

БІОНЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ ЯК НАУКА ЛЮДСТВА

Морозов Богдан Станіславович

кандидат ветеринарних наук, доктор філософії
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-6755-752X
Morozovbs@meta.ua

Біонеорганічну хімію можна вважати своєрідним «містком» між неорганічною хімією та біохімією. Основним завданням біонеорганічної хімії є вивчення ролі хімічних елементів у виникненні та розвитку фізіологічних і патологічних процесів у живому організмі. Звідси тісний зв'язок біонеорганічної хімії з біохімією, медициною, фармакологією, екологією. Кожна з цих галузей науки підходить до вивчення Біонеорганічної хімії зі свого боку і використовує методи дослідження, властиві саме цій науці. За словами одного з її засновників Р.П.Дж. Вільямса, «біонеорганічна хімія сьогодні схожа на неорганічну хімію до відкриття Періодичного закону». Дійсно, незважаючи на накопичений до теперішнього часу матеріал про роль хімічних елементів у біосфері, про участь як простих, так і складних хімічних сполук у процесах життєдіяльності, механізми дії багатьох природних сполук до кінця не з'ясовані. Можна лише зробити висновок, що властивості елементів (ступінь окислення, координаційне число та ін.), властиві їм у біосфері, часто відрізняються від тих, які ці елементи виявляють у геосфері.

Біохімія вивчає закономірності будови, розподілу і перетворення хімічних зв'язків у процесі життєдіяльності організмів. Це означає, що ця наука серед вчень про живе багато в чому працює на визначальному рівні організації матерії. Біонеорганічна хімія, як один з розділів біохімії, вивчає будову і функціональну активність комплексів іонів металів з різними лігандами, розглядаючи одні й ті ж проблеми, але під іншим кутом зору, оскільки комплекси біомолекул беруть участь у переважній більшості процесів. Як самостійна дисципліна біонеорганічна хімія сформувалася в 70-х роках ХХ ст. Ця наука широко використовує ідеї квантової механіки, хімії координаційних зв'язків і біології. Важливість біокоординаційних досліджень влучно підкреслив Дж. Вуд: «Якщо ви думаєте, що біохімія – це органічна хімія живих систем, то ви помиляєтеся, біохімія – це координаційна хімія живих систем».

Ключові слова: хімія, медицина, хімічні технології.

DOI <https://doi.org/10.32782/bsnau.vet.2023.3.9>

Вступ. Біонеорганічну хімію можна вважати своєрідним «містком» між неорганічною хімією і біохімією. Основним завданням БНХ є вивчення ролі хімічних елементів у виникненні та розвитку фізіологічних і патологічних процесів у живому організмі. Звідси випливає тісний зв'язок БНХ з біохімією, медициною, фармакологією, екологією. Кожна з цих галузей науки підходить до вивчення БНХ зі свого боку і використовує властиві цій конкретній науці методи дослідження. За словом одного з її основоположників Р.П.Дж. Уільямса «біонеорганічна хімія в даний час схожа на неорганічну хімію до відкриття Періодичного закону». (Atkins, 2006, 4th Edition).

Дійсно, незважаючи на накопичений до теперішнього часу матеріал про роль хімічних елементів в біосфері, про участь як простих, так і складних хімічних сполук у життєво важливих процесах, механізми дії безлічі природних сполук до кінця не з'ясовані. Можна тільки зробити висновок, що властивості елементів (ступінь окислення, координаційне число і ін.), притаманні їм в біосфері, часто відрізняються від тих, які ці елементи проявляють у геосфері. (Нугуна, 2012, s. 176).

Матеріали і методи досліджень. Особливу увагу біонеорганічна хімія приділяє ролі елементів – металів у живому організмі. Як відомо, однією з головних функцій іонів металів є здатність до комплексоутворення. Основні завдання БНХ можна сформулювати так:

- вивчення на молекулярному рівні взаємодії металів;
- моделювання біологічних і біохімічних процесів;

- використання результатів БНХ в ветмедицині: діагностика захворювань, створення нових препаратів і встановлення механізму їх дії;

- застосування в охороні навколишнього середовища, в агротехніці.

Однією з основних проблем БНХ є правильне перенесення результатів, отриманих *in vitro* (тобто «в пробірці»), на пояснення процесів, що протікають *in vivo*, (тобто в живій природі). (Нугуна, 2012, s. 176).

Організм – це складним чином організована система, функціонування компонентів якої здійснюється в тісному взаємозв'язку. Звичайно, основне місце в живих об'єктах займають складні органічні молекули, однак їхнє призначення не може бути реалізоване без певного сприяння деяких низькомолекулярних речовин, серед яких особливо виділяються вода (як середовище, що складає близько 70 % маси людського тіла) і неорганічні катіони та аніони, роль яких важко переоцінити.

Біохімія розглядає закономірності будови, розподілу та перетворення хімічних зв'язків у процесі життєдіяльності організмів. Це означає, що дана наука серед вчень про живе багато в чому працює на визначальному рівні організації матерії. Біонеорганічна хімія як один з розділів біохімії досліджує структуру і функціональну активність комплексів іонів металів з різноманітними лігандами, розглядаючи ті ж проблеми, але під іншим кутом, оскільки в переважній більшості процесів беруть участь комплекси біомолекул. Як самостійна дисципліна біонеорганічна хімія сформувалася в 70-і рр. ХХ ст. Ця наука

широко використовує уявлення квантової механіки, хімії координаційних зв'язків і біології. Важливість біокоординаційних досліджень точно підкреслив Дж. Вуд: «Якщо ви вважаєте, що біохімія – це органічна хімія живих систем, то ви помиляєтеся, біохімія – це координаційна хімія живих систем». Результативність такого підходу для фундаментальних досліджень і прикладних розробок полягає в тому, що він дозволяє використовувати координаційні сполуки як моделі біологічних систем. Організм – це система величезної кількості комплексоутворювачів та лігандів, з певним співвідношенням між ними. Порушення балансу компонентів (металолігандного гомеостазу) призводить до розвитку патологічних станів. Тому вивчення процесів взаємодії «метал-ліганд» є ключем до пошуку нових лікарських засобів. Відзначимо, що в процесах обміну речовин фундаментальну роль відіграє біокатализ, причому близько 30 % компетентних молекул складають металоферменти, і доступне штучне відтворення подібних систем, здатне привести до технологічної революції. У складі живих організмів виявлено понад 60 хімічних елементів, роль у життєдіяльності і вміст яких неоднакові. Шість із них – С, N, H, O, P, S – утворюють основу живої матерії (**органогени**). Ще десять елементів вкрай важливі для підтримки структури та функціональної активності біополімерів – це так звані **метали життя**: Na, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu, Co, Mo. Функції інших поки остаточно не встановлені. (Levitin, 2012, s. 148).

Ключова роль у функціонуванні живих систем належить воді, яка становить 70 % маси людського тіла (з них 2/3 – внутрішньоклітинна і 1/3 –

позаклітинна вода). Відзначено, що чим молодший організм або орган, тим вищий вміст води в ньому; це корелюється також з інтенсивністю клітинних процесів. У структурному відношенні вода – динамічна система асоціатів із середнім часом життя між актами перебудови 10^{-10} с. Процес розчинення речовин змінює стан води у зв'язку з реструктуризацією водневих зв'язків. Так, в полі дії йона відбувається орієнтація диполів з утворенням гідратної оболонки. Роль такого взаємовпливу велика при формуванні третинної структури біополімерів, коли гідрофобні групи локалізуються усередині утворення, а гідрофільні – експоновані назовні та піддаються сольватації. Вода легко включається всередину надмолекулярних біокомплексів. Розрахунки показали, що в клітині на молекулу нуклеїнової кислоти припадає 10^5 молекул води, на молекулу білка – 10^4 молекул води, а на молекулу ліпиду – 10^3 молекул води. Отже, вона не може розглядатися як інертне середовище, а є структурним елементом – «матрицею життя». Вода формує єдину внутрішньоклітинну структуру, забезпечуючи упорядкованість біохімічних процесів. Надходження води регулює функціональну активність органел. Не можна не відзначити її транспортні та терморегулятивні функції, а також функції середовища протікання хімічних процесів та їх учасників. (Stepanenko, 2002, s. 520).

Людина втрачає в середньому 2,5 л води на добу, 6/7 з них заповнюється з їжею, а інша частина – за рахунок продуктів обміну речовин. Регуляція водного обміну

контролюється діуретичним гормоном і вазопресином (антидіуретичним гормоном). Крім того, специфічний вплив інших іонів: іон Na^+ викликає затримку води в тканинах, а іони K^+ та Ca^{2+} надають зворотний ефект. Що ж стосується сухої речовини, то близько 50 % її припадає на білок, 25 % на нуклеїнові кислоти, 10 % на вуглеводи, 7 % на ліпіди і 8 % на мінеральні речовини.

До біометалів відносять найважливіші для організму – Na, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu, Co, Mo (деякі дослідники схильні включати до цієї групи також V, Ni, Cr).

Ці елементи поширені нерівномірно, про що свідчать величини їх відносної концентрації в крові. Слід зазначити, що вміст речовин помітно змінюється протягом життя. (Levitin, 2017, s. 512).

Нирки виводять продукти метаболізму, проте механізм клубочкової фільтрації вельми економний, тому тільки 1 % рідини, профільтрованої клубочками, перетворюється у сечу. Це перешкоджає виведенню значної кількості будь-якого з біометалів за добу, і їх втрата може бути відновлена за рахунок надходження з їжею. Концентрації іонів d-елементів в організмі підтримуються постійними за рахунок існування механізму металолігандного гомеостазу, основні ланки якого – всмоктування, розподіл, транспортування, депонування та елімінація. Параметри всмоктування та елімінації в нормі збалансовані, тобто при зменшенні надходження в організм того чи іншого мікроелементу знижується його виведення, і навпаки. Для підтримки постійної концентрації іонів металів у організмі існують депоновані та транспортні форми. Наприклад, ферум в організмі ссавців депонується у складі феритину – водорозчинного білка, в якому знаходиться міцелярне ядро неорганічної сполуки феруму (III). У депонованій формі знаходиться близько 25 % феруму. Регуляція металолігандного гомеостазу здійснюється за допомогою нервової, ендокринної та імунної систем. Розглянемо коротко біологічну роль біометалів, їх спорідненість до координування з лігандами. (Belitz, 2009, s. 1113).

З лужних металів найважливіші натрій і калій. Як відомо, вони не утворюють міцних комплексів, проте формують асоціати за механізмом іон-дипольної взаємодії. Так, через більшу поверхневу густину заряду радіус гідратованого іону натрію вищий, ніж гідратованого іону калію. Іон Na^+ – основний позаклітинний катіон організму, тоді як іон K^+ – внутрішньоклітинний. Незважаючи на подібність у хімічній поведінці, ці йони демонструють біологічний антагонізм. Дані біометали – ключові елементи в підтримці осмотичного тиску, передачі нервового імпульсу, регуляції м'язових скорочень. Їх джерелом для організму служить рослинна їжа; а натрій, крім того, надходить з кухонною сіллю. Втрати зв'язані з потовиділенням (хлорид натрію) і сечовиділенням (урати і лактати калію і натрію).

Процес життя пов'язаний з підтриманням нерівноважного стану. У відношенні даних металів таким є їх розподіл щодо клітинних мембран. Найбільш вивчений енергозамінний Na^+/K^+ – насос в клітинах тварин, завдяки якому в клітині підтримується велика концентрація йонів K^+ і менша йонів Na^+ в порівнянні з навко-

лишнім середовищем, на цей процес витрачається енергія АТФ.

Іони лужноземельних металів магнію та кальцію менш полярні у порівнянні з іонами Na^+ і K^+ та можуть утворювати комплексні сполуки з координаційним числом 6. Хімічні зв'язки в багатьох сполуках магнію носять ковалентний характер. Іони Mg^{2+} беруть участь у формуванні третинної структури ДНК, передачі нервового імпульсу, активують ряд ферментів (гексокінази та інших трансферази фосфатів, аргінази, лігази у синтезі нуклеїнових кислот). Іони Ca^{2+} необхідні для формування кісткової тканини. В процесі лактації, при реалізації серцевих скорочень, а також є чинником згортання крові та активізують деякі ферменти. Рівень кальцію регулює спеціальний гормон – кальцитонін. Джерело даних біометалів – рослинна їжа, а кальцію – ще й молочні продукти.

Незважаючи на різноманітність можливих ступенів окиснення, марганець в живих організмах представлений комплексами $\text{Mn}(\text{II})$ і $\text{Mn}(\text{III})$. Відзначено його підвищену спорідненість до карбоксильних і фосфатних груп, а також деяка функціональна взаємозамінність з магнієм. Марганець необхідний для роботи таких ферментів, як аміно-ацилтрансферази, карбоксилази, метаболону циклу Кребса. Надходження марганцю в організм відбувається з рослинною їжею. (Voropov, 2010, s. 316).

Залізо – найважливіший біометал; для його біокоординаційних сполук характерні два ступені окиснення – $\text{Fe}(\text{II})$ і $\text{Fe}(\text{III})$, а також координаційне число 6. Розподіл феруму в організмі людини наступний: у складі гемоглобіну – 70 %, оксидоредуктаз – 15%, феритину і гемосидерину – 15%. Добова потреба в Fe становить близько 30 мг і поповнення відбувається за рахунок м'ясних продуктів. Нестача феруму призводить до розвитку залізодефіцитних анемії, надлишок – до сидероз. Основні функції біокомплексів феруму (II , III) – участь у транспорті кисню, роботі ферментних систем і електрон-транспортних ланцюгів. Ступінь окиснення заліза в біокомплексах залежить від виконуваної ролі (+2 в гемоглобіні, +3 в оксидазі, а змінна – в цитохромах).

Кобальт в організмі знаходиться у вигляді комплексів $\text{Co}(\text{II})$ з координаційним числом 4 або 6 і $\text{Co}(\text{III})$ з координаційним числом 6. Цей біометал входить до складу вітаміну B_{12} , і його нестача призводить до розвитку анемії. Джерела цього біометалу – рослинна їжа і печінка тварин. Найважливішою функцією $\text{Co}(\text{II})$ є активація ферментних систем, таких як альдолаза, карбоангідраза. Встановлена можливість оборотного транспорту кисню за участю іонів $\text{Co}(\text{II})$, а також їх участь у протезолізі.

Мідь в організмі також виявлена у двох ступенях окиснення – $\text{Cu}(\text{I})$ з координаційним числом 2 або 4 і $\text{Cu}(\text{II})$ з координаційним числом 4 або 6. Даний елемент депонується в печінці і є центральною частиною оксидоредуктаз (аскорбатоксидази, поліфенолоксидази). Виявлений фунгіцидний ефект сполук $\text{Cu}(\text{II})$.

Цинк існує в біосистемах тільки у вигляді комплексів $\text{Zn}(\text{II})$ (тетраедричних з координаційним числом 4 або октаедричних з координаційним числом 6). Цей біометал

представлений як у рослинних, так і в тваринних об'єктах і, як правило, надходить з їжею в достатніх кількостях. Цинк бере участь у формуванні мультимірів білкових молекул, активує ряд ферментів (карбоксипептидази, ДНК-полімерази).

Незважаючи на різноманіття ступенів окиснення **молібдену**, в організмі домінують оксокомплекси $\text{Mo}(\text{VI})$. Даний біометал активує ксантинооксидазу – найважливіший фермент в обміні азоту. Відзначено також роль іонів молібдену у формуванні зв'язку між флавиновим коферментом і апоферментами. (Muzychenko, 2010, s. 446).

Результати. Відомі численні спроби класифікувати хімічні елементи за ступенем взаємодії з живими організмами на основі поєднань таких параметрів, як поширеність, доступність, засвоюваність, токсичність. Важливу роль грає форма перебування елемента в організмі і здатність його накопичуватися в тому чи іншому органі або тканині. Розглядаючи токсичний вплив навколишнього середовища, часто вживають термін «токсичні елементи» або «токсичні сполуки». Однак токсична дія того чи іншого елемента істотно залежить від його загальної та локальної поширеності в навколишньому середовищі, в тому числі і від того, чи є токсична сполука природною чи утворилася в результаті діяльності людини, тобто має антропогенну природу. Крім того, жодну сполуку не можна назвати абсолютно токсичною або абсолютно нетоксичною; як писав Парацельс: «Все отрута, справа в дозі». Кожен орган або тканина живого організму нормально функціонує лише для деякого інтервалу (допустимих значень) концентрацій якої-небудь сполуки. Відхилення вмісту цієї сполуки від норми викликає патологічну реакцію і є, власне, причиною токсичності. На токсичність сполук істотно впливають: доза; загальні властивості сполуки; спроможності біологічної системи абсорбувати і транспортувати сполуку до необхідного органу; здатність сполуки трансформуватися в більш-менш токсичні форми; здатність сполуки взаємодіяти з макромолекулами. Так як багато металів відносяться до рідкісних і розсіяних елементів, то токсичність їх незначна. Знижена токсичність і тих сполук, які погано розчиняються у воді (наприклад, PbS) і не засвоюються організмом. Однак, токсичність сполук деяких елементів, наприклад ртуті, підвищується через дію мікроорганізмів, які легко засвоюють погано розчинні сполуки ртуті та потім «передають» їх вищим тваринам. В даний час існують особливі галузі науки, такі як токсикологія, екотоксикологія, що виникли на стику біології, медицини, фізіології, популяційної генетики, хімії, що інтенсивно вивчають причини токсичності речовин і способи детоксикації. (Tsvietkova, 2009, s. 358).

Обговорення. Прості некомплексні сполуки металів I і II груп здавна застосовували в якості антисептичних засобів, наприклад CuSO_4 , AgNO_3 , HgNH_2Cl , HgCl_2 , ZnS , ZnO та ін., а також самі чисті метали Cu , Ag , Au в подрібненому стані. Комплекси міді з тіосемикарбазонами і шиффовими основами застосовують як бактерицидні засоби. Лікування препаратами золота, так звана хризотерапія, була відома ще з 2500 р. до н.е. в Китаї.

У вигляді офіційних фармацевтичних засобів сполуки золота знайшли застосування з 20-тих років ХХ ст. як середовища для боротьби з туберкульозом, артритами та ін.

Дія препаратів Au полягає в тому, що введені внутрішньовенно комплекси дисоціюють у плазмі крові, і вільні іони Au⁺ зв'язуються з тиоловими (-SH) групами білків крові і швидко розносяться по організму. Вважають, що іони Au⁺ блокують надлишкові сульфгідрильні групи, але можуть діяти іншим чином, наприклад, пригнічуючи активні форми радикалів OH і O₂⁻. Головним недоліком препаратів Cu, Ag, Au є погана переносимість шлунком. Відхилення від норми вмісту міді призводить тяжких і часто незворотних захворювань. Так, наприклад, виведення міді з сполучної тканини фізіологічним шляхом або під дією деяких ліків веде до червоної вовчки, а накопичення міді в печінці або мозку – до ревматоїдного артриту – хвороби Вільсона.

За останні 30 років ХХ століття було використано понад сотні різних матеріалів (кераміка, метали, полімери) для лікування, встановлення і заміни різних частин людського тіла, включаючи шкірні покриви, м'язову тканину, кровоносні судини, нервові волокна, кісткову тканину. Але до теперішнього часу нікому не вдалося за межами організму відтворити процеси формування таких об'єктів, як шкаралупа, нігті, роги та інше, тому що ця область біонеорганічної хімії надзвичайно важка для досліджень. Тим не менш, в літературі все частіше з'являються повідомлення про вивчення процесів формування твердих речовин, які входять до складу вище вказаних біомінеральних утворень, або утворюються в живих організмах як чужорідних тіл (камені в нирках, печінці, очах, вухах, серце і т. д.). (Slobodniuk, 2018, s.336).

Біомінералізація – процес утворення кристалічних структур в біологічному середовищі. Слід підкреслити, що її об'єкти і продукти відомі вже досить давно, але до теперішнього часу механізм формування таких структур погано вивчений і навіть мало зрозумілий. Біомінералізація в природі зустрічається у багатьох формах з різ-

ним ступенем структурного контролю. Мінерали можуть утворитися поза організмом при наявності пересиченою середовища необхідного хімічного складу. Така форма властива коралів, багатьом бактеріям, водоростям і навіть людині, у якого зубний наліт (камінь) виникає внаслідок мінералізації із слини гідроксиапатитом Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ шару полісахариду, поява на поверхні зубів деяких мікроорганізмів (стрептококи). Крім цих простих систем відомі й інші приклади біомінералізації, коли вона протікає в організмі. Вони включають кістки, зубну емаль і дентин, раковини молюсків і панцири ракоподібних організмів. Біомінералізація – типовий приклад гетерогенного процесу в живому організмі. Спочатку створюється матриця з білкових ниток і полісахаридних пластин. Вона регулює розмір часток мінеральної фази, їх форму та орієнтацію. Зародки мінеральних кристалів виникають всередині білкових фібрил, причому розташовуються строго і упорядковано, залежно від структури органічної матриці. Вони ж визначають і кристалографічну модифікацію компонента (наприклад, для карбонату кальцію – утворення кальциту, арагоніту, фатериту). (Sachan, 2018, s. 480).

Висновки. Біонеорганічна хімія як один з розділів біохімії досліджує структуру і функціональну активність комплексів іонів металів з різноманітними лігандами, розглядаючи ті ж проблеми, але під іншим кутом, оскільки в переважній більшості процесів беруть участь комплекси біомолекул. Організм – це система величезної кількості комплексують та лігандів, з певним співвідношенням між ними. Порушення балансу компонентів (металолігандного гомеостазу) призводить до розвитку патологічних станів. Тому вивчення процесів взаємодії «метал-ліганд» є ключем до пошуку нових лікарських засобів. Вода формує єдину внутрішньоклітинну структуру, забезпечуючи упорядкованість біохімічних процесів. Надходження води регулює функціональну активність органел. Не можна не відзначити її транспортні та терморегулятивні функції, а також функції середовища протікання хімічних процесів та їх учасників.

Бібліографічні посилання:

1. Atkins.P., Overton.T., Rurk.Dzh., Veller M., Armstronh F.. (2006). Inorganic Chemistry. 4th Edition, University Press Oxford.
2. Belits Kh.-D., Hrosh V., Shyberle P. (2009). Food Chemistry. 4th revised and extended ed. SpringerVerlag Berlin Heidelberg.
3. Chi Keunh, Cheunh Bkhavbkhuti, Mekhta. M. (2015). Handbook of Food Chemistry. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
4. Dzhon M. de Man, Dzhon U. Finli, V. Dzheffri Kherst, Chanh Yonh Li. (2018). Principles of Food Chemistry Springer, Cham.
5. Нурьна N.P., Туманова I.V. (2012). Praktikum z neorhanichnoi khimii: Navch. navchalnyi posibnyk vshchychk medychnykh (farmatsevtichnykh) zakladiv I-III rivniv akredytatsii. [Workshop on inorganic chemistry: Education. study guide higher medical (pharmaceutical) institutions of I-III levels of accreditation]. Kharkiv: VSV «Medytsyna». [in Ukrainian].
6. Levitin Y. Y., Antonenko O. V., Bryzyska A. M., Vedernykova O., Neorhanichna khimiia. (2012). Laboratorni praktykumy: navch. posibnyk dlia studentiv naukovykh spivrobitnykiv farmatsii akademichnoi kafedry. [Laboratory practicums: teaching. manual for students scientist pharmacy academic department]. Kharkiv: NFaU. [in Ukrainian].
7. Levitin Y.I., Bryzyska A.M., Kliuieva R.Kh.. (2017). Zahalna ta neorhanichna khimiia : navch. dlia studentiv VNZ zakryttia navchannia. [General and inorganic chemistry: textbook. for university students education closing]. Kharkiv : NFaU [in Ukrainian].
8. Muzychenko V. P., Lutsevych D. D., Yavorska L. P. (2010). Medychna khimiia. [Medicinal chemistry]. Kharkiv: VSV "Medytsyna". [in Ukrainian].

9. Sachan A., Khendrikh S. (2018). Food Toxicology: Current Advances and Future Challenges. Apple Academic Press
10. Slobodniuk R. Ye., Horalchuk A. B. (2018). Analitichna khimiia ta analiz kharchovykh produktiv: navchalnyi posibnyk. [Analytical chemistry and analysis of food products: a study guide]. Kharkiv: Vydavnychi dim «Kondor». [in Ukrainian].
11. Stepanenko O. M., Raiter L. Kh., Ledovskykh V. M., Ivanov S. V. (2002). Zahalna ta neorhanichna khimiia: U 2-kh hl. [General and inorganic chemistry: U 2-kh ch.] Kharkiv: Ped. Presa, 2002. [in Ukrainian].
12. Tsvietkova L. B., Romaniuk O. P. (2006). Neorhanichna ta orhanichna khimiia: Navch. posibnyk. Rozdil II. [Inorganic and organic chemistry: Education. manual. Ch.II]. – Lviv: 'Mahnoliia'. [in Ukrainian].
13. Tsvietkova L.B. (2007). Zahalna khimiia: teoriia ta problemy: Navch. posibnyk. Ch.I. [General chemistry: theory and problems: Study. manual. Ch.I]. – Lviv. [in Ukrainian].
14. Voronov S.A., Stetsyshyn Yu.B., Panchenko Yu.V., Vasyliiev V. P. (2010). Toksykologichna khimiia kharchovykh produktiv i kosmetychnykh zasobiv : navch. [Toxicological chemistry of food products and cosmetics: textbook]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. [in Ukrainian].
15. Wisconsin P.C.K. Cheung, Mehta B.M. (2015). Food Chemistry. Third Edition. Edited by Owen R. Fennema. University of WisconsinMadison, Madison, (Eds.). Handbook of Food Chemistry England.

Morozov B S., Candidate of Veterinary Sciences, Doctor of Philosophy, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Bioinorganic chemistry as a science of humanity

Bioinorganic chemistry can be considered a kind of "bridge" between inorganic chemistry and biochemistry. The main task of BNH is to study the role of chemical elements in the emergence and development of physiological and pathological processes in the living organism. Hence the close connection of BNH with biochemistry, medicine, pharmacology, and ecology. Each of these branches of science approaches the study of BNH from its own side and uses research methods peculiar to this particular science. According to one of its founders, R.P.J. Williams, "bioinorganic chemistry today is similar to inorganic chemistry before the discovery of the Periodic Law." Indeed, despite the material accumulated so far about the role of chemical elements in the biosphere, about the participation of both simple and complex chemical compounds in vital processes, the mechanisms of action of many natural compounds have not been fully elucidated. One can only conclude that the properties of elements (oxidation degree, coordination number, etc.) inherent in them in the biosphere often differ from those that these elements exhibit in the geosphere.

Biochemistry examines the regularities of the structure, distribution and transformation of chemical bonds in the process of living organisms. This means that this science, among the teachings about living things, works in many respects at the determining level of the organization of matter. Bioinorganic chemistry, as one of the branches of biochemistry, studies the structure and functional activity of complexes of metal ions with various ligands, considering the same problems, but from a different angle, since complexes of biomolecules are involved in the vast majority of processes. As an independent discipline, bioinorganic chemistry was formed in the 70s of the XX century. This science makes extensive use of insights from quantum mechanics, coordination bond chemistry, and biology. The importance of biocoordination studies was accurately emphasized by J. Wood: "If you think that biochemistry is the organic chemistry of living systems, then you are wrong, biochemistry is the coordination chemistry of living systems."

Key words: chemistry, medicine, chemical technologies.