



Синтез и строение 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновой кислоты

Е.А. Кунавина[✉], Т.В. Левенец, Т.А. Ткачева, А.М. Брежнев

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

Аннотация. Целью проведенной работы являлось изучение tandemной азиновой гетероциклизации с участием карбонильных соединений и 3-аминофенола, в результате которой образуется потенциально биологически активное вещество. Посредством конденсации эквимольных количеств 2-ацетонафтона с дибутилоксалатом в присутствии натрия с дальнейшей обработкой реакционной смеси уксусной кислотой и введением 3-аминофенола с препаративным выходом синтезирована новая 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновая кислота. Структура выделенного соединения комплексно подтверждена инфракрасной спектроскопией, спектроскопией ядерного магнитного резонанса (^1H , ^{13}C) и масс-спектрометрией высокого разрешения. Интерпретация инфракрасного спектра синтезированной кислоты позволила выявить по уширенным интенсивным полосам поглощения фенольную гидроксильную группу и гидроксигруппу в составе карбоксильной функции, а также по характерной полосе поглощения подтвердить наличие карбонильной группы. В спектре ядерного магнитного резонанса ^1H , записанном в растворе дейтерированной формы диметилсульфоксида ($\text{DMSO}-d_6$), присутствуют ожидаемые мультиплетные, дублетные и синглетные сигналы ароматических протонов. В слабом поле обнаружен уширенный синглетный сигнал, принадлежащий протонам фенольной и карбоксильной гидроксигрупп. В спектре ядерного магнитного резонанса ^{13}C , зарегистрированном в растворе $\text{DMSO}-d_6$, в слабopольной области находятся сигналы карбоксильной группы (COOH) и C^7OH фрагмента. Масс-спектрометрия с электрораспылением (в ацетонитриле с добавлением диметилсульфоксида) подтвердила структуру, выявив пики $[\text{M}+\text{H}]^+$ и $[\text{M}+\text{Na}]^+$. Разработанный подход открывает перспективы синтеза разнообразных биологически активных 4,7-дизамещенных хинолин-2-карбоновых кислот путем варьирования исходных метилкетонов и нуклеофилов.

Ключевые слова: гетероциклизация, дибутилоксалат, 4,7-дизамещенные хинолин-2-карбоновые кислоты, 3-аминофенол, метилкетоны, tandemный синтез

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Оренбургского государственного университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Для цитирования: Кунавина Е.А., Левенец Т.В., Ткачева Т.А., Брежнев А.М. Синтез и строение 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновой кислоты // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2026. Т. 16. N 2. С. 304–308. DOI: 10.21285/achb.1036. EDN: MCUIIQ.

BRIEF COMMUNICATION

Synthesis and structural characterization of 7-hydroxy-4-(naphthalen-2-yl)quinoline-2-carboxylic acid

Elena A. Kunavina[✉], Tatyana V. Levenets,
Tatyana A. Tkacheva, Andrey M. Brezhnev

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

Abstract. This study examines a tandem heterocyclization of azines using carbonyl compounds and 3-aminophenol, which affords a potentially bioactive heterocycle. Condensation of equimolar amounts of 2-acetonaphthone with

dibutyl oxalate in the presence of sodium, followed by treatment of the reaction mixture with acetic acid and subsequent addition of 3-aminophenol, enabled the preparative-scale synthesis of a new 7-hydroxy-4-(2'-naphthyl)quinoline-2-carboxylic acid. The structure of the isolated compound was confirmed by infrared spectroscopy, ^1H and ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy, and high-resolution mass spectrometry. Interpretation of the infrared spectrum revealed broadened, intense absorption bands attributable to the phenolic O-H group and the hydroxyl group of the carboxyl moiety, along with a characteristic C=O stretching band. The ^1H nuclear magnetic resonance spectrum recorded in deuterated dimethyl sulfoxide ($\text{DMSO}-d_6$) exhibited the expected multiplet, doublet, and singlet resonances of the aromatic protons. A downfield broadened singlet corresponded to the protons of the phenolic and carboxylic hydroxyl groups. The ^{13}C nuclear magnetic resonance spectrum in deuterated dimethyl sulfoxide ($\text{DMSO}-d_6$) revealed downfield signals for the carboxyl carbon (COOH) and the C7-OH carbon. Electrospray ionization mass spectrometry (in acetonitrile containing a small amount of dimethyl sulfoxide) corroborated the proposed structure, showing the $[\text{M}+\text{H}]^+$ and $[\text{M}+\text{Na}]^+$ ions. The developed approach allows structurally diverse, potentially bioactive 4,7-disubstituted quinoline-2-carboxylic acids to be synthesized by varying the starting methyl ketones and nucleophiles.

Keywords: tandem heterocyclization, dibutyl oxalate, 4,7-disubstituted quinoline-2-carboxylic acids, 3-aminophenol, methyl ketones

Funding. The work was supported by the budget of the Orenburg State University. No additional grants were received for the conduct or supervision of this study.

For citation: Kunavina E.A., Levenets T.V., Tkacheva T.A., Brezhnev A.M. Synthesis and structural characterization of 7-hydroxy-4-(naphthalen-2-yl)quinoline-2-carboxylic acid. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2026;16(2):304-308. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.1036. EDN: MCUIIQ.

ВВЕДЕНИЕ

Создание новых биологически активных соединений – одно из приоритетных направлений современной органической химии. Одновременно с этим важной задачей является разработка технологически эффективных способов, позволяющих сократить число стадий проведения реакции, необходимых для получения целевых продуктов. К таким методам относятся tandemные одnoreакторные конденсации на основе карбонильных соединений, приводящие к разнообразным по строению азидам с выраженным биологическим действием [1–4]. Одним из перспективных и практически значимых классов азинов, синтезируемых вышеописанным методом, являются производные хинолина ввиду наличия различных видов биологической активности [5–14]. Известно большое количество лекарственных препаратов, содержащих хинолиновое ядро, у многих представителей выявлена антибактериальная [15–20], противовирусная [18, 21, 22], противовоспалительная [23, 24], анальгетическая активность [23], при этом по силе действия они сопоставимы или в некоторых случаях превосходят препараты сравнения [17, 19, 23]. В связи с этим получение новых соединений с хинолиновым фрагментом, потенциально обладающих широким спектром биологической активности при невысокой токсичности, является актуальной задачей.

В настоящей работе с целью синтеза потенциальных биологически активных соединений из ряда хинолин-2-карбоновых кислот изучена мультикомпонентная конденсация с участием карбонильных соединений и 3-аминофенола.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Структурное подтверждение синтезированного соединения **1** – 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновой кислоты – осуществлялось с помощью инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (спектрометр Spectrum Two, Perkin Elmer Instruments, США, приставка ATR с алмазным кристаллом), а также

спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) (ЯМР Фурье-спектрометр Bruker Avance II, 400 МГц, растворитель – дейтерированная форма диметилсульфоксида ($\text{DMSO}-d_6$), внутренний стандарт – тетраметилсилан). Высокоточная масс-спектрометрия (Orbitrap Elite, Bruker Daltonics) с электрораспылительной ионизацией подтвердила молекулярную массу синтезированного соединения **1**, обеспечивая высокую точность определения элементного состава. Мониторинг хода реакции и подтверждение чистоты целевого продукта проводили методом тонкослойной хроматографии (пластинки Silufol UV-254, система растворителей: бензол-диэтиловый эфир-ацетон, 10:9:1, детектирование парами йода), что позволило выявить полное протекание реакции и отсутствие побочных продуктов.

Синтез 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновой кислоты **1** осуществляли следующим образом. К раствору 2-ацетонафтона (2,13 г, 12,5 ммоль) и дибутилоксалата (2,6 мл, 12,5 ммоль) в толуоле (100 мл) порциями при перемешивании добавляли металлический натрий (0,29 г, 12,5 ммоль) и кипятили в течение 1 ч. Затем в реакционную смесь вводили ледяную уксусную кислоту (20 мл) и 3-аминофенол (1,36 г, 12,5 ммоль), после чего кипячение продолжали еще 6 ч. После удаления растворителя смолоподобный продукт растворяли в горячем 15%-м растворе гидроксида калия. После подкисления раствора 15%-й соляной кислотой выпавший осадок подвергался тщательной очистке, включающей промывание горячей водой и 95%-м этанолом для удаления цветных растворимых примесей. Получали целевую хинолинкарбоновую кислоту **1**. Выход: 2,70 г, 68%. $T_{\text{пл.}}$ > 300 °С. Инфракрасный (ИК) спектр, ν , см^{-1} (тв.): 3356 уш. $\nu(\text{C}^7\text{OH}$, ассоц.), 3225 уш. $\nu(\text{OH}$ в COOH , ассоц.), 3057 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{H})$, 1621 $\nu(\text{C}=\text{O})$, 1597, 1505 $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{C}_{\text{Ar}})$, 1428 $\delta(\text{O}-\text{H})$, 1319 $\nu(\text{C}-\text{O})$, 1131 $\delta_{\text{плоские}}(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{H})$, 889, 860, 814, 746, 687 $\delta_{\text{неплоские}}(\text{C}_{\text{Ar}}-\text{H})$. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д. ($\text{DMSO}-d_6$): 7,28 д (1H, C^6H , J_{HH} 9,4 Гц), 7,44 с (1H, C^8H), 7,60 м (3H, C^5H , C^6H и C^7H в C_{10}H_7), 8,09 д (1H, C^4H , J_{HH} 8,7 Гц), 8,16 м

(1H, C⁸H), 8,41 с (1H, C¹H в C₁₀H₇), 8,47 д (1H, C⁵H в C₁₀H₇, J_{HH} 8,6 Гц), 8,53 д (1H, C³H в C₁₀H₇, J_{HH} 9,3 Гц), 8,84 с (1H, C³H), 10,40 уш. с (1H, C⁷OH и COOH). Спектр ЯМР ¹³C с полным подавлением ССВ с протонами, δ, м.д. (ДМСО-d₆): 110,97 (C⁸H), 116,37 (C^{4a}), 117,85 (C⁶H), 120,60 (C¹H в C₁₀H₇), 124,63 (C³H в C₁₀H₇), 126,69 (C⁶H в C₁₀H₇), 126,91 (C⁷H в C₁₀H₇), 127,21 (C⁵H в C₁₀H₇), 127,70 (C⁴H в C₁₀H₇), 128,54 (C⁸H в C₁₀H₇), 129,01 (C⁵H), 129,78 (C^{4a} в C₁₀H₇), 133,24 (C³H), 133,70 (C^{8a} в C₁₀H₇), 135,72 (C² в C₁₀H₇), 144,48 (C²), 150,71 (C⁴), 155,89 (C^{8a}), 159,12 (C⁷OH), 168,04 (COOH). Найдено: m/z 316,0970 [M+H]⁺, 338,0784 [M+Na]⁺. Вычислено для C₂₀H₁₄NO₃⁺: 316,0968, для C₂₀H₁₃NO₃Na⁺: 338,0788.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Синтез 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновой кислоты **1** осуществлен методом конденсации 2-ацетонафта на с дибутилоксалатом в присутствии металлического натрия с последующим введением 3-аминофенола в условиях кислотного катализа (рисунок).

Строение синтезированной 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновой кислоты подтверждено комплексом спектроскопических характеристик. Анализ ИК-спектра твердого образца выявил широкие, интенсивные полосы поглощения в диапазоне 3225–3356 см⁻¹, характерные для фенольного гидроксила и карбоксильной группы. Наличие интенсивной полосы поглощения при 1621 см⁻¹ свидетельствует о карбонильной группе. Относительно низкочастотное положение этих полос подтверждает образование межмолекулярных водородных связей. Колебания скелетных углерод-углеродных связей ароматических колец идентифицированы по поглощению при 1597 и 1505 см⁻¹.

В спектре ЯМР ¹H соединения **1**, записанном в растворе ДМСО-d₆, присутствуют мультиплетные и дублетные сигналы ароматических протонов в области 7,28–8,53 м.д. и синглетный сигнал метинового протона C¹H нафтильного фрагмента при 8,41 м.д. В слабopольной области вслед-

ствие быстрого межмолекулярного обмена наблюдается единственный уширенный синглетный сигнал протонов фенольной и карбоксильной гидроксигрупп при 10,40 м.д. Наличие в спектре отдельных синглетных сигналов протонов в положениях C⁸ и C³ при химических сдвигах 7,44 и 8,84 м.д. соответственно недвусмысленно подтверждает наличие 2,4,7-тризамещенного хинолинового ядра и исключает альтернативные структурные варианты. Стоит отметить, что в слабopольной области отсутствуют сигналы алифатических протонов бутоксифрагмента, следовательно, в качестве продукта гетероциклизации образуется именно кислота **1**, а не ее сложный эфир **2**. Вероятно, в среде уксусной кислоты происходит кислотный гидролиз эфира **2** замещенной хинальдиновой кислоты или интермедиатов **A** и **B** – таутомерных енамино- и иминоэфиров – с участием воды, побочно выделяющейся на стадии нуклеофильного присоединения аминогруппы 3-аминофенола к карбонильной группе C(2)=O ацилирувата, который промежуточно образуется при подкислении реакционной смеси. Помимо этого вода выделяется и на стадии замыкания хинолинового кольца и также способствует кислотному гидролизу.

Спектр ЯМР ¹³C кислоты **1**, зарегистрированный в растворе ДМСО-d₆, характеризуется наличием в слабopольной области двух сигналов при 168,04 и 159,12 м.д., относимых к карбоксильной группе (COOH) и атому углерода C⁷, связанному с фенольным гидроксильом, соответственно. Сигналы атомов углерода C⁸ и C⁶, расположенные в орто-положениях к фенольной гидроксильной группе, наблюдаются в более высокопольном диапазоне при 110,97 и 117,85 м.д. соответственно, что согласуется с эффектом электронодонорной мезомерии фенольного заместителя.

Масс-спектрометрия высокого разрешения соединения **1**, полученная методом электрораспылительной ионизации в смеси ацетонитрила и ДМСО, выявила пики, соответствующие протонированной [M+H]⁺ и натрий-катионированной [M+Na]⁺ формам молекулы.

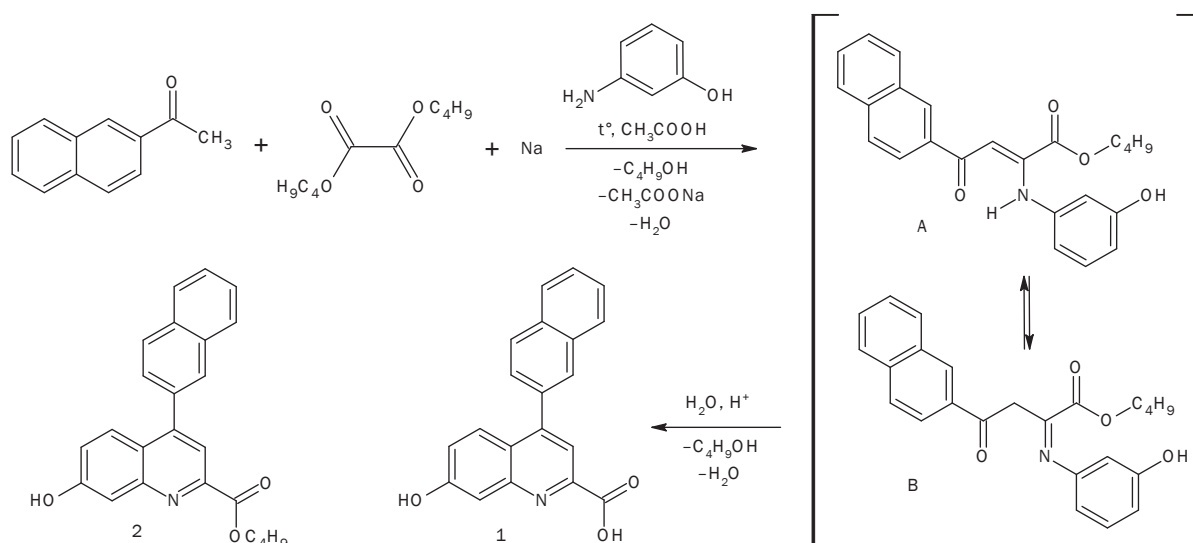


Схема синтеза 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновой кислоты

Scheme for the synthesis of 7-hydroxy-4-(2'-naphthyl)quinoline-2-carboxylic acid

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, конденсацией 2-ацетонафта с дибутилоксалатом в присутствии металлического натрия с последующей циклизацией с 3-аминофенолом в уксуснокислой среде нами получена новая 7-гидрокси-4-(2'-нафтил)хинолин-2-карбоновая кислота. Строение синтезированного соединения подтверждено с исполь-

зованием методов ИК, ЯМР ^1H , ЯМР ^{13}C спектроскопии и масс-спектрометрии высокого разрешения. Представленная tandemная гетероциклизация является эффективным препаративным способом синтеза широкого ряда 4,7-дизамещенных хиналидиновых кислот, потенциально обладающих биологической активностью.

REFERENCES

1. Gao P.-S., Pan C.-W., Sui Y., Ye H.-X., Liu C., Liu D.-S., et al. Synthesis of highly functionalized dihydroquinolinones via a tandem benzylation/intramolecular C–N coupling strategy. *Tetrahedron*. 2024;155:133865. DOI: 10.1016/j.tet.2024.133865.
2. Fallahnezhad M., Ghandi M., Rahimi S., Abbasi A. KOTBu-catalyzed protocol for the post-ugi synthesis of spiro- γ -lactam-pyrrolo[2,3-*b*]quinoline derivatives in one-pot. *Tetrahedron*. 2023;140:133452. DOI: 10.1016/j.tet.2023.133452.
3. Kumar R., Acharya S.S., Bhaumick P., Parvin T., Choudhury L.H. HFIP-mediated multicomponent reactions for the synthesis of fluorescent quinoline-fused pyrroles. *Tetrahedron*. 2023;132:133250. DOI: 10.1016/j.tet.2023.133250.
4. Rizbayeva T.S., Smolobochkin A.V., Gazizov A.S., Syakaev V.V., Burilov A.R., Pudovik M.A. One-Pot synthesis of 2,3-disubstituted quinolines based on acetals and anilines. *Russian Journal of General Chemistry*. 2024;94(6):1247-1250. DOI: 10.1134/S1070363224060045.
5. Efimova J., Shetnev A., Korsakov M., Petersen E., Petzer A., Petzer J.P. Synthesis and monoamine oxidase inhibition properties of (sulfamoylphenyl)quinoline-4-carboxylic acids. *Russian Journal of General Chemistry*. 2024;94(10):2593-2602. DOI: 10.1134/S1070363224100049.
6. Al-Hazmi G.H. Synthesis and cytotoxicity screening of some novel 1-substituted 2-oxo-1*H*-quinoline-3-carboxylic acid derivatives against breast carcinoma cell line. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2022;58(3):433-438. DOI: 10.1134/S1070428022030241.
7. Tosun M., Uysal A., Kursunlu A.N., Guler E. A new family of macrocyclic antibiotics based-on Pillar[5]arene concluding multi quinoline moieties. *Tetrahedron*. 2024;151:133812. DOI: 10.1016/j.tet.2023.133812.
8. Madhvi, Utreja D., Kalia A. Efficient *p*-toluenesulfonic acid-catalyzed synthesis of 5-aryl-5,10-dihydropyrimido[4,5-*b*]quinoline-2,4(1*H*,3*H*)-diones and their antimicrobial activity. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2022;58(9):1327-1335. DOI: 10.1134/S1070428022090196.
9. Al-Oudat B.A., Abu Al Fool B.S., Audat S.A., Al-Shar'i N.A., Al-Balas Q.A., Zayed A., et al. Structural optimization and biological evaluation of quinoline/naphthalene-based glyoxalase-I inhibitors as anti-cancer candidates. *Medicinal Chemistry Research*. 2024;33:1897-1913. DOI: 10.1007/s00044-024-03289-x.
10. Sanad M.H., Gomaa N.M., El Bakary N.M., Marzook F.A., Bassem S.A. Radioiodination and biological evaluation of novel quinoline derivative for infective inflammation diagnosis. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2023;57(7):1018-1028. DOI: 10.1007/s11094-023-02979-x.
11. Albayrak F., Çiçek M., Alkaya D., Kulu I. Design, synthesis and biological evaluation of 8-aminoquinoline-1,2,3-triazole hybrid derivatives as potential antimicrobial agents. *Medicinal Chemistry Research*. 2022;31(4):652-665. DOI: 10.1007/s00044-022-02866-2.
12. Omidkhah N., Hadizadeh F., Zarghi A., Ghodsi R. Synthesis, cytotoxicity, Pan-HDAC inhibitory activity and docking study of new *N*-(2-aminophenyl)-2-methylquinoline-4-carboxamide and (*E*)-*N*-(2-aminophenyl)-2-styrylquinoline-4-carboxamide derivatives as anticancer agents. *Medicinal Chemistry Research*. 2023;32(3):506-524. DOI: 10.1007/s00044-023-03018-w.
13. Litim B., Boukhari A., Djahoudi A., Meliani S. Synthesis and potential antimicrobial activity of novel α -aminophosphonates derivatives bearing substituted quinoline or quinolone and thiazole moieties. *Medicinal Chemistry Research*. 2021;31:60-74. DOI: 10.1007/s00044-021-02815-5.
14. Ambatkar M.P., Rarokar N.R., Khedekar P.B. Study of some substituted quinolines as transient receptor potential vanilloid 1 inhibitors by the *in silico* and *in vivo* method. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2024;58(7):1057-1068. DOI: 10.1007/s11094-024-03244-5.
15. Bodke Y.D., Shankarrao S., Kenchappa R., Telkar S. Synthesis, antibacterial and antitubercular activity of novel Schiff bases of 2-(1-benzofuran-2-yl)quinoline-4-carboxylic acid derivatives. *Russian Journal of General Chemistry*. 2017;87(8):1843-1849. DOI: 10.1134/S1070363217080321.
16. Trivedi H.D., Patel B.Y., Patel P.K., Sagar S.R. Quinoline-pyrimidine monoazo dye hybrids: synthesis, catalyst optimization, molecular docking and ADMET studies, biological activity, and dye ability assessment. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2023;59(10):1769-1782. DOI: 10.1134/S1070428023100135.
17. Kassar M.J., Ezzat M.O. Synthesis, characterization and biological activity evaluation of novel quinoline derivatives as antibacterial drug. *Acta Chimica Slovenica*. 2024;71(2):319-324. DOI: 10.17344/acs.2023.8484.
18. Zapol'skii V.A., Krueger B., Kaufmann D.E., Berneburg I., Dillenberger M., Becker K., et al. Chemistry of polyhalogenated nitrobutadienes, 17: Efficient synthesis of persubstituted chloroquinolinyl-1*H*-pyrazoles and evaluation of their antimalarial, anti-SARS-CoV-2, antibacterial, and cytotoxic activities. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*. 2022;18:524-532. DOI: 10.3762/bjoc.18.54.
19. Shui H., Zhong Y., Luo R., Zhang Z., Huang J., Yang P., et al. Cyclometalated iridium complexes-catalyzed acceptorless dehydrogenative coupling reaction: construction of quinoline derivatives and evaluation of their antimicrobial activities. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*. 2022;18:1507-1517. DOI: 10.3762/bjoc.18.159.
20. Ehsaei F., Montazeri N., Zeydi M.M. Synthesis and antimicrobial evaluation of some novel bis-hydroquinoline derivatives. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2024;58(6):935-942. DOI: 10.1007/s11094-024-03226-7.
21. Edwards T.C., Lomonosova E., Patel J.A., Li Q., Villa J.A. Inhibition of hepatitis B virus replication by *N*-hydroxyisoquinolinediones and related polyoxygenated heterocycles. *Antiviral Research*. 2017;143:205-217. DOI: 10.1016/j.antiviral.2017.04.012.

22. Persoons L., Vanderlinden E., Vangeel L., Wang X., Do N.D.T., Foo S.Y.C., et al. Broad spectrum anti-coronavirus activity of a series of anti-malaria quinoline analogues. *Antiviral Research*. 2021;193:105127. DOI: 10.1016/j.antiviral.2021.105127.

23. Boyarshinov V.D., Mikhalev A.I., Yushkova T.A., Ukhov S.V., Kon'shina T.M. Synthesis and biological activity of quinoline-2-carboxylic acid aryl esters and amides.

Pharmaceutical Chemistry Journal. 2017;51(5):351-354. DOI: 10.1007/s11094-017-1613-4.

24. Basavanna V., Chandramouli M., Kempaiah C., Bhadrach U.K., Chandra, Lingegowda N.S., et al. A new series of 1,3,4-oxadiazole linked quinolinyl-pyrazole/isoxazole derivatives: synthesis and biological activity evaluation. *Russian Journal of General Chemistry*. 2021;91(11):2257-2266. DOI: 10.1134/s1070363221110128.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кунавина Елена Александровна,

к.х.н., доцент, доцент,
Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,
Российская Федерация,
✉ kea20072007@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4668-9782>

Левенец Татьяна Васильевна,

к.х.н., доцент, доцент,
Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,
Российская Федерация,
ltv.2009@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8257-8126>

Ткачева Татьяна Александровна,

к.х.н., доцент,
Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,
Российская Федерация,
ttkacheva@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0002-6611-015X>

Брежнев Андрей Михайлович,

студент,
Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,
Российская Федерация,
brejnevandrej@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-6434-1607>

Вклад авторов

Е.А. Кунавина – разработка концепции, научное руководство, написание черновика рукописи.
Т.В. Левенец – курирование данных.
Т.А. Ткачева – редактирование рукописи.
А.М. Брежнев – проведение исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 07.07.2025.
Одобрена после рецензирования 11.10.2025.
Принята к публикации 06.05.2026.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Kunavina,

Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Associate Professor,
Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018,
Russian Federation,
✉ kea20072007@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4668-9782>

Tatyana V. Levenets,

Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Associate Professor,
Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018,
Russian Federation,
ltv.2009@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8257-8126>

Tatyana A. Tkacheva,

Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018,
Russian Federation,
ttkacheva@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0002-6611-015X>

Andrey M. Brezhnev,

Student,
Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018,
Russian Federation,
brejnevandrej@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-6434-1607>

Contribution of the authors

Elena A. Kunavina – conceptualization, supervision, writing – original draft.
Tatyana V. Levenets – data curation.
Tatyana A. Tkacheva – editing.
Andrey M. Brezhnev – investigation.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 07.07.2025.
Approved after reviewing 11.10.2025.
Accepted for publication 06.05.2026.