

*ChemHub – powerful scientific and educational UA-Visegrad
tool for the development of green approaches*

*ChemHub – потужний науковий та освітній українсько-
вишеградський інструмент для розвитку зелених підходів*

COLLECTIVE MONOGRAPH КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

Ужгород

“Патент”

2025

УДК 543+544+546+547+574+378

ChemHub – потужний науковий та освітній українсько-вишеградський інструмент для розвитку зелених підходів. // Колективна монографія під загальною редакцією Василя ЛЕНДЄЛА (автори: Avdeenko A., Danko E., Komarovska-Porokhnyavets O., Konovalova S., Koval G., Levandovskiy I., Lubenets V., Pantyo V., Sharapa D., Stadnytska N., Воробйов С., Команіцький В., Король Н., Кривов'яз А., Кут Д., Кут М., Лендел В., Малаховська Т., Марійчук Р., Мільович С., Пантьо В., Погодін А., Поп М., Онисько М., Сідей В., Сливка Мар., Сливка Мих., Студеняк Я., Фізер М., Фізер О., Філеп М.). / Електронне видання: eISBN [redacted]. Ужгород. В-цтво ТДВ “Патент”. – 2025, 380с. Формат А4 (21.0*29.7; 16\1.15).

Колективна монографія сформована за результатами роботи 1-го міжнорядного форуму «Хімія та Екологія: Інновації та Сталий Розвиток для Майбутніх Поколінь», проведеного за підтримка Вішеградського фонду: проєкт № 22330251.

Рекомендовано до друку Редакційно-Видавничою Радою Ужгородського національного університету (протокол № __, за __, 202__);
Вченою Радою Навчально-наукового інституту хімії та екології (протокол № 3 за 29 листопада, 2024; протокол № __ за __, 202__)
та Вченою Радою Ужгородського національного університету (протокол № __ за __; 202__).

eISBN [redacted]

© ТДВ “Патент”, 2025

© Ужгородський національний університет, 2024, 2025

ChemHub – powerful scientific and educational UA-Visegrad tool for the development of green approaches. // Collective monograph under the general editorship of Vasyl LENDEL (authors: Avdeenko A., Danko E., Komarovska-Porokhnyavets O., Konovalova S., Koval G., Levandovskiy I., Lubenets V., Pantyo V., Sharapa D., Stadnytska N., Vorobyov S., Komanitsky V., Korol N., Kryvovyz A., Kut D., Kut M., Lendel V., Malakhovska T., Mariychuk R., Milovich S., Pantyo V., Pogodin A., Pop M., Onysko M., Sidey V., Slivka Mar., Slivka Mykh., Studenyak Ya., Fizer M., Fizer O., Filep M.). / Electronic edition: eISBN - - - - . Uzhhorod. Publishing House of ALC “Patent”. – 2025, 380p. Format A4 (21.0*29.7; 116\1.15).

Collective Monograph is formed on the results yielded by the 1st International Chemical Hub forum "Chemistry and Ecology Nexus: Igniting Innovation and Sustainability for Future Generations", which was held with the supporting of Visegrad Foundation: Visegrad+ project № 22330251.

Recommended for publication by the Editorial and Publishing Council of Uzhhorod National University (protocol № __, dated ____, 202__); the Academic Council of Educational-Scientific Institute of Chemistry and Ecology (protocol № 3, dated November 29, 2024; protocol № __ dated ____, 202__) and the Academic Council of Uzhhorod National University (protocol № __, dated ____, 202__).

eISBN - - - -

©ALC “Patent”, 2025

©Uzhhorod national university, 2024, 2025

Розділ № 6 \ Chapter № 6

**Селен (IV), Телур (IV) галогеніди в синтезі
гетероциклічних сполук**

**ОНИСЬКО Михайло, СЛИВКА Михайло, КУТ Микола,
КОРОЛЬ Наталія, КРИВОВ'ЯЗ Андрій, ЛЕНДЄЛ Василь**
*Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна,
mikhajlo.onysko@uzhnu.edu.ua*

Надіслано: 04.11.2024

Прийнято до друку: 29.11.2024, протокол № 3 Вченої Ради ННІХЕ

Розміщено онлайн: 29.11.2024

Ключові слова: селен (IV) галогеніди, телур (IV) галогеніди, електрофільна циклізація, Se-,Te-вмісні гетероцикли.

1. Вступ

Хімія селен-/телур-органічних сполук є предметом постійної уваги дослідників. Серед них селен-/телурвмісні гетероциклічні сполуки вирізняються своїми цінними властивостями та широким застосуванням, що пояснює велику кількість публікацій по методам їх одержання. Пропонований розділ монографії містить аналіз синтетичних можливостей використання селен (IV), телур (IV) галогенідів при одержанні гетероциклічних сполук різної природи. Розглянуто основну методологію взаємодії селен (IV), телур (IV) галогенідів як класичних електрофільних реагентів із ненасиченими похідними гетероциклічних сполук. Методи добування класифіковані по типу реагенту; умови проведення реакцій, регіоселективність процесів та імовірні механізми процесів є також обговорені. Цей огляд узагальнює синтетичні дані по використанню чотирьох-координованих селен/телур галогенідів для одержання гетероциклів за останні 20 років.

2. Історична довідка по використанню галогенідних сполук чотирьохкоординованих атомів селену/телуру в органічному синтезі

2.1. Основні підходи синтезу селен-/телурвмісних гетероциклічних сполук

Хімія селен-/телурорганічних сполук є предметом постійної уваги дослідників в області органічної та фармацевтичної хімії, завдяки їх різноплановій біологічній активності, що підтверджується великою кількістю недавніх дослідницьких статей та оглядів [1-18]. Органічні сполуки селену/телуру відомі вже більше як 180 років, відколи Вохлер в 1840 році повідомив про синтез діалкіл телуридів [19], але інтенсивного розвитку хімія селен-/телурорганічних сполук набула з часу відкриття селену як важливого мікроелементу для людського організму [20].

Причому, бурхливий розвиток хімії селену зумовлював увагу дослідників і до аналогічних органічних сполук телуру, як до потенційних об'єктів, що можуть володіти біологічною активністю. Усе це зумовило розробку ефективних методологій синтезу цих сполук, які періодично узагальнюються оглядами та книгами [21-26]. В цьому контексті привертає увагу використання селен/телур галогенідів в синтезі гетероциклічних сполук, оскільки окрім введення в органічну молекулу атому селену чи телуру, також вводиться атом галогену, що підвищує реакційну здатність цільових продуктів.

Згідно нашим даним, в науковій літературі відсутні аналітичні оглядові статті по використанню тетрагалогенідів селену/телуру для синтезу гетероциклічних сполук, що містять у своєму складі атом селен/телур. Метою цієї монографії є узагальнення експериментальних даних наукових статей й патентів за останні 20 років по використанню селен (IV) / телур (IV) галогенідів в синтезі гетероциклічних сполук. Як правило, в реакціях циклізації зазначені галіди телуру й селену виступають як електрофільні реагенти, рідше – в якості окисників.

2.2. Сполуки чотирьохкоординованих атомів селену/телуру, що міс-тять галоген

2.2.1. Селен (IV) хлорид. [27, 28]

Селен (IV) хлорид (SeCl_4 , тетрахлорид селену, Selenium Tetrachloride, $M_r = 220.79$) – це яскраво-жовта кристалічна тверда речовина з різким часниковим запахом, яка сублімує при 196°C . В твердій фазі переважно перебуває в стані $[\text{SeCl}_3]^+ \text{Cl}^-$. В газовій фазі Селен (IV) хлорид повністю дисоціює на Селен (II) хлорид та хлор. Селен (IV) хлорид швидко гідролізує під дією вологи, але є стійким в атмосфері сухого хлору. З безводним алюміній хлоридом утворює сіль типу $[\text{SeCl}_3]^+ [\text{AlCl}_4]^-$.

Селен (IV) хлорид в індивідуальному стані добувають хлоруванням елементного селену чи Селен (II) хлориду при кімнатній температурі.



2.2.2. Селен (IV) бромід. [29]

Селен (IV) бромід (SeBr_4 , тетрабромід селену, Selenium Tetrabromide, $M_r = 220.79$) – це темно-червона кристалічна тверда речовина, яка розкладається при $70\text{--}80^\circ\text{C}$. Селен (IV) бромід розчинний в карбон дисульфіді, хлороформі, етилброміді, льодяній оцтовій кислоті, ацетонітрилі; сполука є чутлива до вологи і розкладається під дією води.

Селен (IV) бромід в індивідуальному стані добувають бромованням елементного селену в сухому карбон дисульфіді при кімнатній температурі.

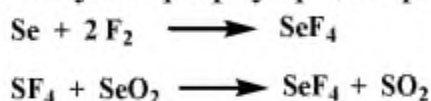


2.2.3. Селен (IV) флуорид. [30, 31]

Селен (IV) флуорид (SeF_4 , тетрафлуорид селену, Selenium Tetrafluoride, $M_r = 154.95$) – це безбарвна, димляча на повітрі рідина з

температурою кипіння 101 °С, яка необмежено розчинна в етанолі, діетиловому етері, хлороформі та тетрахлориді карбону. Селен (IV) флуорид бурхливо реагує з водою з утворенням діоксиду селену та плавикової кислоти.

Селен (IV) флуорид в індивідуальному стані добувають флуоруванням елементного селену при кімнатній температурі. Також описаний синтез з використанням більш доступних реагентів, який передбачає фторування діоксиду селену тетрафлуорид сірки.



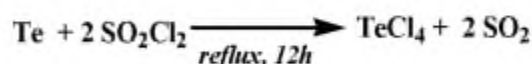
2.2.4. Телур (IV) хлорид. [32-34]

Телур (IV) хлорид (TeCl_4 , тетрахлорид телуру, Tellurium Tetrachloride, $M_r = 269.41$) – це від білого до світло-жовтого кристалічна тверда речовина, з температурою топлення при 224 °С. Телур (IV) хлорид є розчинним в етанолі, толуені, частково розкладається у воді.

Телур (IV) хлорид в індивідуальному стані добувають хлоруванням елементного телуру при нагріванні в запаяній сухій капсулі.



Також телур (IV) хлорид можна отримати з високим виходом шляхом кип'ятіння елементарного телуру в сульфурил хлориді протягом 12 годин.



2.2.5. Телур (IV) бромід. [35, 36]

Телур (IV) бромід (TeBr_4 , тетрабромід телуру, Tellurium Tetrabromide, $M_r = 447.22$) – це жовто-помаранчева кристалічна тверда речовина, з температурою топлення близько 380 °С (розклад). Телур (IV) бромід є розчинним в діетиловому етері, бензені, толуені, ацетонітрилі; вологочутливий, реагує з етанолом та водою. При розчиненні

в бензені, толуені телур (IV) бромід існує як іонний тетрамер: $\text{Te}_4\text{Br}_{16}$. В розчині ацетонітрилу чи інших розчинників з донорними властивостями телур (IV) бромід перебуває в стані іонних комплексів з розчинником:



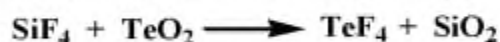
Телур (IV) бромід в індивідуальному стані добувають бромованням елементного телуру в сухій капсулі в інертному середовищі (азот, аргон) чи у вакуумі.



2.2.6. Телур (IV) флуорид. [37]

Телур (IV) флуорид (TeF_4 , тетрафлуорид телуру, Tellurium Tetrafluoride, $M_r = 203.59$) – це біла кристалічна тверда речовина у вигляді голок, з температурою топлення близько 129°C . Телур (IV) флуорид є розчинним в діетиловому етері, бензені, толуені, ацетонітрилі; сильно гігроскопічний, реагує з етанолом та водою. Телур (IV) флуорид є агресивний до скла, кремнію та міді при 200°C ; не реагує з платиною нижче 300°C .

Телур (IV) флуорид в індивідуальному стані добувають реакцією обміну між діоксидом телуру та тетрафлуоридом кремнію в сухій капсулі в інертному середовищі (азот, аргон) чи у вакуумі.



3. Реакції циклізації за участю селен (IV) галогенідів

В цьому розділі буде розглянуто різні галопохідні чотирьохкоординованого селену, дія яких приводить до утворення селенвмісних гетероциклічних сполук. В науковій літературі описано синтетичне використання наступних реагентів: селен (IV) хлорид, селен (IV) бромід. Використання в органічному синтезі селен (IV) флуориду в основному стосується реакції фторування алкільних та ароматичних фрагментів

[38], в той час як дані про застосування селен (IV) флуориду в синтезі гетероциклічних сполук в літературі відсутні.

3.1. Реакції циклізації при дії селен (IV) тетрагалогенідів

Тетрагалогеніди селену давно відомі як неорганічні електрофільні реагенти, але довгий час активно не використовувались в синтетичній органічній хімії, тому що, окрім високої токсичності, вони є вологочувливими, мають неприємний запах і нестабільні при зберіганні [38]. В літературі проаналізовані різної природи електрофільні реагенти, які використовуються для синтезу селенорганічних сполук [39-43], серед яких домінують алкіл-арилзаміщені реагенти чотирьохкоординатного селену.

З часу, коли Мигалина Ю. В. та співробітники повідомили в 1977-1978 роках [44-47] про синтез похідних селенолану, селеноксану, селенотіану та селеназину з використанням тетрагалогенідів селену, отриманого *in situ* в реакційному середовищі, почались різнопланові активні дослідження використання цих реагентів в якості електрофілів та окисників для одержання селенвмісних гетероциклічних сполук [48-52].

Так, згідно класичним канонам перебігу електрофільної гетероциклізації [53-57] вихідними сполуками мають слугувати алкен(-ін)ільні похідні, які містять додатковий нуклеофільний центр. Зручним об'єктом такого роду є ненасичений спирт **3.1**, що одночасно містить спряжені потрійний та подвійний зв'язки [58]. На першій стадії, імовірно, утворюється продукт приєднання тетрахлориду селену до потрійного зв'язку **A**, який при витримуванні в хлороформі, при кімнатній температурі, перетворюється на суміш полізаміщених селенофенів **3.2-3.4** (Рис. 3.1).

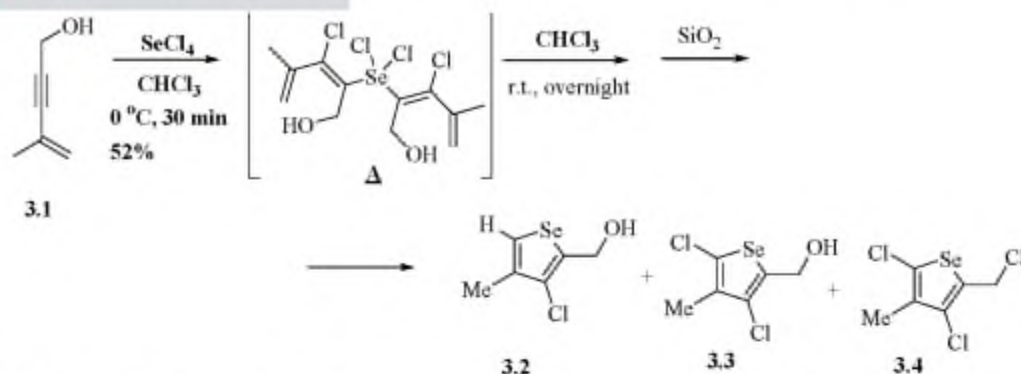


Рис. 3.1. Загальна схема одержання селенофенів **3.2-3.4**.

Ці ж самі автори [58] зазначають, що при заміні подвійного зв'язку на фенільний замісник, при тих самих умовах та дії тетрабромиду селену селективно утворюється бензоселенофен **3.6** (Рис. 3.2).



Рис. 3.2. Загальна схема одержання селенофенів **3.6**.

Цікаво відмітити, що заміна фенільного замісника в спирті **3.5** на карбетокси-групу (сполука **3.7**) та природи галогену в електрофільному реагенті (дія тетрахлориду селену) приводить до зміни регіохімії циклізації з утворенням селенвмісного спірогетероциклу **3.8** [59] (Рис. 3.3).

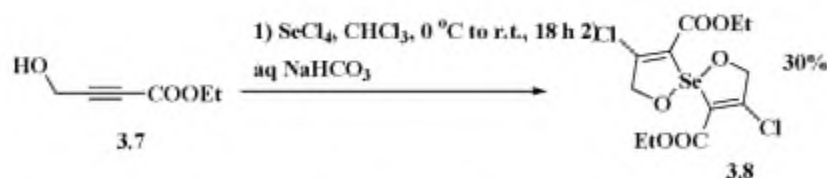


Рис. 3.3. Загальна схема селенхлорування етилового естеру 4-гідрокси-2-бутінової кислоти **3.7**.

Реакцію функціонально заміщених фенілацетиленів **3.9** з тетрабромідом селену було детально вивчено в роботі [60] (Рис. 3.4). Зокрема, була описана різна регіохімія процесу в залежності від розчинника реакції.

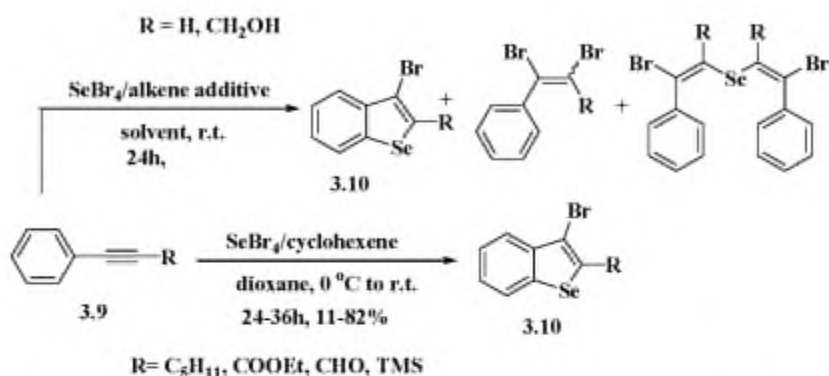


Рис. 3.4. Загальна схема одержання селенофенів **3.10**.

Присутність та природа замісника біля термінального ацетиленового атому карбону, а також умови проведення реакції сильно впливають та регіоселективність халькогенгалогенування.

Взаємодія фенілацетиленів **3.9** з тетрабромідом селену при витриманні, при кімнатній температурі протягом 24 годин, відбувається неселективно з утворенням як продукту циклізації **3.10**, так і продуктів приєднання у випадку **R = CH₂OH, H**; в усіх інших випадках заміщені фенілацетилени **3.9** селективно утворюють бензоселенофени **3.10** [60] (Рис. 3.4).

Утворення лінійних побічних продуктів бромовання та продуктів електрофільного приєднання селен (II) броміду можна пояснити частковим розкладом тетраброміду селену в умовах реакції, що було обговорено в роботах [36, 38, 39].

З іншого боку, природа ароматичного замісника суттєво не впливає на регіоселективність селенбромовання – було виділено бензоселенофени **3.12** як єдиний продукт реакції у випадку селенбромовання ацетиленідів третинних спиртів **3.11** [60] (Рис. 3.5). Цікаво відмітити, що

зазначена селективність зберігається, і утворюються продукти **3.14a** та **3.14b**, при селенбромовування гетерилацетиленідів третинних спиртів **3.13** [59] (Рис. 3.5).

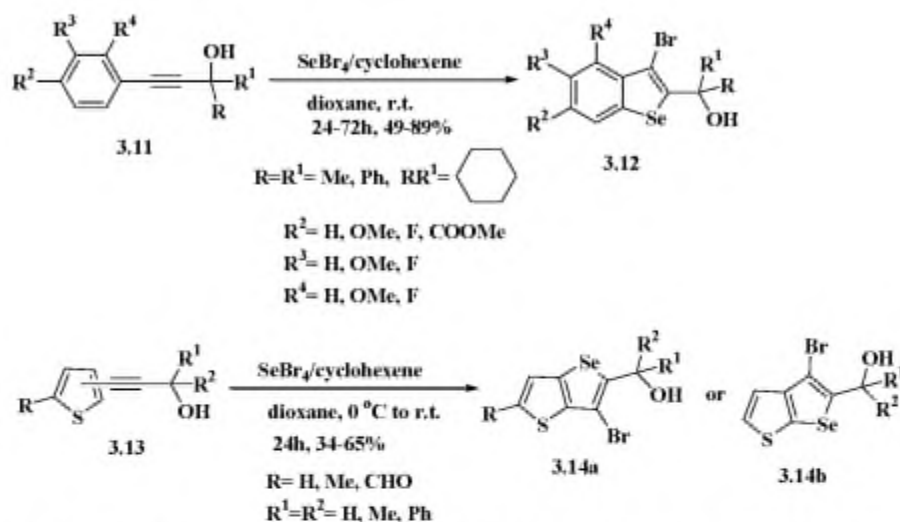


Рис. 3.5. Селенбромовування ацетиленідів третинних спиртів **3.11**, **3.13**.

При заміні ж ароматичного замісника в третинних спиртах **3.11** на аналогічний фрагмент третинного спирту (діол **3.15**) при дії тетрахло-риду селену процес гетероциклізації відбувається нерегіоселективно з утворенням двох циклічних сполук **3.16** та **3.17** [59] (Рис. 3.6).

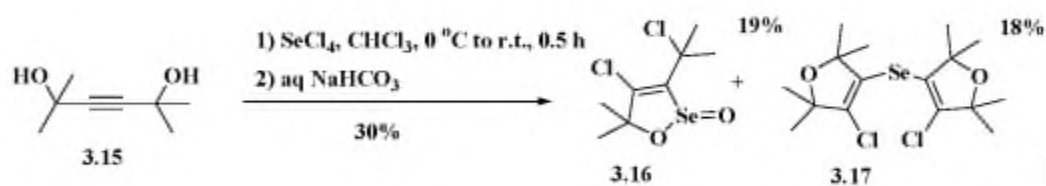


Рис. 3.6. Се-
ленхлорування діолу **3.15**.

Lopes E. F. та співавтори повідомляють про ефективне використання тетрахло-риду селену в процесі відновлюваної гетероциклізації на при-кладі алілзаміщеного оксиму **3.18** [61] (Рис. 3.7).

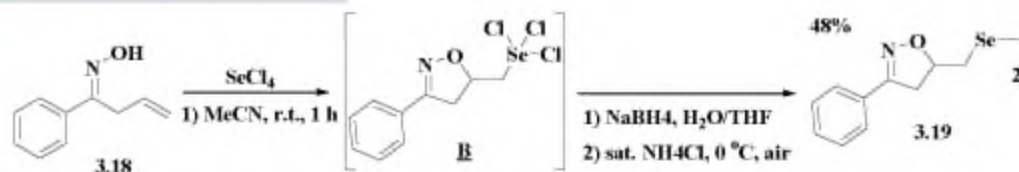


Рис. 3.7. Відновлювана гетероциклізація оксиму **3.18**.

На першій стадії відбувається електрофільна гетероциклізація алілзаміщеного оксиму **3.18**, в середовищі ацетонітрилу при кімнатній температурі. Продукт циклізації **B** без виділення з реакційної суміші при дії тетрагідроборату натрію перетворювали в диселенід **3.19** на наступній стадії [61] (Рис. 3.7).

Тетрагалогеніди селену виявились ефективними циклізуючими реагентами для синтезу поліконденсованих селенвмісних гетероциклів. Як вихідні субстрати було використано ненасичені похідні гетероциклічних сполук. Так, при дії тетрагалогеніду селену на пропаргілзаміщені кумарини **3.20** в діоксані, при кімнатній температурі, реалізується циклізація останніх, яка супроводжується дебромуванням селену при дії соди з утворенням поліконденсованих кумаринів **3.21** [62, 63] (Рис. 3.8).

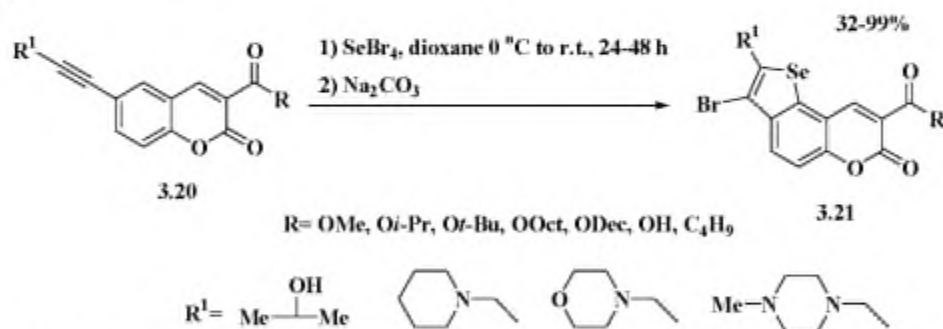


Рис. 3.8. Загальна схема з утворення поліконденсованих кумаринів **3.21**.

Також аналогічна регіохімія селенбромування спостерігається і для ізомерних ацетиленідних похідних кумарину **3.22**, **3.24** [64] (Рис. 3.9).

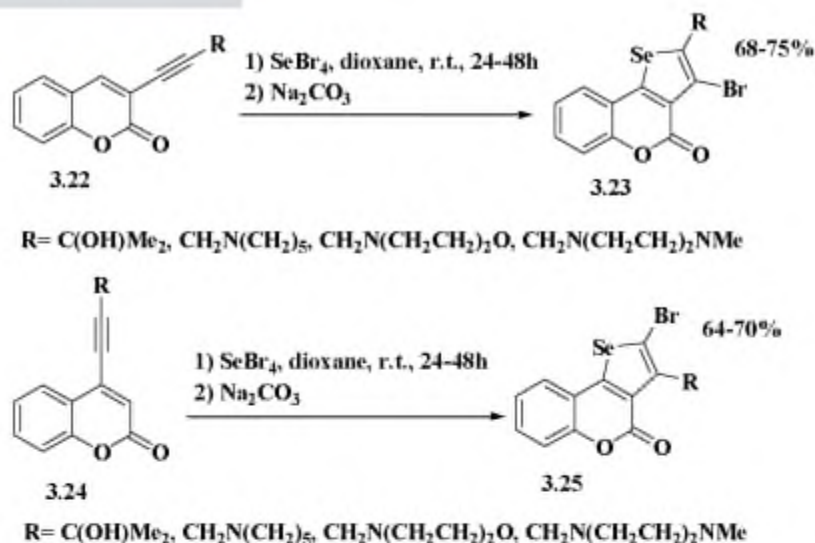


Рис. 3.9. Загальна схема селенбромовування кумаринів **3.22**, **3.24**.

В літературі описане ґрунтовне дослідження взаємодії тетраброміду селену з термінально арил\гетарилдизаміщеними ацетиленами [65] (Рис. 3.10). Електрофільний реагент в циклогексені прикапували до вихідного ненасиченого субстрату **3.26** при кімнатній температурі і реакційну суміш перемішували протягом 1-3 доби. Відмічено, що при заміні фенільного замісника на акленільний (дизаміщений ацетиленід **3.28**) – час реакції скорочується до однієї години [65] (Рис. 3.10).

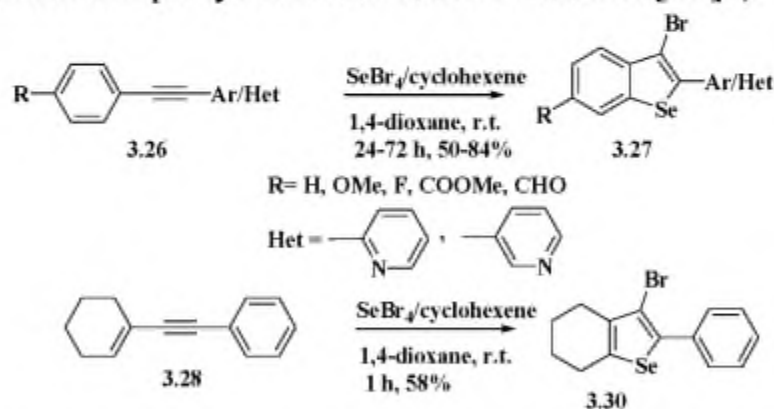


Рис. 3.10. Загальна схема селенбромовування ацетиленідів **3.26**, **3.28**.

Також відмічено, що селенбромовування тіофенацетиленідів відбувається подібно з регіоселективним утворенням тіноселенофенів **3.32**, **3.34** [65] (Рис. 3.11), незалежно від положення ацетиленового фрагменту в тіофеновому циклі вихідних сполук **3.31**, **3.33** відповідно.

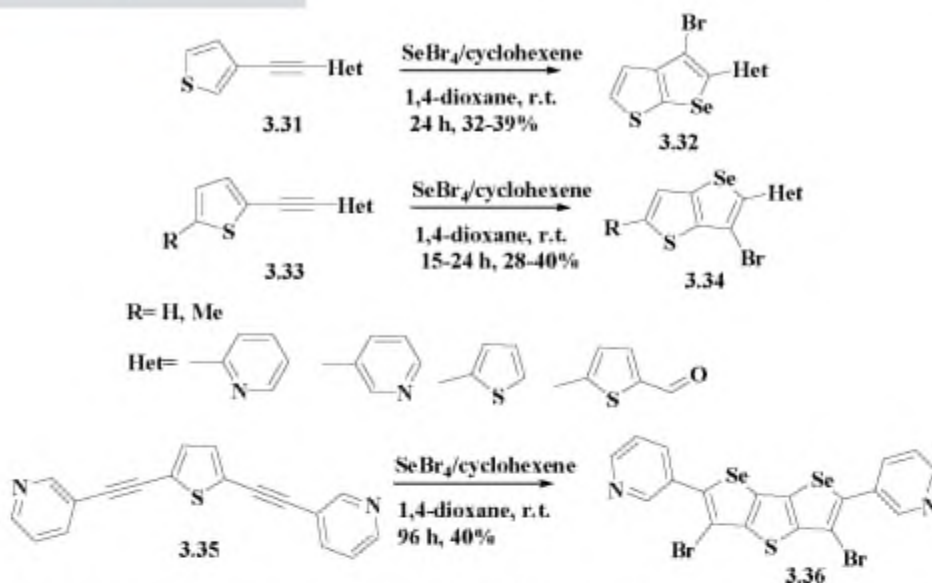


Рис. 3.11. Загальна схема синтезу тієноселенофенів **3.32**, **3.34**, **3.36**.

Цікаво відзначити, що при використанні в якості вихідної речовини 2,5-діацетиленіду тіофену **3.35** та збільшенні часу реакції до 4 діб, дія тетра-броміду селену приводить до формування трициклічної поліконденсованої системи **3.36** [65] (Рис. 3.11).

Аналогічну регіохімію циклізації відмічено при дії тетраброміду селену на ацетиленідні похідні хінолінів **3.37**, **3.39** [66] (Рис. 3.12).

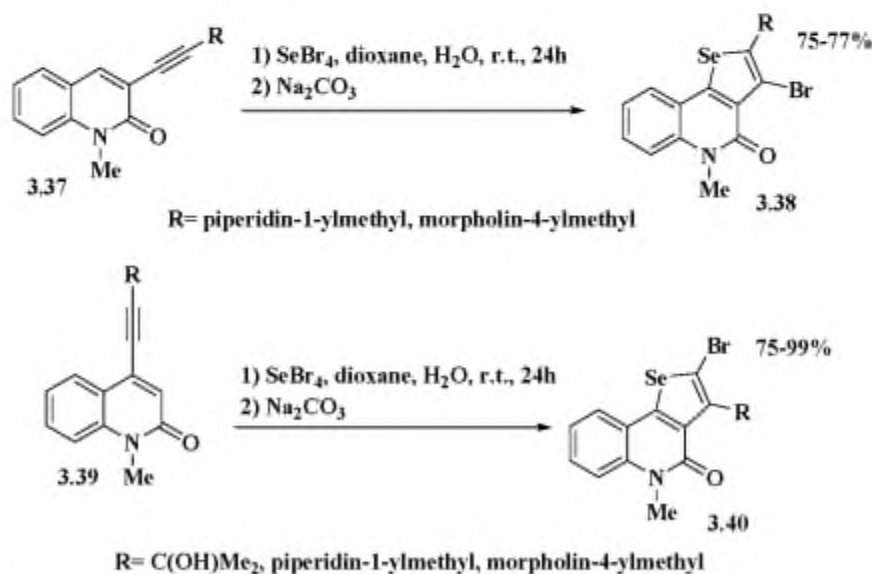


Рис. 3.12. Загальна схема селенбромовання хінолінів **3.37**, **3.39**.

Відмічено, що положення ацетиленідного фрагменту в хіноліновому циклі не впливає ні на регіохімію процесу, ні на вихід конденсованих продуктів реакції [66] (Рис. 3.12).

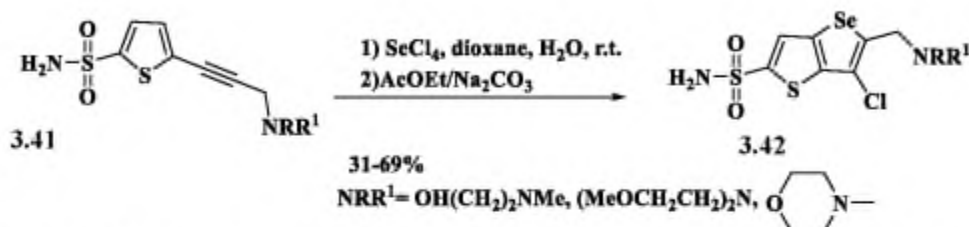


Рис. 3.13. Загальна схема селенхлорування тіофенів **3.41**.

У випадку селенхлорування сульфамідів **3.41** в діоксані, при кімнатній температурі, з наступною обробкою продуктів циклізації содою вдалось отримати аналогічні за будовою продукти циклізації **3.42** [67] (Рис. 3.13).

В цей же час, у випадку селенгалогенування ацетиленідів заміщених піридинів, імідазолів чи тіазолів, при кімнатній температурі, у водному діоксані протягом 1-3 діб, було відмічено зміну регіонаправленості циклізації з утворенням конденсованих гетероциклічних продуктів **3.44**, **3.45** та **3.47** [68, 69] (Рис. 3.14).

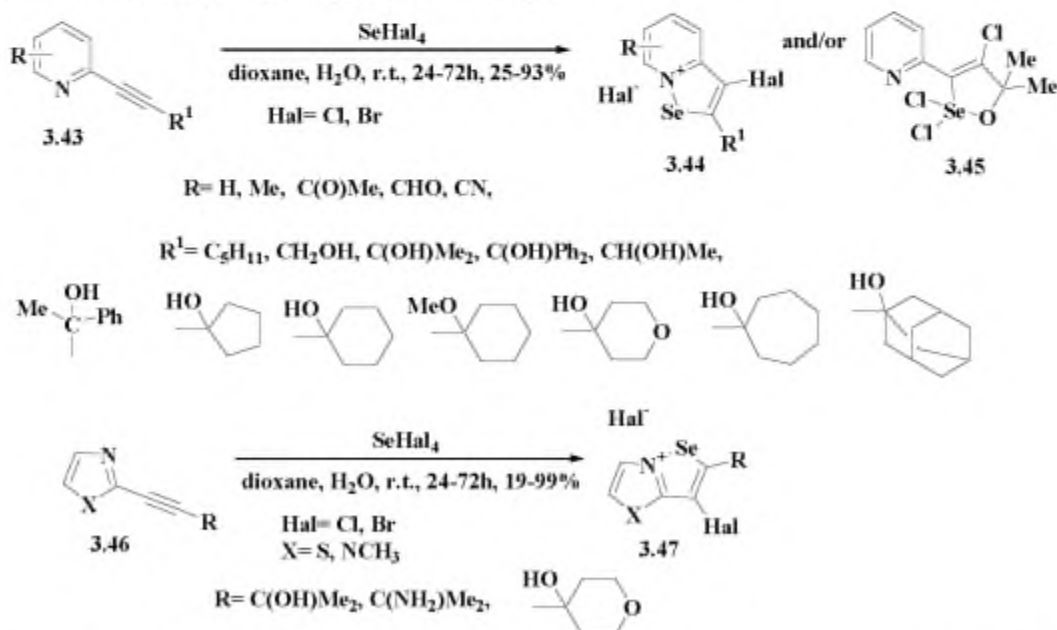


Рис. 3.14. Загальна схема селенгалогенування ацетиленідів **3.43**, **3.46**.

Так, автори [68, 69] відмічають, що утворення циклічних конденсованих продуктів відбувається не за участі активованого ароматичного ядра [59, 60, 62-67], а внаслідок електрофільної атаки на нуклеофільний центр, який локалізований на гетероатомі (атом Нітрогену) з утворенням аддукту **D**, дегалогенуванням якого при дії соди отримували цільові продукти **3.44**, **3.45** та **3.47**. Тобто, утворення конденсованих селенвмісних продуктів циклізації **3.44**, **3.45** та **3.47** відбувається згідно класичного механізму електрофільної гетероциклізації [54] (Рис. 3.15 – на прикладі утворення сполуки **3.44**).

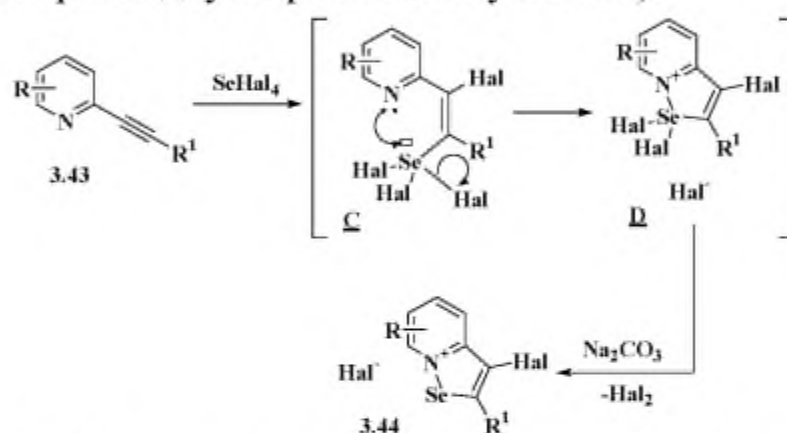


Рис. 3.15. Механізм селенгалогенування ацетиленідів **3.43**, **3.46**.

Аналогічний механізм циклізації із залученням внутрішнього нуклеофільного центру на гетероатомі було використано для пояснення утворення ряду конденсованих продуктів за участю азолів й діазинів. Так, при дії тетрагалогенідів селену на металіттріазол **3.48** в оцтовій кислоті, при кімнатній температурі, з помірними виходами вдалося виділити конденсовані тiazолінотриазолій галогеніди **3.49** [70, 71] (Рис. 3.16).

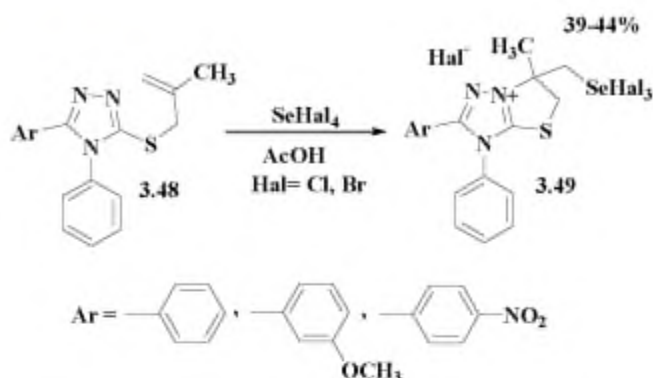


Рис. 3.16. Загальна схема селенгалогенування металіттріазолу **3.48**.

Реакція, імовірно, відбувається через стадію утворення σ -комплексу **E**, позитивний центр якого на наступній стадії атакує нуклеофільний центр на атомі Нітрогену триазольного циклу (Рис. 3.17).

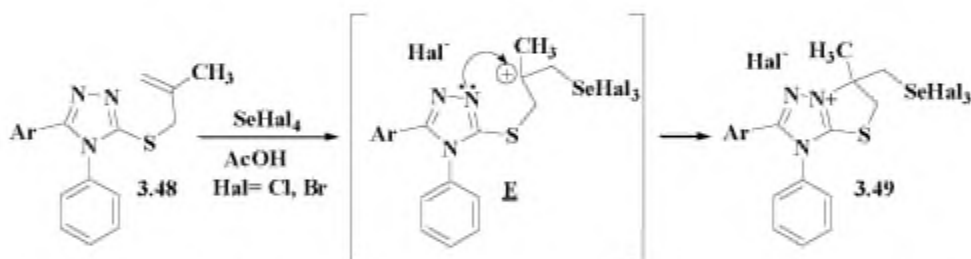


Рис. 3.17. Механізм селенгалогенування металіттріазолу **3.48**.

Цікаво відзначити, що проведення селенгалогенування в ідентичних умовах з використанням в якості вихідного субстрату циннамільного тіо-етеру 4,5-дизаміщеного 1,2,4-триазолу **3.50** не призводить до очікуваного продукту електрофільної гетероциклізації – натомість утворюються молекулярні комплекси **3.51** [70] (Рис. 3.18). Тобто, природа ненасиченого фрагменту, а саме, введення термінального замісника, суттєво впливає на регіохімію селенгалогенування ненасичених тіоетерів 1,2,4-триазолів.

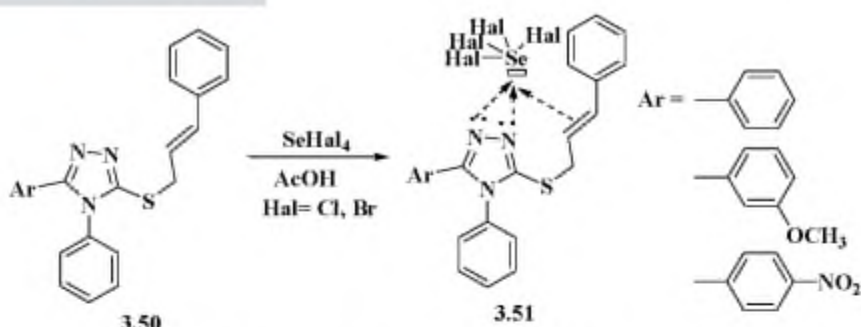


Рис. 3.18. Селенгалогенування циннамілтіотриазолу **3.50**.

В цей же час, проведення селенбромовання циннамільного тіоетеру каптаксу **3.52** в хлороформі з використанням методики генерування електрофілу безпосередньо в реакційній суміші (дія розчину діоксиду селену в надлишку гідрогенбромідної кислоти) приводить до утворення суміші ізомерних продуктів гетероциклізації **3.53** та **3.54** [72] (Рис. 3.19). Синтез проводили при кімнатній температурі протягом 24 годин при постійному перемішуванні реакційної суміші.

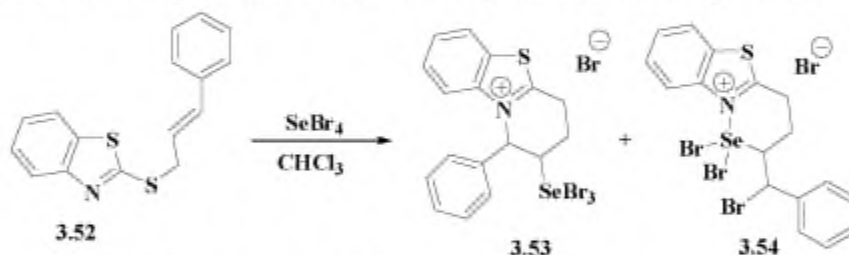


Рис. 3.19. Селенгалогенування циннамільного тіоетеру каптаксу **3.52**.

Селективне анелювання тіазольного кільця було відмічено при селенгалогенуванні N-алкеніл хіназолінів **3.55** розчином селен діоксиду в надлишку відповідної галогеноводневої кислоти при кімнатній температурі в середовищі хлороформу [73-75] (Рис. 3.20). Цільові поліконденсовані гетероцикли отримували з виходами від 63 до 83%. Автори зазначають [76], що отримані поліциклічні селенвмісні тіазолохіназоліни **3.56** володіють високою протимікробною й фунгіцидною активністю.

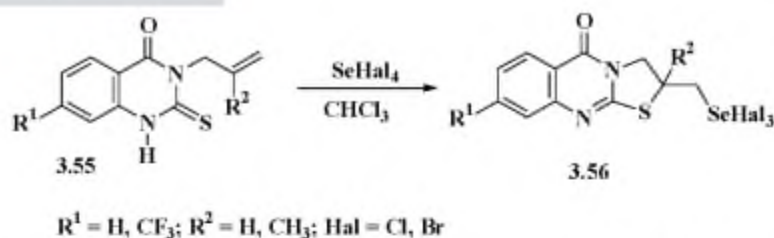


Рис. 3.20. Селенгалогенування 3-аліл\металіл заміщених хіназолінів **3.55**.

Було також відмічено, що введення додаткового ненасиченого замісника по екзоциклічному атому Сульфуру (сполука **3.57**) приводить до зміни регіохімії процесу селенбромовування [77] (Рис. 3.21) – відбувається утворення ізомерних ангулярних тіазолохіназолінів **3.58** з високим виходом. Реакцію проводили в середовищі хлороформу при кімнатній температурі.

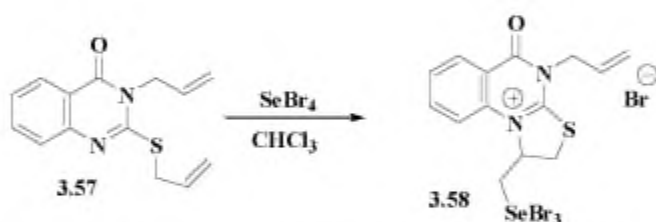


Рис. 3.21. Селективне селенгалогенування діалілзаміщених похідних хіназолінів **3.57**.

Було зазначено, що надлишок тетраброміду селену не впливає на напрямок електрофільної гетероциклізації – ненасичений замісник в третьому положенні хіназолінового циклу в реакцію не вступає.

4. Реакції циклізації за участю телур (IV) галогенідів

В цьому розділі буде розглянуто різні галопохідні чотирьохкоординованого телуру, дія яких приводить до утворення телурвмісних гетероциклічних сполук. В науковій літературі описано синтетичне використання наступних реагентів: телур (IV) хлорид, телур (IV) бромід. Використання в органічному синтезі телур (IV) флуориду в основному

стосується реакції фторування алкільних та ароматичних фрагментів [38], в той час як дані про застосування телур (IV) флуориду в синтезі гетероциклічних сполук в літературі відсутні.

4.1. Реакції циклізації при дії телур (IV) тетрагалогенідів

Тетрагалогеніди телуру давно відомі як неорганічні електрофільні реагенти, але довгий час активно не використовувались в синтетичній органічній хімії, тому що, окрім високої токсичності, вони є вологочувливими і нестійкими при зберіганні. В літературі проаналізовані різної природи електрофільні реагенти, які використовуються для синтезу телуруорганічних сполук [33, 38, 39, 42, 43, 78, 79], серед яких домінують телургалогенування ароматичного \ гетероароматичного кільця. Синтез телурвмісних гетероциклічних сполук ґрунтовно проаналізований в огляді [80], але використання тетрагалогенідів телуру в цій праці наведено фрагментарно. Використання телур (IV) галогенідів можна знайти як окремі приклади в оглядах по електрофільній циклізації [54, 81], але систематизована інформація по реакціях тетрагалогенідів телуру в літературі відсутня.

Одними з перших робіт по використанню тетрагалогенідів телуру в синтезі гетероциклічних сполук була серія праць вчених Ужгородського університету, в яких описувались приклади використання суміші діоксиду телуру й надлишку гідрогенгалогенідної кислоти як джерела тетрагалогенідів телуру для електрофільної гетероциклізації олефіну **4.1** [49, 51, 52, 82].

Пізніше, структуру подібних продуктів циклізації однозначно підтвердили Laitalainen та колеги [83] за допомогою рентгеноструктурного аналізу на прикладі дії тетрахлориду телуру на діаліловий етер (Рис. 4.1). Автори пояснюють утворення циклічного продукту **4.2** через синхронне присєднання тетрагалогеніду телуру одразу до двох алкенільних замісників, причому, як проміжний продукт – пропонують молекулярний комплекс **Е**.

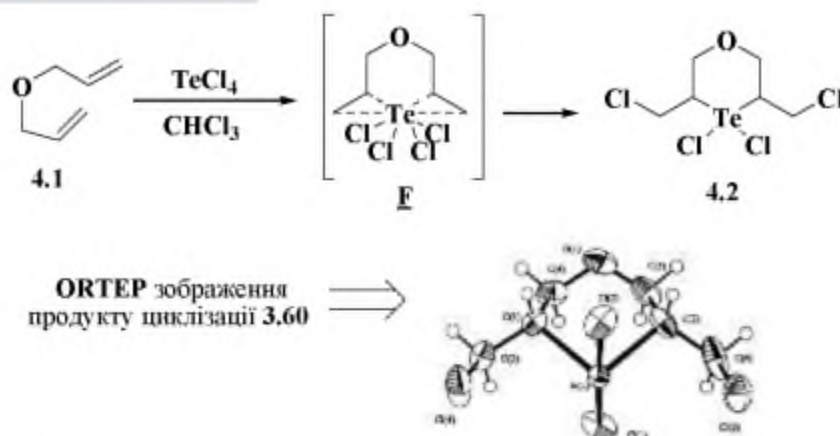


Рис. 4.1. Селективне телурхлорування діалілового етеру **4.1**.

Показано, що дія тетрагалогенідів телуру на ацетиленід **4.3** в хлороформі чи тетрахлорметані, при кімнатній температурі, приводить до селективного утворення з помірним виходом продукту циклізації **4.4** [84] (Рис. 4.2).

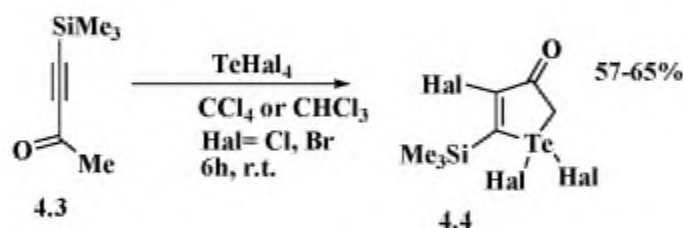


Рис. 4.2. Селективне телургалогенування ацетиленіду **4.3**.

Іншу регіохімію циклізації демонструють ароматично заміщені ацетиленіди, які містять *орто*-меркаптометильну-групу. Так, 2-ох кратний надлишок сполуки **4.5** при дії тетрахлориду телуру в середовищі дихлоретану, при помірному нагріванні, перетворюються в *біс*-бензотієнілдихлортелурид **Г**, який в реакційній суміші було оброблено водним розчином натрій тіосульфату, що приводило до утворення цільового телурзаміщеного *біс*-бензотіофену **4.6** [85] (Рис. 4.3).

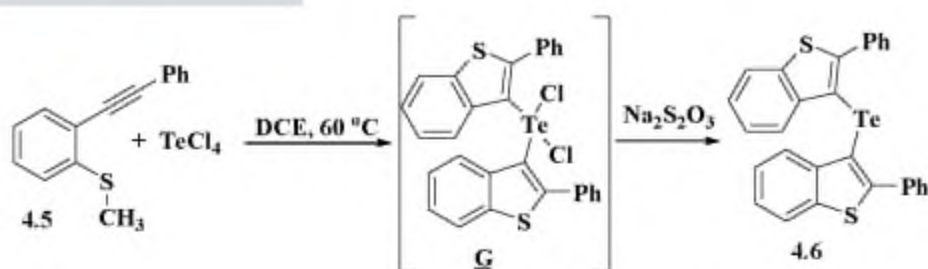


Рис. 4.3. Загальна схема синтезу *bis*-бензотієнілтелуриду **4.6**.

Зазначається, що у випадку використання в якості вихідної речовини симетричного біс-(*орто*-меркаптометилфеніл)-діацетиленіду **4.7**, за тих самих умов, при дії тетрахлориду телуру одержується лінійна конденсована пентациклічна система, в якій два фрагменти бензотіофену симетрично конденсовані з телурофеновим циклом – сполуку **4.8** [85] (Рис. 4.4).

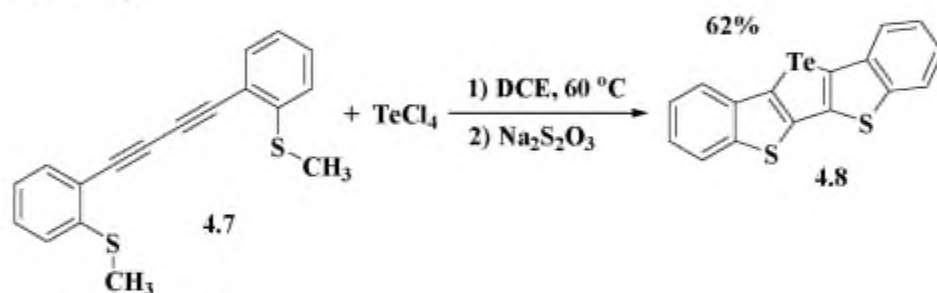


Рис. 4.4. Загальна схема селенхлорування діацетиленіду **4.7**.

Утворення класичного продукту електрофільної гетероциклізації за участю нуклеофільного центру на атомі Оксигену описане при дії тетрахлориду телуру в ацетонітрилі, при кімнатній температурі, на оксим **4.9** [61] (Рис. 4.5). На наступній стадії продукт циклізації **Н**, без попереднього виділення, відновленням натрій гідрогенборатом було перетворено на стійкий дителурид **4.10**. Цільові продукти були виділені насиченням реакційної суміші хлоридом амонію при 0°C .

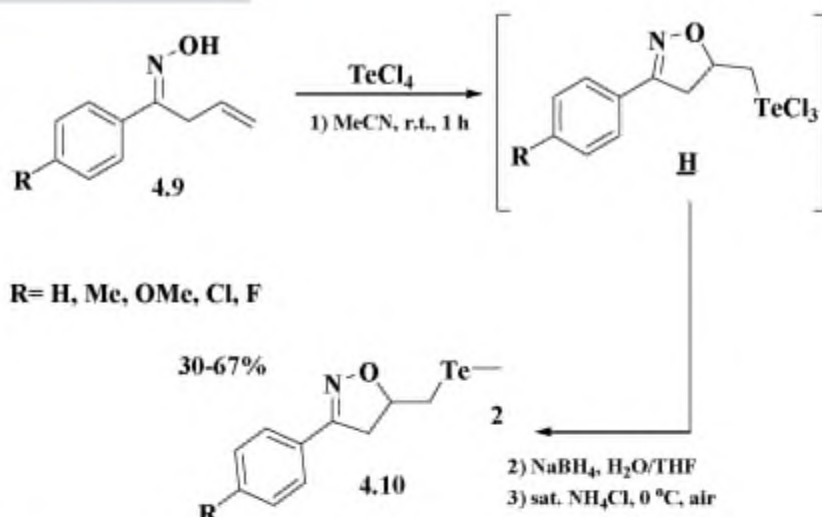


Рис. 4.5. Селективне телурхлорування оксиму **4.9**.

Цікавий альтернативний шлях циклізації подібних похідних кетонів було запропоновано японськими вченими Окута та колегами [86]. Як вихідний субстрат було використано гідрозони **4.11**, які не містять алкенільний фрагмент (Рис. 4.6). В результаті з помірними виходами було отримано продукти окиснювальної гетероциклізації – діарилзаміщені телурофени **4.12**. Автори також стверджують, що методику успішно було адаптовано і для гетерилзаміщених гідрозонів **4.11** [86].

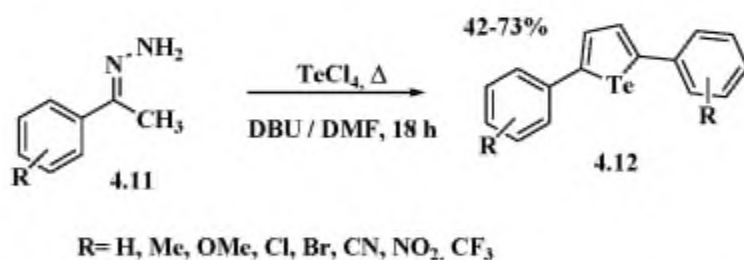


Рис. 4.6. Загальна схема синтезу телурофенів **4.12**.

Було запропоновано механізм вищеописаного процесу циклізації гідрозону **4.13** (Рис. 4.7).

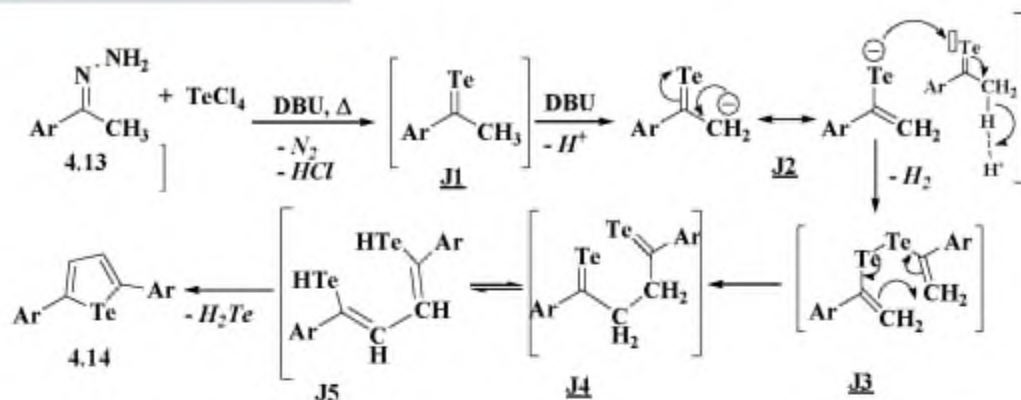


Рис. 4.7. Механізм утворення телурофенів 4.14.

На першій стадії відбувається відновлення тетрахлориду телуру з утворенням телуриду **J1**, який на другій стадії зазнає депротонування по метильній групі під дією **DBU** з утворенням аніону **J2**, який димеризується з ще однією молекулою телуриду **J1**, утворюючи дителурид **J3**; останній, шляхом ізомеризації з наступним прототропним перегрупуванням, утворює аддукти **J4**, **J5**, які після елімінування гідрогентелуриду утворюють цільовий телурофен **4.14** (Рис. 4.7).

Селективне анелювання тіазольного кільця було відмічено при телургалогенуванні N-алкеніл хіназолінів **4.15** розчином діоксиду телуру в надлишку відповідної галогеноводневої кислоти в середовищі оцтової кислоти [73-75, 87] (Рис. 4.8). Відмічено, що регіонаправленість телургалогенування є аналогічною до селенгалогенування (Рис. 3.20). Цілкові поліконденсовані гетероцикли отримували з виходами від 63 до 83%.

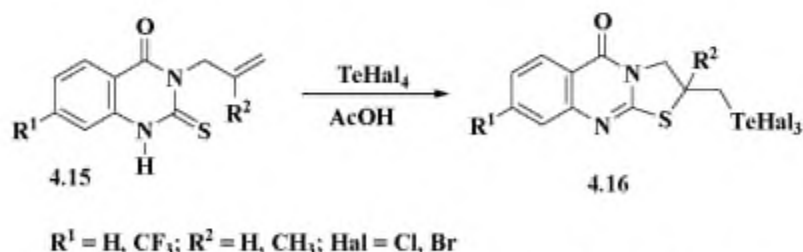


Рис. 4.8. Телургалогенування 3-аліл\металіл заміщених хіназолінів **4.15**.

Автори також зазначають [76], що отримані поліциклічні телурвмісні тіазолохіназоліни **4.16** (Рис. 4.8) володіють високою протимікробною й фунгіцидною активністю.

Було також відмічено, що введення додаткового ненасиченого замісника по екзоциклічному атому Сульфуру (сполука **4.17**) аналогічно до селенгалогенування (Рис. 4.9) також приводить до зміни регіохімії процесу телургалогенування [77] (Рис. 4.9) – відбувається утворення ізомерних ангулярних телурвмісних тіазолохіназолінів **4.18** з високим виходом. Реакцію проводили в середовищі оцтової кислоти протягом 14 годин.

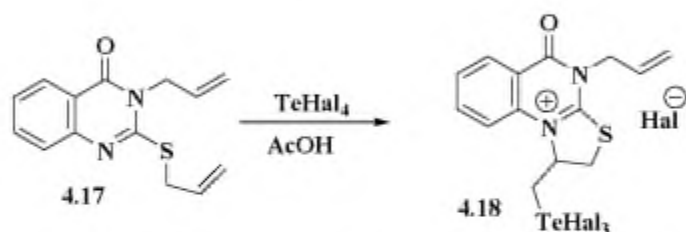


Рис. 4.9. Селективне телургалогенування діалізаміщених похідних хіназолінів **4.17**.

Було зазначено, що надлишок тетрагалогенідів телуру не впливає на напрямок електрофільної гетероциклізації – ненасичений замісник в третьому положенні хіназолінового циклу в реакцію не вступає.

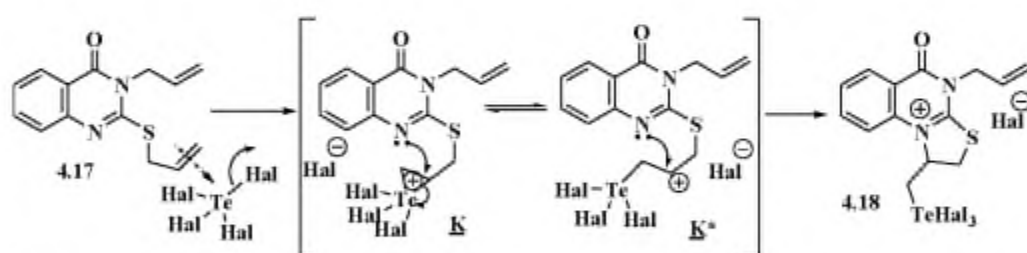


Рис. 4.10. Механізм телургалогенування хіназолінів **4.17**.

Авторами [77] запропоновано механізм електрофільної галотелурциклізації (Рис. 4.10), який включає класичну стадію утворення π -комплексу між тіоаліловим фрагментом сполуки **4.17** та тетрагалогенідом телуру, що на наступній стадії перетворюється на σ -комплекс $\underline{K}$, $\underline{K}^*$, які в свою чергу стабілізуються з утворенням цільових солей **4.18**.

Схожу регіохімію електрофільної циклізації демонструють тіопропаргільні аналоги **4.19** [88] (Рис. 4.11). Реакцію проводили дією еквімолярної кількості діоксиду телуру в 6-кратному надлишку.

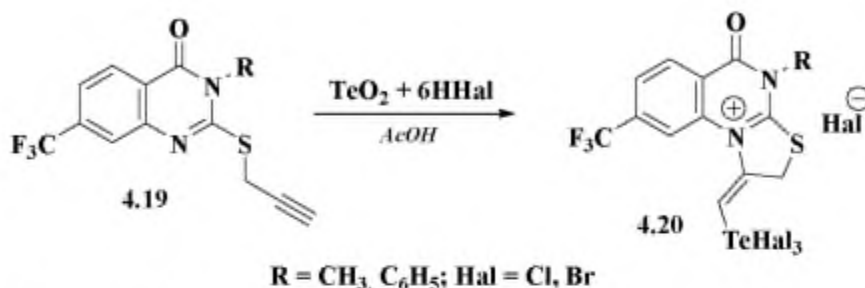


Рис. 4.11. Схема телургалогенування пропаргїлтїохїназолїнів **4.19**.

Кардинальну зміну регіонаправленості телургалогенування було відмічено при введенні метильного замісника в дипропенїлхїназолїни **4.21** (Рис. 4.12). Так, при використанні як вихїдної сполуки 2-металїтїо-3-алїл-4-оксохїназолїну **3.75** було відмічено утворення молекулярних комплексів **4.22** (Рис. 4.12) [89].

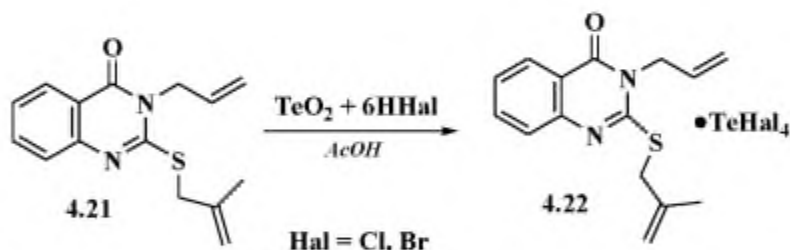


Рис. 4.12. Загальна схема утворення молекулярних комплексів **4.22**.

Подібний процес комплексоутворення було зафіксовано також при телургалогенуванні 4-алїлокси-тієно[2,3-d]пїрїмїдїнїв **4.23** (Рис. 4.13) [90]. Реакцію проводили при кїмнатнїй температурї в льодянїй оцтовїй кислотї з використанням сумїші діоксиду телуру й 6-кратного надлишку гїдрогенгалогенїдної кислоти – в результатї було отримано аддукти **4.24**.



Рис. 4.13. Загальна схема утворення молекулярних комплексів **3.78**.

Дія розчину діоксиду телуру в надлишку гідрогенгалогенідної кислоти було досліджено на ненасичених похідних симетричних триазолів. Так, при використанні як вихідних сполук металілових тіоетерів **4.25** було відмічено аналогічну до селенгалогенування (Рис. 4.14) циклізацію з анелюванням п'ятичленного циклу та введенням телуртригалогенідного замісника в цільові продукти **4.26** [70, 71] (Рис. 4.14).

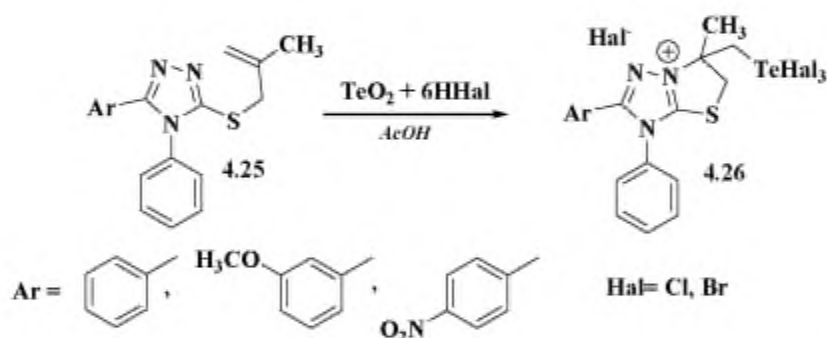


Рис. 4.14. Загальна схема телургалогенування металітїотриазолів **4.25**.

Також було досліджено взаємодію пропаргілових тіоетерів **4.27** з тетрагалогенідами телуру [91] (Рис. 4.15) у льодяній оцтовій кислоті при кімнатній температурі, яка аналогічна циклізації пропенільних похідних [70, 71] (Рис. 4.15) і приводить до регіоселективного анелювання тіазольного циклу та утворення солей **4.28**.

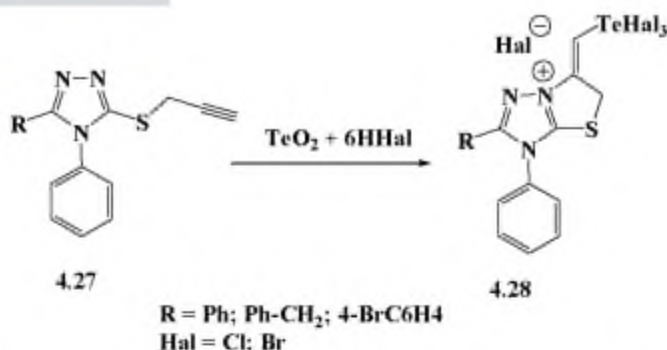


Рис. 4.15. Загальна схема телургалогенування пропаргілтїотриазолів **3.80**.

Було досліджено взаємодію 4-аліл-1,2,4-триазолів-3-тіонів **4.29** з телургалогенідами телуру [92] (Рис. 4.16) у льодяній оцтовій кислоті при кімнатній температурі, яка аналогічно циклізації алкенільних й пропаргільних тіоетерів **4.25**, **4.26** [70, 71, 91] (Рис. 4.14, 4.15) приводить до регіоселективного анелювання тіазольного циклу та утворення ангулярних тіазолотриазолів **4.30**.

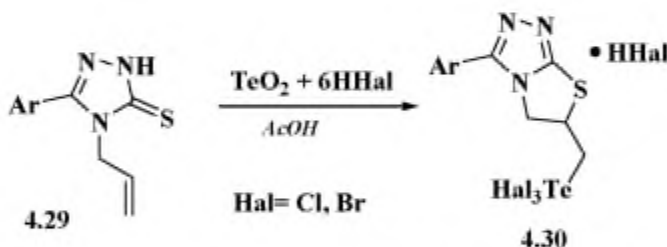


Рис. 4.16. Схема телургалогенування 4-аліл-1,2,4-триазол-3-тіонів **4.29**.

Авторами [91, 92] було відмічено високу фунгіцидну й бактерицидну активність синтезованих телурвмісних гетероциклів **4.28**, **4.30**.

При дослідженні умов перебігу телургалогенування елкенільних тіоетерів триазолів було відмічено критичний вплив природи замісника біля подвійного зв'язку на перебіг реакції.

Так, при введенні об'ємного фенільного замісника біля термінального sp^2 -гібридизованого атому Карбону електрофільна внутрішньо-

молекулярна циклізація не відбувається при дії тетрагалогенідів селену й телуру – утворюються комплекси циннамільових тіоестерів **4.31** [70] (Рис. 4.17), аналогічно до селенгалогенування (Рис. 3.18).

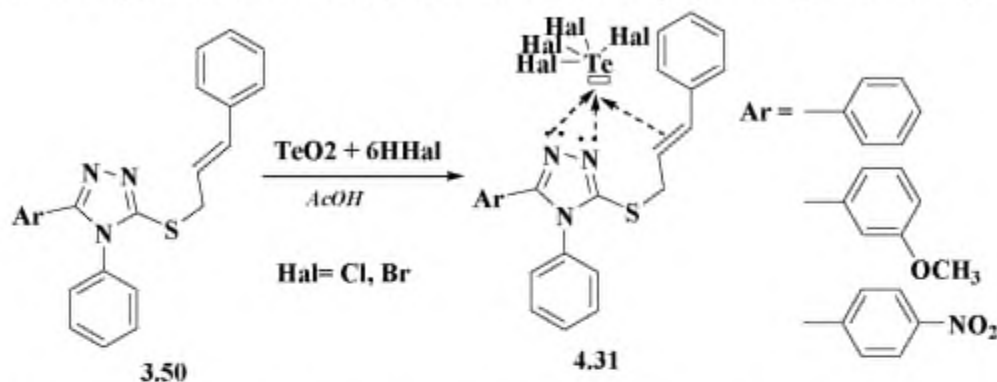


Рис. 4.17. Схема телургалогенування циннамільтіотриазолу **3.50**.

Несподіваний перебіг телургалогенування було виявлено при реакції термінальних алкенільних й алкінільних заміщених піразолів **4.32** [93, 94] (Рис. 4.18) з розчином діоксиду телуру в надлишку гідрогенгалогенідних кислот.

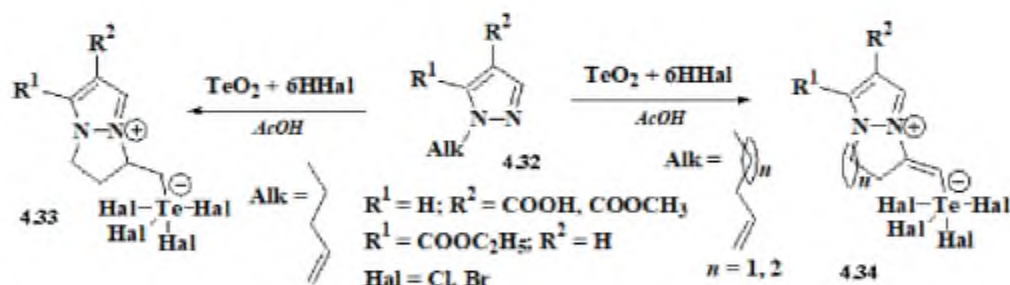


Рис. 4.18. Схема утворення внутрішніх солей **4.33**, **4.34**.

Синтез проводили при кімнатній температурі в середовищі оцтової кислоти при постійному перемішуванні. В результаті автори отримали з помірними виходами цільові продукти електрофільної гетероциклізації у вигляді внутрішніх солей **4.33**, **4.34** [93, 94] (Рис. 4.18), будову яких було підтверджено комплексом спектральних методів в поєднанні з рентгеноструктурним аналізом монокристалів.

Більш детальні дослідження телургалогенування за участі діоксиду

телуру та надлишку гідрогенгалогенідної кислоти встановили, що в рівноважній суміші (Рис. 4.19) при високих значеннях рН середовища може перебувати не лише тетрагалогенід телуру (діючий електрофіл), але й гексагалотелуридна кислота, яка є сильною кислотою і здатна протонувати гетероатоми в гетероциклічних сполуках, зокрема, в 1,2,4-триазолах.

Гіпотезу було успішно перевірено на прикладі синтезу триазоловмісних гексабромтелуридів **4.36** при телургалогенуванні триазолів **4.35** розчином діоксиду телуру в 1М розчині гідрогенбромідної кислоти [95-98] (Рис. 4.19). Для усіх триазолів **4.35** при взаємодії їх із гексабромтелуридною кислотою вдалося отримати кристалічні солі **4.36**, які є придатними для РСД. Аналіз даних рентгеноструктурного дослідження вказує на утворення солей **4.36** (Рис. 4.36) за рахунок протонування атома Нітрогену в першому положенні триазольного циклу.

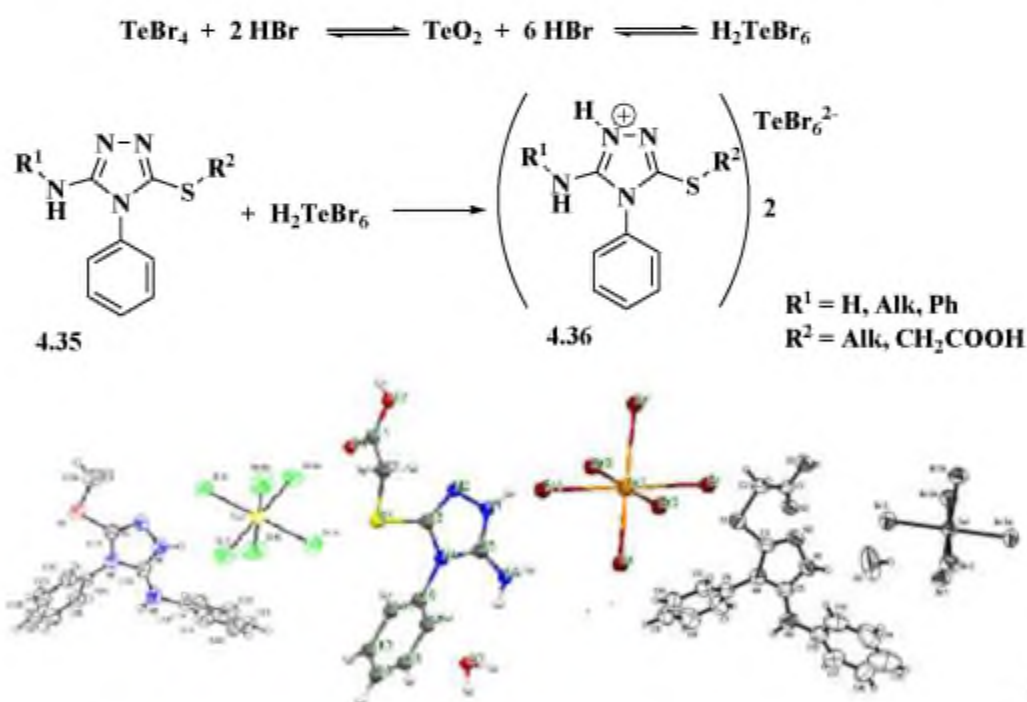


Рис. 4.19.

Схема утворення триазолій гексабромтелуридів **4.36**.

Також було відмічено, що при використанні як вихідних сполук алкенільних тіоетерів 1,2,4-триазолів **4.37** в зазначених вище умовах (високе значення рН) відбувається протон-індукована електрофільна гетероциклізація за участю гексабромтелуридної кислоти, яка утворюється безпосередньо в рівноважній реакційній суміші при змішуванні діоксиду телуру з 1М розчином гідрогенбромідної кислоти [99, 100] (Рис. 4.20). Структуру утворених солей **4.38** було підтверджено комплексом спектральних методів та даними рентгеноструктурного аналізу.

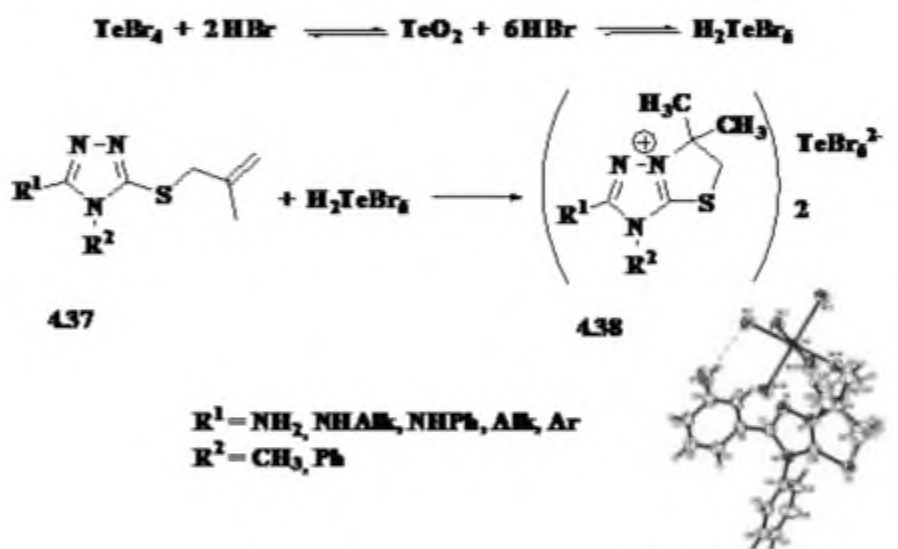


Рис. 4.20. Схема телургалогенування металілових тіоетерів **4.37**.

Авторами відмічено [96-100], що отримані сполуки **4.36**, **4.38** є структурними аналогами гібридних перовскітних матеріалів і є перспективні для вивчення їх оптичних й електричних властивостей з метою створення ефективних перетворювачів енергії.

Acknowledgment

Дослідження проводились за підтримки Проєкту МОН України № Державної реєстрації 0124U000364 та Проєкту МОН України № Державної реєстрації 0123U101738.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. CABRERA, N.; MORA, J. R.; MÁRQUEZ, E.; FLORES-MORALES, V.; CALLE, L.; CORTÉS, E. QSAR and molecular docking modelling of antileishmanial activities of organic selenium and tellurium compounds. *Sar and QSAR in environmental research*. 2021, **32**(1), 29-50. doi: 10.1080/1062936X.2020.1848914

2. CAPPERUCCIA, A.; CORONNELLO, M.; SALVINI, F.; TANINIA, D.; DEI, S.; TEODORIC, E.; GIOVANNELLI, L. Synthesis of functionalised organochalcogenides and in vitro evaluation of their antioxidant activity. *Bioorganic Chemistry*. 2021, **110**(5), 104812. doi: 10.1016/j.bioorg.2021.104812

3. NASCIMENTO, D.; MARIA, L. L.; BARRETO, L.; DOS REIS, A. Y. C.; SANTOS, J. V. O.; NEGREIROS, H. A.; DA SILVA, F. C. C.; FERREIRA, P. M. P.; GONÇALVES, J. C. R.; DITZ, D.; BRAZ, D. C.; NUNES, A. M. V.; CUNHA, R. L. O. R.; MELO-CAVALCANTE, A. C.; SOUSA de C.; MARCELO, J. Antiproliferative and Genotoxic Action of an Underexploited Organotelluran Derivative on Sarcoma 180 Cells. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry - Anti-Cancer Agents)*. 2021, **21**(8), 1019-1026(8). doi: 10.2174/1871520620666200918110152

4. HALPERT, G.; HALPERIN SHEINFELD, M.; MONTERAN, L.; SHARIF, K.; VOLKOV, A.; NADLER, R.; SCHLESINGER, A.; BARSHAK, I.; KALECHMAN, Y.; BLANK, M.; SHOENFELD, Y.; AMITAL, H. The tellurium-based immunomodulator, AS101 ameliorates adjuvant-induced arthritis in rats. *Clinical & Experimental Immunology*. 2021, **203**(3), 375-384. doi: 10.1111/cei.13553

5. ASMAA, B. S.; 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

6. LEITEMBERGERA, A.; SONEGOC, M. S.; GARCIA, F. D.; SANTOSA, C. F.; PICCOLIB, B. C.; SILVA, F. D.; Oliveira, C. S.; Seixasc F. K.; João L. D.; ROCHA, B. T.; NOGARA, B. T.; SCHACHT, K. M.; COLLARES S. T.; RODRIGUES, O. E. D. Synthesis and biological evaluation of new antioxidant and antiproliferative chalcogenobiotin derivatives for bladder carcinoma treatment. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2020, 28(9), 115423. doi: 10.1016/j.bmc.2020.115423

7. MATSUMURA, M.; TAKAHASHI, T.; YAMAUCHI, H.; SAKUMA, S.; HAYASHI, Y.; HYODO, T.; OBATA, T.; YAMAGUCHI, K.; FUJIWARA, Y.; YASUIKE, L. Synthesis and anticancer activity of bis(2-arylimidazo[1,2-a]pyridin-3-yl) selenides and diselenides: the copper-catalyzed tandem C–H selenation of 2-arylimidazo[1,2-a]pyridine with selenium. *Beilstein J. Org. Chem.* 2020, 16, 1075–1083. doi: 10.3762/bjoc.16.94

8. PASCHOALINA, T.; MARTENS, A. A.; OMORI, A. T.; PEREIRA, F. V.; JULIANO, L.; TRAVASSOS, L. R.; MACHADO-SANTELLI, G. M.; CUNHA, R. L. O. R. Antitumor effect of chiral organotelluranes elicited in a murine melanoma model. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2019, 27(12), 2537-2545. doi: 10.1016/j.bmc.2019.03.032

9. KAMALA, A.; NAZARI, M. A.; YASEEND, M.; ADNAN, M.; MOHAMED, I. B.; AHAMEDE, K.; SHAH, A.; MAJIDF, A.; BHATTI, H. N. Green synthesis of selenium-N-heterocyclic carbene

compounds: Evaluation of antimicrobial and anticancer potential. *Bioorganic Chemistry*. 2019, **90**, 103042. doi: 10.1016/j.bioorg.2019.103042

10. YOSSIPOF, T. E.; BAZAK, Z. R.; KENIGSBUCH-SREDNI, D.; CASPI, R. R.; KALECHMAN, Y.; SREDNI, B. Tellurium Compounds Prevent and Reverse Type-1 Diabetes in NOD Mice by Modulating $\alpha 4\beta 7$ Integrin Activity, IL-1 β , and T Regulatory Cells. *Frontiers in Immunology*. 2019, **10**, 979. doi:10.3389/fimmu.2019.00979

11. BANDEIRAA, P. T.; DALMOLINA, M. C.; Oliveira, M. O.; Nunes, K. C.; GARCIA, F. P.; NAKAMURA, C. V.; OLIVEIRA, A. B. M.; PIOVANA, L. Synthesis, Antioxidant Activity and Cytotoxicity of N-Functionalized Organotellurides. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2019, **27**(2), 410-415. doi: 10.1016/j.bmc.2018.12.017

12. AL-FREGI, A. A.; AL-SALAMI, B. K.; AL-KHAZRAGIE, Z. K.; AL-RUBAIE, A. Z. Synthesis, Characterization and Antibacterial Studies of Some New Tellurated Azo Compounds. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*. 2019, **194**(1-2), 33-38. doi: 10.1080/10426507.2018.1470179

13. SATHEESHKUMAR, K.; RAJU, S.; SINGH, H. B.; BUTCHER, R. J. Reactivity of Selenocystine and Tellurocystine: Structure and Antioxidant Activity of the Derivatives. *Chem. Eur. J.* 2018, **24**, 17513-17522. doi: 10.1002/chem.201803776

14. ÁLVAREZ-PÉREZ, M.; Ali, W.; MARĆ, M.; HANDZLIK, J.; DOMÍNGUEZ-ÁLVAREZ, E. Selenides and Diselenides: A Review of Their Anticancer and Chemopreventive Activity. *Molecules*. 2018, **23**(3), 628. doi:10.3390/molecules23030628

15.SANDS, K. N.; TUCK, T. A.; BACK, T. G. Cyclic Seleninate Esters, Spirodioxyselenuranes and Related Compounds: New Classes of Biological Antioxidants That Emulate Glutathione Peroxidase. *Chemistry - A European Journal*. 2018, **24**(39), 9714-9728. doi: 10.1002/chem.201800182

16.ROSA, R. M.; PICCOLI, B. C.; da SILVA, F. D.; DORNELLES, L.; ROCHA, J. B. T.; SONEGO, M. S.; BEGNINI, K. R., COLLARES, T.; SEIXAS, F. K.; RODRIGUES, O. E. D. Synthesis, antioxidant and antitumoral activities of 5'-arylchalcogeno-3-aminothymidine (ACAT) derivatives. *Med. Chem. Commun.*, 2017. **8**, 408-414. doi: 10.1039/C6MD00640J

17.DARDIK, R.; LIVNAT, T.; HALPERT, G.; JAWAD, S.; NISGAV, Y., AZAR-AVIVI, S.; LIU, B.; NUSSENBLATT, R. B.; WEINBERGER, D.; SREDNI, B. The small tellurium-based compound SAS suppresses inflammation in human retinal pigment epithelium. *Mol. Vis.* 2016, **22**, 548-562. PMID: 27293373.

18.SILBERMAN, A.; KALECHMAN, Y.; HIRSCH, S.; ERLICH, Z.; SREDNI, B.; ALBECK, A. The Anticancer Activity of Organotelluranes: Potential Role in Integrin Inactivation. *Chem. Bio. Chem.* 2016, **17**(10), 918-927. doi: 10.1002/cbic.201500614

19.WOHLER, F. *Liebigs Ann. Chem.* 1840, **35**, 111-115. doi: 10.1002/jlac.18400350108

20.SCHWARZ, K.; FOLTZ, C. M. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *J. Am. Chem. Soc.* 1957, **79**, 3292-3293. <https://doi.org/10.1021/ja01569a087>

21. RUBERTE, A. C.; SANMARTIN, C.; AYDILLO, C.; SHARMA, A. K.; PLANO, D. Development and Therapeutic Potential of Selenazo Compounds. *J. Med. Chem.* 2020, **63**(4), 1473–1489. doi: 10.1021/acs.jmedchem.9b01152

22. DI LEO, I.; MESSINA, F.; NASCIMENTO, V.; NACCA, F. G.; PIETRELLA, D.; LENARDÃO, E. J.; PERIN, G.; SANCINETO, L. Synthetic Approaches to Organoselenium Derivatives with Antimicrobial and Anti-Biofilm Activity. *Mini-Reviews in Organic Chemistry.* 2019, **16**(6), 589-601. doi: 10.2174/1570193X16666181227111038

23. LENARDAO, E. J.; SANTI, C.; SANCINETO, L. New Frontiers in Organoselenium Compounds; Springer International Publishing AG: Cham, Switzerland, 2018; 189 p.

24. BARCELLOS, A. M.; ABENANTE, L.; SARRO, M. T.; LEO, I. D.; LENARDAO, E. J.; PERIN, G.; SANTI, C. New Prospective for Redox Modulation Mediated by Organo selenium and Organotellurium Compounds. *Current Organic Chemistry.* 2017, **21**(20), 2044-2061(18). doi: 10.2174/1385272820666161020162113

25. RAFIQUE, J.; CANTO, R. F. S.; SABA, S.; BARBOSA, F. A. R.; BRAGA, A. L. Recent Advances in the Synthesis of Biologically Relevant Selenium-containing 5-Membered Heterocycles. *Current Organic Chemistry.* 2016, **20**(2), 166-188(23). doi: 10.1002/chin.201615227

26. BRAGA, A. L.; RAFIQUE, J. I. . Synthesis of biologically relevant small molecules containing selenium. Part B. Anti-infective and anticancer compounds. In *Patai's Chemistry of Functional Groups.*

Organic Selenium and Tellurium Compounds; Rappoport, Z., Ed.; John Wiley and Sons: Chichester, UK. 2013, **4**, 1053-1117.

27. HENRY, G.; NOWAK, J.; SUTTLE, F.; PARKER, W. E.; KLEINBERG, J. Selenium (IV) Chloride. *Inorganic Syntheses*. 1957, **5**, 125-126. <https://doi.org/10.1002/9780470132364.ch33>

28. Онлайн ресурс: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB8852562_EN.htm. Дата звернення: 17.05.2025.

29. Онлайн ресурс: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB9666537.htm. Дата звернення: 17.05.2025.

30. Онлайн ресурс: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB3347519_EN.htm. Дата звернення: 17.05.2025.

31. AYNSLEY, E. E.; PEACOCK, R. D.; ROBINSON, P. L. The preparation and properties of selenium tetrafluoride and oxyfluoride. *J. Chem. Soc.* 1952, 1231-1234. <https://doi.org/10.1039/JR9520001231>

32. Онлайн ресурс: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB5284429_EN.htm. Дата звернення: 17.05.2025.

33. KOROL, N.; SLIVKA, M. Tellurium Tetrachloride. *Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis*. 2018. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/047084289X.rn02219>

34. PETRAGNANI, N.; MENDES, S. R.; SILVEIRA, C. C. Tellurium tetrachloride: an improved method of preparation. *Tetrahedron Letters*. 2008, **49**(15), 2371-2372. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2008.02.085>

35. Онлайн ресурс: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB1495676_EN.htm. Дата звернення: 17.05.2025.

36. WIBERG, E.; HOLLEMAN, A. F. Inorganic Chemistry, Elsevier. 2001. ISBN 0-12-352651-5.
37. Онлайн ресурс: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB41252787_EN.htm. Дата звернення: 17.05.2025.
38. KREBS, B.; AHLERS, F-P. Developments in Chalcogen-Halide Chemistry. *Advances in Inorganic Chemistry*. 1990, **35**, 235-317.
39. CHIVERS, T.; LAITINEN, R. S. Selenium- and Tellurium-Halogen Reagents. *Physical Sciences Reviews* [Online]. 2018. doi: 10.1515/psr-2018-0060
40. PAULMIER, C. Selenium Reagents and Intermediates in Organic Synthesis. 1st Edition, 1986. **29**. eBook ISBN: 9781483286402. Oxford: Pergamon. Джерело: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781483286402_A23884493/preview-9781483286402_A23884493.pdf. Дата звернення: 17.05.2025.
41. PAULMIER, C. Organoselenium Chemistry. Liotta, D., Ed., New York: Wiley. 1987. Джерело: https://archive.org/stream/springer_10.1007-3-540-48171-0/10.1007-3-540-48171-0_djvu.txt. Дата звернення: 17.05.2025.
42. RITCH, J. Synthesis and Coordination Chemistry of Cyclic Seleno- and Telluroureas. *Physical Sciences Reviews* [Online]. 2018. doi: 10.1515/psr-2017-0128
43. SINGH, F. V.; WIRTH, T. Selenium and Tellurium Electrophiles in Organic Synthesis. *Physical Sciences Reviews* [Online]. 2018. doi: 10.1515/psr-2017-0131

44.MIGALINA, Yu. V.; STANINETS, V. I.; LENDEL, V. G.; BALOG, I. M.; PALYULIN, V. A.; KOZ'MIN, A. S.; ZEFIROV, N. S. Organic compounds of selenium and tellurium - I. Reaction of selenium tetrahalides with 1,5 and 1,6-diolefins and their derivatives. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1977, **13**(1), 49-53. <https://doi.org/10.1007/BF00479868>

45.LENDEL, V. L.; MIGALINA, Yu. V.; GALLA, S. V.; KOZ'MIN, A. S.; ZEFIROV, N. S. Organic compounds of selenium and tellurium - II. Synthesis of benzo[b]selenophene derivatives by reaction of dibenzal- and benzalacetone with selenium tetrabromide. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1977, **13**(10), 1072-1074. <https://doi.org/10.1007/BF00480139>

46.MIGALINA, Yu. V.; STANINETS, V. I.; LENDEL, V. G.; KOZ'MIN, A. S.; ZEFIROV, N. S. Synthesis of halo derivatives of 2-selenaadamantane. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1977, **13**(12), 1303-1305. <https://doi.org/10.1007/BF00469889>

47.MIGALINA, Yu. V.; LENDEL, V. G.; KOZ'MIN, A. S.; ZEFIROV, N. S. Synthesis of a new heterocyclic system – Selenathietane. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1978, **14**(5), 584. doi: 10.1007/BF00673348

48.MIGALINA, Yu. V.; GALLA-BOBYK, S. V.; LENDEL, V. G.; STANINETS, V. I. Reactions of produced phenylacetylene with tetrachloride and tetrabromselenium in a two-phase system. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1981, **17**(9), 1283.

49.MIGALINA, Yu. V.; SANI, A. Yu.; BALOG, I. M.; PETRUS, V. V.; ERSHOVA, I. I.; LENDEL, V. G. Reactions of N-substituted

allylacetic acid amides with selenium and tellurium tetrahalides. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1989, **25**(6), 610-612. <https://doi.org/10.1007/BF00470015>

50.LENDEL, V. G.; PAK, V. I.; PETRUS, V. V.; KIYAK, M. Yu.; MIGALINA, Yu. V. Preparative synthesis of benzo[b]thio-(seleno,telluro)phene derivatives. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1990, **26**(10), 1106-1109. <https://doi.org/10.1007/BF00472178>

51.LENDEL, V. G.; PAK, B. I.; BALOG, I. M.; KIYAK, M. V.; MIGALINA, Yu. V. Electrophilic reactions of group six element halides. 11. Synthesis of the condensed system selen (tellur) azino-[2, 3-g, h] carbazole. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1990, **26**(1), 108-110. <https://doi.org/10.1007/BF00506860>

52.LENDEL, V. G.; SANI, A. Yu.; MIGALINA, Yu. Yu.; PAK, B.I.; BALOG, I. M. Synthesis of perhydro-1,4-selenazines and perhydro-1,4-tellurazines containing a sulfamide group. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1989, **25**(4), 474-476. <https://doi.org/10.1007/BF00480769>

53.SLIVKA, M.; KOROL, N. Synthesis of mononuclear heterocycles via electrophilic cyclization. *Monatshefte fur Chemie*. 2022, **153**, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s00706-021-02869-6>

54.SLIVKA, M.; ONYSKO, M. The Use of Electrophilic Cyclization for the Preparation of Condensed Heterocycles. *Synthesis*. 2021, **53**(19), 3497-3512. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1706036>

55. ANDRADE, V. S.; MATTOS, M. C. N-Halo Reagents: Modern Synthetic Approaches for Heterocyclic Synthesis. *Synthesis*. 2019, **51**(09), 1841-1870. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1611746>

56. GODOI, B.; SCHUMACHER, R. F.; ZENI, G. Synthesis of Heterocycles via Electrophilic Cyclization of Alkynes Containing Heteroatom. *Chem Rev.* 2011, **111**(4), 2937-2980. <https://doi.org/10.1021/cr100214>

57. RODRIGUEZ, F.; FANANAS, F. J. In Handbook of Cyclization Reactions. Ma, S., Ed.; Wiley-VCH: New York, 2010, **2**, 951.

58. BRAVERMAN, S.; PECHENICK-AZIZI, T.; HUGO, E.; MILON SPRECHER G. Synthesis and Reactivity of Divinylselenium Dichlorides and Dibromides. *Synthesis*. 2011, **4**, 577-584. doi: 10.1055/s-0030-1258395

59. SRELEMNIDEAS, V.; CHERKINSKY, M.; KALENDAR, Y.; RANJAN, J.; SPRECHER, M.; GOLDBERG, I. Sapyenr thesis of Water-Soluble Vinyl Selenides and Their High Glutathione Peroxidase (GPx)-Like Antioxidant Activity. *Synthesis*. 2014, **46**, 0119-0125. doi: 10.1055/s-0033-1338555

60. PAEGLE, E.; BELYAKOV, S.; ARSENYAN, P. An Approach to the Selenobromination of Aryl(thienyl)alkynes: Access to 3-Bromobenzo[b]selenophenes and Selenophenothiophenes. *Eur. J. Org. Chem.* 2014, **18**, 3831-3840. doi: 10.1002/ejoc.201402095

61. LOPES, E. F.; PENTEADO, F.; THUROW, S.; PINZ, M.; REIS, A.; 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

62. ARSENYAN, P.; VASILJEVA, J.; DOMRACHEVA, I.; KANEPE-LAPSA, I.; GULBE, A. Selenopheno[2,3-f]coumarins: a novel scaffold with antimetastatic activity against melanoma and breast cancer. *New J. Chem.* 2019, **43**, 11851–11864. doi: 0.1039/C9NJ01682A

63. ARSENYAN, P.; VASILJEVA, J.; BELYAKOV, S. Synthesis and molecular structure of the methyl ester of 3-bromo-2-(2-hydroxy-2-propyl)-7-oxo-7H-selenolo[2,3-f]chromene-8-carboxylic acid. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 2011, **47**(2), 237–241. doi:10.1007/s10593-011-0746-8

64. ARSENYAN, P.; VASILJEVA, J.; SHESTAKOVA, I.; DOMRACHEVA, I.; JASCHENKO, E.; ROMANCHIKOVA, N.; LEONCHIKS, A.; RUDEVICA, Z.; BELYAKOV, S. Selenopheno[3,2-c]- and [2,3-c]coumarins: Synthesis, cytotoxicity, angiogenesis inhibition, and antioxidant properties. *C. R. Chimie*. 2015, **18**, 399–409. doi: 10.1016/j.crci.2014.09.007

65. PAEGLE, E.; BELYAKOV, S.; PETROVA, M.; LIEPINSH, E.; ARSENYAN, P. Cyclization of Diaryl(hetaryl)alkynes under Selenobromination Conditions: Regioselectivity and Mechanistic Studies. *Eur. J. Org. Chem.* 2015, **20**, 4389–4399. doi: 10.1002/ejoc.201500431

66. ARSENYAN, P.; VASILJEVA, J.; SHESTAKOVA, I.; DOMRACHEVA, I.; BELYAKOV, S. The synthesis and cytotoxic properties of seleno-pheno[3,2-c]- and selenopheno[2,3-c]quinolones. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 2014, **49**, 1674–1680. doi: 10.1007/s10593-014-1419-1

67. ARSENYAN, P.; RUBINA, K.; DOMRACHEVA, I. Synthesis and cytotoxicity of aminomethylselenopheno[3,2-b]thiophene sulfonamides. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 2016, **52**(8), 555–558. doi: 10.1007/s10593-016-1930-7

68. ARSENYAN, P.; VASILJEVA, J.; BELYAKOV, S.; LIEPINSH, E.; PETROVA, M. Fused Selenazolinium Salt Derivatives with a Se–N⁺ Bond: Preparation and Properties. *Eur. J. Org. Chem.* 2015, **26**, 5842–5855. doi: 10.1002/ejoc.201500582

69. VASILJEVA, J.; ARSENYAN, P. Synthesis of Se–N⁺ and Te–N⁺ bond-containing heterocycles. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 2017, **53**(10), 1061–1067. doi: 10.1007/s10593-017-2171-0

70. SLIVKA, M.; KOROL, N.; RUSYN, I.; LENDEL, V. Synthesis of [1,3]thiazolo[3,2-b][1,2,4]triazol-7-ium and [1,2,4]triazolo[5,1-b][1,3]thiazin-4-ium salts via regioselective electrophilic cyclization of 3-[(2-alken-1-yl)sulfanyl]-4H-1,2,4-triazoles. *Heterocycl. Commun.* 2015, **21**(6), 397–401. doi: 10.1515/hc-2015-0158

71. РУСИН, І. Ф.; СЛИВКА, М. В.; ЛЕНДЄЛ, В. Г. Дослідження регіоселективності взаємодії 3-(2-метил-2-пропеніл)-3-тіо-4,5-дифеніл-1,2,4-триазолу з тетрагалогенідами селену і телуру. *Журнал органічної та фармацевтичної хімії*. 2010, **8**(1), 67–70.

72. ГАЛЕГА, О. В.; ПОВІДАЙЧИК, М. В.; КОМАРОВСЬКА-ПОРОХНЯВЕЦЬ, О. З.; ОНИСЬКО, М. Ю.; СУХАРЕВ, С. М. Синтез та антимікробна активність слено(меркурій)галогеновмісних похідних бензотіазолу. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2023, **1**(49), 39-44. doi: 10.24144/2414-0260.2023.1.39-44

73. КУТ, Д. Ж.; КУТ, М. М.; ОНИСЬКО, М. Ю.; ПАНТЬО, В. В.; ДАНКО, Е. М.; КОВАЛЬ, Г. М. Протимікробна активність лінійних халькогенофункціоналізованих похідних тіазоло[2,3-*b*]хіназолінію. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2024, **2**(52), 59-66. doi: <https://doi.org/10.24144/2414-0260.2024.2.59-66>

74. КУТ, Д. Ж.; КУТ, М. М.; ОНИСЬКО, М. Ю.; БАЛОГ, І. М.; ЛЕНДЄЛ, В. Г. Халькогенування *n*-алкенільних похідних 2-тіоксо-2,3-дигідрохіназолін-4(1*h*)-ону. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2021, **1**(45), 90-94. Джерело: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/58599>

75. KUT, D. Z.; KUT, M. M.; OSTAPCHUK, E. M.; ONYSKO, M. Yu.; 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, and Silicon and the Related Elements*. 2024, **199**(7-9), 675–682. <https://doi.org/10.1080/10426507.2024.2416210>

76. KUT, D. Z.; KUT, M.; KOMAROVSKA-POROKHNYAVETS, O.; KURKA, M.; ONYSKO, M.; LUBENETS, V. Antimicrobial Activity of Halogen- and Chalcogen-Functionalized Thiazoloquinazolines. *Letters in Drug Design and Discovery*. 2024, **21**(13), 2490–2496. doi: 10.2174/1570180820666230726160348

77.Kulya, D. Y.; KUT, D. Z.; KUT, M. M.; MARIYCHUK, R. T.; ONYSKO, M. Y. Regioselectivity of halo- and chalcogen-induced cyclization of diallylquinazolin-4-one. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2024, **32**(4), 837-843. doi: 10.15421/jchemtech.v32i4.316035

78.PETRAGNANI, N.; COMASSETO, J. V. Tellurium Reagents in Organic Synthesis. *Recent Advances*. Part 2. *Synthesis*. 1991, **1991**(11), 897-919. doi: 10.1055/s-1991-26605

79.PETRAGNANI, N.; COMASSETO, J. V. Tellurium Reagents in Organic Synthesis; Recent Advances. Part 1. *Synthesis*. 1991, **1991**(10), 793-817. doi: 10.1055/s-1991-26577

80.SAKTHIVEL, K.; GANA, R. J.; SINGH, F. V. Chapter Three - Recent advances in the synthesis and reactions of tellurium heterocycles. *Advances in Heterocyclic Chemistry*. 2025, **146**, 151-210. <https://doi.org/10.1016/bs.aihch.2025.01.005>

81.KUT, M. M.; ONYSKO, M. Y. Synthesis of functionalized azolo(azino)quinazolines by electrophilic cyclization (microreview). *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 2021, **57**(5), 528–530. <https://doi.org/10.1007/s10593-021-02937-z>

82.MIGALINA, Yu. V.; BALOG, I. M.; LENDEL, V. G.; KOZ'MIN, A. S.; ZEFIROV, N. S. Reactions of tellurium tetrahalides with 1,5- and 1,6-diolefins and their derivatives. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1978, **14**(9), 976–979. <https://doi.org/10.1007/BF00509553>

83.LAITALAINEN, T.; SUNDBERG ROLF UGGLA, M. R.; BERGMAN, J. Stereoselective synthesis, molecular structure and NBO analyses of cis-3,5-di(chloromethyl)-1,4-oxatellurane(IV)

4,4=dichloride. *Polyhedron*. 1991, **16**(14), 2441-2445. doi: S0277-5387(96)00572-4

84.MISRA, S.; CHAUHANA, A. K. S.; SRIVASTAVA, R. C.; BUTCHER, R. J.; DUTHIE, A. Electrophilic addition/substitution of an alkynyl methyl ketone with tellurium tetrahalides: A novel synthetic approach to telluracyclopentenones. *Journal of Organometallic Chemistry*. 2017, **832**, 36-41. doi: 10.1016/j.jorgchem.2017.01.012

85.GUPTA, A.; FLYNN, B. L. Linear and Angular Heteroacenes from Double-Electrophilic Cyclization (DEC) and DEC-Reductive Elimination of Diynes. *Org. Lett.* 2017, **19**(8), 1939-1941. <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.7b00265>

86.OKUMA, K.; YAHATA, S.; NAGAHORA, N.; SHIOJI, K. Reaction of Acetophenone Hydrazones with TeCl₄: Novel Formation of 2,5-Diaryltellurophenes and Benzotellurophenes. *Chemistry Letters*. 2017. **46**(3), 405–407. <https://doi.org/10.1246/cl.161102>

87.КУТ, М. М.; ОНИСЬКО, М. Ю.; ЛЕНДЕЛ, В. Г. Телуроциклізація конденсованих п-алкенільних похідних 4-оксопіримідин-2-тіону. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2018, **2**(40), 46-48. doi: 10.24144/2414-0260.2018.2.46-48

88.KUT, D. Z.; KUT, M. M.; ONYSKO, M. Yu.; 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. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2021, **6**, 40–44. <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2021-139-6-40-44>

89. КУЛЯ, Д. Ю.; КУТ, Д. Ж.; КУТ, М. М.; ОНИСЬКО, М. Ю. Комплекси тетрагалогенідів телуру з 3-аліл-2-(2-метилтіо)хіназолін-4(3h)-оном. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2024, **1**(51), 70-75. doi: 10.24144/2414-0260.2024.1.70-75

90. КРИВОРУЧКО, А. Р.; КУТ, Д. Ж.; КУТ, М. М.; КРИВОВ'ЯЗ, А. О. Взаємодія 4-(алілокси)-5,6-диметил-2-(тіофен-2-іл)тієно[2,3-d]піримідину з телуровмісними електрофільними реагентами. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2024, **2**(52), 47-52. doi: 10.24144/2414-0260.2024.2.47-52

91. SLIVKA, M.; KOROL, N.; PANTYO, V.; BAUMER, V.; LENDEL, V. Regio- and stereoselective synthesis of [1,3]thiazolo[3,2-b][1,2,4]triazol-7-ium salts via electrophilic heterocyclization of 3-S-propargylthio-4H-1,2,4-triazoles and their antimicrobial activity. *Heterocyclic Communications*. 2017, **23**(2), 109–113. Джерело: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/hc-2016-0233/html>

92. SLIVKA, M.; FIZER, M.; MARIYCHUK, R.; OSTAFIN, M.; MOYZESH, O.; KOVAL, G.; HOLOVKO-KAMOSHENKOVA, O.; RUSYN, I.; LENDEL, V. Synthesis and Antimicrobial Activity of Functional Derivatives of thiazolo[2,3-c][1,2,4]triazoles. *Letters in Drug Design and Discovery*. 2022, **19**(9), 791–799. Джерело: <https://www.eurekaselect.com/article/120070>.

93. POVIDAICHYK, M. V.; SHISHKINA, S. V.; OSTAPCHUK, E. M.; ONYSKO, M. Y. Unexpected Tellurohalogenation of Terminal N-Alkynyl (Alkenyl) Derivatives of 4-Functionalized Pyrazoles. *Chemistry Open*. 2025, Early View Online Version. <https://doi.org/10.1002/open.202400486>

94. POVIDAICHYK, M. V.; OSTAPCHUK, E. M.; ONYSKO, M. Yu. Regio- and stereoselective synthesis of 5-halogeno(tetrachlorotelluro)methylidene-1-ethoxycarbonyl-5,6,7,8-tetrahydropyrazolo[1,2-a]pyridazinium salts. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2025, **2**, 105–111. Джерело: <https://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHHT/2025/2/Povidaichyk.pdf>

95. FIZER, M.; SLIVKA, M.; MARIYCHUK, R.; BAUMER, V.; Lendel, V. 3-Methylthio-4-phenyl-5-phenylamino-1,2,4-triazole hexabromotellurate: X-ray and computational study. *Journal of Molecular Structure*. 2018, **1161**, 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.02.054>

96. 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. *Journal of Molecular Structure*. 2021, **1235**, 130227. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130227>

97. 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. *Journal of Molecular Structure*. 2021, **1241**, 130632. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130632>

98. ФІЗЕР М.М., СІДЕЙ В.І. Підбір оптимального базисного набору для моделювання гексабромотелурат аніону. *Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія)*. 2021, **1**(45), 53-57. doi: 10.24144/2414-0260.2021.1.53-57

99. FIZER, M.; SLIVKA, M.; SIDEY, V.; BAUMER, V. Efficient synthesis of substituted [1,3]thiazolo[3,2-b][1,2,4]triazol-7-ium hexabromotellurates. *Journal of Organometallic Chemistry*. 2021, **952**, 122044. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2021.122044>
100. 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. *Journal of Molecular Structure*. 2024, **1295**(2), 136632. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.136632>