

УДК 547.836.3'75.07

**ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ 5-АМИНО-6-МЕТИЛ-, 5-АМИНО-1,6-ДИМЕТИЛ-2-ФЕНИЛИНДОЛОВ С МЕТИЛОВЫМ ЭФИРОМ АЦЕТОУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ГЕТЕРОЦИКЛИЗАЦИИ ПРОДУКТОВ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

**Алямкина Е.А., Ямашкин С.А.**

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт имени М.Е. Евсевьева», Саранск, e-mail: saranschem@mail.ru*

Изучены реакции конденсации 5-амино-6-метил-, 5-амино-1,6-диметил-2-фенилиндолов с метиловым эфиром ацетоуксусной кислоты с целью определения влияния на направление протекания первичной конденсации и последующей циклизации замены этоксильной группы в ацетоуксусном эфире на метоксильную. При этом обнаружено протекание реакции с участием только карбонильной группы, что позволило получить енамины, ранее не описанные в литературе. Следует отметить, что на основании спектральных характеристик полученные енамины в растворителе ДМСО- $d_6$  находятся исключительно в Z-состоянии. Проведение термического циклообразования продуктов конденсации 5-амино-6-метил-, 5-амино-1,6-диметил-2-фенилиндолов и метилового эфира ацетоуксусной кислоты позволило найти альтернативный путь синтеза двух ранее известных пирролохинолонов: 4,7-диметил-2-фенил-6,9-дигидро-3H-пирроло[3,2-f]хинолин-9-она и 3,4,7-триметил-2-фенил-6,9-дигидро-3H-пирроло[3,2-f]хинолин-9-она, отличающийся от ранее разработанного получением промежуточного продукта за более короткие сроки и с большим выходом.

**Ключевые слова:** 5-амино-6-метил-2-фенилиндол, 5-амино-1,6-диметил-2-фенилиндол, 5,7-диметил-2-фенил-6,9-дигидро-3H-пирроло[3,2-f]хинолин-9-он, 3,5,7-триметил-2-фенил-6,9-дигидро-3H-пирроло[3,2-f]хинолин-9-он, метиловый эфир ацетоуксусной кислоты, этиловый эфир ацетоуксусной кислоты, квантово-химические расчеты эффективных зарядов на некоторых атомах молекул енаминов

**OBSERVATION OF REACTION OF 5-AMINO-6-METHYL-, 5-AMINO-1,6-DIMETHYL-2-PHENYLINDOLES WITH METHYL ACETOACETATE AND OF POST HETEROCYCLIZATION OF THE PRODUCTS OF THEIR INTERREACTING**

**Alyamkina E.A., Yamashkin S.A.**

*FSBEI HPE «Mordovian State Pedagogical Institute named after M.E. Evsejjev», Saransk, e-mail: saranskchem@mail.ru*

Condensation reactions of 5-amino-6-methyl-, 5-amino-1,6-dimethyl-2-phenylindoles with methyl acetoacetate have been studied to identify the effect of the substitution of ethoxyl group by methoxyl group in acetoacetic ether on the direction of the primary condensation progress and post cyclization. At the same time the reaction behavior with the participation of only carbonyl group has been discovered which allowed to get enamines not described in literature before. On the basis of spectral characteristics, extracted enamines in solvent medium DMSO- $d_6$  are observed to occur exclusively in Z-state. Carrying out of thermal cyclization of condensation products of 5-amino-6-methyl-, -amino-1,6-dimethyl-2-phenylindoles and methyl acetoacetate allowed to find out an alternative method of the synthesis of the two previously known pyrroloquinolones, namely 4,7-dimethyl-2-phenyl-6,9-dihydro-3H-pyrrolo[3,2-f] quinoline-9-one and 3,4,7-trimethyl-2-phenyl-6,9-dihydro-3H-pyrrolo[3,2-f]quinoline-9-one. This method differs from the earlier developed one by getting an intermediate product during much shorter time constraints and with greater efficiency.

**Keywords:** 5-amino-6-methyl-2-phenylindole, 5-amino-1,6-dimethyl-2-phenylindole, 5,7-dimethyl-2-phenyl-6,9-dihydro-3H-pyrrolo[3,2-f]quinoline-9-one, 3,5,7-trimethyl-2-phenyl-6,9-dihydro-3H-pyrrolo[3,2-f]quinoline-9-one, methyl acetoacetate, acetoacetic ether, quantum-chemical calculations of effective charges on some atoms of enamine molecule

Проводимые нами исследования посвящены разработке методов синтеза пирролохинолинов (в том числе целенаправленных, с конкретным сочленением колец и с различными заместителями) из аминоиндолов весьма актуальны и перспективны. Ряд пирролохинолинов, полученных и исследованных авторами [1, 2, 3], в зависимости от строения и заместителей показали обезболивающую (сравнимую с анальгином), антимикробную, противогрибковую, витаминоподобную активность. Вместе с тем формирование соответствующей трициклической гетеросистемы на основе аминоин-

долов и конкретного β-дикарбонильного компонента требует изучения структурных, электронных особенностей исходных и промежуточных соединений, выявление роли этих факторов на протекание первичной конденсации и последующей циклизации.

Ранее показано, что использование в качестве исходных компонентов этилового эфира ацетоуксусной кислоты и 5-амино-6-метил-, 5-амино-1,6-диметил-2-фенилиндолов позволяет получать лишь соединения енаминного строения, дальнейшая циклизация которых приводит исключительно к образованию пирроло[3,2-f]

хинолонов. Использование в аналогичных условиях полностью фторированного по метильной группе аналога  $\beta$ -кетоефира может привести к синтезу как амидов, так и енаминов [4, 5].

В связи с этим интересно было изучить реакции конденсации и последующей циклизации выше названных аминокетидолов при использовании в качестве дикабонильной компоненты метилового эфира ацетоуксусной кислоты.

**Цель исследования** – изучение реакции 5-амино-6-метил-, 5-амино-1,6-диметил-2-фенилиндолов с метиловым эфиром ацетоуксусной кислоты и последующей гетероциклизации продуктов их взаимодействия с целью синтеза пирроло[3,2-*f*]хинолинов. Настоящее исследование имеет фундаментальную направленность.

### Материалы и методы исследования

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  записаны на мультядерном спектрометре ядерного магнитного резонанса JeolJNM-ECX400 (400 МГц) в  $\text{DMSO-d}_6$ . Расчетные спектры соединений выполнены с использованием программы ACD/LABSHNMR Spectrum Generator: Chemsketch Windows. Электронные спектры сняты на приборе LEKISS2109UV в этаноле. Квантово-химические расчеты эффективных зарядов на атомах молекул систем I–IV проведены ограниченным методом Хартри–Фока в параметризации полуэмпирического метода PM3 и пакета прикладных программ GAMESS. Очистку продуктов реакции проводили методом колоночной хроматографии. В качестве сорбента использовали оксид алюминия (нейтральный, I и II ст. акт. по Брокману). Контроль за ходом реакции, чистотой полученных соединений, определение  $R_f$  осуществляли с помощью ТСХ на пластинках SilufolUV–254 в системах: бензол–этилацетат 15:1 (а), этилацетат–метанол 3:1 (б), этилацетат–метанол–аммиак 4:1:слезы (в).

Аминоиндол **1**, **2** получены по аналогичной методике, приведенной в работе [6].

**Метил (2*Z*)-3-[(6-метил-2-фенил-1*H*-индол-5-ил)амино]бут-2-еноат (3)** из 0,50 г (2,25 ммоль) 5-амино-6-метил-2-фенилиндола (**1**) и 0,26 г (2,30 ммоль) метилового эфира ацетоуксусной кислоты в 200 мл абсолютного бензола, в присутствии следов ледяной уксусной кислоты нагревают 15 часов с насадкой Дина–Старка. По окончании реакции (контроль хроматографический) бензол отгоняют. Полученное соединение очищают пропусканием нагретого до кипения раствора в петролейном эфире с небольшим количеством бензола через слой (2 см) оксида алюминия. Перекристаллизовывают из петролейного эфира. Выход: 0,69 г (97%).  $R_f = 0,58$  (а), т. пл. = 159–160 °С (бензол–петролейный эфир). Найдено, %: С 75,05; Н 5,58;  $\text{C}_{20}\text{H}_{20}\text{N}_2\text{O}_2$ ; вычислено, %: С 74,98; Н 6,29.

**Метил (2*Z*)-3-[(1,6-диметил-2-фенил-1*H*-индол-5-ил)амино]бут-2-еноат (4)** получают и очищают аналогично из 0,80 г (3,34 ммоль) 5-амино-1,6-диметил-2-фенил-5-аминоиндола (**2**) и 0,40 г (3,34 ммоль) метилового эфира ацетоуксусной

кислоты (15 ч). Выход: 0,85 г (75%).  $R_f = 0,68$  (а), т. пл. = 151–152 °С (бензол–петролейный эфир). Найдено, %: С 75,40; Н 6,59;  $\text{C}_{21}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_2$ ; вычислено, %: С 75,42; Н 6,63.

**5,7-Диметил-2-фенил-6,9-дигидро-3*H*-пирроло[3,2-*f*]хинолин-9-он (5)**. 0,061 г (0,19 ммоль) енамина **3** нагревают в кипящем дифениле 20–25 мин. По окончании реакции (хроматографический контроль) еще теплую реакционную массу выливают в гексан. Выпавший осадок отфильтровывают и многократно промывают горячим гексаном от дифенила. Перекристаллизовывают из спирта. Выход: 0,035 г (64%).  $R_f = 0,53$  (в), т. пл. > 276 °С (этанол). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{DMCO-d}_6$ ),  $\delta$ , м.д.,  $J$  (Гц): 2,45 (3 H, с, 7- $\text{CH}_3$ ), 2,62 (3 H, с, 5- $\text{CH}_3$ ), 6,01 (1 H, с, H–8), 7,29 (1 H, т,  $J = 8$ , *p*-H 2-Ph), 7,46 (2 H, т,  $J = 8$ , *m*-H 2-Ph), 7,54 (1 H, с, H–1), 7,85 (2 H, д,  $J = 8$ , *o*-H 2-Ph), 7,91 (1 H, с, H–4), 10,20 (1 H, с, H–6), 11,72 (1 H, с, H–3). УФ-спектр (спирт),  $\lambda_{\text{max}}$ , нм (lg  $\epsilon$ ): 205 (4,50), 229 (4,43), 240 пл (4,28), 303 (4,21), 368 (4,30). Лит. данные [4]: т.пл. > 276 °С (этанол), спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{DMCO-d}_6$ ),  $\delta$ , м.д.,  $J$  (Гц): 2,45 (3 H, с, 5- $\text{CH}_3$ ), 2,62 (3 H, с, 7- $\text{CH}_3$ ), 6,00 (1 H, с, H–8), 7,29 (1 H, т,  $J = 8$  Гц, *p*-H 2-Ph), 7,46 (2 H, т,  $J = 8$  Гц, *m*-H 2-Ph), 7,54 (1 H, с, H–4), 7,84 (2 H, д,  $J = 8$  Гц, *o*-H 2-Ph), 7,92 (1 H, с, H–1), 10,10 (1 H, с, H–6), 11,64 (1 H, с, H–3). УФ-спектр (спирт),  $\lambda_{\text{max}}$ , нм (lg  $\epsilon$ ): 208 (4,56), 230 (4,56), 244 пл (4,40), 256 пл (4,35), 308 (4,32), 370 (4,42).

**3,5,7-Триметил-2-фенил-6,9-дигидро-9*H*-пирроло[3,2-*f*]хинолин-9-он (6)** получают аналогично из 0,16 г (0,47 ммоль) енамина **4**. Перекристаллизовывают из толуола. Выход: 0,11 г (75%).  $R_f = 0,60$  (б), т. пл. > 276 °С (толуол). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{DMCO-d}_6$ ),  $\delta$ , м.д.,  $J$  (Гц): 2,44 (3 H, с, 5- $\text{CH}_3$ ), 2,66 (3 H, с, 7- $\text{CH}_3$ ), 3,83 (3 H, с, 3- $\text{CH}_3$ ), 6,00 (1 H, с, H–8), 7,42–7,72 (7 H, м, *p*-H 2-Ph, *m*-H 2-Ph, *o*-H 2-Ph, H–1, H–4), 10,24 (1 H, с, H–6). УФ-спектр (спирт),  $\lambda_{\text{max}}$ , нм (lg  $\epsilon$ ): 207 (4,53), 225 (4,47), 255 (4,31), 295 (4,20), 356 (4,26). Лит. данные [4]: т.пл. > 276 °С (толуол), спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{DMCO-d}_6$ ),  $\delta$ , м.д.,  $J$  (Гц): 2,44 (3 H, с, 5- $\text{CH}_3$ ), 2,66 (3 H, с, 7- $\text{CH}_3$ ), 3,83 (3 H, с, 3- $\text{CH}_3$ ), 6,00 (1 H, с, H–8), 7,43 (1 H, т,  $J = 8$  Гц, *p*-H 2-Ph), 7,52 (2 H, т,  $J = 8$  Гц, *m*-H 2-Ph), 7,60 (1 H, с, H–4), 7,63 (2 H, д,  $J = 8$  Гц, *o*-H 2-Ph), 7,72 (1 H, с, H–1), 10,15 (1 H, с, H–6). УФ-спектр (спирт),  $\lambda_{\text{max}}$ , нм (lg  $\epsilon$ ): 211 (4,37), 227 (4,30), 256 (4,13), 299 (4,01), 364 (4,06).

Спектральные характеристики соединений **3**, **4** приведены в табл. 1.

### Результаты исследования и их обсуждение

При нагревании аминокетидолов **1**, **2** с метиловым эфиром ацетоуксусной кислоты в абсолютном бензоле в присутствии каталитических количеств ледяной уксусной кислоты получены енамины метил (2*Z*)-3-[(6-метил-2-фенил-1*H*-индол-5-ил)амино]бут-2-еноат (**3**) и метил (2*Z*)-3-[(1,6-диметил-2-фенил-1*H*-индол-5-ил)амино]бут-2-еноат (**4**), при этом процесс конденсации протекает быстрее, чем в случае этилового эфира. Об этом свидетельствует меньший временной интервал протекания реакции.

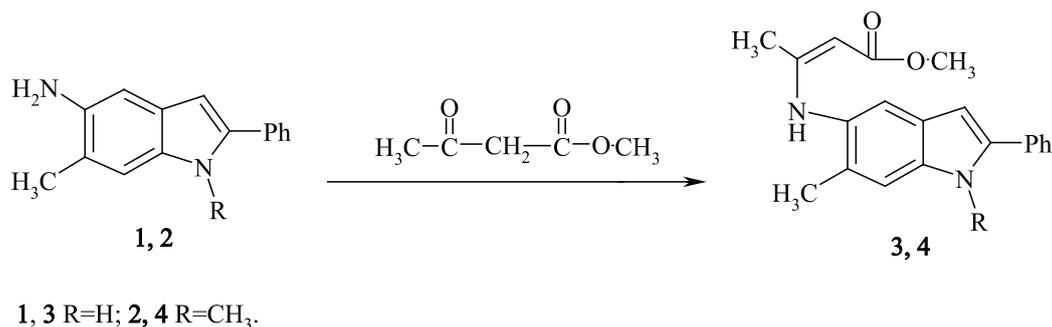


Таблица 1

Спектральные параметры соединений 3-6

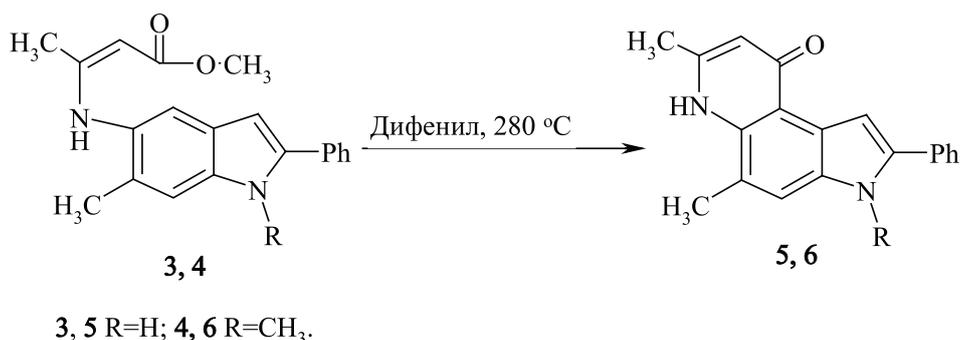
Соединение	Спектр ЯМР <sup>1</sup> H, δ, м.д., J, Гц	Уф-спектр	
		λ <sub>max</sub>	lg ε
3	1,77 (3 H, с, C=C-CH <sub>3</sub> ), 2,28 (3 H, с, 6-CH <sub>3</sub> ), 3,58 (3 H, с, OCH <sub>3</sub> ), 4,62 (1 H, с, =CH <sub>вин</sub> ), 6,84 (1 H, с, H-4), 7,29 (1 H, с, H-3), 7,31 (1 H, т, J=8, p-H, 2-Ph), 7,32 (1 H, с, H-7), 7,45 (2 H, т, J=8, m-H, 2-Ph), 7,83 (2 H, д, J=8, o-H, 2-Ph), 10,03 (1 H, с, 5-NH), 11,48 (1 H, с, H-1)	205 225 пл 321	4,31 4,17 4,42
4	1,77 (3 H, с, C=C-CH <sub>3</sub> ), 2,32 (3 H, с, 6-CH <sub>3</sub> ), 3,58 (3 H, с, OCH <sub>3</sub> ), 3,72 (3 H, с, 1-CH <sub>3</sub> ), 4,66 (1 H, с, =CH <sub>вин</sub> ), 6,51 (1 H, с, H-4), 7,36 (1 H, с, H-3), 7,42 (1 H, с, H-7), 7,51 (1 H, т, J=8, p-H, 2-Ph), 7,56 (2 H, т, J=8, m-H, 2-Ph), 7,58 (2 H, д, J=8, o-H, 2-Ph), 10,06 (1 H, с, 5-NH)	205 227 303	4,33 4,38 4,50

Строение енамина **3** подтверждается наличием в спектре ЯМР <sup>1</sup>H сигналов протонов метоксильной группы (3,58 м.д.), =C-CH<sub>3</sub> (1,77 м.д.), 6-CH<sub>3</sub> (2,28 м.д.), =CH<sub>вин</sub> (4,62 м.д.), ароматических водородов H-4, H-3, H-7 (соответственно 6,84 м.д., 7,29 м.д., 7,32 м.д.), 2-Ph (два триплета и дублет), 5-NH (10,03 м.д.) и N-H пирр (11,48 м.д.). Аналогичная картина наблюдается и для енамина **4**. Различие – лишь в отсутствии сигнала протона H-1 и в присутствии синглета протонов группы 1-CH<sub>3</sub>. Анализируя спектры ЯМР <sup>1</sup>H соединений **3**, **4**, мы пришли к выводу о существовании их в растворе ДМСО-d<sub>6</sub> исключительно в Z-форме. Об этом свидетельствует слабopольный сдвиг сигналов =CH<sub>вин</sub> по сравнению с возможной E-формой. Полученные результаты строго согласуются с ранее рассмотренными в работе [4] параметрами отнесения енаминов к Z- и E-изомерам и расчетным спектрам.

Сходство в строении енаминов **3**, **4** подтверждается и УФ-спектрами. Соединения **3**, **4** содержат полосы поглощения с максимумами при 205, 225 (плечо), 321 нм (для **3**) и 205, 227, 303 нм (для **4**), относящихся к n-π переходам в пиррольном и π-π переходам в бензольном кольцах соответственно. Приведенные данные по УФ-спектрам соединений **3**, **4** согласуются с полученными ранее результатами для других подобных енаминокарбонильных соединений [4, 5].

Альтернативных продуктов взаимодействия по сложноэфирной группе метилового эфира ацетоуксусной кислоты, как и этилового аналога [4], в условиях данной реакции не обнаружено.

Далее мы изучили поведение енаминов **3**, **4** в термических условиях. При этом нами установлено, что высокотемпературная обработка полученных соединений **3**, **4** приводит к пирроло[3,2-f]хинолинам **5** (64%), **6** (75%) с заданным сочленением колец.



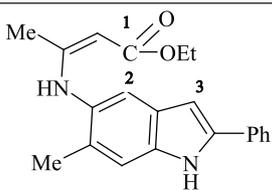
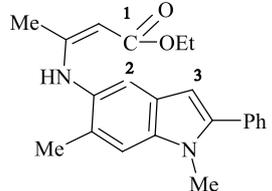
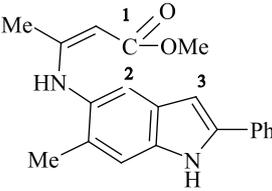
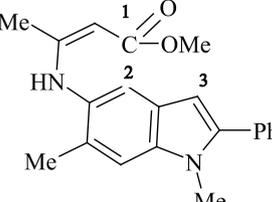
В спектре ЯМР  $^1\text{H}$  соединения **5** имеются: сигналы метильных групп, синглеты Н–1, Н–3, Н–4, Н–6, Н–8, N–H, а также дублет и два триплета фенольных протонов. Угловое сочленение колец подтверждает слабopольный химический сдвиг Н–1 (7,54 м.д.), находящегося в *peri*-положении к  $\gamma$ -пиридоновому атому кислорода, что характерно для структур подобного типа [4, 5]. Аналогично енамину **3** подвергается циклизации и соединение **4** с образованием пирролохинолона **6** с угловым сочленением колец. УФ-спектры соединений **5**, **6** практически идентичны, что подтверждает сходство их структур. Кроме того, ЯМР  $^1\text{H}$  и УФ-спектры соединений **5**, **6** идентичны таковым у пирролохинолинов, полученных из этил (2*Z*)-3-[(6-метил-2-фенил-1*H*-индол-5-ил)амино]бут-2-еноата и этил (2*Z*)-

3-[(1,6-диметил-2-фенил-1*H*-индол-5-ил)амино]бут-2-еноата [4]. Величина химического сдвига Н–8, согласно литературным данным [7] и расчетным спектрам, свидетельствует о хинолоновой структуре соединений **5**, **6**, что подтверждает ранее предложенную авторами [4] интерпретацию данных структур.

В условиях термической циклизации с образованием пирролохинолинов енамины, полученные из метилового и этилового эфиров ацетоуксусной кислоты, ведут себя одинаково и по временному интервалу, и по выходам пирролохинолинов. Это объясняется квантово-химическими расчетами эффективных атомных зарядов на атомах 1, 2, 3, величины которых для структур **I–IV** практически одинаковы. Величины эффективных атомных зарядов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Величины эффективных атомных зарядов в ат. ед. на атомах 1–3 для структур **I–IV**

№ п/п	Структурная формула	Номера атомов		
		1	2	3
I		0,307	–0,047	–0,188
II		0,307	–0,046	–0,187
III		0,304	–0,047	–0,188
IV		0,303	–0,046	–0,187

### Заключение

В ходе проведенного исследования изучены реакции конденсации 5-амино-6-метил-, 5-амино-1,6-диметил-2-фенилиндолов с метиловым эфиром ацето-

уксусной кислоты и при этом обнаружено протекание реакции с участием только карбонильной группы, что позволило получить енамины, ранее не описанные в литературе. Следует отметить, что на основании спектральных характеристик полученные

енамины в растворителе ДМСО-d<sub>6</sub> находятся исключительно в Z-состоянии. Замечено, что метильный заместитель у пиррольного атома азота, по-видимому, за счет положительного индуктивного влияния усиливает реакционную способность 5-аминоиндолов в реакциях конденсации. Проведение термического циклообразования продуктов конденсации 5-амино-6-метил-, 5-амино-1,6-диметил-2-фенилиндолов и того же эфира позволило найти альтернативный путь синтеза двух ранее известных пирролохинолонов: 4,7-диметил-2-фенил-6,9-дигидро-3H-пирроло[3,2-f]хинолин-9-она (5) и 3,4,7-триметил-2-фенил-6,9-дигидро-3H-пирроло[3,2-f]хинолин-9-она (6), отличающийся от ранее разработанного получением промежуточного продукта за более короткие сроки и с большим выходом. С использованием современных физико-химических методов анализа и литературных данных доказано тонкое строение полученных соединений.

#### Список литературы

1. Надежина О.С., Кадималиев Д.А., Ямашкин С.А. Изучение влияния новых соединений пирролохинолинового ряда на рост и развитие гриба *Lentinus tigrinus* // Наука и инновации в республике Мордовия: материалы. V респ. науч.-практ. конф. (Саранск, 8–9 фев. 2006 г.). – Саранск, 2006. – С. 700–702.
2. Ямашкин С.А., Кадималиев Д.А., Романова И.С., Надежина О.С., Большаков М.А., Бычкова Н.Б. Влияние фторсодержащих антибиотиков на рост и развитие микроскопических грибов // Проблемы биодеструкции техногенных загрязнителей окружающей среды: тезисы докл. Международная конф. (Саратов, 14–16 сент. 2005 г.). – Саратов, 2005. – С. 59–60.
3. Степаненко И.С., Коткин А.И., Ямашкин С.А. Изучение противомикробной активности фторзамещенных пирролохинолинов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8. – С. 1406–1410.
4. Ямашкин С.А., Романова Г.А., Юровская М.А. Синтез функционально замещенных пирроло[3,2-f]хинолонов из 6-метил-2-фенил- и 1,6-диметил-2-фенил-5-аминоиндо-

лов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 2004. – Т. 45, № 1. – С. 6–11.

5. Ямашкин С.А., Романова Г.А., Романова И.С., Юровская М.А. Синтез функционально замещенных пирроло [2,3-g]-и пирроло[3,2-f]хинолинов из 2-фенил- и 1-метил-2-фенил-5-аминоиндолов // Химия гетероцикл. соед. – 2003. – № 9. – С. 1354–1363.

6. Ямашкин С.А., Юровская М.А. Синтез некоторых нитро- и аминоиндолов // Химия гетероцикл. соед. – 1999. – № 12. – С. 1630–1636.

7. Ямашкин С.А., Алямкина Е.А. Отаутомерии в ряду пирроло[2,3-h]-, [3,2-f]-, [2,3-f]-, [3,2-g]-, [3,2-h]хинолинов // Химия гетероцикл. соед. – 2009. – № 9. – С. 1400–1411.

#### References

1. Nadezhina O.S., Kadimaliev D.A., Jamashkin S.A. *V respublikanskaja nauchno prakticheskaja konferencija «Nauka i innovacii v respublike Mordovija» (the 5<sup>th</sup> republic-wide research-to-practice conference «Science and Innovations in the Republic of Mordovia»)*. Saransk, 2006, pp. 700–702.
2. Jamashkin S. A., Kadimaliev D.A., Romanova I.S., Nadezhina O.S., Bol'shakov M.A., Bychkova N.B. *Mezhdunarodnaja konferencija «Problemy biodestrukcii tehnogennyh zagriznitatelej okruzhajushhej sredy» (International conference «The Problems of Biodegradation of Technogenic Pollutants of the Environment»)*. Saratov, 2005, pp. 59–60.
3. Stepanenko I.S., Kot'kin A.I., Jamashkin S.A. *Fundamental'nye issledovanija*, 2013. no. 8., pp. 1406–1410.
4. Jamashkin S.A., Romanova G.A., Jurovskaja M.A. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2. Himija*, 2004, no. 1, pp. 6–11.
5. Jamashkin S.A., Romanova G.A., Romanova I.S., Jurovskaja M.A. *Khim. Geterotsikl. Soedin.*, 2003, no. 9, pp. 1354–1363.
6. Jamashkin S.A., Jurovskaja M.A. *Khim. Geterotsikl. Soedin.*, 1999, no. 12, pp. 1630–1636.
7. Jamashkin S.A., Aljamkina E.A. *Khim. Geterotsikl. Soedin.*, 2009, no. 9, pp. 1400–1411.

#### Рецензенты:

Танасейчук Б.С., д.х.н., профессор кафедры органической химии Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева, г. Саранск;

Бузулуков В.И., д.т.н., к.х.н., профессор кафедры физической химии Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева, г. Саранск.

Работа поступила в редакцию 31.01.2014.