



Научная статья

УДК 547.793

DOI: 10.52957/2782-1900-2026-7-2-08-15

СИНТЕЗ, ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА *N*-(2'-АМИНОАРИЛ)ЗАМЕЩЕННЫХ 1,2,4-ОКСАДИАЗОЛ-5(4*H*)-ОНОВ

А.А. Шетнев¹, А.С. Константинова², А.А. Романычева¹, С.В. Байков¹,
А.М. Силин², П.Н. Калашников², С.И. Ивановский², М.К. Корсаков¹

Шетнев Антон Андреевич, канд. хим. наук, ст. научный сотрудник; Константинова Анна Сергеевна, научный сотрудник; Романычева Анна Александровна, научный сотрудник; Байков Сергей Валентинович, ст. научный сотрудник; Силин Александр Маркович, студент; Калашников Павел Николаевич, студент; Ивановский Сергей Александрович, старший научный сотрудник; Корсаков Михаил Константинович, ведущий научный сотрудник.

¹ФГБОУ ВО «Санкт Петербургский государственный университет», Институт химии, 198504, Санкт-Петербург, Петергоф, Университетский проспект, дом 26, a.shetnev@spbu.ru

²ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского», 150066, Ярославская область, г. Ярославль, ул. Республиканская, д. 108/1

Ключевые слова: оксадиазол-5(4*H*)-он, восстановление, хлорид олова (II), антибактериальная активность, флуоресценция

Аннотация. Синтезирован ряд из восьми новых 2'-аминоарилоксадиазол-5(4*H*)-оносов по реакции восстановления соответствующих нитропроизводных хлоридом олова (II). Изучены антибактериальные и флуоресцентные свойства производных. Найдено соединение с умеренной антибактериальной активностью в отношении чувствительного штамма грамположительной бактерии *Staphylococcus aureus* ATCC-25923 (3-амино-4-(3-(3,4-дихлорфенил)-5-оксо-1,2,4-оксадиазол-4(5*H*)-ил)-бензонитрил, МИК 64 мкг/мл). Соединения продемонстрировали слабые флуоресцентные свойства при облучении светом $\lambda = 355$ нм.

Для цитирования:

Шетнев А.А., Константинова А.С., Романычева А.А., Байков С.В., Силин А.М., Калашников П.Н., Ивановский С.И., Корсаков М.К. Синтез, флуоресцентные и антибактериальные свойства *N*-(2'-аминоарил)замещенных 1,2,4-оксадиазол-5(4*H*)-оносов // От химии к технологии шаг за шагом. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 8-15. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/7273/view>

Введение

1,2,4-Оксадиазол-5(4*H*)-оны – один из важных классов органических соединений, благодаря своей структурной схожести с амидной и сложноэфирной группами и многообразию биологических свойств относят к привилегированным структурам в медицинской химии [1]. На ядре 1,2,4-оксадиазол-5(4*H*)-она базируется антигипертензивное средство – азилсартан, противодиабетический препарат алениглипрон, находящийся на 2 фазе клинических испытаний [2].



Актуальным является исследование ряда данных соединений в качестве антибактериальных [3], противовирусных [4], противовоспалительных и нейроактивных [5] агентов.

Производные 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-она могут быть получены разнообразными методами, ведущую роль среди которых играют реакции циклизации амидоксимов с C1-электрофильными реагентами (КДИ, хлорформиаты, карбодиимиды) [6-9]. Классический подход с O-ацилированием и циклодегидратацией остаётся наиболее универсальным, причём современные модификации позволяют проводить эти превращения очень эффективно (суперосновные системы, микроволновое облучение) [10, 11].

Применительно к реакциям функционализации 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-онов нами ранее был предложен каталитический метод N-арилрования NH-кислот ряда 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-онов и 1,3,4-оксадиазол-2(3H)-онов с использованием симметричных и несимметричных диарилиодониевых солей в присутствии CuI в качестве катализатора [12]. Кроме того, были исследованы варианты некаталитического N-арилрования 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-онов в условиях классического активированного ароматического нуклеофильного замещения [13].

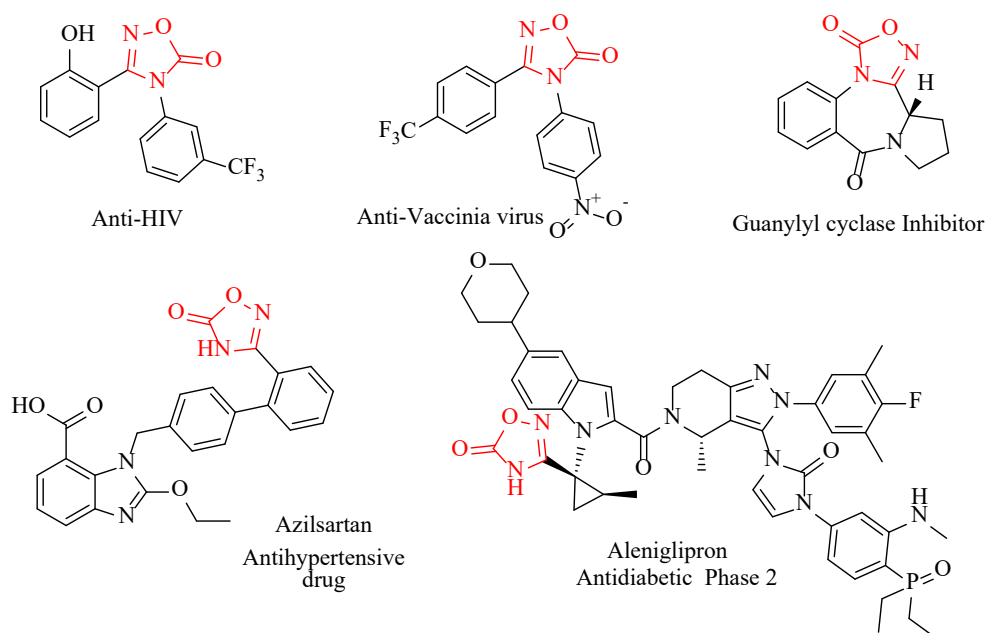


Рис. 1. Примеры биологически-активных соединений класса 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-онов.

С целью расширения химического пространства доступных оксадиазол-5(4H)-онов в настоящей работе проведен синтез ариламинопроводных и исследование их антибактериальных и фотофизических свойств.

Основная часть

Были исследованы возможности по восстановлению синтезированных ранее нитроарилпроизводных 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-онов **1** [13] (Рис.2).

Сложность заключалась в поиске путей селективного превращения нитрогруппы в аминопроводные без разрушения лабильного в восстановительных условиях оксадиазолонового цикла. Было показано, что использование каталитических методов



гидрирования H_2 на 5-10% Pd/C приводит предположительно к раскрытию цикла и получению смеси линейных амидиновых структур.

В то же время установлено, что использование в качестве восстановителя хлорида олова(II) в смеси соляная кислота – этанол по методу, близкому к литературным источникам [14, 15] приводит к селективному восстановлению нитрогруппы нитроарилпроизводных 1,2,4-оксадиазол-5(4*H*)-онов без затрагивания гетероциклического ядра.

Возможности применения данного подхода продемонстрированы в ходе синтеза 8-ми аминопроизводных **2** (Рис. 2).

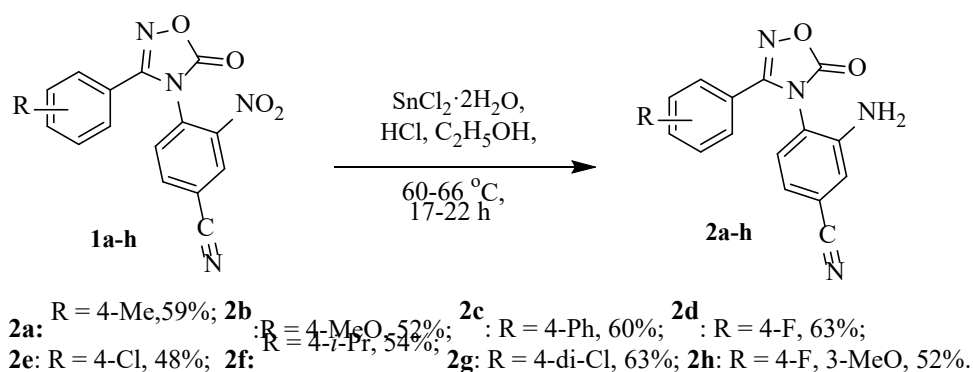


Рис. 2. Схема синтеза и выходы *N*-(2'-аминоарил)замещенных 1,2,4-оксадиазол-5(4*H*)-онов.

Предложенная методика обеспечивала умеренные 48-63%-ные выходы продуктов высокой чистоты без дополнительной очистки.

Фотофизические свойства. Для семи полученных соединений **2b-2h** были записаны спектры флуоресценции растворов при облучении светом длиной волны $\lambda_{\text{ex}} = 355$ нм (Рис.3).

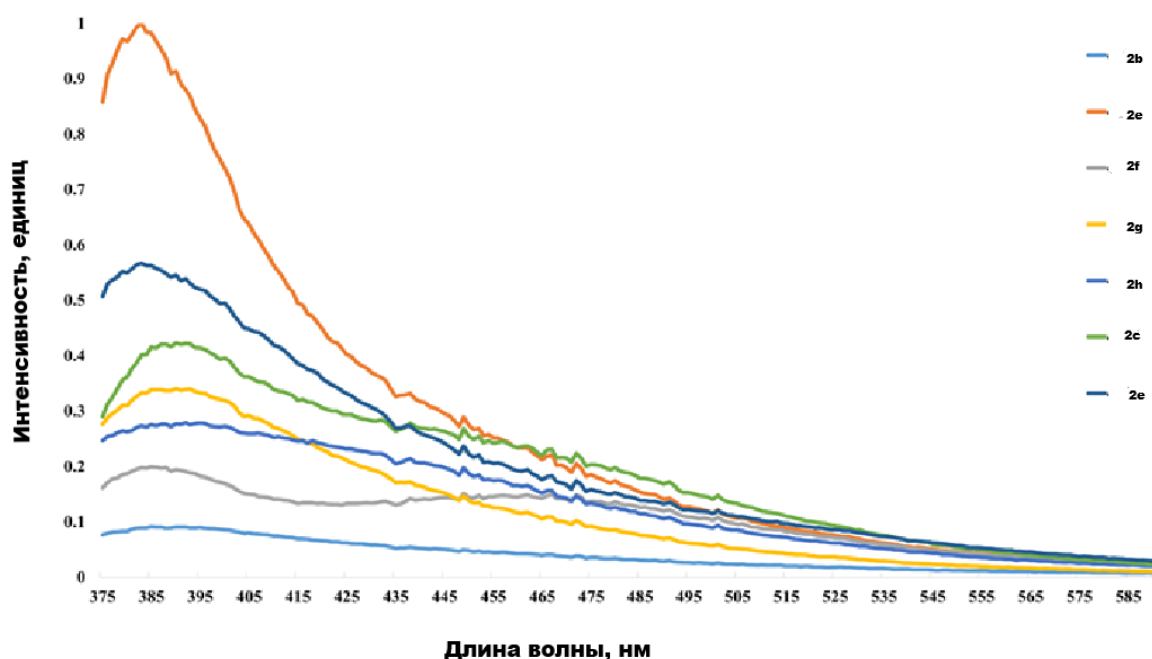


Рис. 3. Спектры флуоресценции метанольных растворов соединений **2b-2h**.



Таблица 1. Фотофизические свойства *N*-(2'-аминоарил)замещенных 1,2,4-оксадиазол-5(4*H*)-онов при облучении светом $\lambda_{\text{ex}} = 355$ нм

ID	R	$\lambda_{\text{em}}^{\text{max}}$	Φ_{em}	τ_{obs}
2b	4-MeO	395	0.88%	0.155
2c	H	394	1.43%	0.114
2d	4-F	394	0.32%	0.107
2d	4-F	460	0.32%	0.144
2e	4-Cl	395	0.11%	0.108
2f	4- <i>i</i> Pr	395	0.41%	0.118
2g	3,4-di-Cl	395	0.56%	0.13
2h	3-F, 3-MeO	393	1.02%	0.165

Установлено, что все протестированные соединения проявили умеренные флуоресцентные свойства. Квантовые выходы флуоресценции (Φ_{em}) находятся в диапазоне 0.11–1.43%, что характерно для соединений с эффективными безизлучательными процессами (например, внутренняя конверсия, интеркомбинационная конверсия в триплетное состояние). Максимальный квантовый выход наблюдается для **2c** (R = H, 1.43%) и **2h** (R = 3-F, 3-OMe, 1.02%). Показано, что положение максимума эмиссии ($\lambda_{\text{em}}^{\text{max}}$) слабо зависит от заместителя R. Для всех соединений, за исключением **2d** (второй пик при 460 нм), эмиссия лежит в узкой области **393–395 нм**. Это указывает на то, что эмиссия, вероятно, исходит из одного и того же хромофорного фрагмента (1,2,4-оксадиазол-5(4*H*)-она, сопряжённого с ариламиногруппой). В основном состоянии и в возбуждённом синглетном состоянии заместители в *пара*- или *мета*-положениях арильного кольца не вызывают значимого сольватохромного или индуктивного сдвига. Соединение **2d** демонстрирует два эмиссионных пика с одинаковым квантовым выходом (0.32%) и длиной волны 394 нм, характерной для всех исследованных соединений и батохромно-сдвинутую полосу 460 нм. Наблюдаемые времена жизни (τ_{obs}) находятся в наносекундном диапазоне (0.1–0.17 нс) и характерны для флуоресценции с небольшой стоксовой потерей и высокой скоростью безизлучательной дезактивации ($k_{\text{nr}} \gg k_{\text{r}}$). Стоит отметить, что наибольшее τ_{obs} наблюдается у соединения **2h** (3-F, 4-OMe 0.165 нс), которое также имеет повышенный Φ_{em} , и объясняется подавлением вращения аминогруппы *мета*-заместителем. Наименьшее τ_{obs} наблюдается у **2e** (Cl, 0.108 нс) с минимальным Φ_{em} , что связано с наличием “тяжелого” атома хлора, усиливающего спин-орбитальное взаимодействие.

Антибактериальная активность. Полученная серия была протестирована на наличие антибактериальной активности методом двойных серийных разведений с использованием турбидиметрического контроля роста микроорганизмов [16]. В качестве тест-объектов был выбран релевантный штамм грамм-положительных бактерий *Staphylococcus aureus* ATCC-25923 и *Escherichia coli* C1 в качестве представителя грамм-отрицательных микроорганизмов. На основании полученных данных по определению минимальной ингибирующей концентрации (МИК) для серии *N*-(2'-аминоарил)замещенных 1,2,4-оксадиазол-5(4*H*)-онов можно зафиксировать отсутствие широкого спектра действия. Большинство исследованных соединений (**2a–2f**, **2h**)



не проявили антибактериальной активности ни в отношении грамположительного *S. aureus* ATCC-25923, ни в отношении грамотрицательного *E. coli* C1 вплоть до максимальной протестированной концентрации 256 мкг/мл. Только одно соединение – **2g** (с 3,4-дихлорфенильным заместителем) – показало измеримую активность в отношении *S. aureus* (МИК = 64 мкг/мл), что классифицируется как умеренное или слабое ингибирование роста. В отношении *E. coli* данное соединение также было неактивно (МИК > 256 мкг/мл). Ни одно из соединений серии не подавляло рост *E. coli* C1 в исследованном диапазоне концентраций, что может свидетельствовать о низкой проницаемости соединений через внешнюю мембрану грамотрицательных бактерий.

Экспериментальная часть

В работе были использованы коммерчески доступные реактивы фирмы Maclin, Arcos и Химмед. Тонкослойная хроматография осуществлялась на пластинках «Sorbfil ПТСХ-П-В-УФ», элюент толуол: ацетон: петролейный эфир, 60:100:100.

Температуры плавления измерялись с помощью прибора для определения температуры плавления Reach Devices RD-MP (производитель Китай). Спектры ^1H и ^{13}C ЯМР зарегистрированы на спектрометре Varian 400 Unity Plus (производитель США), растворитель: ДМСО- d_6 . В качестве эталона для отсчёта химических сдвигов были выбраны сигналы остаточных протонов растворителя в ^1H ЯМР (δ Н 2.50 м.д.) или ^{13}C ЯМР (δ С 39.5 м.д.), в качестве маркера использовали сигнал тетраметилсилана, форма сигналов с – синглет, д – дублет, т – триплет, дд – дублет дублетов, тд – триплет дублетов, м – мультиплет. Масс-спектры высокого разрешения записаны на приборе Bruker Daltonics MicrOTOF-II (производитель США), метод ионизации – электрораспыление (ESI), температура источника ионизации – 180 °С, элюент – метанол. Исходные соединения **1a–h** были получены по методике [13].

Методика получения N-(2'-аминоарил)замещенных 2a, c-g. В конической колбе смешивали при комнатной температуре N-(2'-нитроарил)производное **1** (300 мг, 1 экв.) и этанол (3 мл). Затем при охлаждении на водяной бане к суспензии порционно прибавляли раствор $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3.5 экв) в концентрированной HCl (0.80 мл). После этого перемешивали реакционную массу при охлаждении на водяной бане в течение 10-15 мин. Далее нагревали реакционную массу до температуры 60-66 °С, выдерживали при заданной температуре в течение 17-22 ч. По истечении указанного времени охлаждали реакционную массу до комнатной температуры. Перемешивали реакционную массу в течение 2.0-2.5 ч при температуре 20-25 °С. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали его на фильтре этанолом 3 раза по 0.5 мл. После этого промывали осадок водой (2 раза по 2 мл), каждый раз тщательно перемешивая осадок на фильтре. Сушили осадок при 50 °С в сушильном шкафу при атмосферном давлении. В случае соединения **2f**, продукт перекристаллизовывали из этанола.

3-Амино-4-(5-оксо-3-(*n*-толил)-1,2,4-оксадиазол-4(5H)-ил)бензонитрил (2a). Выход 0.16 г (59 %), светло-бежевый порошок, т. пл. 225-227 °С. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.30 с (3H, CH_3), 6.30 с (2H, NH_2), 6.89 д (1H, Ar, J 8.1 Гц), 7.10 с (1H, Ar), 7.28 кв (4H, Ar, J 7.9 Гц), 7.36 д (1H, Ar, J 8.1 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 21.64, 114.15, 119.04, 119.30,



120.02, 120.95, 128.16, 130.22, 132.16, 142.70, 147.71, 158.20, 158.44. Масс-спектр, m/z : 293.1031 $[M + H]^+$ (вычислено для $C_{16}H_{13}N_4O_2^+$: 293.1033).

3-Амино-4-(3-(4-метоксифенил)-5-оксо-1,2,4-оксадиазол-4(5H)-ил)бензонитрил (2b). Выход 0.14 г (52 %), бледно-желтый порошок, т. пл. 155–157 °С. Спектр ЯМР 1H , δ , м.д.: 3.76 с (3H, CH_3O), 6.26 с (2H, NH_2), 6.90 д (1H, Ar, J 7.9 Гц), 6.99 д (2H, Ar, J 8.2 Гц), 7.12 с (1H, Ar), 7.35 д (3H, Ar, J 7.9 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 56.06, 114.16, 115.18, 115.76, 119.10, 119.30, 120.12, 129.88, 132.19, 147.74, 158.12, 158.26, 162.49. Масс-спектр, m/z : 309.0985 $[M + H]^+$ (вычислено для $C_{16}H_{13}N_4O_3^+$: 309.0982).

3-Амино-4-(5-оксо-3-фенил-1,2,4-оксадиазол-4(5H)-ил)бензонитрил (2c). Выход 0.17 г (63 %), бледно-желтый порошок, т. пл. 223–225 °С. Спектр ЯМР 1H , δ , м.д.: 6.29 с (2H, NH_2), 6.89 д (1H, Ar, J 8.1 Гц), 7.11 с (1H, Ar), 7.37 д (1H, Ar, J 8.1 Гц), 7.41–7.47 м (4H, Ar), 7.52–7.55 м (1H, Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 114.19, 119.05, 119.32, 119.91, 123.82, 128.26, 129.66, 132.16, 132.56, 147.71, 158.18, 158.43. Масс-спектр, m/z : 279.0875 $[M + H]^+$ (вычислено для $C_{15}H_{11}N_4O_2^+$: 279.0877).

3-Амино-4-(3-(4-фторфенил)-5-оксо-1,2,4-оксадиазол-4(5H)-ил)бензонитрил (2d). Выход 0.17 г (63 %), бледно-желтый порошок, т. пл. 236–238 °С. Спектр ЯМР 1H , δ , м.д.: 6.27 с (2H, NH_2), 6.91 д (1H, Ar, J 8.1 Гц), 7.11 с (1H, Ar), 7.33 т (2H, Ar, J 8.9 Гц), 7.39 д (1H, Ar, J 8.1 Гц), 7.46–7.49 м (2H, Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 114.27, 116.92, 117.15, 119.08 д (J 5.7 Гц), 119.39, 119.67, 120.35, 130.99 д (J 9.2 Гц), 132.16, 147.66, 157.70, 158.11, 163.38, 165.87. Масс-спектр, m/z : 297.0781 $[M + H]^+$ (вычислено для $C_{15}H_{10}FN_4O_2^+$: 297.0782).

3-Амино-4-(3-(4-хлорфенил)-5-оксо-1,2,4-оксадиазол-4(5H)-ил)бензонитрил (2e). Выход 0.13 г (48 %), бледно-желтый порошок, т. пл. 204–206 °С. Спектр ЯМР 1H , δ , м.д.: 6.27 (2H, NH_2), 6.91 д (1H, Ar, J 8.1 Гц), 7.10 с (1H, Ar), 7.38–7.43 м (3H, Ar), 7.55 д (2H, Ar, J 8.2 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 114.29, 119.10 д (J 7.6 Гц), 119.41, 119.58, 122.67, 129.96, 130.10, 132.12, 137.57, 147.57 д (J 6.7 Гц), 157.65, 158.07. Масс-спектр, m/z : 313.0490 $[M + H]^+$ (вычислено для $C_{15}H_{10}ClN_4O_2^+$: 313.0487).

3-Амино-4-(3-(4-изопропилфенил)-5-оксо-1,2,4-оксадиазол-4(5H)-ил)бензонитрил (2f). Выход 0.12 г (54 %), бледно-желтый порошок, т. пл. 186–188 °С. Спектр ЯМР 1H , δ , м.д.: 1.15 с (3H, CH_3), 1.17 с (3H, CH_3), 2.89 п (пентет) (1H, CH, J 6.9 Гц), 6.28 с (2H, NH_2), 6.90 дд (1H, Ar, J 8.1, 1.4 Гц), 7.12 с (1H, Ar), 7.31–7.38 м (5H, Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 24.06 д (J 4.7 Гц), 33.99, 114.22, 119.09, 119.31, 120.08, 121.30, 127.68, 128.18, 132.20, 147.73, 153.24, 158.27. Масс-спектр, m/z : 321.1349 $[M + H]^+$ (вычислено для $C_{18}H_{17}N_4O_2^+$: 321.1346).

3-Амино-4-(3-(3,4-дихлорфенил)-5-оксо-1,2,4-оксадиазол-4(5H)-ил)бензонитрил (2g). Выход 0.17 г (63 %), бледно-желтый порошок, т. пл. 278–280 °С (разл.). Спектр ЯМР 1H , δ , м.д.: 6.29 с (2H, NH_2), 6.95 (1H, Ar, J 8.1 Гц), 7.12 с (1H, Ar), 7.35 д (1H, Ar, J 8.5 Гц), 7.44 д (1H, Ar, J 8.0 Гц), 7.65 с (1H, Ar), 7.77 д (1H, Ar, J 8.4 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м.д.: 114.45, 118.99, 119.26, 119.49, 124.23, 128.40, 130.14, 132.12, 132.25, 132.54, 135.74, 147.57, 156.70, 157.94. Масс-спектр, m/z : 347.0099 $[M + H]^+$ (вычислено для $C_{15}H_9Cl_2N_4O_2^+$: 347.0097).



3-Амино-4-(3-(3-фтор-4-метоксифенил)-5-оксо-1,2,4-оксадиазол-4(5H)-ил)бензонитрил (2h). Выход 0.14 г (52 %), бледно-желтый порошок, т. пл. 223–225 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м.д.: 3.85 с (3H, CH₃O), 6.30 с (2H, NH₂), 6.93 д (1H, Ar, J 8.1 Гц), 7.13 с (1H, Ar), 7.17 д (1H, Ar, J 8.8 Гц), 7.24–7.28 м (2H, Ar), 7.40 д (1H, Ar, J 8.1 Гц). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м.д.: 56.91, 114.33, 115.01, 115.54, 115.83–115.90 м, 119.05, 119.29 д (18.3 Гц), 119.80, 125.52, 132.20, 147.72, 150.33, 150.68 д (J 10.0 Гц), 152.78, 157.24, 158.15. Масс-спектр, m/z: 327.0886 [M + H]⁺ (вычислено для C₁₆H₁₂FN₄O₃⁺: 327.0888).

Заключение

Разработана методика синтеза *N*-(2'-аминоарил)замещенных 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-онов из соответствующих нитропроизводных, обеспечивающая 48-63%-ные выходы целевых продуктов. Полученные *N*-(2'-аминоарил)замещённые 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-оны при возбуждении светом с длиной волны 355 нм демонстрировали свойства слабых флуорофоров ($\Phi_{em} < 1.5\%$ и $\tau < 0.2$ нс) и могут рассматриваться как потенциальные лабильные флуоресцентные метки. Соединение **2d** заслуживает отдельного теоретического расчёта для объяснения двойной эмиссии в спектре. Соединение **2g** показало антимикробную активность против чувствительного штамма *S. aureus* (МИК 64 мкг/мл) и может быть рассмотрено как стартовое соединение для разработки нового антибактериального хемотипа на основе производных *N*-арил 1,2,4-оксадиазол-5(4H)-оновых.

Финансовая поддержка

Работа выполнена при поддержке гранта СПбГУ № 126022017742-6.

Список источников

1. Pace A., Pierro P. The new era of 1,2,4-oxadiazoles. *Org. Biomol. Chem.*, 2009, 7(21), 4337. DOI: 10.1039/b908937c
2. Mao T., Meng Q., Zhang H., Zhang J.J., Shi S., Guan Z., Jiang X., Zhang F., Lei H., Lin X. 760-P: Discovery of GSK-1290, a Highly Potent, Orally Available, Novel Small Molecule GLP-1 Receptor Agonist. *Diabetes*, 2023, 72, 760-P. DOI: 10.2337/db23-760-P
3. Ohmoto K., Okuma M., Yamamoto T., Kijima H., Sekioka T., Kitagawa K., Yamamoto S., Tanaka K., Kawabata K., Sakata A., Imawaka H., Nakai H., Toda M. Design and Synthesis of New Orally Active Inhibitors of Human Neutrophil Elastase. *Bioorg. Med. Chem.*, 2001, 9, 1307–1323. DOI: 10.1016/s0968-0896(01)00007-4
4. Semenov A. V., Baykov S. V., Soldatova N. S., Geyl K. K., Shetnev A. A., Boyarskiy V. P., Postnikov P. S. Expanding the antiviral arsenal: *N*-arylated 1, 2, 4-oxadiazol-5 (4H)-ones show high activity against orthopoxviruses. *Eur. J. Med. Chem.*, 2025, 118124. DOI: 10.1016/j.ejmech.2025.118124
5. Kumar R., Yadav R. K., Mazumder A., Salahuddin, Kukreti N., Singh H., Khan F., Singh S. K. Insights into adopted synthetic approaches for 1,2,4-oxadiazoles: A review. *Synth. Commun.*, 2023, 53(21), 1761–1783. DOI: 10.1080/00397911.2023.2256008
6. Deegan T. L., Nitz T. J., Cebzanov D., Pufko D. E., Porco J. A. Jr. Parallel synthesis of 1,2,4-oxadiazoles using CDI activation. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 1999, 9(2), 209–212. DOI: 10.1016/s0960-894x(98)00712-4
7. Ispikoudi M., Litinas K.E., Fylaktakidou K.C. A Convenient Synthesis of 5-Amino-Substituted 1,2,4-Oxadiazole Derivatives via Reactions of Amidoximes with Carbodiimides. *Heterocycles*, 2008, 75(6), 1321–1328. DOI: 10.3987/com-08-11340



8. **Neves Filho R. A. W., Bezerra N. M. M., Guedes J. M., Srivastava R. M.** An easy synthesis of 3,5-disubstituted 1,2,4-oxadiazoles from carboxylic acids and arylamidoximes mediated by ethyl chloroformate. *J. Braz. Chem. Soc.*, 2009, 20(7), 1365–1369. DOI: 10.1590/s0103-50532009000700023
9. **Phakhodee W., Duangkamol C., Wiriya, N., Pattarawarapan M.** A convenient one-pot synthesis of N-substituted amidoximes and their application toward 1,2,4-oxadiazol-5-ones. *RSC Adv.*, 2018, 8(67), 38281–38288. DOI: 10.1039/c8ra08207c
10. **Porcheddu A., Cadoni R., De Luca L.** A fast and efficient one-pot microwave assisted synthesis of variously di-substituted 1,2,4-oxadiazoles. *Org. Biomol. Chem.*, 2011, 9(21), 7539. DOI: 10.1039/c1ob06055d
11. **Baykov S.V., Sharonova T., Osipyan A. T., Rozhkov S.S., Shetnev A.A., Smirnov A. V.** A convenient and mild method for 1,2,4-oxadiazole preparation: cyclodehydration of O-acylamidoximes in the superbase system MOH/DMSO. *Tetrahedron Lett.*, 2016, 57(26), 2898–2900. DOI: 10.1016/j.tetlet.2016.05.071
12. **Soldatova N., Semenov A., Geyl K., Baykov S., Shetnev A., Konstantinova A., Korsakov M., Yusubov M., Postnikov P.** Copper-Catalyzed Selective N-Arylation of Oxadiazolones by Diaryliodonium Salts. *Adv. Synth. Catal.*, 2021, 363, 1–12. DOI: 10.1002/adsc.202100426
13. **Konstantinova A.S., Shetnev A.A., Volobueva A.S., Korsakov M.K.** N-Arylation of 1,2,4- and 1,3,4-Oxadiazolones under Activated Aromatic Nucleophilic Substitution Conditions. *Russ. J. Org. Chem.*, 2023, 59, 1874–1883. DOI: 10.1134/S1070428023110052
14. **Shinichi Y., Yamazaki S.** A DFT Study of Reduction of Nitrobenzene to Aniline with SnCl₂ and Hydrochloric Acid. *J. Phys Org Chem.*, 2016, 29(7), 361–367. DOI: 10.1002/poc.3543
15. **Bellamy F.D., Ou K.** Selective Reduction of Aromatic Nitro Compounds with Stannous Chloride in Non Acidic and Non Aqueous Medium. *Tetrahedron Lett.*, 1984, 25(8), 839–842. DOI: 10.1016/s0040-4039(01)80041-1.
16. **Gasilina, O.A., Romanycheva, A.A., Shetnev, A.A. Korsakov M.K.** Synthesis, Antibacterial, and Antimonooxidase Activity of 4-(2-Methyl-1,3-oxazol-5-yl)benzenesulfonamide. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2023, 93, 2749–2755. DOI: 10.1134/S1070363223110038

Поступила в редакцию 29.04.2026

Одобрена после рецензирования 04.06.2026

Принята к опубликованию 08.06.2026