

СИНТЕЗ 6-(МЕЗИТОИЛ)-1,2-НАФТОХИНОНА**А.В. Сыромолотов, А.А. Кимяшов**

Александр Владимирович Сыромолотов (ORCID 0009-0007-2250-4639), Александр Анатольевич Кимяшов (ORCID 0009-0006-3695-182X)*

Кафедра химической технологии и вычислительной химии, Челябинский государственный университет, Молодогвардейцев, 70б, Челябинск, Российская Федерация, 454021

E-mail: kimyashov@mail.ru*

В работе приводится и обсуждается синтез неопisanного в литературе соединения - 6-(мезитоил)-1,2-нафтохинона. Введение в молекулу нафтохинона неполярного мезитоильного заместителя повысит ее липофильность и, следовательно, увеличит скорость ее переноса через клеточную мембрану. Схема синтеза была построена на хорошо известных реакциях и методах, осуществление которых как правило не вызывает затруднений. В качестве исходного соединения использовали покупную 2-метокси-6-нафталинкарбоновую кислоту, так как в этой молекуле содержится нафталиновый фрагмент, замещенный в 2,6 – положениях и карбоксильную группу можно достаточно легко превратить в мезитоил – группу. Эту кислоту вводили в реакцию с тионилхлоридом для получения хлорангидрида 2-метокси-6-нафталинкарбоновой кислоты. Реакция протекала без каких-либо значимых осложнений. На второй стадии использовали также хорошо известную реакцию ацилирования по Фриделю-Крафтсу. В ходе выполнения этой стадии основной проблемой было деметилирование метокси группы, с образованием соответствующего фенола, под действием безводного хлорида алюминия. Провели бромирование 6-(мезитоил)-2-нафтола с получением 1-бром-6-(мезитоил)-2-нафтола. Для этой реакции использовали осушенный бром. Затем осуществили окисление азотной кислотой бромпроизводного и получили целевой продукт в виде мелких кристаллов оранжевого цвета. Температуру плавления определяли на приборе Stuart SMP-30. ИК спектры регистрировали на приборе ИК-Фурье спектрометре Nicolet 380 в таблетках с бромидом калия. ТСХ выполняли на хроматографических пластинках Sorbfil ПТСХ-П-А-УФ, проявление осуществляли парами йода. ЯМР – спектры регистрировали на спектрометре Bruker DRX-400 (400 МГц), в качестве стандарта ^1H использовали Me_4Si , растворителем служил CDCl_3 . Элементный анализ проводили на анализаторе EuroEA 3000. LC-MS анализ конечного продукта проводили на спектрометре Agilent 6130 В с хроматографом Shimadzu LC-10 АТ. По данным физико-химических исследований сделан вывод, что предполагаемые структуры соответствуют реально полученным. Синтезированные продукты представляют собой индивидуальные вещества.

Ключевые слова: синтез, нафтохинон

Для цитирования:

Сыромолотов А.В., Кимяшов А.А. Синтез 6-(мезитоил)-1,2-нафтохинона. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2025. Т. 68. Вып. 7. С. 20–26. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7188.

For citation:

Syromolotov A.V., Kimyashov A.A. Synthesis of 6-(mesitoyl)-1,2-naphthoquinone. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2025. V. 68. N 7. P. 20–26. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7188.

SYNTHESIS OF 6-(MESITOYL)-1,2-NAPHTHOQUINONE

A.V. Syromolotov, A.A. Kimyashov

Alexander V. Syromolotov (ORCID 0009-0007-2250-4639), Alexander A. Kimyashov (ORCID 0009-0006-3695-182X)*

Chemical Technology and Computational Chemistry Division, Chelyabinsk State University, Molodogvardeyev st., 70b, Chelyabinsk, 454021, Russia
E-mail: kimyashov@mail.ru*

The synthesis of a compound, 6-(mesitoyl)-1,2-naphthoquinone, not described in the literature is reported and discussed in this work. The introduction of a non-polar mesitoyl moiety into the naphthoquinone molecule will enhance its lipophilicity and hence increase its bioavailability. The synthetic sequence was based on well known reactions and methods, the realization of which is usually not difficult. Purchased 2-methoxy-6-naphthalene carboxylic acid was used as the starting compound, since this molecule contains a naphthalene moiety substituted at the 2,6 - positions and the carboxyl group can be converted to a mesitoyl - group quite easily. This acid was involved in reaction with thionyl chloride to give the chloranhydride of 2-methoxy-6-naphthalene carboxylic acid. The reaction proceeded without any significant complications. In the second stage, the same well-known Friedel-Crafts acylation reaction was used. In the course of this step the main problem was demethylation of the methoxy group to form the corresponding phenol in presence of anhydrous aluminum chloride. Bromination of 6-(mesitoyl)-2-naphthol was carried out to give 1-bromo-6-(mesitoyl)-2-naphthol. Dehydrated bromine was used for this reaction. Oxidation with nitric acid of the bromo derivative was carried out and the target product was obtained as small orange crystals. The melting temperature was determined on a Stuart SMP-30 instrument. IR spectra were recorded on a Nicolet 380 FT-IR spectrometer in potassium bromide tablets. TLC was performed on Sorbfil PTLT-F-A-UV chromatographic plates, the manifestation was performed with iodine vapor. NMR spectra were recorded on a Bruker DRX-400 spectrometer (400MHz), Me₄Si was used as a ¹H standard, CDCl₃ served as a solvent. Elemental analysis was performed on a EuroEA 3000 analyzer. The final product was analyzed on LC-MS system contained Agilent 6130 B spectrometer and Shimadzu LC-10 AT chromatograph. According to the data of physicochemical studies it was concluded that the alleged structures correspond to the actually obtained ones. The synthesized products are individual substances.

Keywords: synthesis, naphthoquinone

ВВЕДЕНИЕ

1,2-Нафтохиноны являются одними из представителей обширного класса хинонов. Они широко используются в органическом синтезе благодаря наличию у них кетогрупп сопряженных с электрондефицитной олефиновой связью [1]. Их используют для синтеза атропизомерных биариллов, которые применяются в качестве хиральных катализаторов [2]. Они вступают в альдольную конденсацию с ацетоном [3], восстанавливаются до 1,2-дигидронафталина, который находит применение в биосмазочных материалах [4] и в качестве ингибитора тирозинфосфатазы [5], конденсируются с офенилендиамином с образованием азинов [6], вступают в реакцию Дильса-Альдера с образованием производных тетрагидрофенантрена [7] и фенантрахинонов [8], окисляются с образованием непредельных дикарбоновых кислот [9, 10]. Помимо

этого, производные 1,2-нафтохинонов содержатся в различных растениях, участвуя в окислительных процессах [11]. Они проявляют противовоспалительную [12], противомаларийную [13], противораковую [14-18], противогрибковую, противобактериальную [19], антиоксидантную [20] активности, а также ингибируют ботулотоксин [21-23]. Обширный спектр полезных свойств этих соединений обуславливает интерес к синтезу новых производных 1,2-нафтохинонов и изучению их свойств.

Настоящая работа посвящена синтезу производного 1,2-нафтохинонов, потенциально обладающего противомикробной активностью. Производные 1,2-нафтохинонов, описанные в литературе, как правило, имеют высокую полярность. Поэтому такие молекулы обладают малой липофильностью, что затрудняет их транспорт в клетки и ткани. Одним из путей повышения липофильности является метод введения в молекулу неполярных

заместителей, которые позволяют повысить жирорастворимость. Обычно для этой цели в состав молекулы вводят алкильные или арильные фрагменты. В качестве такого заместителя было решено использовать мезитильный фрагмент, и целью работы был синтез 6-(мезитоил)-1,2-нафтохинона. Используемые в работе реакции хорошо известны и относительно просты в исполнении. В результате удалось получить целевое соединение с хорошим выходом. При этом полученное вещество должно быть более липофильным и проявлять большую биологическую активность в отношении микроорганизмов за счет лучшего транспорта в тканях и клетках животных по сравнению с незамещенными нафтохинонами.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исходное соединение 2-метокси-6-нафталинкарбоновую кислоту производителя Alfa Aesar, 97% использовали без дополнительной очистки. Растворители и жидкие реагенты дополнительно осушали с помощью перегонки над P_2O_5 . Температуру плавления определяли на приборе Stuart SMP-30. ИК спектры зарегистрированы на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 380 в таблетках с бромидом калия. ТСХ выполняли на хроматографических пластинках Sorbfil ПТСХ-П-А-УФ, проявление осуществляли парами йода. ЯМР-спектры регистрировали на спектрометре Bruker DRX-400 (400 MHz), в качестве стандарта 1H использовали Me_4Si , растворителем служил $CDCl_3$. Элементный анализ проводили на анализаторе EuroEA 3000. LC-MS анализ конечного продукта проводили на спектрометре Agilent 6130 В с хроматографом Shimadzu LC-10 AT.

Хлорангидрид 2-метокси-6-нафталинкарбоновой кислоты (2 на схеме)

В двугорлую колбу объемом 500 мл, снабженную обратным холодильником и капельной воронкой, помещали 20,2 г (100 ммоль) 2-метокси-6-нафталинкарбоновой кислоты. Затем добавляли 250 мл сухого толуола и при интенсивном перемешивании с помощью магнитной мешалки добавляли по каплям тионилхлорид 33 мл (450 ммоль). После окончания выделения газов, смесь перемешивали 1 ч при комнатной температуре и 0,5 ч при кипячении. Полученную смесь упаривали в вакууме мембранного насоса. Получили 20,5 г (93 ммоль) продукта с выходом 93% в виде вязкого масла, которое медленно кристаллизовалось. Этот продукт использовали далее без очистки.

1H σ : 8,79-8,86(м, 1H, аром), 8,41-7,58(м, 3H, аром), 7,34-7,10(м, 2H, аром), 3,83(с, 3H, O-Me).

^{13}C σ : 167,9, 164,0, 140,1, 133,8, 132,1, 129,6, 128,4, 126,2, 125,1, 118,2, 105,4, 56,2.

2-Метокси-6-(мезитоил)-нафталин (3 на схеме)

В трехгорлую колбу объемом 500 мл, снабженную обратным холодильником, капельной воронкой и хлоркальциевой трубкой, помещали 26,6 г (200 ммоль) порошка безводного хлорида алюминия. После этого добавляли 55,2 мл (400 ммоль) сухого мезителена и 200 мл сухого хлорбензола. Затем интенсивно перемешивали в течение 0,5 ч, с помощью магнитной мешалки при 0 °С. При той же температуре медленно добавляли 22 г (100 ммоль) хлорангидрида 2-метокси-6-нафталиновой кислоты в течение 1,5 ч и перемешивали еще 1 ч. Потом реакционную смесь выдерживали при температуре 55 °С и перемешивании еще 3 ч. Затем охлаждали до комнатной температуры и выливали в воду со льдом. Органический слой отделяли, водный экстрагировали хлористым метиленом 3×100 мл. Объединенные органические слои высушивали над безводным сульфатом натрия и упаривали на ротационном испарителе. Оставшийся твердый остаток перекристаллизовывали из сухого этилового спирта. В результате получили желтоватый кристаллический продукт массой 20,7 г, с выходом 34%. Т. пл. 146-148 °С.

1H σ : 8,30-8,01(м, 3H, аром), 7,91-7,32(м, 3H, аром), 7,05-6,87(м, 2H, аром), 3,79(с, 3H, O-Me), 2,31(с, 3H, CH_3), 1,86(с, 6H, CH_3).

^{13}C σ : 202,4, 164,8, 141,9, 138,8, 135,8, 134,1, 132,6, 128,7, 127,5, 127,0, 123,9, 123,1, 114,8, 102,1, 54,3, 19,7, 18,6.

ИК: 3321, 3014, 1602, 1568, 1202, 1121, 108, 820, 804, 752, 604.

R_f 0,28 (гексан/EtOAc 1:1) Т пл °С 146-148.
6-(мезитоил)-2-нафтол (4 на схеме)

В колбу на 250 мл, снабженную обратным холодильником, помещали 15,2 г (50 ммоль) вещества 3, добавляли 120 мл сухого *n*-ксилола и 26 г (200 ммоль) безводного хлорида алюминия в виде порошка. При интенсивном перемешивании с помощью магнитной мешалки смесь кипятили 30 мин, затем немного охлаждали и выливали в смесь льда, воды, подкисленной соляной кислотой до pH = 2. Осадок, который при этом выпадал, фильтровали, промывали водой до нейтрального значения pH и высушивали в вакууме масляного насоса. В результате получили мелкокристаллический продукт светло-серого цвета массой 12,6 г, с выходом 87%. Тпл. 192-194 °С.

1H σ : 8,28-7,68(м, 4H, аром), 7,46-7,25(м, 2H, аром), 7,20-7,08(ш.с, 1H, OH) 7,01-6,91(м, 2H, аром), 2,26(с, 3H, CH_3), 1,91(с, 6H, CH_3).

^{13}C σ : 202,6, 162,3, 142,6, 141,1, 140,8, 141,1, 140,8, 140,1, 135,2, 133,6, 129,2, 128,1, 126,9, 126,6, 123,4, 115,8, 105,8, 20,8, 18,7.

ИК: 3328, 3018, 1607, 1571, 1209, 1117, 1004, 821, 806, 754, 602

R_f 0,33 (гексан/EtOAc 1:2) Т. пл. $^{\circ}\text{C}$ 192-194.

1-бром-6-(мезитоил)-2-нафтол (5 на схеме)

В колбу на 250 мл, снабженную магнитной мешалкой, помещали 14,5 г (50 ммоль) соединения 4, добавляли 100 мл ледяной уксусной кислоты. После медленно, по каплям, прибавляли раствор брома 2,8 мл (55 ммоль) в 20 мл ледяной уксусной кислоты. По каплям добавляли раствор брома с такой скоростью, чтобы температура реакционной смеси не превышала 20°C , потом перемешивали еще 4 ч при этой же температуре. Затем отфильтровывали осадок, промывали водой до нейтрального значения pH и сушили в вакууме масляного насоса. В результате получили 15,1 г продукта в виде темно-желтого порошка с выходом 82%. Т. пл. $178-181^{\circ}\text{C}$.

^1H σ : 8,48-7,79(м, 4H, аром), 7,41-7,29(2с, 1H, аром), 6,95-6,71(ш.с, 1H, OH) 6,97-6,92(м, 2H, аром), 2,24(с, 3H, CH_3), 1,95(с, 6H, CH_3).

^{13}C σ : 201,8, 158,4, 141,7, 139,2, 138,4, 137,2, 136,4, 135,2, 134,8, 139,2, 128,4, 127,9, 122,7, 120,8, 113,9, 102,4, 20,7, 18,8.

ИК: 3341, 3023, 1611, 1562, 1201, 1109, 1079, 1006, 818, 807, 761, 601

R_f 0,41 (гексан/EtOAc 1:2) Т. пл. $^{\circ}\text{C}$ 178-181.

6-(мезитоил)-1,2-нафтохинон
(6 на схеме)

В двугорлую колбу на 250 мл, снабженную термометром, капельной воронкой и магнитной мешалкой, помещали 18,5 г (50 ммоль) соединения 5, добавляли 150 мл сухого хлорбензола и при интенсивном перемешивании медленно прикапывали 5 мл азотной кислоты (уд. плотность 1,35), температура должна быть в пределах $35-38^{\circ}\text{C}$. Затем получившуюся реакционную смесь перемешивали еще 30 мин и охлаждали до 20°C . Органический слой отделяли, промывали водой до нейтрального значения pH и сушили над безводным сульфатом натрия. Полученный раствор декантировали и в течение 2 ч перемешивали под вакуумом водоструйного насоса при температуре $45-50^{\circ}\text{C}$ для удаления образующегося нитрозилбромида. После этого остаток охлаждали до 15°C , и выделившийся осадок фильтровали и перекристаллизовывали из дихлорэтана. В результате получили 11,3 г продукта в виде мелких кристаллов оранжевого цвета с выходом 74%. Т. разл. более 170°C .

^1H σ : 8,51-7,84(м, 4H, аром), 6,98-6,92(м, 2H, аром), 6,35, 6,54(д, 1H, аром), 2,21(с, 3H, CH_3), 1,97(с, 6H, CH_3).

^{13}C σ : 198,6, 180,8, 149,5, 144,1, 142,0, 138,9, 134,1, 131,7, 130,2, 129,7, 128,1, 126,8, 123,8, 20,7, 18,8.

ИК: 3351, 3019, 1628, 1619, 1571, 1204, 1063, 1004, 814, 807, 781, 621.

M/Z: 304, 186, 158, 148, 120, 105, 91, 79, 77, 39.

RT 9 мин 20 с

R_f 0,2 (гексан/EtOAc 1:2). Т. пл. с разложением, более 170°C .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для синтеза целевого соединения 6-(мезитоил)-1,2-нафтохинона выбрали стратегию, основанную на наиболее простых реакциях, которые протекают с хорошими выходами на широком круге субстратов. В качестве исходного соединения взяли 2-метокси-6-нафталинкарбоновую кислоту, поскольку из нее можно получить целевой продукт через пять стадий. Синтез проводился по следующей схеме.

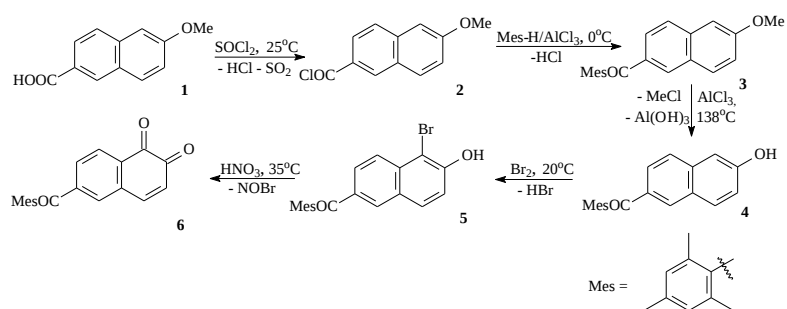


Схема
Scheme

Синтез хлорангидрида 2-метокси-6-нафталинкарбоновой кислоты осуществили с помощью обработки тионилхлоридом 2-метокси-6-нафталинкарбоновой кислоты. На второй стадии проводили реакцию ацилирования мезитилена по Фриделю-Крафтсу. В ходе выполнения этой стадии возможно деметилирование в присутствии хлорида алюминия. Для исключения этого процесса необходимо соблюдать выбранный температурный режим реакции и осушать реагенты и растворители. На стадии 3 протекала реакция кислотного расщепления метилового эфира фенола под действием AlCl_3 . Происходило выделение метилхлорида и нафтолята алюминия. Последний гидролизировался до 6-(мезитоил)-2-нафтола и гидроксида алюминия.

Четвертое превращение 6-(мезитоил)-2-нафтола в соответствующий 1-бром-6-(мезитоил)-2-нафтол представляет из себя реакцию бромирования ароматического кольца. Катализатор для этой реакции не использовали, так как субстрат активирован донорным заместителем (гидроксигруппа), и поэтому реакция протекает региоселективно в α -положение нафталинового фрагмента. Для увеличения выхода продукта необходимо осушать бром. При соблюдении этого условия можно достичь выхода продукта 80-85%. На завершающей стадии происходило окисление 1-бром-6-(мезитоил)-2-нафтола до соответствующего 1,2 нафтохинона. Реакцию нужно проводить аккуратно, поскольку в ходе нее выделялся нитрозилбромид. Для достижения хорошего выхода важно точно до-

зировать азотную кислоту и использовать ее с той плотностью, которая приведена в методике.

В таблице приведены основные физико-химические характеристики полученных соединений 4-6 и результаты их элементного анализа. Данные элементного анализа демонстрируют хорошую сходимость с расчетными значениями. Диапазон температур плавления каждого вещества небольшой и составляет 2-3 °С. Целевое вещество 6 разлагается при температуре выше 170 °С. Результаты анализа с помощью ТСХ свидетельствуют о хроматографической чистоте полученных соединений, так как для каждого наблюдалось по одному пятну на пластинке ТСХ, при проявлении парами йода. Описание ЯМР и ИК, LC-MS спектров приведены в экспериментальной части.

Таблица

Результаты элементного анализа
Table. Elemental Analysis Results

Вещество	Брутто формула	Вычислено			Найдено			Т пл. °С	R _f
		С %	Н %	О %	С %	Н %	О %		
6	C ₂₀ H ₁₆ O ₃	78,93	5,30	15,77	78,89	5,32	13,79	разл. > 170	0,28
5	C ₂₀ H ₁₇ BrO ₂	65,05	4,64	8,67	65,08	4,63	8,65	178-181	0,41
4	C ₂₀ H ₁₈ O ₂	82,73	6,25	11,02	82,78	6,20	11,02	192-194	0,33

ВЫВОДЫ

Осуществили синтез неописанного в литературе соединения – 6-(мезитоил)-1,2-нафтохинона. Исходное соединение и все необходимые реагенты для синтеза коммерчески доступны. Реакции, использованные для синтеза, известны и протекают с хорошими выходами. Структурные формулы продукта и промежуточных соединений подтвердили методами элементного анализа, ИК и ЯМР спектроскопии. Для целевого соединения проведен

LC-MS анализ. Подобные соединения могут найти применение в фармацевтике в качестве компонентов активных форм лекарственных средств и органическом синтезе для получения более сложных веществ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mishra A.K., Mukhopadhyay A., Moorthy J.N. One-pot multistep synthesis of bipolar carbazolo-phenazines: hydrogen bond control of Diels-Alder cycloaddition and application for fluoride sensing. *Tetrahedron*. 2017. V. 73. P. 2210-2216. DOI: 10.1016/j.tet.2017.02.052.
2. Zhu S., Chen Y.H., Wang Y.B., Yu P., Li S.Y., Xiang S.H., Wang J.Q., Xiao J., Tan B. Organocatalytic atroposelective construction of axially chiral arylquinones. *Nat Commun*. 2019. V. 10. P. 4268-4277. DOI: 10.1038/s41467-019-12269-4.
3. Li H., Li W., Li Z. Iron-catalyzed cross-aldol reactions of ortho-diketones and methyl ketones. *Chem. Commun*. 2009. V. 22. P. 3264-3266. DOI: 10.1039/b903515j.
4. Zhou Y., Dahl J., Carlson B., Liang H. Effects of molecular structures of carbon-based molecules on bio-lubrication. *Carbon*. 2015. V. 86. P. 132-138. DOI: 10.1016/j.carbon.2015.01.017.

REFERENCES

1. Mishra A.K., Mukhopadhyay A., Moorthy J.N. One-pot multistep synthesis of bipolar carbazolo-phenazines: hydrogen bond control of Diels-Alder cycloaddition and application for fluoride sensing. *Tetrahedron*. 2017. V. 73. P. 2210-2216. DOI: 10.1016/j.tet.2017.02.052.
2. Zhu S., Chen Y.H., Wang Y.B., Yu P., Li S.Y., Xiang S.H., Wang J.Q., Xiao J., Tan B. Organocatalytic atroposelective construction of axially chiral arylquinones. *Nat Commun*. 2019. V. 10. P. 4268-4277. DOI: 10.1038/s41467-019-12269-4.
3. Li H., Li W., Li Z. Iron-catalyzed cross-aldol reactions of ortho-diketones and methyl ketones. *Chem. Commun*. 2009. V. 22. P. 3264-3266. DOI: 10.1039/b903515j.
4. Zhou Y., Dahl J., Carlson B., Liang H. Effects of molecular structures of carbon-based molecules on bio-lubrication. *Carbon*. 2015. V. 86. P. 132-138. DOI: 10.1016/j.carbon.2015.01.017.

5. **Thorson M.K., Puerta D.T., Cohen S.M., Barrios A.M.** Inhibition of the lymphoid tyrosine phosphatase: The effect of zinc(II) ions and chelating ligand fragments on enzymatic activity. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2014. V. 24. P. 4019–4022. DOI: 10.1016/j.bmcl.2014.06.016.
6. **Mishra A.K., Moorthy J.N.** IBX (o-Iodoxybenzoic Acid)-Initiated One-Pot Synthesis of 4-Arylthio-1,2-naphthoquinones, 4-Arylthio-1,2-diacetoxynaphthalenes and 5-Arylthio-/5-amino-benzo[a]phenazines. *J. Org. Chem.* 2016. V. 81. P. 6472–6480. DOI: 10.1021/acs.joc.6b01105.
7. **Gelman D.M., Forsyth C.M., Perlmutter P.** Lewis acid catalyzed Diels–Alder reactions of 1,2-naphthoquinones. *Org. Lett.* 2009. V. 21. P. 4958–4960. DOI: 10.1021/ol9021047.
8. **Magar S., Bahadur K., Xia L., Li Y. R.** Organocatalyzed benzannulation for the construction of diverse anthraquinones and tetracenediones. *Chem. Commun.* 2015. V. 51. P. 8592–8595. DOI: 10.1039/c5cc00623f.
9. **Uyanik M., Mutsuga T., Ishihara K.** IBS-catalyzed regioselective oxidation of phenols to 1,2-quinones with oxone. *Molecules.* 2012. V. 17. P. 8604–8616. DOI: 10.3390/molecules17078604.
10. **Parida K.N., Moorthy J.N.** Synthesis of o Carboxyarylacrylic Acids by Room Temperature Oxidative Cleavage of Hydroxynaphthalenes and Higher Aromatics with Oxone. *J. Org. Chem.* 2015. V. 80. P. 8354–8360. DOI: 10.1021/acs.joc.5b00292.
11. **Pinto A.V., Castro S.L.** The Trypanocidal Activity of Naphthoquinones. *Molecules.* 2009. V. 14. P. 4570–4590. DOI: 10.3390/molecules14114570.
12. **Tseng C.H., Cheng C.M., Tzeng C.C., Peng S.I., Yang C.L., Chen Y.L.** Synthesis and anti-inflammatory evaluations of β -lapachone derivatives. *Bioorg. Med. Chem.* 2013. V. 21. P. 523–531. DOI: 10.1016/j.bmc.2012.10.047.
13. **Mathiyazhagan K., Kumaran A., Arjun P.** Isolation of natural naphthoquinones from *Juglans regia* and in vitro antioxidant and cytotoxic studies of naphthoquinones and the synthetic naphthofuran derivatives. *Russ. J. Bioorg. Chem.* 2018. V. 44. P. 346–353. DOI: 10.1134/S1068162018030111.
14. **Wellington K.W.** Understanding cancer and the anticancer activities of naphthoquinones – a review. *RSC Adv.* 2015. V. 5. P. 20309–20338. DOI: 10.1039/C4RA13547D.
15. **Khasiyatullina N.R., Vazykhova A.M., Mironov V.F., Krivolapov D.B., Voronina Y.K., Voloshina A.D., Kulik N.V., Strobykina A.S.** Phosphonium salts with a dihydroxynaphthyl substituent: versatile synthesis and evaluation of antimicrobial activity. *Mendeleev Commun.* 2017. V. 27. P. 134–136. DOI: 10.1016/j.mencom.2017.03.008.
16. **Tatarinov D.A., Kuznetsov D.M., Voloshina A.D., Lyubina A.P., Strobykina A.S., Mukhitova F.K., Polyancev F.M., Mironov V.F.** Synthesis of 2-(2-hydroxyaryl)alkenylphosphonium salts from phosphine oxides via ring-closing ring-opening approach and their antimicrobial evaluation. *Tetrahedron.* 2016. V. 72. P. 8493–8501. DOI: 10.1016/j.tet.2016.11.023.
17. **Khasiyatullina N.R., Bogdanova A.V., Mironov V.F.** Reaction of 6-bromo-1,2-naphthoquinone with tertiary ortho-anisylphosphines as a convenient synthetic approach to 1,2-dihydroxynaphthylphosphonium salts. *Russ. J. Gen. Chem.* 2018. V. 88. P. 2233–2236. DOI: 10.1134/S1070363218100377.
18. **Khasiyatullina N.R., Mironov V.F.** Reaction of 6-Bromo-1,2-naphthoquinone with diethylphosphine. *Russ. J. Org. Chem.* 2015. V. 51. P. 1343–1345. DOI: 10.1134/S1070428015090225.
5. **Thorson M.K., Puerta D.T., Cohen S.M., Barrios A.M.** Inhibition of the lymphoid tyrosine phosphatase: The effect of zinc(II) ions and chelating ligand fragments on enzymatic activity. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2014. V. 24. P. 4019–4022. DOI: 10.1016/j.bmcl.2014.06.016.
6. **Mishra A.K., Moorthy J.N.** IBX (o-Iodoxybenzoic Acid)-Initiated One-Pot Synthesis of 4-Arylthio-1,2-naphthoquinones, 4-Arylthio-1,2-diacetoxynaphthalenes and 5-Arylthio-/5-amino-benzo[a]phenazines. *J. Org. Chem.* 2016. V. 81. P. 6472–6480. DOI: 10.1021/acs.joc.6b01105.
7. **Gelman D.M., Forsyth C.M., Perlmutter P.** Lewis acid catalyzed Diels–Alder reactions of 1,2-naphthoquinones. *Org. Lett.* 2009. V. 21. P. 4958–4960. DOI: 10.1021/ol9021047.
8. **Magar S., Bahadur K., Xia L., Li Y. R.** Organocatalyzed benzannulation for the construction of diverse anthraquinones and tetracenediones. *Chem. Commun.* 2015. V. 51. P. 8592–8595. DOI: 10.1039/c5cc00623f.
9. **Uyanik M., Mutsuga T., Ishihara K.** IBS-catalyzed regioselective oxidation of phenols to 1,2-quinones with oxone. *Molecules.* 2012. V. 17. P. 8604–8616. DOI: 10.3390/molecules17078604.
10. **Parida K.N., Moorthy J.N.** Synthesis of o Carboxyarylacrylic Acids by Room Temperature Oxidative Cleavage of Hydroxynaphthalenes and Higher Aromatics with Oxone. *J. Org. Chem.* 2015. V. 80. P. 8354–8360. DOI: 10.1021/acs.joc.5b00292.
11. **Pinto A.V., Castro S.L.** The Trypanocidal Activity of Naphthoquinones. *Molecules.* 2009. V. 14. P. 4570–4590. DOI: 10.3390/molecules14114570.
12. **Tseng C.H., Cheng C.M., Tzeng C.C., Peng S.I., Yang C.L., Chen Y.L.** Synthesis and anti-inflammatory evaluations of β -lapachone derivatives. *Bioorg. Med. Chem.* 2013. V. 21. P. 523–531. DOI: 10.1016/j.bmc.2012.10.047.
13. **Mathiyazhagan K., Kumaran A., Arjun P.** Isolation of natural naphthoquinones from *Juglans regia* and in vitro antioxidant and cytotoxic studies of naphthoquinones and the synthetic naphthofuran derivatives. *Russ. J. Bioorg. Chem.* 2018. V. 44. P. 346–353. DOI: 10.1134/S1068162018030111.
14. **Wellington K.W.** Understanding cancer and the anticancer activities of naphthoquinones – a review. *RSC Adv.* 2015. V. 5. P. 20309–20338. DOI: 10.1039/C4RA13547D.
15. **Khasiyatullina N.R., Vazykhova A.M., Mironov V.F., Krivolapov D.B., Voronina Y.K., Voloshina A.D., Kulik N.V., Strobykina A.S.** Phosphonium salts with a dihydroxynaphthyl substituent: versatile synthesis and evaluation of antimicrobial activity. *Mendeleev Commun.* 2017. V. 27. P. 134–136. DOI: 10.1016/j.mencom.2017.03.008.
16. **Tatarinov D.A., Kuznetsov D.M., Voloshina A.D., Lyubina A.P., Strobykina A.S., Mukhitova F.K., Polyancev F.M., Mironov V.F.** Synthesis of 2-(2-hydroxyaryl)alkenylphosphonium salts from phosphine oxides via ring-closing ring-opening approach and their antimicrobial evaluation. *Tetrahedron.* 2016. V. 72. P. 8493–8501. DOI: 10.1016/j.tet.2016.11.023.
17. **Khasiyatullina N.R., Bogdanova A.V., Mironov V.F.** Reaction of 6-bromo-1,2-naphthoquinone with tertiary ortho-anisylphosphines as a convenient synthetic approach to 1,2-dihydroxynaphthylphosphonium salts. *Russ. J. Gen. Chem.* 2018. V. 88. P. 2233–2236. DOI: 10.1134/S1070363218100377.
18. **Khasiyatullina N.R., Mironov V.F.** Reaction of 6-Bromo-1,2-naphthoquinone with diethylphosphine. *Russ. J. Org. Chem.* 2015. V. 51. P. 1343–1345. DOI: 10.1134/S1070428015090225.

19. **Huang G., Zhao H., Zhou W., Dong J., Zhang Q., Meng Q., Zhu B., Li S.** 6-Substituted 1,4-naphthoquinone oxime derivatives (I): synthesis and evaluation of their cytotoxic activity. *Monatsh. Chem.* 2017. V. 148. P. 1011–1023. DOI: 10.1007/s00706-016-1899-z.
20. **Shen Y.D., Tian Y.X., Bu X.Z., Gu L.Q.** Natural tanshinone-like heterocyclic-fused ortho-quinones from regioselective Diels–Alder reaction: Synthesis and cytotoxicity evaluation. *Eur. J. Med. Chem.* 2009. V. 44. P. 3915–3921. DOI: 10.1016/j.ejmech.2009.04.016.
21. **Bremer P.T., Hixon M.S., Janda K.D.** Benzoquinones as inhibitors of botulinum neurotoxin serotype A. *Bioorg. Med. Chem.* 2014. V. 22. P. 3971–3981. DOI: 10.1016/j.bmc.2014.06.004.
22. **Кимяшов А.А., Сыромолотов А.В.** Синтез дибензо [cd,g] индола. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 1. С. 22–26. DOI: 10.6060/ivkkt.20216401.6291.
23. **Брель А.К., Лисина С.В., Будаева Ю.Н.** N-салицилоиламиды и их соли: синтез, биологическая активность и токсичность. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2024. Т. 67. Вып. 3. С. 103–110. DOI: 10.6060/ivkkt.20246703.6915.
19. **Huang G., Zhao H., Zhou W., Dong J., Zhang Q., Meng Q., Zhu B., Li S.** 6-Substituted 1,4-naphthoquinone oxime derivatives (I): synthesis and evaluation of their cytotoxic activity. *Monatsh. Chem.* 2017. V. 148. P. 1011–1023. DOI: 10.1007/s00706-016-1899-z.
20. **Shen Y.D., Tian Y.X., Bu X.Z., Gu L.Q.** Natural tanshinone-like heterocyclic-fused ortho-quinones from regioselective Diels–Alder reaction: Synthesis and cytotoxicity evaluation. *Eur. J. Med. Chem.* 2009. V. 44. P. 3915–3921. DOI: 10.1016/j.ejmech.2009.04.016.
21. **Bremer P.T., Hixon M.S., Janda K.D.** Benzoquinones as inhibitors of botulinum neurotoxin serotype A. *Bioorg. Med. Chem.* 2014. V. 22. P. 3971–3981. DOI: 10.1016/j.bmc.2014.06.004.
22. **Kimyashov A.A., Syromolotov A.V.** Synthesis of dibenzo[cd, g]indole. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 1. P. 22–26 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216401.6291.
23. **Brel A.K., Lisina S.V., Budaeva Yu.N.** N-salicyloyl amides and their salts: synthesis, biological activity and toxicity. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 3. P. 103–110 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20246703.6915.

Поступила в редакцию 12.12.2024

Принята к опубликованию 03.04.2025

Received 12.12.2024

Accepted 03.04.2025