

Циклоконденсация 4-формил-5-хлорпиррол-3-карбоксилатов с ариламинами. Синтез и флуоресцентные свойства пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилатов и их бензо[*f*]аналогов

Алина Н. Грозав^{1*}, Марьяна З. Федорив², Виталий А. Черноус¹, Сергей В. Кемский³, Владислав М. Полищук³, Николай П. Шандура³, Эдуард Б. Русанов³, Михаил В. Вовк³

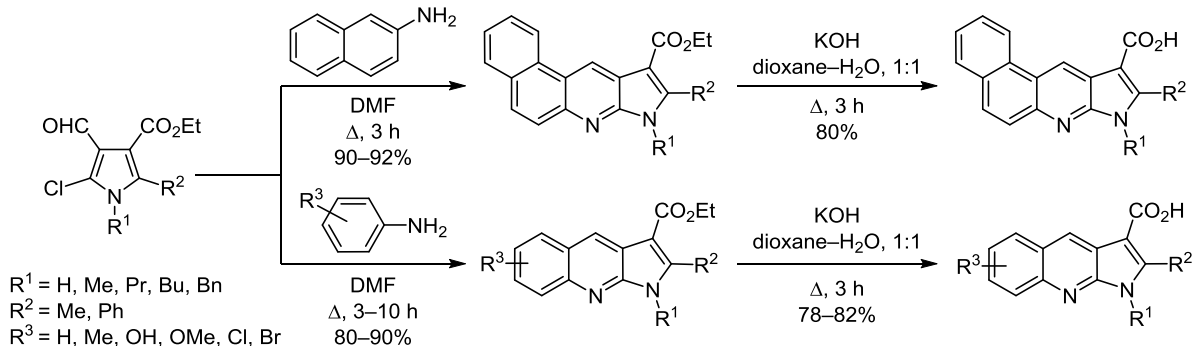
¹ Буковинский государственный медицинский университет, Театральная пл., 2, Черновцы 58000, Украина; e-mail: alinagrozav@gmail.com

² Ивано-Франковский национальный медицинский университет, ул. Галицкая, 2, Ивано-Франковск 76018, Украина; e-mail: marianafedoriv0706@gmail.com

³ Институт органической химии НАН Украины, ул. Мурманская, 5, Киев 02094, Украина; e-mail: mykhaylo.vovk@gmail.com

Поступило 8.07.2021

Принято после доработки 27.08.2021



4-Формил-5-хлорпиррол-3-карбоксилаты взаимодействуют с анилинами или β-нафтиламином при нагревании в кипящем ДМФА с образованием этилпирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилатов или их бензо[*f*]аналогов, которые обладают умеренными флуоресцентными свойствами. Щелочным гидролизом синтезированных карбоксилатов получены соответствующие карбоновые кислоты.

Ключевые слова: ариламины, бензо[*f*]пирроло[2,3-*b*]хинолин-10-карбоксилаты, бензо[*f*]пирроло[2,3-*b*]хинолин-10-карбоновые кислоты, пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилаты, пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоновые кислоты, 4-формил-5-хлорпиррол-3-карбоксилаты, флуоресцентные свойства, циклоконденсация, щелочной гидролиз.

Пирроло[2,3-*b*]хинолиновая система представляет собой ценную молекулярную платформу, которая входит в состав разнообразных фармакологически активных соединений природного и синтетического происхождения. Ее производные идентифицированы в структурах алкалоидов неокриптолепина¹ и перформидина², а также нашли применение при создании таких биоперспективных молекул, как ингибитор миозина II блеббистатин,^{3,4} Р-гликопротеинспецифический модулятор множественной лекарственной устойчивости PGP-4008,^{5,6} ингибиторы линии клеток карциномы простаты DU-145.⁷

Для формирования пирроло[2,3-*b*]хинолинового остова наиболее часто применяют следующие синтетические

подходы: аннелирование пиррольного цикла к разнообразным 2,3-бифункциональным хинолинам,^{8–12} аннелирование хинолинового цикла к 2-пирролидинонам^{5,9,13,14} или производным 2-аминопиррола,^{15–17} каскадные циклизации *орто*-функционализированных

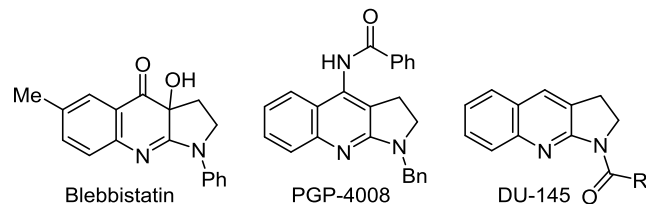


Рисунок 1. Биологически активные производные пирроло[2,3-*b*]хинолина.

N-фенилкарбодиимидов.^{18–21} Однако перечисленные методы, за редким исключением,^{12,16,19} не позволяют получать производные, содержащие заместители в пиррольном фрагменте, что значительно уменьшает возможность их использования в качестве скаффолдов в дальнейших структурных модификациях. По этой причине мы полагали, что весьма продуктивным может быть вариант дизайна пирроло[2,3-*b*]хинолинов на базе полифункциональных пирролов, способных к селективной достройке хинолинового цикла. Удобными объектами для решения такой задачи, по нашему мнению, являются 4-формил-5-хлорпиррол-3-карбоксилаты,^{22,23} альдегидная группа и атом хлора которых уже были успешно использованы для аннелирования тиенильного, бенздиазепаинового и бенз(окса,тио)-азепаинового циклов.

Ранее было показано, что аналоги указанных выше функционализированных пирролов – 1,3-дизамещенные 4-формил-5-хлорпиразолы – при повышенной температуре^{24–27} или в условиях микроволнового облучения²⁸ взаимодействуют с анилинами с образованием пирроло[3,4-*b*]хинолинов – эффективных люминофоров для электролюминесцентных устройств.^{29–31} В связи с этим представлялось обоснованным исследовать в подобной реакции пирролы, содержащие в соседних положениях гетероцикла атом хлора и формильную группу, поскольку положительный результат реакции открывал бы удобный путь к новым производным пирроло[2,3-*b*]хинолина **I**. При этом нельзя было исключить и возможности образования в таком превращении изомерных пирроло[3,2-*c*]хинолинов **II** (рис. 2).

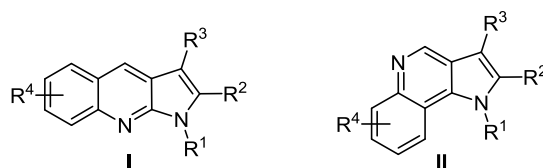
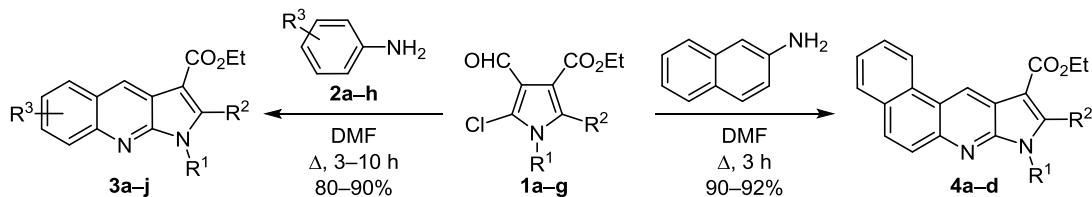


Рисунок 2. Структуры пирроло[2,3-*b*]хинолинов **I** и их изомеров – пирроло[3,2-*c*]хинолинов **II**.

Обнаружено, что, в отличие от 4-формил-5-хлорпиразолов,^{24–27} которые подвергаются циклоконденсации с анилинами при 180–220°C, 4-формил-5-хлорпирролы **1a–g** взаимодействуют при более низкой температуре. Скрининг используемых растворителей (диоксан, толуол, ксилол, ДМФА) показал, что нагревание пирролов **1a–g** с анилинами **2a–d,j,h** в течение 10 ч или с анилинами **2e,f** в течение 3 ч в кипящем ДМФА позволяет с выходами 80–90% синтезировать пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилаты **3a–j** (схема 1). Подобные реакции пирролов **1a–c,e** с β-нафтиламином в аналогичном температурном режиме завершаются в течение 3 ч с образованием бензо[*f*]аннелированных производных **4a–d**.

В первом сообщении,²⁴ посвященном синтезу пирроло[3,4-*b*]хинолинов, предложен механизм их образования, включающий конденсацию анилинов по альдегидной группе 4-формил-5-хлорпиразолов с последующей внутримолекулярной перегруппировкой. В недавно опубликованной работе²⁷ приводится альтернативный механизм реакции, базирующийся на первичном замещении атома хлора на ариламиногруппу с последующим замыканием хинолинового цикла. Нам представ-

Схема 1



1 a R¹ = H, R² = Me; **b** R¹ = H, R² = Ph, **c** R¹ = R² = Me; **d** R¹ = Me, R² = Ph; **e** R¹ = Pr, R² = Me; **f** R¹ = Bu, R² = Me; **g** R¹ = Bn, R² = Me
2 a R³ = H, **b** R³ = 4-Cl, **c** R³ = 4-Br, **d** R³ = 4-Me, **e** R³ = 4-OH, **f** R³ = 4-OMe, **g** R³ = 3-OH, **h** R³ = 3-OMe

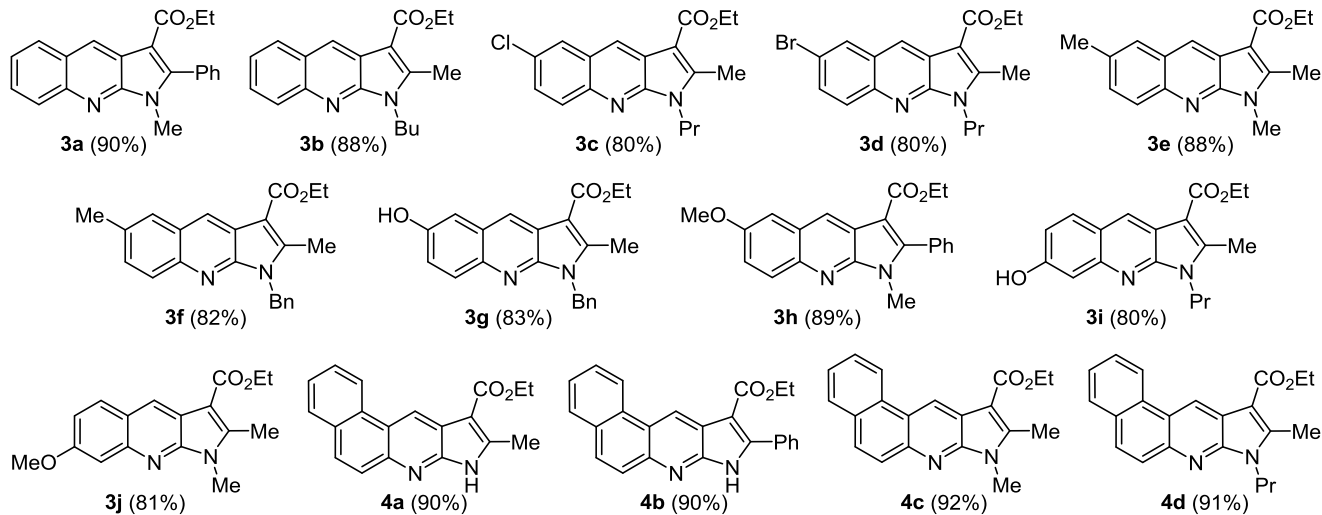
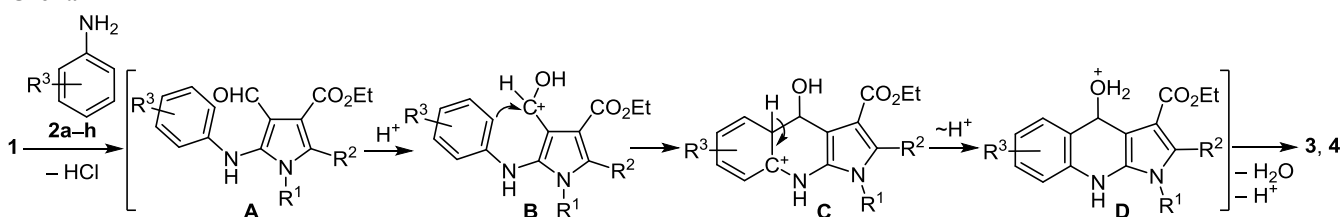


Схема 2



ляется, что такой механизм может реализоваться и в случае 4-формил-5-хлорпиррол-3-карбоксилатов **1** через ключевые интермедиаты **A–D** (схема 2).

Предложенная схема согласуется с обнаруженными фактами более легкого протекания реакции в случае анилинов с сильными донорными заместителями в *para*-положении и β -нафтиламина. Она также объясняет отсутствие взаимодействия в случае *орто*-толуидина и α -нафтиламина, стерические параметры которых затрудняют стадию аминирования положения 5 пирролов **1** и препятствуют образованию промежуточных соединений **A**.

Формирование в процессе циклизации базового хинолинового цикла согласуется с наличием в спектрах ЯМР ^1H продуктов **3a–j** синглетов протонов Н-4 в интервале 8.62–9.62 м. д., а в спектрах ЯМР ^1H их бензоаналогов **4a–d** – синглетов протонов Н-11 в диапазоне 9.69–10.23 м. д. Кроме этого, результат исследования соединения **4c** методом РСА (рис. 3) однозначно подтверждает строение синтезированных пирроло[2,3-*b*]хинолинов.

Молекула соединения **4c** практически планарная, но имеет небольшой изгиб тетрациклической системы. Среднеквадратичное отклонение атомов от плоскости тетрациклической системы составляет только 0.0435 Å, а неводородные атомы группы CO_2Et формируют плоскость со среднеквадратичным отклонением 0.0238 Å и образуют с плоскостью тетрациклической системы

двугранный угол лишь 2.0° . Распределение длин связей и валентных углов обычно для подобных сопряженных гетероциклических систем. Так, длины всех внутрциклических связей C–N лежат в диапазоне 1.320–1.387 Å и имеют значения, промежуточные между стандартными значениями длин одинарной и двойной связей C–N (1.45 и 1.28 Å соответственно), в то время как длина связи N(1)–C(16) 1.455(3) Å имеет значение, обычное для длины одинарной связи C–N.

Для оценки оптических свойств производных пирроло[2,3-*b*]хинолинов **3a–j**, **4a–d** были записаны их спектры поглощения и флуоресценции в MeOH (табл. 1). В спектрах поглощения синтезированных соединений наблюдаются несколько полос. Наиболее длинноволновые максимумы поглощения для соединений **3a–j** проявляются в диапазоне 327–339 нм, а для их бензо[*f*]аналогов **4a–d** – в диапазоне 362–370 нм. В спектрах флуоресценции максимумы излучения локализованы в интервале 368–427 нм, причем максимальный bathochromic сдвиг наблюдается для соединений **3a, h, 4b**, содержащих в положении 2 фенильный заместитель. Значения квантовых выходов флуоресценции для соединений **3a–j** составляют 11.3–26.5% (за исключением соединения **3d**), а для их бензоаналогов **4a–d** – возрастают до 28.5–42.1%. Квантовый выход флуоресценции для соединения **3d** (1.2%) уменьшается, вероятно, вследствие наличия атома брома ("эффект тяжелого атома").³² Полученные данные показывают,

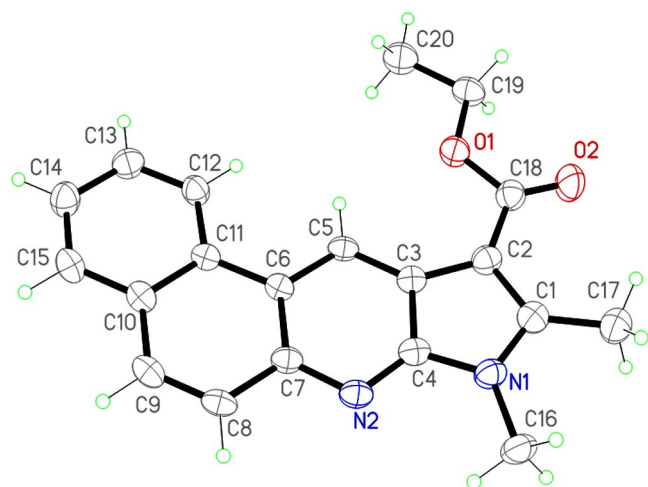


Рисунок 3. Общий вид молекулы соединения **4c** в представлении атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью. Основные геометрические параметры: N(1)–C(1) 1.376(3), N(1)–C(4) 1.387(3), N(2)–C(4) 1.320(3), N(2)–C(7) 1.365(3), C(1)–C(2) 1.389(3), C(2)–C(3) 1.447(3), C(3)–C(4) 1.421(3) Å.

Таблица 1. Оптические свойства соединений **3a–j**, **4a–d** в MeOH

Соединение	λ_{max} * нм	$\lambda_{\text{ем}}$ ** нм	Φ_{f} *** %
3a	330	422	11.3
3b	327	399	15.4
3c	331	410	12.6
3d	331	408	1.2
3e	329	398	14.9
3f	329	395	15.5
3g	332	407	14.5
3h	333	427	13.1
3i	339	400	11.3
3j	339	394	26.5
4a	362	368	28.5
4b	370	410	42.1
4c	363	370	30.1
4d	363	371	31.1

* Максимум поглощения.

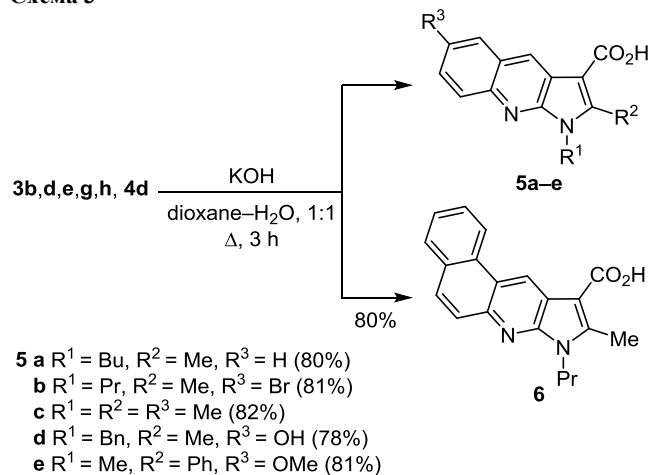
** Максимум флуоресценции.

*** Квантовый выход флуоресценции определен относительно стандарта кумарина 1 (Φ_{f} 73% в EtOH).³³

что пирроло[2,3-*b*]хинолины и их бензо[*f*]производные обладают умеренными люминесцентными свойствами.

Щелочной гидролиз сложноэфирной группы пирроло[2,3-*b*]хинолинов был использован для получения ранее неизвестных кислот **5a–e**, **6**, которые в силу выраженной фармакофорности их гетероциклического остова представляют собой удобные скаффолды для целенаправленной структурной модификации (схема 3).

Схема 3



Таким образом, нами предложен удобный способ синтеза функционализированных в пиррольном цикле этоксикарбонильной и карбоксильной группами пирроло(бензо[*f*]пирроло)[2,3-*b*]хинолиновых систем, основанный на циклоконденсации 4-формил-5-хлорпиррол-3-карбоксилатов с ароматическими аминами.

Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на приборе Bruker Vertex 70 в таблетках KBr. Спектры флуоресценции записаны на флуориметре Solar CM-2203 (для уменьшения влияния внутренних фильтрационных эффектов оптическая плотность в растворах – не больше 0.1 в длинноволновом максимуме абсорбции). Спектры поглощения записаны на спектрофотометре Shimadzu UV-3100. Спектры ЯМР ¹H записаны в импульсном фурье-режиме на спектрометре Varian VXR-400 (400 МГц), а спектры ЯМР ¹³C – на спектрометре Bruker Avance DRX-500 (125 МГц) в CF₃COOD (соединения **3d, j** и **4a**) или в DMSO-*d*₆ (остальные соединения), внутренний стандарт – остаточные сигналы растворителей (DMSO-*d*₆: 2.49 м. д. для ядер ¹H, 39.5 м. д. для ядер ¹³C; CF₃COOH: 11.50 м. д. для ядер ¹H, 116.5 м. д. для ядер ¹³C). Масс-спектры записаны на приборе Agilent LC/MSD SL, колонка Zorbax SB-C18, 4.6 × 15 мм, 1.8 мкм (PN 82 (с)75-932), растворитель DMSO, ионизация электрораспылением при атмосферном давлении. Элементный анализ выполнен на приборе PerkinElmer CHN Analyzer 2400. Температуры плавления определены на столике Кофлера и не исправлены.

4-Формил-5-хлорпирролы **1a–g** получены по описанному ранее методикам,²³ исходные анилины **2a–h** предоставлены НПО "Енамин".

Синтез соединений 3a–j (общая методика). К раствору 5 ммоль пиррола **1a–g** в 10 мл ДМФА добавляют 5 ммоль анилина **2a–h** и кипятят в течение 10 ч (в случае соединений **3g, h** – в течение 3 ч). Реакционную смесь охлаждают, выливают в 10 мл охлажденной до 0–5°C 10% HCl, образовавшийся осадок отфильтровывают, сушат и перекристаллизовывают из 80% водного EtOH.

Этил-1-метил-2-фенил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3a). Выход 1.49 г (90%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 158–159°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1697 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 1.24 (3H, т, *J* = 7.2, OCH₂CH₃); 3.66 (3H, с, 1-CH₃); 4.14 (2H, к, *J* = 7.2, OCH₂CH₃); 7.50 (1H, т, *J* = 8.0, H Ar); 7.56–7.60 (5H, м, H Ar); 7.72 (1H, т, *J* = 8.0, H Ar); 8.06 (1H, д, *J* = 8.0, H Ar); 8.17 (1H, д, *J* = 8.0, H Ar); 8.94 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 13.9; 29.6; 59.1; 101.6; 119.7; 123.7; 125.4; 127.6; 127.9 (2C); 128.4; 128.6; 128.8; 129.4; 130.0 (2C); 130.2; 144.6; 148.6; 151.4; 163.3. Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 331 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: C 76.12; H 5.56; N 8.41. C₂₁H₁₈N₂O₂. Вычислено, %: C 76.34; H 5.49; N 8.48.

Этил-1-бутил-2-метил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3b). Выход 1.37 г (88%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 99–100°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1693 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 0.91 (3H, т, *J* = 7.2, CH₂CH₂CH₂CH₃); 1.33 (2H, секстет, *J* = 7.2, CH₂CH₂CH₂CH₃); 1.41 (3H, т, *J* = 7.2, OCH₂CH₃); 1.74 (2H, кв, *J* = 7.2, CH₂CH₂CH₂CH₃); 2.83 (3H, с, 2-CH₃); 4.34–4.37 (4H, м, CH₂CH₂CH₂CH₃, OCH₂CH₃); 7.47 (1H, т, *J* = 7.6, H Ar); 7.68 (1H, т, *J* = 7.6, H Ar); 8.01 (1H, д, *J* = 7.6, H Ar); 8.07 (1H, д, *J* = 7.6, H Ar); 8.75 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 12.1; 13.5; 14.4; 19.5; 31.0; 41.0; 59.3; 100.6; 119.6; 123.6; 125.2; 127.3; 127.6; 128.0; 128.5; 143.7; 148.1; 151.3; 164.2. Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 311 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: C 73.32; H 7.05; N 8.91. C₁₉H₂₂N₂O₂. Вычислено, %: C 73.52; H 7.14; N 9.02.

Этил-2-метил-1-пропил-6-хлор-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3c). Выход 1.32 г (80%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 135–136°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1695 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 0.89 (3H, т, *J* = 7.6, CH₂CH₂CH₃); 1.41 (3H, т, *J* = 7.2, OCH₂CH₃); 1.68 (2H, секстет, *J* = 7.6, CH₂CH₂CH₃); 2.80 (3H, с, 2-CH₃); 4.26 (2H, т, *J* = 7.6, CH₂CH₂CH₃); 4.33 (2H, к, *J* = 7.2, OCH₂CH₃); 7.57 (1H, д, *J* = 8.8, H Ar); 7.92 (1H, д, *J* = 8.8, H Ar); 8.11 (1H, с, H Ar); 8.62 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 11.0; 12.1; 14.3; 22.2; 42.8; 59.3; 100.5; 120.0; 125.8; 126.4; 126.7; 127.6; 128.1; 129.5; 142.2; 148.4; 151.9; 164.0. Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 331 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: C 65.08; H 5.70; N 8.61. C₁₈H₁₉ClN₂O₂. Вычислено, %: C 65.35; H 5.79; N 8.47.

Этил-6-бром-2-метил-1-пропил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3d). Выход 1.50 г (80%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 152–154°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1698 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 1.19 (3H, т, *J* = 7.2, CH₂CH₂CH₃); 1.71 (3H, т, *J* = 7.2, OCH₂CH₃); 2.10 (2H, секстет, *J* = 7.2, CH₂CH₂CH₃); 2.78 (3H, с, 2-CH₃); 4.56 (2H, т, *J* = 7.2, CH₂CH₂CH₃); 4.76 (2H, к, *J* = 7.2,

OCH₂CH₃); 8.16 (1H, д, $J = 8.2$, H Ar); 8.25 (1H, д, $J = 8.2$, H Ar); 8.58 (1H, с, H Ar); 9.62 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 8.6; 10.8; 11.9; 21.3; 45.0; 62.7; 105.2; 119.2; 120.8; 123.2; 124.7; 131.3; 132.2; 137.4; 138.3; 140.6; 153.7; 165.4. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 376 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 57.33; Н 4.98; N 7.65. C₁₈H₁₉BrN₂O₂. Вычислено, %: С 57.61; Н 5.10; N 7.46.

Этил-1,2,6-триметил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3e). Выход 1.24 г (88%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 153–154°C. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1695 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.41 (3H, т, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 2.50 (3H, с, 6-CH₃); 2.82 (3H, с, 2-CH₃); 3.82 (3H, с, 1-CH₃); 4.43 (2H, к, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 7.49 (1H, д, $J = 8.8$, H Ar); 7.82 (1H, с, H Ar); 7.85 (1H, д, $J = 8.8$, H Ar); 8.62 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 11.9; 14.2; 21.2; 27.7; 59.1; 100.0; 119.5; 125.3; 126.3; 126.8; 127.2; 130.0; 132.5; 142.5; 148.2; 151.5; 164.3. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 283 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 72.54; Н 6.50; N 10.01. C₁₇H₁₈N₂O₂. Вычислено, %: С 72.32; Н 6.43; N 9.92.

Этил-1-бензил-2,6-диметил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3f). Выход 1.47 г (82%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 173–175°C. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1696 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.42 (3H, т, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 2.50 (3H, с, 6-CH₃); 2.74 (3H, с, 2-CH₃); 4.36 (2H, к, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 5.68 (2H, с, CH₂Ph); 7.14 (2H, д, $J = 6.8$, H Ar); 7.24–7.30 (3H, м, H Ar); 7.51 (1H, д, $J = 8.4$, H Ar); 7.87–7.90 (2H, м, H Ar); 8.71 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 12.3; 14.4; 21.0; 44.2; 59.4; 101.0; 119.4; 125.6; 126.4 (2C); 126.9; 127.0; 127.2; 127.3; 128.7 (2C); 130.5; 132.9; 137.2; 142.8; 148.2; 150.1; 164.3. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 359 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 76.82; Н 6.09; N 7.92. C₂₃H₂₂N₂O₂. Вычислено, %: С 77.07; Н 6.19; N 7.82.

Этил-1-бензил-6-гидрокси-2-метил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3g). Выход 1.50 г (83%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 185–187°C. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1687 (C=O), 3263 (OH). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.40 (3H, т, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 2.74 (3H, с, 2-CH₃); 4.35 (2H, к, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 5.65 (2H, с, CH₂Ph); 7.12 (2H, д, $J = 7.2$, H Ar); 7.23–7.27 (5H, м, H Ar); 7.85 (1H, д, $J = 7.2$, H Ar); 8.59 (1H, с, H-4); 9.66 (1H, с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 12.1; 14.2; 43.9; 59.0; 100.4; 108.1; 119.3; 121.0; 125.2; 126.2 (2C); 126.5; 127.1; 128.5 (2C); 128.6; 136.9; 139.9; 147.0; 150.5; 164.1; 167.3. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 361 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 73.52; Н 5.50; N 7.90. C₂₂H₂₀N₂O₃. Вычислено, %: С 73.32; Н 5.59; N 7.77.

Этил-1-метил-6-метокси-2-фенил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3h). Выход 1.60 г (89%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 168–170°C. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1695 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.15 (3H, т, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 3.66 (3H, с, 1-CH₃); 3.93 (3H, с, OCH₃); 4.15 (2H, к, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 7.39 (1H, д, $J = 7.8$, H Ar); 7.52–7.58 (6H, м, H Ar); 7.97 (1H, д, $J = 7.8$, H Ar); 8.97 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 14.0; 29.4; 55.3; 59.2; 101.3; 105.7; 119.9; 121.5; 126.4; 127.0; 128.0 (2C); 129.0; 129.4; 130.2 (2C); 130.4; 140.8; 147.6; 151.1; 155.4; 163.5. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 361

[M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 73.58; Н 5.50; N 7.61. C₂₂H₂₀N₂O₃. Вычислено, %: С 73.32; Н 5.59; N 7.77.

Этил-7-гидрокси-2-метил-1-пропил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3i). Выход 1.25 г (80%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 183–185°C. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1689 (C=O), 3274 (OH). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 0.87 (3H, т, $J = 7.2$, CH₂CH₂CH₃); 1.39 (3H, т, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 1.76 (2H, секстет, $J = 7.2$, CH₂CH₂CH₃); 2.80 (3H, с, 2-CH₃); 4.24 (2H, т, $J = 7.2$, CH₂CH₂CH₃); 4.34 (2H, к, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 7.06 (1H, д, $J = 8.8$, H Ar); 7.22 (1H, с, H Ar); 7.90 (1H, д, $J = 8.8$, H Ar); 8.61 (1H, с, H-4); 9.98 (1H, с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 11.1; 12.0; 14.5; 22.3; 42.7; 59.1; 100.5; 108.4; 116.9; 117.2; 120.0; 127.4; 129.6; 146.0; 148.7; 149.3; 157.6; 164.4. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 313 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 69.02; Н 6.56; N 9.11. C₁₈H₂₀N₂O₃. Вычислено, %: С 69.21; Н 6.45; N 8.97.

Этил-1,2-диметил-7-метокси-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоксилат (3j). Выход 1.21 г (81%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 155–156°C. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1692 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.41 (3H, т, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 2.77 (3H, с, 2-CH₃); 3.83 (3H, с, 1-CH₃); 3.93 (3H, с, OCH₃); 4.32 (2H, к, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 7.14 (1H, д, $J = 7.6$, H Ar); 7.45 (1H, д, $J = 7.6$, H Ar); 7.95 (1H, с, H Ar); 8.64 (1H, с, H-4). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 12.1; 14.5; 28.7; 54.4; 59.4; 100.1; 104.2; 117.1; 117.9; 120.2; 129.9; 144.0; 147.2; 150.3; 160.0; 164.7. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 299 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 68.18; Н 5.99; N 9.51. C₁₇H₁₈N₂O₃. Вычислено, %: С 68.44; Н 6.08; N 9.39.

Синтез соединений 4a–d (общая методика). К раствору 5 ммоль пиррола **1a–c** в 10 мл ДМФА добавляют 0.72 г (5 ммоль) β-нафтиламина и кипятят в течение 3 ч. Реакционную смесь охлаждают, выливают в 10 мл охлажденной до 0–5°C 10% HCl, образовавшийся осадок отфильтровывают, сушат и перекристаллизовывают из 80% водного EtOH.

Этил-9-метил-8H-бензо[*f*]пирроло[2,3-*b*]хинолин-10-карбоксилат (4a). Выход 1.37 г (90%), желто-бежевый порошок, т. пл. 298–300°C. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1685 (C=O), 3390 (N–H). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.66 (3H, т, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 2.99 (3H, с, 9-CH₃); 4.70 (2H, к, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 7.85–7.93 (3H, м, H Ar); 8.05 (1H, д, $J = 7.6$, H Ar); 8.30 (1H, д, $J = 8.0$, H Ar); 8.78 (1H, д, $J = 8.0$, H Ar); 10.23 (1H, с, H-11). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 12.4; 12.8; 62.8; 104.9; 115.4; 121.7; 122.8; 128.3; 128.6; 129.1; 129.3; 130.8; 133.1; 134.1; 135.3; 136.9; 138.5; 151.6; 166.4. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 305 [M+H]⁺ (100). Найдено, %: С 75.21; Н 5.42; N 9.03. C₁₉H₁₆N₂O₂. Вычислено, %: С 74.98; Н 5.30; N 9.20.

Этил-9-фенил-8H-бензо[*f*]пирроло[2,3-*b*]хинолин-10-карбоксилат (4b). Выход 1.65 г (90%), желто-бежевый порошок, т. пл. 287–289°C. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1687 (C=O), 3392 (N–H). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.34 (3H, т, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 4.33 (2H, к, $J = 7.2$, OCH₂CH₃); 7.51–7.58 (3H, м, H Ar); 7.67 (1H, т, $J = 8.0$, H Ar); 7.76–7.85 (3H, м, H Ar); 7.91 (1H, д, $J = 8.0$, H Ar); 8.01–8.09 (2H, м, H Ar); 8.80 (1H, д, $J = 8.0$, H Ar); 9.69 (1H, с, H-11). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 14.2;

59.5; 107.4; 120.2; 121.3; 122.2; 123.2; 125.3; 126.4; 127.3; 127.4; 127.8 (2C); 128.6; 129.6; 130.0; 130.2 (2C); 130.3; 130.7; 144.4; 148.5; 148.7; 163.8. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 367 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 78.91; Н 5.02; N 7.52. $C_{24}H_{18}N_2O_2$. Вычислено, %: С 78.67; Н 4.95; N 7.65.

Этил-8,9-диметил-8H-бензо[*f*]пирроло[2,3-*b*]хинолин-10-карбоксилат (4c). Выход 1.46 г (92%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 165–167°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1683 (C=O). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.41 (3H, т, $J = 7.2$, OCH_2CH_3); 2.58 (3H, с, 9- CH_3); 3.64 (3H, с, 8- CH_3); 4.28 (2H, к, $J = 7.2$, OCH_2CH_3); 7.60 (1H, т, $J = 7.6$, Н Ar); 7.68 (1H, т, $J = 7.6$, Н Ar); 7.76 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 7.89 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 7.95 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 8.52 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 9.17 (1H, с, Н-11). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 11.8; 14.2; 20.1; 59.3; 100.9; 118.8; 120.9; 122.0; 126.3; 126.8; 127.2; 128.6; 129.3; 130.0; 130.2; 143.4; 144.5; 147.4; 149.5; 164.6. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 319 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 75.22; Н 5.82; N 8.91. $C_{20}H_{18}N_2O_2$. Вычислено, %: С 75.45; Н 5.70; N 8.80.

Этил-9-метил-8-пропил-8H-бензо[*f*]пирроло[2,3-*b*]хинолин-10-карбоксилат (4d). Выход 1.58 г (91%), желто-оранжевый порошок, т. пл. 152–153°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1686 (C=O). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 0.87 (3H, т, $J = 7.2$, $CH_2CH_2CH_3$); 1.44 (3H, т, $J = 6.8$, OCH_2CH_3); 1.75 (2H, секстет, $J = 7.2$, $CH_2CH_2CH_3$); 2.74 (3H, с, 9- CH_3); 4.23 (2H, т, $J = 7.2$, $CH_2CH_2CH_3$); 4.34 (2H, к, $J = 6.8$, OCH_2CH_3); 7.54 (1H, т, $J = 7.6$, Н Ar); 7.70 (1H, т, $J = 7.6$, Н Ar); 7.84 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 7.92 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 7.98 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 8.63 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 9.34 (1H, с, Н-11). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 11.1; 11.9; 14.4; 22.4; 42.8; 59.2; 101.0; 118.6; 121.2; 122.0; 125.3; 126.1; 126.9; 127.6; 128.5; 129.0; 130.0; 143.3; 144.2; 147.4; 149.5; 164.6. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 347 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 76.02; Н 6.50; N 8.01. $C_{22}H_{22}N_2O_2$. Вычислено, %: С 76.28; Н 6.40; N 8.09.

Синтез соединений 5a–e, 6 (общая методика). К раствору 3 ммоль карбоксилата **3b,d,e,g,h, 4d** в 10 мл смеси диоксан– H_2O , 1:1, добавляют 0.50 г (9 ммоль) КОН и кипятят в течение 3 ч. Растворитель выпаривают при пониженном давлении, полученный остаток растворяют в 20 мл 1% КОН, фильтруют, фильтрат подкисляют 10% HCl до pH 5. Образовавшийся осадок отфильтровывают, сушат и перекристаллизовывают из 50% водной АсОН.

1-Бутил-2-метил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоновая кислота (5a). Выход 0.68 г (80%), светло-желтый порошок, т. пл. 199–200°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1673 (C=O), 2483–2598 (COOH). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 0.91 (3H, т, $J = 7.6$, $CH_2CH_2CH_2CH_3$); 1.31 (2H, секстет, $J = 7.6$, $CH_2CH_2CH_2CH_3$); 1.73 (2H, кв, $J = 7.6$, $CH_2CH_2CH_2CH_3$); 2.72 (3H, с, 2- CH_3); 4.36 (2H, т, $J = 7.6$, $CH_2CH_2CH_2CH_3$); 7.54 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 7.682 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 7.98 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 8.00 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 8.79 (1H, с, Н-4); 12.98 (1H, уш. с, COOH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 11.8; 13.3; 19.3; 30.8; 40.7; 100.9; 119.8; 125.1; 125.2; 127.0; 127.3; 127.5; 128.2; 143.7; 148.2; 150.8; 165.6. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 283 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 72.12; Н 6.30;

N 10.01. $C_{17}H_{18}N_2O_2$. Вычислено, %: С 72.32; Н 6.43; N 9.92.

6-Бром-2-метил-1-пропил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоновая кислота (5b). Выход 0.84 г (81%), светло-желтый порошок, т. пл. 202–204°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1677 (C=O), 2491–2604 (COOH). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 0.96 (3H, т, $J = 7.6$, $CH_2CH_2CH_3$); 1.79 (2H, секстет, $J = 7.6$, $CH_2CH_2CH_3$); 2.76 (3H, с, 2- CH_3); 4.34 (2H, т, $J = 7.6$, $CH_2CH_2CH_3$); 7.71 (1H, д, $J = 8.4$, Н Ar); 7.92 (1H, д, $J = 8.4$, Н Ar); 8.39 (1H, с, Н Ar); 8.77 (1H, с, Н-4); 12.46 (1H, уш. с, COOH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 11.2; 12.2; 22.3; 42.9; 101.4; 116.0; 120.7; 126.6; 129.8; 130.2; 130.7; 142.5; 148.7; 152.0; 165.8; 185.8. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 348 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 55.13; Н 4.42; N 7.99. $C_{16}H_{15}BrN_2O_2$. Вычислено, %: С 55.35; Н 4.35; N 8.07.

1,2,6-Триметил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоновая кислота (5c). Выход 0.63 г (82%), светло-желтый порошок, т. пл. 185–187°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1675 (C=O), 2482–2595 (COOH). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.52 (3H, с, 6- CH_3); 2.78 (3H, с, 2- CH_3); 3.58 (3H, с, 1- CH_3); 7.50 (1H, д, $J = 8.4$, Н Ar); 7.76 (1H, с, Н Ar); 7.89 (1H, д, $J = 8.4$, Н Ar); 8.60 (1H, с, Н-4). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 21.4; 27.5; 59.4; 101.3; 118.7; 125.4; 126.5; 126.8; 127.3; 131.8; 132.3; 142.0; 148.5; 151.4; 164.9. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 255 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 71.08; Н 5.50; N 10.91. $C_{15}H_{14}N_2O_2$. Вычислено, %: С 70.85; Н 5.55; N 11.02.

1-Бензил-6-гидрокси-2-метил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоновая кислота (5d). Выход 0.78 г (78%), светло-желтый порошок, т. пл. 227–229°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1678 (C=O), 2489–2597 (COOH). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.72 (3H, с, 2- CH_3); 5.68 (2H, с, CH_2Ph); 7.13 (2H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 7.29–7.38 (5H, м, Н Ar); 7.88 (1H, д, $J = 7.6$, Н Ar); 8.66 (1H, с, Н-4); 9.16 (1H, с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 40.1; 59.0; 100.4; 108.1; 119.3; 121.1; 125.4; 126.2 (2C); 126.7; 127.1; 128.3; 128.7 (2C); 136.6; 139.9; 147.1; 150.4; 161.1; 167.2. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 333 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 72.02; Н 4.80; N 8.30. $C_{20}H_{16}N_2O_3$. Вычислено, %: С 72.28; Н 4.85; N 8.43.

1-Метил-6-метокси-2-фенил-1H-пирроло[2,3-*b*]хинолин-3-карбоновая кислота (5e). Выход 0.81 г (81%), светло-желтый порошок, т. пл. 202–203°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1680 (C=O), 2481–2600 (COOH). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.66 (3H, с, 1- CH_3); 3.91 (3H, с, OCH_3); 7.40 (1H, д, $J = 8.0$, Н Ar); 7.47–7.58 (6H, м, Н Ar); 8.05 (1H, д, $J = 8.2$, Н Ar); 8.97 (1H, с, Н-4). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 30.1; 55.5; 102.4; 106.2; 116.2; 120.8; 126.2; 127.6; 128.0 (2C); 128.7; 128.9; 129.4; 130.3 (2C); 139.2; 146.6; 150.9; 155.1; 164.8. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 333 $[M+H]^+$ (100). Найдено, %: С 72.03; Н 4.90; N 8.31. $C_{20}H_{16}N_2O_3$. Вычислено, %: С 72.28; Н 4.85; N 8.43.

9-Метил-8-пропил-8H-бензо[*f*]пирроло[2,3-*b*]хинолин-10-карбоновая кислота (6). Выход 0.76 г (80%), светло-желтый порошок, т. пл. 275–277°C. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1672 (C=O), 2475–2583 (COOH). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (J , Гц): 0.93 (3H, т, $J = 7.2$, $CH_2CH_2CH_3$); 1.85 (2H, секстет, $J = 7.2$, $CH_2CH_2CH_3$); 2.89 (3H, с, 9- CH_3); 4.41

(2H, τ , $J = 7.2$, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$); 7.65 (1H, τ , $J = 7.6$, H Ar); 7.74 (1H, τ , $J = 7.6$, H Ar); 7.92 (1H, δ , $J = 8.6$, H Ar); 7.97–8.03 (2H, m , H Ar); 8.75 (1H, δ , $J = 8.4$, H Ar); 9.56 (1H, c , H-11); 12.51 (1H, ush. c , COOH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 11.6; 12.6; 22.9; 43.4; 102.2; 118.1; 119.8; 122.7; 125.4; 126.8; 127.6; 128.1; 129.0; 129.6; 130.5; 130.6; 147.8; 148.2; 150.3; 166.5. Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 319 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (100). Найдено, %: C 75.28; H 5.60; N 8.91. $\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_2$. Вычислено, %: C 75.45; H 5.70; N 8.80.

Рентгеноструктурное исследование монокристалла 4c с линейными размерами $0.28 \times 0.40 \times 0.52$ мм проведено при 173K на дифрактометре Bruker Smart Apex II (MoK α -излучение, графитовый монохроматор, θ_{max} 26.3°). Кристаллы соединения **4c** ($\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_2$, M 318.36) моноклинные, пространственная группа $P2_1/c$; a 7.7013(7), b 17.8489(15), c 11.7616(12) Å; β 99.629(6)°; V 1594.0(3) Å 3 ; Z 4; d_{calc} 1.327 г/см 3 ; μ 0.087 мм $^{-1}$; $F(000)$ 672. Всего собрано 13870 отражений, из которых 3193 являются независимыми (R -фактор усреднения 0.0598). Введена коррекция поглощения по программе SADABS методом мультисканирования (отношение $T_{\text{min}}/T_{\text{max}} = 0.6288/0.7454$). Структура расшифрована прямым методом и уточнена МНК в полноматричном анизотропном приближении с использованием комплекса программ Bruker SHELXTL.³⁴ Положения всех атомов водорода групп CH рассчитаны геометрически и уточнены по модели "наездник". Окончательные значения факторов расходимости $R_1(F)$ 0.0595, $wR_2(F^2)$ 0.1337 по 2002 отражениям с $I > 2\sigma(I)$, $R_1(F)$ 0.1062, $wR_2(F^2)$ 0.1588, GOF 1.031 по всем независимым отражениям, 220 уточняемых параметров, использована весовая схема $\omega = 1/(\sigma^2(F_o^2) + (0.0744P)^2 + 0.3659P)$, где $P = (F_o^2 + 2F_c^2)/3$, отношение максимального(среднего) сдвига к погрешности в последнем цикле 0.000(0.000). Остаточная электронная плотность из разностного ряда Фурье после последнего цикла уточнения 0.24 и -0.26 е/Å 3 . Полные рентгеноструктурные данные депонированы в Кембриджском банке структурных данных (депонент CCDC 2090692).

Файл сопроводительных материалов, содержащий спектры ЯМР ^1H и ^{13}C соединений **3a–j**, **4a–d**, **5a–e**, **6** и общий вид молекулы соединения **4c**, доступен на сайте журнала <http://hgs.osi.lv>.

Список литературы

- Larghi, E. L.; Bracca, A. B. J.; Aguilar, A. A. A.; Heredia, D. A.; Pergomet, J. L.; Simonetti, S. O.; Kaufman, T. S. *Curr. Top. Med. Chem.* **2017**, *15*, 1683.
- Trost, B. M.; Osipov, M. *Chem.–Eur. J.* **2015**, *21*, 16318.
- Straight, A. F.; Cheung, A.; Limouze, J.; Chen, I.; Westwood, N. J.; Sellers, J. R.; Mitchison, T. J. *Science* **2003**, *299*, 1743.
- Allingham, J. S.; Smith, R.; Rayment, I. *Nat. Struct. Mol. Biol.* **2005**, *12*, 378.

- Lee, B. D.; Li, Z.; French, K. J.; Zhuang, Y.; Xia, Z.; Smith, C. D. *J. Med. Chem.* **2004**, *47*, 1413.
- Lee, B. D.; French, K. J.; Zhuang, Y.; Smith, C. D. *Oncol. Res.* **2003**, *14*, 49.
- Gakh, A.; Krasavin, M.; Karapetian, R.; Rufanov, K.; Konstantinov, I.; Godovykh, E.; Soldatkina, O.; Sosnov, A. US Patent 20138420815 B1.
- Tanaka, T.; Iwakuma, T.; Wagatsuma, M.; Iijima, I. *J. Heterocycl. Chem.* **1972**, *9*, 1355.
- Khan, M. A.; da Rocha, J. F. *Heterocycles* **1977**, *6*, 1229.
- Murugesan, M.; Soundararajan, N.; Ramasamy, K.; Shanmugam, P. *Synthesis* **1979**, 352.
- Murugesan, M.; Ramasamy, K.; Shanmugam, P. *Zeitsch. Naturforsch. B* **1980**, *35*, 746.
- Jin, H.; Tian, B.; Song, X.; Xie, J.; Rudolph, M.; Rominger, F.; Hashmi, A. S. K. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2016**, *55*, 12688.
- Richter, R.; Ulrich, H. *J. Org. Chem.* **1973**, *38*, 2614.
- Smith, L.; Kiselyov, A. S. *Tetrahedron Lett.* **1999**, *40*, 5643.
- Himbert, G.; Schwickerath, W.; Maas, G. *Liebigs Ann. Chem.* **1985**, 1389.
- Zeng, Z.; Jin, H.; Rudolph, M.; Rominger, F.; Hashmi, A. S. K. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2018**, *57*, 16549.
- Hsu, Y.-C.; Hsieh, S.-A.; Liu, R. S. *Chem.–Eur. J.* **2019**, *25*, 5288.
- Molina, P.; Alcántara, J.; López-Leonardo, C. *Tetrahedron* **1997**, *53*, 3281.
- Saito, T.; Furukawa, N.; Otani, T. *Org. Biomol. Chem.* **2010**, *8*, 1126.
- Zhao, H.; Xing, Y.; Lu, P.; Wang, Y. *Chem.–Eur. J.* **2016**, *22*, 15144.
- Chen, K.; Tang, X.-Y.; Shi, M. *Chem. Commun.* **2016**, *52*, 1967.
- Metten, B.; Kostermans, M.; Van Baelen, G.; Smet, M.; Dehaen, W. *Tetrahedron* **2006**, *62*, 6018.
- Grozav, A. N.; Fedoriv, M. Z.; Chornous, V. A.; Palamar, A. A.; Bratenko, M. K.; Vovk, M. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2019**, *55*, 435. [Химия гетероцикл. соединений **2019**, *55*, 435.]
- Brack, A. *Liebigs Ann.* **1965**, *681*, 105.
- Rurack, K.; Danel, A.; Rotkiewicz, K.; Grabka, D.; Spieles, M.; Rettig, W. *Org. Lett.* **2002**, *4*, 4647.
- Funaki, J.; Imai, K.; Araki, K.; Danel, A.; Tomasik, P. *Pol. J. Chem.* **2004**, *78*, 843.
- Wan, W.; Wang, H.; Lin, H.; Wang, J.; Jiang, Y.; Jiang, H.; Zhu, S.; Wang, Z.; Hao, J. *Dyes Pigm.* **2015**, *121*, 138.
- Metten, B.; Smet, M.; Boens, N.; Dehaen, W. *Synthesis* **2005**, 1838.
- Całus, S.; Gondek, E.; Danel, A.; Jarosz, B.; Pokładko, M.; Kityk, A. V. *Mater. Lett.* **2007**, *61*, 3292.
- Całus, S.; Gondek, E.; Danel, A.; Jarosz, B.; Kityk, A. V. *Opt. Commun.* **2007**, *271*, 16.
- Gondek, E.; Danel, A.; Niziol, J.; Armatys, P.; Kityk, I. V.; Szlacheic, P.; Korelus, M.; Uchacz, T.; Chmast, J. *Opt. Commun.* **2007**, *277*, 16.
- Lakowicz, J. R. *Principles of Fluorescence Spectroscopy*; Springer, 2006, 3rd ed., p. 5.
- Jones, G.; Jackson, W. R.; Choi, C. Y.; Bergmark, W. R. *J. Phys. Chem.* **1985**, *89*, 294.
- Sheldrick, G. M. *Acta Crystallogr., Sect. A: Found. Adv.* **2008**, *A64*, 112.