

УДК 547.831:615.012.1

НОВЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ХИНОЛИНА С ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

¹Ишигеев Р.С., ^{1,2}Шкурченко И.В., ¹Потапов В.А., 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 реакций нуклеофильного присоединения 2-меркаптохинолина к активированным ацетиленам разработаны эффективные методы синтеза ранее неизвестных соединений: (Z)- и (E)-метил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноата, (Z)- и (E)-этил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноата, (Z)- и (E)-1-фенил-3-(хинолин-2-ил-тио)проп-2-ен-1-она с высокими выходами. В качестве ацетиленовых соединений с активированной тройной связью были взяты метилпропиолат, этилпропиолат и фенилэтинилкетон. Реакция протекает при комнатной температуре в среде метилового или этилового спирта. Взаимодействие 2-меркаптохинолина с алкилпропиолатами и фенилэтинилкетон в данных условиях протекает как региоселективно, так и стереоселективно и приводит преимущественно к (Z)-аддуктам. (Z)- и (E)-алкил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноаты, (Z)- и (E)-1-фенил-3-(хинолин-2-ил-тио)проп-2-ен-1-он ранее в литературе описаны не были. Полученные новые функционализированные винилсульфиды – ценные полупродукты и синтоны, содержащие фармакофорную группу – хинолиновое кольцо. Включение активной винилсульфанильной группы в хинолиновое кольцо позволяет предполагать наличие у этих соединений усиленной и разнообразной биологической активности. Данные гетероциклы очень перспективны для фармакологии, так как использование хинолинового каркаса открывает широкие возможности для разработки многих новых фармацевтических препаратов. Присутствие винилсульфанильной, сложноэфирной групп, нуклеофильного атома азота повышает реакционную способность синтезированных соединений и открывает большие возможности для функционализации и получения новых производных.

Ключевые слова: фармакофорная группа, нуклеофильное присоединение, 2-меркаптохинолин, фенилэтинилкетон, алкилпропиолат, (Z)-1-фенил-3-(хинолин-2-илсульфанил)проп-2-ен-1-он, (Z)-алкил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноаты

NEW QUINOLINE DERIVATIVES WITH POTENTIAL BIOLOGICAL ACTIVITY

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

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

²Irkutsk State University, Irkutsk

Effective methods for the synthesis of previously unknown compounds: (Z)- and (E)-methyl-3-(quinolin-2-ylsulfanyl)propenoate, (Z)- and (E)-ethyl-3-(quinolin-2-ylsulfanyl)propenoate, (Z)- and (E)-1-phenyl-3-(quinolin-2-yl-sulfanyl)prop-2-en-1-one in high yields have been developed based on the reactions of nucleophilic addition of 2-mercaptoquinoline to activated acetylenes. As acetylenic compounds with activated triple bond, methyl propiolate, ethyl propiolate and phenylethynyl ketone were taken. The reaction proceeds at room temperature in methyl or ethyl alcohol. The interaction of 2-mercaptoquinoline with alkyl propiolates and phenylethynyl ketone under these conditions occurs regioselectively and stereoselectively leading mainly to (Z) adducts. (Z)- and (E)-alkyl-3-(quinolin-2-yl-sulfanyl)propenoates, (Z)- and (E)-1-phenyl-3-(quinolin-2-yl-sulfanyl)prop-2-en-1-one has not been previously described in the literature. The resulting new functionalized vinyl sulfides are valuable intermediates and synthons containing a pharmacophore group – the quinoline ring. The inclusion of the active vinylsulfanyl group in the quinoline ring suggests the presence of enhanced and diverse biological activity in these compounds. These heterocycles are very promising for pharmacology, since the use of the quinoline framework opens up great opportunities for the development of many new pharmaceutical preparations. The presence of vinyl sulfanyl, ester groups, a nucleophilic nitrogen atom increases the reactivity of the synthesized compounds and opens up great opportunities for functionalization and the preparation of new derivatives.

Keywords: pharmacophore group, nucleophilic addition, 2-mercaptoquinoline, phenylethynyl ketone, alkyl propiolate, (Z)-1-phenyl-3-(quinolin-2-ylsulfanyl)prop-2-en-1-one, (Z)-alkyl-3-(quinolin-2-ylsulfanyl)propenoates

Многие природные соединения, содержащие в своем составе хинолиновое ядро, проявляют биологическую активность, что привлекает к хинолину в последнее десятилетие пристальное внимание ученых. По сравнению с другими гетероциклическими соединениями, производные хинолина являются наиболее перспективными для разработки новых фармацевтических препаратов. Обзор [1] посвящен синтезу

производных хинолина с усиленной биологической активностью за счет включения активной функциональной группы в хинолиновое кольцо. Работы [2, 3] рассматривают синтетические подходы к синтезу структурно разнообразных хинолинов.

Хинолин – конденсированный гетероцикл с широким спектром химиотерапевтического действия. Хинолиновый каркас, введенный в различные молекулы, сообща-

ет им разнообразную биологическую активность, что позволяет использовать его для разработки новых лекарственных препаратов. Известны производные хинолина, проявляющие противотуберкулезную, противомаларийную, противоопухолевую, антибактериальную, антигельминтную, противовирусную, антипротозойную, противогрибковую, противовоспалительную, анальгетическую, цитотоксическую активность и др. [4–6].

Широкому спектру механизмов действия противоопухолевых препаратов на основе хинолина посвящены обзоры [5, 7]. Наиболее распространенным механизмом является ингибирование изоферментов тирозинкиназы. Наряду с этим производные хинолина действуют как ингибиторы роста за счет остановки клеточного цикла и как ингибиторы ангиогенеза опухоли. Кроме того, такие препараты вызывают нарушение миграции злокачественных клеток. Таким образом, производные хинолина можно рассматривать как наиболее перспективный класс активных фармацевтических агентов по сравнению с другими гетероциклическими соединениями.

Винилхалькогениды широко используются как полупродукты и синтоны в современном органическом синтезе [8–10]. Нуклеофильное присоединение органилхалькогенат- или халькогенид-анионов к алкинам – основной способ получения винилхалькогенидов [10, 11]. Синтез новых потенциально биологически активных винилсульфидов с фармакофорными группами представляется, несомненно, актуальным.

Цель исследования: разработка эффективных методов синтеза ранее неизвестных функциональных винилсульфидов с потенциальной биологической активностью, содержащих фармакофорный хинолиновый каркас, на основе реакции нуклеофильного присоединения 2-меркаптохинолина к активированным ацетиленам.

Материалы и методы исследования

2-Меркаптохинолин – импортный реактив. Метилпропионат – импортный реактив. Этилпропионат – импортный реактив. Фенилэтинилкетон – импортный реактив.

Спектры ЯМР сняты на приборе Bruker DPX-400 в CDCl₃ на рабочих частотах 400.13 (¹H) и 100.61 (¹³C) в CDCl₃. Внутренний стандарт: ГМДС. Элементный анализ выполнен на CHNS-анализаторе Thermo Scientific Flash 2000. Температуры плавления измерены на приборе Voëtius (PHMK 05 VEB Wagetechnik Rapido). В реакциях использовались осушенные и перегнанные растворители.

(Z)- и (E)-метил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноат (1, 3). К раствору 0.328 г (2.03 ммоль) 2-меркап-

тохинолина в 20 мл метилового спирта (подогретого на водяной бане для полного растворения) добавляют раствор 0,171 г (2,03 ммоль) метилпропиолата в 5 мл метилового спирта. Смесь перемешивают при комнатной температуре в течение 99 ч. Удаляют растворитель на роторе. Сушат в вакууме. Получают продукт в виде смеси Z- и E- изомеров в соотношении 10 : 0.5. Выход: 0,497 г (99%), кристаллическое вещество бледно-желтого цвета. Т пл. 82–84 °С.

(Z)-изомер (1). Спектр ЯМР ¹H (400.13 МГц, CDCl₃), δ, м. д. (J, Гц): 3.82 с (3H, CH₃), 6.20 д (1H, =CH–C=O, ³J = 10.2 Гц), 7.32–7.34 м (1H, C_{quino}), 7.48–7.52 м (1H, C_{quino}), 7.69–7.73 м (1H, C_{quino}), 7.76–7.78 м (1H, C_{quino}), 8.01–8.03 м (2H, C_{quino}), 8.91 д (1H, =CHS, ³J = 10.2 Гц). Спектр ЯМР ¹³C (100.61 МГц, CDCl₃), δ, м. д. (J, Гц): 51.71 (CH₃), 114.20 (=CH), 121.32 (C_{quino}), 126.32 (C_{quino}), 127.06 (C_{quino}), 127.88 (C_{quino}), 128.49 (C_{quino}), 130.34 (C_{quino}), 136.83 (C_{quino}), 141.59 (=CHS), 148.11 (C_{quino}), 154.99 (NCS, C_{quino}), 167.39 (C=O).

(E)-изомер (3). Спектр ЯМР ¹H (400.13 МГц, CDCl₃), δ, м. д. (J, Гц): 3.82 с (3H, CH₃), 6.23 д (1H, =CH–C=O, ³J_{транс} = 16.0 Гц), 7.32–7.34 м (1H, C_{quino}), 7.48–7.52 м (1H, C_{quino}), 7.69–7.73 м (1H, C_{quino}), 7.76–7.78 м (1H, C_{quino}), 8.01–8.03 м (2H, C_{quino}), 8.93 д (1H, =CHS, ³J_{транс} = 16.0 Гц). Спектр ЯМР ¹³C (100.61 МГц, CDCl₃), δ, м. д. (J, Гц): 51.71 (CH₃), 114.20 (=CH), 121.32 (C_{quino}), 126.32 (C_{quino}), 127.06 (C_{quino}), 127.88 (C_{quino}), 128.49 (C_{quino}), 130.34 (C_{quino}), 136.83 (C_{quino}), 141.59 (=CHS), 148.11 (C_{quino}), 154.99 (NCS, C_{quino}), 167.39 (C=O). Найдено, %: C 63.72; H 4.63; N 5.96; S 13.13. C₁₃H₁₁NO₂S. Вычислено, %: C 63.65; H 4.52; N 5.71; S 13.07.

(Z)- и (E)-этил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноат (2, 4). К раствору 0.080 г (0,5 ммоль) 2-меркаптохинолина в 10 мл метилового спирта добавляют раствор 0,049 г (0,5 ммоль) этилпропиолата в 5 мл метилового спирта. Смесь перемешивают при комнатной температуре в течение 18 ч. Удаляют растворитель на роторе. Сушат в вакууме. Выход: 0,122 г (94%), кристаллическое вещество бледно-желтого цвета. Т пл. 76–78 °С.

(Z)-изомер (2). Спектр ЯМР ¹H (400.13 МГц, CDCl₃), δ, м. д. (J, Гц): 1.35 т (3H, CH₃), 4.28 кв (2H, CH₂), 6.19 д (1H, =CH–C=O, ³J_{цис} = 10.2 Гц), 7.31–7.34 м (1H, C_{quino}), 7.48–7.51 м (1H, C_{quino}), 7.69–7.73 м (1H, C_{quino}), 7.76–7.78 м (1H, C_{quino}), 8.01–8.03 м (2H, C_{quino}), 8.89 д (1H, =CHS, ³J_{цис} = 10.3 Гц). Спектр ЯМР ¹³C (100.61 МГц, CDCl₃), δ, м. д. (J, Гц): 14.50 (CH₃), 60.65 (CH₂), 114.68 (=CH), 121.19 (C_{quino}), 126.29 (C_{quino}), 127.05 (C_{quino}), 127.88 (C_{quino}), 128.51 (C_{quino}), 130.30 (C_{quino}), 136.77 (C_{quino}), 141.20 (=CHS), 148.14 (C_{quino}), 155.14 (NCS, C_{quino}), 167.01 (C=O).

(E)-изомер (4). Спектр ЯМР ¹H (400.13 МГц, CDCl₃), δ, м. д. (J, Гц): 1.35 т (3H, CH₃), 4.28 кв (2H, CH₂), 6.24 д (1H, =CH–C=O, ³J_{транс} = 16.0 Гц), 7.31–7.34 м (1H, C_{quino}), 7.48–7.51 м (1H, C_{quino}), 7.69–7.73 м (1H, C_{quino}), 7.76–7.78 м (1H, C_{quino}), 8.01–8.03 м (2H, C_{quino}), 8.92 д (1H, =CHS, ³J_{транс} = 16.0 Гц). Спектр ЯМР ¹³C (100.61 МГц, CDCl₃), δ, м. д. (J, Гц): 14.50 (CH₃), 60.65 (CH₂), 114.68 (=CH), 121.19 (C_{quino}), 126.29 (C_{quino}), 127.05 (C_{quino}), 127.88 (C_{quino}), 128.51 (C_{quino}), 130.30 (C_{quino}), 136.77 (C_{quino}), 141.20 (=CHS), 148.14 (C_{quino}), 155.14 (NCS, C_{quino}), 167.01 (C=O). Найдено, %: C 65.00; H 5.23; N 5.66; S 12.43. C₁₄H₁₃NO₂S. Вычислено, %: C 64.84; H 5.05; N 5.40; S 12.37.

(Z)- и (E)-1-фенил-3-(хинолин-2-илсульфанил)проп-2-ен-1-он (5, 6). Раствор фенилэтинилкетона

0,235 г (1,8 ммоль) в 5 мл этилового спирта добавляют к раствору 2-меркаптохинолина 0,291 г (1,8 ммоль) и гидроксида калия 0,01 г (0,18 ммоль) в 15 мл этилового спирта. Смесь перемешивают в течение 3 ч при комнатной температуре. Добавляют 0,01 г хлористого аммония для нейтрализации КОН. Удаляют растворитель на роторе. К полученному остатку добавляют 20 мл хлористого метилена. Фильтруют. Удаляют растворитель на роторе. Сушат в вакууме. Получают продукт в виде смеси Z- и E-изомеров в соотношении 4 : 1. Выход: 0,360 г (68%), масло оранжевого цвета.

(Z)-изомер (5). Спектр ЯМР ^1H (400.13 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 7.32–7.34 м (1H, C_{quino}), 7.38–7.46 м (2H, =CH, C_{quino}), 7.51–7.52 м (4H, C_{ph}), 7.56–7.58 м (1H, C_{quino}), 7.63–7.65 м (1H, C_{ph}), 7.71–7.75 м (1H, C_{quino}), 7.77–7.81 м (1H, C_{quino}), 8.05–8.07 м (2H, C_{ph}), 9.20 д (1H, =CHS, $^3J_{\text{вин}} = 9.8$ Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (100.61 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 117.31 (C_{quino}), 121.33 (=CH), 126.25 (C_{quino}), 127.01 (C_{quino}), 127.78 (C_{quino}), 128.17 (C_{ph}), 128.33 (C_{ph}), 128.68 (C_{ph}), 130.19 (C_{quino}), 132.72 (C_{quino}), 136.71 (C_{quino}), 137.69 (C_{ph}), 143.00 (=CHS), 147.95 (C_{quino}), 155.64 (NCS, C_{quino}), 189.27 (C=O).

(E)-изомер (6). Спектр ЯМР ^1H (400.13 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 7.32–7.34 м (1H, C_{quino}), 7.38–7.46 м (2H, =CH, C_{quino}), 7.51–7.52 м (4H, C_{ph}), 7.56–7.58 м (1H, C_{quino}), 7.63–7.65 м (1H, C_{ph}), 7.71–7.75 м (1H, C_{quino}), 7.77–7.81 м (1H, C_{quino}), 8.05–8.07 м (2H, C_{ph}), 9.14 д (1H, =CHS, $^3J_{\text{вин}} = 16.0$ Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (100.61 МГц, CDCl_3), δ , м. д. (J, Гц): 117.31 (C_{quino}), 121.33 (=CH), 126.25 (C_{quino}), 127.01 (C_{quino}), 127.78 (C_{quino}), 128.17 (C_{ph}), 128.33 (C_{ph}), 128.68 (C_{ph}), 130.19 (C_{quino}), 132.72 (C_{quino}), 136.71 (C_{quino}), 137.69 (C_{ph}), 143.00 (=CHS), 147.95 (C_{quino}), 155.64 (NCS, C_{quino}), 189.27 (C=O). Найдено, %: C 74.80; H 4.63; N 4.96; S 11.23. $\text{C}_{18}\text{H}_{13}\text{NOS}$. Вычислено, %: C 74.20; H 4.50; N 4.81; S 11.01.

Результаты исследования и их обсуждение

Ранее нами сообщалось о разработке эффективных методов синтеза функционально замещенных винилсульфидов с потенциальной биологической активностью на основе реакции пиридин-2-тиола с пропиоловой кислотой и с алкилпропиолатами [12, 13]. Были найдены условия регио- и стереоселективного присоединения алкиловых эфиров пропиоловой кислоты к пиридин-2-тиолу: реакция протекает при охлаждении до -15°C – -18°C в присутствии каталитиче-

ских количеств основания (NaOH, 5% мол) в метаноле с метилпропиолатом и в этаноле – с этилпропиолатом с последующим перемешиванием при комнатной температуре; при этом получают (Z)-алкил-3-(2-пиридинилсульфанил)-2-пропеноаты с высокими выходами (97–98%) (рис. 1).

В некаталитических условиях реакция протекает регио-, но не стереоселективно; соотношение (Z)- и (E)-изомеров в этом случае зависит от условий реакции.

Актуальной задачей представляется расширение спектра ранее неизвестных винилсульфидов, имеющих в своем составе хинолиновое кольцо и являющихся вследствие этого соединениями с потенциальной биологической активностью. Такие соединения очень перспективны для фармакологии, так как использование хинолинового каркаса дает возможность для разработки многих новых лекарственных препаратов.

Известно, что тройная связь очень чувствительна к нуклеофильной атаке. Активация тройной связи при нуклеофильной атаке заметно возрастает при введении в молекулу ацетилена электроноакцепторных заместителей при этой связи. Винилсульфиды, не описанные ранее в литературе, были синтезированы нами путем нуклеофильного присоединения 2-меркаптохинолина к ацетиленам с активированной тройной связью. В качестве активированных ацетиленов были использованы алкиловые эфиры пропиоловой кислоты и фенилэтинилкетон.

Реакцию с алкилпропиолатами проводили в некаталитических условиях при комнатной температуре в метаноле. Установлено, что взаимодействие 2-меркаптохинолина с алкилпропиолатами в данных условиях протекает как региоселективно, так и стереоселективно и приводит преимущественно к (Z)-алкил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноатам (1, 2) и небольшим количествам (E)-алкил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноатов (3, 4) (рис. 2). Примесь (E)-изомеров не превышает 10%. Винилсульфиды 1–4 ранее в литературе описаны не были.

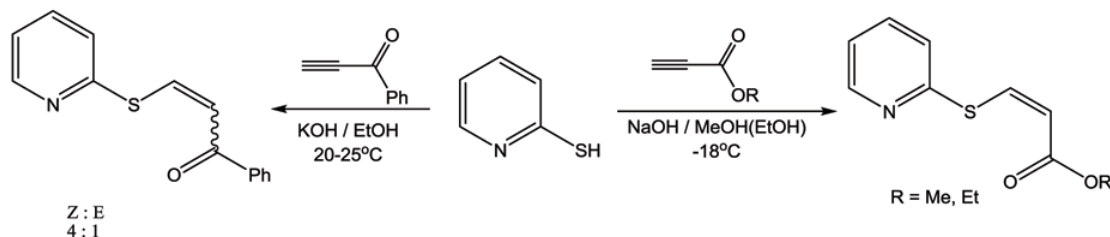


Рис. 1. Схема синтеза алкил-3-(2-пиридинилсульфанил)-2-пропеноатов

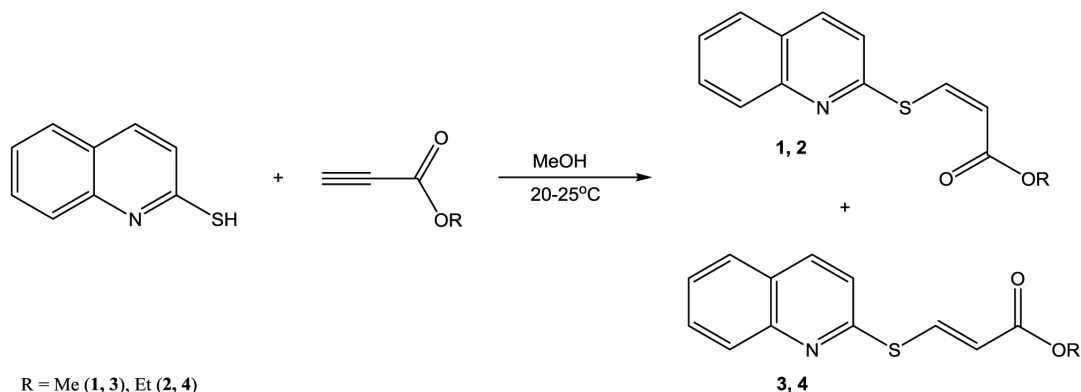


Рис. 2. Взаимодействие 2-меркаптохинолина с алкилпропиолатами

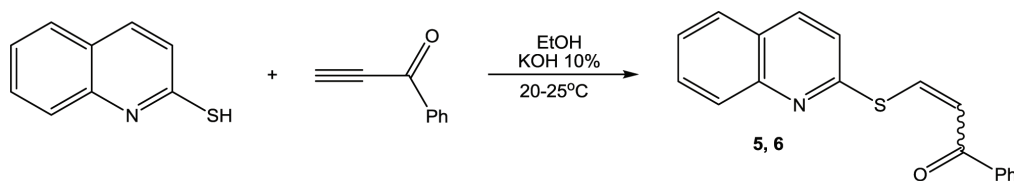


Рис. 3. Взаимодействие 2-меркаптохинолина с фенилэтинилкетонем

Выход и физико-химические свойства соединений 1–6

Соединение	Брутто-формула	(Z)/(E)-соотношение	Выход, %	Т. пл, °С
1, 3	C ₁₃ H ₁₁ NO ₂ S	10 : 0,5	99	82–84
2, 4	C ₁₄ H ₁₃ NO ₂ S	10 : 1	94	76–78
5, 6	C ₁₈ H ₁₃ NOS	4 : 1	68	–

Выходы продуктов реакции достигают 95%. Увеличение длины алкильной составляющей на одну CH₂-группу приводит к увеличению доли (E)-изомера в два раза: соотношение (Z):(E) для соединений **1, 2** составляет = 10:0,5, а для соединений **2, 4** – 10:1.

Взаимодействие 2-меркаптохинолина с фенилэтинилкетонем в этаноле при комнатной температуре в присутствии KOH (10% мол.) приводит к ранее неизвестным винилсульфидам **5, 6** с выходом 68% (рис. 3). При этом в смеси возрастает количество (E)-изомера: соотношение (Z) / (E) становится равным 4 : 1.

Выход и физико-химические свойства соединений **1–6** представлены в таблице.

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

Заключение

Таким образом, осуществлены и изучены реакции нуклеофильного присоединения 2-меркаптохинолина к активированным ацетиленам: метил- и этилпропиолату и фенилэтинилкетону. На основании этого разработаны эффективные способы получения ранее неизвестных винилсульфидов: (Z)- и (E)-метил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноата, (Z)- и (E)-этил-3-(хинолин-2-илсульфанил)пропеноата, (Z)- и (E)-1-фенил-3-(хинолин-2-ил-тио)проп-2-ен-1-она – новых перспективных полупродуктов с потенциальной биологической активностью, которые могут найти свое применение в органическом синтезе или в фармацевтике. Хинолиновое кольцо, входящее в состав этих новых функционализированных винилсульфидов, представляет собой фармакофорную

группу, что делает полученные соединения особо ценными полупродуктами и синтонами. Данные гетероциклы очень перспективны для фармакологии, так как использование хинолинового каркаса открывает широкие возможности для разработки многих новых фармацевтических препаратов. Присутствие винилсульфанильной, сложноэфирной групп, нуклеофильного атома азота повышает реакционную способность синтезированных соединений и открывает большие возможности для функционализации и получения новых производных.

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

Список литературы

1. Garudachari B., Isloor A. M. Substituted Quinoline Derivatives as Potent Biological Agents. *Advanced Materials Research. Trans Tech Publications*, 2014. Vol. 995. P. 61–84. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.995.61.
2. Shrinivas D.J., Nilesh M.J., Sheshagiri R.D., Ashwini S.J., Venkatarao H.K. Quinoline: a promising and versatile scaffold for future. *Indo American Journal of Pharmaceutical Research*. 2016. Vol. 6. № 4. P. 5033–5044.
3. Chung P.-Y., Bian Z.-X., Pun H.-Y., Chan D., Chan A. S.-C., Chui C.-H., Tang J. C.-O., Lam K.-H. Recent advances in research of natural and synthetic bioactive quinolines. *Future Medicinal Chemistry*. 2015. Vol. 7. № 7. P. 947–967.
4. Liu B., Li F., Zhou T., Tang X.-Q., Hu G.-W. Quinoline Derivatives with Potential Activity Against Multidrug-resistant Tuberculosis. *Journal of Heterocyclic Chemistry*. 2018. Vol. 55. № 8. P. 1863–1873. DOI: 10.1002/jhet.3241.
5. Solomon V.R., Lee H. Quinoline as a privileged scaffold in cancer drug discovery. *Current medicinal chemistry*. 2011. Vol. 18. № 10. P. 1488–1508. DOI: 10.2174/092986711795328382.
6. Pathak D., Singh D. Quinoline: a diverse therapeutic agent. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2016. Vol. 7. № 1. P. 1–13.
7. Jhanwar D., Sharma J. Use of quinoline derivatives in cancer treatment. *International Journal of Pharmaceutical Research and Bio-Science*. 2015. Vol. 4. № 2. P. 130–148.
8. Perin G., Lenardao E.J., Jacob R.G., Panatieri R.B. *Chem. Rev.* 2009, 109, 1277.
9. Trofimov B. A., Shainyan B. A. S. Patai, Z. Rappoport (Eds.). *Chemistry of sulphur-containing functional groups*. Chichester: J. Wiley & Sons. 1993. P. 659–797.
10. Amosova S.V., Yaroshenko T.I., Larina L.I., Timokhina L.V., Potapov V.A. Synthesis of Novel Pyrimidine Derivatives Containing the Vinylsulfanyl Group by Regio- and Stereoselective Addition of Thiouracils to Ethynyl Ketones. *Heteroatom Chemistry*. 2015. T. 26. № 3. P. 187–193. DOI: 10.1002/hc.21247.
11. Perin G., Lenardao E.J., Jacob R.G., Panatieri R.B. Synthesis of vinyl selenides. *Chemical reviews*. 2009. T. 109. № 3. P. 1277–1301.
12. Потапов В.А., Ишигеев Р.С., Мусалов М.В., Зинченко С.В., Чувашев Ю.А., Бородина Т.Н., Амосова С.В. Регио- и стереоселективный синтез функциональных винилсульфидов на основе пиридин-2-тиола, пропиоловой кислоты и ее производных // *Журнал органической химии*. 2018. Т. 54. Вып. 12. С. 1784–1788.
13. Potapov V.A., Musalova M.V., Ishigeev R.S., Musalov M.V., Panov V.A., Khabibulina A.G., Amosova S.V., Bhasin K.K. Efficient and selective syntheses of novel unsaturated chalcogen-containing pyridine derivatives. *Tetrahedron Letters*. 2016. Vol. 57. P. 5341–5343. DOI: 10.1016/j.tetlet.2016.10.066.