



Научная статья

УДК 54-386:546.654:615.213

DOI: 10.52957/2782-1900-2026-7-3-102-112

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПРОЦЕССА КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ «ХЛОРИД ЛАНТАНА(III) – АСКОРБИНОВАЯ КИСЛОТА»

А.А. Шубина, Т.Н. Орлова

Анна Александровна Шубина, студент; Татьяна Николаевна Орлова, канд. хим. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», 150003, Россия, г. Ярославль,
ул. Советская, д. 14; annashubina100@gmail.com, eagle0802@mail.ru.

Ключевые слова:

Лантан, аскорбиновая кислота, комплексобразование, спектрофотометрия, ИК-спектроскопия, виртуальный скрининг, PASS Online, ProTox, биологическая активность, токсикологический профиль.

Аннотация. В работе выполнен синтез координационного соединения лантана(III) с L-аскорбиновой кислотой в мягких условиях (ледяная баня, pH 7). Состав и строение комплекса подтверждены данными элементного анализа, ИК- и УФ-видимой спектроскопии, установлено соотношение металл : лиганд = 1:1. Определена константа нестойкости соединения спектрофотометрическим методом. Виртуальный скрининг с использованием ресурсов PASS Online и ProTox выполнен с целью прогноза биологической активности и токсикологических эффектов свободной аскорбиновой кислоты и её комплекса с лантаном(III). Показано, что комплексобразование приводит к трансформации фармакологического профиля: снижается антиоксидантная активность, но появляется выраженное ингибирование NADPH-пероксидазы и убихинол-цитохром-С-редуктазы, а также осмотическое диуретическое действие. Токсикологический профиль комплекса характеризуется метаболическим ацидозом, гипергликемией, нефротоксичностью при отсутствии кардиотоксичности, мутагенности и канцерогенности, при этом прогноз в отношении гепатотоксичности неоднозначен и требует экспериментальной проверки. Сделан вывод о перспективности дальнейшего изучения аскорбатов редкоземельных элементов как соединений с потенциальной биологической активностью.

Для цитирования:

Шубина А.А., Орлова Т.Н. Исследование и оценка процесса комплексобразования в системе «хлорид лантана(III) – аскорбиновая кислота // От химии к технологии шаг за шагом. 2026. Т. 7, вып. 3. С. 102-112. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/7500/view>

Введение

В последние годы отмечается тенденция к исследованию взаимодействий, возникающих между редкоземельными элементами с биологически активными лигандами. Комплексобразование в данных системах возможно за счёт высокой координационной способности ионов Ln^{3+} , их склонности к образованию



кислородсодержащих комплексов и дальнейших перспектив применения таких соединений во многих отраслях науки и медицины, таких, как аналитическая химия, лечение инфекционных и онкологических заболеваний и т.д.

Одним из наиболее информативных обзоров по координационной химии аскорбиновой кислоты (Asc, витамина С, см. рис. 1) является работа [1], в которой содержатся систематизированные сведения о строении и свойствах аскорбатных комплексов переходных и редкоземельных металлов.

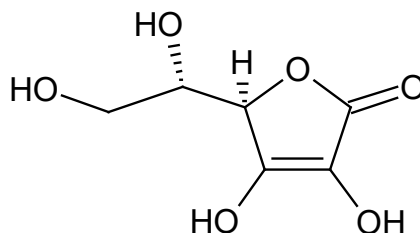


Рис. 1. Формула аскорбиновой кислоты (витамина С)

Авторы отмечают, что аскорбиновая кислота способна быть как моно-, так и бидентатным O-донорным лигандом благодаря наличию эндиолевой системы, а для лантаноидов (Ce^{3+} - Lu^{3+}) характерно образование гигроскопичных и гидратированных комплексов с координационными числами 2 и 3. Присутствуют сообщения и о комплексе состава $\text{La}(\text{HA})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (где HA^- - гидроаскорбат-анион), подтверждённом методами ЯМР ^{13}C и ИК-спектроскопии [2].

В последние десятилетия актуальность набирают смешаннолигандные комплексы. Интерес к ним обусловлен множеством свойств, которые появляются или усиливаются при добавлении к координационной системе второго и последующего лигандов. Например, в работах [3-4] исследована стабильность тройных систем «катион металла – амин – аскорбиновая кислота» в мольном соотношении 1:1:1, где металлами являются Fe^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} и др., а амины – офлоксацин, o-фенантролин и т.д. Данный подход привёл к существенному увеличению не только констант устойчивости полученных соединений, но и к большей способности ингибировать рост микроорганизмов.

В работе [5] с металлами Zn^{2+} , Cd^{2+} и Mn^{2+} установлены возможные центры координации L-аскорбиновой кислоты для комплексов в водной среде при $\text{pH}=6-7$. Спектроскопические данные свидетельствуют о связывании металла через аскорбат-анион O_3 и $\text{O}_2\text{-H}$ (хелатирование), тогда как Cd^{2+} связывается только через O_3 . В твёрдом состоянии упомянутые катионы связываются через O_3 , O_2 одного аниона, O_1 , O_3 второго и с двумя молекулами воды. Таким образом, структурные свойства комплексных систем «металл-аскорбат» зависят от агрегатного состояния объекта исследования.

Методами потенциометрического и калориметрического титрования в работе [6] установлены константы устойчивости комплексов лантаноидов (LnAsc^{2+}) с аскорбиновой кислотой. Результаты работы показали преимущественную роль аскорбата как внутрисферного монодентатного лиганда. Причём термодинамические параметры показали увеличение устойчивости комплексов по мере уменьшения радиусов Ln^{3+} , происходящего вследствие лантаноидного сжатия [7].



Цель работы

Целью настоящего исследования является синтез и установление спектральных характеристик комплекса лантана(III) с аскорбиновой кислотой и проведение виртуального скрининга с целью предсказания спектра возможной биологической активности и побочных эффектов исследуемого соединения.

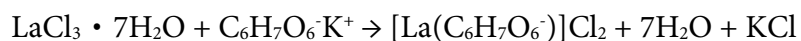
Экспериментальная часть

Для проведения синтеза использовали: L-аскорбиновая кислота ч.д.а. (АО «ЛенРеактив»), хлорид лантана (III) гептагидрат х.ч. (АО «ЛенРеактив»), калия гидроокись х.ч. (АО «ЛенРеактив»), изопропанол х.ч. (АО «ЭКОС-1»).

Спектры поглощения синтезированных продуктов получены на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ компании «Экротхим», в качестве растворителя использовали дистиллированную воду, анализ спектров поглощения в видимой области проводился с использованием стеклянных кювет. Функциональный анализ выполнен методом НПВО на ИК-спектрометре с Фурье-преобразованием Spectrum 65 фирмы Perkin Elmer. Элементный анализ выполнен с использованием C,H,N-анализатора FLASH EA 1112, содержание лантана и хлора определялось трилометрией (индикатор – ксиленоловый оранжевый) [8] и аргентометрией [9] по общепринятым методикам.

С целью замедления окисления аскорбиновой кислоты предложен подход низкотемпературного синтеза (5°C).

Методика синтеза комплексного соединения аскорбиновой кислоты с хлоридом лантана (III). В химических стаканах приготовили 2 раствора – $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1.85 г, 5 ммоль в 5 мл воды) и L-аскорбиновой кислоты (0.88 г, 5 ммоль в 5 мл воды). Перед смешиванием оба раствора охладили на ледяной бане до 5 °C, раствор с L-аскорбиновой кислотой довели до pH=7 0.1 М раствором KOH, после чего перемешивали на магнитной мешалке в течение 30 минут при аналогичной температуре, добавили 10 мл холодного этанола для лучшего осаждения побочного продукта (KCl), после чего раствор отфильтровали, накрыли часовым стеклом и дали медленно нагреться до комнатной температуры. Целевой продукт выделяли из раствора на ротационном испарителе при температуре 40°C под вакуумом, концентрируя раствор и выливая его в чашку Петри для высушивания в эксикаторе над безводным CaCl_2 . Полученное соединение представляет собой белый порошок; при растворении аскорбата лантана (III) в воде наблюдается бледно-розовая окраска раствора. Выход – 83.32% (масса вещества 1.60 г). Вычислено, %: C 18.72; H 1.83; O 24.94; Cl 18.42; La 36.09. Найдено, %: C 18.91; H 1.96; O 24.90; Cl 18.21; La 36.02. Молярная масса 384.93 г/моль. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3321 (ν O–H), 1629 (ν C=O коорд.), 1589 (ν C=C), 1516 (δ OH), 1425 (ν C–O–La), 1100 (ν C–O), 791 (ν La–O). $\lambda_{\text{max}}=515$ нм. Схема синтеза:



Полученное соединение легко растворимо в воде, спиртах, ДМСО и ДМФА, плохо – в диэтиловом эфире, циклогексане и других неполярных растворителях [10].



Для определения константы нестойкости навеску комплекса в 100 мг растворили в 5 мл дистиллированной воды и перемешивали раствор в течение 3 часов с целью установления значения концентрации, максимально близкой к равновесной. Пересыщенный раствор был отфильтрован, получен насыщенный раствор комплексного соединения при комнатной температуре (в условиях эксперимента 18.6 °С – показание лабораторного термометра).

Основная часть

Комплекс имеет поглощение в видимой области (515 нм; зелено-голубая область спектра), раствор имеет бледно-розовую окраску (см. рис. 2).

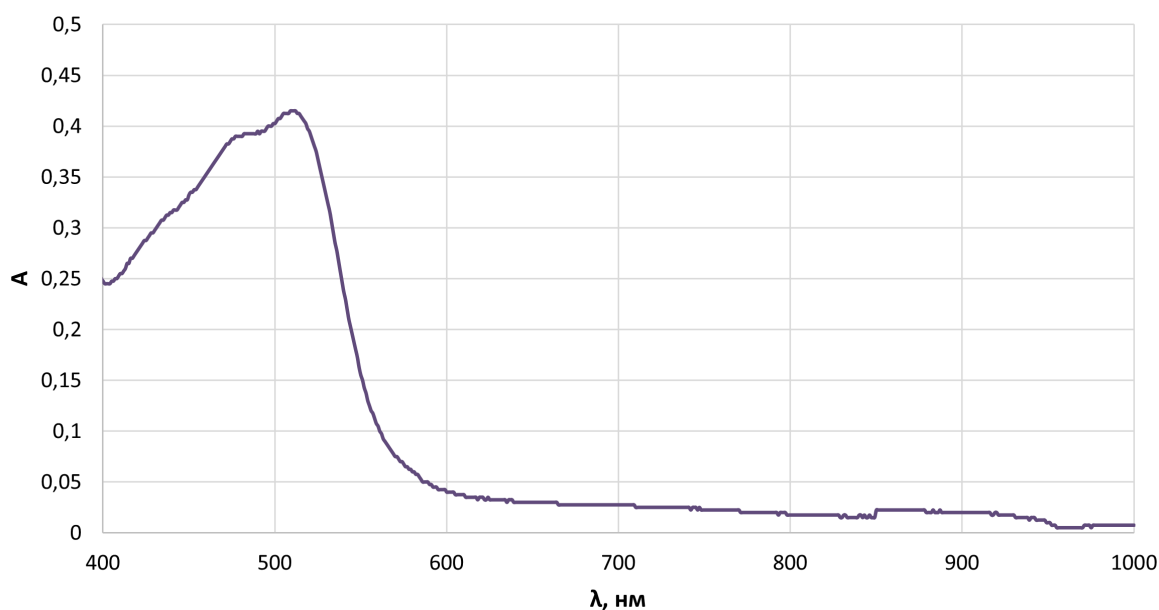


Рис. 2. Электронный спектр (раствор сравнения – дистиллированная вода) комплекса аскорбата лантана(III) ($\epsilon=401.11 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; $C=1 \cdot 10^{-3} \text{ М}$).

Появление полосы поглощения при 515 нм и розовой окраски обусловлено свойствами лиганда, т.к. лантан формально принадлежит к d-элементам и не проявляет $f-f$ переходов, в отличие от остальных лантаноидов [11]. Поэтому мы предполагаем, что происходит перенос электрона с высшей занятой молекулярной орбитали аскорбат-аниона на низшую вакантную молекулярную орбиталь La^{3+} . Таким образом, энергия перехода соответствует видимой области спектра вследствие уменьшения энергетического зазора.

Также следует учитывать возможность частичного окисления и депротонирования аскорбат-аниона в водном растворе. Поэтому мы предполагаем возможность существования надмолекулярного ансамбля с подходящим геометрическим и донорно-акцепторным соответствием между дегидроаскорбат-анионом и аскорбатом лантана(III), имеющим следующее строение (см. рис. 3), соединённым водородными связями между гидроксильными и карбонильными группами, который также стабилизируется стэкинг-подобным эффектом между двумя плоскими лактонными кольцами.

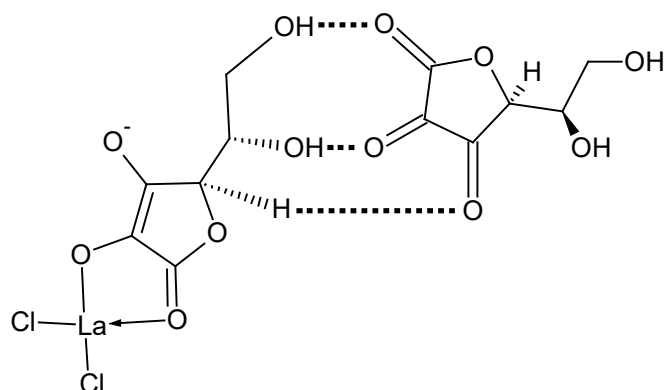


Рис. 3. Надмолекулярный ансамбль с дегидроаскорбат-анионом и аскорбатом лантана(III) (предполагаемая структура)

Полученный комплекс имеет высокий молярный коэффициент экстинкции: $\epsilon = 401.11 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, что подтверждает измерение абсорбции при различных значениях концентрации (см. рис. 4, табл. 1).

Таблица 1. Определение молярного коэффициента экстинкции (ϵ) комплекса La(III) с аскорбиновой кислотой.

C, моль/л	A
$9.0 \cdot 10^{-5}$	0.034
$1.5 \cdot 10^{-4}$	0.053
$2.5 \cdot 10^{-4}$	0.113
$3.5 \cdot 10^{-4}$	0.165
$4.5 \cdot 10^{-4}$	0.176
$6.0 \cdot 10^{-4}$	0.232
$7.0 \cdot 10^{-4}$	0.299
$8.0 \cdot 10^{-4}$	0.310
$9.5 \cdot 10^{-4}$	0.365
$1.0 \cdot 10^{-3}$	0.410
$1.5 \cdot 10^{-3}$	0.601

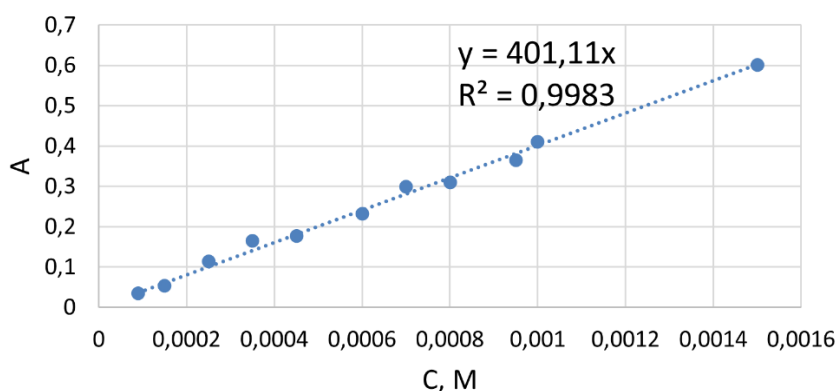


Рис. 4. Определение молярного коэффициента экстинкции (ϵ) комплекса La(III) с аскорбат-анионом по уравнению линейной регрессии.

Комплексообразование остатка аскорбиновой кислоты с лантаном (III) также доказано методом ИК-спектроскопии. На рис. 5 и 6 представлены колебательные спектры лиганда и координационного соединения.

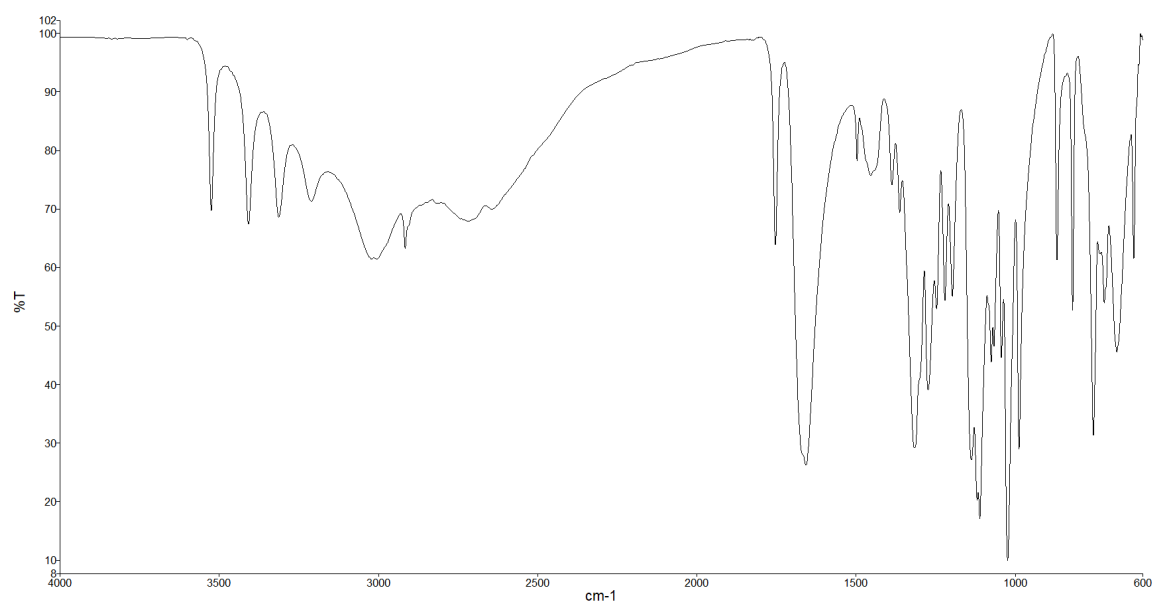


Рис. 5. ИК-спектр лиганда (аскорбиновой кислоты).

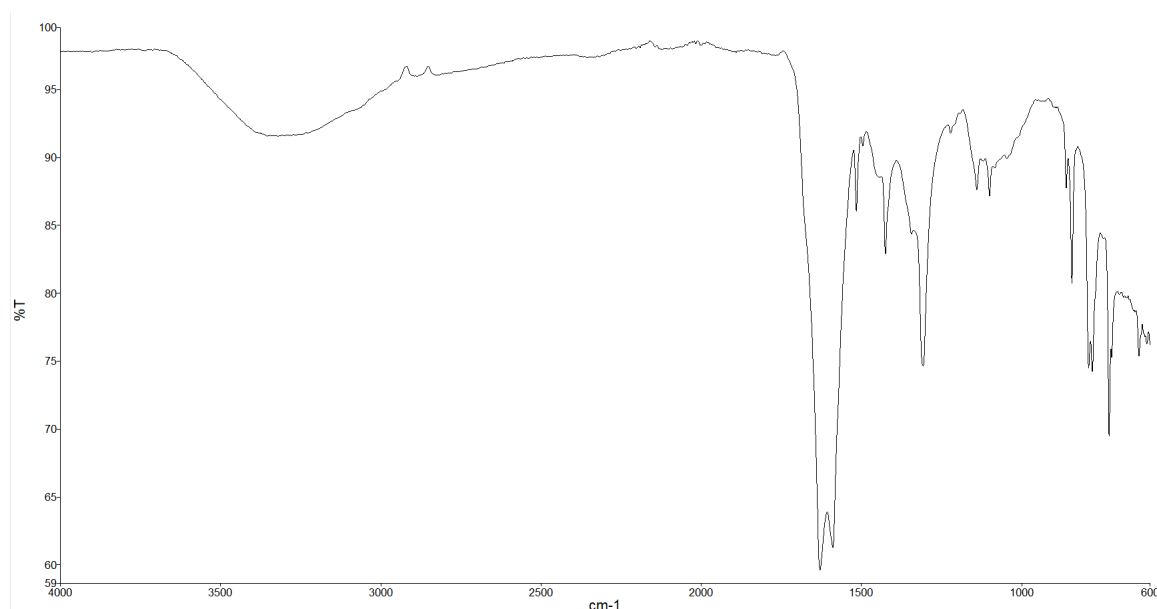


Рис. 6. ИК-спектр комплекса аскорбата La(III).

В ИК-спектре комплексного соединения наблюдаются структурные изменения в сравнении с лигандом. Так, наблюдается полное исчезновение полосы в 1753 см^{-1} , который соответствует группе $\text{C}=\text{O}$ лактонного кольца, при этом происходит делокализация электронной плотности, что часто наблюдается при комплексообразовании. Также происходит смещение полос двойной связи $\text{C}=\text{C}$ в спектре комплекса на интервале волновых чисел $1630\text{--}1590\text{ см}^{-1}$. Образуется единая резонансная система, где кето-группы, вероятно, ослаблены под воздействием поля объёмного катиона La^{3+} . Интерес представляет и исчезновение четырёх острых пиков чистого лиганда в области $3524\text{--}3209\text{ см}^{-1}$, соответствующих гидроксогруппам [12], в то время как в спектре комплекса осталась одна широкая полоса при 3321 см^{-1} . Часть гидроксогрупп депротонировалась при связывании с лантаном, но не исключены и межмолекулярные водородные связи со стороны комплекса с дегидроаскорбатом,

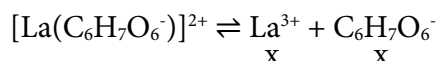


упомянутого ранее. Появление новых полос (843, 791 см^{-1}) характерно для металл-кислородных колебаний $\text{La}^{3+}\text{-O}$. Подробная сравнительная расшифровка пиков приведена в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная расшифровка пиков ИК-спектров аскорбиновой кислоты и ее комплекса с La(III)

ν , см^{-1} (%T), лиганд	ν , см^{-1} (%T), комплекс	Интерпретация
3524.91 (69.79)	-	$\nu(\text{O-H})$, спиртовые (при C6; O6-H...O)
3408.16 (67.43)	-	$\nu(\text{O-H})$, водородные связи (при C5; O5-H...O)
3313.21 (68.68)	3321.62 (91.58)	$\nu(\text{O-H})$, енольный, O6-H...O
3209.77 (71.35)	-	$\nu(\text{O-H})$, O5-H...O
3022.48 (61.50)	-	$\nu(\text{C-H})$
2916.16 (63.30)	-	$\nu(\text{CH}_2)$, алифатические фрагменты
2718.22 (67.97)	-	$\nu(\text{O-H})$, димерный
1753.59 (63.91)	1629.75 (59.64)	$\nu(\text{C=O})$
1657.75 (26.25)	1589.53 (61.31)	$\nu(\text{C=O})$, енольный
1317.78 (29.20)	1307.73 (74.67)	$\nu(\text{C-O-C})$, лактонный
1138.45 (27.19)	1140.25 (87.64)	$\nu(\text{C-O})$, первичный спирт
1120.03 (20.30)	1100.59 (87.17)	$\nu(\text{C-O})$, енольный
-	825.09 (81.42); 795.40 (83.86)	$\text{La}^{3+}\text{-O}$

Спектрофотометрическим методом по графикам насыщенности определена константа нестойкости комплекса La(III) с аскорбиновой кислотой. При помощи элементного анализа установлено, что соотношение «металл : лиганд» = 1:1. Также известна брутто-формула исследуемого соединения. Внутренняя сфера комплекса, будучи труднорастворимым электролитом, диссоциирует согласно уравнению:



Выражение для произведения растворимости (ПР) имеет вид x^2 , по калибровочному графику на рис. 4 определена концентрация насыщенного раствора, которая составила $1.46 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

$$K_{\text{нест}} = \text{ПР} = x^2 = (1.46 \cdot 10^{-3})^2 = 2.12 \cdot 10^{-6}$$

Рассмотрено влияние комплексообразования аскорбиновой кислоты с лантаном на биологическую активность. Анализ *in-silico* проведён с использованием онлайн-сервисов ProTox (<http://tox.charite.de/>) и PASS Online (<https://way2drug.com/PassOnline/predict.php>).

Как показывают данные таблиц 3-6, при координации аскорбиновой кислоты с ионом лантана(III) происходит существенная трансформация фармакологического профиля. Так, свободная аскорбиновая кислота является классическим антиоксидантом ($P_a=0.928$), вазопротектором ($P_a=0.948$), ловушкой активных форм кислорода ($P_a=0.889$) и противовоспалительным средством ($P_a=0.779$). Её механизм действия связан с ингибированием ключевых оксидоредуктаз, таких, как убихинол-цитохром-С-редуктаза ($P_a=0.881$) и глутатион-гидрогеназа ($P_a=0.830$). Также она стимулирует транскрипционные факторы, в том числе NF- κ B ($P_a=0.772$). Присутствуют и побочные эффекты, где высокой вероятностью проявления обладают диарея ($P_a=0.895$), тахикардия ($P_a=0.842$) и другие.

**Таблица 3.** Клиническая и фармакологическая активность аскорбиновой кислоты (PASS Online)

Вероятность присутствия биологической активности P_a	Вероятность отсутствия биологической активности P_i	Интерпретация
0.948	0.002	Вазопротектор
0.928	0.003	Антиоксидант
0.896	0.001	Ингибитор проколлаген-лизин-5-диоксигеназы
0.889	0.001	Поглотитель кислорода
0.881	0.009	Ингибитор убихинол-цитохром-С редуктазы
0.830	0.001	Ингибитор глутатиондегидрогеназы
0.779	0.008	Противовоспалительное средство
0.772	0.003	Стимулятор транскрипционного фактора NF- κ B

Таблица 4. Побочные эффекты аскорбиновой кислоты (PASS Online)

Вероятность присутствия биологической активности P_a	Вероятность отсутствия биологической активности P_i	Интерпретация
0.895	0.011	Диарея
0.842	0.011	Тахикардия
0.816	0.021	Нарушения сна
0.803	0.018	Афтозная язва
0.800	0.023	Дерматит
0.780	0.016	Нефротоксичность

Иной профиль наблюдается в случае аскорбата лантана(III) – таблицы 5, 6. Антиоксидантная активность практически исчезает, но резко усиливается ингибирование убихинол-цитохром-с-редуктазы ($P_a=0.956$) и появляется мощное ингибирование НАДФН-пероксидазы ($P_a=0.966$), отсутствовавшее у лиганда. Вазопротекторная активность сохраняется, но снижается до $P_a=0.835$. Появляются новые виды активности: ингибиторы декстраназы ($P_a=0.943$), леваназы ($P_a=0.930$), марганцевой пероксидазы ($P_a=0.919$) и клаваминатсинтазы ($P_a=0.909$). Комплекс приобретает осмотическое диуретическое действие ($P_a=0.819$) и потенциальную эффективность при лечении атеросклероза ($P_a=0.728$). Среди побочных эффектов первое место занимает метаболический ацидоз ($P_a=0.907$), присутствует гипергликемия ($P_a=0.804$), гематотоксичность ($P_a=0.748$), при этом нефротоксичность сохраняется ($P_a=0.757$), а желудочно-кишечная токсичность несколько снижается ($P_a=0.748$) в сравнении с исходным лигандом.

Таблица 5. Клиническая и фармакологическая активность аскорбата лантана (PASS Online)

Вероятность присутствия биологической активности P_a	Вероятность отсутствия биологической активности P_i	Интерпретация
0.966	0.001	Ингибитор пероксидазы NADPH
0.956	0.002	Ингибитор убихинол-цитохром-С-редуктазы
0.943	0.002	Ингибитор декстраназы
0.930	0.002	Ингибитор леваназы
0.909	0.001	Ингибитор клаваминат-синтазы
0.835	0.004	Вазопротектор
0.819	0.001	Осмотический диуретик

**Таблица 6.** Побочные эффекты аскорбата лантана (PASS Online)

Вероятность присутствия биологической активности P_a	Вероятность отсутствия биологической активности P_i	Интерпретация
0.907	0.006	Метаболический ацидоз
0.804	0.008	Гипергликемия
0.773	0.024	Гепатотоксичность
0.757	0.019	Нефротоксичность
0.763	0.028	Дерматит
0.748	0.035	Гематотоксичность
0.732	0.034	Афтозная язва

Более углублённый анализ возможных токсических эффектов комплекса лантана(III) с аскорбат-анионом проведён в ресурсе ProTox, в сгенерированном отчёте которого произведена оценка органной токсичности, взаимодействия с ядерными рецепторами и путями стресс-ответа, а также молекулярные иницирующие события и метаболизм. Так, в таблице 7 представлены данные активного кластера, который для комплекса лантана является узким: присутствуют 3 компонента.

Таблица 7. Прогноз токсикологических эффектов аскорбата лантана (ProTox)

Категория	Мишень / целевой показатель	Обозначение	Результат
Органная токсичность	Гепатотоксичность	hepatotoxicity	Неактивно с вероятностью 0.80
	Нейротоксичность	neurotoxicity	Неактивно с вероятностью 0.92
	Нефротоксичность	nephrotoxicity	Активно с вероятностью 0.74
	Дыхательная система	respiratory toxicity	Неактивно с вероятностью 0.62
	Кардиотоксичность	cardiotoxicity	Неактивно с вероятностью 0.62
Другие виды токсичности	Канцерогенность	carcinogenity	Неактивно с вероятностью 0.76
	Влияние на иммунитет	immunotoxicity	Неактивно с вероятностью 0.97
	Повреждение ДНК	mutagenicity	Неактивно с вероятностью 0.52
	Клеточная токсичность	cytotoxicity	Неактивно с вероятностью 0.65
	Проникновение через гематоэнцефалический барьер	bbb	Активно с вероятностью 0.89
	Токсичность для окружающей среды	ecotoxicity	Неактивно с вероятностью 0.68
	Клиническая токсичность (общая)	clinical toxicity	Неактивно с вероятностью 0.50
Первичные механизмы действия	Транстиретин	mie_ttr	Активно с вероятностью 0.65
	Ядерные рецепторы (CAR, PXR)	mie_car, mie_pxr	Неактивно с вероятностью 0.55
	Другие рецепторы / ферменты (ацетилхолинэстераза, натриевые каналы и др.)	mie_ache, mie_nis, mie_kar, mie_thr_alpha и др.	Неактивно с вероятностью 0.50-0.99

Среди них – связывание с транстиретином (mie_ttr, Active, $P=0.65$), проницаемость гематоэнцефалического барьера (bbb, Active, $P=0.89$) и нефротоксичность (nephro, Active, $P=0.74$). Связывание с транстиретином указывает на потенциальное нарушение



транспорта тиреоидных гормонов, что требует контроля тиреоидного статуса при доклинических исследованиях. Высокая проницаемость ГЭБ открывает возможность воздействия комплекса на центральную нервную систему, однако при отсутствии нейротоксичности ($P=0.92$ Inactive) этот риск минимален. Нефротоксичность является основным ограничением: учитывая полное отсутствие метаболизма через изоферменты CYP450, комплекс выводится почками в неизменном виде, что создаёт дополнительную нагрузку на почечную ткань.

Остальные токсикологические параметры в модели ProTox формируют обширный неактивный кластер, что свидетельствует об благоприятном профиле безопасности комплекса по большинству параметров. В частности, отсутствуют кардиотоксичность ($P=0.62$ Inactive), респираторная токсичность ($P=0.62$ Inactive), канцерогенность ($P=0.76$ Inactive), мутагенность ($P=0.52$ Inactive), иммунотоксичность ($P=0.97$ Inactive) и цитотоксичность ($P=0.65$ Inactive). Гепатотоксичность, согласно модели ProTox, оценивается как неактивный кластер с вероятностью 0.80, но, следует отметить расхождение с результатами виртуального скрининга в программе PASS Online ($P_a=0.773$, см. таблицу 6). Это свидетельствует о неоднозначности прогноза и необходимости проведения экспериментальных исследований *in vitro*, *in vivo* для окончательного заключения о влиянии комплекса на печень, в том числе и в долгосрочной перспективе.

Таким образом, токсикологический профиль комплекса характеризуется единичными идентифицированными рисками (нефротоксичность, связывание с транстиретином) при общем благоприятном фоне; прогноз в отношении гепатотоксичности требует дополнительного экспериментального подтверждения.

Выводы

Разработан способ синтеза водорастворимого комплекса лантана(III) с аскорбиновой кислотой (выход составил 83%), индивидуальность соединения подтверждена методами ИК- и УФ-Вид спектроскопии. Спектральные характеристики: $\lambda_{\max}=515$ нм, 3321 (ν O–H), 1629 (ν C=O коорд.), 1589 (ν C=C), 1516 (δ OH), 1425 (ν C–O–La), 1100 (ν C–O), 791 (ν La–O). Результаты виртуального скрининга показали, что координация с La(III) существенно изменяет фармакологический профиль аскорбиновой кислоты: антиоксидантная активность уступает место выраженному ингибированию NADPH-пероксидазы и убихинол-цитохром-С-редуктазы. Комплекс проявляет вазопротекторные, осмотические диуретические свойства и потенциальную активность в отношении атеросклероза. Предсказана способность комплекса проникать через гематоэнцефалический барьер и связываться с транстиретином, что требует контроля тиреоидного статуса при дальнейших исследованиях. Прогнозируемый токсикологический профиль комплекса характеризуется благоприятным фоном по большинству параметров, однако выявленные риски нефротоксичности и неоднозначность прогноза гепатотоксичности нуждаются в обязательной экспериментальной проверке на этапе доклинических испытаний. Полученные данные создают предпосылки для направленного поиска биологически активных соединений на основе аскорбатов редкоземельных элементов с заданными свойствами.



Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в финансовой или какой-либо иной сфере.

Список источников

1. Zümreoglu-Karan, B. The coordination chemistry of Vitamin C: An overview. *Coord. Chem. Rev.* 2006, 250(17-18), 2295-2307. DOI: 10.1016/j.ccr.2006.03.002
2. Tajmir-Riahi, H. A. Coordination chemistry of vitamin C. Part III. Interaction of L-ascorbic acid with Al (III), La (III), and Pb (II) ions. Evidence for metal chelate formation in the solid and aqueous solution. *Journ. Inorg. Biochem.*, 1991, 44(1), 39-45. DOI: 10.1016/0162-0134(91)80059-Q
3. Wadday, F. Y., Hussein A.A. Synthesis, Identification, Thermodynamic and Biological Studies of New Ligand Derivative from L-ascorbic acid and its Complexes with some Metal ions. *Res. J. Pharm.* 2022, 15(8), 3452-3458. DOI: 10.52711/0974-360X.2022.00578
4. Onyenze U., Otuokere I. E., Enogbe J. E. Synthesis, characterization and Antibacteria screening of Fe (II) mixed ligand complex of Ofloxacin with Ascorbic Acid. *Eu. J. Res. Rev.*, 2024, 1(2), 112-118. DOI: 10.5455/EJSRR.20240607014716
5. Tajmir-Riahi, H. A. Coordination chemistry of vitamin C. Part II. Interaction of L-ascorbic acid with Zn(II), Cd(II), Hg(II), and Mn(II) ions in the solid state and in aqueous solution. *Journ. Inorg. Biochem.*, 1991, 42(1), 47-55. DOI: 10.1016/0162-0134(91)80031-C
6. Hasegawa Y., Sugawara T., Choppin G. R. Thermodynamic parameters of complexation of lanthanoid (III) with ascorbic acid. *Inorg. Chim. Acta*, 1988, 143(2), 277-280. DOI: 10.1016/S0020-1693(00)83701-9
7. Bart, S. C. What is the “lanthanide contraction”? *Inorg. Chem.*, 2023, 62(9), 3713-3714. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.3c00440
8. Tonosaki K., Otomo M. Spectrophotometric determination of cerium (III) and some rare earths with xylenol orange. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 1962, 35(10), 1683-1686. DOI: 10.1246/bcsj.35.1683
9. Hammid, A. N. A., Tarmizi, A. H. A., Ramli, M. R., Kuntom, A., Chin, L. H. Method for the determination of total chloride content in edible oils. *J. Oil Palm Res.*, 2022, 34(4), 710-720. DOI: 10.21894/jopr.2022.0016
10. ОФС.1.2.1.0005.15 Растворимость. Государственная фармакопея Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmacosopeia.regmed.ru/> (дата обращения: 02.06.2026)
11. Bolvin, H., Luu, M., Bünzli, J. C., Piguet, C. Hypersensitive f-f Transition Intensities of Lanthanide Trihalide Complexes. *Inorg. Chem.*, 2026, 65(5), 2969-2979. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5c05213
12. Девис М., Остин Дж., Патридж Д. Витамин С. Химия и биохимия. М.: Мир. 1999. 176 с.

Поступила в редакцию 02.06.2026

Одобрена после рецензирования 29.06.2026

Принята к опубликованию 14.07.2026