



Научная статья

УДК 54-386:546.654:547.831.7

DOI: 10.52957/2782-1900-2026-7-1-31-42

КОМПЛЕКС ЛАНТАНА(III) С 8-ОКСИХИНОЛИНОМ: СИНТЕЗ, СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И ПРОФИЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

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:

8-оксихинолин,
ИК спектроскопия,
электронная
спектроскопия,
лантан,
комплексобразование,
координационное
число, устойчивость
комплекса,
PASS-online.

Аннотация. Статья посвящена исследованию координационного соединения лантана(III) с 8-оксихинолином. В работе подробно описана методика синтеза, результатом которого стало получение желтого мелкокристаллического осадка. Подтверждение структуры и характера координации лиганда с ионом металла проводилось как физико-химическими методами (электронная и колебательная спектроскопия), так и полуэмпирическими квантово-химическими расчетами (MOPAC//PM7). Электронная спектроскопия зафиксировала значительный bathochromный сдвиг ($\Delta\lambda=72$ нм), что указывает на образование устойчивого комплекса. Исследована зависимость устойчивости комплекса от pH среды, выявлен оптимальный диапазон pH = 7.0–8.0. Теоретическая часть исследования включала квантово-химическое моделирование, позволившее не только оценить перераспределение электронной плотности, но и визуализировать оптимизированную геометрию молекулы. Отдельное внимание уделено компьютерному прогнозированию биологической активности и фармакокинетических параметров (ADME-Tox), которые свидетельствуют о потенциальной ценности синтезированного комплекса как перспективного соединения с модифицированным и улучшенным профилем биологического действия.

Для цитирования:

Шубина А.А., Орлова Т.Н. Комплекс лантана(III) с 8-оксихинолином: синтез, спектральные свойства и профиль биологической активности // От химии к технологии шаг за шагом. 2026. Т. 7, вып. 1. С. 31-42.
URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/7073/view>

Введение

8-оксихинолин (8-хинолинол) – асимметричный шестичленный кольцевой лиганд [1], один из наиболее известных универсальных хелатирующих агентов [2], часто применяемых в аналитической практике [3], фотонике и фотофизике [4]. Бидентатно координируясь с ионами металлов (Cu^{2+} , Be^{2+} , Mg^{2+} , Bi^{3+} , Ni^{2+} и др.) через кислород гидроксильной группы и азот хинолинового цикла [5], он образует очень устойчивые



комплексные соединения [6] (см. схему 1), логарифм констант устойчивости (в зависимости от рН, используемого растворителя) которых может достигать $\lg \beta \approx 20-22$ [7]. Более того, наличие фенольной группы придает 8-оксихинолину высокую реакционную способность в электрофильном ароматическом замещении [8], диазотировании и возможность участия в перегруппировках [9].

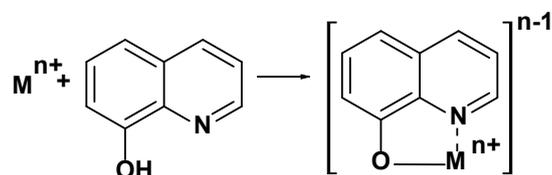


Схема 1. Комплексообразование 8-оксихинолина с металлами.

Выраженная хелатирующая способность предопределила интерес исследователей (начавшийся с XX века к изучению биологических свойств данного лиганда и его комплексов) [10]. Наиболее изученными являются его противогрибковые и антибактериальные свойства [11]. Данная способность объясняется связыванием ионов металлов, являющихся кофакторами микробных ферментов, в устойчивый комплекс [12]. Таким образом, 8-оксихинолин и его производные широко применяются в медицине в качестве местных антисептиков [13], а также в сельском хозяйстве – для защиты растений [14].

Учеными современности 8-оксихинолин и его комплексы оцениваются в качестве перспективных противораковых препаратов, агентов против вируса иммунодефицита человека, лейшманиоза и шистосомоза [15]. Несмотря на то, что исследователями разных стран экспериментально наблюдалась антибактериальная и цитотоксическая активность комплексов переходных элементов с 8-оксихинолином и его производными [16-19], вопрос взаимодействия соединения с конкретной биологической мишенью на данный момент изучен недостаточно.

Цель работы

Целью данного исследования является синтез, исследование спектральных и аналитических характеристик и профиля возможной биологической активности комплекса La(III) с 8-оксихинолином.

Экспериментальная часть

Для синтеза исследуемого соединения использованы реактивы: изопропиловый спирт х.ч. 99.8% (АО «ЭКОС-1»), 8-оксихинолин х.ч. (АО «ЛенРеактив»), лантан азотнокислый 6-водный х.ч. (АО «ЛенРеактив»).

Методика синтеза комплекса La(III) с 8-оксихинолином. 0.43 г нитрата лантана (III) растворяли в 5 мл дистиллированной воды при постоянном магнитном перемешивании. В полученный раствор прибавили 0.14 г 8-оксихинолина, предварительно растворенного в 5 мл изопропилового спирта. Через 2-3 минуты наблюдали выпадение желтого мелкокристаллического осадка, который отфильтровали



и промыли дистиллированной водой и изопропиловым спиртом, после чего высушивали в сушильном шкафу в течение 2 ч при 60 °С. Масса продукта – 0.19 г, выход составил 68%. Полученное соединение легко растворимо в ДМСО, ДМФА, ацетонитриле, умеренно – в хлороформе, очень мало растворимо в дистиллированной воде и этаноле 96% [20].

Основная часть

Электронные спектры записаны на спектрофотометре ПЭ 5400-УФ (ООО «ЭКРОСХИМ»), инфракрасные – на приборе Spectrum 65 (Perkin Elmer).

Интерпретация данных ИК-спектров (см. рис. 1, 2) показала отсутствие у полученного соединения пика в 3047 см^{-1} , соответствующего гидроксильной группе, что подтверждает ее участие в координации. В спектрах лиганда и комплекса присутствуют и ключевые полосы хинолинового ядра в $1620\text{--}1940\text{ см}^{-1}$ для валентных колебаний $\text{C}=\text{N}$, $\text{C}=\text{C}$, а также внеплоскостные ароматические колебания $\text{C}-\text{H}$ в области $900\text{--}650\text{ см}^{-1}$. Более подробный сравнительный анализ представлен в таблице 1.

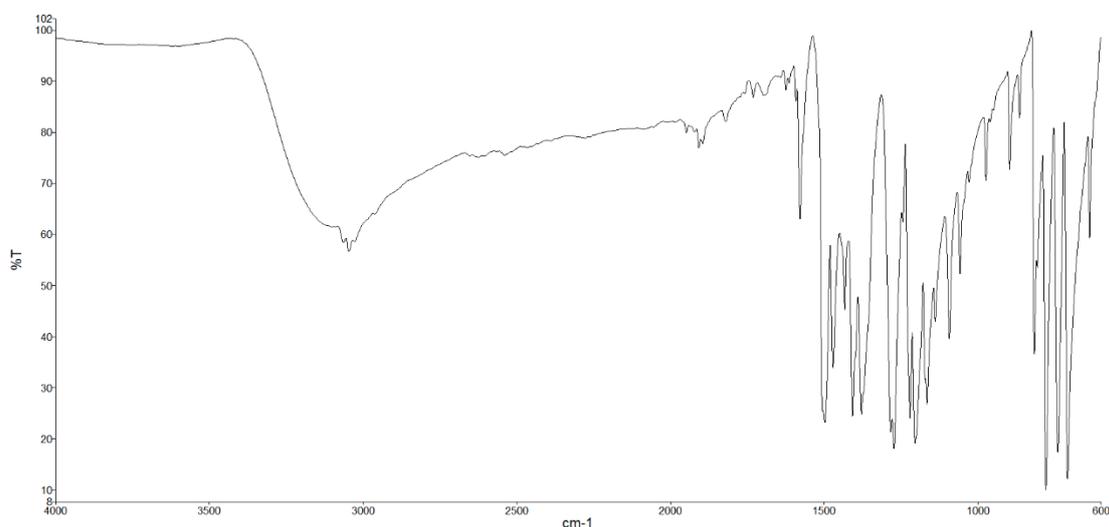


Рис. 1. ИК-спектр 8-оксихинолина (лиганда)

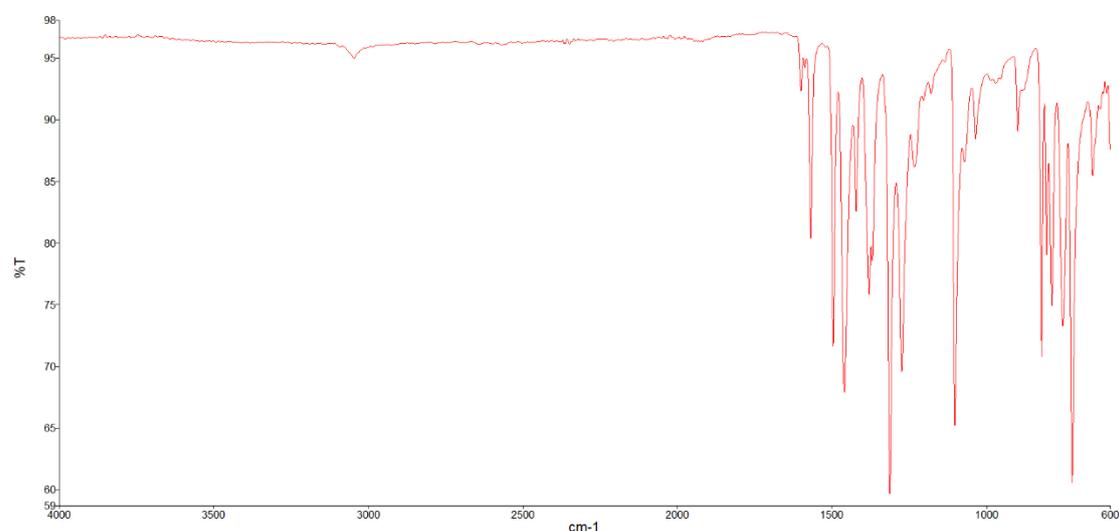
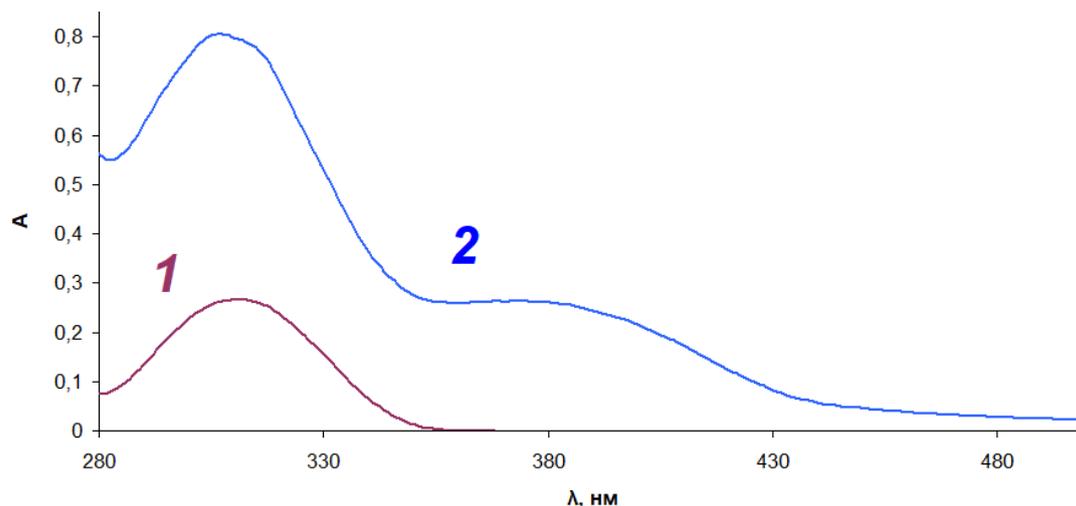


Рис. 2. ИК-спектр комплекса La(III) с 8-оксихинолином

**Таблица 1.** Волновые числа на ИК-спектре 8-оксихинолина и комплекса La(III) с 8-оксихинолином

Колебательная мода	Волновые числа лиганда, см ⁻¹	Волновые числа комплекса, см ⁻¹	Интерпретация
$\nu(\text{C-O})$, фенольный	1244.9 (высокая интенсивность)	1233.8	координация через –ОН с депротонированием
C=N , $\nu(\text{C=C})$	1624.8	1600.5	участие гетероциклического N хинолинового ядра в координации; перераспределение электронной плотности
соседние ароматические моды	1592.3; 1579.2	1600.5; 1569.0	перераспределение зарядов в хинолиновом ядре при образовании комплекса
O-H	3047.1 (средняя интенсивность)	полное исчезновение	координация через –ОН
область отпечатков пальцев, $\text{La}^{3+}\text{-O}$, $\text{La}^{3+}\text{-N}$	636.9	657.0	признак связи «металл-лиганд»

Дополнительно структурные изменения, произошедшие при добавлении La^{3+} в раствор, подтверждает электронный спектр (см. рис. 3): наблюдается bathochromный сдвиг с $\lambda_{\text{max}1}=307$ нм до $\lambda_{\text{max}2}=379$ нм при образовании комплекса. Таким образом, образование координационных связей уменьшает энергетическую щель между ВЗМО (верхней занятой молекулярной орбиталью) и НВМО (нижней вакантной молекулярной орбиталью), что сопровождается возникновением полос переноса заряда.

**Рис. 3.** Электронный спектр 8-оксихинолина (кривая 1) и комплексного соединения La(III) с 8-оксихинолином (кривая 2).

Методом молярных отношений установлено координационное число комплекса лантана (III) с 8-оксихинолином. Исследована зависимость оптической плотности раствора на $\lambda_{\text{max}}=379$ нм от концентрации лиганда (C_l) при постоянной концентрации комплексообразователя (C_k) – см. таблицу 2.



Таблица 2. Абсорбция растворов комплексообразователя (La^{3+}) и лиганда 8-оксихинолина методом насыщения

№ измерения	V раствора La^{3+} C=0,01 M, мл	V раствора 8-оксихинолина C=0,05 M, мл	n(La^{3+}):n(8-окси- хинолина), моль	V(H_2O), мл	V _{общий} , мл	A
1	1	0.2	1:1	0.8	2	0.432
2	1	0.4	1:2	0.6	2	0.836
3	1	0.6	1:3	0.4	2	1.108
4	1	0.8	1:4	0.2	2	1.159
5	1	1	1:5	0	2	1.161

Точка эквивалентности на графике зависимости абсорбции растворов от соотношения количеств лиганда и комплексообразователя (см. рис. 4) равна 3. Таким образом, комплекс образуется в соотношении 1:3.

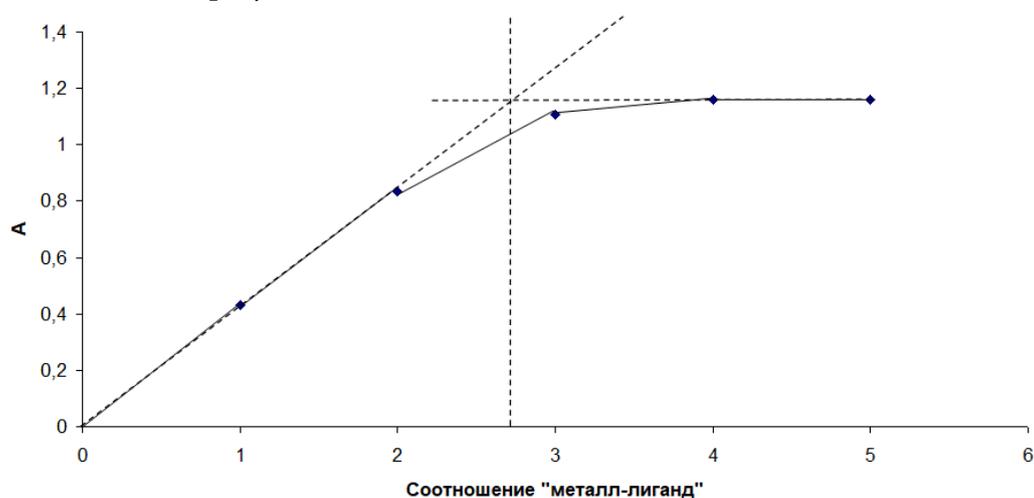


Рис. 4. График зависимости абсорбции растворов, содержащих лиганд и комплексообразователь $n(\text{La}^{3+}):n(8\text{-оксихинолина})$

Спектрофотометрическим методом определен диапазон устойчивости координационного соединения при различных рН среды. Приготовлена серия растворов комплекса 8-оксихинолина постоянной концентрации исследуемого вещества ($C=2.1 \cdot 10^{-5}$ M), растворитель – бидистиллированная вода. Буферные растворы с требуемыми значениями рН в интервале 3.0-10.0 готовили на основе индивидуальных буферных систем (ацетатной – для 3.0-5.0, аммиачной – для 9.0-10.0). В нейтральной области (рН 7.0–8.0) применение общедоступных буферных систем было ограничено ввиду их непригодности: ацетатный буфер ($pK_a = 4.76$) не обладает достаточной буферной емкостью при рН > 6, а аммиачный буфер ($pK_a = 9.25$) – при рН < 8.5 [21]. В интервале рН 6.5–8.5 значение рН поддерживалось путем прямого добавления малых количеств разбавленных растворов HCl или NaOH ($C = 0.1$ M) к исследуемому раствору, содержащему фоновый электролит (KNO_3 , $C = 0.1$ M). Контроль рН осуществлялся потенциометрическим методом. Полученный раствор термостатировали при температуре 25.0 ± 0.1 °C в течение 30 минут для установления равновесия, после чего определяли значения оптической плотности.



Измерена абсорбция на $\lambda_{\max}=379$ нм для каждого из растворов, уменьшение которой относительно максимума свидетельствует о низкой устойчивости комплекса при данном значении рН. Данные эксперимента обобщены в таблице 3.

Таблица 3. Абсорбция растворов комплексообразователя (La^{3+}) и лиганда 8-оксихинолина методом насыщения

№ пробы	рН	Буферная система	Буферный диапазон системы	A
1	3.0	Ацетатная	3.6-5.6	0.217
2	4.0	Ацетатная	3.6-5.6	0.351
3	5.0	Ацетатная	3.6-5.6	0.396
4	6.0	Ацетатная	3.6-5.6	0.547
5	7.0	рН установлен HCl или NaOH	-	0.671
6	8.0	рН установлен HCl или NaOH	-	0.699
7	9.0	Аммиачная	8.2-10.2	0.526
8	10.0	Аммиачная	8.2-10.2	0.422

График зависимости абсорбции от рН для комплекса лантана с 8-оксихинолином имеет колоколообразную форму (см. рис. 5).

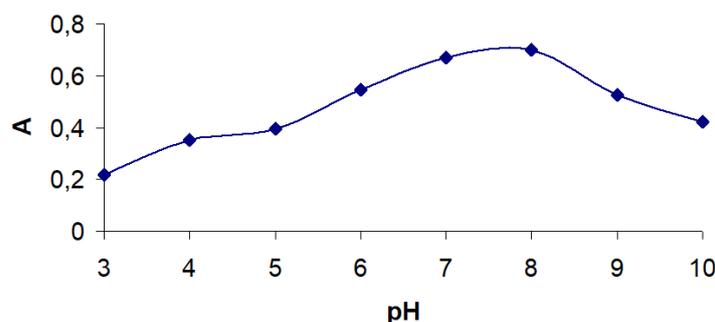
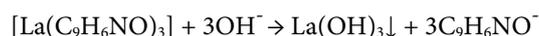


Рис. 5. График зависимости рН среды раствора, содержащего комплекс La(III) с 8-оксихинолином от значения абсорбции на $\lambda_{\max}=379$ нм

В кислой среде концентрация ионов H^+ высокая, и лиганд протонируется, что является конкурирующим по отношению к комплексообразованию процессом:



В щелочной среде, начиная с рН=8, наблюдается тенденция к гидролизу иона La^{3+} и образованию сначала мелкодисперсного, а затем и более крупных агломератов гидроксида лантана (III), что также нарушает целостность координационного соединения:



Исследование зависимости устойчивости комплекса лантана(III) с 8-оксихинолином от рН среды важно с точки зрения перспектив биомедицинского применения данного соединения [22]. Таким образом, можно предсказать стабильность и вероятность разрушения комплекса; последнее приводит к высвобождению иона La^{3+} и лиганда, что дает возможность целенаправленной доставки [23].

Получены не только практические, но и теоретические данные о комплексообразовании. Проведена оптимизация геометрии (см. рис. 6, 7), а также



квантово-химический расчет зарядов и величины энергетической щели между ВЗМО и НВМО полуэмпирическим методом PM7 в программе МОРАС [24]. Визуализация структур проводилась в программе ChemCraft v. 1.6. [25].

$$\Delta E_{\text{лиганда}} = |E_{\text{ВЗМО}} - E_{\text{НВМО}}| = |36.0628 - 30.8269| = 5.2359 \text{ эВ}$$

$$\Delta E_{\text{комплекса}} = |E_{\text{ВЗМО}} - E_{\text{НВМО}}| = |36.0310 - 32.3806| = 3.6504 \text{ эВ}$$

$$\Delta E_{\text{общее}} = \Delta E_{\text{лиганда}} - \Delta E_{\text{комплекса}} = 1.5855 \text{ эВ}$$

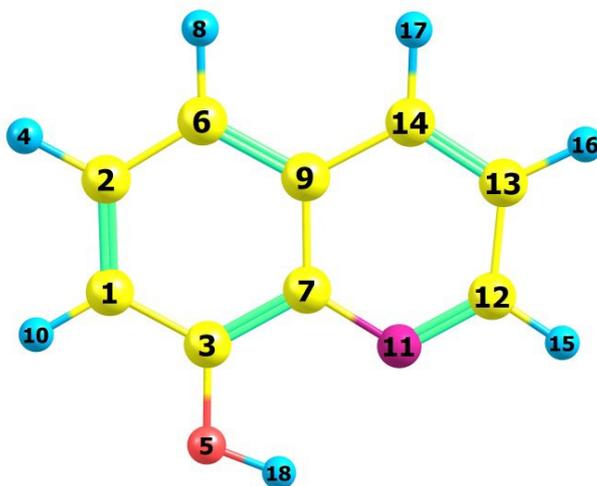


Рис. 6. Оптимизированная геометрия молекулы 8-оксихинолина: $l_{\text{среднее}}(\text{C-H}) = 1.09 \text{ \AA}$, $l_{\text{среднее}}(\text{C-C}) = 1.41 \text{ \AA}$, $l(\text{O-H}) = 1.00 \text{ \AA}$, $l(\text{C-N}) = 1.37 \text{ \AA}$, $\angle(\text{H-O-C}) = 40.3^\circ$.

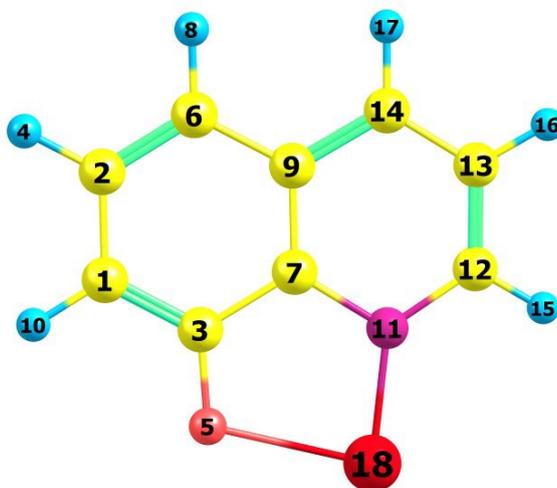


Рис. 7. Оптимизированная геометрия комплекса La(III) с 8-оксихинолином: $l_{\text{среднее}}(\text{C-H}) = 1.08 \text{ \AA}$, $l_{\text{среднее}}(\text{C-C}) = 1.38 \text{ \AA}$, $l(\text{La}^{3+}-\text{O}) = 2.27 \text{ \AA}$, $l(\text{La}^{3+}-\text{N}) = 1.86 \text{ \AA}$, $l(\text{C-N}) = 1.41 \text{ \AA}$, $\angle(\text{O-La-N}) = 81.2^\circ$.

Исследование зарядов на атомах 8-оксихинолина и его производного с лантаном показало перераспределение электронной плотности (что также подтверждает сравнение длин связей C-C – их уменьшение в случае образования координационной связи с металлом) и координацию не только через гидроксильную группу, но и через азот хинолинового кольца (см. данные таблицы 4): наблюдается более отрицательный заряд на азоте ($\Delta q_{\text{N}} = 0.453$; $\Delta q_{\text{O}} = 0.426$) и положительный на лантане ($q_{\text{La}} = +1.359$). При депротонировании лиганда образуется устойчивое хелатное соединение.

**Таблица 4.** Заряды на 8-оксихинолине и комплексе La(III) с 8-оксихинолином

№ атома	Лиганд		Комплекс	
	Тип атома	Заряд	Тип атома	Заряд
1	C	-0.271	C	-0.300
2	C	-0.068	C	-0.077
3	C	+0.292	C	+0.393
4	H	+0.156	H	+0.150
5	O	-0.448	O	-0.874
6	C	-0.226	C	-0.252
7	C	+0.012	C	+0.010
8	H	+0.161	H	+0.158
9	C	-0.013	C	+0.040
10	H	+0.182	H	+0.175
11	N	-0.373	N	-0.826
12	C	+0.054	C	-0.042
13	C	-0.218	C	-0.144
14	C	-0.103	C	-0.197
15	H	+0.174	H	+0.119
16	H	+0.167	H	+0.153
17	H	+0.163	H	+0.157
18	H	+0.358	La	+1.359

Анализ профиля возможной биологической активности в программе PASS Online [26] для 8-оксихинолина и его координационного соединения с лантаном показал следующее (см. таблицы 5, 6).

Таблица 5. Анализ профиля биологической активности 8-оксихинолина

P_a	Активность
0.920	Ингибитор гликозилфосфатидилинозитол фосфолипазы D
0.917	Антисеборейное действие
0.910	Ингибитор карбоксипептидазы
0.910	Ингибитор пуллулаказы

Очевидно, что 8-оксихинолин является хелатирующим агентом, и основным механизмом антибактериальной активности данной молекулы является связывание металлов, входящих в состав активного центра жизненно важных ферментов микроорганизмов. Так, карбоксипептидазы ($P_a=0.910$), лизостафины ($P_a=0.884$), пуллулаказы ($P_a=0.910$) оказывают антибактериальный эффект за счет разрушения белков или углеводов в клетке, в то время как гликозилфосфатфатидилинозитол фосфолипаза D (GPI-PLD; $P_a=0.920$) отщепляет якоря, удерживающие белки на мембране. 8-оксихинолин также обладает антисеборейной активностью ($P_a=0.917$), влияя на работу сальных желез.

Когда 8-оксихинолин связывается с лантаном, то молекула стабилизируется за счет рассмотренных ранее структурных изменений. Профиль биологической активности смещается в сторону ферментов антиоксидантной защиты ($P_a=0.948$ – глутатион



тиолэстераза, $P_a=0.920$ – монодегидроаскорбат редуктаза) и сигнальных белков, включая никотиновые и ацетилхолиновые рецепторы ($P_a=0.900$). Данное наблюдение свидетельствует о снижении редокс-активности и проявлении более селективных взаимодействий соединения с белковыми мишенями при условии сохранения противомикробных свойств исходного лиганда.

Таблица 6. Анализ профиля биологической активности комплекса La(III) с 8-оксихинолином

P_a	Активность
0.948	Ингибитор глутатион тиолэстеразы
0.932	Ингибитор гликозилфосфатидилинозитол фосфолипазы D
0.920	Ингибитор карбоксипептидазы
0.920	Ингибитор монодегидроаскорбат редуктазы (НАДН)
0.907	Ингибитор пуллуланы
0.900	Антагонист никотиновых и ацетилхолиновых рецепторов ($\alpha\beta\beta_3\beta_4\alpha_5$)

С использованием программы [27] проведено исследование зависимости коэффициента распределения в системе «октанол-вода» ($\log P$) от pH для комплекса лантана с 8-оксихинолином и для исходного лиганда (см. рис. 8). Анализ графиков функции показал, что координационное соединение обладает более высокой биодоступностью в щелочной среде (pH=9-15) в сравнении с исходным веществом.

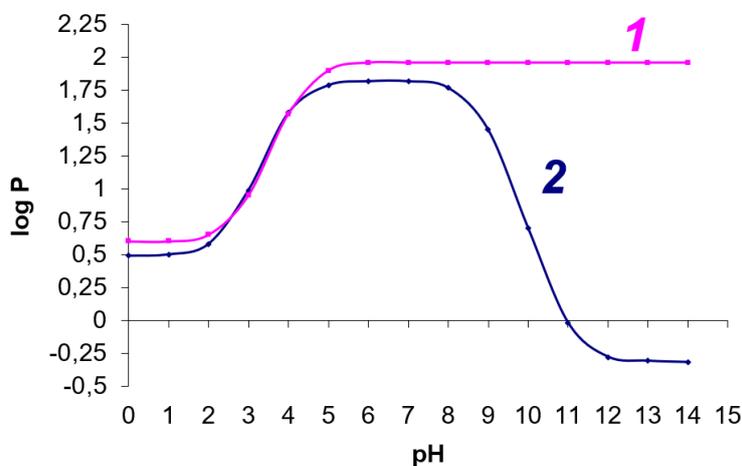


Рис. 8. График зависимости $\log P$ от pH среды для лиганда (кривая 2) и комплексного соединения (кривая 1).

С помощью сервиса Swiss ADME [28] объекты исследования проверены на биодоступность, основанную на ряде формальных критериев [29-30], позволяющих оценить адсорбцию, оценку потенциального лекарственного препарата по ряду параметров, в том числе фармакокинетических, см. таблицу 7. И лиганд, и комплекс способны преодолевать гематоэнцефалический барьер (ГЭБ), адсорбируются в желудочно-кишечном тракте, соответствуют правилу Липински, Вебера, Этана. Индекс биодоступности Абботта имеет значение 0.55, одинаковое для двух соединений [31], что дополнительно подтверждает соблюдение правил Липински. Комплекс La(III) с 8-оксихинолином проникает через кожу на 0.76 см/с быстрее, чем исходный лиганд.



Таблица 7. Анализ профиля биологической активности комплекса La(III) с 8-оксихинолином

Параметр	Значение параметра для 8-оксихинолина	Значение параметра для комплекса La(III) с 8-оксихинолином
Молекулярная масса	145.16 г/моль	283.06 г/моль
Гастроэнтеральная абсорбция	Высокий показатель	Высокий показатель
Способность проникать через ГЭБ	+	+
Скорость проникновения через кожу	5.75 см/с	6.51 см/с
Соответствие правилу Липински	+	+
Фильтр Гоуза	-	-
Фильтр Вебера	+	+
Фильтр Эгана	+	+
Фильтр Мьюэрге	-	+
Индекс биодоступности Абботта	0.55	0.55

Выводы

Синтезирован комплекс La(III) с 8-оксихинолином. Анализ ИК-спектров, а также данные квантово-химических расчетов (MORAS 2016 // PM7) подтвердили координацию металла с лигандом через фенольный кислород и азот хинолинового кольца. Максимум поглощения полученного координационного соединения на электронном спектре составил $\lambda_{\max}=379$ нм, волновые числа на ИК-спектре: $\nu(\text{C-O})=1233.8$ cm^{-1} , $\nu(\text{C=C})=1600.5$ cm^{-1} , $\nu(\text{Ar})=1569.0$ cm^{-1} , $\nu(\text{La}^{3+}\text{-O, La}^{3+}\text{-N})=657.0$. Дополнительно участие гетероатомов в координации подтверждено изменением заряда в ходе комплексообразования: $\Delta q_{\text{N}}=0.453$; $\Delta q_{\text{O}}=0.426$. Величина энергетической щели составила $\Delta E_{\text{общее}}=1.5855$ эВ. Исследование зависимости абсорбции от pH показало, что комплекс наиболее устойчив в нейтральной среде (pH = 7.0–8.0), что согласуется с его хелатной природой и устойчивостью к гидролизу и протонированию. Установлено, что комплекс La(III) с 8-оксихинолином – более селективный и потенциально менее токсичный аналог исходного лиганда, сохраняющий полезные биохимические свойства своего предшественника и обладающий улучшенными физиологическими параметрами, что делает его перспективным для дальнейших биомедицинских исследований.

Конфликт интересов

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

Список источников

1. Bhagwat A., Butts A., Greve E., Cheung Y., Melief E., Gomez J., Hung D.T., Parish T. 8-Hydroxyquinoline series exerts bactericidal activity against Mycobacterium tuberculosis via copper-mediated toxicity. *ACS Infect. Dis.* 2024, 10(10), 3692–3698. DOI: 10.1021/acsinfecdis.4c00582.



2. **Cipurković A., Horozić E., Marić S., Mekić L., Junuzović H.** Metal Complexes with 8-Hydroxyquinoline: Synthesis and In Vitro Antimicrobial Activity. *Open J. Appl. Sci.* 2021, 11, 1–10. DOI: 10.4236/ojapps.2021.111001.
3. **Elshahed M.S., Toubar S.S., Ashour A.A., El-Eryan R.T.** Novel sensing probe using Terbium-sensitized luminescence and 8-hydroxyquinoline for determination of prucalopride succinate: green assessment with Complex-GAPI and analytical Eco-Scale. *BMC Chem.* 2022, 16(1), 80. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13065-022-00876-0>
4. **Avetisov R., Kazmina K., Barkanov A.** One-Step Synthesis of High-Pure Tris(8-hydroxyquinoline)aluminum for Optics and Photonics. *Materials.* 2022, 15, 734. DOI: 10.3390/ma15030734
5. **Ribeiro N., Bulut I., Ugone V., Ferreira L.P.** Promising anticancer agents based on 8-hydroxyquinoline: coordination to metal ions fosters cytotoxic activity. *Front. Chem.* 2023, 11, 1106349. DOI: 10.3389/fchem.2023.1106349.
6. **Côrte-Real L., Martins M., Fontrodona X.** Cu(II) and Zn(II) Complexes of New 8-Hydroxyquinoline Schiff Bases: Structure, Speciation, and Anticancer Potential. *Molecules* 2023, 28, 7894. DOI: 10.3390/molecules28107894.
7. **Lopes J., Romero I., Correia I., Gaspar M.M.** Novel 8-Hydroxyquinoline-Derived V(IV)O, Ni(II), and Fe(III) Complexes: Synthesis, Characterization, and Cytotoxicity. *Inorganics* 2025, 13, 150. DOI: 10.3390/2304-6740/13/5/150.
8. **Wu D.-F., Liu Z., Ren P., Liu X.-H., Wang N., Cui J.-Z., Gao H.-L.** A new family of dinuclear lanthanide complexes constructed from an 8-hydroxyquinoline Schiff base and β -diketone: magnetic properties and near-infrared luminescence. *Dalton Trans.* 2019, 48, 1392-1403. DOI: 10.1039/C8DT04384A.
9. **Saadeh H.A., Sweidan K.A., Mubarak M.S.** Recent Advances in the Synthesis and Biological Activity of 8-Hydroxyquinolines. *Molecules* 2020, 25(18), 4321. DOI: 10.3390/molecules25184321.
10. **Ramenskaya, L. M., Vladimirova, T. V.** The stability and solubility of cadmium (II)-8-oxyquinoline complexes in water and micellar solutions of sodium dodecyl sulfate. *Russ. J. Phys. Chem.*, 2006, 80(6), 904-908. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0036024406060112>.
11. **Chupakhina, T. A., Katsev, A. M., Kuryanov, V. O.** Synthesis and investigation of antimicrobial activity of 8-hydroxyquinoline glucosaminides. *Russian J. of Bioorg. Chem.* 2012, 38(4), 422-427. DOI: <https://doi.org/10.1134/S106816201204005X>
12. **Ninh, N. H., Sang, D. X. N., Hieu, D. M., Chi, N. T. T.** Anti-microbial activity of some Pt (II) complexes bearing 8-oxyquinoline (8-OQ) and eugenol derivative and 3D-structure of complex [PtCl (8-OQ)(Eugenol)]. *J. Nat. Sci.*, 2024, 118-124. DOI : <https://doi.org/10.18173/2354-1059.2024-0026>
13. **Al-Farhan B.S., Basha M.T., Abdalla E.M.** Synthesis, DFT Calculations, Antiproliferative, Bactericidal and Antioxidant Activities of Mixed-Ligand Metal Complexes Containing 8-Hydroxyquinoline. *Molecules* 2021, 26(16), 4725. DOI: 10.3390/molecules26164725.
14. **Yu, W. Y., Zhang, L. G., Qiu, J. B., Wang, J. X., Chen, C. J., Zhou, M. G.** Effect of carbendazim-8-oxyquinoline-copper, a novel chelate fungicide against *Fusarium graminearum*. *J. of Pest. Sci.*, 2011, 36(3), 385-391.
15. **Ябрир Б., Белхассан А., Лакхлифи Т., Моран С. Г., Буахрин М., Кандия Г. Л.** Определение ингибиторов основной протеазы SARS-CoV-2 в следовых количествах компонентов алжирских растительных лекарственных средств с использованием методов *in silico*. *Фармация и фармакология*, 2025, 13 (1), 56-66. DOI: 10.19163/2307-9266-2025-13-1-56-66
16. **Zhang L., Shi H., Jiang Z.** Ten-Gram-Scale Mechanochemical Synthesis of Ternary Lanthanum Coordination Polymers for Antibacterial and Antitumor Activities. *Front. Chem.* 2022, 10:898324. DOI: 10.3389/fchem.2022.898324.
17. **Zhou X.** Insights of metal 8-hydroxyquinolinol complexes as the potential anticancer drugs. *J. Inorg. Biochem.* 2023, 238, 112051. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2022.112051.
18. **Gallo E.** Aluminium 8-Hydroxyquinolinolate N-Oxide as a Precursor to Heterometallic Complexes: Synthesis and Characterization. *Molecules.* 2024, 29(2), 451. DOI: 10.3390/molecules29020451.
19. **He J., Zhou T., Cao Y., Zhang Y., Yang W., Ma M.** Study on relationship between fluorescence properties and structure of substituted 8-hydroxyquinoline zinc complexes. *J. Fluorescence* 2018. DOI: 10.1007/s10895-018-2275-7.
20. **ОФС.1.2.1.0005.15 Растворимость.** Государственная фармакопея Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://pharmascopeia.regmed.ru/> (дата обращения: 22.11.2025)
21. **Schollenberger C. J.** Ammonium acetate as a neutral buffered standard. *J. Am. Chem. Soc.* 1932, 54(6), 2568-2573. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja01345a515>.



22. **Mandal, P., Kretzschmar, J., Drobot, B.** Not just a background: pH buffers do interact with lanthanide ions—a Europium (III) case study. *JBIC J. of Biol. Inorg. Chem.* 2022, 27(2), 249-260. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00775-022-01930-x>
23. **Kothawade, S., Shende, P.** Coordination bonded stimuli-responsive drug delivery system of chemical actives with metal in pharmaceutical applications. *Coord. Chem. Rev.* 2024, 510, 215851. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215851>.
24. **James J. P. Stewart**, MOPAC2016, Stewart Computational Chemistry, Colorado Springs, CO, USA. URL: <http://openmopac.net/> (дата обращения: 22.11.2025)
25. **Zhurko G.A., Zhurko D.A.** ChemCraft version 1.6 (build 312). URL: <http://www.chemcraftprog.com/index.html> (дата обращения: 22.11.2025)
26. **Filimonov D.A., Lagunin A.A., Glorizova T.A., Rudik A.V., Druzhilovskii D.S., Pogodin P.V., Poroikov V.V.** Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the PASS online web resource. *Chemistry of Heterocyclic Compounds.* 2014, 50(3), 444-457. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10593-014-1496-1>
27. **ChemAxon** Log D vs. pH Predictor. ChemAxon. URL: <https://chemaxon.com/products/logd-predictor> (дата обращения: 22.11.2025).
28. **Daina A., Michielin O., Zoete V.** SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. *Sci. Rep.* 2017, 7, 12717. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep42717>
29. **Odhiambo, D. O., Omosa, L. K., Njagi, E. C., Kithure, J. G., Wekesa, E. N.** In-silico Pharmacokinetics ADME/Tox Analysis of phytochemicals from genus *Dracaena* for their therapeutic potential. *Sci. Afr.* 2025, e02796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e02796>
30. **Yadav, M., Yadav, P., Yadav, J. P., & Kataria, S. K.** Novel derivatives of *Costus igneus* towards potentiality against diabetes mellitus receptors: ADME/Tox profiling, Computational Docking, and Molecular Dynamics Simulation study. *J. of Taibah Univ. for Sci.* 2024, 18(1), 2370107. DOI: <https://doi.org/10.1080/16583655.2024.2370107>.
31. **Ahmad, I., Dogra, A., Nagpal, T., Sharma, C., Singh, S., Shaiva, N., Luhach, K.** Liposome-like encapsulation of fish oil-based self-nano emulsifying formulation for improved bioavailability. *Appl. Food Res.*, 2025, 5(1), 100745. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100745>.

Поступила в редакцию 24.11.2025

Одобрена после рецензирования 29.12.2025

Принята к опубликованию 13.01.2026