

СИНТЕЗ НОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ХАЛЬКОГЕНАЗОЛО[3,2-*a*]ПИРИДИНИЯ РЕАКЦИЕЙ АННЕЛИРОВАНИЯ ВИНИЛГЕТЕРОАТОМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПИРИДИН-2-ХАЛЬКОГЕНИЛГАЛОГЕНИДАМИ

© 2024 г. Р. С. Ишигеев¹, А. Г. Хабибулина¹, В. А. Потапов^{1,*}

¹ Иркутский институт химии имени А. Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук,
Иркутск, 664033 Россия

*e-mail: v_a_potapov@irioch.irk.ru

Поступило в редакцию 28 ноября 2024 г.

После доработки 28 ноября 2024 г.

Принято к печати 12 декабря 2024 г.

На основе реакций аннелирования пиридин-2-халькогенилгалогенидов с рядом винилгетероатомных соединений (дивиниловый и алкилвиниловые эфиры, дивинилсульфид, 2-винилсульфанилэтанол, тетравинилсилан) разработаны эффективные способы получения новых производных 2,3-дигидро[1,3]-тиазоло- и селеназоло[3,2-*a*]пиридиния с высокими выходами.

Ключевые слова: пиридин-2-сульфенилгалогениды, пиридин-2-селенилгалогениды, дивиниловый эфир, дивинилсульфид, тетравинилсилан, алкилвиниловые эфиры

DOI: 10.31857/S0044460X24090018, **EDN:** RPAJSK

ВВЕДЕНИЕ

Азотсодержащие гетероциклические соединения вызывают большой интерес ученых благодаря их использованию для получения медицинских препаратов и практически важных материалов [1, 2]. Следует отметить, что азотсодержащие гетероциклические структуры входят в состав большого числа применяемых в настоящее время лекарств и препаратов медицинского назначения [3].

В последнее время большое внимание уделяется синтезу конденсированных производных пиридина ввиду их разнообразной биологической активности [4–8]. В ряду производных пиридина, конденсированных с тиазольным циклом, выделяются тиазоло[3,2-*a*]пиридины, которые, в зависимости от природы заместителей, проявляют различные виды биологической активности [9–20]. Прежде всего, про-

изводным этого класса соединений присущ широкий спектр антибактериальной активности [12–16]. Кроме этого, соединения ряда тиазоло[3,2-*a*]пиридинов обладают антитрихомонадной [17], противогрибковой [18], противовирусной [19] и антиоксидантной активностью [20].

Пиридин-2-сульфенилгалогениды являются эффективными электрофильными реагентами для получения производных тиазоло[3,2-*a*]пиридина [21–24]. Ранее мы сообщали о реакциях пиридин-2-сульфенил- и -селенилгалогенидов с рядом алкенов и природных соединений, приводящих к водорастворимым производным тиазоло- и селеназоло[3,2-*a*]пиридиния [25–27].

Продолжая исследования в области синтеза производных 2,3-дигидро[1,3]халькогенозоло[3,2-*a*]пиридинийгалогенидов на основе аннелирования, нами проведены реакции пиридин-2-халькогенил-

галогенидов с рядом винилгетероатомных соединений (дивиниловый и алкилвиниловые эфиры, дивинилсульфид, винилсульфанилэтанол и тетравинилсилан), в результате чего получены ранее неизвестные производные 2- и 3-замещенных 2,3-дигидро[1,3]тиа- и -селеназоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия с высокими выходами. Целью настоящей работы, наряду с разработкой способов получения новых производных халькогеназоло[3,2-*a*]пиридиния, было исследование влияния строения субстрата и природы атомов халькогена (серы и селена) на выход продуктов и селективность процесса аннелирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пиридин-2-сульфенилгалогениды **1**, **2** и пиридин-2-селанилгалогениды **3**, **4** получены взаимодействием бис(пиридин-2-ил)дисульфида и бис(пиридин-2-ил)диселенида с хлористым сульфуром или бромом и использованы без выделения в последующих реакциях (схема 1).

Ранее нами было показано, что реакция пиридин-2-халькогенилбромидов легко протекают с виниловыми эфирами с образованием соответствующих конденсированных продуктов с высокими выходами [24]. В данной работе в реакцию аннелирования с сульфенил- и -селенилхлоридами **1**, **3** впервые

вовлечен дивиниловый эфир (схема 2). Установлено, что реакция с дивиниловым эфиром селективно протекает при комнатной температуре в хлористом метиле с образованием 3-винилоксипроизводных **5** и **6** с выходами 90 и 86% соответственно (схема 2).

Проведение реакций пиридин-2-халькогенилхлоридов с 2-винилсульфанилэтанолом в аналогичных условиях дает низкий выход целевых продуктов. Установлено, что взаимодействие сульфенил- и -селенилхлоридов **1**, **3** с 2-винилсульфанилэтанолом эффективно реализуется при кипячении в хлороформе (который имеет более высокую температуру кипения, чем хлористый метил) и приводит к гетероциклам **7** и **8**, функционализированным гидроксипропансульфанильной группой, с выходами 87 и 80% (схема 2).

Реакция аннелирования халькогенилгалогенидов **1**, **3**, **4** с алкилвиниловыми эфирами при эквимольном соотношении реагентов селективно протекает в хлороформе при комнатной температуре и приводит к образованию продуктов **9–14** с высокими выходами (91–99%, схема 3).

Виниловые эфиры являются одними наиболее активных субстратов в электрофильных реакциях, и влияние природы атомов халькогена и галогена на выход продуктов в этом случае мало заметно.

Влияние природы атомов халькогена (серы и селена) в реакциях аннелирования сульфенил- и

Схема 1.

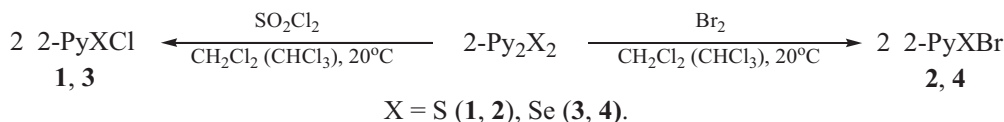


Схема 2.

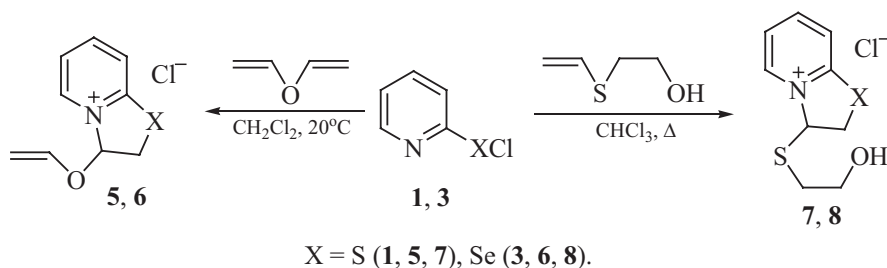
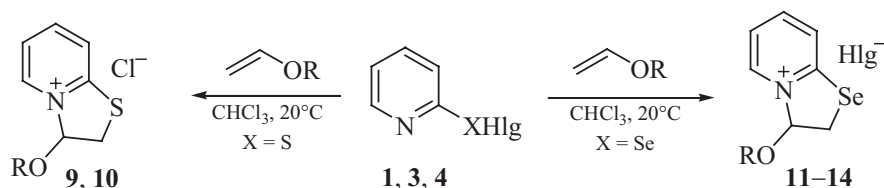


Схема 3.



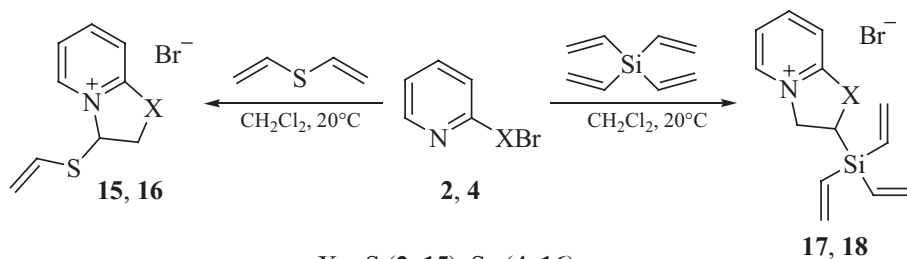
R = Bu (**9**, 98%), *i*-Bu (**10**, 94%); Hlg = Cl, R = Bu (**11**, 94%), *i*-Bu (**12**, 91%);
Hlg = Br, R = Bu (**13**, 99%), *i*-Bu (**14**, 97%).

-селенилбромидов **2**, **4** исследовано на примерах взаимодействия с дивинилсульфидом и тетравинилсиланом. Дивинилсульфид является ценным реакционноспособным реагентом, который легко вступает в реакции электрофильного и радикального присоединения [28].

Установлено, что реакции аннелирования сульфенил- и -селенилбромидов **2**, **4** с дивинилсульфидом протекают в мягких условиях при комнатной температуре в хлористом метиле с образованием конденсированных продуктов **15** и **16** с выходами 76 и 95% соответственно (схема 4).

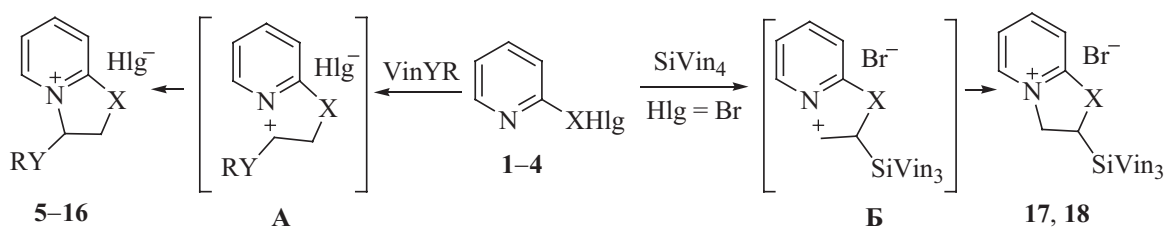
При исследовании реакций халькогенилбромидов **2** и **4** с тетравинилсиланом установлено, что процесс протекает региоселективно, но в отличие от реакции с дивинилсульфидом приводит к продуктам с противоположной региохимией. В этом случае атом халькогена присоединяется к α-углеродному атому винильной группы (схема 4). В результате образуются бромиды 2-тривинилсилил-2,3-дигидро[1,3]тиазоло- и -селеназолопиридиния **17** и **18** с выходами 68 и 86% соответственно. Для селективного образования продуктов присоединения только по одной винильной группе использовался трехкратный мольный избыток тетравинилсилана. После окончания реакции

Схема 4.



X = S (**2**, **15**), Se (**4**, **16**).

Схема 5.



X = S, Se; Hlg = Cl, Br; Y = O, S.

избыточное количество тетравинилсилана удалялось вакуумированием реакционной смеси при перемешивании и собиралось в охлажденной ловушке.

Объяснение регионаправленности реакций представлено на схеме 5. Атомы кислорода и серы хорошо стабилизируют соседний карбокатионный центр [29]. Можно предполагать, что при присоединении халькогенилгалогенидов **1–4** в β -положении винилокси- и винилсульфанильной групп образуется интермедиат **A**, в котором карбокатионный центр стабилизирован соседним гетероатомом (схема 5). Однако электрофильная атака на винилсилильную группу обычно происходит по α -углеродному атому двойной связи, с образованием карбокатиона в β -положение (β -эффект, интермедиат **B**) [30]. Известный β -эффект атома кремния стабилизирует положительный заряд на β -углеродном атоме [31]. Известно, что реакции присоединения аренсульфенилхлоридов к виниловым эфирам и винилсульфидам приводят к марковниковским аддуктам [32], тогда как реакции аренсульфенилхлоридов с винилсиланам протекают с противоположной регионаправленностью [30].

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработаны селективные и эффективные методы синтеза ранее неизвестных производных 2,3-дигидро[1,3]тиазоло- и -селеназоло[3,2-*a*]пиридиния **5–18**, растворимость которых в воде является важным свойством для возможного проявления биологической активности. Реакции аннелирования протекают достаточно эффективно как с сульфенилгалогенидами **1, 3**, так и селенилгалогенидами **2, 4**. Наиболее активными из субстратов в реакциях аннелирования являются виниловые эфиры. При использовании сульфенилхлорида **1** получены несколько более высокие выходы продуктов, чем с селенилхлоридом **3**. При сравнении данных по использованию сульфенил- и -селенилбромидов **2, 4** можно отметить, что несколько более высокие выходы продуктов наблюдаются при использовании селенилбромида **4**. Следует отметить, что продукты **5, 6, 15–18** содержат винильную группу, которая потенциально способна к дальнейшей функционализации или олигомеризации с образованием новых водорастворимых материалов с возможной антибактериальной активностью.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C записаны на приборе Bruker DPX-400 (400 и 101 МГц соответственно) в растворе D_2O , внешний стандарт – тетраметилсилан. Элементный анализ выполнен на автоматическом анализаторе Thermo Scientific Flash 2000. Содержание хлора и брома определено объемным методом [33].

В реакциях использовались абсолютные растворители и коммерчески доступные (Merck) бис(пиридин-2-ил)дисульфид, сульфурилхлорид, бром, бутилвиниловый эфир, *изо*-бутилвиниловый эфир, 2-винилсульфанилэтанол. Бис(пиридин-2-ил)диселенид получен по известной методике [34].

3-(Винилокси)-2,3-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-*a*]-пиридин-4-ия хлорид (5**).** К раствору 0.099 г (0.45 ммоль) бис(пиридин-2-ил)дисульфида в 8 мл хлористого метилена, при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.061 г (0.45 ммоль) сульфурилхлорида в 3 мл хлористого метилена. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор 0.063 г (0.90 ммоль) дивинилового эфира в 4 мл хлористого метилена и перемешивали 24 ч при комнатной температуре. Смесь фильтровали, растворитель удаляли на роторном испарителе, остаток промывали гексаном и сушили в вакууме. Выход 0.195 г (90%), медообразное вещество светло-желтого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 3.89 д. д (1H, SCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 13.2, $^3J_{\text{HH}}$ 2.4 Гц), 4.17 д. д (1H, SCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 13.2, $^3J_{\text{HH}}$ 6.2 Гц), 4.56 д. д (1H, $\text{CH}=\text{CH}_2$, $^3J_{\text{HH}}$ 6.2, $^2J_{\text{HH}}$ 2.6 Гц), 4.70 д. д (1H, $\text{CH}=\text{CH}_2$, $^3J_{\text{HH}}$ 13.7, $^2J_{\text{HH}}$ 2.6 Гц), 6.68 д. д (1H, $\text{CH}=\text{CH}_2$, $^3J_{\text{HH}}$ 13.7, $^3J_{\text{HH}}$ 6.2 Гц), 6.96 д. д (1H, NCH , $^3J_{\text{HH}}$ 6.2, $^3J_{\text{HH}}$ 2.4 Гц), 7.70–7.73 м (1H, CH_{Py}), 8.02–8.04 м (1H, CH_{Py}), 8.34–8.37 м (1H, CH_{Py}), 8.82–8.83 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C , (D_2O), δ_{C} , м. д.: 34.3 (SCH_2), 96.6 ($\text{CH}_2=\text{CH}$), 97.6 (NCH), 122.9 (C_{Py}), 123.8 (C_{Py}), 140.9 (C_{Py}), 146.4 (C_{Py}), 147.3 ($\text{CH}_2=\text{CH}$), 158.3 (NCS , C_{Py}). Найдено, %: C 49.86; H 4.79; N 6.37; Cl 16.27; S 15.09. $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{ClNOS}$. Вычислено, %: C 50.11; H 4.67; N 6.49; Cl 16.44; S 14.87.

3-(Винилокси)-2,3-дигидро[1,3]селеназоло[3,2-*a*]-пиридин-4-ия хлорид (6**).** К раствору 0.056 г (0.17 ммоль) бис(пиридин-2-ил)диселенида в 5 мл хлористого метилена, добавляли раствор сульфурилхлорида 0.024 г (0.17 ммоль) в 2 мл хлористого метилена. Перемешиваем 10 мин, затем добавляли

раствор 0.025 г (0.35 ммоль) дивинилового эфира в 2 мл хлористого метилена и перемешиваться при комнатной температуре в течение 24 ч. Смесь фильтровали, растворитель удаляли на роторном испарителе, остаток промывали гексаном и сушили в вакууме. Выход 0.080 г (86%), медообразное вещество светло-желтого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 3.86–3.90 м (1H, SeCH_2), 4.20 д. д (1H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.2, $^3J_{\text{HH}}$ 5.5 Гц), 4.54–4.57 м (1H, $\text{CH}=\text{CH}_2$), 4.69–4.73 м (1H, $\text{CH}=\text{CH}_2$), 6.66–6.71 м (1H, $\text{CH}=\text{CH}_2$), 6.95 д. д (1H, NCH, $^3J_{\text{HH}}$ 5.5, $^3J_{\text{HH}}$ 3.1 Гц), 7.76–7.78 м (CH_{Py}), 8.16–8.18 м (CH_{Py}), 8.23–8.28 м (CH_{Py}), 8.85–8.87 м (CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 28.3 (SeCH_2), 96.5 ($\text{CH}_2=\text{CH}$), 100.1 (NCH), 123.5 (1H, CH_{Py}), 127.8 (1H, CH_{Py}), 141.8 (1H, CH_{Py}), 144.4 (1H, CH_{Py}), 147.4 ($\text{CH}_2=\text{CH}$), 159.8 (NCSe, C_{Py}). Найдено, %: C 40.86; H 4.02; N 5.51; Cl 13.27; Se 29.81. $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{ClNOSe}$. Вычислено, %: C 41.16; H 3.84; N 5.33; Cl 13.50; Se 30.07.

3-[(2-Гидроксиэтил)сульфанил]-2,3-дигидро[1,3]-тиазоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия хлорид (7). К раствору 0.107 г (0.48 ммоль) бис(пиридин-2-ил)дисульфида в 7 мл хлороформа при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.066 г (0.48 ммоль) сульфурилхлорида в 3 мл хлороформа. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор 0.101 г 2-(винилсульфанил)этанола (0.97 ммоль) в 5 мл хлороформа и перемешивали 2 ч при температуре кипения растворителя. Смесь фильтровали, растворитель удаляли на роторном испарителе, остаток промывали четыреххлористым углеродом и сушили в вакууме. Выход 0.211 г (87%), медообразное вещество желтого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 3.03–3.06 м (1H, CH_2), 3.78–3.85 м (3H, CH_2), 3.94 д. д (1H, SCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.4, $^3J_{\text{HH}}$ 8.6 Гц), 4.29 д. д (1H, SCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.4, $^3J_{\text{HH}}$ 8.0 Гц), 6.48 т (1H, NCH, $^3J_{\text{HH}}$ 8.3 Гц), 7.73–7.76 м (1H, CH_{Py}), 7.94–7.97 м (1H, CH_{Py}), 8.27–8.31 м (1H, CH_{Py}), 8.98–9.00 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 32.8 (CH_2), 35.5 (SCH_2), 60.3 (OCH_2), 76.4 (NCH), 123.0 (C_{Py}), 123.4 (C_{Py}), 140.8 (C_{Py}), 144.9 (C_{Py}), 159.3 (NCS, C_{Py}). Найдено, %: C 42.94; H 5.03; N 5.48; Cl 13.98; S 25.51. $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{NCIOS}_2$. Вычислено, %: C 43.28; H 4.84; N 5.61; Cl 14.19; S 25.68.

3-[(2-Гидроксиэтил)сульфанил]-2,3-дигидро[1,3]-селеназоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия хлорид (8). К раствору 0.042 г (0.13 ммоль) бис(пиридин-2-ил)-диселенида в 4 мл хлороформа при перемешивании

по каплям добавляли раствор 0.018 г (0.13 ммоль) сульфурилхлорида в 2 мл хлороформа. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор 0.027 г (0.26 ммоль) 2-(винилсульфанил)этанола в 3 мл хлороформа и перемешивали 2 ч при температуре кипения растворителя. Смесь фильтровали, растворитель удаляли на роторном испарителе, остаток промывали четыреххлористым углеродом и сушили в вакууме. Выход 0.060 г (80%), медообразное вещество желтого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 3.02–3.05 м (1H, CH_2), 3.14–3.30 м (1H, CH_2), 3.76–3.86 м (1H, CH_2), 3.92–3.99 м (1H, CH_2), 4.20–4.32 м (2H, SCH_2), 6.42–6.46 м (1H, NCH), 7.75–7.79 м (1H, CH_{Py}), 8.08–8.10 м (1H, CH_{Py}), 8.19–8.23 м (1H, CH_{Py}), 9.05–9.09 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 29.8 (CH_2), 33.0 (SCH_2), 60.5 (OCH_2), 79.2 (NCH), 123.8 (C_{Py}), 127.7 (C_{Py}), 142.4 (C_{Py}), 144.3 (C_{Py}), 155.7 (NCSe, C_{Py}). Найдено, %: C 36.19; H 3.97; N 5.03; Cl 12.10; S 11.12; Se 26.99. $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{NCIOSSe}$. Вычислено, %: C 36.44; H 4.08; N 4.72; Cl 11.95; S 10.81; Se 26.61.

Реакция сульфенилхлорида 1 с виниловыми эфирами. К раствору 0.110 г (0.5 ммоль) бис(пиридин-2-ил)дисульфида в 8 мл хлороформа, при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.067 г (0.5 ммоль) сульфурилхлорида в 2 мл хлороформа. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор винилового эфира (1.05 ммоль) в 4 мл хлороформа и перемешивали 26 ч при комнатной температуре. Реакционную смесь фильтровали, растворитель удаляли на роторном испарителе, остаток сушили в вакууме.

3-Бутокси-2,3-дигидро[1,3]тиазоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия хлорид (9). Выход 0.241 г (98%), масло светло-желтого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 0.87 т (3H, CH_3 , J_{HH} 7.4 Гц), 1.34 д. д (2H, CH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 14.8, $^3J_{\text{HH}}$ 7.4 Гц), 1.61 д. д (2H, CH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 14.1, $^3J_{\text{HH}}$ 7.1 Гц), 3.84 (2H, SCH_2 , OCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 15.1, $^3J_{\text{HH}}$ 4.2 Гц), 4.09 д. д (2H, OCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 13.0, $^3J_{\text{HH}}$ 6.0 Гц), 6.62–6.63 м (1H, NCH), 7.71–7.74 м (1H, CH_{Py}), 8.01–8.03 м (1H, CH_{Py}), 8.33–8.37 м (1H, CH_{Py}), 8.84–8.85 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 12.9 (CH_3), 18.4 (CH_2), 30.5 (CH_2), 34.6 (SCH_2), 70.4 (OCH_2), 99.4 (NCH), 122.7 (C_{Py}), 123.8 (C_{Py}), 140.7 (C_{Py}), 146.0 (C_{Py}), 156.0 (NCS, C_{Py}). Найдено, %: C 54.05; H 6.73; N 5.52; Cl 14.69; S 12.87. $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{ClNOS}$. Вычислено, %: C 53.76; H 6.56; N 5.70; Cl 14.43; S 13.05.

3-(2-Метилпропокси)-2,3-дигидро[1,3]-тиазоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия хлорид (10). Выход 0.231 г (94%) масло светло-желтого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 0.84–0.88 м (6H, CH_3), 1.82–1.89 м (1H, CH), 3.56–3.65 м (2H, OCH_2), 3.81 д (1H, SCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 13.0 Гц), 4.07 д. д (1H, SCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 13.0, $^3J_{\text{HH}}$ 6.0 Гц), 6.61–6.62 м (1H, NCH), 7.69–7.72 м (1H, CH_{Py}), 7.99–8.00 м (1H, CH_{Py}), 8.31–8.35 м (1H, CH_{Py}), 8.83–8.84 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 17.6 (CH_3), 17.7 (CH_3), 27.3 (CH), 34.0 (SCH_2), 76.4 (OCH_2), 99.1 (NCH), 122.2 (C_{Py}), 123.1 (C_{Py}), 140.3 (C_{Py}), 145.6 (C_{Py}), 159.3 (NCS, C_{Py}). Найдено, %: C 53.41; H 6.72; N 5.89; Cl 14.29; S 12.85. $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{ClNOS}$. Вычислено, %: C 53.76; H 6.56; N 5.70; Cl 14.43; S 13.05.

Реакция селенилхлорида 3 с виниловыми эфирами. К раствору 0.044 г (0.14 ммоль) бис(пиридин-2-ил)диселенида в 5 мл хлороформа, при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.019 г (0.14 ммоль) сульфурилхлорида в 2 мл хлороформа. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор винилового эфира (0.3 ммоль) в 3 мл хлороформа и перемешивали 26 ч при комнатной температуре. Реакционную смесь фильтровали, растворитель удаляли на ротаторном испарителе, остаток сушили в вакууме.

3-Бутокси-2,3-дигидро[1,3]селеназоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия хлорид (11). Выход 0.077 г (94%), масло светло-желтого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 0.88 т (3H, CH_3 , J_{HH} 7.4 Гц), 1.30–1.39 м (2H, CH_2), 1.56–1.65 м (2H, CH_2), 3.81 д. д (2H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.0, $^3J_{\text{HH}}$ 3.2 Гц), 3.85–3.91 м (2H, OCH_2), 4.14 д. д (2H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.0, $^3J_{\text{HH}}$ 5.5 Гц), 6.62 д. д (1H, NCH, $^3J_{\text{HH}}$ 5.5, $^3J_{\text{HH}}$ 3.2 Гц), 7.77–7.81 м (1H, CH_{Py}), 8.16–8.18 м (1H, CH_{Py}), 8.26–8.31 м (1H, CH_{Py}), 8.89–8.90 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 13.0 (CH_3), 18.5 (CH_2), 29.1 (CH_2), 30.7 (SeCH_2), 70.7 (OCH_2), 101.9 (NCH), 123.4 (C_{Py}), 127.9 (C_{Py}), 142.2 (C_{Py}), 145.2 (C_{Py}), 157.6 (NCSe, C_{Py}). Найдено, %: C 44.86; H 5.68; N 4.96; Cl 11.92; Se 27.35. $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{ClNOSe}$. Вычислено, %: C 45.14; H 5.51; N 4.79; Cl 12.11; Se 26.98.

3-(2-Метилпропокси)-2,3-дигидро[1,3]-селеназоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия хлорид (12). Выход 0.074 г (91%), масло желтого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 0.88–0.93 м (6H, CH_3), 1.90 д. д (1H, CH, $^3J_{\text{HH}}$ 13.4, $^3J_{\text{HH}}$ 6.7 Гц), 3.62–3.69 м (2H, OCH_2),

3.83 д. д (1H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.0, $^3J_{\text{HH}}$ 3.1 Гц), 4.15 д. д (1H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.0, $^3J_{\text{HH}}$ 5.5 Гц), 6.62–6.64 м (1H, NCH), 7.77–7.80 м (1H, CH_{Py}), 8.16–8.18 м (1H, CH_{Py}), 8.27–8.31 м (1H, CH_{Py}), 8.89–8.90 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 18.1 (CH_3), 27.8 (CH), 28.9 (SCH_2), 77.0 (OCH_2), 101.9 (NCH), 123.3 (C_{Py}), 127.8 (C_{Py}), 142.1 (C_{Py}), 145.0 (C_{Py}), 157.5 (NCSe, C_{Py}). Найдено, %: C 44.85; H 5.79; N 4.62; Cl 12.45; Se 27.31. $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{ClNOSe}$. Вычислено, %: C 45.14; H 5.51; N 4.79; Cl 12.11; Se 26.98.

Реакция селенилбромид 4 с виниловыми эфирами. К раствору 0.035 г (0.112 ммоль) бис(пиридин-2-ил)диселенида в 5 мл хлороформа при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.018 г (0.112 ммоль) брома в 2 мл хлороформа. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор винилового эфира (0.23 ммоль) в 2 мл хлороформа и перемешивали 28 ч при комнатной температуре. Реакционную смесь фильтровали, растворитель удаляли на ротаторном испарителе, остаток сушили в вакууме.

3-Бутокси-2,3-дигидро[1,3]селеназоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия бромид (13). Выход 0.0747 г (99%), масло оранжевого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 0.89 т (3H, CH_3 , $^2J_{\text{HH}}$ 7.4 Гц), 1.31–1.40 м (2H, CH_2), 1.59–1.66 м (2H, CH_2), 3.82 д. д (1H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.0, $^3J_{\text{HH}}$ 3.2 Гц), 3.86–3.94 м (2H, OCH_2), 4.16 д. д (1H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.0, $^3J_{\text{HH}}$ 5.4 Гц), 6.64 д. д (1H, NCH, $^3J_{\text{HH}}$ 5.4, $^3J_{\text{HH}}$ 3.3 Гц), 7.78–7.82 м (1H, CH_{Py}), 8.25–8.32 м (2H, CH_{Py}), 8.90–8.92 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 13.0 (CH_3), 18.5 (CH_2), 29.2 (CH_2), 30.7 (SeCH_2), 70.7 (OCH_2), 101.8 (NCH), 123.4 (C_{Py}), 128.0 (C_{Py}), 142.3 (C_{Py}), 145.2 (C_{Py}), 157.6 (NCSe, C_{Py}). Найдено, %: C 38.91; H 4.93; N 4.26; Br 24.56; Se 23.78. $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{BrNOSe}$. Вычислено, %: C 39.19; H 4.78; N 4.15; Br 23.70; Se 23.42.

3-(2-Метилпропокси)-2,3-дигидро[1,3]-селеназоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия бромид (14). Выход 0.0732 г (97%), масло оранжевого цвета. Спектр ЯМР ^1H (D_2O), δ , м. д.: 0.86 д (6H, CH_3 , $^3J_{\text{HH}}$ 6.7 Гц), 1.88 д. д (1H, CH, $^2J_{\text{HH}}$ 13.4, $^3J_{\text{HH}}$ 6.7 Гц), 3.63 д. д (2H, OCH_2 , $^3J_{\text{HH}}$ 6.7, $^2J_{\text{HH}}$ 3.2 Гц), 3.80 д. д (1H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.0, $^3J_{\text{HH}}$ 3.2 Гц), 4.12 д. д (1H, SeCH_2 , $^2J_{\text{HH}}$ 12.0, $^3J_{\text{HH}}$ 5.3 Гц), 6.60 д. д (1H, NCH, $^3J_{\text{HH}}$ 5.3, $^3J_{\text{HH}}$ 3.2 Гц), 7.73–7.77 м (1H, CH_{Py}), 8.14–8.16 м (1H, CH_{Py}), 8.23–8.27 м (1H, CH_{Py}), 8.84–8.88 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 17.8 (CH_3),

17.9 (CH₃), 27.5 (CH), 28.6 (SCH₂), 76.7 (OCH₂), 101.6 (NCH), 123.0 (C_{Py}), 127.5 (C_{Py}), 141.8 (C_{Py}), 144.8 (C_{Py}), 157.2 (NCSe, C_{Py}). Найдено, %: C 39.34; H 4.93; N 4.34; Br 24.01; Se 23.61. C₁₁H₁₆BrNOSe. Вычислено, %: C 39.19; H 4.78; N 4.15; Br 23.70; Se 23.42.

3-Винилсульфанил-2,3-дигидро[1,3]тиазоло-[3,2-*a*]пиридин-4-ия бромид (15). К раствору 0.072 г (0.32 ммоль) бис(пиридин-2-ил)дисульфида в 7 мл хлористого метилена при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.052 г (0.32 ммоль) брома в 2 мл хлористого метилена. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор дивинилсульфида 0.056 г (0.65 ммоль) в 5 мл хлористого метилена и перемешивали 24 ч при комнатной температуре. Растворитель удаляли на роторном испарителе, остаток промывали гексаном и сушили в вакууме. Выход 0.137 г (76%), медообразное желтое вещество. Спектр ЯМР ¹H (D₂O), δ, м. д.: 3.91 д. д (1H, SCH₂, ²J_{HH} 12.5, ³J_{HH} 7.6 Гц), 4.28 д. д (1H, SCH₂, ²J_{HH} 12.5, ³J_{HH} 8.1 Гц), 5.60–5.65 м (2H, CH=CH₂), 6.52–6.59 м (2H, NCH, CH=CH₂), 7.68–7.72 м (1H, CH_{Py}), 7.91–7.93 (1H, CH_{Py}), 8.19–8.24 (1H, CH_{Py}), 8.82–8.83 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ¹³C (D₂O), δ_C, м. д.: 34.6 (SCH₂), 75.5 (NCH), 122.5 (C_{Py}), 123.0 (C_{Py}), 123.9 (CH=CH₂), 124.8 (CH=CH₂), 143.5 (C_{Py}), 144.6 (C_{Py}), 159.0 (NCS, C_{Py}). Найдено, %: C 38.76; H 3.50; N 4.85; Br 29.25; S 22.97. C₉H₁₀BrNS₂. Вычислено, %: C 39.13; H 3.65; N 5.07; Br 28.93; S 23.22.

3-Винилсульфанил-2,3-дигидро[1,3]-селеназоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия бромид (16). К раствору 0.058 г (0.18 ммоль) бис(пиридин-2-ил)диселенида в 6 мл хлористого метилена при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.029 г (0.18 ммоль) брома в 4 мл хлористого метилена. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор дивинилсульфида 0.032 г (0.37 ммоль) 4 мл хлористого метилена и перемешивали 24 ч при комнатной температуре. Растворитель удаляли на роторном испарителе, остаток промывали гексаном и сушили в вакууме. Выход 0.057 г (95%), медообразное желтое масло. Спектр ЯМР ¹H (D₂O), δ, м. д.: 3.95 д. д (1H, SeCH₂, ²J_{HH} 11.6, ³J_{HH} 7.4 Гц), 4.30 д. д (1H, SeCH₂, ²J_{HH} 11.6, ³J_{HH} 7.2 Гц), 5.63–5.69 м (2H, CH=CH₂), 6.55–6.65 м (2H, NCH, CH=CH₂), 7.73–7.77 м (1H, CH_{Py}), 8.10–8.12 (1H, CH_{Py}), 8.19–8.23 (1H, CH_{Py}), 8.91–8.93 м (1H, CH_{Py}).

Спектр ЯМР ¹³C (D₂O), δ_C, м. д.: 29.2 (SeCH₂), 78.7 (NCH), 123.6 (C_{Py}), 124.2 (C_{Py}), 127.6 (CH=CH₂), 127.6 (CH=CH₂), 142.3 (C_{Py}), 144.2 (C_{Py}), 157.9 (NCS, C_{Py}). Найдено, %: C 33.17; H 2.96; N 4.48; Br 25.02; S 10.12; Se 24.68. C₉H₁₀BrNSSe. Вычислено, %: C 33.45; H 3.12; N 4.33; Br 24.73; S 9.92; Se 24.44.

2-(Тривинилсилил)-2,3-дигидро[1,3]тиазоло-[3,2-*a*]пиридин-4-ия бромид (17). К раствору 0.059 г (0.26 ммоль) бис(пиридин-2-ил)дисульфида в 10 мл хлористого метилена, при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.043 г (0.26 ммоль) брома в 3 мл хлористого метилена. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор 0.146 г (1.00 ммоль) тетравинилсилана в 5 мл хлористого метилена и перемешивали 24 ч при комнатной температуре. Растворитель удаляли на роторном испарителе, остаток промывали четыреххлористым углеродом и сушили в вакууме. Выход 0.120 г (68%), медообразное масло желтого цвета. Спектр ЯМР ¹H (D₂O), δ, м. д.: 3.94 д. д (1H, SCH, ³J_{HH} 13.0, ³J_{HH} 8.2 Гц), 4.92–4.98 м (1H, NCH₂), 5.30 д. д (1H, NCH₂, ²J_{HH} 13.0, ³J_{HH} 8.2 Гц), 6.00–6.06 м (3H, CH=CH₂), 6.21–6.34 м (6H, CH=CH₂), 7.59–7.62 м (1H, CH_{Py}), 7.89–7.91 м (1H, CH_{Py}), 8.17–8.21 м (1H, CH_{Py}), 8.60–8.62 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ¹³C (D₂O), δ_C, м. д.: 30.6 (SCH), 63.1 (NCH₂), 122.7 (C_{Py}), 123.3 (C_{Py}), 129.64 (CH=CH₂), 139.0 (CH=CH₂), 141.4 (C_{Py}), 144.5 (C_{Py}), 160.3 (NCS, C_{Py}). Найдено, %: C 47.54; H 5.20; N 4.47; Br 24.30; S 10.13; Si 8.48. C₁₃H₁₆BrNSiS. Вычислено, %: C 47.85; H 4.94; N 4.29; Br 24.49; S 9.83; Si 8.61.

2-(Тривинилсилил)-2,3-дигидро[1,3]-селеназоло[3,2-*a*]пиридин-4-ия бромид (18). К раствору 0.057 г (0.18 ммоль) бис(пиридин-2-ил)диселенида в 10 мл хлористого метилена при перемешивании по каплям добавляли раствор 0.029 г (0.18 ммоль) брома в 5 мл хлористого метилена. Реакционную смесь перемешивали в течение 10 мин, затем добавляли раствор 0.099 г (0.72 ммоль) тетравинилсилана и перемешивали 24 ч при комнатной температуре. Растворитель удаляли на роторном испарителе, непрореагировавший тетравинилсилан отгоняли в вакууме в охлажденную ловушку. Остаток промывали четыреххлористым углеродом и сушили в вакууме. Выход 0.116 г (86%), медообразное масло желтого цвета. Спектр ЯМР ¹H (D₂O), δ, м. д.: 4.10 д. д (1H, SCH, ³J_{HH} 12.1, ³J_{HH} 7.3 Гц), 5.02–5.08 м (1H, NCH₂), 5.42 д. д (1H, NCH₂,

$^2J_{\text{HH}}$ 13.4, $^3J_{\text{HH}}$ 7.3 Гц), 6.02–6.08 м (3H, $\text{CH}=\text{CH}_2$), 6.24–6.34 м (6H, $\text{CH}=\text{CH}_2$), 7.68–7.72 м (1H, CH_{Py}), 8.08–8.10 м (1H, CH_{Py}), 8.14–8.18 м (1H, CH_{Py}), 8.70–8.71 м (1H, CH_{Py}). Спектр ЯМР ^{13}C (D_2O), δ_{C} , м. д.: 30.3 (SCH), 65.7 (NCH_2), 123.5 (C_{Py}), 127.3 (C_{Py}), 130.29 ($\text{CH}=\text{CH}_2$), 138.6 ($\text{CH}=\text{CH}_2$), 142.5 (C_{Py}), 143.7 (C_{Py}), 158.0 (NCSe, C_{Py}). Найдено, %: C 42.13; H 4.20; N 4.05; Br 21.14; Se 20.89; Si 7.70. $\text{C}_{13}\text{H}_{16}\text{BrNSiSe}$. Вычислено, %: C 41.84; H 4.32; N 3.75; Br 21.41; Se 21.16; Si 7.53.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ишигеев Роман Семенович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0843-4818>

Хабибуллина Альфия Галимулловна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3523-9794>

Потапов Владимир Алексеевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3151-6726>

БЛАГОДАРНОСТЬ

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kabir E., Uzzaman M. // Results Chem. 2022. Vol. 4. P. 100606. doi 10.1016/j.rechem.2022.100606
- Mohammad Abu-Taweel G., Ibrahim M.M., Khan S., Al-Saidi H.M., Alshamrani M., Alhumaydhi F.A., Alharthi S.S. // Crit. Rev. Anal. Chem. 2024. Vol. 54. P. 599. doi 10.1080/10408347.2022.2089839
- Vitaku E., Smith D.T., Njardarson J.T. // J. Med. Chem. 2014. Vol. 57. P. 10257. doi 10.1021/jm501100b
- Marinescu M., Popa C.-V. // Int. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23. P. 5659. doi 10.3390/ijms23105659
- Islam M.B., Islam M.I., Nath N., Emran T.B., Rahman M.R., Sharma R., Matin M.M. // BioMed Res. Int. 2023. Vol. 2023. P. 9967591. doi 10.1155/2023/9967591
- Sahu D., Sreekanth P.S.R., Behera P.K., Prandhan M.K., Patnaik A., Salunkhe S., Cep R. // Eur. J. Med. Chem. 2024. Vol. 12. P. 100210. doi 10.1016/j.ejmc.2024.100210
- El-Gaby M.S.A., Al-Sehemi A.G., Mohamed Y.A., Ammar Y.A. // Phosphorus, Sulfur, Silicon, Relat. Elem. 2006. Vol. 181. P. 631. doi 10.1080/10426500500269885
- Rida S.M., Habib N.S., Badawey E.A.M., Fahmy H.T.Y., Ghazlan H.A. // Arch. Pharm. 1995. Vol. 328. P. 325. doi 10.1002/ardp.19953280406
- Boominathan M., Nagaraj M., Maheshwaran C., Muthusubramanian S., Bhuvanesh N. // J. Heterocycl. Chem. 2014. Vol. 51. P. 244. doi 10.1002/jhet.1650
- Nagaraju A., Ramulu B.J., Shukla G., Srivastava A., Verma G.K., Raghuanshi K., Singh M.S. // Tetrahedron. 2015. Vol. 71. P. 3422. doi 10.1016/j.tet.2015.03.087
- Литвинов В.П., Доценко В.В., Кривоколыско С.Г. Химия тиенопиридинов и родственных систем. М.: Наука, 2006. С. 174.
- El-Emary T.I., Khalil A., El-Hag Ali G.A.M., El-Adasy A.A.A.M. // Phosphorus, Sulfur, Silicon. 2005. Vol. 180. P. 19. doi 10.1080/10426500490494778
- El-Hag Ali G., Khalil A., Lamphon R., El-Maghraby A. // Phosphorus, Sulfur, Silicon, Relat. Elem. 2005. Vol. 180. P. 1909. doi 10.1080/104265090889620
- Park H., Hwang K.Y., Oh K.H., Kim Y.H., Lee J.Y., Kim K. // Bioorg. Med. Chem. 2008. Vol. 16. P. 284. doi 10.1016/j.bmc.2007.09.036
- Mahmoud N.F.H., Balamon M.G. // J. Heterocycl. Chem. 2020. Vol. 57. P. 3056. doi 10.1002/jhet.4011
- Mohamed H.A., Ammar Y.A., Elhagali G.A.M., Eyada H.A., Aboul-Magd D.S., Ragab A. // J. Mol. Struct. 2023. Vol. 1287. P. 135671. doi 10.1016/j.molstruc.2023.135671
- Walker K.A., Sjogren E.B., Matthews T.R. // J. Med. Chem. 1985. Vol. 28. P. 1673. doi 10.1021/jm00149a023
- Al-Thebeiti M.S. // Il Farmaco. 2000. Vol. 55. P. 109. doi 10.1016/S0014-827X(99)00130-5
- Chorell E., Pinkner J.S., Phan G., Edvinsson S., Buelens F., Remaut H., Waksman G., Hultgren S.J., Almqvist F. // J. Med. Chem. 2010. Vol. 53. P. 5690. doi 10.1021/jm100470
- Shi F., Li C., Xia M., Miao K., Zhao Y., Tu S., Zheng W., Zhang G., Ma N. // Bioorg. Med. Chem. Lett. 2009. Vol. 19. P. 5565. doi 10.1016/j.bmcl.2009.08.046
- Борисов А.В., Мацулевич Ж.В., Османов В.К., Борисова Г.Н., Маммадова Г.З., Махаррамов А.М., Хрусталева В.Н. // ХГС. 2012. Т. 48. Вып. 7. С. 1180; Borisov A.V., Matsulevich Zh.V., Osmanov V.K., Borisova G.N., Mammadova G.Z., Maharramov A.M., Khrustaleva V.N. // Chem. Heterocycl. Compd. 2012. Vol. 48. N 7. P. 1098. doi 10.1007/s10593-012-1104-1
- Потапов В.А., Ишигеев Р.С., Шкурченко И.В., Амосова С.В. // ЖОХ. 2019. Т. 89. Вып. 12. С. 1965; Potapov V.A., Ishigeev R.S., Shkurchenko I.V., Amosova S.V. // Russ. J. Gen. Chem. 2019. Vol. 89. N 12. P. 2601. doi 10.1134/S1070363219120429

23. Ишигеев Р.С., Потанов В.А., Шкурченко И.В., Зинченко С.В., Амосова С.В. // ХГС 2020. Т. 56. Вып. 12. С. 1586; Ishigeev R.S., Potapov V.A., Shkurchenko I.V., Zinchenko S.V., Amosova S.V. // Chem. Heterocycl. Compd. 2020. Vol. 56. N 12. P. 1586. doi 10.1007/s10593-020-02853-8
24. Ишигеев Р.С., Амосова С.В., Потанов В.А. // ЖОХ. 2022. Т. 92. Вып. 9. С. 1480; Ishigeev R.S., Amosova S.V., Potapov V.A. // Russ. J. Gen. Chem. 2022. Vol. 92. N 9. P. 1720. doi 10.1134/S1070363222090146
25. Potapov V.A., Musalova M.V., Ishigeev R.S., Musalov M.V., Panov V.A., Khabibulina A.G., Amosova S.V., Bhasin K.K. // Tetrahedron Lett. 2016. Vol. 57. P. 5341. doi 10.1016/j.tetlet.2016.10.066
26. Potapov V.A., Ishigeev R.S., Amosova S.V., Borodina T.N. // Tetrahedron Lett. 2019. Vol. 60. P. 475. doi 10.1016/j.tetlet.2019.01.001
27. Potapov V.A., Ishigeev R.S., Shkurchenko I.V., Zinchenko S.V., Amosova S.V. // Molecules. 2020. Vol. 25. P. 376. doi 10.3390/molecules25020376
28. Трофимов Б.А., Амосова С.В. Дивинилсульфид и его производные. Новосибирск: Наука, 1983. 264 с.
29. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005. Т. 1. С. 407.
30. Cooke F., Moerck R., Schwindeman J., Magnus P. // J. Org. Chem. 1980. Vol. 45. P. 1046. doi 10.1021/jo01294a026
31. Wierschke S.G., Chandrasekhar J., Jorgensen W.L. // Am. Chem. Soc. 1985. Vol. 107. P. 1496. doi 10.1021/JA00292A008
32. Коваль И.В. // Усп. хим. 1995. Т. 64. Вып. 8. С. 781; Koval' I.V. // Russ. Chem. Rev. 1995. Vol. 64. P. 731. doi 10.1070/RC1995v064n08ABEH000172
33. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений. М.: Химия, 1975. С. 101.
34. Hodage A.S., Prabhu C.P., Phadhis P.P., Wadawale A., Priyadarsini K.I., Jain V.K. // J. Organomet. Chem. 2012. Vol. 720. P. 19. doi 10.1016/j.jorganchem.2012.08.035

Synthesis of New Chalcogenazolo[3,2-*a*]pyridinium Derivatives by the Annulation Reaction of Vinyl Heteroatom Compounds with Pyridine-2-chalcogenyl Halides

R. S. Ishigeev¹, A. G. Khabibulina¹, and V. A. Potapov^{1,*}

¹ A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033 Russia

*e-mail: v_a_potapov@iriokh.irk.ru

Received November 28, 2024; revised November 28, 2024; accepted December 12, 2024

Based on the annulation reactions of pyridine-2-chalcogenyl halides with a number of vinyl heteroatomic compounds (divinyl and alkyl vinyl ethers, divinyl sulfide, 2-vinylsulfanylethanol, tetravinylsilane), effective methods have been developed for obtaining new 2,3-dihydro[1,3]thiazolo- and -selenazolo[3,2-*a*]pyridinium derivatives in high yields.

Keywords: pyridine-2-sulfenyl halides, pyridine-2-selenyl halides, divinyl ether, divinyl sulfide, tetravinylsilane, alkyl vinyl ethers