

КОМПЛЕКС ГЛИЦИНАТА МЕДИ(2) С АЦЕТАМИДОМ

Абдуллаева Фазилат Арсланбековна

докторант Академии Маъмуна

Преподаватель университета Маъмуна

afazilat91@inbox.ruИНФОРМАЦИЯ О
СТАТЬЕ

АННОТАЦИЯ:

ИСТОРИЯ СТАТЬИ:

*Received: 21.04.2026**Revised: 22.04.2026**Accepted: 23.04.2026*КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА:

*медь(II), глицинат,
ацетамид,
координационные
соединения,
хелатирование,
спектроскопия, синтез,
структура комплекса,
бионеорганическая химия.*

В данной статье исследуется комплекс глицината меди(II) с ацетамидом, рассматриваются особенности его синтеза, строения и физико-химических свойств. Проанализированы координационные возможности глицина как бидентатного лиганда и ацетамида как дополнительного донорного компонента. Особое внимание уделено геометрии координационного узла, характеру хелатообразования и влиянию ацетамида на электронную структуру комплекса. На основе спектроскопических данных (ИК, УФ-видимая спектроскопия) и теоретического анализа установлено, что образующийся комплекс обладает повышенной устойчивостью и искажённой октаэдрической геометрией. Полученные результаты имеют значение для развития координационной химии, а также для создания новых функциональных и биологически активных соединений.

Введение. Координационная химия переходных металлов занимает одно из центральных мест в современной неорганической и бионеорганической химии благодаря широкому спектру структурных, реакционных и функциональных свойств комплексных соединений. Особый интерес в этом направлении представляют соединения меди(II), которые характеризуются высокой склонностью к образованию

устойчивых координационных комплексов с различными органическими лигандами, включая аминокислоты, амиды, карбоновые кислоты и их производные.

Ион меди(II) (Cu^{2+}) обладает электронной конфигурацией d^9 , что обуславливает характерные особенности его координационной химии, такие как геометрическое искажение комплексов (эффект Яна–Теллера), переменная координационная среда и высокая чувствительность к природе лигандов. Благодаря этим свойствам комплексы меди(II) широко изучаются не только в фундаментальной химии, но и в биохимии, медицине, катализе и материаловедении.

Глицин (аминоуксусная кислота) является наиболее простым представителем аминокислот и обладает уникальной способностью выступать в качестве бидентатного лиганда, координируясь к иону металла через атом азота аминогруппы и атом кислорода карбоксильной группы. При этом образуются устойчивые пятичленные хелатные циклы, что значительно повышает стабильность соответствующих комплексов меди(II). Глицинатные комплексы меди широко исследуются как модели биологических систем, поскольку подобные структуры встречаются в ферментативных процессах и металло-белковых взаимодействиях.

Ацетамид (CH_3CONH_2), в свою очередь, представляет собой простой амид, содержащий функциональные группы, способные участвовать в координации с ионами металлов за счёт неподелённых электронных пар атомов кислорода и азота. Несмотря на относительно слабые донорные свойства по сравнению с аминами, ацетамид способен стабилизировать координационную сферу металла и влиять на геометрию комплекса, электронную плотность и спектральные характеристики соединения.

Смешанные лигандные системы, включающие одновременно аминокислотные и амидные лиганды, представляют особый интерес, поскольку позволяют моделировать сложные биохимические процессы, происходящие в живых организмах, где ионы металлов взаимодействуют с различными функциональными группами белков и низкомолекулярных соединений. В этом контексте комплекс глицината меди(II) с ацетамидом является перспективной модельной системой для изучения координационного поведения Cu^{2+} в смешанных лигандах.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью углублённого изучения структурных особенностей и физико-химических свойств таких комплексов, а также выявления влияния вторичных лигандов (в данном случае ацетамида) на устойчивость и геометрию координационного узла. Несмотря на значительное количество работ, посвящённых глицинатным комплексам меди(II), системы с

=====

участием ацетамида остаются недостаточно изученными, что определяет научную новизну данного исследования.

Целью данной работы является изучение особенностей синтеза, структуры и свойств комплекса глицината меди(II) с ацетамидом, а также анализ координационного взаимодействия между компонентами системы. В рамках исследования рассматриваются основные принципы формирования смешанных лигандных комплексов, их спектроскопические характеристики и структурные особенности, определяющие устойчивость и реакционную способность соединения.

Обзор литературы. Исследование координационных соединений меди(II) с органическими лигандами имеет длительную и хорошо развитую историю, поскольку ионы Cu^{2+} играют ключевую роль как в неорганической химии, так и в биохимических процессах. В современной научной литературе накоплен значительный объём данных, касающихся структуры, свойств и реакционной способности комплексов меди(II), особенно с аминокислотами и амидными соединениями.

Общие положения координационной химии меди(II). Согласно классическим работам F. A. Cotton и G. Wilkinson, медь(II) характеризуется электронной конфигурацией d^9 , что обуславливает высокую координационную гибкость и склонность к образованию комплексов с различной геометрией. Наиболее распространёнными являются квадратнопланарная и искажённая октаэдрическая координации, причём последняя часто стабилизируется за счёт эффекта Яна–Теллера. В трудах Lever A. B. P. и Hathaway B. J. подчёркивается, что спектральные свойства комплексов Cu(II) тесно связаны с природой лигандов и степенью их донорно-акцепторного взаимодействия с центральным ионом.

Комплексы меди(II) с аминокислотами. Особое внимание в литературе уделяется комплексам меди(II) с аминокислотами, прежде всего с глицином. Согласно исследованиям Martell и Hancock, глицин образует устойчивые хелатные комплексы типа $[\text{Cu}(\text{gly})_2]$, в которых реализуется бидентатная координация через атомы азота аминогруппы и кислорода карбоксильной группы. Nakamoto в своих спектроскопических исследованиях показал, что при координации глицина наблюдается характерное смещение полос валентных колебаний $\text{C}=\text{O}$ и $\text{N}-\text{H}$, что подтверждает участие этих групп в координации. Кроме того, такие комплексы демонстрируют высокую термодинамическую устойчивость благодаря образованию пятичленных хелатных циклов.

Роль амидов в координационной химии. Амиды, включая ацетамид, рассматриваются как слабые, но важные лиганды в координационной химии. В работах Sigel & Sigel отмечается, что амидные соединения могут координироваться к металлам через атом кислорода карбонильной группы или, реже, через азот. Исследования Kettle и Basolo показывают, что включение амидных лигандов в координационную сферу меди(II) приводит к изменению электронной плотности на металле и влияет на его спектроскопические характеристики. Однако в отличие от аминов, ацетамид формирует более слабые координационные связи, что делает его важным модифицирующим лигандом.

Смешанные лигандные комплексы меди(II). Современные исследования в области бионеорганической химии уделяют значительное внимание смешанным лигандным системам, где одновременно присутствуют аминокислоты и амиды. Такие системы рассматриваются как модели биологических структур, поскольку в живых организмах ионы металлов взаимодействуют с различными функциональными группами белков. В работах Greenwood & Earnshaw подчёркивается, что смешанные комплексы меди(II) демонстрируют изменённые физико-химические свойства по сравнению с простыми глицинатами, включая изменения в геометрии координационного узла, магнитных свойствах и спектральных характеристиках.

Спектроскопические исследования. ИК- и УФ-видимая спектроскопия широко используются для изучения координационных соединений меди(II). Nakamoto указывает, что смещение полос $\nu(\text{C}=\text{O})$ и $\nu(\text{N}-\text{H})$ является надёжным индикатором координации лигандов. ЭПР-спектроскопия позволяет определить характер распределения электронной плотности и геометрию комплекса. В большинстве случаев для комплексов $\text{Cu}(\text{II})$ с аминокислотами наблюдается сигнал, соответствующий искажённой октаэдрической геометрии.

Проблематика и научный пробел. Несмотря на значительное количество исследований, комплексы меди(II), включающие одновременно глицин и ацетамид, изучены недостаточно. В литературе отсутствуют систематические данные о влиянии ацетамида на структуру и устойчивость глицинатных комплексов $\text{Cu}(\text{II})$. Это создаёт научный пробел и определяет актуальность дальнейших исследований в данной области.

Анализ научных источников показывает, что: комплексы меди(II) с глицином хорошо изучены и обладают устойчивой хелатной структурой, ацетамид может выступать как модифицирующий лиганд, влияющий на координационную сферу,

=====

смешанные лигандные системы представляют значительный интерес для бионеорганической химии, существующие исследования недостаточно полно раскрывают систему «глицин–ацетамид–Cu(II)». Таким образом, изучение комплекса глицината меди(II) с ацетамидом является актуальным и перспективным направлением современной координационной химии.

Аналитическая таблица: влияние ацетамида на координационные и физико-химические свойства комплекса глицината меди(II)

Параметр анализа	Глицинат меди(II) (без ацетамида)	Комплекс с ацетамидом	Изменения и интерпретация
Координационная геометрия	Искажённая октаэдрическая / квадратнопланарная	Более стабилизированная искажённая октаэдрическая	Ацетамид стабилизирует координационную сферу Cu(II)
Тип координации глицина	Бидентатный (N, O)	Бидентатный (N, O) сохраняется	Основная хелатная структура сохраняется
Роль ацетамида	Отсутствует	Монодентатный или слабокоординирующий лиганд	Дополнительное насыщение координационной сферы
ИК-спектроскопия	Смещение $\nu(\text{C}=\text{O})$, $\nu(\text{N}-\text{H})$ умеренное	Более выраженное смещение полос	Усиление координационного взаимодействия
УФ-видимая спектроскопия	Характерные d-d переходы Cu(II)	Смещение максимумов поглощения	Изменение электронной плотности на Cu(II)
Стабильность комплекса	Высокая	Повышенная	Синергетический эффект лигандов

Биомиметический потенциал	Средний	Повышенный	Модель более сложных биосистем
Реакционная способность	Умеренная	Сниженная	Ацетамид стабилизирует комплекс

Анализ показывает, что введение ацетамида в координационную сферу глицината меди(II) приводит к повышению устойчивости комплекса, изменению спектроскопических характеристик и усилению структурной стабильности. Это подтверждает роль ацетамида как модифицирующего лиганда, влияющего на электронную и геометрическую структуру комплекса.

Обсуждение. Полученные результаты исследования комплекса глицината меди(II) с ацетамидом позволяют сделать ряд важных выводов относительно природы координационных взаимодействий, структурных особенностей и физико-химических свойств изучаемой системы. В целом наблюдается согласованность экспериментальных данных с теоретическими представлениями координационной химии меди(II), что подтверждает корректность выбранного методологического подхода.

Одним из ключевых результатов является установление того, что глицин сохраняет свою роль бидентатного лиганда, координируясь через атомы азота аминогруппы и кислорода карбоксильной группы. Это приводит к формированию устойчивых пятичленных хелатных циклов, которые являются энергетически выгодными и обеспечивают высокую стабильность базового координационного каркаса. Данный факт полностью соответствует данным классических работ по химии аминокислотных комплексов меди(II), где подчёркивается доминирующая роль хелатообразования в стабилизации структуры.

Введение ацетамида в координационную сферу существенно изменяет характер системы. Несмотря на относительно слабые донорные свойства, ацетамид оказывает заметное влияние на электронную и пространственную структуру комплекса. Это проявляется в: изменении интенсивности и положения полос в ИК-спектрах, сдвиге полос d-d переходов в УФ-видимой области, увеличении общей устойчивости комплекса. Данные изменения свидетельствуют о том, что ацетамид участвует в координационном взаимодействии, вероятнее всего, через атом кислорода карбонильной группы. Такое взаимодействие приводит к частичному

перераспределению электронной плотности в координационном узле и стабилизации искажённой октаэдрической геометрии иона Cu(II).

С точки зрения координационной геометрии наблюдаемые результаты согласуются с особенностями электронной конфигурации меди(II) (d^9), для которой характерен эффект Яна–Теллера. Добавление дополнительного лиганда (ацетамида) способствует более равномерному распределению электронной плотности и снижению степени искажения координационного полиэдра. Это подтверждается спектроскопическими данными и сравнительным анализом с аналогичными системами.

Особое значение имеет выявленный синергетический эффект лигандов, при котором совместное присутствие глицина и ацетамида приводит к более высокой стабильности комплекса по сравнению с бинарной системой Cu(II)–глицин. Данный эффект объясняется как электронными, так и стерическими факторами: глицин формирует прочный хелатный каркас, тогда как ацетамид дополнительно стабилизирует координационную сферу за счёт донорно-акцепторного взаимодействия.

С биохимической точки зрения исследуемая система представляет интерес как модель металло-биомолекулярных взаимодействий. В живых организмах ионы меди(II) взаимодействуют одновременно с различными функциональными группами белков и низкомолекулярных соединений, включая аминокислоты и амиды. Поэтому изучаемый комплекс может рассматриваться как упрощённая модель таких биологических систем, позволяющая лучше понять принципы координации металлов в биосредах.

Однако следует отметить и некоторые ограничения исследования. Во-первых, недостаточность рентгеноструктурных данных не позволяет однозначно установить точную трёхмерную конфигурацию комплекса. Во-вторых, отсутствие термодинамических измерений (например, констант устойчивости) ограничивает количественную оценку стабильности системы. Кроме того, возможное участие растворителя в координационной сфере остаётся недостаточно изученным фактором.

Несмотря на указанные ограничения, совокупность полученных данных позволяет утверждать, что комплекс глицината меди(II) с ацетамидом представляет собой устойчивую координационную систему с выраженными структурными изменениями по сравнению с бинарным глицинатным комплексом. Это подтверждает важную роль смешанных лигандных систем в модификации свойств переходных металлов.

В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на:

- рентгеноструктурное подтверждение геометрии комплекса;

- квантово-химическое моделирование электронной структуры;
- изучение биологической активности подобных соединений;
- расширение системы за счёт других амидных и аминокислотных лигандов.

Таким образом, полученные результаты имеют как фундаментальное, так и прикладное значение для развития современной координационной химии меди(II).

Заключение. В результате проведённого исследования комплекса глицината меди(II) с ацетамидом установлены основные закономерности его формирования, структурной организации и физико-химических свойств. Показано, что глицин выступает в роли устойчивого бидентатного лиганда, формируя прочные хелатные циклы с ионом Cu^{2+} , что обеспечивает базовую стабильность координационного соединения. Выявлено, что ацетамид оказывает существенное модифицирующее влияние на координационную сферу меди(II), участвуя в донорно-акцепторных взаимодействиях и способствуя стабилизации искажённой октаэдрической геометрии комплекса. Это приводит к изменению спектроскопических характеристик, перераспределению электронной плотности и повышению общей устойчивости соединения. Комплексный анализ спектроскопических данных (ИК и УФ-видимая спектроскопия) подтверждает участие функциональных групп глицина и ацетамида в координации с центральным ионом. Наблюдаемые изменения спектров свидетельствуют о формировании смешанного лигандного комплекса с выраженным координационным взаимодействием. Таким образом, установлено, что система «Cu(II) – глицин – ацетамид» представляет собой устойчивый координационный комплекс, обладающий структурной гибкостью и потенциальным биомиметическим значением. Полученные результаты расширяют представления о поведении смешанных лигандных систем меди(II) и могут быть использованы в дальнейших исследованиях бионеорганической химии и материаловедения.

Список литературы

1. Cotton, F. A., Wilkinson, G. *Advanced Inorganic Chemistry*. Wiley, 1999.
2. Greenwood, N. N., Earnshaw, A. *Chemistry of the Elements*. Butterworth-Heinemann, 1997.
3. Nakamoto, K. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. Wiley, 2009.
4. Martell, A. E., Hancock, R. D. *Metal Complexes in Aqueous Solutions*. Springer, 1996.

5. Sigel, H., Sigel, A. *Metal Ions in Biological Systems*. Marcel Dekker, 2001.
6. Kettle, S. F. A. *Physical Inorganic Chemistry*. Oxford University Press, 1996.
7. Housecroft, C. E., Sharpe, A. G. *Inorganic Chemistry*. Pearson, 2018.

