

*Памяти основателя кафедры органической химии РУДН,
заслуженного деятеля науки РФ, проф. Н. С. Простакова
посвящается*

Ф. И. Зубков*, **В. П. Зайцев**, **Е. С. Пузикова**, **Е. В. Никитина**,
В. Н. Хрусталёв^а, **Р. А. Новиков^б**, **А. В. Варламов**

РАСКРЫТИЕ ЭПОКСИДНОГО МОСТИКА 3а,6-ЭПОКСИИЗОИНДОЛ-1-ОНОВ В СИСТЕМЕ $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O} - \text{Ac}_2\text{O}$

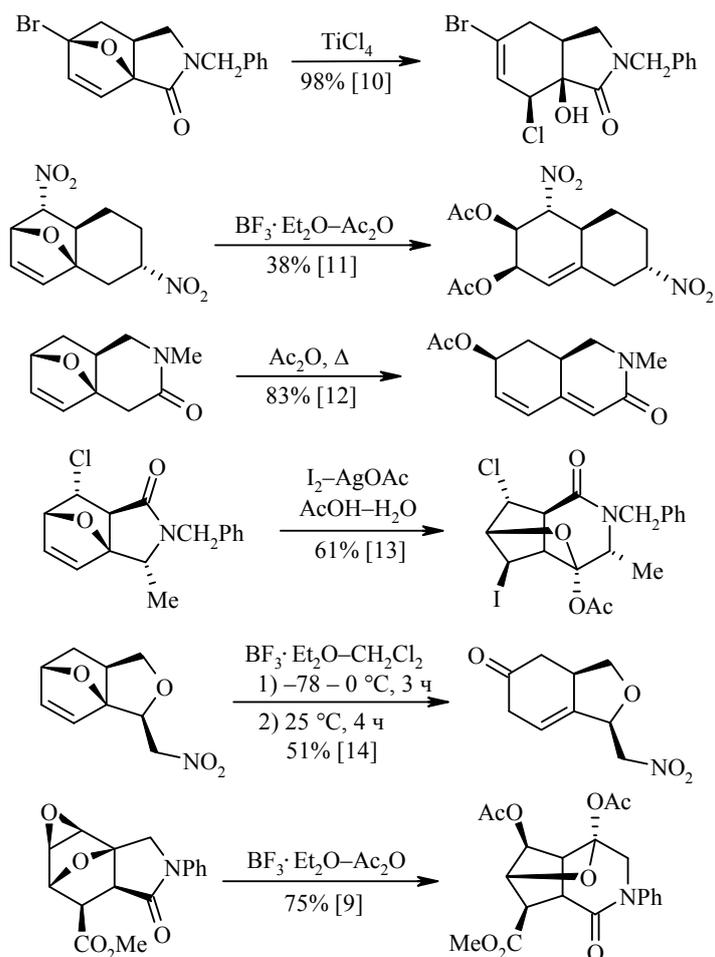
В работе показано, что раскрытие эпоксидного мостика в *N*-замещённых 2,3,7,7а-тетрагидро-3а,6-эпоксиизоиндол-1-онах под действием $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ в среде уксусного ангидрида (25 °С, 1 ч) протекает по механизму S_N1 . Образующийся на первой стадии катион аллильного типа стабилизируется присоединением ацетоксигруппы в положение 5 изоиндольного цикла, давая смесь *цис*- и *транс*-изомеров 5,6-диацетокси-2,3,5,6,7,7а-гексагидроизоиндол-1-онов, которые в тех же условиях в течение суток ароматизируются до 2,3-дигидро-1*H*-изоиндол-1-онов.

Ключевые слова: изоиндол, 7-оксабицикло[2.2.1]гептен, фуран, фурфуриламмин, 3а,6-эпоксиизоиндол, ароматизация, внутримолекулярная реакция Дильса–Альдера.

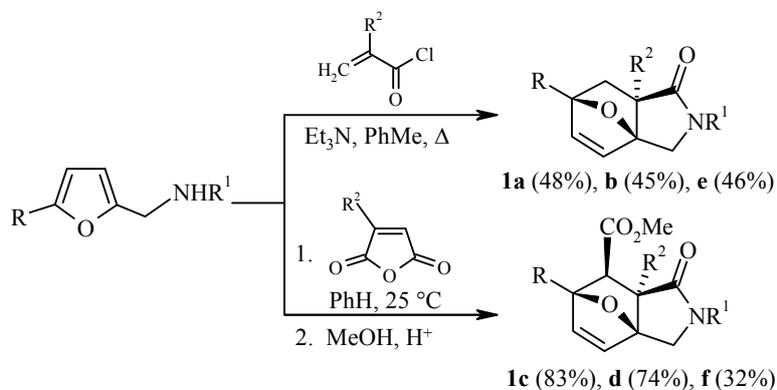
Известно, что реакции нуклеофильного раскрытия 7-оксабицикло[2.2.1]гептенов протекают с высокой регио- и стереоселективностью, преимущественно, по механизму S_N2' (сопровождаются миграцией кратной связи) [1, 2] и благодаря этому широко используются для стереонаправленного синтеза полизамещённых циклогексенов [3, 4]. Закономерности электрофильного расщепления эпоксидного мостика в 7-оксабицикло[2.2.1]гептенах изучены менее подробно. В этом случае, в зависимости от условий, возможно образование разнообразных и зачастую непредсказуемых продуктов [5–7].

Настоящая публикация является продолжением наших систематических исследований превращений оксабициклогептенового кольца в 3а,6-эпоксиизоиндол-1-онах **1** в кислой среде [8, 9]. Согласно литературным данным [10–14], даже на однотипных объектах в близких условиях эксперимента, подобные реакции могут приводить к различным продуктам. Некоторые примеры такого рода превращений представлены на следующей странице. Но чаще всего действие электрофилов (H_3PO_4 [8], HCl [15], *p*-TsOH [16], $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ [17]) на оксабициклогептены провоцирует тандемную последовательность расщепление оксамостика – дегидратация – ароматизация, что в конечном итоге приводит к 2,3-дигидроизоиндолам.

Недавно было показано [9], что взаимодействие пергидро-3а,6:4,5-диэпоксиизоиндолов с $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ в уксусном ангидриде сопровождается не только раскрытием оксиранового фрагмента, но и оригинальной скелетной перегруппировкой Вагнера–Меервейна. О превращениях 3а,6-эпоксиизоиндолов типа **1** в аналогичных условиях сообщается в настоящей работе.



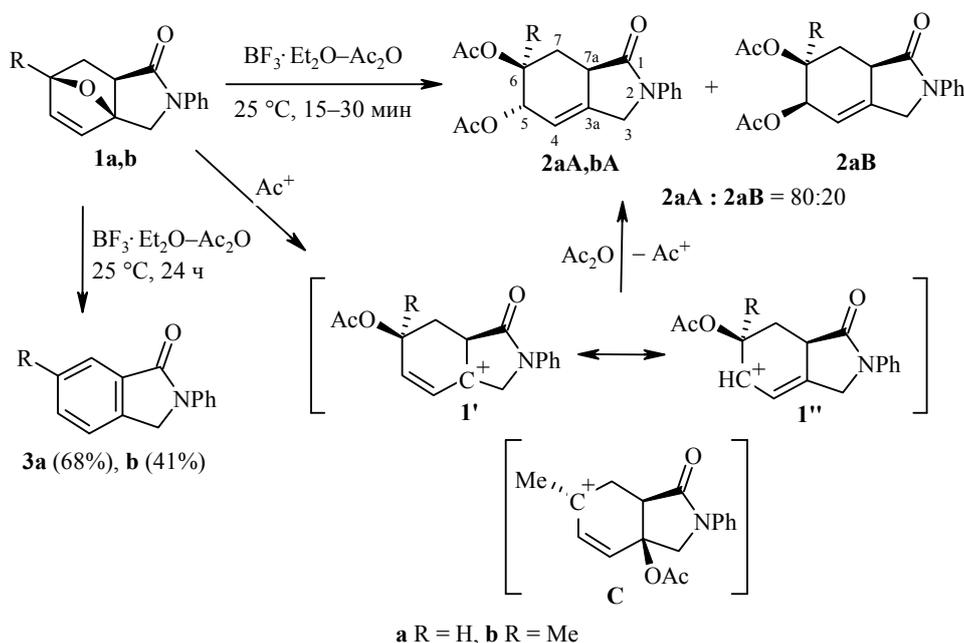
Исходные для выполнения настоящего исследования 3а,6-эпоксиизоиндолоны **1a–f** были получены по известным методикам [8, 9, 18] из фуруфуриламинов и ангидридов α,β -непредельных кислот. Для улучшения растворимости в уксусном ангидриде соответствующие карбоновые кислоты были превращены в метиловые эфиры **1c,d,f**. Исходные изоиндолоны **1a–f** использовались в виде индивидуальных диастереомеров с относительной конфигурацией, как показано на схеме:



a,c,e,f R = H, **b** R = Me, **d** R = Br; **a–d** R¹ = Ph, R² = H, **e,f** R¹ = CH₂Ph, R² = Me

Продолжительное выдерживание производных **1a,c** в уксусном ангидриде при комнатной температуре не приводит к сколько-нибудь заметным изменениям. Повышение температуры сопровождается постепенным образованием многокомпонентной смеси продуктов. Добавление в реакционную массу 2–3 экв. эфирата трёхфтористого бора уже при комнатной температуре вызывает быстрое (обычно требуется не более 2 ч) селективное превращение соединений **1**.

Оксабициклический фрагмент соединений **1a,b** под действием ацетильного катиона легко расщепляется, причём на первой стадии образуется карбокатион аллильного типа **1'**. Этот катион стабилизируется присоединением ацетоксианиона по атому углерода С-5 резонансной структуры **1''**. Вероятно, такое направление присоединения обуславливается стерическими причинами.



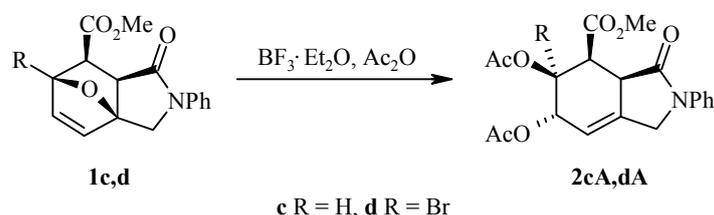
Атака ацетокси-аниона на катионный центр структуры **1''** протекает с образованием пары диастереоизомеров **A** и **B**. В случае изоиндола **1a** (R = H) в выделенной смеси существенно преобладает *транс*-5,6-диацетоксиизомер **2aA**, что, возможно, объясняется стерическим отталкиванием карбонильных фрагментов группы OAc и ацетокси-аниона в переходном состоянии. В случае изоиндола **1b** (R = Me) реакция протекает менее гладко, давая многокомпонентную смесь, из которой с выходом 43% выделен лишь *транс*-5,6-диацетоксиизомер **2bA**. Вероятно, образование многокомпонентной смеси в этом случае связано с возможностью альтернативного расщепления эпоксидного мостика изоиндола **1b** с образованием третичного катиона **C**, что приводит к побочным продуктам с иным положением ацетоксигрупп.

Следует отметить, что даже после 15 мин выдерживания эпоксипроизводного **1a** в указанных на схеме условиях в реакционной смеси содержится до 22% продукта ароматизации **3a** (ЯМР ^1H выделенной смеси до разделения дробной кристаллизацией). Отщепление фрагментов уксусной кислоты, скорее всего, осуществляется под действием $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ через стадию образования карбокатиона типа **1'** (**1''**) с последующим элиминированием

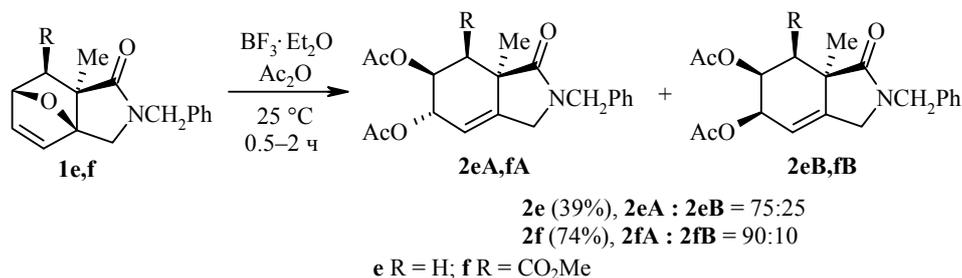
протона. При увеличении времени реакции последний путь превращений становится основным. Так, выдерживание эпоксиизоиндолонов **1a,b** или соответствующих диацетоксипроизводных **2a,b** в реакционной смеси в течение суток сопровождается ароматизацией бициклического фрагмента и образованием изоиндолов **3a,b**.

Изомерные изоиндолы **2aA** и **2aB** были выделены в индивидуальном виде при помощи колоночной хроматографии (суммарный выход составил 62%), их строение доказано методом РСА. Это послужило основанием для однозначного отнесения сигналов в их спектрах ЯМР ^1H и ^{13}C и для определения стереохимии остальных синтезированных изоиндолов **2**.

Аналогичные превращения под действием эфирата трёхфтористого бора имеют место и в случае сложных эфиров **1c,d**. Эпоксиизоиндолон **1c** ($\text{R} = \text{H}$) за 1.5 ч при комнатной температуре превращается в *trans*-5,6-диацетокси-гексагидроизоиндол **2cA** (выход 37%).



Эпоксиизоиндолон **1d** ($\text{R} = \text{Br}$) реагирует при комнатной температуре в присутствии двукратного избытка кислоты Льюиса крайне медленно, а при 50°C и пятикратном мольном избытке $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ в течение 2 суток наблюдается сильное осмоление. При этом анализ спектра ЯМР ^1H полученной смеси (после стандартной обработки выделено 20% смеси продуктов) показал наличие, помимо исходного эфира **1d** и целевого циклогексена **2dA**, продукта ароматизации оксабициклогептенового фрагмента типа **3**. С препаративной точки зрения подробный анализ этой смеси представляется нецелесообразным. Низкая реакционная способность соединения **1d**, на наш взгляд, может быть связана либо со стерическими препятствиями, создаваемыми атомом брома при С-6 для атаки электрофила на мостиковый атом кислорода, либо с понижением электронной плотности на последнем.



Метильный заместитель при С-7а в 3а,6-эпоксиизоиндолонах **1e,f**, также как и сложноэфирная группа в положении 7 соединения **1c**, не оказывает существенного влияния на скорость и направление раскрытия 3а,6-кислородного мостика. Диацетоксипроизводные **2e,f** образуются с умеренными выходами в виде пары диастереоизомеров **A** и **B**. В отличие от аналогов **2a-c**, ароматизация производных **2e,f** до изоиндолов типа **3** при комнатной темпе-

ратуре не наблюдается даже в течение недели. Очевидно, это связано с невозможностью элиминирования метильного радикала от С-7а.

Основные изомеры **2eA** и **2fA** были выделены в индивидуальном виде дробной кристаллизацией и хроматографически соответственно. Минорные изомеры **2eB** и **2fB** в чистом виде выделить не удалось, они были охарактеризованы спектрами ЯМР ^1H и ^{13}C соответствующих смесей.

Пространственное строение изомеров **2aA** и **2aB** было установлено методом РСА (рис. 1 и 2). Необходимо отметить, что кристалл соединения **2aA** содержит сокристаллизационную молекулу изоиндола **3a** в соотношении 3:1, т. е. его элементарная ячейка включает три кристаллографически независимые молекулы основного соединения **2aA** и одну молекулу изоиндола **3a**. Три кристаллографически независимые молекулы **2aA** имеют близкую геометрию и представляют различные энантиомеры в соотношении 2:1 с относительными конфигурациями асимметрических центров – $5R^*,6R^*,7aS^*$. Определить, какой из энантиомеров преобладает, невозможно, в связи с отсутствием в молекуле "тяжёлого" атома с $Z > 14$. Более того, сокристаллизационная молекула **3a** оказалась разупорядоченной по двум положениям, связанным поворотом на 180° в плоскости молекулы, вследствие чего в кристалле изомера **2aA** возникает псевдоцентр инверсии, значительно затрудняющий расшифровку его кристаллической структуры.

Кристалл *цис*-5,6-диацетоксиизоиндола **2aB** является рацематом и состоит из энантиомерных пар со следующими относительными конфигурациями трёх асимметрических центров при атомах углерода С-5, С-6 и С-7а – $5S^*,6R^*,7aS^*$.

Соединение **2a** – 2-фенил-5,6-диацетилокси-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1*H*-изоиндол-1-он содержит два *транс*-сочленённых цикла: 2-пирролидиноновый и циклогексеновый. Пирролидиноновый цикл в молекулах обоих диастереомеров **2aA** и **2aB** имеет конформацию "конверта" (атом углерода С-3а выходит из среднеквадратичной плоскости, проведённой через остальные атомы цикла), а циклогексеновый – несимметричного "полукресла" (атомы углерода С-6 и С-7 отклоняются по разные стороны от среднеквадратичной плоскости, проведённой через остальные атомы цикла, в меньшей и большей степени соответственно). Угол между плоскими частями этих циклов составляет $20.1(1)$, $25.5(1)$ и $27.1(1)^\circ$ (для трёх кристаллографически независимых молекул)

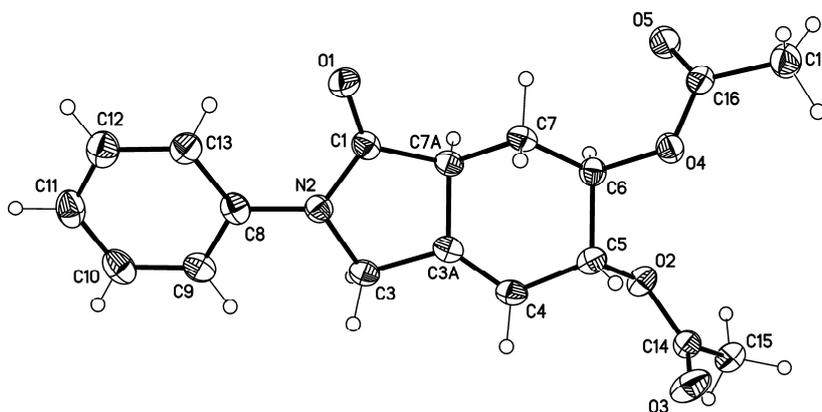


Рис. 1. Молекулярная структура диастереомера **2aA** в представлении атомов эллипсоидами анизотропных смещений с 50% вероятностью (показана одна из трёх кристаллографически независимых молекул)

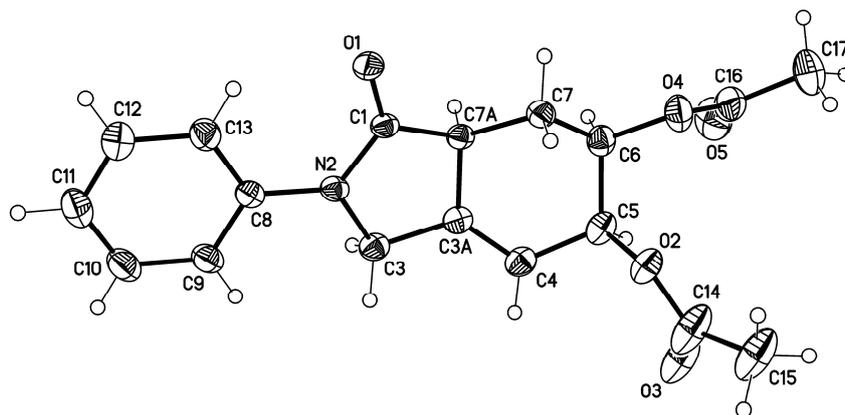


Рис. 2. Молекулярная структура диастереомера **2aB** в представлении атомов эллипсоидами анизотропных смещений с 50% вероятностью (альтернативная позиция разупорядоченного карбоксилатного заместителя не показана)

в диастереомере **2aA** и $26.4(2)^\circ$ в диастереомере **2aB**. Двугранный угол между плоскостями фенильного заместителя и плоской частью пирролидинонового фрагмента составляет $18.2(1)$, $18.7(1)$ и $14.9(1)^\circ$ (для трёх кристаллографически независимых молекул) в диастереомере **2aA** и $11.0(2)^\circ$ в диастереомере **2aB**. Наибольшие различия в геометрии между молекулами диастереомеров соединения **2a** обусловлены различными конформациями ацетоксигрупп в положениях 5 и 6. Диапазон значений модулей торсионных углов $(C=)C-C-O-C(=O)$ и $(H_2)C-C-O-C(=O)$ для трёх кристаллографически независимых молекул в диастереомере **2aA** равен $86.5(2)$ – $97.3(2)^\circ$, в то время как в диастереомере **2aB** эти углы составляют $95.0(4)$ / $121.8(4)$ (для двух альтернативных позиций) и $-155.6(2)^\circ$ соответственно.

Из других практически важных геометрических параметров диастереомеров **2aA** и **2aB** следует отметить значения торсионных углов $N-C(OAc)-C(OAc)-N$ между ацетоксигруппами в положениях 5 и 6: 159.6 , 157.1 и 156.0° для трёх кристаллографически независимых молекул в диастереомере **2aA** и 42.4° в диастереомере **2aB**. Таким образом, для мажорных *транс*-изомеров **A** $KCCB^3 J_{5,6}$ должна быть близка к 8 Гц, а для *цис*-изомеров **B** та же $KCCB^3 J_{5,6} \sim 3$ Гц. Эти данные помогают различить указанные диастереомеры методом ЯМР 1H спектроскопии. В углеродных спектрах наиболее информативными являются хорошо идентифицируемые сигналы атомов C-5 при 71–73 и C-6 при 70–73 м. д. для основных изомеров **A** и C-5 при 64–65 и C-6 при 68–69 м. д. для минорных изомеров **B**.

Таким образом, в работе показано, что расщепление кислородного мостика в *N*-замещённых гидрированных 3a,6-эпоксиизоиндол-1-онах легко протекает при комнатной температуре в системе $VF_3 \cdot Et_2O - Ac_2O$. При непродолжительном времени реакции (15 мин – 2 ч) с выходами от умеренных до хороших образуется смесь изомерных по расположению ацетоксигрупп *цис*- и *транс*-5,6-диацетокси-2,3,5,6,7,7a-гексагидроизоиндол-1-онов с существенным преобладанием *транс*-изомера. Увеличение продолжительности реакции приводит к ароматизации бициклического фрагмента и образованию 2-*R*-изоиндолин-1-онов с умеренным выходом. Обнаруженные превращения существенно расширяют синтетический потенциал легкодоступных 3a,6-эпоксиизоиндол-1-онов, позволяя получать на их основе полифункционально замещённые гидрированные производные изоиндола.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры записаны на фурье-спектрометре Инфралюм ФТ-801 в таблетках KBr. Спектры ЯМР ^1H зарегистрированы на приборах Bruker AMX-400 (400 МГц) и JEOL JNM-ECA600 (600 МГц) для ~3% растворов в CDCl_3 , внутренний стандарт – остаточный сигнал растворителя (δ 7.26 м. д.). Спектры ЯМР ^{13}C записаны на спектрометре Bruker Avance 600 (150 МГц) и Bruker AMX-400 (100 МГц), в качестве стандарта использован центральный сигнал триплета CDCl_3 (δ 77.4 м. д.). Масс-спектры получены на масс-спектрометре Thermo Trace DSQ (электронная ионизация 70 эВ, температура в источнике 200 °С, прямой ввод) или хромато-масс-спектрометре Finnegan MAT-95-XL с прямым вводом образца в источник ионов. Температуры плавления синтезированных соединений определены на приборе SMP 30 (не скорректированы). Для ТСХ использовали пластины Sorbfil, элюент EtOAc–гексан, 1:2, проявление парами иода, для колоночной хроматографии – Al_2O_3 (активированный, нейтральный, 50–200 меш), элюент EtOAc–гексан, 1:2. Соотношение изомеров в продуктах реакций определялось по спектрам ЯМР ^1H как отношение интегральных интенсивностей сигналов однотипных протонов и по данным хромато-масс-спектрометрии.

Реактивы фирмы Acros Organics применяли без дополнительной очистки, для синтезов использовали свежеперегнанные растворители. Синтез, а также спектральные, физико-химические характеристики и данные элементного анализа соединений **1a–d** [9] и **1e*** были опубликованы ранее.

Монокристаллы изомеров **2aA** и **2aB** были получены медленной кристаллизацией из смеси EtOAc–гексан образцов, полученных после хроматографического разделения см. ниже. Параметры элементарных ячеек и интенсивности отражений для соединений **2aA** и **2aB** измерены на автоматических трёхкружных дифрактометрах Bruker SMART 1K CCD (λMoK_α -излучение, графитовый монохроматор, φ - и ω -сканирование) (соединение **2aA**) и Bruker SMART APEX-II CCD (λMoK_α -излучение, графитовый монохроматор, φ - и ω -сканирование) (соединение **2aB**). Основные кристаллоструктурные данные представлены в таблице. Структуры обоих соединений определены прямым методом и уточнены полноматричным методом наименьших квадратов по F^2 в анизотропном приближении для неводородных атомов. Кристалл соединения **2aA** содержит сокристаллизационную молекулу 2-фенилизоиндолин-1-она (**3a**) в соотношении 3:1, которая разупорядочена по двум положениям, связанным поворотом на 180° в плоскости молекулы, с заселённостями 0.6:0.4. Один из двух карбоксилатных заместителей в соединении **2aB** разупорядочен по двум положениям с равными заселённостями. В обоих соединениях атомы водорода, положения которых рассчитаны геометрически, включены в уточнение в изотропном приближении с фиксированными позиционными (модель "наездника") и тепловыми ($U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1.5U_{\text{экви}}(\text{C})$ для CH_3 -групп и $U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1.2U_{\text{экви}}(\text{C})$ для всех остальных групп) параметрами. Все расчёты проведены с использованием комплекса программ *SHELXTL* [19]. Таблицы координат атомов, длин связей, валентных и торсионных углов и анизотропных температурных параметров для соединений **2aA** $\cdot \frac{1}{3}\text{C}_{14}\text{H}_{11}\text{NO}$ и **2aB** депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 860029 и 860030).

Метилловый эфир (3aRS,6SR,7RS,7aSR)-2-бензил-7a-метил-1-оксо-1,2,3,6,7,7a-гексагидро-3a,6-эпоксизоиндоло-7-карбоновой кислоты (1f). К суспензии 3 г (0.01 моль) (3aRS,6SR,7RS,7aSR)-2-бензил-7a-метил-1-оксо-1,2,3,6,7,7a-гексагидро-3a,6-эпоксизоиндоло-7-карбоновой кислоты [20] в 50 мл MeOH добавляют 1 мл конц. H_2SO_4 , кипятят 10–12 ч (контроль ТСХ, суспензия полностью переходит в раствор). Реакционную смесь охлаждают, выливают в 100 мл воды, экстрагируют CHCl_3 (3 \times 50 мл). Экстракт сушат безв. MgSO_4 . Остаток после отгонки CHCl_3 перекристаллизовывают из смеси EtOAc–гексан. Бесцветные пластинки. Выход 0.90 г (32%). Т. пл. 103–104 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1681 (N=C=O), 1734 (O=C=O).

* Ф. И. Зубков, В. П. Зайцев, И. К. Айриян, В. Д. Голубев, Е. С. Пузикова, Е. А. Сорокина, Е. В. Никитина, А. В. Варламов, *Изв. АН, Сер. хим.*, 2012, в печати.

**Основные кристаллографические данные и параметры уточнения
для соединений 2aA и 2aB**

Параметры	2aA · 1/3 C ₁₄ H ₁₁ NO	2aB
Брутто-формула	3(C ₁₈ H ₁₉ NO ₅) · C ₁₄ H ₁₁ NO	C ₁₈ H ₁₉ NO ₅
Молекулярная масса	1197.26	329.34
T, К	100	296
Сингония	Триклинная	Моноклиная
Пространственная группа	P1	P2 ₁ /c
a, Å	8.246(2)	8.2172(8)
b, Å	11.297(3)	6.1754(6)
c, Å	15.997(5)	34.190(3)
α, град.	95.190(6)	90
β, град.	103.399(6)	96.590(3)
γ, град.	90.346(7)	90
V, Å ³	1443.1(7)	1723.5(3)
Z	1	4
d _c , г·см ⁻³	1.378	1.269
F(000)	632	696
μ, мм ⁻¹	0.099	0.093
2θ _{max} , град.	56	52
Число измеренных отражений	14983	15782
Число независимых отражений	12900 (R _{int} = 0.024)	3362 (R _{int} = 0.032)
Число отражений с I > 2σ(I)	10098	2377
Число уточняемых параметров	811	217
R1 (I > 2σ(I))	0.058	0.062
wR2 (все данные)	0.157	0.173
GOF	1.004	1.002

Спектр ЯМР ¹H (600 МГц), δ, м. д. (J, Гц): 1.15 (3H, с, CH₃); 2.24 (1H, с, H-7); 3.52 (1H, д, J = 11.5, H-3); 3.62 (1H, д, J = 11.5, H-3); 3.76 (3H, с, OCH₃); 4.20 (1H, д, J = 15.1) и 4.70 (1H, д, J = 15.1, NCH₂Ph); 5.05 (1H, д, J = 1.7, H-6); 6.37 (1H, д, J = 5.7, H-4); 6.47 (1H, д, д, J = 1.7, J = 5.7, H-5); 7.19 (2H, д, J = 7.7, H-2,6 Ph); 7.22 (1H, т, J = 7.7, H-4 Ph); 7.29 (2H, т, J = 7.7, H-3,5 Ph). Масс-спектр, m/z (I_{отн}, %): 313 [M]⁺ (2), 232 (6), 222 (6), 186 (36), 127 (100), 99 (13), 91 (63), 81 (53), 53 (19), 39 (10). Найдено, %: C 68.63; H 6.35; N 4.65. C₁₈H₁₉NO₄. Вычислено, %: C 69.00; H 6.11; N 4.47.

1-Оксо-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндоло-5,6-диил диацетаты 2a-f (общая методика). К раствору 2.2 ммоль соответствующего 3a,6-эпоксиизоиндолона **1a-f** в 10 мл уксусного ангидрида прибавляют 0.70 мл (5.5 ммоль) VF₃·Et₂O. Перемешивают 15 мин – 2 ч при комнатной температуре (контроль ТСХ). По завершении реакции реакционную смесь выливают в 50 мл воды, подщелачивают водным раствором NaHCO₃, экстрагируют CHCl₃ (3 × 20 мл). Экстракт сушат безв. MgSO₄. Остаток после удаления CHCl₃ очищают либо колоночной хроматографией, либо дробной перекристаллизацией, как указано ниже. Получают изоиндолы **2a-e** в виде бесцветных кристаллов или слабо-жёлтого масла (соединение **2f**).

(5RS,6RS,7aSR)-1-Оксо-2-фенил-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндол-5,6-диил диацетат (2aA) и (5RS,6SR,7aRS)-1-оксо-2-фенил-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндол-5,6-диил диацетат (2aB). После удаления CHCl₃ получают 0.44 г смеси продуктов **2aA/2aB/3a** в соотношении ~73:18:9 (по данным ЯМР ¹H спектроскопии). После колоночной хроматографии получают две основные фракции.

Фракция 1, 0.36 г (~50%). Смесь соединений **2aA** и **3a** в соотношении 92:8 (по данным ЯМР ^1H спектроскопии). После перекристаллизации из EtOAc–гексан выпадают кристаллы, пригодные для PCA, содержащие соединения **2aA** и **3a** в соотношении 3:1. Индивидуальный изомер **2aA** получают после повторной перекристаллизации из той же системы в виде порошка, непригодного для PCA; т. пл. 154–156 °С. ИК спектр, ν , см^{-1} : 1689 (N–C=O), 1736 (O–C=O). Спектр ЯМР ^1H (400 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 1.75 (1H, к, $J = 12.4$, H-7); 2.07 (6H, с, COCH_3); 2.57 (1H, д. д. д, $J = 4.1$, $J = 5.1$, $J = 12.4$, H-7); 3.39–3.43 (1H, м, H-7a); 4.23 (1H, д. к, $J = 0.9$, $J = 12.8$, H-3); 4.52 (1H, д. к, $J = 2.3$, $J = 12.8$, H-3); 5.20 (1H, д. д. д, $J = 4.1$, $J = 7.7$, $J = 12.4$, H-6); 5.53–5.57 (1H, м, H-5); 5.74–5.76 (1H, м, H-4); 7.16 (1H, т, $J = 7.8$, H-4 Ph); 7.37 (2H, т, $J = 7.8$, H-3,5 Ph); 7.61 (2H, д, $J = 7.8$, H-2,6 Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 21.12 и 21.14 (CH_3); 29.4 (C-7); 43.3 (C-7a); 51.7 (C-3); 72.3 (C-6); 72.6 (C-5); 119.2 (C-4); 119.8 (C-2,6 Ph); 125.0 (C-4 Ph); 129.1 (C-3,5 Ph); 136.7 (C-3a); 138.8 (C-1 Ph); 170.4 и 170.8 (OC=O); 171.0 (NC=O). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 329 $[\text{M}]^+$ (5), 281 (23), 207 (100), 181 (37), 133 (15), 91 (17), 73 (25), 43 (91). Найдено, %: C 65.79; H 6.01; N 4.14. $\text{C}_{18}\text{H}_{19}\text{NO}_5$. Вычислено, %: C 65.64; H 5.81; N 4.25.

Фракция 2, 0.09 г (12%), изомер **2aB**. Бесцветные иглы, т. пл. 163–164 °С (EtOAc–гексан). ИК спектр, ν , см^{-1} : 1687 (N–C=O), 1740 (O–C=O). Спектр ЯМР ^1H (400 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 1.92 (1H, к, $J = 12.0$, H-7); 2.05 (3H, с, COCH_3); 2.09 (3H, с, COCH_3); 2.30 (1H, д. д. д, $J = 3.3$, $J = 5.9$, $J = 12.0$, H-7); 3.32–3.37 (1H, м, H-7a); 4.26 (1H, д, $J = 12.8$, H-3); 4.55 (1H, д. к, $J = 2.3$, $J = 12.8$, H-3); 5.08 (1H, д. т, $J = 3.3$, $J = 12.0$, H-6); 5.60–5.63 (1H, м, H-5); 5.77–5.80 (1H, м, H-4); 7.16 (1H, т, $J = 7.6$, H-4 Ph); 7.37 (2H, т, $J = 7.6$, H-3,5 Ph); 7.62 (2H, д, $J = 7.6$, H-2,6 Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 20.9 и 21.0 (CH_3); 24.3 (C-7); 44.4 (C-7a); 52.0 (C-3); 65.3 (C-5); 69.4 (C-6); 118.3 (C-4); 119.8 (C-2,6 Ph); 125.0 (C-4 Ph); 129.1 (C-3,5 Ph); 137.5 (C-3a); 139.0 (C-1 Ph); 170.1 и 170.4 (OC=O); 171.0 (NC=O). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 329 $[\text{M}]^+$ (12), 209 (83), 181 (22), 156 (5), 104 (9), 91 (15), 77 (26), 43 (100). Найдено, %: C 65.37; H 5.56; N 4.01. $\text{C}_{18}\text{H}_{19}\text{NO}_5$. Вычислено, %: C 65.64; H 5.81; N 4.25.

(5RS,6RS,7aSR)-6-Метил-1-оксо-2-фенил-2,3,5,6,7,7a-гексагидро-1H-изоиндол-5,6-диил диацетат (2bA). После удаления CHCl_3 и перекристаллизации из смеси EtOAc–гексан получают 0.32 г (43%) индивидуального изомера **2bA**. Бесцветные иглы, т. пл. 217–218 °С (EtOAc–гексан). ИК спектр, ν , см^{-1} : 1708 (N–C=O), 1750 (O–C=O). Спектр ЯМР ^1H (600 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 1.84 (3H, с, CH_3); 1.95 (3H, с, COCH_3); 2.10 (3H, с, COCH_3); 2.36 (1H, д. д, $J = 6.2$, $J = 17.2$, H-7); 2.45 (1H, д. д. к, $J = 1.4$, $J = 11.0$, $J = 17.2$, H-7); 3.11 (1H, д. д, $J = 6.2$, $J = 11.0$, H-7a); 4.11 (1H, д, $J = 11.7$, H-3); 4.52 (1H, д, $J = 11.7$, H-3); 5.59 (1H, д. к, $J = 1.6$, $J = 5.5$, H-5); 5.74 (1H, д, $J = 5.5$, H-4); 7.14 (1H, т, $J = 7.6$, H-4 Ph); 7.36 (2H, д. д, $J = 7.6$, $J = 8.9$, H-3,5 Ph); 7.61 (2H, д, $J = 8.9$, H-2,6 Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 21.2; 21.8 и 23.6 (CH_3); 26.4 (C-7); 44.7 (C-7a); 51.5 (C-3); 65.3 (C-5); 80.4 (C-6); 117.5 (C-4); 119.4 (C-2,6 Ph); 124.5 (C-4 Ph); 129.1 (C-3,5 Ph); 139.3 (C-3a); 141.8 (C-1 Ph); 169.4 и 170.4 (OC=O); 171.4 (NC=O). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 343 $[\text{M}]^+$ (4), 223 (32), 208 (53), 196 (29), 122 (16), 104 (49), 91 (25), 77 (28), 43 (100). Найдено, %: C 66.66; H 6.37; N 4.10. $\text{C}_{19}\text{H}_{21}\text{NO}_5$. Вычислено, %: C 66.46; H 6.16; N 4.08.

Метилловый эфир (5RS,6RS,7RS,7aSR)-5,6-бис(ацетокси)-1-оксо-2-фенил-2,3,5,6,7,7a-гексагидро-1H-изоиндол-7-карбоновой кислоты (2c). После удаления CHCl_3 и перекристаллизации из смеси EtOAc–гексан получают 0.31 г (37%) индивидуального изомера **2c**. Бесцветные пластинки, т. пл. 189–190 °С (EtOAc–гексан). ИК спектр, ν , см^{-1} : 1686 (N–C=O), 1741 (O–C=O). Спектр ЯМР ^1H (600 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 2.05 (3H, с, COCH_3); 2.09 (3H, с, COCH_3); 3.57–3.60 (1H, м, H-7a); 3.68 (3H, с, OCH_3); 3.79 (1H, т, $J = 5.5$, H-7); 4.32 (1H, д, $J = 13.1$, H-3); 4.52 (1H, д. к, $J = 2.8$, $J = 13.1$, H-3); 5.26 (1H, д. д, $J = 5.5$, $J = 8.3$, H-6); 5.60 (1H, д. к, $J = 2.8$, $J = 8.3$, H-5); 5.76–5.78 (1H, м, H-4); 7.13 (1H, т, $J = 7.3$, H-4 Ph); 7.34 (2H, т, $J = 7.3$, H-3,5 Ph); 7.58 (2H, д, $J = 7.3$, H-2,6 Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 21.0 и 21.1 (CH_3); 43.4 (C-7a); 45.4 (C-7); 51.6 (C-3); 52.3 (OCH_3); 70.8 (C-6); 71.9 (C-5); 118.8 (C-4); 120.0 (C-2,6 Ph); 125.1 (C-4 Ph); 129.1 (C-3,5 Ph); 133.8 (C-3a); 138.8 (C-1 Ph); 169.7; 169.9 и

170.4 (OC=O); 170.5 (NC=O). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 387 $[M]^+$ (52), 327 (26), 285 (37), 267 (73), 224 (38), 208 (100), 166 (19), 107 (66), 91 (27), 77 (36), 59 (21), 43 (40). Найдено, %: С 62.48; Н 5.15; N 4.01. $C_{20}H_{21}NO_7$. Вычислено, %: С 62.01; Н 5.46; N 3.62.

Метилловый эфир (5RS,6SR,7SR,7aSR)-5,6-бис(ацетокси)-6-бром-1-оксо-2-фенил-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндол-7-карбоновой кислоты (2d). После удаления $CHCl_3$ получают 0.18 г смеси продуктов с содержанием целевого соединения около 40%, детально состав смеси не исследовался. Спектр ЯМР 1H соединения **2d** (400 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 2.39 (3H, с, $COCH_3$); 2.40 (3H, с, $COCH_3$); 3.12 (1H, д, $J = 8.7$, H-7a); 3.29 (1H, д, $J = 8.7$, H-7); 3.83 (3H, с, OCH_3); 4.32 (1H, д, $J = 11.5$, H-3); 4.43 (1H, д, $J = 11.5$, H-3); 6.49–6.54 (1H, м, H-5); 6.68 (1H, д, $J = 5.5$, H-4); 7.77 (2H, д, $J = 9.2$, H-2,6 Ph); 8.02–8.10 (3H, м, H-3,4,5 Ph).

(5RS,6RS,7aSR)-2-Бензил-7а-метил-1-оксо-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндол-5,6-диил диацетат (2eA) и (5RS,6SR,7aRS)-2-бензил-7а-метил-1-оксо-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндол-5,6-диил диацетат (2eB). После удаления $CHCl_3$ получают 0.31 г (39%) смеси изомеров **2eA/2eB** в соотношении ~75:25 (по данным ЯМР 1H спектроскопии). Основной изомер **2eA** был выделен в индивидуальном виде дробной перекристаллизацией из смеси $EtOAc$ –гексан. Бесцветные иглы, т. пл. 110–110.5 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1677 (N–C=O), 1736 (O–C=O). Спектр ЯМР 1H (400 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 1.37 (3H, с, CH_3); 1.77 (1H, т, $J = 12.4$, H-7); 2.04 (3H, с, $COCH_3$); 2.05 (3H, с, $COCH_3$); 2.23 (1H, д, $J = 4.1$, $J = 12.4$, H-7); 3.56 (1H, д, $J = 12.4$, H-3); 3.86 (1H, д, т, $J = 1.8$, $J = 12.4$, H-3); 4.35 (1H, д, $J = 15.1$, NCH_2); 4.59 (1H, д, $J = 15.1$, NCH_2); 5.35 (1H, д, д, $J = 4.1$, $J = 7.3$, $J = 12.4$, H-6); 5.43–5.45 (1H, м, H-5); 5.50–5.51 (1H, м, H-4); 7.19–7.35 (5H, м, H Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 21.1 и 21.2 (CH_3); 21.8 (CH_3); 35.1 (C-7a); 44.6 (C-7); 46.4 (NCH_2); 48.9 (C-3); 70.5 (C-6); 73.0 (C-5); 118.3 (C-4); 128.0; 128.2; 129.0 (C Ph); 136.0 (C-3a); 142.4 (C-1 Ph); 170.5 и 170.9 (OC=O); 176.0 (NC=O). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 357 $[M]^+$ (2), 297 (4), 237 (45), 222 (5), 146 (17), 121 (16), 105 (17), 91 (100), 77 (9), 65 (13), 43 (85). Найдено, %: С 67.55; Н 6.68; N 4.13. $C_{20}H_{23}NO_5$. Вычислено, %: С 67.21; Н 6.49; N 3.92.

Изомер **2eB**. Спектр ЯМР 1H (400 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 1.30 (3H, с, CH_3); 1.92–1.95 (1H, м, H-7); 2.02 (3H, с, $COCH_3$); 2.06 (3H, с, $COCH_3$); 2.02–2.06 (1H, м, H-7); 3.59 (1H, д, $J = 12.8$, H-3); 3.87 (1H, д, $J = 12.4$, H-3); 4.20 (1H, д, $J = 14.7$, NCH_2); 4.74 (1H, д, $J = 14.7$, NCH_2); 5.20–5.25 (1H, м, H-6); 5.44–5.46 (1H, м, H-5); 5.52–5.53 (1H, м, H-4); 7.19–7.35 (5H, м, H Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 20.9 и 21.1 (CH_3); 21.5 (CH_3); 30.0 (C-7a); 44.9 (C-7); 46.3 (NCH_2); 49.2 (C-3); 65.2 (C-5); 67.3 (C-6); 117.4 (C-4); 127.8; 128.0; 128.8 (C Ph); 135.9 (C-3a); 142.8 (C-1 Ph); 170.1 и 170.3 (OC=O); 175.8 (NC=O). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 357 $[M]^+$ (2), 297 (3), 272 (5), 237 (48), 164 (3), 146 (7), 121 (19), 105 (23), 91 (100), 77 (9), 65 (12), 43 (83).

Метилловые эфиры (5RS,6RS,7RS,7aSR)-5,6-бис(ацетокси)-2-бензил-7а-метил-1-оксо-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндол-7-карбоновой (2fA) и (5RS,6SR,7SR,7aRS)-5,6-бис(ацетокси)-2-бензил-7а-метил-1-оксо-2,3,5,6,7,7а-гексагидро-1H-изоиндол-7-карбоновой (2fB) кислот. После удаления $CHCl_3$ получают 0.67 г (74%) жёлтого масла смеси эфиров **2fA/2fB** в соотношении ~90:10 (по данным ЯМР 1H спектроскопии). Основной изомер **2fA** был выделен хроматографически в виде светло-жёлтого масла. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1687 (N–C=O), 1737 (O–C=O). Спектр ЯМР 1H (400 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 1.39 (3H, с, CH_3); 2.11 (6H, с, $2COCH_3$); 3.40 (1H, д, $J = 5.5$, H-7); 3.64 (3H, с, OCH_3); 3.65 (1H, д, $J = 12.8$, H-3); 3.84 (1H, д, т, $J = 2.3$, $J = 12.8$, H-3); 4.38 (1H, д, $J = 14.7$) и 4.48 (1H, д, $J = 14.7$, NCH_2); 5.39 (1H, д, $J = 5.5$, $J = 7.8$, H-6); 5.48–5.50 (1H, м, H-5); 5.52–5.54 (1H, м, H-4), 7.15–7.31 (5H, м, H Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 21.0 и 21.1 (CH_3); 23.1 (CH_3); 46.3 (C-7); 47.3 (NCH_2); 48.7 (C-7a); 49.0 (C-3); 52.2 (OCH_3); 70.2 (C-6); 71.2 (C-5); 118.2 (C-4); 127.8; 128.0; 128.9 (C Ph); 135.8 (C-3a); 139.2 (C-1 Ph); 170.4; 170.5 и 170.6 (OC=O); 174.7 (NC=O). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 415 $[M]^+$ (4), 355 (3), 313 (11), 296 (8), 254 (13), 236 (11), 163 (6), 121 (17), 91 (100), 65 (9), 43 (81). Найдено, %: С 63.79; Н 6.15; N 3.11. $C_{22}H_{25}NO_7$. Вычислено, %: С 63.61; Н 6.07; N 3.37.

Изомер **2fв**. Спектр ЯМР ^1H (400 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 1.34 (3H, с, CH_3); 1.99 (3H, с, COCH_3); 2.03 (3H, с, COCH_3); 3.20 (1H, д, $J = 5.5$, H-7); 3.63 (3H, с, OCH_3); 3.54–3.62 (1H, м, H-3); 3.79–3.83 (1H, м, H-3); 4.35 (1H, д, $J = 14.9$) и 4.58 (1H, д, $J = 14.9$, NCH_2); 4.96 (1H, к, $J = 5.5$, H-6); 5.47–5.50 (1H, м, H-5); 5.52–5.54 (1H, м, H-4), 7.15–7.31 (5H, м, H Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 20.8 и 20.9 (CH_3); 22.5 (CH_3); 46.4 (C-7); 47.6 (NCH_2); 49.1 (C-7a); 51.8 (C-3); 52.5 (OCH_3); 64.7 (C-5); 67.8 (C-6); 119.1 (C-4); 128.4; 128.8; 128.9 (C Ph); 135.8 (C-3a); 139.2 (C-1 Ph); 170.1; 170.2 и 170.4 ($\text{OC}=\text{O}$); 174.7 ($\text{NC}=\text{O}$). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 415 $[\text{M}]^+$ (3), 355 (5), 296 (5), 280 (4), 254 (11), 236 (7), 163 (3), 121 (11), 91 (100), 77 (6), 43 (96).

Фенилизоиндолин-1-оны 3a,b (общая методика). К раствору 3.5 ммоль 3a,6-эпоксизоиндолона **1a,b** в 10 мл уксусного ангидрида прибавляют 1.1 мл (8.7 ммоль) $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$, перемешивают 1 сут при комнатной температуре (контроль ТСХ). Реакционную смесь выливают в 50 мл воды, нейтрализуют водным раствором NaHCO_3 , экстрагируют CHCl_3 (3 \times 20 мл). Экстракт сушат безв. MgSO_4 . Остаток после отгонки CHCl_3 растирают в эфире. Образующийся порошок отфильтровывают и перекристаллизовывают из смеси гексан– EtOAc . Получают 2-фенилизоиндолоны **3a,b** в виде бесцветных кристаллов.

2-Фенилизоиндолин-1-он (3a). Выход 0.50 г (68%). Бесцветные волокнистые кристаллы, т. пл. 143–144 °С (EtOAc –гексан). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1689 ($\text{N}=\text{C}=\text{O}$). Спектр ЯМР ^1H (400 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 4.86 (2H, с, H-3); 7.18 (1H, т, $J = 7.3$, H-4 Ph); 7.43 (2H, д, д, $J = 7.3$, $J = 8.5$, H-3,5 Ph); 7.50 (1H, т, $J = 7.3$, H-6); 7.52 (1H, д, $J = 8.2$, H-4); 7.59 (1H, д, д, $J = 0.9$, $J = 7.3$, $J = 8.2$, H-5); 7.87 (2H, д, д, $J = 0.9$, $J = 8.5$, H-2,6 Ph); 7.92 (1H, д, $J = 7.3$, H-7). Спектр ЯМР ^{13}C (150 МГц), δ , м. д.: 50.8 (C-3); 119.6 (C-2,6 Ph); 122.7 (C Ar); 124.3 (C-4 Ph); 124.6 (C Ar); 128.5 (C Ar); 129.3 (C-3,5 Ph); 132.2; 132.8; 139.6; 140.2 (C Ar); 167.6 (C-1 Ph). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 209 $[\text{M}]^+$ (85), 180 (42), 152 (21), 132 (10), 104 (53), 89 (57), 77 (100), 63 (33), 51 (31), 39 (18). Найдено, %: C 80.49; H 5.08; N 6.91. $\text{C}_{14}\text{H}_{11}\text{NO}$. Вычислено, %: C 80.36; H 5.30; N 6.69.

6-Метил-2-фенилизоиндолин-1-он (3b). Бесцветные волокнистые кристаллы. Выход 0.32 г (41%), т. пл. 190–191 °С (EtOAc –гексан). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1680 ($\text{N}=\text{C}=\text{O}$). Спектр ЯМР ^1H (600 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 2.45 (3H, с, CH_3); 4.78 (2H, с, H-3); 7.16 (1H, т, $J = 7.6$, H-4 Ph); 7.38 (2H, с, H-4,5); 7.41 (2H, т, $J = 7.6$, H-3,5 Ph); 7.71 (1H, с, H-7); 7.85 (2H, д, $J = 7.6$, H-2,6 Ph). Спектр ЯМР ^{13}C (100 МГц), δ , м. д.: 21.5 (CH_3); 50.6 (C-3); 119.4 (C-2,6 Ph); 122.4 (C Ar); 124.3 (C-4 Ph); 124.4 (C Ar); 129.2 (C-3,5 Ph); 133.2; 133.4; 137.4; 138.5; 139.7 (C Ar); 167.8 (C-1 Ph). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 223 $[\text{M}]^+$ (100), 208 (29), 194 (43), 165 (6), 130 (7), 104 (16), 91 (15), 77 (40), 63 (8), 51 (9). Найдено, %: C 80.99; H 5.55; N 6.69. $\text{C}_{15}\text{H}_{13}\text{NO}$. Вычислено, %: C 80.69; H 5.87; N 6.27.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 10-03-00177-а, 11-03-90416-Укр ф а, 11-04-01537-а и 10-04-90044-Вел а) и программы "Молекулярная и клеточная биология" Президиума Российской академии наук.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории Центра прецизионных инструментальных методов анализа "ПРИМА" ЦКП РУДН за проведение спектральных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. Woo, B. A. Keay, *Synthesis*, 669 (1996).
2. M. Lautens, E. Fillion, *J. Org. Chem.*, **63**, 647 (1998).
3. C. O. Kappe, S. S. Murphree, A. Padwa, *Tetrahedron*, **53**, 14179 (1997).
4. C. S. Schindler, E. M. Carreira, *Chem. Soc. Rev.*, **38**, 3222 (2009).
5. Y.-P. Xue, W.-D. Z. Li, *J. Org. Chem.*, **76**, 57 (2011).
6. A. D. Mance, B. Borovička, K. Jacopčić, G. Pavlović, I. Leban, *J. Heterocycl. Chem.*, **39**, 277 (2002).

7. A. Ilyin, V. Kysil, M. Krasavin, I. Kurashvili, A. V. Ivachtchenko, *J. Org. Chem.*, **71**, 9544 (2006).
8. А. В. Варламов, Е. В. Болтухина, Ф. И. Зубков, Н. В. Сидоренко, А. И. Чернышев, Д. Г. Грудинин, *ХГС*, 27 (2004). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **40**, 22 (2004).]
9. F. I. Zubkov, V. P. Zaytsev, E. V. Nikitina, V. N. Khrustalev, S. V. Gozun, E. V. Boltukhina, A. V. Varlamov, *Tetrahedron*, **67**, 9148 (2011).
10. A. Padwa, K. R. Crawford, C. S. Straub, S. N. Pieniazek, K. N. Houk, *J. Org. Chem.*, **71**, 5432 (2006).
11. L. Sader-Bakaouni, O. Charton, N. Kunesch, F. Tillequin, *Tetrahedron*, **54**, 1773 (1998).
12. A. Padwa, T. S. Reger, *Can. J. Chem.*, **78**, 749 (2000).
13. M. E. Jung, L. J. Street, *Tetrahedron Lett.*, **26**, 3639 (1985).
14. I. N. N. Namboothiri, M. Ganesh, S. M. Mobin, M. Cojocar, *J. Org. Chem.*, **70**, 2235 (2005).
15. J. E. Hernández, S. Fernández, G. Arias, *Synth. Commun.*, **18**, 2055 (1988).
16. P. S. Sarang, A. A. Yadav, P. S. Patil, U. M. Krishna, G. K. Trivedi, M. M. Salunkhe, *Synthesis*, 1091 (2007).
17. A. A. Mir, V. V. Mulwad, G. K. Trivedi, *J. Heterocycl. Chem.*, **47**, 214 (2010).
18. Ф. И. Зубков, Е. В. Никитина, А. В. Варламов, *Успехи химии*, **74**, 707 (2005). [*Russ. Chem. Rev.*, **74**, 639 (2005).]
19. G. M. Sheldrick, *Acta Crystallogr.*, **A64**, 112 (2008).
20. В. П. Зайцев, Н. М. Михайлова, И. К. Айриян, Е. В. Галкина, В. Д. Голубев, Е. В. Никитина, Ф. И. Зубков, А. В. Варламов, *ХГС*, 538 (2012).

Российский университет дружбы народов,
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва 117198, Россия,
e-mail: fzubkov@sci.pfu.edu.ru

Поступило 17.01.2012

^a Институт элементоорганических соединений
им. А. Н. Несмеянова РАН,
ул. Вавилова, 28, ГСП-1, Москва 119991, Россия
e-mail: vkh@xrlab.ineos.ac.ru

^b Институт молекулярной биологии
им. В. А. Энгельгардта РАН,
ул. Вавилова, 32, Москва 119991, Россия
e-mail: novikovfff@bk.ru