering the roles and functions that manganese, copper, and cadmium perform in the human body, it is advisable to determine their influence on the prevalence of diabetes mellitus among the population.

It was established that during the years of 2015–2020, according to agrochemical soil studies conducted in the districts of the region, the content of mobile forms of trace elements varied within the following ranges: in the Polissia zone, manganese from 4.6 to 17.1 mg/kg, copper from 0.10 to 0.75 mg/kg, cobalt from 0.18 to 2.5 mg/kg, and cadmium from 0.08 to 0.50 mg/kg; in the Forest-Steppe zone, manganese from 10.08 to 23.5 mg/kg, copper from 0.08 to 0.23 mg/kg, cobalt from 0.24 to 0.42 mg/kg, and cadmium from 0.05 to 0.14 mg/kg.

Mathematical models were developed to describe the prevalence of diabetes mellitus among the population of the region depending on the content of mobile forms of manganese, copper, cobalt, and cadmium in soils. These models take the form of increasing or decreasing linear relationships, with correlation coefficients ranging from 0.07 to 0.35 in 2015 and from 0.08 to 0.53 in 2020.

The combined impact of mobile forms of manganese, copper, cobalt, and cadmium on the prevalence of diabetes mellitus among the population of the region was also investigated. Mathematical models describing the relationships between these indicators were developed in the form of linear multifactor regressions, with coefficients of determination ranging from 0.23 to 0.99 in the Polissia zone and from 0.76 to 0.99 in the Forest-Steppe zone.

It was established that, in order to prevent diabetes mellitus among the population, soils require optimization of trace element levels to high and very high values within the soil–plant–human system.

Key words: morbidity, diabetes mellitus, trace elements, correlation coefficients, coefficients of determination, mathematical models.

Постановка проблеми. Пагубні впливи на довкілля і здоров'я людини можуть чинити численні хімічні елементи, які поділяються за токсичністю на: найтоксичніші: кадмій, ртуть, нікель, свинець, кобальт, арсен; помірно токсичні: мідь, цинк, марганець; малотоксичні, до яких належать всі інші важкі метали з щільністю більше 8 000 кг/м³. Свинець і кадмій виявляють, при надходженні до організму людини у значних кількостях, канцерогенні властивості. Вплив важких елементів на організм людини проявляється у настанні випадків надходження надлишку або їх нестачі, яка оцінюється в мг на добу у продуктах харчування людини. При цьому, слід зазначити, що концентрація важких металів у сільськогосподарській продукції залежить від біологічних особливостей культур, застосування мінеральних добрив, технологій їх вирощування та агроекологічного стану ґрунтів [1].

Надлишок або дефіцит мікроелементів змінює перебіг обмінних процесів в організмі людини і у багатьох випадках спричиняє появу різноманітних захворювань.

Так марганець з добовою концентрацією 5–10 мг/кг впливає на функціонування щитоподібної, підшлункової, статевої залози, активує окисно–відновні процеси, впливає на ріст і статевий розвиток, регулює артеріальний тиск входить до складу всіх органів людини, бере участь в кровотворенні, стимулює синтез холестерину і глікогену. Наслідками надходження до організму людини надлишку сполук марганцю є важкі отруєння, а при їх нестачі проявляються рак шлунково–кишкового тракту, рак шкіри, анемія, пригнічення росту. Мідь з добовою потребою 2–3 мг/кг впливає на функціонування щитоподібної, підшлункової, статевої залози входить до складу 30 білків і ферментів, бере участь у процесах кровотворення,

впливає на формування скелету людини. Надходження надлишку міді до організму людини викликає ураження печінки (хвороба Боткіна), порушення функції мозку, шизофренію, епілепсію, розвиток злоякісних утворень. Порогове значення 60 мг. Нестача міді в організмі людини супроводжується анемією, остеопорозом, порушеннями діяльності центральної нервової системи, мідь впливає на еластичність кровоносних судин, рак шлунково–кишкового тракту. Кобальт входить до складу вітаміну B_{12} . Він є активатором ферментів карбоксипептидази, карбоанангідрази, бере участь в утворенні еритроцитів, гемоглобіну. Надлишок кобальту проявляє токсичну дію і пригнічує синтез вітаміну B_{12} (нижня межа 30 мг) спричинює злоякісне малокрів'я. Нестача кобальту (менше 7 мг) може викликати анемію, м'язову дистрофію, зоб.

Кадмій з добовою дозою 15–30 мг входить до складу білкового комплексу, підвищує кров'яний тиск, бере участь у функціонуванні, здатний токсично впливати на щитоподібну, підшлункову залози, регулює вміст цукру у крові. Надлишок кадмію спричиняє захворювання центральної нервової системи, всіх форм раку, цирозу печінки, нефриту нирок, емфіземи легенів, інсультів, гіпертонії, хвороби «ітай–ітай». Нестача кадмію погіршує функціонування щитоподібної, підшлункової, статевої залоз. Аналіз впливу мікроелементів марганцю, міді, кобальту і кадмію засвідчує, що надлишок і нестача їх змінює перебіг обмінних процесів в організмі людини і може спричинити виникненню багатьох захворювань. Слід зазначити, що людський організм нормально функціонує лише за умов збалансованості всіх хімічних компонентів, які надходять до нього через ланцюги живлення з ґрунту до сільськогосподарських культур і продуктів харчування коли концентрація мікроелементів не перевищує значень ГДК. У ґрунтах зон Полісся і Лісостепу України у більшості випадків мікроелементи за величинами вмісту знаходяться у дефіциті або надлишку і рідко відповідають показникам ГДК. Виникає потреба у дослідженні впливу, як окремої так і сумісної дії рухомих форм марганцю, міді, кобальту і кадмію на поширеність захворюваності населення Рівненської області. Судячи з ролі і функцій які марганець, мідь, кадмій виконують в організмі людини доцільно встановити їх дію на поширеність захворюваності населення на цукровий діабет.

Відомо, що цукровий діабет є небезпечним і поширеним захворюванням сучасності, яке становить більше ніж 50% всіх захворювань ендокринної системи. Поширеність захворюваності на цукровий діабет сягає до 2–3% тоді як у економічно розвинених країнах цей показник зростає майже у двічі.

Установлено, що поширеність хронічних захворювань серцево–судинної, центральної та периферичної нервової систем серед хворих на цукровий діабет майже у тричі вищий у порівнянні з іншою категорією людей. Захворюваність на цукровий діабет зростає з року в рік і найчастіше серед людей віку від 45 до 64 років. За прогнозами фахівців у 2030 роках у світі очікується біля 360 млн. хворих на цукровий діабет. Важливо зазначити, що зростання захворюваності населення на цукровий діабет буде супроводжуватися не лише зниженням якості життя хворих, як внаслідок погіршення стану їх фізичного та психологічного здоров'я, але і соціальних і економічних втрат. Непомірно зростуть і витрати країн на лікування хворого населення на цукровий діабет. Вивченню цієї проблеми і присвячені наші дослідження.

Мета роботи – оцінити вплив рухомих форм мікроелементів на поширеність захворюваності населення цукровим діабетом та встановити параметри їх оптимального вмісту у системі ґрунт – рослина – людина.

Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: вивчення динаміки поширеності захворюваності на цукровий діабет населення, встановити особливості динаміки змін вмісту рухомих форм мікроелементів в продовж 2015–2020 років; отримати математичні моделі сумісної дії марганцю, міді, кобальту і кадмію на поширеність захворюваності цукровим діабетом населення області.

Об'єкти дослідження – явище сумісного впливу мікроелементів марганцю, міді, кобальту, кадмію на поширеність захворюваності цукровим діабетом населення Рівненської області.

Предмети дослідження – показники динаміки поширеності захворюваності цукровим діабетом населення області, показники динаміки змін вмісту рухомих форм марганцю, міді, кобальту, кадмію, кількісні і якісні показники кореляційного і регресійного аналізу впливу мікроелементів на поширеність захворюваності цукровим діабетом населення області.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовувались методи: ретроспективного аналізу, аналогії порівнянь, експериментальні (збір та аналіз статистичних даних поширеності захворюваності населення на цукровий та динаміки вмісту рухомих форм мікроелементів у ґрунтах області); математичні (кореляційний та регресійний аналіз). Визначення мікроелементів в ґрунтах виконано за загальноприйнятими методиками у Рівненській філії ДУ «Інституту охорони ґрунтів України». Вміст рухомих форм: марганцю, міді, кобальту, кадмію проводили атомно-абсорбційним методом (ДСТУ 4770.6:2007, 4770.1:2007, 4770.5:2007, 4770.3:2007). Обробку статистичних даних здійснювали з використанням програм Statistika та Microsoft Excel.

Якісну оцінку отриманих коефіцієнтів кореляції та множинних коефіцієнтів кореляції визначали за шкалою: 0 – зв'язок відсутній; 0,01–0,20 – дуже слабкий зв'язок; 0,21–0,50 – слабкий зв'язок; 0,51–0,70 – помірний зв'язок; 0,71–0,9 – сильний зв'язок; 0,91–1,0 – дуже сильний зв'язок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових праць зарубіжних і вітчизняних дослідників засвідчує про можливу токсичну дію мікроелементів на живі організми, а накопичення їх у значних кількостях в організмі людини може призвести до тяжких розладів їх здоров'я.

Так дослідження [2, 3] показали, що мікроелементи цинк, селен, мідь, хром, марганець, кальцій, тісно пов'язані з ліпідним обміном, який є важливою і складною біохімічною реакцією в організмі людини [1]. Порушення ліпідного обміну за даними досліджень можуть бути [4, 5] причиною цукрового діабету, ожиріння [6–8], цереброваскулярних захворювань і гіпертонії.

Незважаючи на те, що вміст мікроелементів в організмі людини досить малий [9] він здійснює потужне біологічну дію [10, 11]. Мікроелементи які надходять до людини при споживанні їжі і води беруть безпосередню участь у метаболічних процесах ферментів, гормонів, вітамінів і нуклеїнових кислот [12, 13]. Заслужують на увагу дослідження авторів [4, 16], які зазначають, що порушення ліпідного обліку пов'язаних зі зміною рівня мікроелементів в організмі людини.

Дослідження показали, що вміст міді у пацієнтів з гіперліпідемією, гіперглікемією, гіпертонією та ожирінням вище, ніж у звичайних людей [17]. А у випадках коли в організмі людини не вистачає міді, сироватковий рівень холестерину значно підвищується, а концентрація ліпопротеїнів низької щільності аномально підвищується. Холестерин може повернутись до норми після прийому міді [18].

Адекватний вміст марганцю в організмі людини визначає правильний метаболізм амінокислот, холестерину та вуглеводів [19].

Огляд літературних джерел свідчить про те, що мікроелементи беруть участь у ліпідному обміні. Зниження вмісту цинку, міді та селену призводить до збільшення загального вмісту в сироватці крові рівня холестерину і ліпопротеїдів низької щільності. Однак у цих публікаціях відсутня інформація про причинно-наслідковий зв'язок між зміненими рівнями мікроелементів у ґрунтах та метаболізмом ліпідів і захворюваністю людей. Виникає потреба у вивченні складних механізмів взаємозв'язків між вмістом мікроелементів у ґрунтах і рівнями захворюваності людей.

Доцільність у проведенні подібних досліджень підтверджується отриманими даними у науковій праці [20] з якої стає відомий той факт, що метали свинець, цинк, хром, нікель за вмістом перевищують національні безпечні межі у міських ґрунтах Італії, Сербії, Англії. Підвищений вміст важких металів був виявлений у південному В'єтнамі [21], а високі концентрації миш'яку, кадмію, марганцю, свинцю, цинку, що перевищують допустимі межі, було встановлено у передміських аграрних ґрунтах Найробі [22], що створює загрозу здоров'ю населення.

Однозначно слід зазначити, що орні землі вважаються придатними для одержання екологічно безпечної продукції, якщо вміст у ґрунтах валових і рухомих форм мікроелементів знаходиться на рівні кларку, або не перевищує максимально допустимих рівнів [23]. На середньо і низько забруднених ґрунтах важкими металами зниження врожайності сільськогосподарських культур може досягати 30–35%. Дефіцит міді затримує ріст та цвітіння рослин, спричиняє хлороз, втрату тургору. При низькому вмісті у ґрунті марганцю, що спричиняє дефіцит, спостерігається хлороз і плямистість листя. При нестачі у ґрунті цинку в рослинах зменшується вміст ауксинів сахарози та крохмалю, порушується синтез білків.

Установлено, що при усуненні дефіциту у ґрунтах вмісту мікроелементів спостерігається приріст врожаїв сільськогосподарських культур та якості сировини, яка використовується для виробництва екобезпечних продуктів харчування.

Відтак можна сподіватись, що споживання населенням продуктів харчування, вирощених на ґрунтах з вмістом мікроелементів на межі між надлишком і дефіцитом, буде сприяти зменшенню ризиків їх захворювань на цукровий діабет.

Для оцінки екобезпечного вмісту мікроелементів в орних землях доцільно використовувати нормативи розроблені науковцями за показниками забезпеченості сільськогосподарських культур рухомими формами мікроелементів (таблиця 1). Нижньою межею екологічно безпечного вмісту мікроелементів слід приймати підвищений вміст, а верхньою межею – дуже високий вміст.

Таблиця 1

Нормування ґрунтів за показниками забезпеченості сільськогосподарських культур рухомими формами мікроелементів, мг/кг

Назва мікроелемента	Дуже низька	Низька	Середня	Підвищена	Висока	Дуже висока
Марганець	<5,1	5,1–7,0	7,1–10	10,1–15,0	15,1–20	> 20
Мідь	<0,11	0,11–0,15	0,16–0,20	0,21–0,30	0,31–0,5	> 0,5
Кобальт	0,071	0,071–0,1	0,11–0,15	0,16–0,20	0,21–0,3	> 0,3
Кадмій	0,1–0,2	0,21–0,50	0,51–1,0	1,01–1,50	1,51–2,0	> 2,0

Виклад основного матеріалу. Аналіз даних агрохімічних обстежень ґрунтів районів Рівненської області засвідчує, що вміст рухомих форм мікроелементів,

впродовж 2015–2020 років у зоні Полісся, змінювався в межах, а саме за вмістом: марганцю від 4,6 до 17,1 мг/кг; кобальту від 0,18 до 2,57 мг/кг; кадмію від 0,08 до 0,5 мг/кг (таблиця 2).

Таблиця 2

Вміст рухомих форм мікроелементів в ґрунтах зони Полісся, мг/кг

НАЗВА РАЙОНУ	Елемент	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>БЕРЕЗНІВСЬКИЙ</i>	Mn	9,23	14,6	14,9	12,9	12,75	12,7
	Cu	0,18	0,19	0,22	0,17	0,15	0,17
	Co	0,41	0,42	0,48	0,35	0,38	0,35
	Cd	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11
<i>ВОЛОДИМИРЕЦЬКИЙ</i>	Mn	4,60	6,70	7,90	6,40	6,24	6,30
	Cu	0,22	0,23	0,25	0,23	0,26	0,26
	Co	0,41	0,40	0,38	0,40	0,36	0,30
	Cd	0,10	0,10	0,11	0,12	0,09	0,10
<i>ДУБРОВИЦЬКИЙ</i>	Mn	6,83	15,2	15,8	14,68	15,0	15,1
	Cu	0,11	0,10	0,12	0,11	0,12	0,12
	Co	0,22	0,20	0,24	0,22	0,25	0,31
	Cd	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
<i>ЗАРІЧНЕНСЬКИЙ</i>	Mn	12,0	10,1	13,4	12,5	12,0	12,0
	Cu	0,17	0,12	0,18	0,12	0,12	0,12
	Co	0,41	0,44	0,45	0,42	0,41	0,41
	Cd	0,12	0,27	0,28	0,25	0,20	0,18
<i>КОСТОПІЛЬСЬКИЙ</i>	Mn	15,3	18,3	18,0	17,2	16,9	17,1
	Cu	0,88	0,87	0,81	0,85	0,80	0,75
	Co	2,56	2,54	2,60	2,57	2,61	2,57
	Cd	0,55	0,54	0,49	0,53	0,55	0,50
<i>РОКИТНІВСЬКИЙ</i>	Mn	10,48	14,6	16,0	14,0	14,0	14,0
	Cu	0,10	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10
	Co	0,32	0,31	0,33	0,32	0,31	0,31
	Cd	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10
<i>САРНЕНСЬКИЙ</i>	Mn	6,93	10,4	11,08	9,47	10,0	10,12
	Cu	0,15	0,17	0,19	0,16	0,17	0,18
	Co	0,20	0,20	0,24	0,21	0,21	0,18
	Cd	0,11	0,11	0,10	0,11	0,12	0,11

Як видно із таблиці 2 забезпеченість орних земель зони Полісся мікроелементами впродовж 2015–2020 років коливалась у межах категорій, а саме: по марганцю від дуже низької до високої, по міді від дуже низької до дуже високої, по кобальту від підвищеної до високої, по кадмію від дуже низької до низької. За умов дуже низької, низької і середньої забезпеченості орних земель мікроелементами слід очікувати не лише зниження врожайності сільськогосподарських культур, але і зменшення накопичення їх у сировині з якої виготовляють продукти харчування, що буде знижувати їх вміст в організмах людей.

Діапазони змін вмісту рухомих форм мікроелементів у зоні Лісостепу відбувалися в межах, а саме: по марганцю від 10,08 до 23,5 мг/кг; міді від 0,08 до 0,23 мг/кг; кобальту від 0,24 до 0,42 мг/кг; кадмію від 0,05 до 0,14 мг/кг (таблиця 3).

Таблиця 3

Вміст рухомих форм мікроелементів в ґрунтах зони Лісостепу, мг/кг

НАЗВА РАЙОНУ	Елемент	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>ГОЩАНСЬКИЙ</i>	Mn	16,2	18,6	19,0	15,83	15,41	15,46
	Cu	0,12	0,12	0,15	0,13	0,11	0,13
	Co	0,35	0,36	0,32	0,34	0,34	0,35
	Cd	0,05	0,07	0,08	0,07	0,05	0,06
<i>ДЕМИДІВСЬКИЙ</i>	Mn	18,3	19,0	21,1	19,63	20,03	20,2
	Cu	0,24	0,19	0,21	0,21	0,19	0,18
	Co	0,33	0,32	0,29	0,31	0,35	0,36
	Cd	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,09
<i>ДУБЕНСЬКИЙ</i>	Mn	12,21	13,45	14,01	13,5	13,21	13,4
	Cu	0,11	0,09	0,09	0,10	0,10	0,08
	Co	0,23	0,29	0,31	0,28	0,30	0,34
	Cd	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
<i>ЗДОЛБУНІВСЬКИЙ</i>	Mn	10,08	12,3	12,1	11,5	12,23	12,31
	Cu	0,1	0,14	0,16	0,13	0,15	0,14
	Co	0,33	0,37	0,23	0,31	0,27	0,30
	Cd	0,11	0,11	0,14	0,12	0,13	0,12
<i>КОРЕЦЬКИЙ</i>	Mn	12,8	16,6	25,8	18,4	17,91	18,0
	Cu	0,18	0,18	0,28	0,21	0,19	0,20
	Co	0,31	0,36	0,29	0,32	0,34	0,31
	Cd	0,09	0,10	0,08	0,09	0,08	0,08
<i>МЛИНІВСЬКИЙ</i>	Mn	16,9	16,8	16,3	17,65	18,02	17,9
	Cu	0,12	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13
	Co	0,39	0,34	0,33	0,35	0,37	0,40
	Cd	0,09	0,10	0,11	0,10	0,11	0,12
<i>ОСТРОЗЬКИЙ</i>	Mn	12,6	11,2	19,69	14,5	15,1	15,0
	Cu	0,11	0,12	0,17	0,13	0,11	0,11
	Co	0,25	0,24	0,30	0,26	0,30	0,27
	Cd	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<i>РАДИВИЛІВСЬКИЙ</i>	Mn	12,4	15,8	16,3	15,9	15,31	15,2
	Cu	0,12	0,13	0,12	0,13	0,15	0,17
	Co	0,38	0,36	0,40	0,38	0,38	0,42
	Cd	0,12	0,12	0,12	0,14	0,15	0,14
<i>РІВНЕНСЬКИЙ</i>	Mn	23,5	24,5	24,78	20,70	21,0	21,0
	Cu	0,16	0,21	0,19	0,19	0,21	0,23
	Co	0,46	0,44	0,41	0,44	0,40	0,42
	Cd	0,15	0,15	0,14	0,16	0,15	0,14

Дані таблиці 3 також засвідчують, що забезпеченість орних земель зони Лісостепу впродовж 2015–2020 років зазнавала значних коливань у межах категорій,

а саме: по марганцю від середньої до дуже високої, по міді від дуже низької до підвищеної, по кобальту від високої до дуже високої, по кадмію – дуже низької.

За умов споживання населенням продуктів виготовлених з сировини з низьким вмістом мікроелементів в організмі людей буде формуватися їх дефіцит, що стане причинами і впливатиме на рівні їх захворювань на цукровий діабет (таблиця 4).

Таблиця 4

**Поширеність захворюваності на цукровий діабет 2009–2020 роки
на 10 000 осіб**

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Березнівський	227	238	359	382	404	427	438	448	461	474	489	476
Володимирець-кий	178	191	298	310	326	342	342	347	365	369	380	536
Гощанський	208	222	306	319	332	346	347	352	347	353	351	405
Демидівський	280	295	388	411	431	452	459	474	486	486	504	511
Дубенський	216	179	260	242	252	261	267	277	292	307	317	320
Дубровицький	216	240	326	350	360	369	367	364	363	379	400	401
Зарічненський	188	216	332	360	378	397	423	447	469	491	512	1038
Здолбунівсь-кий	250	267	355	379	402	424	436	459	483	503	529	539
Корецький	191	210	296	296	317	337	357	366	375	399	430	407
Костопільсь-кий	221	232	327	342	366	389	401	418	444	465	495	378
Млинівський	210	220	309	337	356	378	410	449	473	498	526	446
Острозький	274	296	411	433	454	474	502	530	557	584	615	182
Радивилівсь-кий	209	232	320	340	356	371	392	404	421	425	435	462
Рівненський	194	211	289	320	314	309	404	416	441	466	483	462
Рокитнівський	155	164	262	288	316	335	358	384	416	427	458	440
Сарненський	205	216	304	324	368	412	433	334	329	330	322	276
м. Рівне	301	312	403	423	445	468	488	508	522	529	534	588
м. Кузнецовськ	229	259	367	398	424	449	466	482	501	504	563	587
м. Дубно	374	385	487	474	489	505	514	512	544	564	567	571
	235	248	345	363	386	408	424	430	446	459	474	476

Як видно з таблиці 4, поширеність захворюваності населення області впродовж 2009–2020 років у районах поступово зростала. Так у населення районів зони Полісся на період 2009 року поширеність захворюваності на цукровий діабет становила величини від 155 до 227 випадків на 10 тисяч осіб, то у 2020 році цей показник зріс до показників від 227 до 538 випадків на 10 тисяч осіб. Аналогічна динаміка змін величин поширеності захворюваності на цукровий діабет спостерігалася у населення районів зони Лісостепу. Так, якщо у населення цієї зони у 2009 році показник поширеності захворюваності на цукровий діабет змінювався в діапазоні від 191 до 280, то у 2020 році цей показник зріс до величин від 320 до 462 випадків на 10 тисяч осіб. Слід зазначити, що за величинами поширеності захворюваності на цукровий діабет населення зони Полісся перевищує рівень встановлений для населення зони Лісостепу 506 і 415 випадків на 10 тисяч осіб відповідно. Це може бути обумовлено споживанням населенням зони Лісостепу продуктів харчування вирощених на родючих сірих лісових і чорноземних ґрунтах, які краще забезпечені мікроелементами.

Поряд з цим нами досліджувалась залежність поширеності захворюваності населення області на цукровий діабет від вмісту у ґрунтах рухомих форм марганцю, міді, кобальту, кадмію (таблиця 5).

Таблиця 5

Залежність поширеності захворюваності населення на цукровий діабет від вмісту у ґрунті марганцю, міді, кобальту, кадмію

Елемент	Вид рівняння	Коефіцієнт кореляції	Вид рівняння	Коефіцієнт кореляції
Зона Полісся 2015 р.			Зона Лісостепу 2015 р.	
Mn	$Y_1 = 3,7363 x_1 + 359,68$	0,35	$Y_5 = 1,8076 x_5 + 370$	0,11
Cu	$Y_2 = 12,624 x_2 + 391,31$	0,09	$Y_6 = 287,35 x_6 + 356,88$	0,19
Co	$Y_3 = 3,308 x_3 + 392,43$	0,07	$Y_7 = 146,57 x_7 + 347,77$	0,15
Cd	$Y_4 = 30,182 x_4 + 389,48$	0,13	$Y_8 = 261,83 x_8 + 369,18$	0,11
Зона Полісся 2020 р.			Зона Лісостепу 2020 р.	
Mn	$Y_9 = -8,4357 x_8 + 538,66$	-0,33	$Y_{13} = 9,5516 x_{13} + 257,32$	0,26
Cu	$Y_{10} = -88,26 x_9 + 454,86$	-0,22	$Y_{14} = 1224,2 x_{14} + 228,53$	0,53
Co	$Y_{11} = -21,506 x_{10} + 447,04$	-0,20	$Y_{15} = 993,32 x_{15} + 65,019$	0,49
Cd	$Y_{12} = -113,25 x_{11} + 452,52$	-0,19	$Y_{16} = -195,83 x_{16} + 433,82$	-0,08

Примітка: $Y_1 \dots Y_{16}$ – поширеність захворюваності населення на цукровий діабет, випадків на 10 000 населення;

$X_1 \dots X_{16}$ – вміст в ґрунті рухомих форм марганцю, міді, кобальту, кадмію.

Як видно з таблиці 5 залежності поширеності захворюваності населення на цукровий діабет від вмісту окремих мікроелементів у ґрунтах зон Полісся і Лісостепу за 2015 і 2020 років мають вид, а саме: у зоні Полісся у 2015 році зростаючих прямих при коефіцієнтах кореляції від 0,07 до 0,35, а у 2020 році спадаючих прямих при коефіцієнтах кореляції від -0,19 до -0,33. У зоні Лісостепу у 2015 році зростаючих прямих при коефіцієнтах кореляції від 0,11 до 0,19, а у 2020 році по марганцю, міді і кобальту зростаючих прямих при коефіцієнтах кореляції від 0,26 до 0,53, а для кадмію спадаючої прямої з коефіцієнтом кореляції -0,08. Від так можна стверджувати, що встановлені для ґрунтового покриву області залежності які мають вид зростаючих прямих свідчать про недоцільність збільшувати вміст марганцю, міді, кобальту, кадмію для зменшення рівня поширеності захворюваності на ЦД у 2015 році і навпаки у 2020 році для зменшення захворюваності на ЦД у зоні Полісся і виникає потреба у підвищенні вмісту рухомих форм марганцю, міді, кобальту, кадмію, а у зоні Лісостепу лише кадмію.

Особлива увага у дослідженнях приділялась встановленню впливу сумісної дії есенціальних мікроелементів марганцю, міді, кобальту та токсичному кадмію на величину поширеності захворюваності населення області на ЦД (таблиця 6).

Як видно з таблиці 6 отримані залежності між цими показниками мають вид лінійних багатофакторних регресії при коефіцієнтах детермінації у зоні Полісся від 0,23 до 0,99, а у зоні Лісостепу від 0,76 до 0,99. При цьому слід зазначити, що у лінійних багатофакторних залежностях коефіцієнти при мікроелементах марганцю, міді, кобальту, кадмію мають значення плюс або мінус, що характеризує вплив цього мікроелементу на зростання або зменшення величини поширеності захворюваності населення цих районів на цукровий діабет.

Аналіз знаків коефіцієнтів лінійних багатофакторних регресій засвідчує, що зниження поширеності захворюваності населення на цукровий діабет в області може посприяти збільшення вмісту у ґрунтах районі рухомих форм мікроелементів, а саме: у Володимирецькому у дерновому глейовому ґрунті – міді, кобальту,

кадмію; Дубровицькому дерново-підзолисту глейовому ґрунті – міді, кадмію; Зарічненському лучно-болотистому ґрунті – міді і кадмію; Рокитнівському у дерново-підзолисту ґрунті – кобальту, кадмію; Сарненському у дерново-підзолисту ґрунті – марганцю, міді, кобальту; Гоцанському у ясно-сірих, сірих лісових ґрунтах – марганцю, міді.

Таблиця 6

Залежності поширеності захворюваності населення на цукровий діабет від вмісту у ґрунтах рухомих форм мікроелементів

НАЗВА РАЙОНУ	ВИД РІВНЯННЯ	R ²
<i>Зона Полісся</i>		
Березнівський	$Y_1 = 1821,82 + 17,59x_1 + 396,57x_2 + 21,65x_3 + 16667,2x_4$	0,23
Володимирецький	$Y_2 = 4718,72 + 79,50x_1 - 8070,56x_2 - 4027,20x_3 - 13831,0x_4$	0,84
Дубровицький	$Y_3 = 13757,33 + 245,86x_1 - 5941,43x_2 + 2399,40x_3 - 213483,66x_4$	0,54
Зарічненський	$Y_4 = -34625,18 + 581,79x_1 - 42942,19x_2 + 93682,86x_3 - 25496,0x_4$	0,99
Костопільський	$Y_5 = -5750,29 + 23,20x_1 + 526,0x_2 + 1992,19x_3 + 432,91x_4$	0,94
Рокитнівський	$Y_6 = 1379,29 + 5,5x_1 + 4964x_2 - 3749x_3 - 3415x_4$	0,98
Сарненський	$Y_7 = 627,16 - 34,58x_1 - 1727,70x_2 - 316,46x_3 + 3354,80x_4$	0,99
<i>Зона Лісостепу</i>		
Гоцанський	$Y_8 = -303 - 3,22x_1 - 5,45x_2 + 1844,17x_3 + 1467,50x_4$	0,45
Демидівський	$Y_9 = 208,42 + 12,96x_1 - 192,22x_2 + 368,44x_3 - 675,53x_4$	0,97
Дубенський	$Y_{10} = 6356,72 - 91,04x_1 - 12893,34x_2 - 4022,85x_3 - 21706,16x_4$	0,81
Здолбунівський	$Y_{11} = -2920,24 + 224,52x_1 - 13278,34x_2 + 1408,7x_3 + 17776,41x_4$	0,99
Корецький	$Y_{12} = 441,03 + 5,12x_1 - 565,94x_2 - 44,38x_3 - 318,13x_4$	0,77
Млинівський	$Y_{13} = -1561,25 + 72,61x_1 + 8991,22x_2 - 13,86x_3 - 3704,44x_4$	0,89
Острозький	$Y_{14} = -3259,28 - 156,45x_1 + 11965,87x_2 + 12166,72x_3 + 12496,89x_4$	0,76
Радивилівський	$Y_{15} = 18,19 + 4,97x_1 + 521,29x_2 + 510,42x_3 + 462,63x_4$	0,99
Рівненський	$Y_{16} = 949,60 - 9,08x_1 - 4,26x_2 - 976,38x_3 + 808,65x_4$	0,97

$Y_{1...16}$ – поширеність захворюваності на цукровий діабет на 10000 осіб;

X_1 – вміст марганцю мг/кг; X_2 – вміст міді мг/кг;

X_3 – вміст кобальту мг/кг; X_4 – вміст кадмію мг/кг.

Демидівському у чорноземах типових – міді, кадмію; Дубенському у ясно-сірих, сірих лісових ґрунтах – марганцю, міді, кобальту, кадмію; Здолбунівському у ясно-сірих, сірих лісових ґрунтах – міді; Корецькому у ясно-сірих, сірих лісових ґрунтах – міді, кобальту, кадмію; Млинівському у чорноземах типових – кобальту, кадмію; Острозькому у чорноземах опідзолених ґрунтах – марганцю; Рівненському у темно-сірих лісових ґрунтах – марганцю, міді, кобальту. У дерново-підзолистих ґрунтах Березнівського району, які містять марганцю 12,7 мг/кг, міді 0,17 мг/кг, кобальту 0,35 мг/кг, кадмію 0,11 мг/кг, чорноземах щебенюватих середньозмитих Костопільського району, які містять марганцю 17,1 мг/кг, міді 0,75 мг/кг, кобальту 2,57 мг/кг, кадмію 0,50 мг/кг та чорноземах щебенюватих Радивилівського району, які містять марганцю 15,2 мг/кг, міді 0,17 мг/кг, кобальту 0,42 мг/кг, кадмію 0,14 мг/кг – додаткового внесення цих мікроелементів не потребують.

Низький вміст мікроелементів у ґрунтах внаслідок їх природних властивостей чи виносу урожаєм, застосування азотних, фосфорних, калійних добрив або інших причин, усувається внесенням добрив, щоб відновити оптимальну рівновагу цих елементів у системі ґрунт – рослина – людина, яке б забезпечило нормальний метаболізм людини, та усувало загрозу захворюваності на цукровий діабет.

Для забезпечення оптимального вмісту мікроелементів у системі ґрунт – рослина – людина рекомендується вносити мікродобрива, а саме: мідь вмісних, з вмістом 24,2% – сульфат міді, подвійний суперфосфат – 0,8%; цинкові добрива з вмістом цинку у суперфосфаті подвійному – 0,8%, сульфат цинку – 36%; марганцеві добрива з вмістом марганцю амофос 1,8 – 2,0%, карбонат марганцю – 31%, кобальтові добрива з вмістом кобальту суперфосфат простий – 1,1 мг/кг, карбонат кальцію 0,2 – 12 мг/кг; кадмієві добрива з вмістом кадмію у суперфосфаті 0,4 – 0,6 мг/кг.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Установлено, що впродовж 2009–2020 років в Рівненській області прослідковується тенденція зростання показників поширеності захворюваності населення на цукровий діабет. За рівнем хворих на цукровий діабет населення зони Полісся перевищує рівень встановлений для населення зони Лісостепу, що обумовлено більш високою родючістю ґрунтів цієї зони та споживанням більш якісної продукції вирощеної на цих ґрунтах.

Установлено, що у 2020 році у зонах Полісся і Лісостепу поширеність захворюваності населення на цукровий діабет залежить від вмісту рухомих форм мікроелементів у ґрунтах і має вид зростаючих або спадаючих прямих з коефіцієнтами кореляції, а саме: по марганцю – 0,33, 0,26; по міді – 0,22, 0,53; по кобальту – 0,20, 0,49; по кадмію – 0,19, – 0,08 відповідно.

Стохастичні математичні моделі, які описують функціональні залежності між змінними поширеністю захворюваності населення районів на цукровий діабет і вмістом у ґрунтах їх сумісної дії рухомих форм марганцю, міді, кобальту, кадмію. І які мають вид лінійних багатофакторних залежностей при коефіцієнтах кореляції у зоні Полісся від 0,23 до 0,99, а у зоні Лісостепу від 0,45 до 0,99.

Дерново–підзолисті, сірі лісові, чорноземи типові і опідзолені ґрунти області, оскільки за вмістом рухомих форм марганцю, міді, кобальту, кадмію не перевищують максимально допустимі рівні, є придатними для отримання на них екологічно безпечної сільськогосподарської продукції. Але для вирощування продукції для дієтичного харчування та запобігання захворюваності населення на цукровий діабет вони потребують корегування вмісту в цих ґрунтах районів мікроелементів до підвищеного, високого, дуже високого їх забезпечення по марганцю від 15,0 до 20,0 мг/кг, міді від 0,21 до 0,50 мг/кг, по кобальту від 0,16 до 0,30 мг/кг, по кадмію від 1,0 до 2,0 мг/кг, що буде відповідати оптимальному їх вмісту у системі ґрунт – рослина – людина.

Перспективи подальших досліджень полягають у встановленні впливу мікроелементів цинку, магній, бору, хрому на рівень захворюваності населення області на цукровий діабет, що дозволить розширити перелік впливу сумісної дії до 8 мікроелементів на цей вид захворюваності населення, та виявити найбільш впливові серед них.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Залеський І. І., Клименко М. О. Екологія людини : підручник. Київ : Видавничий центр «Академія», 2005. 288 с.
2. Kramer C. K., Zinman B., Retnakaran R. Are metabolically healthy overweight and obesity benign conditions? A systematic review and Meta-analysis. *Annals of*

Internal Medicine. 2013. Vol. 159, № 11. P. 758–769. DOI: <http://dx.doi.org/10.7326/0003-4819-159-11-201312030-00008>. PMID: 24297192.

3. Trace Elements, PPARs, and Metabolic Syndrome / Shi Y. et al. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21, № 7. Art. 2612. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms21072612>. PMID: 32283758.

4. Verges B. Lipid disorders in type 1 diabetes. *Diabetes and Metabolism*. 2009. Vol. 35, № 5. P. 353–360. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.diabet.2009.04.004>. PMID: 32283758.

5. Verges B. Lipid modification in type 2 diabetes: the role of LDL and HDL. *Fundamental and Clinical Pharmacology*. 2009. Vol. 23, № 6. P. 681–685. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-8206.2009.00739.x>. PMID: 19650852.

6. Long-term risk of a major cardiovascular event by apoB, apoA-1, and the apoB/apoA-1 ratio—Experience from the Swedish AMORIS cohort: A cohort study / Walldius G. et al. *PLoS Med*. 2021. Vol. 18, № 12. Art. e1003853. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pmed1003853>. PMID: 34851955.

7. Genetics of apolipoprotein B and apolipoprotein AI and premature coronary artery disease / Zamboni A. et al. *Journal of Internal Medicine*. 2006. Vol. 259, № 5. P. 473–480. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2796.2006.01645.x>. PMID: 16629853.

8. Subclasses of low-density lipoprotein and very low-density lipoprotein in familial combined hyperlipidemia: Relationship to multiple lipoprotein phenotype / Georgieva A. M. et al. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2004. Vol. 24, № 4. P. 744–749. DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/01.ATV.0000119681.47218.a4>. PMID: 14751815.

9. Fraga C. G., Oteiza P. I., Keen C. L. Trace elements and human health. *Molecular Aspects of Medicine*. 2005. Vol. 26, № 4–5. P. 233–234. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mam.2005.07.014>. PMID: 16122783.

10. Zheng W. Systemic impact of trace elements on human health and diseases: nutrition, toxicity, and beyond. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2020. Vol. 62. Art. 126634. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126634>. PMID: 32827865.

11. The essential metals for humans: a brief overview / Zoroddu M. A. et al. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2019. Vol. 195. P. 120–129. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2019.03.013>. PMID: 30939379.

12. The efficacy and safety of multivitamin and mineral supplement use to prevent cancer and chronic disease in adults: A systematic review for a National Institutes of Health state-of-the-science conference / Huang H. Y. et al. *Annals of Internal Medicine*. 2006. Vol. 145, № 5. P. 372–385. DOI: <http://dx.doi.org/10.7326/0003-4819-145-5-200609050-003>. PMID: 16880453.

13. Maroney M. S., Hondal R. J. Selenium versus sulfur: Reversibility of chemical reactions and resistance to permanent oxidation in proteins and nucleic acids. *Free Radical Biology and Medicine*. 2018. Vol. 127. P. 228–237. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.035>. PMID: 29588180.

14. A global perspective on FOXO1 in lipid metabolism and lipid-related diseases / Li Y. et al. *Progress in Lipid Research*. 2017. Vol. 66. P. 42–49. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plipres.2017.04.002>. PMID: 28392404.

15. Deregulation of Lipid Metabolism: The Critical Factors in Ovarian Cancer / Ji Z. et al. *Frontiers in Oncology*. 2020. Vol. 10. Art. 593017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fonc.2020.593017>. PMID: 33194756.

16. Targeting lipid metabolism in liver cancer / Alannan M. et al. *Biochemistry*. 2020. Vol. 59, № 41. P. 3951–3964. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.biochem.0c00477>. PMID: 32930581.

17. Research progress of iron, zinc, copper, selenium, manganese and metabolic syndrome / Zhu X. H. et al. *Journal of Environmental and Occupational Medicine*. 2016. Vol. 36, № 1. P. 197–200.

18. Observation and analysis of biochemical indicators in type 2 diabetes / Li X. H. et al. *Zhongguo Laonianxue Zazhi*. 2008. № 15. P. 1521–1522.

19. Zabłocka-Słowińska K., Grajeta H. The role of manganese in etiopathogenesis and prevention of selected diseases. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*. 2012. Vol. 66. P. 549–553. DOI: <http://dx.doi.org/10.5604/17322693.1006411>. PMID: 22922155.

20. Metals in urban soils of Europe: A systematic review / Binner H. et al. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 854. Art. 158734. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158734>.

21. Evaluation of heavy metal content in agricultural soil samples in the Mekong Delta region, VietNam and human health risks / Truong T. T. H. et al. *Environmental Geochemistry and Health*. 2025. Vol. 47, № 5. Art. 170. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02428-6>.

22. Heavy metals and trace elements contamination risks in peri-urban agricultural soils in Nairobi city catchment, Kenya / Ahogle A. M. et al. *Frontiers in Soil Science*. 2023. Vol. 2. Art. 1048057. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.1048057>.

23. Городній М. М., Бикін А. В., Нагасвська Л. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «Алефа», 2003. 778 с.

Дата першого надходження статті до видання: 29.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026