СТАТЬИ

УДК 547.828.3

СИНТЕЗ НОВЫХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРИДИНА

¹Ишигеев Р.С., ^{1,2}Шкурченко И.В., ¹Потапов В.А., ¹Зинченко С.В., ¹Амосова С.В.

¹Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского Сибирского отделения

Российской академии наук, Иркутск, e-mail: mindofchem@gmail.com;

²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск

На основе реакции пиридилсульфенилгалогенидов с гексеном-1 и гептеном-1 разработаны эффективные методы синтеза ранее неизвестных соединений с потенциальной биологической активностью, имеющих в своем составе фармакофорное пиридиновое кольцо, конденсированное с тиазольным циклом: 2-[(2-хлорогексил)сульфанил]пиридина, 2-[(2-хлорогептил)сульфанил]пиридина, 2-бутил-2Н,3Н-тиазоло[3,2-а]пиридин-4-ий хлорида и бромид, 2-пентил-2Н,3Н-тиазоло[3,2-а]пиридин-4-ий хлорида и бромид. Путь реакции включает электрофильное присоединение сульфенилгалогенидов к двойной связи алкена с последующим нуклеофильным замещением галогена атомом азота пиридинового кольца. Присоединение атома серы 2-пиридинсульфенилгалогенидов происходит региоселективно по второму атому углерода алкена. Реакция 2-пиридинсульфенилбромида с гексеном-1 и гептеном-1 с образованием продуктов аннелирования протекает уже при комнатной температуре, в то время как для циклизации промежуточных 2-[(2-хлорогексил)сульфанил- и 2-[(2-хлорогептил)сульфанил]пиридина требуется нагревание до 60–65 °С. Различия в поведении хлоридов и бромидов можно объяснить более высокой реакционной способностью промежуточных бром-производных по сравнению с аналогичными хлорпроизводными. Бромид-анион является лучшей уходящей группой по сравнению с хлорид-анионом, и внутримолекулярное нуклеофильное замещение брома атомом азота пиридинового кольца протекает при комнатной температуре и приводит к бициклическим конденсированным гетероциклам – перспективным полупродуктам с потенциальной биологической активностью.

Ключевые слова: фармакофорная группа, электрофильное присоединение, нуклеофильное замещение, пиридин-2-сульфенилгалогениды, тиазоло[3,2-а]пиридин-4-ий хлорид, тиазоло[3,2-а]пиридин-4-ий бромид

SYNTHESIS OF NEW CONDENSED DERIVATIVES OF PYRIDINE

¹Ishigeev R.S., ^{1,2}Shkurchenko I.V., ¹Potapov V.A., ¹Zinchenko S.V., ¹Amosova S.V.

¹A.E. Favorskiy Irkutsk Institute of Chemistry, Irkutsk, e-mail: mindofchem@gmail.com;

²Irkutsk State University, Irkutsk

On the basis of the reaction of pyridylsulfenyl halides with hexene-1 and heptene-1, effective methods for the synthesis of previously unknown compounds with potential biological activity containing pharmacophore pyridine ring condensed with a thiazole ring: 2-[(2-chlorohexyl)sulfanyl]pyridine, 2-[(2-chloroheptyl)sulfanyl]pyridine, 2-butyl-2H, 3H-thiazolo[3,2-a]pyridin-4-ium chloride and bromide, 2-pentyl-2H, 3H-thiazolo[3,2-a]pyridine-4-ium chloride and bromide have been developed. The reaction pathway includes the electrophilic addition of sulfenyl halides to an alkene double bond, followed by nucleophilic substitution of the halogen by a nitrogen atom of the pyridine ring. The addition of the sulfur atom of 2-pyridinesulfenylhalides occurs regioselectively at the second alkene carbon atom. The reaction of 2-pyridinesulfenylbromide with hexene-1 and heptene-1 with the formation of annelation products proceeds even at room temperature, while to cyclize the intermediate 2-[(2-chlorohexyl)sulfanyl- and 2-[(2-chloroheptyl)sulfanyl]pyridine heating up to 60–65 °C is required. The difference in the behavior of chlorides and bromides can be explained by the higher reactivity of intermediate bromo derivatives in comparison with similar chloro derivatives. The bromide anion is the better leaving group compared to the chloride anion, and the intramolecular nucleophilic substitution of bromine by the nitrogen atom of the pyridine ring occurs at room temperature and leads to bicyclic condensed heterocycles – promising intermediates with potential biological activity.

Keywords: pharmacophore group, electrophilic addition, nucleophilic substitution, pyridin-2-sulfenyl halides, thiazolo[3,2-a]pyridin-4-ium chloride, thiazolo[3,2-a]pyridin-4-ium bromide

Азотсодержащие гетероциклы, особенно имеющие в своем составе халькогенсодержащий заместитель, представляют собой ценные во многих отношениях соединения. Обзор [1] посвящен синтезу и применению, а также исследованию спектроскопических свойств производных пиридина, содержащих один или два атома халькогена в разных положениях пиридинового кольца. Показана возможность применения этих соединений в координационной химии, органическом синтезе и биологии.

Многие природные производные пиридина проявляют биологическую актив-

ность, что привлекает внимание ученых к данному гетероциклу, а также к соединениям на его основе. Биологическая активность производных пиридина весьма разнообразна. Пиридиновое кольцо в качестве важной фармакофорной группы входит в структуру многих медицинских препаратов [2]. Ряд лекарственных средств имеет в своем составе пиридиновое кольцо, конденсированное с серосодержащим циклом (к примеру, пенициллин, цефалоспорины пироксикам, цефапирин и др.) [1, 3]. Подобные соединения, содержащие конденсированные пиридиновый и тиа-

зольный циклы, обладают высокой противоопухолевой и антибактериальной активностью [4, 5].

В работах [6–8] сообщается о бактерицидных свойствах, противовоспалительной и анальгетической активности производных пиридина с серосодержащими функциональными группами проявляют различные типы биологической активности, в том числе анти-ВИЧ-активность [9].

Таким образом, синтез и исследование свойств новых водорастворимых гетероциклических соединений, содержащих в качестве фармакофорной группы пиридиновое кольцо, является актуальной задачей.

Цель исследования: разработка эффективных методов синтеза ранее неизвестных соединений с потенциальной биологической активностью, имеющих в своем составе фармакофорное пиридиновое кольцо, конденсированное с тиазольным циклом, на основе реакции пиридилсульфенилгалогенидов с гексен-1 и гептен-1.

Материалы и методы исследования

Дипиридинилдисульфид, гексен-1 и гептен-1 – импортные реактивы (Alfa Aesar).

Сульфурил хлорид и бром – импортные реактивы (Aldrich).

Спектры ЯМР сняты на приборе Bruker DPX-400 в CDCl_3 на рабочих частотах 400,13 (^1H) и 100,61 (^{13}C) в CDCl_3 . Внутренний стандарт: ГМДС. Элементный анализ выполнен на CHNS-анализаторе Thermo Scientific Flash 2000. Температуры плавления измерены на приборе Voëtius (PHMK 05 VEB Wagetech Rapido). В реакциях использовались осушенные и перегнанные растворители.

2-[(2-Хлорогексил)сульфанил]пиридин (1). К раствору 2,2'-дипиридинилдисульфида 0,090 г (0,40 ммоль) в 10 мл хлористого метилена добавляли раствор 0,055 (0,40 ммоль) сульфурил хлорида в 10 мл хлористого метилена. Через 5 минут добавляли по каплям раствор 0,067 г (0,80 ммоль) гексена-1 и перемешивали 16 ч при комнатной температуре. Растворитель удаляли на ротаторном испарителе, остаток сушили в вакууме. Выход 0,181 г (98%), масло желтого цвета.

Спектр ЯМР ^1H (400,13 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 0,63–0,67 м (3H, CH_3), 1,08–1,21 м (4H, CH_2), 1,54–1,63 м (1H, CH_2), 1,73–1,80 м (1H, CH_2), 3,57–3,62 м (1H, SCH), 3,70–3,81 м (1H, CH_2Cl), 3,96 д.д (1H, CH_2Cl , $J = 12,9, 4,3$ Гц), 7,43–7,46 м (1H, C_{py}), 7,82–7,84 м (1H, C_{py}), 8,04–8,09 м (1H, C_{py}), 8,42–8,46 м (1H, C_{py}). Спектр ЯМР ^{13}C (100,61 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц):

13,19 (CH_3), 21,49 (CH_2), 28,93 (CH_2), 32,78 (CH_2), 48,29 (SCH), 64,42 (CH_2Cl), 122,33 (Py), 122,67 (Py), 144,24 (Py), 146,28 (Py), 155,32 (NCS, Py). Найдено, %: C 57,95, H 7,27, N 6,61. $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{ClNS}$. Вычислено, %: C 57,50, H 7,02, N 6,10.

2-Бутил-2H,3H-тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ий хлорид (2). Соединение 1 растворили в хлороформе и нагревали на водяной бане в течение 1 ч. После охлаждения удаляли растворитель на ротаторном испарителе, сушили вакууме. Выход 0,180 г (98%), масло желтого цвета.

Спектр ЯМР ^1H (400,13 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 0,63–0,67 м (3H, CH_3), 1,08–1,21 м (4H, CH_2), 1,54–1,63 м (1H, CH_2), 1,73–1,80 м (1H, CH_2), 4,20–4,27 м (1H, SCH), 5,06–5,11 м (1H, CH_2N), 5,48 д.д (1H, CH_2N , $J = 13,7, 7,6$ Гц), 7,48–7,51 м (1H, C_{py}), 8,11–8,15 м (1H, C_{py}), 8,39–8,41 м (1H, C_{py}), 9,50–9,51 м (1H, C_{py}). Спектр ЯМР ^{13}C (100,61 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 13,71 (CH_3), 27,78 (CH_2), 36,31 (CH_2), 39,91 (CH_2), 53,15 (SCH), 60,59 (NCH), 122,67 (Py), 122,71 (Py), 140,52 (Py), 143,37 (Py), 158,71 (NCS, Py). Найдено, %: C 57,74, H 7,20, N 6,35. $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{ClNS}$. Вычислено, %: C 57,50, H 7,02, N 6,10.

2-[(2-Хлорогептил)сульфанил]пиридин (3). К раствору 2,2'-дипиридинилдисульфида 0,107 г (0,48 ммоль) в 10 мл хлористого метилена добавляли раствор 0,066 (0,48 ммоль) сульфурил хлорида в 10 мл хлористого метилена. Через 5 минут добавляли по каплям раствор 0,096 г (0,97 ммоль) гептена-1 и перемешивали 16 ч при комнатной температуре. Растворитель удаляли на ротаторном испарителе, остаток сушили в вакууме. Выход 0,181 г (84%), масло желтого цвета.

Спектр ЯМР ^1H (400,13 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 0,70 с (3H, CH_3), 1,12–1,13 м (4H, CH_2), 1,38–1,39 м (2H, CH_2), 1,57–1,70 м (1H, CH_2), 1,80–1,89 м (1H, CH_2), 3,63–3,68 м (1H, SCH), 3,85–3,90 м (1H, CH_2Cl), 4,02–4,06 м (1H, CH_2Cl), 7,49–7,52 м (1H, C_{py}), 7,66–7,69 м (1H, C_{py}), 8,09–8,11 м (1H, C_{py}), 8,45–8,47 м (1H, C_{py}). Спектр ЯМР ^{13}C (100,61 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 13,71 (CH_3), 22,14 (CH_2), 25,72 (CH_2), 30,75 (CH_2), 36,93 (CH_2), 40,50 (SCH), 60,86 (CH_2Cl), 122,21 (Py), 125,75 (Py), 141,52 (Py), 155,21 (Py), 155,77 (NCS, Py). Найдено, %: C 59,55, H 7,69, N 5,91. $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{ClNS}$. Вычислено, %: C 59,12, H 7,44, N 5,75.

2-Пентил-2H,3H-тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ий хлорид (4). Соединение 3 растворили в хлороформе и нагревали на водяной бане в течение 1 ч. После охлаждения удаляли растворитель на ротаторном испарителе, сушили вакууме. Выход 0,185 г (92%), масло желтого цвета.

Спектр ЯМР ^1H (400,13 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 0,70 с (3H, CH_3), 1,12–1,13 м (4H, CH_2), 1,28 с (2H, CH_2), 1,62–1,68 м (1H, CH_2), 1,80–1,87 м (1H, CH_2), 4,26–4,33 м (1H, SCH), 5,14 д.д. (1H, CH_2N , $J = 14,1$, 7,7 Гц), 5,56 д.д. (1H, CH_2N , $J = 13,6$, 7,7 Гц), 7,55–7,58 м (1H, C_{py}), 8,15–8,18 м (1H, C_{py}), 8,48–8,49 м (1H, C_{py}), 9,58–9,59 м (1H, C_{py}). Спектр ЯМР ^{13}C (100,61 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 13,66 (CH_3), 22,02 (CH_2), 26,97 (CH_2), 30,81 (CH_2), 33,36 (CH_2), 48,72 (SCH), 64,48 (NCH_2), 122,75 (Py), 122,91 (Py), 143,81 (Py), 144,52 (Py), 158,97 (NCS, Py). Найдено, %: C 59,63, H 7,71, N 5,92. $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{ClNS}$. Вычислено, %: C 59,12, H 7,44, N 5,75.

2-Бутил-2H,3H-тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ий бромид (5). К раствору 2,2'-дипиридинилдисульфида 0,086 г (0,39 ммоль) в 10 мл хлористого метилена добавляли раствор 0,062 (0,39 ммоль) брома в 10 мл хлористого метилена. Через 5 минут добавляли по каплям раствор 0,065 г (0,78 ммоль) гексена-1 и перемешивали 20 ч при комнатной температуре. Растворитель удаляли на ротонном испарителе, остаток сушили в вакууме. Выход 0,205 г (96%), масло оранжевого цвета.

Спектр ЯМР ^1H (400,13 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 0,65–0,70 м (3H, CH_3), 1,12–1,24 м (4H, CH_2), 1,57–1,65 м (1H, CH_2), 1,77–1,81 м (1H, CH_2), 4,23–4,30 м (1H, SCH), 5,09–5,13 м (1H, NCH_2), 5,50 д.д. (1H, NCH_2 , $J = 13,8$, 7,7 Гц), 7,49–7,52 м (1H, C_{py}), 8,12–8,16 м (1H, C_{py}), 8,40–8,42 м (1H, C_{py}), 9,49–9,51 м (1H, C_{py}). Спектр ЯМР ^{13}C (100,61 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 13,75 (CH_3), 27,84 (CH_2), 36,36 (CH_2), 40,01 (CH_2), 53,35 (SCH), 60,86 (NCH_2), 122,87 (Py), 122,91 (Py), 140,63 (Py), 143,75 (Py), 159,01 (NCSe, Py). Найдено, %: C 48,36, H 6,00, N 5,34. $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{BrNS}$. Вычислено, %: C 48,18, H 5,88, N 5,11.

2-Пентил-2H,3H-тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ий бромид (6). К раствору 2,2'-дипиридинилдисульфида 0,114 г (0,51 ммоль) в 10 мл хлористого метилена добавляли раствор 0,082 (0,51 ммоль) брома в 10 мл хлористого метилена. Через 5 мин добавляли по каплям раствор 0,101 г (1,03 ммоль) гептена-1 и перемешивали 20 ч при комнатной температуре. Растворитель удаляли на ротонном испарителе, остаток сушили в вакууме. Выход 0,268 г (90%), масло оранжевого цвета.

Спектр ЯМР ^1H (400,13 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 0,76–0,78 м (3H, CH_3), 1,20–1,27 м (4H, CH_2), 1,40–1,52 м (2H, CH_2), 1,91–1,96 м (2H, CH_2), 4,41–4,46 м (1H, SCH), 5,12–5,26 м (1H, NCH_2), 5,44–5,56 м (1H, NCH_2), 7,70–7,72 м (1H, C_{py}), 8,05–8,08 м (1H, C_{py}), 8,14–8,17 м (1H, C_{py}), 9,21–9,23 м (1H, C_{py}). Спектр ЯМР ^{13}C (100,61 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 13,63

(CH_3), 22,03 (CH_2), 25,93 (CH_2), 30,93 (CH_2), 33,64 (CH_2), 47,23 (SCH), 66,93 (NCH_2), 123,82 (Py), 126,36 (Py), 143,36 (Py), 144,63 (Py), 158,33 (NCS, Py). Найдено, %: C 50,36, H 6,43, N 4,96. $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{BrNS}$. Вычислено, %: C 50,00, H 6,29, N 4,86.

Результаты исследования и их обсуждение

В последние годы нами проводятся исследования, направленные на изучение реакций синтеза аннелированных сера- и селенорганических гетероциклов на основе халькогенсодержащих электрофильных реагентов [10]. Эффективным реагентом для получения производных тиазоло[3,2-a]пиридинов является 2-пиридинсульфенилхлорид [11, 12]. Использование 2-пиридинсульфенилбромида описано пока лишь в одной работе, где он используется в синтезе конденсированных соединений по реакции присоединения к двойной связи [11].

В продолжение этих исследований нами были изучены реакции 2-пиридинсульфенилгалогенидов с гексеном-1 и гептеном-1, ранее в литературе не описанные.

Взаимодействие 2-пиридинсульфенилгалогенидов с гексеном-1 и гептеном-1 приводит к аннелированию и образованию соответствующих бициклических конденсированных соединений. В работе [11] сообщается, что аналогичная реакция 2-пиридинсульфенилхлорида с циклоалканами приводит к продуктам электрофильного присоединения, 1-(2-пиридинилсульфенил)-2-хлорциклоалканам, и аннелирования не происходит.

Установлено, что взаимодействие 2-пиридинсульфенилхлорида с гексеном-1 протекает в две стадии: сначала, при комнатной температуре в хлористом метилена, происходит электрофильное присоединение 2-пиридинсульфенилхлорида к двойной связи гексена-1 с образованием 2-[(2-хлорогексил)сульфанил]пиридина (1) с выходом 98%. При кипячении соединения (1) в хлороформе в течение часа происходит внутримолекулярное нуклеофильное замещение хлора атомом азота пиридинового кольца, в результате которого образуется 2-бутил-2H,3H-тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ий хлорид (2) (рис. 1).

Взаимодействие 2-пиридинсульфенилхлорида с гептеном-1 в аналогичных условиях протекает таким же образом и приводит сначала к продукту электрофильного присоединения 2-[(2-хлорогексил)сульфанил]пиридину (3), который затем вступает в реакцию аннелирования с образованием 2-пентил-2H,3H-тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ий хлорида (4) (рис. 2).

Рис. 1. Схема синтеза 2-бутил-2H,3H-тиазоло[3,2-а]пиридин-4-ий хлорида

Рис. 2. Схема синтеза 2-пентил-2H,3H-тиазоло[3,2-а]пиридин-4-ий хлорида

Рис. 3. Схема синтеза 2-бутил-2H,3H-тиазоло[3,2-а]пиридин-4-ий бромида

Рис. 4. Схема синтеза 2-пентил-2H,3H-тиазоло[3,2-а]пиридин-4-ий бромида

В этих реакциях присоединение атома серы 2-пиридинсульфенилхлорида происходит региоселективно по второму атому углерода алкена. Образования региоизомерных продуктов не наблюдается.

Нами было изучено взаимодействие 2-пиридинсульфенилбромидов с гексеном-1 и гептеном-1. Установлено, что продуктом реакции 2-пиридинсульфенилбромидов с гексеном-1 в аналогичных условиях является 2-бутил-2H,3H-тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ий бромид (5) с выходом 96% (рис. 3).

Аналогично был получен 2-пентил-2H,3H-тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ий бромид (6) с выходом 90% (рис. 4).

Следует отметить, что бромистые аналоги соединений (1) и (3) получены не были. Различие в поведении хлоридов и бромидов можно объяснить более высокой реакционной способностью промежуточных бромпроизводных по сравнению с аналогичными хлорпроизводными. Бромид-ани-

он является лучшей уходящей группой по сравнению с хлорид-анионом, и внутримолекулярное нуклеофильное замещение брома атомом азота пиридинового кольца протекает уже при комнатной температуре и приводит к бициклическим конденсированным гетероциклам.

Строение синтезированных соединений доказано методом ЯМР ^1H и ^{13}C и подтверждено данными элементного анализа.

Заключение

Таким образом, разработаны эффективные региоселективные методы синтеза производных 2,3-дигидро[3,2-a]тиазоло[3,2-a]пиридин-4-ия взаимодействием 2-пиридинсульфенилгалогенидов с гексеном-1 и гептеном-1. Полученные конденсированные гетероциклы представляют интерес как новые перспективные полупродукты с потенциальной биологической активностью.

Спектральные исследования проведены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Список литературы

1. Kedarnath G., Jain V.K. Pyridyl and pyrimidyl chalcogen (Se and Te) compounds: A family of multi utility molecules. *Coordination Chemistry Reviews*. 2013. Vol. 257. № 7–8. P. 1409–1435.
2. Lukevits E. Pyridine derivatives in the drug arsenal (150 years of pyridine chemistry). *Chemistry of heterocyclic compounds*. 1995. Vol. 31. № 6. P. 639–650.
3. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М.: Новая волна, 2012. С. 1216.
4. Haddach M., Schwaebe M.K., Michaux J., Nagasawa J., O'Brien S.E., Whitten J.P., Pierre F., Kerdoncuff P., Darjania L., Stansfield R., Drygin D., Anderes K., Proffitt C., Bliesath J., Siddiqui-Jain A., Omori M., Huser N., Rice W.G., Ryckman D.M. Discovery of CX-5461, the first direct and selective inhibitor of RNA polymerase I, for cancer therapeutics. *ACS medicinal chemistry letters*. 2012. Vol. 3. № 7. P. 602–606.
5. Gupta S.P. Quantitative structure-activity relationship studies on anticancer drugs. *Chemical reviews*. 1994. Vol. 94. № 6. P. 1507–1551.
6. Гуревич П.А., Федосеев С.В., Ершов О.В., Липин К.В., Шевердов В.П., Саттарова Л.Ф. Синтез и биологическая активность 2-оксо-4-циано-2, 5, 6, 7, 8, 9-гексагидро-1Н-циклогепта[б]пиридин-3-карбоксамида // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. Т. 15. № 15.
7. Бояршинов В.Д., Михалев А.И., Ухов С.В., Юшкова Т.А., Махмудов Р.Р. Синтез и биологическая активность амидов пиридин-2-карбоновой кислоты // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 9–3. С. 606–610.
8. Michaelidou A.S., Hadjipavlou-Litina D. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs): A comparative QSAR study. *Chemical reviews*. 2005. Vol. 105. № 9. P. 3235–3271.
9. Garg R., Gupta S.P., Gao H., Babu M.S., Debnath A.K., Hansch C. Comparative quantitative structure – activity relationship studies on anti-HIV drugs. *Chemical reviews*. 1999. Vol. 99. № 12. P. 3525–3602.
10. Потапов В.А., Ишигеев Р.С., Амосова С.В., Зинченко С.В. Региоселективный синтез 2-тривинилсилил-2Н,3Н-[1,3]тиа- и -селеназоло[3,2-а]пиридин-4-ий хлоридов // *Известия Академии наук. Серия химическая*. 2018. № 12. С. 23–28.
11. Potapov V.A., Ishigeev R.S., Amosova S.V., Borodina T.N. Synthesis of a novel family of water-soluble 2Н,3Н-[1,3] thia- and -selenazolo[3,2-а]pyridin-4-ium heterocycles by annulation reactions. *Tetrahedron Lett*. 2019. Vol. 60. P. 475.
12. Borisov A.V., Matsulevich Z.V., Osmanov V.K., Borisova G.N., Mammadova G.Z., Maharramov A.M., Khrustalev V.N. Sulfonyl halides in the synthesis of heterocycles. 4*. Heterocyclization in reactions of alkenes with sulfonylating reagents based on di(2-pyridyl) disulfide. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 2012. Vol. 48. № 7. P. 1098–1104.