

Синтез *N*-замещенных 2-амино-1,4,5,6-тетрагидропиримидинов из изоцианатов

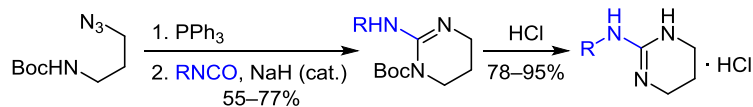
Дмитрий С. Иванов¹, Александр Ю. Смирнов^{1,2*}, Михаил С. Баранов^{1,2}

¹ Институт биоорганической химии им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН, ул. Миклухо-Маклая, 16/10, Москва ГСП-7 117997, Россия

² Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Минздрава России, ул. Островитянова, 1, Москва 117997, Россия; e-mail: alexmsu@yandex.ru

Поступило 16.08.2023

Принято после доработки 4.10.2023



R = Ph, 4-MeC₆H₄, 4-FC₆H₄, 4-BrC₆H₄, *t*-Bu, Cy, Bn

Разработана простая методика синтеза *N*-замещенных 2-амино-1,4,5,6-тетрагидропиримидинов из изоцианатов, допускающая широкую вариативность заместителей.

Ключевые слова: 2-амино-1,4,5,6-тетрагидропиримидины, *tert*-бутоксикарбонильная защита гуанидинов, циклические гуанидины.

Гуанидиновые производные находят широкое применение во многих областях современной химии, что обусловливается их высокой основностью и хорошей растворимостью в разных средах.¹ Варьирование заместителей при атомах азота гуанидиновой системы позволяет изменять свойства таких веществ и открывает неограниченные возможности использования в синтетической практике. Примерами могут служить ненуклеофильные основания Бартонна,² а также хиральные катализаторы³ (рис. 1). Разнообразие применения этих соединений охватывает сферы медицинской,⁴ супрамолекулярной⁵ и координационной⁶ химии. В связи с важной ролью этих оснований существует потребность в новых подходах к получению циклических и полизамещенных гуанидинов. Такие подходы имеют особенную ценность для концепции полного синтеза, поскольку гуанидины широко представлены среди природных соединений⁷ (рис. 1).

В данной работе мы предлагаем эффективный способ получения *N*-замещенных циклических гуанидинов – 2-амино-1,4,5,6-тетрагидропиримидинов – из азидов **1** посредством конденсации фосфазена **2** с изоцианатами с последующей циклизацией под действием основания (табл. 1). В литературе описаны методы получения подобных соединений из карбодимидов,⁸ пиримидинов⁹ и циклических карбамидов,¹⁰ однако все они требуют использования катализаторов на основе переходных металлов или ограничиваются низкой

вариативностью субстратов. Поэтому вовлечение широкого класса изоцианатов открывает доступ к разнообразным алкил- и арилзамещенным производным гуанидинов.

Исходный фосфазен **2** был получен из соответствующего азидов **1**, который может быть легко получен из 3-хлорпропиламина.¹¹ Мы установили, что фосфазен **2** легко вступает в реакцию с изоцианатами с образованием достаточно стабильных карбодимидов **3a–g**, которые не претерпевают самопроизвольной циклизации в гуанидины **4a–g**. В одном случае (соединение **3a**, R = Ph) мы даже выделили и охарактеризовали данный карбодимид в индивидуальном виде. Тем не менее

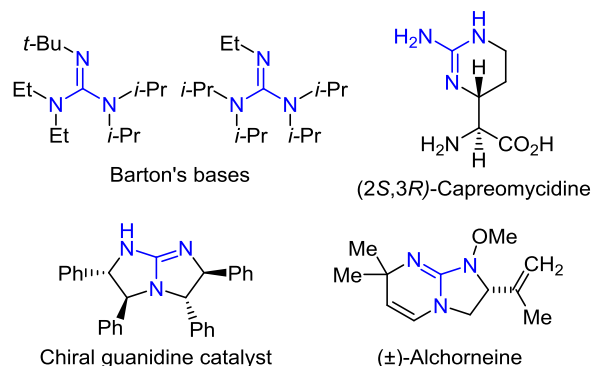
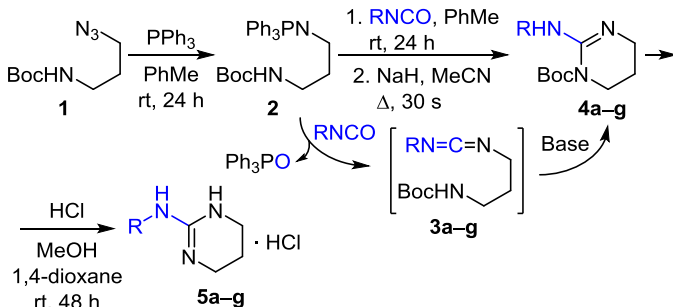


Рисунок 1. Гуанидины как катализаторы и природные соединения.

Таблица 1. Выходы гуанидинов **4a–g** и 2-амино-1,4,5,6-тетрагидропиримидинов **5a–g**

R	Продукт	Выход, %	Продукт	Выход, %
Ph	4a	70	5a	90
4-MeC ₆ H ₄	4b	75	5b	95
4-BrC ₆ H ₄	4c	63	5c	95
4-FC ₆ H ₄	4d	73	5d	95
Bn	4e	55	5e	88
Cy	4f	67	5f	78
<i>t</i> -Bu	4g	77	5g	–

карбодиимиды **3a–g** оказались не очень стабильными, поэтому для синтеза производных **4a–g** реакцию проводили без выделения соединений **3a–g**. Исходную конденсацию проводили в PhMe, затем растворитель упаривали, реакционную смесь перерастворяли в MeCN и проводили циклизацию действием каталитических количеств NaN (табл. 1). Проведение конденсации сразу в MeCN приводило к появлению побочных продуктов, поэтому для этой стадии был использован PhMe как менее полярный растворитель, не способный к побочным реакциям.

Интересно, что несмотря на наличие *tert*-бутоксикарбонильной защитной группы, производные **4a–g** сохраняли высокоосновные свойства. С одной стороны, это потребовало добавления Et_3N в элюент при их очистке с помощью колоночной хроматографии. Однако, с другой стороны, помогло провести очистку от неосновного оксида трифенилфосфина. Также интересной особенностью спектров ЯМР ^1H соединений **4a–g** стало аномальное уширение сигнала протона экзоциклического фрагмента NH, что объясняется замедленным вращением соседней *tert*-бутоксикарбонильной группы.¹²

Удаление *tert*-бутоксикарбонильной защиты проводилось при комнатной температуре в условиях кислотного катализа. Однако, в отличие от первичных или вторичных аминов, для которых реакция протекает порой практически мгновенно, удаление защиты гуанидинов **4a–g** требовало взаимодействия с кислотой в течение 48 ч. В связи с этим нам не удалось получить продукт **5g**, содержащий *tert*-бутильную группу при атоме азота, так как в данных условиях она также частично удалялась.¹³

Таким образом, нами разработана эффективная методика синтеза с высокими выходами различных

алкил- и арилзамещенных циклических гуанидинов с *tert*-бутоксикарбонильной защитой и без нее. Методика не требует применения металлокомплексных катализаторов или сложных условий реакции. Использование доступных изоцианатов в этом процессе допускает широкое разнообразие получаемых продуктов.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C зарегистрированы на спектрометрах Bruker Avance III (700 и 176 МГц соответственно) и Bruker Fourier 300 (300 и 75 МГц соответственно) в $\text{DMCO}-d_6$ (соединения **2**, **3a**, **5a–f**) или CDCl_3 (соединения **4a–g**), внутренний стандарт TMS или остаточный сигнал растворителя ($\text{DMCO}-d_6$: 2.50 м. д. для ядер ^1H , 39.5 м. д. для ядер ^{13}C ; CDCl_3 : 7.26 м. д. для ядер ^1H , 77.2 м. д. для ядер ^{13}C). Масс-спектры высокого разрешения (ионизация электрораспылением) записаны на приборе AB Sciex TripleTOF 5600+. Температуры плавления определены на приборе SMP30. Для колоночной хроматографии использован силикагель Merck Kieselgel 60.

Реагенты фирмы Acros Organics применены без дополнительной очистки, для проведения реакций использованы свежеперегранные растворители. *tert*-Бутил(3-азидопропил)карбамат (**1**) получен по литературной методике.¹¹

***tert*-Бутил{3-[(трифенилфосфоранилиден)амино]пропил}карбамат (2)**. В 100 мл сухого PhMe растворяют 10.0 г (50 ммоль) *tert*-бутил(3-азидопропил)карбамата (**1**). При перемешивании порционно в течение 30 мин добавляют 14.4 г (55 ммоль) PPh_3 и перемешивают при комнатной температуре в течение 24 ч. Полученную смесь упаривают досуха на роторном испарителе. Твердый остаток промывают смесью Et_2O –гексан, 1:2 (3 × 50 мл). Полученный продукт сушат при пониженном давлении. Выход 16.5 г (76%), белый порошок, т. пл. 119–121°C. Спектр ЯМР ^1H (300 МГц), δ , м. д.: 7.67–7.46 (15H, м, H Ph); 7.22 (1H, с, NH); 3.14–2.89 (4H, м, 2NCH₂); 1.60–1.50 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.35 (9H, с, 3CH₃). Спектр ЯМР ^{13}C (176 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 155.3; 132.7 (д, $J = 102.4$); 131.9 (д, $J = 2.7$); 131.8 (д, $J = 8.8$); 131.4 (д, $J = 9.7$); 128.7 (д, $J = 11.8$); 128.5 (д, $J = 11.2$); 77.0; 43.4; 40.0; 33.8 (д, $J = 19.9$); 28.2. Найдено, m/z : 435.2196 $[\text{M}+\text{H}]^+$. $\text{C}_{26}\text{H}_{32}\text{N}_2\text{O}_2\text{P}$. Вычислено, m/z : 435.2196.

***tert*-Бутил(3-[(фенилимино)метил]амино)пропилкарбамат (3a)**. В 50 мл сухого PhMe растворяют 2.17 г (5 ммоль) *tert*-бутил{3-[(трифенилфосфоранилиден)амино]пропил}карбамата (**2**), добавляют 596 мг (5 ммоль) фенилизотиоцианата и перемешивают при комнатной температуре в течение 24 ч. Полученную смесь упаривают досуха на роторном испарителе. Продукт очищают методом флеш-хроматографии (элюент CH_2Cl_2 –MeOH, 100:1). Выход 480 мг (35%), бесцветное масло. Карбамат **3a** получен с чистотой около 90% (установлено на основе интегральных интенсивностей в спектре ЯМР ^1H). Спектр ЯМР ^1H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 7.34–7.29 (2H, м, H Ph); 7.15–7.11 (1H, м, H Ph); 7.09 (2H, д, $J = 7.0$, H Ph); 6.88 (1H,

т, $J = 5.9$, NH); 3.46 (2H, т, $J = 6.7$, NCH₂); 3.06–3.01 (2H, м, NCH₂); 1.74–1.68 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.38 (9H, с, 3CH₃). Спектр ЯМР ¹³C (176 МГц), δ , м. д.: 155.6; 140.3; 135.1; 129.5; 124.6; 123.3; 77.5; 43.6; 37.2; 31.2; 28.2.

Синтез *N*-замещенных *трет*-бутил-2-амино-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилатов 4а–g (общая методика). В 50 мл сухого PhMe растворяют 2.17 г (5 ммоль) *трет*-бутил{3-[(трифенилфосфоранилиден)-амино]пропил}карбамата (2), добавляют 5 ммоль соответствующего изоцианата и перемешивают при комнатной температуре в течение 24 ч. Полученную смесь упаривают досуха на ротормном испарителе. Остаток растворяют в 50 мл сухого MeCN и добавляют 20 мг (0.83 ммоль) NaH (60% дисперсия в минеральном масле). Реакционную смесь кипятят в течение 30 с, затем незамедлительно разбавляют 200 мл EtOAc, промывают насыщенным раствором NaCl (3 × 30 мл) и сушат Na₂SO₄. Продукт очищают методом флеш-хроматографии (градиентное элюирование с CH₂Cl₂–MeOH от 100:1 до 20:1 (отделение примесей), затем до 10:1 с добавкой 3% Et₃N (выделение продукта)). Фракции с продуктом упаривают досуха на ротормном испарителе и переупаривают с *i*-PrOH (2 × 10 мл).

***трет*-Бутил-2-(фениламино)-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилат (4а)**. Выход 964 мг (70%), белый порошок, т. пл. 135–137°C. Спектр ЯМР ¹H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 9.60 (1H, уш. с, NH); 7.55–7.45 (2H, м, H Ph); 7.26–7.22 (2H, м, H Ph); 6.94 (1H, т, $J = 7.3$, H Ph); 3.72–3.65 (2H, м, NCH₂); 3.46 (2H, т, $J = 5.6$, NCH₂); 1.89–1.84 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.52 (9H, с, 3CH₃). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц), δ , м. д.: 154.1; 143.2; 140.7; 128.7; 121.9; 120.2; 82.9; 44.8; 43.3; 28.2; 22.9. Найдено, m/z : 276.1707 [M+H]⁺. C₁₅H₂₂N₃O₂. Вычислено, m/z : 276.1707.

***трет*-Бутил-2-(*пара*-толиламино)-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилат (4b)**. Выход 1.08 г (75%), белый порошок, т. пл. 106–108°C. Спектр ЯМР ¹H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 9.45 (1H, уш. с, NH); 7.40–7.32 (2H, м, H Ar); 7.98–7.01 (2H, м, H Ar); 3.67 (2H, т, $J = 6.1$, NCH₂); 3.44 (2H, т, $J = 5.6$, NCH₂); 2.27 (3H, с, CH₃); 1.87–1.81 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.52 (9H, с, 3CH₃). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц), δ , м. д.: 154.1; 143.7; 138.0; 131.5; 129.3; 120.7; 82.9; 44.9; 43.4; 28.3; 23.0; 20.9. Найдено, m/z : 290.1860 [M+H]⁺. C₁₆H₂₄N₃O₂. Вычислено, m/z : 290.1863.

***трет*-Бутил-2-[(4-бромфенил)амино]-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилат (4с)**. Выход 1.16 г (63%), бесцветное масло. Спектр ЯМР ¹H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 9.75 (1H, уш. с, NH); 7.45–7.37 (2H, м, H Ar); 7.35–7.31 (2H, м, H Ar); 3.70–3.65 (2H, м, NCH₂); 3.45 (2H, т, $J = 5.7$, NCH₂); 1.88–1.83 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.52 (9H, с, 3CH₃). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц), δ , м. д.: 154.2; 143.1; 139.8; 131.6; 121.7; 114.0; 83.2; 44.8; 43.3; 28.2; 22.8. Найдено, m/z : 354.0817 [M+H]⁺. C₁₅H₂₁BrN₃O₂. Вычислено, m/z : 354.0812.

***трет*-Бутил-2-[(4-фторфенил)амино]-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилат (4d)**. Выход 1.07 г (73%), белый порошок, т. пл. 67–69°C. Спектр ЯМР ¹H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 9.56 (1H, уш. с, NH); 7.43 (2H, д, д,

$J = 8.8$, $J = 4.9$, H Ar); 6.94 (2H, т, $J = 8.8$, H Ar); 3.69 (2H, т, $J = 6.2$, NCH₂); 3.44 (2H, т, $J = 5.7$, NCH₂); 1.88–1.83 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.52 (9H, с, 3CH₃). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 158.4 (д, $J = 240.6$); 154.1; 144.0; 136.4; 122.2 (д, $J = 7.6$); 115.3 (д, $J = 22.2$); 83.2; 44.9; 43.2; 28.3; 22.9. Найдено, m/z : 294.1611 [M+H]⁺. C₁₅H₂₁FN₃O₂. Вычислено, m/z : 294.1612.

***трет*-Бутил-2-(бензиламино)-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилат (4е)**. Выход 796 мг (55%), бесцветное масло. Спектр ЯМР ¹H (700 МГц), δ , м. д.: 7.36–7.34 (2H, м, H Ph); 7.33–7.30 (2H, м, H Ph); 7.25–7.22 (1H, м, H Ph); 4.37 (2H, с, CH₂Ph); 3.64–3.60 (2H, м, NCH₂); 3.41–3.36 (2H, м, NCH₂); 1.83–1.77 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.47 (9H, с, 3CH₃). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц), δ , м. д.: 154.0; 146.6; 139.5; 128.5; 127.9; 127.0; 82.4; 45.8; 44.8; 43.6; 28.2; 23.1. Найдено, m/z : 290.1862 [M+H]⁺. C₁₆H₂₄N₃O₂. Вычислено, m/z : 290.1863.

***трет*-Бутил-2-(циклогексиламино)-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилат (4f)**. Выход 943 мг (67%), белый порошок, т. пл. 45–47°C. Спектр ЯМР ¹H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 7.11 (1H, уш. с, NH); 3.68–3.60 (1H, м, CH); 3.58 (2H, т, $J = 6.3$, NCH₂); 3.34 (2H, т, $J = 5.6$, NCH₂); 2.02–1.95 (2H, м, CH₂); 1.80–1.75 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.70–1.65 (2H, м, CH₂); 1.60–1.54 (1H, м, CH₂); 1.50 (9H, с, 3CH₃); 1.42–1.35 (2H, м, CH₂); 1.23–1.12 (3H, м, CH₂). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц), δ , м. д.: 154.0; 146.1; 82.4; 49.2; 44.9; 43.4; 33.2; 28.3; 26.1; 25.0; 23.1. Найдено, m/z : 282.2176 [M+H]⁺. C₁₅H₂₈N₃O₂. Вычислено, m/z : 282.2176.

***трет*-Бутил-2-(*трет*-бутиламино)-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилат (4g)**. Выход 983 мг (77%), бесцветное масло. Спектр ЯМР ¹H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 6.75 (1H, уш. с, NH); 3.55 (2H, т, $J = 6.3$, NCH₂); 3.32 (2H, т, $J = 5.7$, NCH₂); 1.77–1.71 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N); 1.49 (9H, с, 3CH₃); 1.35 (9H, с, 3CH₃). Спектр ЯМР ¹³C (75 МГц), δ , м. д.: 154.1; 144.5; 81.9; 50.6; 44.7; 43.5; 29.1; 28.4; 23.5. Найдено, m/z : 256.2023 [M+H]⁺. C₁₃H₂₆N₃O₂. Вычислено, m/z : 256.2020.

Синтез *N*-замещенных хлоридов 2-амино-1,4,5,6-тетрагидропиримидиниев 5а–f (общая методика). В 10 мл MeOH растворяют 1 ммоль *трет*-бутил-2-амино-5,6-дигидропиримидин-1(4*H*)-карбоксилата 4а–f и добавляют 5 мл 5.4 М раствора HCl в 1,4-диоксане. Реакционную смесь перемешивают при комнатной температуре в течение 48 ч, затем упаривают досуха на ротормном испарителе и переупаривают с MeOH (3 × 5 мл). Для очистки от примесей продукт растирают шпателем под слоем 5 мл Et₂O, затем отфильтровывают и сушат при пониженном давлении.

Хлорид 2-(фениламино)-1,4,5,6-тетрагидропиримидин-1-ия (5а). Выход 191 мг (90%), белый порошок, т. пл. 132–134°C. Спектр ЯМР ¹H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 10.10 (1H, с, NH); 8.22 (2H, с, 2NH); 7.42 (2H, т, $J = 7.8$, H Ph); 7.24 (1H, т, $J = 7.4$, H Ph); 7.21 (2H, д, $J = 7.8$, H Ph); 3.32–3.27 (4H, м, 2NCH₂); 1.88–1.83 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N). Спектр ЯМР ¹³C (176 МГц), δ , м. д.: 151.8; 135.5; 129.6; 125.7; 123.8; 38.2; 19.5. Найдено, m/z : 176.1180 [M]⁺. C₁₀H₁₄N₃. Вычислено, m/z : 176.1182.

Хлорид 2-(*пара*-толиламино)-1,4,5,6-тетрагидропиримидин-1-ия (5b). Выход 214 мг (95%), бесцветное

масло. Спектр ЯМР ^1H (700 МГц), δ , м. д.: 9.77 (1H, с, NH); 8.03 (2H, с, 2NH); 7.25–7.21 (2H, м, H Ar); 7.12–7.07 (2H, м, H Ar); 3.28–3.24 (4H, м, 2NCH₂); 2.31 (3H, с, CH₃); 1.87–1.82 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N). Спектр ЯМР ^{13}C (176 МГц), δ , м. д.: 151.8; 135.1; 132.4; 129.9; 124.1; 38.0; 20.2; 19.3. Найдено, m/z : 190.1337 [M]⁺. C₁₁H₁₆N₃. Вычислено, m/z : 190.1339.

Хлорид 2-(4-бромфенил)амино]-1,4,5,6-тетрагидропиримидин-1-ия (5c). Выход 276 мг (95%), белый порошок, т. пл. 200–202°C. Спектр ЯМР ^1H (700 МГц), δ , м. д.: 9.66 (1H, с, NH); 8.16 (2H, с, 2NH); 7.62–7.58 (2H, м, H Ar); 7.19–7.16 (2H, м, H Ar); 3.29–3.26 (4H, м, 2NCH₂); 1.89–1.84 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N). Спектр ЯМР ^{13}C (176 МГц), δ , м. д.: 151.7; 135.1; 132.4; 125.9; 117.9; 38.2; 19.4. Найдено, m/z : 254.0228 [M]⁺. C₁₀H₁₃BrN₃. Вычислено, m/z : 254.0287.

Хлорид 2-[(4-фторфенил)амино]-1,4,5,6-тетрагидропиримидин-1-ия (5d). Выход 218 мг (95%), белый порошок, т. пл. 148–150°C. Спектр ЯМР ^1H (700 МГц), δ , м. д.: 9.71 (1H, с, NH); 8.05 (2H, с, 2NH); 7.28–7.24 (4H, м, H Ar); 3.29–3.24 (4H, м, 2NCH₂); 1.88–1.83 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N). Спектр ЯМР ^{13}C (176 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 160.1 (д, $J = 242.9$); 152.1; 131.5 (д, $J = 2.6$); 126.9 (д, $J = 8.6$); 116.3 (д, $J = 22.7$); 38.2; 19.4. Найдено, m/z : 194.1088 [M]⁺. C₁₀H₁₃FN₃. Вычислено, m/z : 194.1088.

Хлорид 2-(бензиламино)-1,4,5,6-тетрагидропиримидин-1-ия (5e). Выход 199 мг (88%), бесцветное масло. Спектр ЯМР ^1H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 8.15 (2H, с, 2NH); 8.03 (1H, т, $J = 6.2$, NH); 7.41–7.35 (2H, м, H Ph); 7.35–7.27 (3H, м, H Ph); 4.38 (2H, д, $J = 6.2$, CH₂); 3.27–3.23 (4H, м, 2NCH₂); 1.83–1.78 (2H, м, NCH₂CH₂CH₂N). Спектр ЯМР ^{13}C (176 МГц), δ , м. д.: 152.9; 137.5; 128.4; 127.3; 127.2; 43.5; 37.9; 19.6. Найдено, m/z : 190.1337 [M]⁺. C₁₁H₁₆N₃. Вычислено, m/z : 190.1339.

Хлорид 2-(циклогексиламино)-1,4,5,6-тетрагидропиримидин-1-ия (5f). Выход 169 мг (78%), бесцветное масло. Спектр ЯМР ^1H (700 МГц), δ , м. д. (J , Гц): 7.94 (2H, с, 2NH); 7.63 (1H, д, $J = 8.5$, NH); 3.42–3.35 (1H, м,

CH); 3.25–3.20 (4H, м, 2NCH₂); 1.82–1.75 (4H, м, NCH₂CH₂CH₂N, CH₂); 1.70–1.63 (2H, м, CH₂); 1.57–1.46 (1H, м), 1.32–1.24 (2H, м) и 1.22–1.11 (3H, м, 3CH₂). Спектр ЯМР ^{13}C (176 МГц), δ , м. д.: 152.0; 48.6; 37.8; 32.3; 24.8; 23.8; 19.7. Найдено, m/z : 182.1651 [M]⁺. C₁₀H₂₀N₃. Вычислено, m/z : 182.1652.

Файл сопроводительных материалов, содержащий спектры ЯМР ^1H и ^{13}C и масс-спектры высокого разрешения синтезированных соединений, доступен на сайте журнала <http://hgs.osi.lv>.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 20-73-10195).

Список литературы

- Ishikawa, T. *Superbases for Organic Synthesis: Guanidines, Amidines, Phosphazenes and Related Organocatalysis*; John Wiley & Sons: Hoboken, 2009.
- (a) Barton, D. H. R.; Elliott, J. D.; Géro, S. D. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **1981**, 1136. (b) Barton, D. H. R.; Elliott, J. D.; Géro, S. D. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1* **1982**, 2085.
- Kitani, Y.; Kumamoto, T.; Isobe, T.; Fukuda, K.; Ishikawa, T. *Adv. Synth. Catal.* **2005**, *347*, 1653.
- Greenhill, J. V.; Lue, P. *Prog. Med. Chem.* **1993**, *30*, 203.
- Zhang, Y.; Huang, Y.; Zhang, J.; Zhu, L.; Chen, K.; Hao, J. *J. Mol. Struct.* **2015**, *1097*, 145.
- Coles, M. P. *Dalton Trans.* **2006**, *60*, 985.
- Berlinck, R. G. S.; Kossuga, M. H. *Nat. Prod. Rep.* **2005**, *22*, 516.
- Shen, H.; Wang, Y.; Xie, Z. *Org. Lett.* **2011**, *13*, 4562.
- Shaw, J. W.; Grayson, D. H.; Rozas, I. *ARKIVOC* **2014**, (ii), 161.
- Kan, W. M.; Lin, S. H.; Chern, C. Y. *Synth. Commun.* **2006**, *35*, 2633.
- Tu, H. C.; Lee, Y. P.; Liu, X. Y.; Chang, C. F.; Lin, P. C. *ACS Appl. Bio. Mater.* **2019**, *2*, 1286.
- Fu, Y.; Zhou, Z.; Hazendonk, P.; Bain, A. D.; Fronczek, F. R.; Escobedo, J.; McLaughlin, M. L.; Hammer, R. P. *J. Mol. Struct.* **2004**, *687*, 65.
- Das, A.; Jana, A.; Maji, B. *Chem. Commun.* **2020**, *56*, 4284.