

УДК 547.831.88+547.869+547.38

Сабо Т.Ш., асп.  0009-0005-2505-3728;Онисько М.Ю., д.х.н., проф.  0000-0001-6121-828X;

Лендєл В.Г., д.х.н., проф.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕЛУРОГАЛОГЕНУВАННЯ ТЕРМІНАЛЬНОГО 2-БУТІНІЛТІОХІНОЛІН-3-КАРБАЛЬДЕГІДУ

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,

88000, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46;

e-mail: tiberii.sabo@uzhnu.edu.ua

В даній роботі досліджено процес телурогалогенування 2-бутінілтіохінолін-3-карбальдегіду в різних за полярністю розчинників під дією тетрагалогенідів телуру як індивідуальних, так і отриманих *in situ* шляхом взаємодії діоксиду телуру та галогеноводневої кислоти. Знайдено, що використання телур діоксиду в надлишку галогенідної кислоти при дії на термінальний бутінільний тіоетер хінолін-3-карбальдегіду приводить до неселективного утворення продуктів протонування основного центру хіноліну та телуро-індукованої циклізації. Показано, що хлороформ виявився неефективним розчинником для одержання телуровмісних солей хінолінію. Натомість, проведення реакцій в оцтовій кислоті 2-бутінілтіохінолін-3-карбальдегіду з діоксидом телуру в галогеноводневій кислоті приводить до утворення суміші 2-(бут-3-ін-1-ілтіо)-3-формілхіноліній гексагалогентелуратів та 2,3-дигідро-1-[(трибромо-λ⁴-теланіл)метиліден]-5-форміл-1H-[1,3]тіазино[3,2-а]хіноліній галогенідів, співвідношення яких залежить від природи галогену. Використання в реакції телурогалогенування в 2-бутінілтіохінолін-3-карбальдегіду індивідуального телуртетраброміду оцтовій кислоті чи ацетонітрилі ефективно приводить до утворення продукту телуро-індукованої гетероциклізації – 2,3-дигідро-1-[(трибромо-λ⁴-теланіл)метиліден]-5-форміл-1H-[1,3]тіазино[3,2-а]хіноліній броміду.

Ключові слова: 2-бутінілтіохінолін-3-карбальдегід; тетрабромід телуру; телуро-індукована циклізація; протонування; тіазинохінолін.

Функціоналізовані та конденсовані гетероцикли на основі хіноліну володіють високою біологічною активністю [1-7]. Введення до циклу хіноліну органотелурових фрагментів чи формування солей хінолінію з галогентелуратним аніоном може суттєво підвищити антимікробну активність. Одним із шляхів телурофункціоналізації азагетероциклів є метод електрофільної гетероциклізації ненасичених заміщених гетероциклів [8–11].

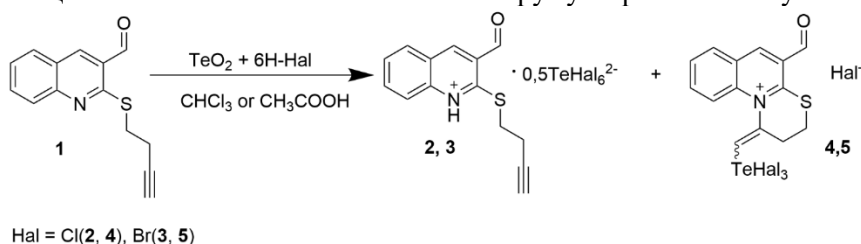
Попередній досвід в синтезі конденсованих азагетероциклів спонукав зосередити дослідження на отриманні нових потенційних біологічно активних похідних солей на основі хіноліну за допомогою реакцій електрофільної гетероциклізації. Літературні дані повідомляють [12-23] про потенціал включення фрагмента галогеніду

телуру в органічні молекули для отримання сполук з цінними властивостями. Це визначило вибір тетрагалогенідів телуру як електрофільних реагентів для досліджень. Відомо, що тетрагалогеніди телуру можна використовувати в таких реакціях або індивідуальним, або *in situ* шляхом їх утворення з діоксиду телуру та галогеноводневої кислоти (HNaI), які знаходяться в рівновазі з гексагалогентелуратом водню. Полярність розчинника суттєво впливає на цю рівноважну суміш. Коли така суміш взаємодіє з алкілненасиченим азагетероциклом, реакція може проходити через телур-індуковану [12-14, 19,21-23] або протон-індуковану [18,21,24] електрофільну циклізацію, або шляхом протонування основного центру гетероциклу, що призводить до утворення

гексагалогентелуратних солей [14,20,25]. Дана робота присвячена дослідженню реакцій термінального 2-бутінілтіохінолін-3-карбальдегіду з тетрагалогенідами телуру.

Термінальний 2-бутінілтіохінолін-3-карбальдегід **1** здатен ефективно циклізуватися в м'яких умовах під дією молекулярних та гібридних галогенів з формуванням галогенідів тіазинохінолінію [26], що і визначило об'єкт для дослідження процесу телурогалогенування. На першому етапі ми дослідили взаємодію бутінільного тіоетеру **1** з телур діоксидом в надлишку концентрованої хлоридної кислоти в різних за полярністю розчинниках (оцтова кислота та хлороформ) при кімнатній температурі. Спектральний моніторинг виділеного продукту телурохлорування тіоетеру **1** в хлороформі після перемішування протягом 5 діб вказав на утворення суміші протонованої солі **2**, трициклічної солі **4** та вихідного тіоетеру **1** у співвідношенні 2:1:5. Проведення реакції в оцтовій кислоті змінює

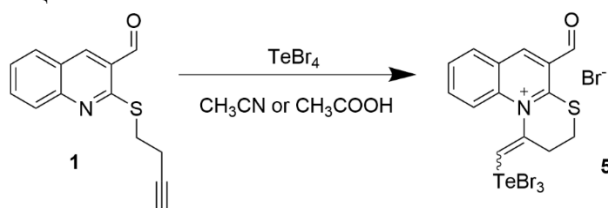
співвідношення суміші на 9:1:0, тобто домінуючим продуктом дії діоксиду телуру в хлоридній кислоті є продукт протонування - 2-(бут-3-ін-1-ілтіо)-3-формілхіноліній гексахлоротелурат **2** (спектральні характеристики домінуючої солі наведені в експериментальній частині). Склад утвореної солі приписаний на основі літературних даних по утворенню утворення гексагалогентелуратних солей [14,20,25]. Знайдені умови більш селективного синтезу (розчинник оцтова кислота) ми використали при вивченні взаємодії бутінільного тіоетеру **1** з телур діоксидом в надлишку бромідної кислоти. Після перемішування протягом 5 діб виділено осад, спектр ЯМР ^1H якого вказав на співвідношення солей **3** і **5** як 1:2 (спектр суміші наведені в експериментальній частині). Імовірно, збільшення кількості продукту гетероциклізації пояснюється більшою поляризацією зв'язку Te-Br та стабільністю бромід-аніону, що в результаті генерує утворення катіону TeBr_3^+ .



Таким чином, показано, що використання телур діоксиду в надлишку галогенідної кислоти при дії на термінальний бутінільний тіоетер хінолін-3-карбальдегіду приводить до неселективного утворення продуктів протонування основного центру хіноліну та телуро-індукованої циклізації. Склад суміші залежить від полярності розчинника та галогену.

На наступному етапі ми змінили спосіб генерації електрофільного реагента, а саме використали індивідуальний телуртетрабромід. Реакцію 2-(бут-3-ін-1-ілтіо)-3-формілхіноліну з тетрабромідом телуру проводили в оцтовій кислоті та

ацетонітрилі при кімнатній температурі. Встановлено, що селективно відбувається телуро-індукована гетероциклізація термінального бутінільного тіоетеру хінолін-3-карбальдегіду **1** з утворенням 2,3-дигідро-1-[(трибромо- λ^4 -теланіл)метиліден]-5-форміл-1*H*-[1,3]тіазино[3,2-*a*]хіноліній броміду **5**. Слід відмітити, що проведення реакції в ацетонітрилі збільшує вихід броміду **5**. Спектральні дані ЯМР ^1H вказують на утворення одного конфігураційного ізомеру, а хімічний зсув протону телурометиліденової групи при 7.71 м.ч. дає підстави стверджувати про утворення *E*-ізомеру.



Експериментальна частина

Спектри ЯМР виміряно на спектрометрі Mercury-400 з робочою частотою для ^1H 400 МГц та Bruker 170 Avance 500 з робочою частотою для ^{13}C 126 МГц. 2-(бут-3-ін-1-ілтїо)хінолін-3-карбальдегід синтезовано за методикою [26].

Загальна методика реакції 2-(бут-3-ін-1-ілтїо)хінолін-3-карбальдегіду з телуртетрагалогенідами *in situ*

До 0,00125 моль 2-(бут-3-ін-1-ілтїо)хінолін-3-карбальдегіду **1** розчиненого у 25 мл оцтової кислоти або хлороформу прикапують розчин отриманий з телур (IV) оксиду (0,00125 моль) та 6-ти кратного надлишку відповідної галогеноводневої кислоти у 25 мл оцтової кислоти або хлороформу. Реакційну суміш перемішували протягом 5 діб. Осад, що утворився фільтрували та промивали оцтовою кислотою або хлороформом.

2-(Бут-3-ін-1-ілтїо)-3-формілхіноліній гексахлоротелурат 2 (домінуючий компонент суміші) ^1H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.19 (s, 1H), 8.93 (s, 1H), 8.12 (d, $J = 8$ Hz, 1H), 8.24 (m, 2H), 7.63 (t, $J = 8$ Hz, 1H), 3.44 (t, 8 Hz, 2H), 2.92 (s, 1H), 2.66 (t, $J = 12.0$, 2H).

Суміш 2-(бут-3-ін-1-ілтїо)-3-формілхіноліній гексабромотелурат 3 з 2,3-дигідро-1-[(трибромо- λ^4 -теланіл)метиліден]-5-форміл-1H-[1,3]тіазино[3,2-*a*]хіноліній бромід 5.

^1H NMR (400 MHz, DMSO) δ 10.19 (s, 1H), 8.94 (s, 1H), 8.13 (d, $J = 8.1$ Hz, 1H), 8.02 (d, $J = 8.4$ Hz, 1H), 7.92 (t, $J = 7.2$ Hz, 1H), 7.71 (s, 1H), 7.63 (t, $J = 7.1$ Hz, 1H), 3.58 (m, 4H), 3.44 (t, $J = 7.2$ Hz, 1H), 2.92 (s, 1H), 2.67 (t, $J = 12.0$, 2H).

2,3-Дигідро-1-[(трибромо- λ^4 -теланіл)метиліден]-5-форміл-1H-[1,3]тіазино[3,2-*a*]хіноліній бромід 5. До 0,00056 моль 2-(бут-1-інілтїо)хінолін-3-карбальдегіду **1**, розчиненого у 25 мл ацетонітрилу або оцтової кислоти, прикапують розчин тетрабромиду телуру у 25 мл ацетонітрилу або оцтової кислоти. Реакційну суміш перемішують протягом 5 діб при кімнатній температурі. Отриманий осад фільтрують і промивають ацетонітрилом або оцтовою кислотою. Вихід 70%, $T_{\text{пл.}} = 248\text{--}250^\circ\text{C}$ (ацетонітрил). ^1H NMR (400 MHz,

DMSO) δ 10.23 (s, 1H), 9.52 (s, 1H), 8.46 (d, $J = 7.6$ Hz, 1H), 8.25 (d, $J = 8.6$ Hz, 1H), 8.19 (t, $J = 7.5$ Hz, 1H), 7.94 (t, $J = 7.1$ Hz, 1H), 7.74 (s, 1H), 4.78 (m, 1H), 3.94 (dd, $J = 16.7$, 9.6 Hz, 1H), 3.66 (t, $J = 12.0$, 8.0 Hz, 1H), 2.94 (dd, $J = 16.7$, 9.6 Hz, 1H). ^{13}C NMR (126 MHz, CDCl_3) δ 190.62, 151.69, 142.95, 142.55, 142.51, 138.72, 135.55, 133.58, 131.15, 130.30, 127.97, 121.20, 32.45, 29.44.

Дослідження проведені в рамках виконання проєкту НФДУ № 2023.03/0176.

Список використаних джерел

1. Elshaier Y., Aly A., El-Aziz M., Fathy H., Brown A., Ramadan M. A review on the synthesis of heteroannulated quinolones and their biological activities. *Mol Divers.* 2022, 26. 2341–2370. Doi: 10.1007/s11030-021-10332-1.
2. Raza H., Rizvi N.E.A., Siddiqui H., Javaid A., Iqbal M. Synthesis and biological evaluation of new [1,3,4]thiadiazepino[7,6-*b*]quinolin-2-amines as potent anti-microbial agents. *Med. Chem. Res.* 2013, 22. 4001–4015. Doi: 10.1007/s00044-012-0389-z.
3. O'Donnell F., Smyth T., Ramachandran V., Smyth W.A study of the antimicrobial activity of selected synthetic and naturally occurring quinolines. *Int. J. Antimicrob. Agents.* 2010, 35(1). 30–38. Doi: 10.1016/j.ijantimicag.2009.06.031.
4. Kaur K., Jain M., Reddy R., Jain R. Quinolines and structurally related heterocycles as antimalarials. *Eur. J. Med. Chem.* 2010, 45(8). 3245–3264. Doi: 10.1016/j.ejmech.2010.04.011.
5. Ali R., Mohammed H. Biological activity and latent fingerprints detection by azo quinoline dye and its complexes. *Period. Eng. Nat. Sci.* 2021, 9(3). 317–329. Doi: 10.21533/pen.v9i3.2130.
6. Ukrainets I., Golik N., Chernenok I. 4-Hydroxy-2-quinolones. 233*. Synthesis and diuretic activity of 9-bromo-7-hydroxy-5-oxo-2,3-dihydro-1H,5H-pyrido[3,2,1-*ij*]quinoline-6-carboxylic acid anilides. *Chem. Heterocycl. Compd.* 2013, 49(9). 1323–1330. Doi: 10.1007/s10593-013-1381-3.
7. Weyesa A., Mulugeta E. Recent advances in the synthesis of biologically and pharmaceutically active quinoline and its analogues: a review. *RSC advances.* 2020, 10(35). 20784–20793. Doi: 10.1039/D0RA03763J.
8. Slivka M., Onysko M., The use of electrophilic cyclization for the preparation of condensed heterocycles. *Synthesis.* 53(19). 3497–3512. Doi: 10.1055/s-0040-1706036.
9. Godoi B., Schumacher R. F., Zeni G. Synthesis of heterocycles via electrophilic cyclization of alkynes containing heteroatom. *Chem. Rev.* 2011, 111(4). 2937–2980. Doi: 10.1021/cr100214d.

10. Slivka M., Korol N. Synthesis of mononuclear heterocycles via electrophilic cyclization. *Monatsh. Chem.* 2022, 153(1). 1–8. Doi: 10.1007/s00706-021-02869-6.
11. de Andrade V.S., de Mattos M.C. N-Halo reagents: Modern synthetic approaches for heterocyclic synthesis. *Synthesis*. 2019, 51(09). 1841–1870. Doi: 10.1055/s-0037–1611746.
12. Povidaichyk M.V., Shishkina S.V., Ostapchuk E.M., Onysko M.Y. Unexpected Tellurohalogenation of Terminal N-Alkynyl (Alkenyl) Derivatives of 4-Functionalized Pyrazoles. *ChemistryOpen*. 2025, e202400486. Doi: 10.1002/open.202400486.
13. Povidaichyk M.V., Sidey V.I., Shishkina S.V., Onysko M.Y., Fizer M.M. Structural, Vibrational and Reactivity Trends Across the Halogen Series of Tellurium-Based Zwitterions. *J. Mol. Struct.* 2025, 143953. Doi: 10.1016/j.molstruc.2025.143953.
14. Povidaichik, M., Shalimov, O., Onysko, M., Onysko, P. Synthesis of salts of N-allyl trichloroacetamidinium hexahalogenotellurate *Ukr. Chem. J.* 2022, 88(9). 34–40. Doi: 10.33609/2708–129X.88. 09. 2022.34–40.
15. Kut D.Z., Kut M.M., Ostapchuk E.M., Onysko M.Y., Onys'ko P.P., Lendel V.G. Versatile synthesis of 2-functionalized dihydrothiazolo [2, 3-b] quinazolines through regioselective electrophilic intramolecular heterocyclization of 3-alkenyl-2-thioxoquinazolin-4-ones. *Phosphorus Sulfur Silicon Relat. Elem.* 2024, 199(7-9). 675–682. Doi: 10.1080/10426507.2024.2416210.
16. Кут Д.Ж., Кут М.М., Онисько М.Ю., Лендел В.Г. Електрофільна циклізація пропаргільних тіоетерів 3-метил (феніл)-2-(проп-2-ін-1-ілтіо)-7-(трифлуорометил) хіназолін-4 (3н)-онів тетрагалогенідами телуру. *Питання хімії та хімічної технології*. 2021, 6. Doi: 10.32434/0321-4095-2021-139-6-40-44.
17. Sabti A.B., Al-Fregi A.A., Yousif M.Y. Synthesis and antimicrobial evaluation of some new organic tellurium compounds based on pyrazole derivatives. *Molecules*. 2020, 25(15), 3439. Doi: 10.3390/molecules25153439.
18. Fizer M., Slivka M., Sidey V., Baumer V., Mariychuk R. XRD, NMR, FT-IR and DFT structural characterization of a novel organic-inorganic hybrid perovskite-type hexabromotellurate material. *J. Mol. Struct.* 2021, 1235. 130227. Doi: 10.1016/j.molstruc.2021.130227.
19. Slivka M., Fizer M., Mariychuk R., Ostafin M., Moyzesh O., Koval G., Holovlo-Kamoshenkova O., Rusyn I., Lendel V. Synthesis and Antimicrobial Activity of Functional Derivatives of thiazolo [2, 3-c][1, 2, 4] triazoles. *Lett Drug Des Discov.* 2022, 19(9). 791–799. Doi: 10.2174/1570180819666220110145659.
20. Bentahar F., Abdelbaky M.S., Menéndez M.I., Huidobro P., García-Granda S., Dammak M. A novel antibacterial benzimidazolium hexachlorotellurate hybrid compound: Experimental-theoretical characterization. *Polyhedron*. 2022, 228. 116034. Doi: 10.1016/j.poly.2022.116034.
21. Fizer M.M., Fizer O.I., Slivka M.V., Mariychuk R.T. New [1, 3] thiazolo [3, 2-b][1, 2, 4] triazol-7-ium cationic surfactant as a stabilizer of silver and gold nanoparticles. *Appl. Nanosci.* 2023, 13(7). 5079–5090. Doi: 10.1007/s13204-022-02687-0.
22. Kut D., Kut M., Komarowska-Porokhnyavets O., Kurka M., Onysko M., Lubenets V. Antimicrobial activity of halogen-and chalcogen-functionalized thiazoloquinazolines. *Lett Drug Des Discov.* 2024, 21(13). 2490–2496. Doi: 10.2174/1570180820666230726160348.
23. Lopes E.F., Penteado F., Thurow S., Pinz M., Reis A.S., Wilhelm E.A., Luchese C., Barcellos T., Dalberto B., Alves D., da Silva M., Lenardao E.J. Synthesis of isoxazolines by the electrophilic chalcogenation of β , γ -unsaturated oximes: fishing novel anti-inflammatory agents. *J. Org. Chem.* 2019, 84(19). 12452–12462. Doi: 10.1021/acs.joc.9b01754.
24. Fizer O., Dujnič V., Sidey V., Baumer V., Slivka M., Fizer M. New 2-amino-[1, 3] thiazolo [3, 2-b][1, 2, 4] triazol-7-ium hexabromotellurates: Experimental and computational structural studies. *J. Mol. Struct.* 2024, 1295. 136632. Doi: 10.1016/j.molstruc.2023.136632.
25. Fizer M., Slivka M., Sidey V., Baumer V., Fizer O. On the protonation of a polysubstituted 1, 2, 4-triazole: A structural study of a hexabromotellurate salt. *J. Mol. Struct.* 2021, 1241. 130632. Doi: 10.1016/j.molstruc.2021.130632.
26. Сабо Т.Ш., Остапчук Є.М., Онисько М.Ю. Галогеноциклізація термінальних 2-бутініл (пентініл) тіохінолін-3-карбальдегідів. *J. Chem. Technol.* 2024, 32(4). 874–879. Doi: 10.15421/jchemtech.v32i4.316454.

Стаття надійшла до редакції: 30.10.2025 р.

STUDY OF THE TELLUROHALOGENATION PROCESS OF TERMINAL 2-BUTYNYLTHIOQUINOLINE-3-CARBALDEHYDE

Sabo T.Sh., Onysko M.Yu., Lendel V.G.

Uzhhorod National University, Pidgirna St. 46, 88000, Uzhhorod;

e-mail: tiberii.sabo@uzhnu.edu.ua

The process of tellurohalogenation of 2-butynylthioquinoline-3-carbaldehyde in solvents with different polarity under the action of tellurium tetrahalides was investigated in this work. Electrophilic reagents were used both individual and obtained *in situ* by the interaction of tellurium dioxide and hydrogenhalic acid. It was found that the using of tellurium dioxide in excess of hydrogenhalic acid when acting on the terminal butynyl thioether of quinoline-3-carbaldehyde leads to the non-selective formation of products of protonation of the main quinoline center and tellurium-induced cyclization. It was shown that chloroform was an ineffective solvent for the preparation of tellurium-containing quinolinium salts. Instead, the reaction of 2-butynylthioquinoline-3-carbaldehyde in acetic acid with tellurium dioxide in hydrogenhalic acid leads to the formation of a mixture of 2-(but-3-in-1-ylthio)-3-formylquinolinium hexahalotellurates and 2,3-dihydro-1-[(tribromo- λ^4 -tellanyl)methylidene]-5-formyl-1H-[1,3]thiazino[3,2-a]quinolinium halides, the ratio of which depends on the nature of the halogen. The using of individual tellurium tetrabromide in acetic acid or acetonitrile in the tellurohalogenation reaction of 2-butynylthioquinoline-3-carbaldehyde effectively leads to the formation of the tellurium-induced heterocyclization product, 2,3-dihydro-1-[(tribromo- λ^4 -tellanyl)methylidene]-5-formyl-1H-[1,3]thiazino[3,2-a]quinolinium bromide.

Keywords: 2-butynylthioquinoline-3-carbaldehyde; tellurium tetrabromide; tellurium-induced cyclization; protonation; thiazinoquinoline.

References

1. Elshaier Y., Aly A., El-Aziz M., Fathy H., Brown A., Ramadan M. A review on the synthesis of heteroannulated quinolones and their biological activities. *Mol Divers.* 2022, 26. 2341–2370. Doi: 10.1007/s11030-021-10332-1.
2. Raza H., Rizvi N.E.A., Siddiqui H., Javaid A., Iqbal M. Synthesis and biological evaluation of new [1,3,4]thiadiazepino[7,6-b]quinolin-2-amines as potent anti-microbial agents. *Med. Chem. Res.* 2013, 22. 4001–4015. Doi: 10.1007/s00044-012-0389-z.
3. O'Donnell F., Smyth T., Ramachandran V., Smyth W. A study of the antimicrobial activity of selected synthetic and naturally occurring quinolines. *Int. J. Antimicrob. Agents.* 2010, 35(1). 30–38. Doi: 10.1016/j.ijantimicag.2009.06.031.
4. Kaur K., Jain M., Reddy R., Jain R. Quinolines and structurally related heterocycles as antimalarials. *Eur. J. Med. Chem.* 2010, 45(8). 3245–3264. Doi: 10.1016/j.ejmech.2010.04.011.
5. Ali R., Mohammed H. Biological activity and latent fingerprints detection by azo quinoline dye and its complexes. *Period. Eng. Nat. Sci.* 2021, 9(3). 317–329. Doi: 10.21533/pen.v9i3.2130.
6. Ukrainets I., Golik N., Chernenok I. 4-Hydroxy-2-quinolones. 233*. Synthesis and diuretic activity of 9-bromo-7-hydroxy-5-oxo-2,3-dihydro-1H,5H-pyrido[3,2,1-ij]quinoline-6-carboxylic acid anilides. *Chem. Heterocycl. Compd.* 2013, 49(9). 1323–1330. Doi: 10.1007/s10593-013-1381-3.
7. Weyesa A., Mulugeta E. Recent advances in the synthesis of biologically and pharmaceutically active quinoline and its analogues: a review. *RSC advances.* 2020, 10(35). 20784–20793. Doi: 10.1039/D0RA03763J.
8. Slivka M., Onysko M., The use of electrophilic cyclization for the preparation of condensed heterocycles. *Synthesis.* 53(19). 3497–3512. Doi: 10.1055/s-0040-1706036.
9. Godoi B., Schumacher R. F., Zeni G. Synthesis of heterocycles via electrophilic cyclization of alkynes containing heteroatom. *Chem. Rev.* 2011, 111(4). 2937–2980. Doi: 10.1021/cr100214d.
10. Slivka M., Korol N. Synthesis of mononuclear heterocycles via electrophilic cyclization. *Monatsh. Chem.* 2022, 153(1). 1–8. Doi: 10.1007/s00706-021-02869-6.
11. de Andrade V.S., de Mattos M.C. N-Halo reagents: Modern synthetic approaches for heterocyclic synthesis. *Synthesis.* 2019, 51(09). 1841–1870. Doi: 10.1055/s-0037-1611746.

12. Povidaichyk M.V., Shishkina S.V., Ostapchuk E.M., Onysko M.Y. Unexpected Tellurohalogenation of Terminal N-Alkynyl (Alkenyl) Derivatives of 4-Functionalized Pyrazoles. *ChemistryOpen*. 2025, e202400486. Doi: 10.1002/open.202400486.
13. Povidaichyk M.V., Sidey V.I., Shishkina S.V., Onysko M.Y., Fizer M.M. Structural, Vibrational and Reactivity Trends Across the Halogen Series of Tellurium-Based Zwitterions. *J. Mol. Struct.* 2025, 143953. Doi: 10.1016/j.molstruc.2025.143953.
14. Povidaichuk, M., Shalimov, O., Onysko, M., Onysko, P. Synthesis of salts of N-allyl trichloroacetamidinium hexahalogenotellurate Ukr. Chem. J. 2022, 88(9), 34–40. Doi: 10.33609/2708–129X.88. 09. 2022.34–40.
15. Kut D.Z., Kut M.M., Ostapchuk E.M., Onysko M.Y., Onys'ko P.P., Lendel V.G. Versatile synthesis of 2-functionalized dihydrothiazolo [2, 3-b] quinazolines through regioselective electrophilic intramolecular heterocyclization of 3-alkenyl-2-thioxoquinazolin-4-ones. *Phosphorus Sulfur Silicon Relat. Elem.* 2024, 199(7-9). 675–682. Doi: 10.1080/10426507.2024.2416210.
16. Kut D.Zh., Kut M.M., Onysko M.Y., Lendel V.G. Electrophilic cyclization of propargyl thioethers of 3-methyl(phenyl)-2-(prop-2-yn-1-ylthio)-7-(trifluoromethyl)quinazolin-4(3H)-ones by tellurium tetrahalides. *Vopr. khim. khim. tekhnol.* 2021, 6. Doi: 10.32434/0321-4095-2021-139-6-40-44. (in Ukr.).
17. Sabti A.B., Al-Fregi A.A., Yousif M.Y. Synthesis and antimicrobial evaluation of some new organic tellurium compounds based on pyrazole derivatives. *Molecules*. 2020, 25(15), 3439. Doi: 10.3390/molecules25153439.
18. Fizer M., Slivka M., Sidey V., Baumer V., Mariychuk R. XRD, NMR, FT-IR and DFT structural characterization of a novel organic-inorganic hybrid perovskite-type hexabromotellurate material. *J. Mol. Struct.* 2021, 1235. 130227. Doi: 10.1016/j.molstruc.2021.130227.
19. Slivka M., Fizer M., Mariychuk R., Ostafin M., Moyzesh O., Koval G., Holovlo-Kamoshenkova O., Rusyn I., Lendel V. Synthesis and Antimicrobial Activity of Functional Derivatives of thiazolo [2, 3-c][1, 2, 4] triazoles. *Lett Drug Des Discov.* 2022, 19(9). 791–799. Doi: 10.2174/1570180819666220110145659.
20. Bentahar F., Abdelbaky M.S., Menéndez M.I., Huidobro P., García-Granda S., Dammak M. A novel antibacterial benzimidazolium hexachlorotellurate hybrid compound: Experimental-theoretical characterization. *Polyhedron*. 2022, 228. 116034. Doi: 10.1016/j.poly.2022.116034.
21. Fizer M.M., Fizer O.I., Slivka M.V., Mariychuk R.T. New [1, 3] thiazolo [3, 2-b][1, 2, 4] triazol-7-ium cationic surfactant as a stabilizer of silver and gold nanoparticles. *Appl. Nanosci.* 2023, 13(7). 5079–5090. Doi: 10.1007/s13204-022-02687-0.
22. Kut D., Kut M., Komarovska-Porokhnyavets O., Kurka M., Onysko M., Lubenets V. Antimicrobial activity of halogen-and chalcogen-functionalized thiazoloquinazolines. *Lett Drug Des Discov.* 2024, 21(13). 2490–2496. Doi: 10.2174/1570180820666230726160348.
23. Lopes E.F., Penteado F., Thurow S., Pinz M., Reis A.S., Wilhelm E.A., Luchese C., Barcellos T., Dalberto B., Alves D., da Silva M., Lenardao E.J. Synthesis of isoxazolines by the electrophilic chalcogenation of β , γ -unsaturated oximes: fishing novel anti-inflammatory agents. *J. Org. Chem.* 2019, 84(19). 12452–12462. Doi: 10.1021/acs.joc.9b01754.
24. Fizer O., Dujnič V., Sidey V., Baumer V., Slivka M., Fizer M. New 2-amino-[1, 3] thiazolo [3, 2-b][1, 2, 4] triazol-7-ium hexabromotellurates: Experimental and computational structural studies. *J. Mol. Struct.* 2024, 1295. 136632. Doi: 10.1016/j.molstruc.2023.136632.
25. Fizer M., Slivka M., Sidey V., Baumer V., Fizer O. On the protonation of a polysubstituted 1, 2, 4-triazole: A structural study of a hexabromotellurate salt. *J. Mol. Struct.* 2021, 1241. 130632. Doi: 10.1016/j.molstruc.2021.130632.
26. Sabo T.S., Ostapchuk E.M., Onysko M.Y. Halogenocyclization of terminal 2-butyryl (pentynyl) thioquinoline-3-carbaldehyde. *J. Chem. Technol.* 2024, 32(4). 874–879. Doi: 10.15421/jchemtech.v32i4.316454. (in Ukr.).