

А. В. Блинов [A. V. Blinov],
М. А. Пирогов [M..A.Pirogov]
А. А. Гвозденко [A.Gvozdenko Alexey]
А. Б. Голик [Al. B. Golik],
А. А. Яковенко [A. A.Yakovenko],
А. А. Блинова [A.A. Blinova]

УДК 637.521.44
DOI: 10.37493/2307-910X.2022.4.9

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ
КОНФИГУРАЦИИ ТРОЙНЫХ
ХЕЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ
ЭССЕНЦИАЛЬНОГО
МИКРОЭЛЕМЕНТА ЦИНКА С
ВИТАМИНОМ С И НЕЗАМЕНИМЫМИ
АМИНОКИСЛОТАМИ**

**DETERMINATION OF THE OPTIMAL
CONFIGURATION OF TRIPLE
CHELATE COMPLEXES OF THE
ESSENTIAL TRACE ELEMENT ZINC
WITH VITAMIN C AND ESSENTIAL
AMINO ACIDS**

ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия
FSAEI HE "North-Caucasus Federal University", Stavropol, Russia
e-mail: gvozdenko.1999a@gmail.com

Аннотация

В рамках данной работы с помощью компьютерного квантово-химического моделирования проведено определение оптимальной конфигурации тройных хелатных комплексов микроэлемента цинка с витамином С и незаменимыми аминокислотами. Рассматривалось взаимодействие атома цинка с аминокислотами через карбоксильную группу и аминогруппу и с витамином С через различные пары гидроксильных групп. Установлено, что формирование тройных комплексов цинка с витамином С и незаменимыми аминокислотами является возможным, что подтверждается высокой разницей полной энергии тройного комплекса и аминокислоты ($\Delta E = 2449,910 \pm 1,345$ ккал/моль), а также значением химической жёсткости $\eta \geq 0,076$ эВ, свидетельствующем о стабильности молекулярных комплексов. Установлено, что оптимальной конфигурацией тройных хелатных комплексов эссенциального микроэлемента цинка с витамином С и незаменимыми аминокислотами является взаимодействие цинка с аскорбиновой кислотой через ОН групп C_3 и C_6 атомам, и с аминокислотами через карбоксильную и аминогруппу.

Ключевые слова: тройные хелатные комплексы, квантово-химическое моделирование, незаменимые аминокислоты, эссенциальные микроэлементы, витамин С

Abstract

Within the framework of this work, the optimal configuration of triple chelate complexes of the trace element zinc with vitamin C and essential amino acids was determined using computer quantum chemical modeling. The interaction of the zinc atom with amino acids through a carboxyl group and an amino group and with vitamin C through various pairs of hydroxyl groups was considered. It has been established that the formation of triple zinc complexes with vitamin C and essential amino acids is possible, which is confirmed by the high difference in the total energy of the triple complex and the amino acid ($\Delta E = 2449.910 \pm 1.345$ kcal/mol), as well as the chemical

hardness value $\eta \geq 0.076$ eV, indicating the stability of molecular complexes. It has been established that the optimal configuration of triple chelate complexes of the essential trace element zinc with vitamin C and essential amino acids is the interaction of zinc with ascorbic acid with OH groups attached to C_3 and C_6 atoms and with amino acids through the carboxyl and amino groups.

Key words: triple chelate complexes, quantum chemical modeling, essential amino acids, essential trace elements, vitamin C

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (№ 22-76-00029).

The study was supported financially by the Russian Science Foundation (№ 22-76-00029).

Введение

На сегодняшний день вследствие техногенеза биосферы происходит нарушение биогеохимических циклов и формирование искусственных геохимических провинций, в которых наблюдается дефицит макро- и микроэлементов [1 – 3]. Данный процесс имеет как региональное, так и мировое значение. В частности, в Ленинградской области и в республике Карелии наблюдается дефицит йода и железа, в Ямало-Ненецком автономном округе – нехватка цинка и меди [4, 5].

Эссенциальные микроэлементы улучшают транспортировку веществ в организме и активность некоторых ферментов [6]. Помимо положительного влияния на человеческий организм эссенциальные микроэлементы также благоприятно влияют на растения, увеличивая количество урожая, повышая устойчивость растений к засухе и болезням [7]. Микроэлементы являются жизненно важными для организма человека. Они обеспечивают нормальный кислотно-щелочной баланс, участвуют в процессах кроветворения, секреции и костеобразования, а также поддерживают осмотическое давление на постоянном уровне [8]. В частности, эссенциальный микроэлемент цинк оказывает значительное влияние на иммунитет человека, формирование структур мозга и нормальное развитие плода. Известно, что цинк является самым распространенным микроэлементом у эукариотов. Он входит в состав более чем 300 ферментов, ДНК-связывающих белков, транскрипционных факторов и большого семейства рецепторных белков [9]. По сравнению с другими тканями концентрация катионов цинка в мозге одна из наиболее высоких и составляет около 0,15 мМ.

Незаменимые аминокислоты принимают участие во множестве процессов в организме человека, но не синтезируются в нём [10]. Лейцин служит для азотистого баланса обмена углеводов и белков, регулирует содержание сахара в крови, участвует в восстановлении тканей и укреплении иммунитета [11]. Метионин необходим для синтеза нуклеиновых кислот, гормонов, витаминов группы B_{12} , фолиевой и аскорбиновой кислот, регулирует концентрацию гистамина и холестерина в крови [12, 13]. Фенилаланин участвует в синтезе тирозина, адреналина, дофамина, фенилэтиламина. Валин необходим для регенерации тканей, для поддержания азотного баланса и как источник энергии для мышечной ткани [14].

Аскорбиновая кислота и ее металлокомплексы применяются в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве, ветеринарии и т.д. Аскорбат $Zn(II)$ и аскорбат $Mn(II)$ применяются в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных [15]. Аскорбаты K , Cr , Cu , Ca , Zn , Mg используются для создания поливитаминных комплексов необходимых для профессиональных спортсменов [16, 17]. Аскорбат железа применяется при профилактике анемии и для повышения уровня гемоглобина в крови. Кислые комплексы аскорбатов могут применяться в качестве промоторов роста растений [18].

Таким образом разработка комплексных соединений, содержащих эссенциальные микроэлементы, незаменимые аминокислоты и витамины, является актуальным направлением исследований. В рамках данной работы объектом исследования являются тройные хелатные комплексы эссенциального микроэлемента цинка с витамином С и незаменимыми аминокислотами.

Экспериментальная часть

Квантово-химическое моделирование тройного комплекса цинка с незаменимыми аминокислотами и витамином С проводилось в программе QChem с использованием молекулярного редактора IQmol в два этапа. На первом этапе рассматривались молекулы незаменимых аминокислот: валин, лейцин, изолейцин, метионин, треонин, лизин, фенилаланин, триптофан. Далее рассматривался процесс взаимодействия цинка с незаменимыми аминокислотами, проходящий через amino- и карбоксильные группы аминокислот, и с витамином С, проходящий через различные пары гидроксильных групп.

Обсуждение полученных результатов

В рамках квантово-химического моделирования проводили расчет полной энергии системы (E), энергии высшей заселенной молекулярной орбитали (E_{HOMO}), энергии низшей свободной молекулярной орбитали (E_{LUMO}), разницы энергии аминокислоты и тройных хелатных комплексов (ΔE), химической жёсткости (η) (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты компьютерного квантово-химического моделирования

Аминокислота	Тип взаимодействия с витамином С	E , ккал/моль	ΔE , ккал/моль	E_{HOMO} , эВ	E_{LUMO} , эВ	η , эВ
1	2	3	4	5	6	7
Валин	Аминокислота	-402,112	–	-0,249	0,016	0,133
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам	-2853,304	2451,192	-0,262	0,066	0,164
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_5 атомам	-2852,916	2450,804	-0,266	0,034	0,149
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_6 атомам	-2853,120	2451,008	-0,270	0,085	0,178
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_5 атомам	-2852,844	2450,732	-0,278	0,010	0,144
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам	-2852,970	2450,858	-0,270	0,076	0,173
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_5 и C_6 атомам	-2852,950	2450,838	-0,240	0,098	0,169
Лейцин	Аминокислота	-441,397	–	-0,260	0,006	0,133
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам	-2891,897	2450,500	-0,257	0,046	0,152
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_5 атомам	-2891,582	2450,185	-0,252	0,091	0,172
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_6 атомам	-2892,104	2450,707	-0,257	0,091	0,174
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_5 атомам	-2891,843	2450,446	-0,276	0,012	0,144
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам	-2891,997	2450,600	-0,261	0,083	0,172
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_5 и C_6 атомам	-2891,969	2450,572	-0,236	0,085	0,161
Изолейцин	Аминокислота	-441,394	–	-0,247	0,018	0,133
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам	-2892,280	2450,886	-0,256	0,065	0,161
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_5 атомам	-2892,004	2450,610	-0,251	0,074	0,163
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_6 атомам	-2891,789	2450,395	-0,260	0,078	0,169
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_5 атомам	-2892,037	2450,643	-0,271	0,078	0,175
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам	-2891,771	2450,377	-0,274	0,064	0,169
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_5 и C_6 атомам	-2891,626	2450,232	-0,237	0,090	0,164
Метионин	Аминокислота	-800,251	–	-0,232	0,006	0,119
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам	-3251,506	2451,255	-0,249	0,061	0,155

Аминокислота	Тип взаимодействия с витамином С	E , ккал/моль	ΔE , ккал/моль	$E_{НОМО}$, эВ	$E_{ЛУМО}$, эВ	η , эВ
1	2	3	4	5	6	7
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_5 атомам	-3250,296	2450,045	-0,280	0,031	0,156
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_6 атомам	-3250,551	2450,300	-0,272	0,086	0,179
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_5 атомам	-3250,490	2450,239	-0,280	0,070	0,175
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам	-3250,422	2450,171	-0,241	0,063	0,152
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_5 и C_6 атомам	-3250,415	2450,164	-0,243	0,087	0,165
Треонин	Аминокислота	-438,015	–	-0,248	0,006	0,127
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам	-2889,128	2451,113	-0,280	0,052	0,166
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_5 атомам	-2887,832	2449,817	-0,255	0,043	0,149
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_6 атомам	-2888,843	2450,828	-0,264	0,067	0,166
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_5 атомам	-2888,813	2450,798	-0,282	0,059	0,171
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам	-2888,771	2450,756	-0,271	0,090	0,181
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_5 и C_6 атомам	-2888,800	2450,785	-0,216	0,092	0,154
Лизин	Аминокислота	-496,481	–	-0,177	-0,024	0,077
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам	-2946,615	2450,134	-0,248	0,053	0,151
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_5 атомам	-2946,794	2450,313	-0,284	0,045	0,165
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_6 атомам	-2947,080	2450,599	-0,258	0,092	0,175
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_5 атомам	-2946,846	2450,365	-0,277	0,014	0,146
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам	-2947,082	2450,601	-0,271	0,082	0,177
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_5 и C_6 атомам	-2946,912	2450,431	-0,244	0,092	0,168
Фенилаланин	Аминокислота	-554,424	–	-0,240	0,002	0,121
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам	-3004,707	2450,283	-0,258	0,066	0,162
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_5 атомам	-3004,359	2449,935	-0,257	0,086	0,172
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_6 атомам	-3004,230	2449,806	-0,251	0,010	0,131
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_5 атомам	-3004,452	2450,028	-0,253	0,075	0,164
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам	-3004,425	2450,001	-0,267	0,091	0,179
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_5 и C_6 атомам	-3004,340	2449,916	-0,246	0,095	0,171
Триптофан	Аминокислота	-685,684	–	-0,195	-0,035	0,080
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам	-3135,422	2449,738	-0,263	0,066	0,165
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_5 атомам	-3135,080	2449,396	-0,282	0,043	0,163
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_2 и C_6 атомам	-3135,106	2449,422	-0,254	0,084	0,169
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_5 атомам	-3134,672	2448,988	-0,276	0,008	0,142

Аминокислота	Тип взаимодействия с витамином С	E , ккал/моль	ΔE , ккал/моль	E_{HOMO} , эВ	E_{LUMO} , эВ	η , эВ
1	2	3	4	5	6	7
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам	-3135,188	2449,504	-0,254	0,061	0,158
	Через <i>ОН</i> группы, присоединённые к C_5 и C_6 атомам	-3134,249	2448,565	-0,234	0,082	0,158

При анализе данных, полученных из таблицы 1, установлено, что все представленные соединения являются энергетически выгодными ($\Delta E = 2449,910 \pm 1.345$ ккал/моль). Наибольшей разницей энергии ($\Delta E = 2451,255$ ккал/моль) обладает комплекс аскорбатометионинат цинка, где взаимодействие с аскорбиновой кислотой происходит через *ОН* группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам, а с метионином – через карбоксильную и аминогруппу (рисунок 1). Тройные комплексы аскорбиновой кислоты, эссенциальных микроэлементов и незаменимых аминокислот обладают значением химической жёсткости $\eta \geq 0,076$ эВ, что свидетельствует о стабильности данных молекулярных комплексов. Так наибольшим значением химической жёсткости ($\eta = 0,181$ эВ) обладает аскорбатотреонинат цинка, в котором взаимодействие цинка с аскорбиновой кислотой происходит через *ОН* группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам, а с треонином – через карбоксильную и аминогруппы (рисунок 2).

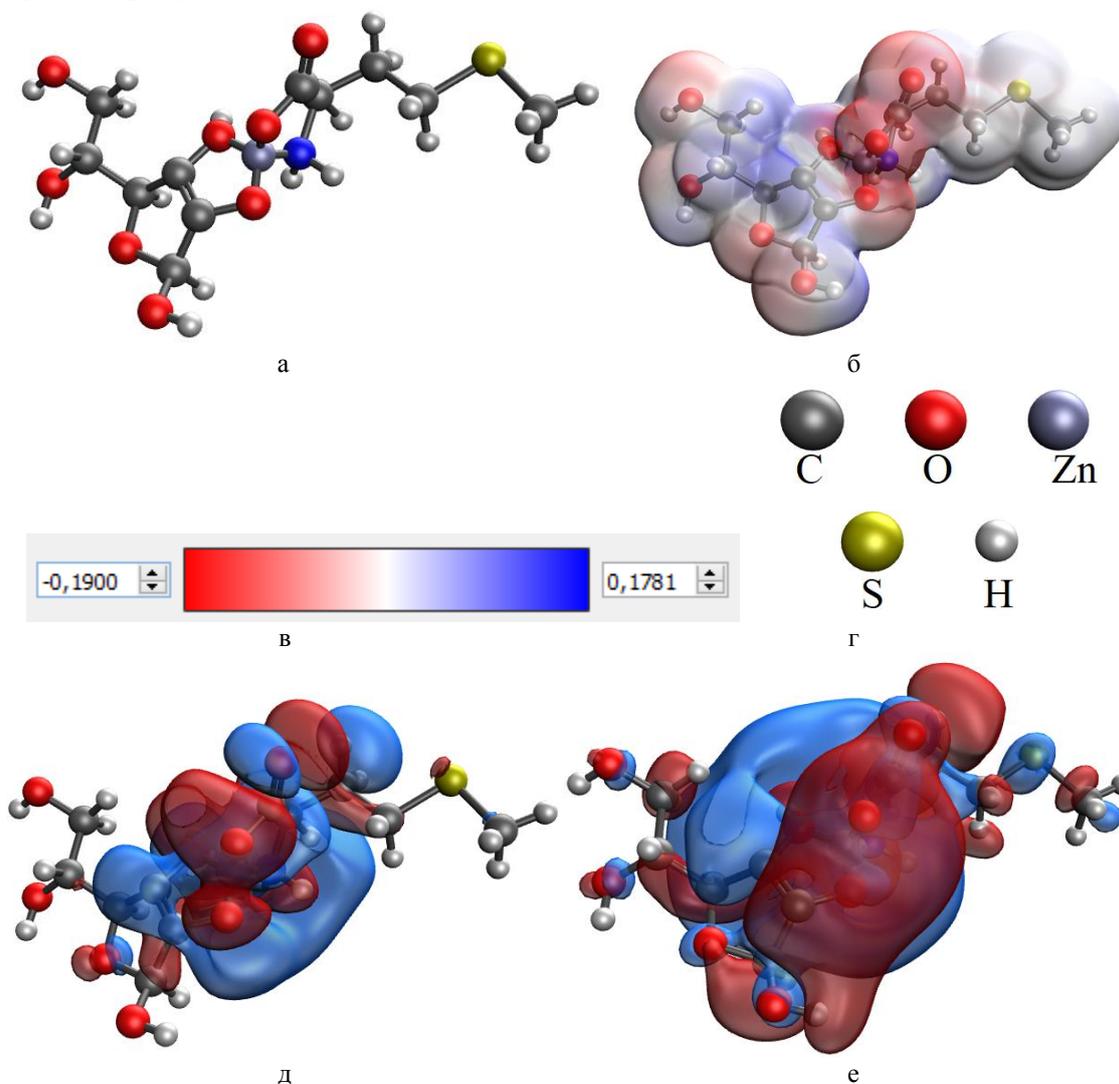


Рисунок 1 – Результаты моделирования аскорбатометионинат цинка, в котором взаимодействие происходит через *ОН* группы, присоединённые к C_2 и C_3 атомам: а – модель молекулярного комплекса; б – распределение электронной плотности; в – градиент распределения электронной плотности; г – расшифровка атомов; д – высшая заселённая молекулярная орбиталь НОМО; е – низшая свободная молекулярная орбиталь LUMO

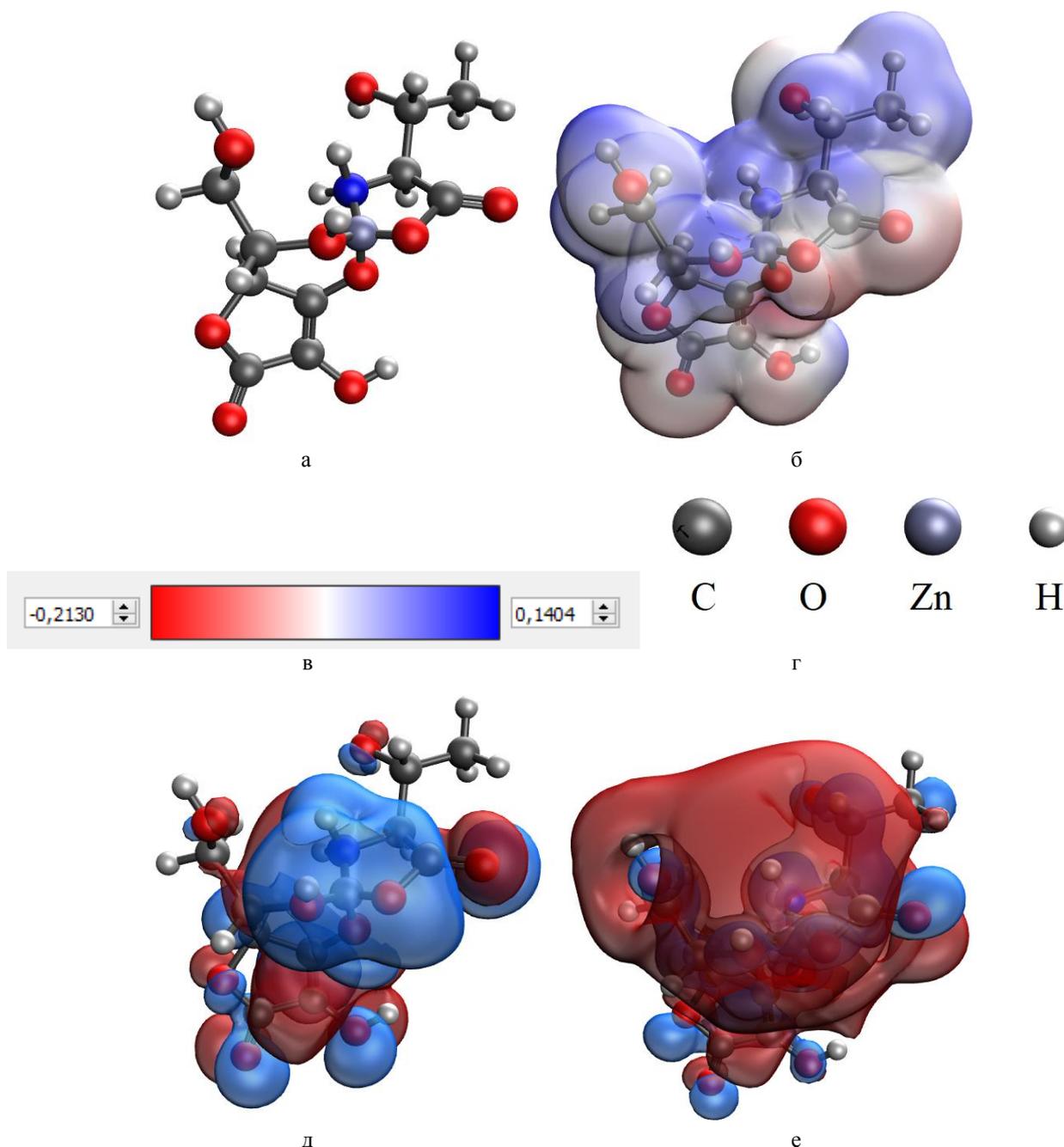


Рисунок 2 – Результаты моделирования аскорбатотреонината цинка, в котором взаимодействие цинка с аскорбиновой кислотой происходит через гидроксильные группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам: а – модель молекулярного комплекса; б – распределение электронной плотности; в – градиент распределения электронной плотности; г – расшифровка атомов; д – высшая заселённая молекулярная орбиталь НОМО; е – низшая свободная молекулярная орбиталь LUMO

Установлено, что оптимальной конфигурацией тройных хелатных комплексов эссенциального микроэлемента цинка с витамином С и незаменимыми аминокислотами является взаимодействие цинка с аскорбиновой кислотой через *ОН* группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам, и с аминокислотами через карбоксильную и аминогруппу.

Заключение

В результате квантово-химического компьютерного моделирования установлено, что все представленные взаимодействия цинка с аскорбиновой кислотой и незаменимыми аминокислотами являются энергетически выгодными и химически стабильными. Наибольшим значением разницы энергии обладает аскорбатометионинат цинка, а

наибольшей химической жёсткостью – аскорбатотреонинат цинка. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что оптимальной конфигурацией тройных хелатных комплексов эссенциального микроэлемента цинка с витамином С и незаменимыми аминокислотами является взаимодействие цинка с аскорбиновой кислотой через *ОН* группы, присоединённые к C_3 и C_6 атомам, и с аминокислотами через карбоксильную и аминогруппу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синтез наночастиц диоксида марганца в среде серосодержащих аминокислот / Е. Л. Малая, А. В. Блинов, Л. П. Арефьева, С. О. Крандиевский // Актуальные проблемы электроэнергетики, электроники и нанотехнологий. – 2016. – С. 26-28.
2. Разработка элементосбалансированного комплекса лизинаторибофлавината с эссенциальными микроэлементами / А. Б. Голик, Н. П. Оботурова, А. В. Блинов, А. А. Нагдалян // ББК 45/46 Г67. – 2021. – С. 211.
3. Айсувакова О. П., Балтаева Д. С., Куланова А. Б. Состав и устойчивость аскорбатов никеля (II) // *International innovation research*. – 2017. – С. 34-38.
4. Шворнева, Н. С. Формирование гальванических покрытий цинком в растворах с добавкой аминокислоты / Н. С. Шворнева, А. С. Джумиева, Е. В. Ченцова // Инновационные материалы и технологии : материалы докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых, Минск, 9-11 января 2019 г. – Минск : БГТУ, 2019. - С. 470-473.
5. Цинк: актуальность и характеристики биодобавок (обзор литературы) / А. А. Хабаров, Е. В. Будко, К. А. Лушов, Л. А. Горбачева, Н. О. Ельцова // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №. 3. – С. 361-361.
6. Чернова С. П., Трубочева Л. В. Потенциометрическое изучение поведения ионов *Zn* (II) в водных растворах аминокислот и комплексонов // Аналитика и контроль. – 2006. – № 3/4. – С. 336-341.
7. Гипогликемическая активность хелатных комплексов цинка с аминокислотами / В. П. Котегов, А. В. Сульдин, М. В. Липина, Н. А. Иванова, К. К. Поршнева // Микроэлементы в медицине. – 2011. – Т. 12. – №. 3-4. – С. 83-85.
8. Влияние аспартата цинка и таурина на пул свободных аминокислот в головном мозге крыс / В. М. Шейбак, Е. М. Дорошенко, М. В. Горецкая, И. В. Лях // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя медыцынскіх навук. – 2012. – №. 3. – С. 77-81.
9. Apoptosis in the normal and inflamed airway epithelium: role of zinc in epithelial protection and procaspase-3 regulation / A. Q. Truong-Tran, D. Grosser, R. E. Ruffin, C. Murgia, P. D. Zalewski // *Biochemical pharmacology*. – 2003. – V. 66. – N. 8. – P. 1459-1468.
10. Калинин О. В. Специфические функции незаменимых аминокислот // Молодежь и наука. – 2016. – №. 1. – С. 2-2.
11. Компьютерное моделирование белково-витаминных композитов, сбалансированных по содержанию незаменимых аминокислот / Р. И. Шаззо, Л. Д. Ерашова, Г. Н. Павлова, Р. С. Ермоленко, Л. А. Алехина, А. А. Варивода // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – №. 6. – С. 62-64.
12. Лизин – одна из важнейших незаменимых аминокислот в обеспечении полноценного питания / О. В. Бобрешова, А. С. Фаустов, М. И. Чубирко, В. И. Попов, И. В. Аристов, П. И. Кулинцов – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2003. – 80 с.
13. Роль незаменимой аминокислоты триптофана в возникновении нарушений сна и тревожно-депрессивных расстройств / В. Е. Карнаухов, Е. А. Народова, Н. А. Шнайдер, В. В. Народова, Д. В. Дмитриенко, Р. Ф. Насырова // Человек и его здоровье. – 2022. – №. 2. – С. 13-23.
14. Кахраманова Ш. И., Кулиева Э. А., Азизов И. В. Влияние новосинтезированных комплексов цинка с аминокислотами на морфофизиологические

показатели проростков пшеницы // Академический журнал Западной Сибири. – 2014. – Т. 10. – №. 5. – С. 94-94.

15. Обогащение йодом продукции животноводства. Нормы и технологии / А. А. Спиридонов, Е. В. Мурашова, О. Ф. Кислова – Санкт-Петербург, 2014.–105 с.

16. Малиновский А. В. Является ли треонин незаменимой аминокислотой? // *Biological Communications*. – 2011. – №. 1. – С. 66-71.

17. Владимирова С. Ф., Страхова В. В., Бутко А. А. Сравнительный анализ белковой добавки сушеной на содержание незаменимых аминокислот, углеводов и витаминов

группы В // Товаровед продовольственных товаров. – 2017. – №. 4. – С. 19-26.

18. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. В. Рисник, Д. Б. Никитюк, В. А. Тутельян // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86. – №. 4. – С. 113-124.

REFERENCES

1. Sintez nanochastits dioksida margantsa v srede serosoderzhashchikh aminokislot / E. L. Malaya, A. V. Blinov, L. P. Aref'eva, S. O. Krandievskii // Aktual'nye problemy ehlektroehnergetiki, ehlektroniki i nanotekhnologii. – 2016. – S. 26-28.

2. Razrabotka ehmentosbalansirovannogo kompleksa lizinatoriboflavinata s ehssentsial'nymi mikroehmentami / A. B. Golik, N. P. Oboturova, A. V. Blinov, A. A. Nagdalyan // ВВК 45/46 G67. – 2021. – S. 211.

3. Aisuvakova O. P., Baltaeva D. S., Kulanova A. B. Sostav i ustoichivost' askorbatov nikelya (II) // International innovation research. – 2017. – S. 34-38.

4. Shvorneva, N. S. Formirovanie gal'vanicheskikh pokrytii tsinkom v rastvorakh s dobavkoi aminokisloty / N. S. Shvorneva, A. S. Dzhumieva, E. V. Chentsova // Innovatsionnye materialy i tekhnologii: materialy dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh, Minsk, 9-11 yanvarya 2019 g. – Minsk: BGTU, 2019. - S. 470-473.

5. Tsink: aktual'nost' i kharakteristiki biodobavok (obzor literatury) / A. A. Khabarov, E. V. Budko, K. A. Lushov, L. A. Gorbacheva, N. O. El'tsova // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2012. – №. 3. – S. 361-361.

6. Chernova S. P., Trubacheva L. V. Potentsiometricheskoe izuchenie povedeniya ionov Zn (II) v vodnykh rastvorakh aminokislot i kompleksionov // Analitika i kontrol'. – 2006. – № 3/4. – S. 336-341.

7. Gipoglikemicheskaya aktivnost' khelatnykh kompleksov tsinka s aminokislotami / V. P. Kotegov, A. V. Sul'din, M. V. Lipina, N. A. Ivanova, K. K. Porshnev // Mikroehlementy v meditsine. – 2011. – Т. 12. – №. 3-4. – S. 83-85.

8. Vliyanie aspartata tsinka i taurina na pul svobodnykh aminokislot v golovnom mozge krysa / V. M. Sheibak, E. M. Doroshenko, M. V. Goretskaya, I. V. Lyakh // Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya medytsynskikh navuk. – 2012. – №. 3. – S. 77-81.

9. Apoptosis in the normal and inflamed airway epithelium: role of zinc in epithelial protection and procaspase-3 regulation / A. Q. Truong-Tran, D. Grosser, R. E. Ruffin, C. Murgia, P. D. Zalewski // Biochemical pharmacology. – 2003. – V. 66. – N. 8. – P. 1459-1468.

10. Kalinin O. V. Spetsificheskie funktsii nezamenimykh aminokislot // Molodezh' i nauka. – 2016. – №. 1. – S. 2-2.

11. Komp'yuternoe modelirovanie belkovo-vitaminnykh kompozitov, sbalansirovannykh po sodержaniyu nezamenimykh aminokislot / R. I. Shazzo, L. D. Erashova, G. N. Pavlova, R. S. Ermolenko, L. A. Alekhina, A. A. Varivoda // Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya. – 2007. – №. 6. – S. 62-64.

12. Lizin – odna iz vazhneishikh nezamenimykh aminokislot v obespechenii polnotsennogo pitaniya / O. V. Bobreshova, A. S. Faustov, M. I. Chubirko, V. I. Popov, I. V. Aristov, P. I. Kulintsov – Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi universitet, 2003. – 80 s.

13. Rol' nezamenimoi aminokisloty triptofana v vznikovenii narushenii sna i trevozhno-depressivnykh rasstroistv / V. E. Karnaukhov, E. A. Narodova, N. A. Shnaider, V. V. Narodova, D. V. Dmitrienko, R. F. Nasyrova // Chelovek i ego zdorov'e. – 2022. – №. 2. – S. 13-23.
14. Kakhramanova SH. I., Kulieva EH. A., Azizov I. V. Vliyanie novosintezirovannykh kompleksov tsinka s aminokislotami na morfofiziologicheskie pokazateli prorostkov pshenitsy // Akademicheskii zhurnal Zapadnoi Sibiri. – 2014. – T. 10. – №. 5. – S. 94-94.
15. Obogashchenie iodom produktsii zhivotnovodstva. Normy i tekhnologii / A. A. Spiridonov, E. V. Murashova, O. F. Kislova – Sankt-Peterburg, 2014. –105 s.
16. Malinovskii A. V. Yavlyaetsya li treonin nezamenimoi aminokislotoi? // Biological Communications. – 2011. – №. 1. – S. 66-71.
17. Vladimirova S. F., Strakhova V. V., Butko A. A. Sravnitel'nyi analiz belkovoii dobavki sushenoi na sodержanie nezamenimyykh aminokislot, uglevodov i vitaminov gruppy V // Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov. – 2017. – №. 4. – S. 19-26.
18. Obespechennost' naseleniya Rossii mikronutrientami i vozmozhnosti ee korrektsii. Sostoyanie problemy / V. M. Kodentsova, O. A. Vrzhesinskaya, D. V. Risnik, D. B. Nikityuk, V. A. Tutel'yan // Voprosy pitaniya. – 2017. – T. 86. – №. 4. – S. 113-124

ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS

Блинов Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-988-767-94-60, ORCID: 0000-0001-9321-550X, nastya_bogdanova_88@mail.ru

Blinov Andrey V., Ph. D., assistant professor of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029 Stavropol, Russia, 8-988-767-94-60, ORCID: 0000-0001-9321-550X, nastya_bogdanova_88@mail.ru

Пирогов Максим Александрович, студент 3 курса бакалавриата кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-961-488-39-20, ORCID: 0000-0001-9217-6262, pirogov.m.2002@gmail.com

Pirogov Maxim A., student of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029 Stavropol, Russia, 8-961-488-39-20, ORCID: 0000-0001-9217-6262, pirogov.m.2002@gmail.com

Гвозденко Алексей Алексеевич, ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-988-706-04-69, ORCID: 0000-0001-7763-5520, gvozdenco.1999a@gmail.com

Gvozdenco Alexey A., assistant of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029 Stavropol, Russia, 8-988-706-04-69, ORCID: 0000-0001-7763-5520, gvozdenco.1999a@gmail.com

Голик Алексей Борисович, ассистент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-918-012-47-74, ORCID: 0000-0003-2580-9474, lexgoldman@gmail.com

Golik Alexey B., assistant of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North Caucasus Federal University, Pyshkin str.

1, 355029 Stavropol, Russia, 8-918-012-47-74, ORCID: 0000-0003-2580-9474, lexgoldman@gmail.com

Яковенко Андрей Антонович, студент 2 курса бакалавриата кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-962-402-35-09, ORCID: 0000-0002-4555-9938, and.yak.stv@gmail.com

Yakovenko Andrey A., student of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029 Stavropol, Russia, 8-961-488-39-20, ORCID: 0000-0002-4555-9938, pirogov.m.2002@gmail.com

Блинова Анастасия Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры физики и технологии наноструктур и материалов физико-технического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Ставрополь, улица Пушкина, 1, 8-988-767-94-60, ORCID: 0000-0001-9321-550X, nastya_bogdanova_88@mail.ru

Blinova Anastasiya A., Ph. D., assistant professor of the Department of Physics and Technology of Nanostructures and Materials, Faculty of Physics and Technology, North Caucasus Federal University, Pyshkin str. 1, 355029 Stavropol, Russia, 8-988-767-94-60, ORCID: 0000-0001-9321-550X, nastya_bogdanova_88@mail.ru

Дата поступления в редакцию: 19.10.2022

После рецензирования: 13.11.2022

Дата принятия к публикации: 07.12.2022