



Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.  
Серія: Ветеринарні науки

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.  
Series: Veterinary sciences

ISSN 2518–7554 print  
ISSN 2518–1327 online

doi: 10.32718/nvlvet12025  
<https://nvlvet.com.ua/index.php/journal>

UDC 619:615.281:577.112:546.57:546.28

## Prospects for the use of nanoaquachelates of Argentum and Germanium as biocides and biostimulants

I. V. Romazan<sup>✉</sup>, Ya. I. Turko, I. B. Turko, O. V. Kuliaba

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, Ukraine

### Article info

Received 08.10.2025  
Received in revised form  
10.11.2025  
Accepted 11.11.2025

Stepan Gzhytskyi National  
University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv,  
Pekarska Str., 50, Lviv,  
79010, Ukraine.  
Tel.: +38-098-298-86-25  
E-mail: romazanirina317@gmail.com

**Romazan, I. V., Turko, Ya. I., Turko, I. B., & Kuliaba, O. V. (2025). Prospects for the use of nanoaquachelates of Argentum and Germanium as biocides and biostimulants. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences, 27(120), 205–212. doi: 10.32718/nvlvet12025**

Nanotechnologies, in particular the use of nanoaquachelates of metals such as Argentum (Ag) and Germanium (Ge), are becoming increasingly important in modern biotechnological processes. These compounds combine high biological activity with safety for the body and the environment, which makes them promising for the treatment, prevention, and improvement of animal productivity. Ag nanoaquachelate has a wide range of biocidal properties, namely: bactericidal, virucidal, fungicidal, antiparasitic, and anti-inflammatory activity. It is effective against more than 650 species of pathogenic microorganisms, while not affecting the symbiotic microflora and not contributing to the formation of resistant strains. In addition, Ag contributes to the normalization of metabolic processes, improvement of liver function, and increase in the overall resistance and productivity of animals. Nanoaquachelate Ge has pronounced immunostimulating, antitumor, antioxidant, and anti-inflammatory properties. It participates in the regulation of protein, fat, and carbohydrate metabolism, increases the bioavailability of feed, stimulates the synthesis of immunoglobulins, interferons, and interleukins, activates B- and T-lymphocytes, NK cells, and macrophages, and protects cell membranes from oxidative stress. In addition, nanoaquachelate Ge promotes increased growth intensity, normalization of behavior, improvement of immune status, and has no toxic effect on the body. It has been established that the acute toxicity of Ge citrate at intraperitoneal administration in white mice and rats is 400 mg/kg, which indicates the high safety of the drug. The combination of Ag and Ge nanoaquachelates provides a comprehensive therapeutic effect: counteracting infectious, viral, fungal, and parasitic diseases, stimulating metabolism and the immune system, and increasing the productivity and profitability of livestock farming. The use of aerosol therapy and disinfection of premises with nanoaquachelates is particularly effective, contributing to the preservation of livestock health and improvement of the physiological and immune status of the body. The review data obtained confirm the promise of widespread use of Ag and Ge nanoaquachelates in veterinary practice and animal husbandry as highly effective, safe, and environmentally balanced biologically active preparations. They not only provide therapeutic and prophylactic effects, but also contribute to the optimization of physiological processes, improvement of the quality of livestock products, and increase in the economic efficiency of the industry.

**Key words:** Argentum, Germanium, nanoaquachelates, bactericidal properties, biogenic effect.

## Перспективи використання наноаквахелатів Аргентуму та Германію в якості біоцидів та біостимуляторів

I. В. Ромазан<sup>✉</sup>, Я. І. Турко, І. Б. Турко, О. В. Куляба

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

У сучасних біотехнологічних процесах все більшого значення набувають нанотехнології, зокрема застосування наноаквахелатів металів, таких як Аргентум (Ag) та Германій (Ge). Ці сполуки поєднують високу біологічну активність із безпечністю для

організму та докільдія, що робить їх перспективними для лікування, профілактики та підвищення продуктивності тварин. Наноаквахелат Ag володіє широким спектром біоцидних властивостей, а саме: бактерицидною, віруліцидною, фунгіцидною, протипаразитарною та протизапальною активністю. Він ефективний проти понад 650 видів патогенних мікроорганізмів, при цьому не впливає на симбіотичну мікрофлору і не сприяє формуванню резистентних штамів. Крім того, Ag сприяє нормалізації метаболічних процесів, покращенню функціонування печінки, підвищенню загальної резистентності та продуктивності тварин. Наноаквахелат Ge володіє вираженими імуностимулюючими, протипухлинними, антиоксидантними та протизапальними властивостями. Він бере участь у регуляції білкового, жирного та вуглеводного обміну, підвищує біодоступність кормів, стимулює синтез імуноглобулінів, інтерферонів та інтерлейкінів, активує В- та Т-лімфоцити, NK-клітини та макрофаги, а також забезпечує захист клітинних мембран від оксидативного стресу. Окрім цього наноаквахелат Ge сприяє підвищенню інтенсивності росту та не має токсичної дії на організм. Встановлено, що гостра токсичність цитрату Ge при внутрішньошлунковому введенні у білих мишей та щурів становить 400 мг/кг, що свідчить про високу безпечність препарату. Поєднання наноаквахелатів Ag і Ge забезпечує комплексний терапевтичний ефект: протидію інфекційним, вірусним, грибовим та паразитарним захворюванням, стимуляцію метаболізму та імунної системи, підвищення продуктивності та рентабельності тваринництва. Особливо ефективним є поєднання застосування аерозольної терапії та дезінфекції приміщень із використанням наноаквахелатів, що сприяє збереженню здоров'я поголів'я та покращенню фізіологічного та імунного статусу організму. Отримані оглядові дані підтверджують перспективність широкого застосування наноаквахелатів Ag і Ge у ветеринарній практиці та тваринництві як високоєфективних, безпечних та екологічно збалансованих біологічно активних препаратів. Вони забезпечують не лише лікувальну і профілактичну дію, а й сприяють оптимізації фізіологічних процесів, покращенню якості продуктів тваринництва та підвищенню економічної ефективності галузі.

**Ключові слова:** Аргентум, Германія, наноаквахелати, бактерицидні властивості, біогенна дія.

## Вступ

Нанотехнології дають змогу впливати на організм на молекулярному та атомному рівнях, унаслідок чого істотно змінюються властивості речовин. Це одне з найбільш значущих і сучасних досягнень науки, яке характеризується високим економічним і біологічним потенціалом (Dykyi et al., 2008; Ushkalov, 2010).

В Україні розвиток ветеринарно-медичних нанотехнологій розпочався у 2007 році. У подальшому була обґрунтована доцільність застосування нанопрепаратів з урахуванням їх фізико-хімічних характеристик та біологічного впливу на організм (Biagioli & Carino, 2019).

При застосуванні речовин у формі нанорозмірних частинок слід враховувати специфічні фізико-хімічні особливості їх властивостей (Trevors, 1987; Haidiuk, 2010), зокрема:

- підвищену реакційну здатність;
- зростання адсорбційних і каталітичних властивостей;
- малі розміри та різноманіття форм нанопрепаратів, що сприяє утворенню комплексів з нуклеїновими кислотами, білками та іншими структурними компонентами клітини, їх вбудовуванню в мембрани, проникненню в органели та змінам біоструктур.

Наноречовини мають розмір менше 100 нм, що дозволяє відносити їх до високотехнологічних матеріалів. Частинки такого розміру схильні до агрегації, тому для запобігання злипанню застосовують дисперсанти, зокрема водні розчини цитрату амонію, імідазоліну, олеїнового спирту, які використовують у комплексі з наноречовинами.

Шкідливий вплив вільних наночастинок на організм може бути зумовлений такими чинниками:

- потенційною токсичністю основної речовини;
- вираженими каталітичними властивостями;
- специфічною дією речовини у наностані;
- високим ступенем дисперсності та активною взаємодією з живими клітинами.

Наночастинки легко проникають в організм через шкіру, дихальні шляхи та шлунково-кишковий тракт,

а також поширюються вздовж нервових волокон, кровоносних і лімфатичних судин.

Наноструктури здатні долати основні захисні бар'єри організму, зокрема плацентарний, шлунково-кишковий та гематоенцефалічний. Перспективний напрям розвитку нанотехнологій у ветеринарній медицині полягає в мінімізації використання вільних наночастинок та їх заміні комбінованими формами, зокрема наноаквахелатами різних речовин (Voloshyna et al., 2008).

Наноаквахелати характеризуються високою біологічною активністю та не виявляють токсичної дії на живі організми. В Україні наноаквахелати виробляються у промислових масштабах і охоплюють такі класи наноматеріалів, як колоїдні розчини, гідратовані наноматеріали, нанокарбоксилати та цитрати металів. З метою забезпечення біосумісності зазначені сполуки стабілізують за допомогою спиртів, органічних кислот, складних ефірів, жирів, вуглеводів, амінокислот, білків і екстрактів біологічних клітин.

## Мета дослідження

Метою роботи є узагальнення та аналіз сучасних наукових даних щодо біологічних властивостей наноаквахелатів Аргентуму та Германію.

## Матеріал і методи досліджень

Матеріалами для виконання роботи слугували результати вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень, присвячених вивченню фізико-хімічних властивостей, механізмів біологічної дії, токсикологічної безпечності та практичного застосування наноаквахелатів Аргентуму та Германію у ветеринарній медицині.

У процесі дослідження використано методи аналізу, систематизації, порівняння та узагальнення наукових даних, отриманих з монографій, статей у фахових наукових виданнях, матеріалів міжнародних і національних конференцій, нормативно-технічної документації, а також результатів токсикологічних і біологічних досліджень наносполук металів.

Аналіз літературних джерел здійснювали з використанням наукових баз даних Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar, а також електронних архівів українських фахових видань ветеринарного та біотехнологічного профілю.

### Результати та їх обговорення

На сучасному етапі розвитку ветеринарної медицини наноматеріали набули широкого застосування та вважаються надзвичайно перспективними у таких напрямках:

- знезараження води;
- проведення дезінфекційних заходів;
- створення антимікробних препаратів широкого спектра дії;
- використання в хірургічній практиці;
- розробка та застосування кормових добавок;
- проведення дезінвазійних заходів;
- покращення метаболічних і імунологічних показників організму.

Таким чином, наноматеріали застосовуються у багатьох галузях ветеринарії, а для глибшого розуміння механізмів їх біологічної дії необхідне проведення комплексних і різнопланових наукових досліджень (Shatorna et al., 2014; Chobotar et al., 2024).

Згідно з класифікацією наноаквахелатів металів за характером біологічної дії, запропонованою Каплуненком В. Г. та Косіновим Н. В., при концентрації 50–100 мг/л їх поділяють на три групи:

- сполуки з вираженими біоцидними властивостями (наноаквахелат срібла);
- з високою біогенною активністю (наноаквахелати міді, цинку, кобальту, заліза, германію);
- з поєднаною біоцидною і біогенною дією (наноаквахелат магнію).

Зазначені наноаквахелати пройшли комплекс токсикологічних досліджень, у межах яких оцінювали цитотоксичність, місцево-подразнюючу, резорбтивну та сенсibiliзуючу дію. За результатами встановлено, що вони належать до IV класу малонебезпечних речовин, не чинять шкірно-резорбтивної та подразнюючої дії навіть при повторному застосуванні, сприяють загоєнню ран при нанесенні на ушкоджену шкіру та викликають лише слабе, тимчасове подразнення слизової оболонки очей без розвитку сенсibiliзації (Teliatnikov & Teliatnikov, 2018; Boiko et al., 2020).

Дослідження, проведені Борисевичем В. Б., Борисевичем Б. В., Каплуненком В. Г. і Косіновим М. В., показали, що наночитрати металів є екологічно безпечними та не спричиняють морфологічних, бактеріологічних, біохімічних чи гістологічних змін у тканинах м'ясної продукції.

Безпечність наноматеріалів значною мірою визначається способом їх одержання. В Україні для цього застосовують електроімпульсні та плазмові абляційні нанотехнології, серед яких найбільш перспективними вважаються ерозійно-вибухові методи отримання наноматеріалів різного призначення.

На сьогодні у ветеринарній медицині найбільш широко застосовуються дві групи нанобіоматеріалів –

гідратовані та карбоксиловані наночастинки. У гідратованих наночастинках лігандом є молекули води, тоді як у карбоксилованих – молекули карбонових кислот. Гідратовані наночастинки утворюються безпосередньо в процесі ерозійно-вибухового диспергування та слугують основою для синтезу інших наноаквахелатів. Карбоксиловані наночастинки стабілізуються біосумісними карбоновими кислотами, а також амінокислотами, білками та вуглеводами (Boiko et al., 2020).

Нанотехнології активно впроваджуються у практику ветеринарної медицини та тваринництва. Одним із вагомих досягнень є створення антимікробних засобів на основі наноаквахелатів для зовнішнього й внутрішнього застосування. Ці препарати не проявляють токсичної дії, мають пролонгований антимікробний ефект проти бактерій, вірусів, грибів, спор і паразитів та не спричиняють формування резистентних штамів, що є надзвичайно актуальним з огляду на глобальну проблему антибіотикорезистентності. До основних заходів подолання цієї проблеми належать використання нових препаратів з альтернативною хіміко-молекулярною будовою, комбiнування антибіотиків із різними механiзмами дії, а також відмова від застосування засобів, до яких уже виявлена стійкість мікроорганізмів. Важливим є обмеження використання у ветеринарній медицині антибіотиків, що застосовуються у гуманній медицині, контроль вмісту антибактеріальних речовин у продуктах тваринного походження та суворе дотримання інструкцій щодо застосування лікарських засобів. Крім того, обов'язковим є визначення чутливості збудників до антибіотиків перед їх призначенням (Boiko et al., 2021; Yuzviak et al., 2023).

Проблема необґрунтованого та надмірного використання антибактеріальних препаратів у ветеринарній медицині залишається надзвичайно актуальною, оскільки саме вона є однією з основних причин формування резистентних штамів мікроорганізмів. У зв'язку з цим перед сучасною ветеринарною медициною постає завдання розроблення нових безпечних препаратів із пролонгованою дією, здатних ефективно замінити традиційні антибіотики (Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1993; Lesyk et al., 2022).

У цьому плані варто звернути увагу на високу бактерицидну активність, яку проявляє наноаквахелат Аргентуму, що також синергічно діє з іншими компонентами розчинів. Аргентум є потужним антисептиком, до якого мікроорганізми не виробляють стійкості. У порівнянні з антибіотиками, наноаквахелат Ag позитивно впливає на обмін речовин, функцію печінки та має пролонговану дію. Аргентум є біогенним елементом, який присутній у тканинах головного мозку, очей, зубів та кісток. У нанорозмірній та аквахелатній формі він володіє високою біоцидною здатністю, застосовується для лікування, знезараження і консервування води. У тварин, що отримували нанохелат Ag, відбувається нормалізація гемопоезу, прискорюється загоєння ран через інтенсифікацію кровотворення, самоочищення, рубцювання та епітелізацію. Спостерігається підвищення імунної

реактивності: зростає кількість лімфоцитів, фагоцитарна та бактерицидна здатність сироватки. Наноаквахелат Ag також проявляє віруліцидні, протизапальні, фунгіцидні, спороцидні та протипаразитарні властивості та одночасно покращує метаболізм хворих тварин (Voloshyna, 2013; Teliatnikov, 2015; Khomyn & Kostyshyn, 2015; Polova, 2017; Kovalchuk et al., 2019; Posokhova et al., 2019; Romazan & Turko, 2023; Romazan, 2024).

Існують різні наукові погляди на механізм бактеріцидної, бактеріостатичної та хіміотерапевтичної дії наноаквахелату Ag:

- життєздатність клітини зникає через адсорбцію, спричинену електростатичними взаємодіями іонів Ag з бактеріальною клітиною;
- протоплазма бактерій окислюється і руйнується за участю розчиненого у воді кисню, при цьому срібло виступає каталізатором;
- ферменти бактерій, що містять SH- та COOH-групи, руйнуються під дією Аргентуму;
- трансмембранного транспорту іонів Na і Ca інгібується;
- утворюються комплекси нуклеїнових кислот з металами, що порушує структуру ДНК і призводить до загибелі бактерій;
- ефекти зумовлені корпускулярними та хвильовими властивостями Аргентуму порушують структуру бактеріальної стінки, плазмід та адгезивну здатність клітин.

Наноаквахелат Ag є не лише елементом, необхідним для нормальної життєдіяльності та функціонування внутрішніх органів і систем, але й ефективним засобом боротьби з патогенними бактеріями та вірусами (Wen et al., 2000; Lee et al., 2004; Sakhandha, 2014; Hunchak & Kaplunenko, 2015; Romazan & Turko, 2024).

Германій ж є мікроелементом, що покращує функціонування імунної системи, має протипухлинну та знеболювальну дію. Відкритий у 1868 році німецьким хіміком К. Вінклером, він надходить в організм з їжею і всмоктується у кишечнику (Avdosieva, 2015; Aksonov, 2019).

Мікроелемент Германій (Ge) присутній у всіх тканинах та органах тварин і виконує численні фізіологічні функції. Він стимулює імунітет, сприяючи утворенню макрофагів та специфічних факторів резистентності, запобігає розвитку пухлин і метастазів, регулює роботу судинних клапанів та підвищує приріст маси тіла. Мікроелемент також володіє потужною протигрибковою, противірусною та антибактеріальною активністю, реалізованою через індукцію продукції інтерферону, що посилює природний захист організму. Германій прискорює загоєння ран і опіків, проявляє протизапальну дію, заспокоює нервову систему та має протисудомний ефект. Знеболювальна дія Ge пов'язана з уповільненням або блокуванням електронного потоку по нервових клітинах, що допомагає зменшувати больові відчуття. Крім того, він сприяє транспортуванню кисню до клітин, підвищує загальну резистентність організму, проявляє виражену антиоксидантну активність і покращує за-

своєння кормів за рахунок збільшення співвідношення довжини ворсинок до глибини крипт кишечника. Мікроелемент бере участь у білковому, жировому та вуглеводному обміні, активує ферменти, підтримує гепатопротекторні та детоксикаційні процеси, регулює фосфорно-кальцієвий обмін, а також підтримує кислотно-лужний баланс і осмотичний тиск у тілі тварини (Kuwabara et al., 2002; Seifullina et al., 2015; Tezuka et al., 2017; Wada et al., 2018; Ali et al., 2021; Fedoruk et al., 2022).

Варто відзначити, що природна концентрація германію у ґрунтах дуже низька через його вимивання. В Україні більшість території характеризується дефіцитом цього мікроелемента, що призводить до його недостатності у організмі і викликає розвиток імунodefіциту. Глобально проблема забезпечення тварин необхідними мікроелементами вирішується за допомогою неорганічних солей металів та хелатних сполук, які дозволяють доставити мікроелементи у біологічно доступній формі. Без хелатованих або цитратних сполук елемент практично не засвоюється клітинами, що призводить до накопичення у навколишньому середовищі, погіршення екологічного стану та зниження якості харчових продуктів. Найбільше Германію міститься у часнику, злакових культурах, грибах та женьшені (Lee et al., 2006; Yang et al., 2013; Dolaychuk et al., 2015; Yang et al., 2015; Zhyla et al., 2016; Li et al., 2017).

Основні показання для застосування наноаквахелату Ge включають профілактику і лікування інфекційних захворювань, боротьбу з онкологічними процесами, підтримку організму після тривалого застосування антибіотиків, покращення метаболізму та стресостійкості, компенсацію фізичних навантажень та станів з нестачею кисню, зменшення наслідків стресу при перевезенні тварин і зміні умов утримання, а також корекцію дефіциту білків, жирів, вуглеводів, мінералів та вітамінів у раціоні. Важливе застосування елемента у реабілітаційний період.

Наноаквахелат Ge отримують методом ерозійно-вибухової технології, яка базується на ефекті концентрації високих енергій. Цей метод забезпечує високу біологічну доступність і безпечність елемента для організму, а також гарантує чистоту речовини порівняно з іншими формами (Joo et al., 2006; Menchikov & Ignatenko, 2013; Ruiz et al., 2018; Wiche et al., 2018; Azumi et al., 2019; Grushka et al., 2019; Shimada et al., 2021; Shatorna & Krasnov, 2024).

Хелатовані наночастинки Германію легко проходять крізь клітинні мембрани і взаємодіють з органами, проявляючи високу біологічну активність. Дослідження підтвердили відсутність ембріотоксичності, мутагенної, кумулятивної, тератогенної чи канцерогенної дії наноаквахелату Ge на організм тварин, що робить його безпечним для застосування у ветеринарній практиці. Токсикологічні дослідження показали, що щурі, які отримували Наноаквахелат Ge у дозах 10 та 20 мкг/кг маси тіла, демонстрували значно кращі показники інтенсивності росту у перші 20 днів після народження порівняно з контрольною групою. Аналіз етіологічних реакцій у самиць та самців щурів після відлучення також не виявив будь-яких аномаль-

них рухів чи відхиленнь у поведінці при дозуванні 10 мкг/кг. Це свідчить про відсутність токсичного впливу на організм тварин у цих дозах. Крім того, наноаквахелат Ge сприяв позитивним змінам у імунофізіологічному стані організму, що проявлялося у підвищеному вмісті імуноглобулінів, циркулюючих імуних комплексів, гексоз, зв'язаних з білками, та сіалових кислот у крові щурів, які отримували препарати у дозах 10, 20, 200 та 2000 мкг/кг маси. Наноаквахелати Ge та Ag проявляють високу біологічну ефективність, мають терапевтичну та профілактичну дію, а також стимулюють імунну систему, збільшуючи синтез імуноглобулінів, інтерферонів, інтерлейкінів. При цьому активується В-ланка імунітету, стимулюється вироблення Т-лімфоцитів, НК-клітин та макрофагів (Joo et al., 2006; Dickson et al., 2016; Tsap et al., 2016; Fedoruk et al., 2017; Kopylchuk et al., 2017; Nefodova et al., 2019; Lesyk et al., 2020; Tesarivska, 2020; Fedoruk et al., 2022).

Германій також здатний пригнічувати синтез ДНК та РНК патогенів інфекційних захворювань. У результаті цього активується противірусна, протигрибкова та антибактеріальна дія препаратів, що підтверджує їх ефективність у ветеринарній практиці (Nakamura et al., 2014; Lukianchuk et al., 2018).

Хелатовані препарати металів широко застосовуються у тваринництві та ветеринарії для лікування, профілактики хвороб, підвищення рівня відтворення та покращення живлення тварин. Особливо ефективним є використання аерозольної терапії хелатованими сполуками, що забезпечує профілактичну та лікувальну дію і потребує широкого впровадження та подальшого наукового обґрунтування. Використання наноаквахелатів у ветеринарній практиці має широкий спектр переваг:

- підвищення продуктивності та приросту живої маси;
- стимуляція імунної системи та загальної резистентності організму;
- профілактика і лікування інфекційних, вірусних, грибкових та паразитарних захворювань;
- захист клітин та органів від оксидативного стресу;
- можливість застосування у профілактичній аерозольній дезінфекції тваринницьких приміщень;
- безпечне використання без ризику накопичення токсичних продуктів у організмі та навколишньому середовищі (Pi et al., 2013; Kuldonashvili et al., 2016; Zakharchenko et al., 2017, 2018; Nechyporenko et al., 2018; Mandyhra et al., 2018; Romazan & Turko, 2024).

### Висновки

Таким чином, застосування наноаквахелатів Ag і Ge дозволяє забезпечувати ефективний, безпечний та екологічно збалансований підхід до підтримки здоров'я тварин. Їх використання сприяє не лише профілактиці і лікуванню хвороб, а й оптимізації метаболических процесів, підвищенню рентабельності тваринництва та покращенню якості продукції тва-

ринного походження. Нанохелатовані сполуки Аргентуму і Германію це ефективні біоцидні препарати та імуностимулятори.

### Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів

### References

- Aksonov, Ye. O. (2019). Biokhimichni pokaznyky krovi kroliv miasnoho napriamu produktyvnosti za zghodovu-vannia malokomponentnykh kombikormiv. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu tvarynyystva NAAN*, 121, 44-52. URL: <https://lfi-naas.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/121-8.pdf> (in Ukrainian).
- Ali, A., Ijaz, M., Khan, Y. R., Sajid, H. A., Hussain, K., Rabbani, A. H., Shahid, M., Naseer, O., Ghaffar, A., Naeem, M. A., Zafar, M. Z., Malik, A. I., & Ahmed, I. (2021). Role of nanotechnology in animal production and veterinary medicine. *Tropical animal health and production*, 53(5), 508. DOI: 10.1007/s11250-021-02951-5.
- Avdosieva, I. K. (2015). Perspektyvy vykorystannia zdotukiv nanotekhnologii u veterynarii praktytsi. *Tvarynyystvo sohodni*, 7, 52–56 (in Ukrainian).
- Azumi, J., Takeda, T., Shimada, Y., Aso, H., & Nakamura, T. (2019). The Organogermanium Compound THGP Suppresses Melanin Synthesis via Complex Formation with L-DOPA on Mushroom Tyrosinase and in B16 4A5 Melanoma Cells. *International journal of molecular sciences*, 20(19), 4785. DOI: 10.3390/ijms20194785.
- Biagioli, M., & Carino, A. (2019). Signaling from Intestine to the Host: How Bile Acids Regulate Intestinal and Liver Immunity. *Handbook of experimental pharmacology*, 256, 95–108. DOI: 10.1007/164\_2019\_225.
- Boiko, O. V., Honchar, O. F., Lesyk, Y. V., Kovalchuk, I. I., & Gutyj, B. V. (2020). Influence of zinc nanoaquacitrate on the immuno-physiological reactivity and productivity of the organism of rabbits. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11(1), 133–138. DOI: 10.15421/022020.
- Boiko, O. V., Honchar, O. F., Lesyk, Y. V., Kovalchuk, I. I., & Gutyj, B. V. (2020). Effect of zinc nanoaquacitrate on the biochemical and productive parameters of the organism of rabbits. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11(2), 243–248. DOI: 10.15421/022036.
- Boiko, O. V., Honchar, O. F., Lesyk, Y. V., Kovalchuk, I. I., Gutyj, B. V., & Dychok-Niedzielska, A. Z. (2021). Effect of consumption of I, Se, S and nanoaquacitrates on hematological and biochemical parameters of the organism of rabbits. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12(2), 335–340. DOI: 10.15421/022145.
- Chobotar, V., Kravchenko, O., & Tkalenko, H. (2024). Effectiveness of nanoaquachelates of transition metals against scab in industrial apple plantations. *Quarantine and plant protection*, 4, 29–35. DOI: 10.36495/2312-0614.2024.4.29-35.

- Derzhspozhyvstandart Ukrainy (1993). *Zasoby myiuchi syntetychni i rehovyny poverkhnevo-aktyvni. Metody vyznachennia kontsentratsii vodnevnykh ioniv.* DSTU 2207.1-93 (HOST 22567.5-93), Derzhspozhyvstandart Ukrainy, Kyiv (in Ukrainian).
- Dickson, R. P., Erb-Downward, J. R., Martinez, F. J., & Huffnagle, G. B. (2016). The Microbiome and the Respiratory Tract. *Annual review of physiology*, 78, 481–504. DOI: 10.1146/annurev-physiol-021115-105238.
- Dolaychuk, O., Fedoruk, R., & Kropyvka, S. (2015). Physiological Reactivity and Antioxidant Defense System of the Animal Organism Induced by Germanium, Chromium, and Selenium “Nanoaquacitrates” Soil-Remediating Activity of Agroecosystems and Chernozem Fertility Restoration Using Low-Carbon Technologies. *Agricultural science and practice*, 2(2), 50–55. DOI: 10.15407/agrisp2.02.050.
- Dykyi, I. L., Drohovozy, S. M., Horkavchuk, A. V., & Butko, Ya. O. (2008). Porivnialne vyvchennia antymikrobnoi aktyvnosti suchasnykh ta perspektyvnykh mazi dlia terapii hniinoi infektsii. *Klinichna farmatsiia*, 1, 65–68 (in Ukrainian).
- Fedoruk, R. S., Kovalchuk, I. I., Mezentseva, L. M., Tesarivska, U. I., Pylypets, A. Z., & Kaplunenko, V. H. (2022). Germanium compounds and their role in animal body. *The Animal Biology*, 24(1), 50–60. DOI: 10.15407/animbio24.01.050.
- Fedoruk, R., Tesarivska, U., Khrabko, M., & Tsap, M. (2017). Growth and development of the organism and immunophysiological indices of blood of male F2 rats, affected by different doses of nanogermanium citrate. *Agricultural Science and Practice*, 4(2), 14–22. DOI: 10.15407/agrisp4.02.014.
- Grushka, N. G., Pavlovych, S. I., Kondratska, O. A., Pilkevcih, N. O., & Yanchii, R. I. (2019). The protective effect of germanium citrate on functional state of immune cells and neutrophil activity under the condition of lipopolysaccharide induced inflammation. *Fiziol. Zh*, 65(6), 43–50.
- Haidiuk, M. B. (2010). Osoblyvosti vynyknennia vidkrytykh travmatychnykh poskodzhen miakykh tkanyn u sobak. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho*, 12(2-1 (44)), 35–38. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu\\_2010\\_12\\_2%281%29\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2010_12_2%281%29_9) (in Ukrainian).
- Hunchak, O. V., & Kaplunenko, V. H. (2015). Vplyv dobavok Ge v kombikormy na produktyvni yakosti huse-niat, shcho vyroshchuiutsia na miaso. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva*, 1, 156–159. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/tvppt\\_2015\\_1\\_37](http://nbuv.gov.ua/UJRN/tvppt_2015_1_37) (in Ukrainian).
- Joo, S. S., Won, T. J., Lee, Y. J., Kim, M. J., Park, S. Y., Lee, S. H., & Lee, D. I. (2006). Effect of Geranti Bio-ge yeast, a dried yeast containing biogermanium, on the production of antibodies by B cells. *Immune Network*, 6(2), 86–92. DOI: 10.4110/in.2006.6.2.86.
- Khomyn, N. M., Kostyshyn, L. Y. (2015). Osoblyvosti parodontytu u sobak. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 17(1), 213–220 (in Ukrainian).
- Kopylchuk, H. P., Voloshchuk, O. M., & Balandiuk, O. V. (2017). Biokhimichni markery funktsionalnoho stanu pechinky shchuriv iz toksychnym hepatytom za umov vvedennia tsytratu Ge. *Biolohiia tvaryn*, 19(1), 59–64. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bitv\\_2017\\_19\\_1\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bitv_2017_19_1_10) (in Ukrainian).
- Kovalchuk, I., Dvylyuk, I., Leczyk, Y., & Guttyj, B. (2019). Physiological relationship between content of certain microelements in the tissues of different anatomic sections of the organism of honey bees exposed to citrates of argentum and cuprum. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(2), 177–181. DOI: 10.15421/021926.
- Kuldonashvili, K. V., Sheremeta, V. I., & Kaplunenko, V. H. (2016). Diia nanoakvakhelat Ge na rist porosiat u prenatalnyi period. *Rozvedennia i henetyka tvaryn*, 51, 261–266 (in Ukrainian).
- Kuwabara, M., Ohba, S., & Yukawa, M. (2002). Effect of germanium, poly-trans-[2-carboxyethyl] germasesquioxane on natural killer (NK) activity in dogs. *The Journal of veterinary medical science*, 64(8), 719–721. DOI: 10.1292/jvms.64.719.
- Lee, J. S., Park, J. I., Kim, S. H., Park, S. H., Kang, S. K., Park, C. B., Sohn, T. U., Jang, J. Y., Kang, J. K., & Kim, Y. B. (2004). Oral single- and repeated-dose toxicity studies on Geranti Bio-Ge yeast, organic germanium fortified yeasts, in rats. *The Journal of toxicological sciences*, 29(5), 541–553. DOI: 10.2131/jts.29.541.
- Lee, S. H., Oh, K. N., Rho, S. N., Lee, B. H., Lee, H. J. (2006). Oral repeated-dose toxicity studies especially in the liver and kidney of rats administered with organic germanium-fortified yeasts. *Preventive Nutrition and Food Science*, 11(2), 115–119. DOI: 10.3746/jfn.2006.11.2.115.
- Lesyk, Y. V., Dychok-Niedzielska, A. Z., Boiko, O. V., Honchar, O. F., Bashchenko, M. I., Kovalchuk, I. I., & Guttyj, B. V. (2022). Hematological and biochemical parameters and resistance of the organism of mother rabbits receiving sulfur compounds. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(1), 60–66. DOI: 10.15421/022208.
- Lesyk, Y., Ivanytska, A., Kovalchuk, I., Monastyrskaya, S., Hoivanovych, N., Guttyj, B., & Poltavchenko, T. (2020). Hematological parameters and content of lipids in tissues of the organism of rabbits according to the silicon connection. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(1), 30–36. URL: <https://www.ujecology.com/articles/hematological-parameters-and-content-of-lipids-in-tissues-of-the-organism-of-rabbits-according-to-the-silicon-connection.pdf>.
- Li, L., Ruan, T., Lyu, Y., & Wu, B. (2017). Advances in effect of germanium or germanium compounds on animals—a review. *Journal of biosciences and medicines*, 5(7), 56–73. DOI: 10.4236/jbm.2017.57006.
- Lukianchuk, V., Seifullina, I., Martsinko, O., & Shevchuk, O. (2018). Cerebroprotection by germanium coordination compounds in experimental acute global brain ischemia. *International Journal of Medicine and Medical Research*, 4(1), 60–66. DOI: 10.11603/ijmmr.2413-6077.2018.1.9253.

- Mandyhra, M. S., Lysytsia, A. V., Volovyk, H. P., Mandyhra, Yu. M., & Boiko, O. P. (2018). Dezinfektsiia i dovkillia. *Veterynarna biotekhnolohiia*, 32(2), 355–364 (in Ukrainian).
- Menchikov, L. G., & Ignatenko, M. A. (2013). Biological Activity of Organogermanium Compounds (A Review). *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 46, 635–638. DOI: 10.1007/s11094-013-0860-2.
- Nakamura, T., Takeda, T., & Tokuji, Y. (2014). The Oral Intake of Organic Germanium, Ge-132, Elevates  $\alpha$ -Tocopherol Levels in the Plas-ma and Modulates Hepatic Gene Expression Profiles to Promote Immune Activation in Mice. *International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift fur Vitamin- und Ernährungsforschung. Journal international de vitaminologie et de nutrition*, 84(3-4), 183–195. DOI: 10.1024/0300-9831/a000205.
- Nechyporenko, O. L., Berezovskyy, A. V., Fotina T. I., Petrov, R. V., & Fotin, A. I. (2018). Efficiency of complex disinfecting measures in the conditions of poultry farming. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 20(92), 165–168. DOI: 10.32718/nvlvet9234.
- Nefodova, O. O., Halperin, O. I., & Shatorna, V. F. (2019). Vplyv tsytrativ tseriiu ta Ge na khid embriohenezu shchura na tli kadmiievoi intoksykatsii. *Visnyk problem biolohii i medytsyny*, 1(148), 273–277. DOI: 10.29254/2077-4214-2019-1-1-148-273-278 (in Ukrainian).
- Pi, J., Zeng, J., Luo, J. J., Yang, P. H., & Cai, J. Y. (2013). Synthesis and biological evaluation of Germanium(IV)-polyphenol complexes as potential anti-cancer agents. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 23(10), 2902–2908. DOI: 10.1016/j.bmcl.2013.03.061.
- Polova, Z. (2017). Determination of the stability of veterinary cream containing silver citrate. *ScienceRise. Pharmaceutical Science*, 4, 21–26. DOI: 10.15587/2519-4852.2017.108947.
- Posokhova, K. A., Oleshchuk, O. M., & Shevchuk, O. O. (2019). Vysvitlennia problem ratsionalnoho zastosuvannia antybiotykyv pry vykladanni farmakolohii. *Medychna osvita*, 1, 107–110. DOI: 10.11603/me.2414-5998.2019.1.10092.
- Romazan, I. V. (2024). Doslidzhennia minimalnoi bakterytsydnoi kontsentratsii poliheksametylenhuanidynu, preparativ Ag ta dymeksydu na test-kulturakh mikroorhanizmiv. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten derzhavnogo naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok i instytutu biolohii tvaryn*, 25(2), 131–140. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntbibt\\_2024\\_25\\_2\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntbibt_2024_25_2_18) (in Ukrainian).
- Romazan, I. V., & Turko, I. B. (2023). The influence of the experimental composition of disinfection preparations based on polyhexamethyleneguanidine and nanoaquachelates of metals on test cultures of microorganisms. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 25(112), 239–245. DOI: 10.32718/nvlvet11237.
- Romazan, I. V., & Turko, I. B. (2024). Immunoreactivity of the rabbit organism during aerosol disinfection with the ex-perimental biocide “RabbitDez” in the presence of animals. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 26(116), 325–333. DOI: 10.32718/nvlvet11647.
- Romazan, I., & Turko, I. (2024). Bactericidal effectiveness of the developed disinfectant “RabbitDez” in the production conditions of a rabbit farm. *Scientific Progress & Innovations*, 27(4), 181–186. DOI: 10.31210/spi2024.27.04.31.
- Ruiz, A. G., Sola, P. C., Palmerola, N. M., & Lee, S. (2018). Germanium: current and novel recovery processes. *Advanced material and device applications with germanium*, 1–25. DOI: 10.5772/intechopen.77997.
- Sakhanda, I. V. (2014). Preparaty Ge ta yikh zastosuvannia v medytsyni. *Ukrainskyi naukovomedychnyi molo-dizhnyi zhurnal*, 4, 83–86 (in Ukrainian).
- Seifullina, I. I., Martsinko, E. E., & Afanasenko, E. V. (2015). Design and synthesis of new homo-and heterometal coordination compounds of germanium (IV) for preparation of low toxic drugs with a wide therapeutic action. *Odesa National University Herald. Chemistry*, 20(4(56)), 6–17. DOI: 10.18524/2304-0947.2015.4(56).56690.
- Serdiuk, A. M., & Hulich, M. P. (2002). Polityka v haluzi kharchuvannia naseleння–holovnyi priorytet derzhavy. *Dovkillia ta zdorovia*, 3, 8–11 (in Ukrainian).
- Shatorna, V. F., & Krasnov, O. O. (2024). The influence of cadmium chloride on the morphogenesis of kidneys of rat embryos in isolated administration and its combined effect with metal succinate. *Bulletin of Problems in Biology and Medicine*, 4(175), 208–217. DOI: 10.29254/2077-4214-2024-4-175-208-217.
- Shatorna, V. F., Garetz, V. I., Biletska, E. M., Onul, N. M., Nefyodova, O. O., Ostrovska, S. S., & Dihno, N. I. (2014). Experimental study of modifying influence of nanoaquachelate gold citrate on embryotoxicity of lead acetate in rats. *Medicni Perspektivi*, 19(2), 12–17. DOI: 10.26641/2307-0404.2014.2.27780.
- Shimada, Y., Sato, K., Masaki, M., Nakamura, T., & Tokuji, Y. (2021). Quantitative assessment of the interactions between the organogermanium compound and saccharides using an NMR reporter molecule. *Carbohydrate research*, 499, 108199. DOI: 10.1016/j.carres.2020.108199.
- Teliatnikov, A. V. (2015). Histopatolohichni zminy dilianky perelomu trubchastykh kistok u sobak pid vplyvom preparatu “Ostyvet-I”. *Naukovyi visnyk veterynarnoi medytsyny*, 2, 137–143. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvvm\\_2015\\_2\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvvm_2015_2_27) (in Ukrainian).
- Teliatnikov, A. V., & Teliatnikov, K. A. (2018). Suchasni pohliady shchodo vykorystannia nanotekhnolohii za likuvannia sviiskykh tvaryn. *Ahrarnyi visnyk Prychornomia*, 91, 131–131. URL: <https://abbsl.osau.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/44> (in Ukrainian).
- Tesarivska, U. (2020). Etolohichni reaktsii samyts i samtsiv shchuriv F2 pislia vidluchennia za vplyvu riznykh doz Ge tsytratu. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten*

- Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biolohii tvaryn, 21(1), 228–234. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntbibt\\_2020\\_21\\_1\\_30](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntbibt_2020_21_1_30) (in Ukrainian).
- Tezuka, T., Higashino, A., Akiba, M., & Nakamura, T. (2017). Organogermanium (Ge-132) suppresses activities of stress enzymes responsible for active oxygen species in monkey liver preparation. *Advances in Enzyme Research*, 5(02), 13–23. DOI: 10.4236/aer.2017.52002.
- Trevors, J. T. (1987). Silver resistance and accumulation in bacteria. *Enzyme and Microbial Technology*, 9(6), 331–333. DOI: 10.1016/0141-0229(87)90054-8.
- Tsap, M. M., Khrabko, M. I., & Koleshchuk, O. I. (2016). Imunofiziologichna aktyvnist orhanizmu shchuriv za vy-poiuvannia tsytratu Ge. *Biolohiia tvaryn*, 18(4), 201–201 (in Ukrainian).
- Turko, I. B., & Romazan, I. V. (2024). Vykorystannia poliheksametylenhuanidynu ta tsytrativ Ag v yakosti suchasnoho dezinfektanta. Scientific multidisciplinary monograph «Science in the context of innovative changes». Vinnytsia. Serii: veterynarni nauky, 60–83 (in Ukrainian).
- Ushkalov, V. O. (2010). Biobezpechni ta biosumisni nanochastynky metaliv u veterynarnii medytsyni. *Vet. medytsyna Ukrainy*, 6, 30–34 (in Ukrainian).
- Voloshyna, N. O. (2013). Zdobutky nanotekhnolohii u vyrishenni problem biolohichnoho zabrudnennia. Yed-nist navchannia i naukovykh doslidzhen – holovnyi pryntsyp universytetu, 109–111 (in Ukrainian).
- Voloshyna, N., Kaplunenko, V., & Kosinov, M. (2008). Perspektyvy zastosuvannia koloidiv nanochastynok metaliv u veterynarnii medytsyni. *Vet. med. Ukrainy*, 9, 32–34 (in Ukrainian).
- Wada, T., Hanyu, T., Nozaki, K., Kataoka, K., Kawatani, T., Asahi, T., & Sawamura, N. (2018). Antioxidant Activity of Ge-132, a Synthetic Organic Germanium, on Cultured Mammalian Cells. *Biological & pharmaceutical bulletin*, 41(5), 749–753. DOI: 10.1248/bpb.b17-00949.
- Wen, P., Zhao, X. Y., Ao, Y., Qi, G. M., & Liu, Z. Y. (2000). The effect of two types of germanium compound on the production performance of meat chicken. *Feed Review*, 4, 4–6.
- Wiche, O., Székely, B., Moschner, C., & Heilmeier, H. (2018). Germanium in the soil-plant system-a review. *Environmental science and pollution research international*, 25(32), 31938–31956. DOI: 10.1007/s11356-018-3172-y.
- Yang, F., Gong, L., Jin, H., Pi, J., Bai, H., Wang, H., Cai, H., Yang, P., & Cai, J. (2015). Chrysin-organogermanium (IV) complex induced Colo205 cell apoptosis-associated mitochondrial function and anti-angiogenesis. *Scanning*, 37(4), 246–257. DOI: 10.1002/sca.21205.
- Yang, F., Jin, H., Pi, J., Jiang, J. H., Liu, L., Bai, H. H., Yang, P. H., & Cai, J. Y. (2013). Anti-tumor activity evaluation of novel chrysin-organogermanium(IV) complex in MCF-7 cells. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, 23(20), 5544–5551. DOI: 10.1016/j.bmcl.2013.08.055.
- Yuzviak, M. O., Lesyk, Y. V., & Salyha, Y. T. (2023). Prospects for the use of minerals in rabbit nutrition. Publishing House “Baltija Publishing”, 190–219. DOI: 10.30525/978-9934-26-316-3-10.
- Zakharchenko, K. V., Seba, M. V., & Kaplunenko, V. H. (2018). Imunologichni pokaznyky krovi porosiat-sysuniv za vykorystannia biolohichno aktyvnykh preparativ. *Naukovi horizonty*, 3, 15–21. URL: <https://sciencehorizon.com.ua/uk/journals/3-66-2018/imunologichni-pokazniki-krovi-porosyat-sisuniv-za-vikoristannya-biologichno-aktivnikh-prieparativ> (in Ukrainian).
- Zakharchenko, K. V., Seba, M. V., Martynova, M. Ye., Kaplunenko, V. H. (2017). Vplyv biolohichno aktyvnykh preparativ na rist ta vyzhyvaemist porosiat-sysuniv. *Naukovi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktii tvarynnytstva*, 271, 102–109 (in Ukrainian).
- Zakharchenko, K., Seba, M., & Kaplunenko, V. (2018). Immunological Parameters of Blood of Suckling Pigs after the Use of Biologically Active Preparations. *Scientific Horizons*, 66(3), 15–21. URL: <https://sciencehorizon.com.ua/en/journals/3-66-2018/imunologichni-pokazniki-krovi-porosyat-sisuniv-za-vikoristannya-biologichno-aktivnikh-prieparativ>.
- Zhyla, M. I., Piatnychko, O. M., & Shkodiak, N. V. (2016). Kontrol yakosti henerychnykh veterynarykh likarskykh zasobiv. *Naukovi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho. Serii: Veterynarni nauky*, 18(1), 36–42 (in Ukrainian).