

УДК 547.558

АЗААНАЛОГИ КИСЛОРОДНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ
И НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ СЕЛЕНА**Деркач Н. Я., Левченко Е. С.**

В обзоре приводятся данные о методах синтеза, физических и химических свойствах азааналогов селеноксидов, селенонов, производных селениновых и селенистой кислот, диоксида селена — соединений, содержащих формально двойные связи селен—азот.

Библиография — 56 ссылок.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Введение	862
II. Селемиды	863
III. Селеноксимиды	867
IV. Хлорангидриды арен-N-R-имидоселениновых кислот	867
V. Дигалогенангидриды N-R-имидоселенистой кислоты	870
VI. Азааналоги диоксида селена	873

I. ВВЕДЕНИЕ

Для органической и элементоорганической химии в последние 2—3 десятилетия характерно интенсивное развитие исследований химии азааналогов органических и неорганических кислородных соединений элементов 5-й и 6-й групп периодической системы, образующихся при формальной замене кислородных атомов в группировке $\text{Э}=\text{O}$ или $\text{Э}(=\text{O})_2$ ($\text{Э}=\text{P, As, Sb, Bi, S, Se, Te}$) на иминогруппы $=\text{NR}$. Интерес к соединениям, содержащим группировки $\text{Э}=\text{Э}(=\text{O})$ ($=\text{NR}$) или $\text{Э}(=\text{NR})_2$, обусловлен тем, что они часто обладают свойствами, не присущими их кислородным аналогам. Кроме того, варьирование характера радикала у имидного атома азота в пределах каждого отдельного класса соединений ведет не только к широкому структурному разнообразию, но и к существенному изменению свойств. Особенно значительные успехи достигнуты в химии имидосоединений фосфора и серы — в настоящее время это обширные самостоятельные разделы химии фосфор- и сераорганических соединений, что несомненно стимулировало исследования химии имидосоединений других элементов, в частности, селена.

Первые представители имидосоединений селена — N-арилсульфонилселенимиды — получены в 1962 г., однако более интенсивные и систематические исследования в этой области начаты в 70-е годы.

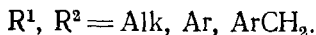
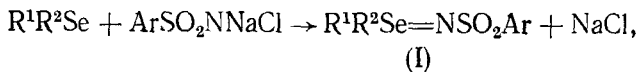
В настоящее время известны азааналоги селеноксидов, селенонов, производных селениновых и селенистой кислот и диоксида селена. Устойчивой номенклатуры для этих классов соединений селена пока еще нет. В настоящем обзоре мы будем придерживаться номенклатуры, принятой для аналогичных соединений серы, которая, как нам представляется, наиболее соответствует правилам IUPAC:

- $\text{R}^1\text{R}^2\text{Se}=\text{NR}$ — селенимиды,
 $\text{R}^1\text{R}^2\text{Se}(\text{O})=\text{NR}$ — селеноксимиды,
 $\text{R}^1\text{Se}(=\text{NR})\text{Hal}$ — галогенангидриды арен-N-R-имидоселениновых кислот,
 $\text{Hal}_2\text{Se}=\text{NR}$ — дигалогенангидриды N-R-имидоселенистой кислоты
 N-R-имидоселенидогалогениды,
 $\text{RN}=\text{Se}=\text{NR}^1$ — производные диимида селена,
 $\text{RN}=\text{Se}=\text{O}$ — селениламини.

II. СЕЛЕНИМИДЫ

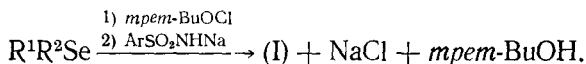
Из производных азааналогов селеноксидов — N-R-селенимидов — в настоящее время известны N-арилсульфонил- и N-карбацилселенимиды $R^1R^2Se=NR[R=SO_2R^3$ (I), COR^3 (II)]. Методы синтеза N-R-селенимидов и их сернистых аналогов — соответствующих N-R-сульфимидов [1], как правило, подобны, однако между ними имеются и существенные отличия.

Общим и простейшим методом синтеза N-арилсульфонилселенимидов (I) является реакция окислительного иминирования селенидов N-натрий-N-хлорамидами аренсульфокислот [2—6]:

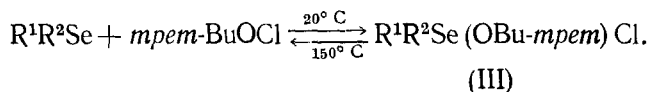


Реакция идет в ацетонитриле [6], диметилформамиде [3, 5], смеси ацетонитрила с метанолом [3], метаноле [4], как правило, при 20°С и с применением безводных N-натрий-N-хлорамидов аренсульфокислот.

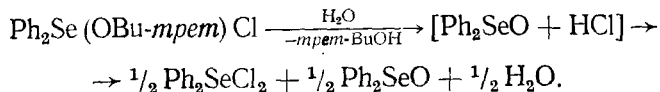
Селенимиды (I) получают также и при последовательном действии *трет*-бутилгипохлорита и N-натрийаренсульфамидов на селениды при —25...—40°С в ацетонитриле или хлороформе [7, 8] или при 20°С в четыреххлористом углероде [9]:



Аналогичная реакция применяется и для получения N-R-сульфимидов [10]. Предполагается, что при этом промежуточно образуются *трет*-бутоксихлорсульфураны. При действии же на диарил- или арилалкилселениды *трет*-бутилгипохлорита образующиеся *трет*-бутоксихлорселенаны (III) выделены и охарактеризованы [9, 11]:



Соединения (III) — бесцветные кристаллические вещества, растворимые в органических растворителях (бензоле, хлороформе, хлористом метиле, 1,2-дихлорэтане), при нагревании до 130—140°С в вакууме возгоняются, но при 150°С при атмосферном давлении разлагаются на исходные селениды и *трет*-бутилгипохлорит. Связь Se—Cl в соединениях (III) ковалентна, удельная электропроводность их в дихлорэтане практически не отличается от электропроводности растворителя [9]. Соединение (III), $R^1=R^2=Ph$, при непродолжительном действии воды при 20°С практически не гидролизует, но при кипячении в течение 2—3 ч разлагается с образованием смеси дифенилселеноксид и дифенилселендихлорида (последний образуется при реакции дифенилселеноксид с хлористым водородом):

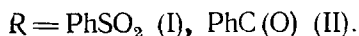
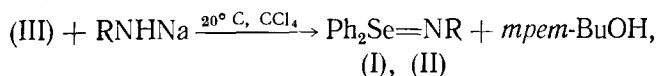


При условии удаления из реакционной смеси хлористого водорода (при длительном хранении в вакуум-эксикаторе над едким кали) получается только дифенилселеноксид [9].

Соединение (III), $R^1=R^2=Ph$ образуется также при взаимодействии дифенилселендихлорида с *трет*-бутилгипохлоритом, однако эта реакция обратима и идет в сторону образования селена только при удалении из реакционной смеси хлора [9]:

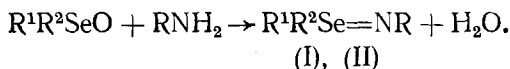


Алкоксихлорселенаны (III) образуются и при взаимодействии R^1R^2 -селендихлоридов с алкоголями в молярном соотношении 1:1 [12]. При действии на соединения (III) натриевых производных бензолсульфамида или бензамида получают соответствующие N-R-селенимиды (I) или (II) [9]:



Однако для препаративного получения соединений (I) или (II) нет необходимости выделять соединения (III), реакцию можно проводить в одну стадию, как указано выше.

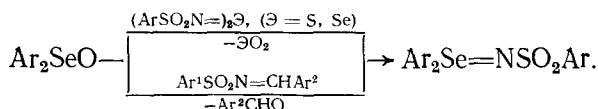
Следующим сравнительно простым и общим методом синтеза N-R-селенимидов (I), (II) является реакция селеноксидов с амидами сульфоновых и карбоновых кислот [5, 7, 13—15]:



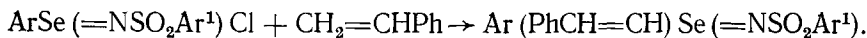
Условия реакции зависят от характера амидов и заместителей у атома селена. Дибензилселеноксид, метиларилселеноксиды реагируют с аренсульфонамидами и амидом трифторуксусной кислоты в хлороформе, ацетонитриле или бензоле при нагревании [5, 7, 13, 15] или при условии удаления воды даже при $20^\circ C$ [7, 14]. Амиды уксусной или хлоруксусной кислот в этих условиях в реакцию не вступают. При кипячении дифенилселеноксид с *n*-нитробензамидом соответствующий N-*n*-нитробензоилселенимид образуется с незначительным выходом [13]. Реакция диарилселеноксидов с бензамидом или трихлорацетамидом проводилась в присутствии уксусного ангидрида [5].

При нагревании дифенилселеноксид с ароматическими аминами в присутствии водоотнимающих средств, а также при взаимодействии дифенилселендихлорида с ароматическими аминами в присутствии триэтиламина образуются дифенилселенид и соответствующие азобензолы [16].

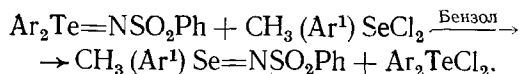
N-Арилсульфонилселенимиды (I) легко получают при взаимодействии диарилселеноксидов с бис-(арилсульфонил)диимидами серы или селена [17], а также с альдимидами [18]:



Хлорангидриды арен-N-арилсульфонилимидоселениновых кислот реагируют со стирилом, образуя Se-арил-Se-стирил-N-арилсульфонилселенимиды [19]:

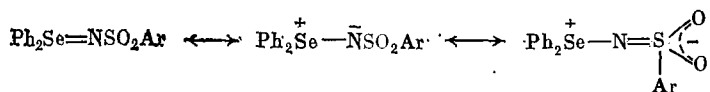


Se-Метил-Se-арил-N-фенилсульфонилселенимиды получают при взаимодействии метиларилселендихлоридов с Те, Те-диарил-N-фенилсульфонилтеллуридами [20]:

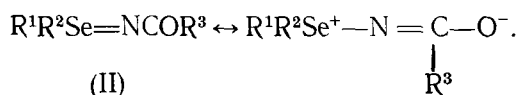


Селенимиды (I) и (II) — бесцветные кристаллические сравнительно устойчивые соединения. По данным рентгеноструктурного анализа соединений $Ph_2Se=NSO_2Ph$ [21] и $Ph_2Se=NSO_2C_6H_4CH_3$ -*n* [22] длина связи селен — азот (1,82 и 1,787 Å) больше длины расчетной двойной связи селен — азот (1,628 Å), а также простой связи селен — азот с высокой степенью двоевязанности, например, в $Ph_3P=NSeCl_3$ (1,680 Å) и $(Ph_3P=N)_2SeCl_2$ (1,725 Å [22]), в то же время связи сера (VI) — азот (1,60 Å [21] и 1,598 Å [22]) короче простой связи (1,69 Å [22]).

На основании результатов рентгеноструктурного анализа и ИК-спектров соединений (I) и (II) (с применением изотопозамещения ^{15}N) проведено отнесение полос связи $\text{Se}=\text{N}$: $550\text{--}590\text{ см}^{-1}$ [5], 572 см^{-1} [22], 675 см^{-1} [23]; $\nu(\text{S(VI)}-\text{N})$ — $930\text{--}950\text{ см}^{-1}$ [5, 22, 23] (в работах [14, 24] $\nu(\text{Se}=\text{N})$ в соединениях (I) отнесены к области 890 см^{-1} [14] и $930\text{--}950\text{ см}^{-1}$ [24], а $\nu(\text{S(VI)}-\text{N})$ к области $672\text{--}677\text{ см}^{-1}$ [24]. Результаты этих исследований дают основание предположить, что потеря двойного характера связи $\text{Se}=\text{N}$ и существенная двоевязанность связи $\text{S(VI)}-\text{N}$ в соединениях (I) обусловлены высоким вкладом резонансных структур с положительным зарядом на атоме селена [5, 21—24]:



О значительном вкладе «илидной» структуры в селенимидах (II) свидетельствует заметный сдвиг в длинноволновую область $\nu(\text{Se}=\text{N})$ (470 см^{-1} [5]) и $\nu(\text{C}=\text{O})$ ($1580, 1535\text{ см}^{-1}$ [5, 9], $1600\text{--}1585\text{ см}^{-1}$ [15]).

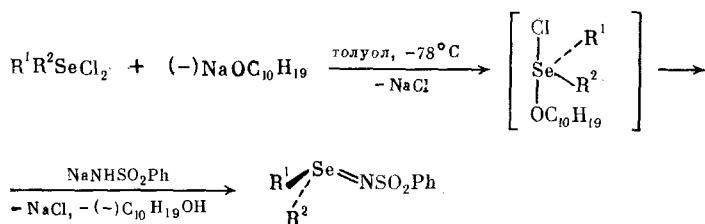


Вследствие этого изображение связи селен — азот в соединениях (I) и (II) как семиполярной $\text{Se} \rightarrow \text{N}$ или $\text{Se}^+ - \text{N}$ является, очевидно, более объективным (см. [5]).

В УФ-спектрах N-тозилселенимидов (I) имеется максимум поглощения в области $223\text{--}226\text{ нм}$ ($\lg_{\text{max}} 4,04\text{--}4,49$), N-ацилселенимиды (II) поглощают в области 226 нм ($\lg_{\text{e}} 4,41$) и 259 нм ($\lg_{\text{e}} 3,98$) [5]. На основании изучения УФ-спектров соединений (I), (II), содержащих различного рода заместители в арильных радикалах у атома селена, предполагается, что K-полосы обусловлены взаимодействием π -электронов ядра с электронами пара-заместителей [5, 8, 15]. Величины ρK_{a} селенимидов (I) (ацетонитрил, 25°C) коррелируются с σ -константами пара-заместителей в арильном ядре. Наилучшая корреляция достигается при использовании обычных усредненных величин σ -констант, что свидетельствует о сравнительно небольшом влиянии эффекта прямого полярного сопряжения заместителей на основность селенимидов [8].

В спектрах ПМР Se-арил-Se-бензил-N-арилсульфонилселенимидов диастереотопные протоны группы CH_2 в CHCl_3 , CH_2Cl_2 , CCl_2CCl_2 проявляются в виде АВ-системы. Форма линий сигналов не изменяется при нагревании до 140°C , что свидетельствует о высоком барьере инверсии пирамиды селена [8].

При последовательном действии на селендихлориды L-(—)-метилата натрия и Na-производного бензолсульфамида получены оптически активные селенимиды (I). Предполагается, что обогащение одним из стереоизомеров происходит на стадии образования соединения, четырехкоординированного селена [12]:

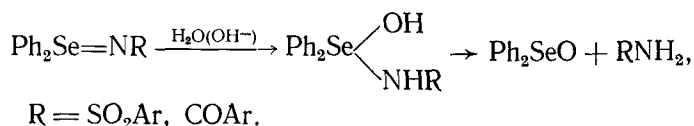


Асимметрическая индукция наблюдается также и при взаимодействии несимметричных селеноксидов с (+)- или (—)-10-камфорсульфамидом

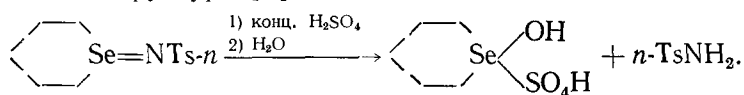
[14, 18], а также с (+)- или (—)-камфорсульфонилбензальдимином [18].

Ковалентный радиус селена (1,16 Å) больше ковалентного радиуса серы (1,02 Å), длина связи Se=N (1,787—1,82 Å) [21, 22] больше длины связи S=N (1,628—1,636 Å) [1], что и обуславливает большую степень поляризации связи селен—азот. Это подтверждается и сравнением спектров α -протонов в спектрах ПМР селенимидов находится в более длиннопольной области, чем у соответствующих сульфимидов [5].

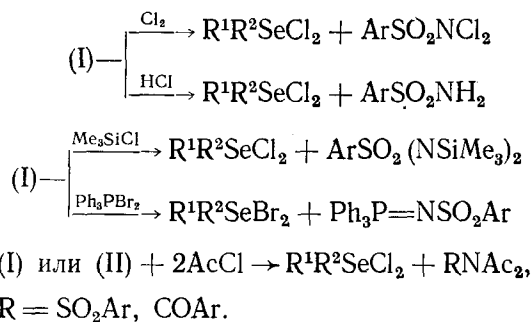
Различие в длинах связей $\text{Э}=\text{N}$ ($\text{Э}=\text{S}, \text{Se}$) и степени их поляризованности сказывается и на сравнительной реакционной способности селен- и сульфимидов. В отличие от N-арилсульфонилсульфимидов [1], селенимиды (I) значительно менее устойчивы к гидролизу. Соединения (I) и (II) не изменяются при действии разбавленных кислот и щелочей при 20°С, но при нагревании или при действии концентрированной щелочи в спирте быстро гидролизуются до соответствующих селеноксида и аренсульфамида [3, 4]. При гидролизе или при получении селенимидов из селеноксидов и амидов предполагается образование промежуточной гидратированной формы [5, 6]. Это и обуславливает, как правило, применение безводных N-натрий-N-хлорамидов аренсульфокислот при синтезе селенимидов (I).



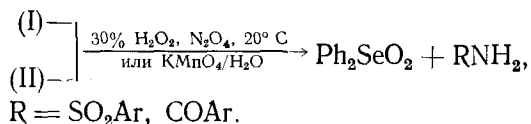
Взаимодействием N-тозил-Se,Se-пентаметилселенимида с серной кислотой (—50°С) и последующим гидролизом получено соединение селенурановой структуры [5]:



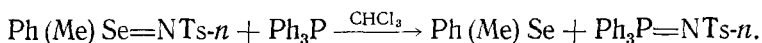
Связь Se=N в селенимидах очень легко расщепляется при действии хлора, хлористого водорода [4], ацетилхлорида, триметилхлорсилана или дибромид трифенилфосфина [25]:



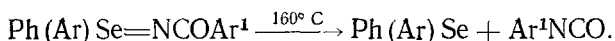
При действии на соединение (I), $\text{R}^1=\text{R}^2=\text{Ph}$, 30%-ного пероксида водорода в уксусной кислоте при 20°С образуется гидрат исходного соединения, а соединение (II), $\text{R}^1=\text{R}^2=\text{Ph}$ в этих условиях гидролизуются до селеноксида и бензамида [5]. Селенимиды (I) и (II) 30%-ным пероксидом водорода [4, 5], двуокисью азота [4] при 20°С или водным раствором перманганата калия при кипячении [5] окисляются до соответствующих селенонов и амидов:



При взаимодействии селенимидов (I) с трифенилфосфином количественно образуются соответствующие селенид и трифенилфосфинимид [5]:



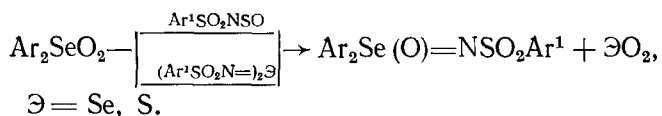
Селенимиды (II) при нагревании разлагаются до селенидов и изоцианатов [5]



При изучении кинетики термоллиза селен- и сульфимидов $\text{Ph}_2\text{Se=NCOPh}$ и $\text{Ph}_2\text{S=NCOPh}$ установлено, что первый разлагается в 300 раз быстрее, чем второй, при близких значениях энтропий активации этих реакций, что, несомненно, обусловлено более слабой связью селен — азот [5].

III. СЕЛЕНОКСИМИДЫ

Из амидопроизводных шестивалентного селена в настоящее время известны только Se,Se-диарил-N-арилсульфонилселеноксимида (IV). Соединения (IV) получают при взаимодействии диарилселенонов с N-сульфониларенсульфамидами [4, 26], а также с N,N'-диарилсульфонилдимидами селена или серы [17]:



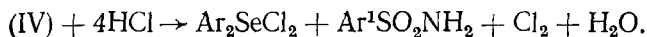
Необходимо отметить, что сульфоны с N-сульфониларенсульфамидами не реагируют.

В ИК-спектрах соединений (IV) $\nu(\text{Se=N})$ находится в области 930—910 см⁻¹. На основании тонкой структуры УФ-спектров сделан вывод, что фрагмент $\text{Se(O)(=NSO}_2\text{—)}$ имеет жесткую структуру, слабо взаимодействующую с π -системой ароматических колец [27].

Соединения (IV) не изменяются при длительном хранении на воздухе, устойчивы к действию воды при 100° С, не изменяются при действии кислот и щелочей при 20° С. Однако при длительном нагревании с 2 N раствором едкого натра они гидролизуются до диарилселенонов и аренсульфамидов.



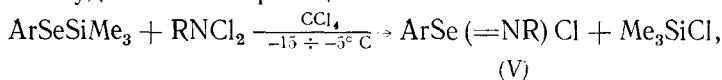
При действии сухого хлористого водорода соединения (IV) разлагаются с образованием диарилселендихлоридов, аренсульфамидов, хлора и воды.



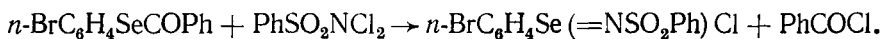
В отличие от селенимидов (I), селеноксимида (IV) с элементарным хлором не реагируют [26].

IV. ХЛОРАНГИДРИДЫ АРЕН-N-R-ИМИДОСЕЛЕНИНОВЫХ КИСЛОТ

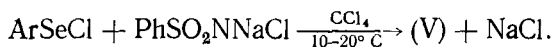
Основным методом синтеза хлорангидридов арен-N-R-имидоселениновых кислот (V) является реакция окислительного иминирования аренселененилхлоридов или производных селенолов N-галогенсоединениями. Соединения (V) очень легко образуются при взаимодействии Se-триметилсил- или Se-бензоилселенолов с N,N'-дихлорамидами аренсульфокислот, карбоновых, угольной или фосфорной кислот [19, 28—30]. Реакции идут очень легко, триметилхлорсилан или хлористый бензоил легко удаляются из реакционной смеси:



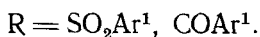
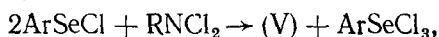
$R = \text{SO}_2\text{Ar}, \text{COAr}, \text{COOC}_2\text{H}_5, (\text{AlkO})_2\text{P}(\text{O})$.



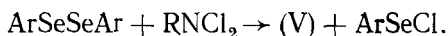
Хлорангидриды арен-N-арилсульфонилимидоселениновых кислот (V) образуются также при взаимодействии аренселененилхлоридов с N-натрий-N-хлорамидами аренсульфоокислот [19]:



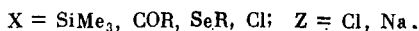
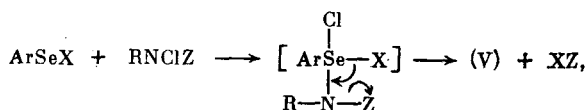
При взаимодействии аренселененилхлоридов с N,N-дихлорамидами сульфокислот и карбоновых кислот наряду с хлорангидридами (V) образуются арилселентрихлориды [19, 29]:



Диселениды также легко реагируют с N,N-дихлорамидами, образуя хлорангидриды (V) и аренселененилхлориды [19, 29]:

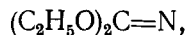
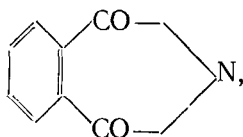
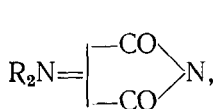
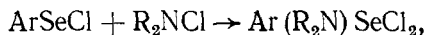


Наиболее вероятно предположить, что при взаимодействии ArSeX с N,N-дихлорамидами сначала образуются соединения четырехкоординированного селена, которые подвергаются дальнейшему превращению с образованием хлорангидридов (V):

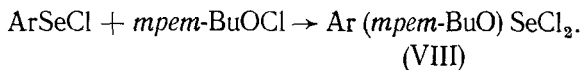
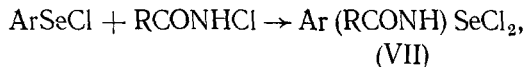


Это подтверждается изучением реакции аренселененилхлоридов с N-хлоримидами и N-моноклорамидами карбоновых кислот, *трет*-бутилгипохлоритом и др.

При взаимодействии аренселененилхлоридов с N-хлоримидами получают достаточно устойчивые соединения четырехкоординированного селена (VI) [31]:

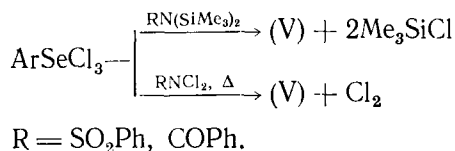


Соединения четырехкоординированного селена (VII) и (VIII) образуются при реакции аренселененилхлоридов с N-моноклорамидами карбоновых кислот [32, 33] или с *трет*-бутилгипохлоритом [11, 34]:

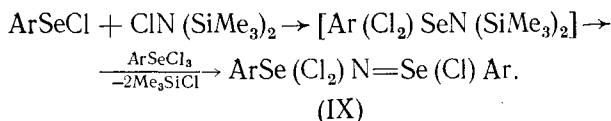


Хлорангидриды арен-N-R-имидоселениновых кислот (V) получают очень легко при действии на арилселентрихлориды бис-(триметилсилил)амидов сульфокислот или карбоновых кислот [29] или при нагревании арилселентрихлоридов с N,N-дихлорамидами [29]. Однако

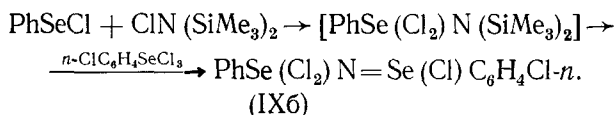
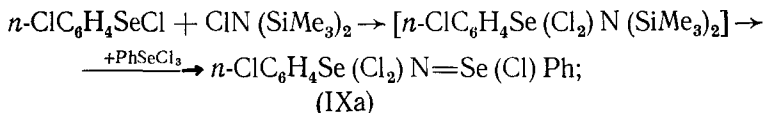
последняя реакция обратима и хлорангидриды (V) получаются только при удалении хлора из реакционной смеси.



При взаимодействии N-хлоргексаметилдисилазана с аренселененилхлоридом и арилселентрихлоридом в соотношении 1:1:1 образуются соединения, по-видимому, имеющие строение хлорангидридов арен-N-[арил(дихлор)селено]имидоселениновых кислот (IX) [35]. Приведенные выше реакции аренселененилхлоридов с N-хлоримидами и аренселентрихлоридов с *бис*-(триметилсилил)амидами дали основание предположить следующую схему реакции:



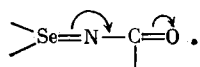
Подтверждением этой схемы и строения образующихся соединений является получение изомерных хлорангидридов (IX) в результате следующих реакций:



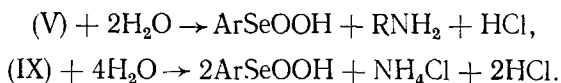
Соединения (IX) получают также и при взаимодействии N-хлоргексаметилдисилазана с бензолселененилхлоридом или фенилселентрихлоридом, но с меньшими выходами. Реакции в этих случаях идут, очевидно, сложнее [35].

Хлорангидриды N-R-имидоселениновых кислот (V), (IX) — бесцветные или светло-желтые кристаллические вещества, хорошо растворимые в хлороформе, дихлорэтано, ацетонитриле, при хранении без доступа влаги разлагаются через 3—5 суток [19, 28, 29, 35].

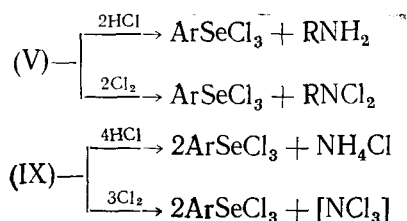
В ИК-спектрах хлорангидридов N-арилсульфонилимидоселениновых кислот (V), $\text{R} = \text{SO}_2\text{Ar}$, $\nu(\text{Se}=\text{N})$ находятся, по-видимому, в области 910—950 см^{-1} [24, 27], а для хлорангидридов N-ароилимидоселениновых кислот (V), $\text{R} = \text{COAr}$, — в области 845—870 см^{-1} [29]. Сдвиг в длинноволновую область, очевидно обусловлен делокализацией π -электронов в системе



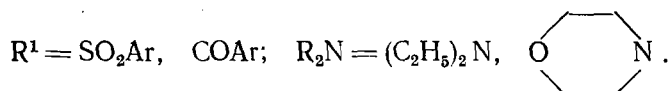
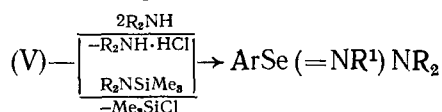
Хлорангидриды (V), (IX) легко гидролизуются до селениновых кислот и амидов [19, 28, 29, 35]:



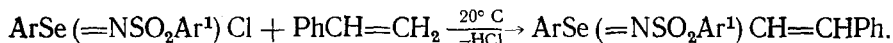
Сухим хлористым водородом или хлором соединения (V), (IX) расщепляются по связи $\text{Se}=\text{N}$ с образованием арилселентрихлоридов и амидов или N,N-дихлорамидов [19, 29, 35]:



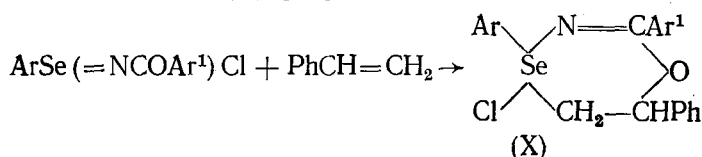
При взаимодействии хлорангидридов (V) с вторичными аминами образуются соответствующие амиды N-R-имидоселениновых кислот — бесцветные кристаллические или жидкие соединения, очень легко гидролизующиеся влагой воздуха и медленно разлагающиеся при хранении без доступа влаги [19, 29]:



Хлорангидриды арен-N-арилсульфонилимидоселениновых кислот реагируют со стирилом, образуя смеси соединений, из которых с выходом ~50% выделены Se-арил-Se-стирил-N-арилсульфонилселенимиды [19]:



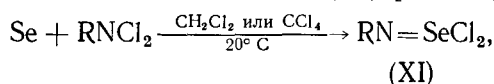
Хлорангидриды арен-N-ароилимидоселениновых кислот реагируют со стирилом по типу 1,2-1,4-циклоприсоединения с образованием аддуктов 1:1, которые, по-видимому, имеют строение производных 5,6-дигидро-4-селена-1,3-оксазинов (X) [29]

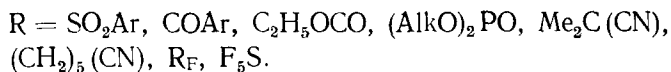


Соединения (X) — бесцветные кристаллические вещества, трудно растворимы в большинстве органических растворителей. В их ИК-спектрах присутствуют $\nu(\text{C}=\text{N})$ —1580 cm^{-1} и $\nu(\text{Se}-\text{N})$ —589 cm^{-1} и отсутствует поглощение в области 840—870 cm^{-1} , характерное для $\text{Se}=\text{N}$ связи в исходных хлорангидридах. Электропроводность насыщенных растворов соединений (X) в дихлорэтаноле или метаноле выше электропроводности растворителя на порядок или два соответственно, что указывает на вклад ионной структуры [29].

V. ДИГАЛОГЕНАНГИДРИДЫ N-R-ИМИДОСЕЛЕНИСТОЙ КИСЛОТЫ

Первые представители этого класса соединений — хлористые N-арилсульфонилимидоселенилы — получены в 1967 г. при взаимодействии селена с N,N-дихлорамидами аренсульфокислот [36]. Впоследствии установлено, что реакция окислительного иминирования селена имеет широкие границы применения. Селен аналогично реагирует с N,N-дихлорамидами сульфоновых, бензойных, диалкиловых эфиров фосфорной кислоты, N,N-дихлоруретаном, N,N-дихлоралкиламинами, N,N-дихлорперфторалкиламинами, N,N-дихлораминопентафторсерой, образуя соответствующие хлористые N-R-имидоселенилы (XI) [37—41]:

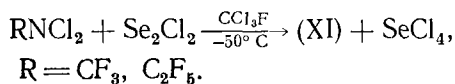




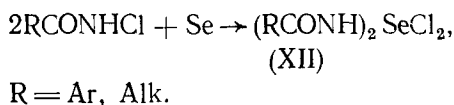
В инертных растворителях (хлористый метилен, четыреххлористый углерод, дихлорэтан и др.) реакция идет, как правило, при 20°С или с небольшим выделением тепла.

Сера реагирует с N,N-дихлорамидами и N,N-дихлораминами, как правило, аналогично [42]. Однако необходимо отметить и некоторые отличия в реакциях окислительного иминирования серы и селена. Иминирование серы облегчается в присутствии катализаторов (иода, тетраалкиламмониевых солей и др.) [42]. Селен в большинстве случаев взаимодействует с N,N-дихлорсоединениями легче, чем сера, и реакция индифферентна к действию катализаторов. При взаимодействии серы с N,N-дихлорамидами сульфиновых кислот в зависимости от соотношения реагентов и условий реакции образуются соответствующие хлористые N-R-имидотионилы или производные диимида серы [42]. При реакции селена с этими реагентами независимо от их соотношения получаются только хлористые N-R-имидоселенилы [37].

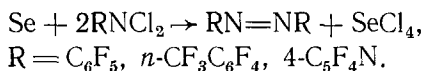
Установлено, что хлористые N-перфторалкилимидоселенилы образуются также при взаимодействии N,N-дихлорперфторалкиламинов с одноклористым селеном [39, 40]:



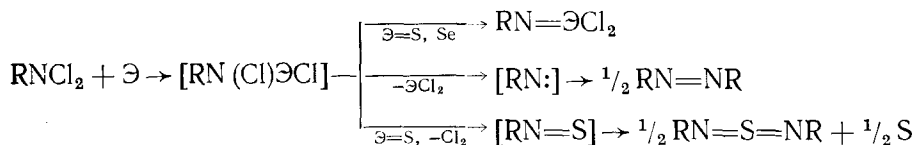
Известно, что хлористые N-R-имидотионилы $\text{Cl}_2\text{S}=\text{NCOR}$, $R=\text{Ar}$, Alk , получаются при реакции серы с N-моноклорамидами карбоновых кислот [42]. Селен также очень легко реагирует с N-моноклорамидами карбоновых кислот, однако при этом образуются производные ортоселенистой кислоты — бис-(R-карбациламидо)селендихлориды (XII) [31—33]:



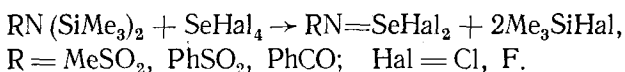
При взаимодействии селена с N,N-дихлорперафторарил- или N,N-дихлортетрафторпиридил-4-аминами образуются соответствующие азосоединения и четыреххлористый селен [39]:



Схемы реакций окислительного иминирования как селена, так и серы пока не установлены. Предполагается, что сера или селен при взаимодействии с N,N-дихлорсоединениями по радикальному или ионному механизму образуют интермедиаты $\text{RN}(\text{Cl})\text{ЭCl}$, которые в зависимости от характера R (состояния связи Э—Cl) претерпевают превращения по трем направлениям — с образованием хлористых N-R-имидотиониллов (N-R-имидоселениллов), азосоединений или производных димидов серы (последнее превращение для селена не характерно) [39]:

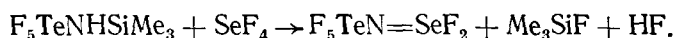


Хлористые и фтористые N-R-имидоселенилы очень легко образуются при взаимодействии четыреххлористого или четырехфтористого селена с N,N-бис-(триметилсилил)амидами [43, 44]:

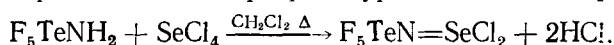


R	$\nu(\text{Se}=\text{N}) \cdot \text{см}^{-1}$	Ссылки	R	$\nu(\text{Se}=\text{N}), \text{см}^{-1}$	Ссылки
F ₃ S	1045	[40]	C ₂ F ₅	933	[41]
F ₃ Te	965	[44]	(CH ₃) ₃ C	960	[37]
ArSO ₂	980—975	[24, 37]	(CH ₂) ₄ C (CN)	950	[37]
CF ₃	962	[41]	ArCO	765—750	[38]

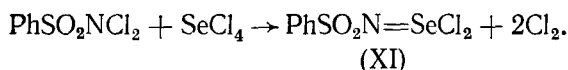
Фтористый N-пентафтортеллуриимидоселенил получен при реакции четырехфтористого селена с N-триметилсилилпентафтортеллурамином [44]:



При нагревании пентафтортеллурамина с четыреххлористым селеном образуется хлористый N-пентафтортеллуриимидоселенил [44]:

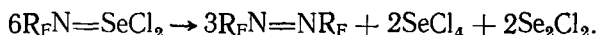


Четыреххлористый селен реагирует при нагревании с N,N-дихлорамидом бензолсульфокислоты с образованием хлористого N-фенилсульфонилимидоселенила:



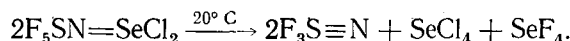
Однако реакция эта обратима и идет вправо только при удалении хлора из реакционной смеси [37].

Хлористые и фтористые N-R-имидоселенилы — бесцветные или светло-желтые малоустойчивые кристаллические вещества. Устойчивость их повышается при увеличении электроотрицательности радикала R. Из известных в настоящее время соединений этого класса наиболее устойчивы хлористые N-пентафтортеллуриимидоселенилы [44] и N-арилсульфонилимидоселенилы [36, 37]. Хлористые N-перфторалкилимидоселенилы начинают разлагаться сразу же после получения или перегонки по схеме [41]:

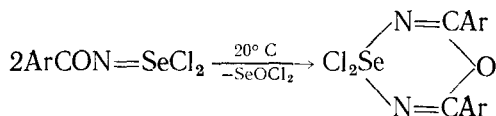


Вполне вероятно, что хлористые N-перфторарилимидоселенилы не получены из-за их крайне малой устойчивости, а не из-за иной схемы течения реакции селена с N,N-дихлорперфторариламинами [39].

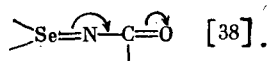
Хлористый N-пентафтортиоимидоселенил уже при комнатной температуре претерпевает следующие превращения [40, 41]:



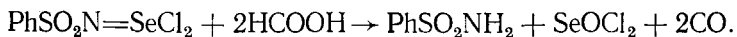
Хлористые N-ароилимидоселенилы при 20°С медленно разлагаются с выделением хлористого селенила и соединений, которые, по-видимому, имеют строение 4-дихлор-4,1,3,5-селенаоксадиазинол:



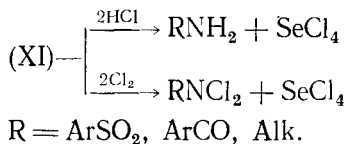
В ИК-спектрах хлористых имидоселенидов (XI) $\nu(\text{Se}=\text{N})$ изменяются в довольно широких пределах (таблица). Наиболее низкое значение $\nu(\text{Se}=\text{N})$ у хлористых N-ароилимидоселенидов, одновременно в спектрах этих соединений понижается и $\nu(\text{C}=\text{O})$ (1600 см^{-1}), что, вероятно, обусловлено делокализацией электронной плотности в группировке



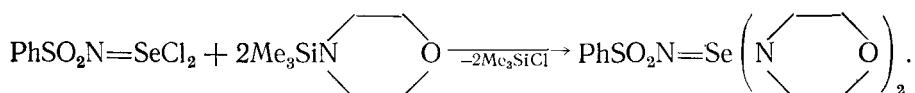
Соединения (XI) очень реакционноспособны. Они гидролизуются даже влагой воздуха с образованием амидов или аминов, селенистой кислоты и хлороводорода [37]. При ацидолизе хлористого N-фенилсульфонилимидоселенила муравьиной кислотой образуется бензолсульфамид и хлористый селенил [37]:



Соединения (XI) очень легко расщепляются по связи $\text{Se}=\text{N}$ при действии хлороводорода или хлора [37, 38]:

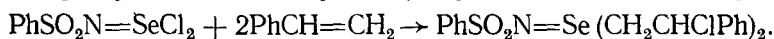


При взаимодействии хлористого N-фенилсульфонилимидоселенила с N-триметилсилилморфолином получается диморфолид N-фенилсульфонилимидоселенистой кислоты [37]:

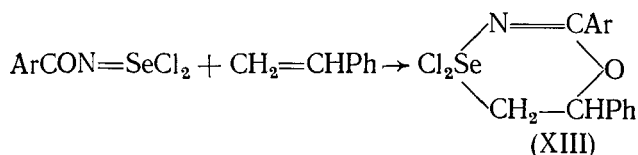


При реакции соединений (XI) с N,N-бис(триметилсилил)амидами образуются производные диимида селена [38, 45] (см. ниже).

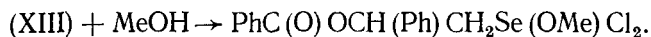
Хлористые N-R-имидоселенилы очень легко взаимодействуют с непредельными соединениями. Направление реакции зависит от природы ацильного остатка. Например, хлористый N-фенилсульфонилимидоселенил реагирует со стирилом в соотношении 1:2 с образованием Se,Se-[бис-(2-хлор-2-фенилэтил)]-N-фенилсульфонилселенимида [37]:



Хлористые N-ароилимидоселенилы реагируют с этиленовыми углеводородами в соотношении 1:1 по типу [4+2]циклоприсоединения с образованием 4,4-дихлор-5,6-дигидро-4,1,3-селенаоксазинов (XIII) [38, 46]:



Соединения (XIII) — бесцветные кристаллические вещества, трудно растворимые в большинстве органических растворителей. При действии метанола на соединение (XIII), $\text{Ar}=\text{COPh}$, получается 2-фенил-(2-бензоксиэтил) (метоксил)селендихлорид [38]:



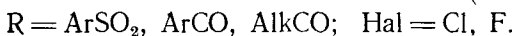
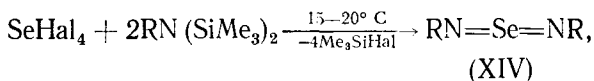
О других свойствах соединений (XIII) см. ниже.

VI. АЗААНАЛОГИ ДИОКСИДА СЕЛЕНА

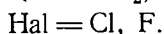
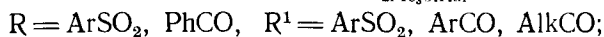
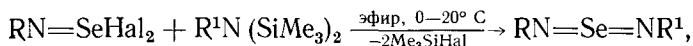
Из азааналогов кислородных соединений серы особое внимание привлекли азотистые аналоги диоксида серы — тиониламины и тиониламиниды $\text{RN}=\text{S}=\text{O}$ и производные диимида серы $\text{RN}=\text{S}=\text{NR}$. Высокая реакционная способность и препаративная доступность этих классов соединений открывает широкую перспективу использования их в органическом синтезе, о чем свидетельствуют многочисленные публикации, обзорные статьи, монографии (см. библиографию в [47]). Этим несомненно, обусловлен интерес и к азааналогам диоксида — производным диимида селена и селениламинов или селиниламинов.

1. Производные диимида селена

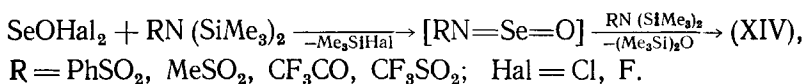
Одним из основных методов синтеза симметричных производных диимида селена (XIV) являются реакция четырехфтористого или четыреххлористого селена с *бис*-(триметилсилил)амидами сульфоновых или карбоновых кислот [43, 45, 48—50]:



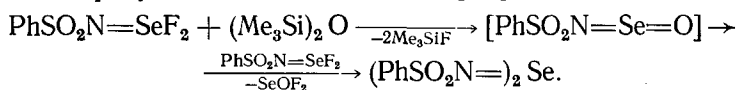
Симметричные и несимметричные производные диимида селена получают при взаимодействии гексаметилдисилиламидов с хлористыми или фтористыми N-ацилимидоселенилами [43, 45, 49]



бис-(Сульфонил)диимиды селена неожиданно получают и при взаимодействии N,N-*бис*-(триметилсилил)амидов с фтористым или хлористым селенилом [43, 51]. По аналогии с реакцией хлористого тионила [47] можно было ожидать образования соответствующих N-R-селениламидов $\text{RN}=\text{Se}=\text{O}$. Однако независимо от соотношения реагентов в результате этой реакции образуются только производные диимида селена:



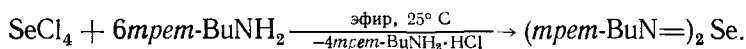
При взаимодействии фтористого N-фенилсульфонилимидоселенила с гексаметилдисилоксаном вместо ожидаемого N-селенилбензолсульфамида получается *бис*-(фенилсульфонил)диимид селена. Предполагается, что в этой реакции, как и в предыдущей, в качестве промежуточных соединений образуются N-селениламины [43]:



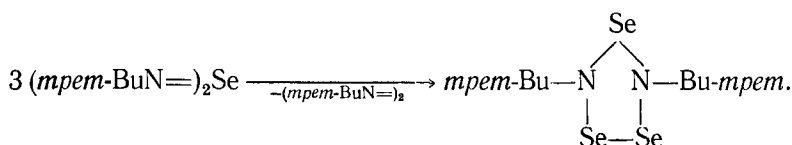
N,N-*бис*-(Триметилсилил)диимид селена получен при взаимодействии Li-гексаметилдисилазана с хлористым селенилом [51]:



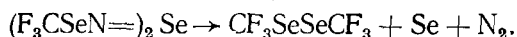
При реакции четыреххлористого селена с *трет*-бутиламином образуется *бис*-(*трет*-бутил)диимид селена [52, 53]:



Производные диимида селена (XIX) — светло-желтые кристаллические вещества, сравнительно хорошо растворимые в хлористом метиле, дихлорэтано; термически они мало устойчивы — при 20°С без доступа влаги хранятся 2—3 дня, при нагревании быстро разлагаются [18, 43, 45, 48—52]. *бис*-(*трет*-Бутил)диимид селена — жидкость, которая при комнатной температуре разлагается с образованием N,N'-ди(*трет*-бутил)-2,4,5-триселена-1,3-диазолидина — желтого кристаллического вещества [52]:

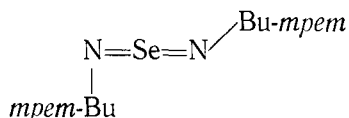


бис-(Трифторметилселено)диимид селена устойчив только до 80° С. При повышении температуры соединение разлагается [51]:

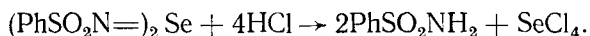


бис-(Триметилсилил)диимид селена разлагается уже при —48° С. Строение этого соединения доказано химическими превращениями [51].

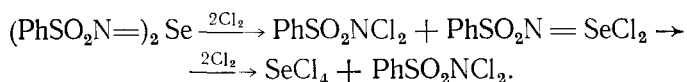
В ИК-спектрах производных диимида селена к частотам связи $\text{Se}=\text{N}$ относят интенсивные полосы поглощения в области 1000—900 см^{-1} [45, 49]. В ИК-спектре *бис*-(*трет*-бутил)диимида селена к валентным колебаниям связи $\text{Se}=\text{N}$ отнесены две полосы поглощения 998 см^{-1} (*as*) и 650 см^{-1} (*s*) [52]. В спектре ПМР этого соединения (в CDCl_3 в присутствии сдвигающих реагентов) при —30° С имеется два сигнала Н (δ 1,38 и 1,40), которые при 5° С коалесцируют. Это дало основание предположить, что при низкой температуре *бис*-(*трет*-бутил)-диимид селена имеет *Z/E*-конфигурацию [52]:



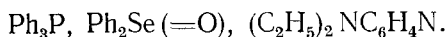
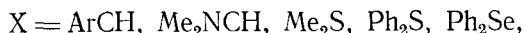
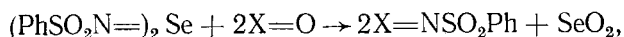
Производные диимида селена (XIV) — очень реакционноспособные соединения. Они легко гидролизуются влагой воздуха до соответствующих амидов или аминов и селенистой кислоты [45, 49]. При действии сухого хлористого водорода диимиды селена расщепляются по связи $\text{Se}=\text{N}$ с образованием соответствующих амидов и четыреххлористого селена [45]:



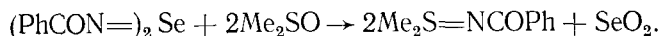
Реакция *бис*-(арилсульфонил)диимида селена с хлором идет в две стадии. Сначала при взаимодействии реагентов в соотношении 1 : 2 получается *N,N*-дихлорамида бензолсульфоокислоты и хлористый *N*-фенилсульфонилимидоселенил, который при дальнейшем действии хлора расщепляется на *N,N*-дихлорамида бензолсульфоокислоты и четыреххлористый селен [45]:



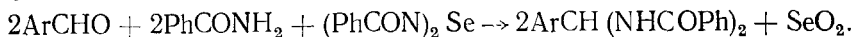
бис-(Арилсульфонил)диимиды селена при взаимодействии с соединениями, содержащими группировку $\text{X}=\text{O}$ (альдегидами, диметилформамидом, дифенилселеноксидом, трифенилфосфиноксидом и др.), образуют соединения с группировкой $\text{X}=\text{NSO}_2\text{Ar}$ [17]:



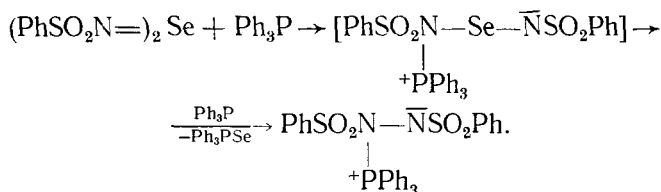
бис-(Бензоил)диимид селена (XIV), $\text{R}=\text{PhCO}$, с диметилсульфоксидом реагирует аналогично [17]:



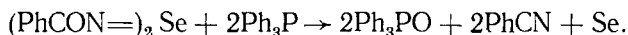
С ароматическими альдегидами *бис*-(Бензоил)диимид селена не реагирует. Однако в присутствии бензамида реакция идет очень легко с образованием *N,N'*-дibenзоиламида [17]. По-видимому, в этом случае *бис*-(бензоил)диимид селена является дегидратирующим агентом при реакции бензамида с альдегидом, причем скорость этой реакции, являющейся источником бензамида, значительно превышает скорость реакции диимида селена с альдегидами. Суммарное уравнение реакции следующее:



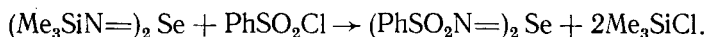
бис-(Фенилсульфонил)диимид селена с трифенилфосфином сначала дает аддукт 1:1, который при действии еще одного моля трифенилфосфина образует трифенилфосфинселенид и соединение, которое, вероятно, имеет строение *N,N'*-*бис*-(фенилсульфонил)-*N*-трифенилфосфониио-гидразината [17]:



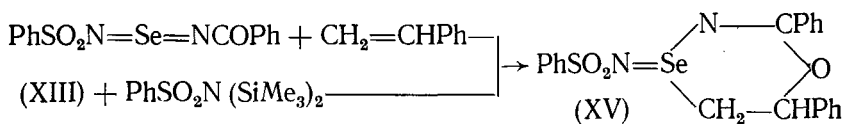
Из *бис*(бензол)диимида селена при реакции с трифенилфосфином образуются трифенилфосфиноксид, бензонитрил и селен [17]:



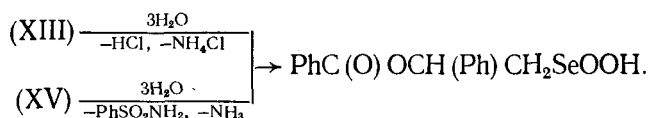
При взаимодействии *бис*(триметилсилил)диимида селена с бензолсульфохлоридом получен соответствующий *бис*(фенилсульфонил)диимид [51]:



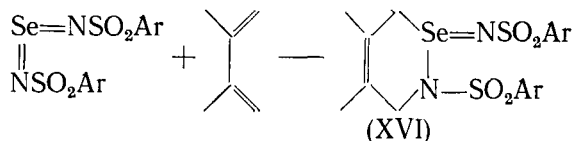
Производные диимида селена очень легко реагируют с непредельными соединениями. Направление реакции зависит от строения исходных реагентов. Дзамещенные диимида селена, содержащие хотя бы у одного атома азота ацильную группировку, реагируют с непредельными соединениями (стиролом, циклогексеном, 1,1-дифенилэтиленом и др.) по схеме [4+2]-циклоприсоединения с образованием 4-имино-5,6-дигидро-4,1,3-селенаоксазинов — бесцветных кристаллических соединений [46, 49]. В частности, при взаимодействии *N*-бензоил-*N'*-фенилсульфонилдиимида селена со стиролом образуется 4-фенилсульфонилимино-5,6-дигидро-2,6-дифенил-4,1,3-селенаоксазин (XV), который идентичен веществу, получающемуся при реакции соединения (XIII), $\text{Ar}=\text{Ph}$, с *бис*-(триметилсилил)бензосульфамидом (см. гл. V):



При гидролизе как соединения (XIII), так и соединения (XV) получается одна и та же 2-фенил-2-бензоилоксиэтаноселениновая кислота [38, 49]:



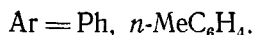
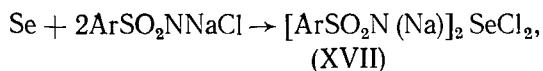
бис(Арилсульфонил)диимиды селена с диеновыми углеводородами реагируют по типу [2+4]-циклоприсоединения с образованием аддуктов 1:1, которые, по-видимому, имеют строение 3,6-дигидро-1-арилсульфонил-2-арилсульфонилимино-2,1-селеназинов (XVI) [50]:



Соединения (XVI) — бесцветные кристаллические вещества, устойчивые при хранении без доступа влаги при 20°С.

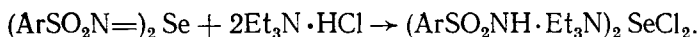
В 1976 г. Шарплесс с соавт. [53, 54] сообщили о синтезе *N,N'*-дито-зилдиимида селена при реакции хлорамина-Т с селеном или четырех-

хлористого селена с *n*-толуолсульфамидом. Действительно, хлорамин-Т и хлорамин-Б легко реагируют с селеном в хлористом метиле или дихлорэтане в соотношении 2:1. Однако образующиеся при этом соединения по составу, физическим и химическим свойствам отличаются от соответствующих *бис*-(арилсульфонил)диимидов селена, описанных выше [45, 49, 50]. Соединения, полученные из хлорамина-Б или хлорамина-Т и селена по методу [53, 54], — бесцветные мелкокристаллические вещества с достаточно четкой температурой плавления. В отличие от соответствующих *бис*-(арилсульфонил)диимидов селена они не растворимы в хлористом метиле, дихлорэтане, в других органических растворителях. Это дало основание предположить, что при взаимодействии хлорамина-Б или хлорамина-Т с селеном образуются *N,N'*-динатриевые соли *бис*-(арилсульфониламино)селендихлоридов (XVII) [50]:

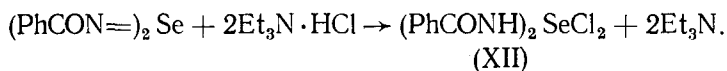


Косвенным подтверждением строения «продуктов Шарплесса» может служить реакция селена с монохлорамидами карбоновых кислот, в результате которой образуются *бис*-(ароиламино)селендихлориды (XII) (см. гл. V) [32, 33].

При взаимодействии четыреххлористого селена с аренилсульфамидами в присутствии триэтиламина в дихлорэтане (см. [53]), возможно, и получается *бис*-(арилсульфонил)диимид селена. Действительно, при смешивании реагентов тотчас появляется желто-оранжевая окраска, присущая диимидам селена. Однако через 5—10 мин реакционная смесь темнеет и почти количественно выделяется селен. Независимыми опытами установлено, что при прибавлении солянокислого триэтиламина к *бис*-(арилсульфонил)диимиду селена в дихлорэтане через 1—3 мин реакционная смесь темнеет, выделяется селен и образуется смесь маслообразных продуктов неустоенного строения. Не исключено, что *бис*-(арилсульфонил)диимид селена образует *бис*-триэтиламмониевую соль, которая затем разлагается [50]:

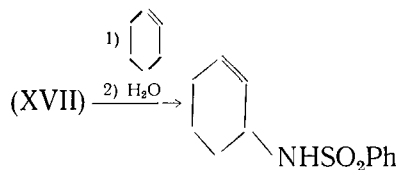


Это предположение косвенно подтверждается реакцией хлоргидрата триэтиламина с *бис*-(бензоил)диимидом селена, в результате которой образуется *бис*-(бензоиламино)селендихлорид (XII) (см. гл. V):



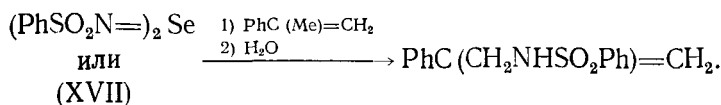
Соединение (XII) выделено и идентифицировано, однако если его сразу же не изолировать из реакционной смеси, то последняя постепенно темнеет (через 10—15 мин) и выделяется селен [50].

Различие в свойствах производных диимидов селена и «продуктов Шарплесса» проявляется и в реакциях с непредельными соединениями. При взаимодействии (XVII) с олефинами получают продукты аллильного амидирования [50] (ср. [53, 54]), например:

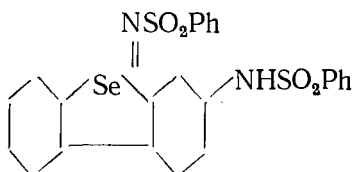


бис-(Арилсульфонил)диимиды селена также реагируют с олефинами, однако направление реакции зависит от природы олефина. При взаимодействии α -метилстирола с *бис*-(фенилсульфонил)диимидом селена, как и с соединением (XVII), получается 2-фенил-3-фенилсульфониламино-

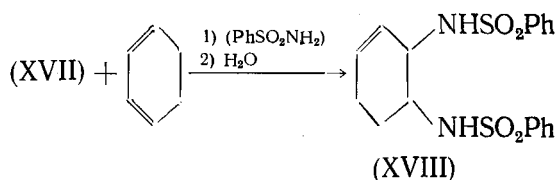
пропен [50] (ср. [53, 55]):



Однако уже с циклогексеном эти соединения реагируют по разному. Соединение (XVII) дает N-бензолсульфонамидо-2-циклогексен, а из продуктов реакции *бис*-(фенилсульфонил)диимида селена с циклогексеном выделено соединение, которое, по-видимому, имеет строение 1-фенилсульфониламино - 9 - фенилсульфонилимино-9-селенапергидрофлуорена [50]:



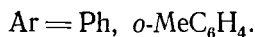
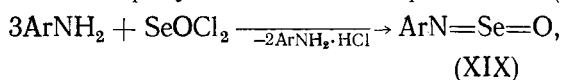
При взаимодействии соединений (XVII) с циклогексадиеном в присутствии сульфида с последующим гидролизом получается 1,2-*бис*-(фенилсульфониламино)циклогексен-3 (XVIII) (ср. [54]):



При гидролизе продуктов реакции дизамещенных диимидов селена с диеновыми углеводородами (XVI) (эти соединения Шарплесс с соавт. предполагают в качестве промежуточных продуктов реакции) арилсульфониламидированных соединений типа (XVIII) получить не удалось [50].

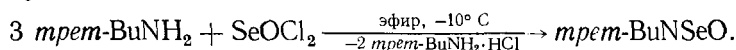
2. Селениламины

Сведения о N=R-селениламинах и N=R-селениламидах очень мало. В 1932 г. сообщалось, что при взаимодействии ароматических аминов с хлористым селенилом образуются N-селенилариламины (XIX) [56]:



Соединения (XIX) — оранжево-желтые масла, перегоняющиеся в вакууме, при нагревании при атмосферном давлении разлагаются. С анилином при нагревании в присутствии хлористого цинка соединения (XIX) дают труднорастворимые черно-зеленые красители, содержащие селен.

При реакции *трет*-бутиламина с хлористым селенилом получается N-*трет*-бутилселениламин — коричневая, чрезвычайно чувствительная к гидролизу жидкость:



При наличии следов влаги вещество превращается в бесцветное кристаллическое соединение с т. пл. 145° С, которое, по-видимому, имеет строение амида селенистой кислоты *трет*-BuNH₂·SeO₂ [52]. Спектр ЯМР *трет*-бутилселениламина подтверждает наличие *трет*-бутильных групп. В ИК-спектре этого соединения интенсивные полосы поглощения в области 1110 см⁻¹ отнесены к ν_{as}(NSeO), а в области 625 см⁻¹ — к ν_s(NSeO) [52].

Как указывалось выше, попытки получить производные N-селениламидов, $RNSeO$, где $R=ArSO_2$, $AlkSO_2$, $PhCO$, $AlkCO$, Me_3Si , не увенчались успехом [43, 49]. Эти соединения, очевидно, чрезвычайно неустойчивы и претерпевают дальнейшие превращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gilchrist T. L., Moody C. J.//Chem. Rev. 1977. V. 77. P. 409.
2. Spinelli D., Monaco G.//Boll. Sci. fac. chim. Ind. Bologna. 1962. V. 20. P. 56; C. A. 1963. V. 58. Q. 4457.
3. Hellwinkel D., Farbach G.//Liebigs Ann. Chem. 1968. B. 715. S. 68.
4. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Пасмурцева Н. А.//Журн. орган. химии. 1974. Т. 10. С. 807.
5. Oae S., Fukamura M., Furukawa N.//Phosphorus and Sulfur. 1981. V. 10. P. 153.
6. Hori M., Kataoki T., Shinuzu H., Tomimatsa K.//Tetrahedron Lett. 1982. V. 23. P. 901.
7. Tamagaki S., Oae S., Sakaki K.//Ibid. 1975. P. 649.
8. Наддака В. И., Краснов В. П., Минкин В. И., Попова Л. П.//Журн. орган. химии. 1982. Т. 18. С. 259.
9. Деркач Н. Я., Тищенко Н. П., Волощук В. Г.//Там же. 1978. Т. 14. С. 958.
10. Swern D., Ikeda J., Whiterjild G. F.//Tetrahedron Lett. 1972. P. 2635.
11. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В.//Журн. орган. химии. 1974. Т. 10. С. 1991.
12. Краснов В. П., Наддака В. И., Минкин В. И.//Там же. 1981. Т. 17. С. 445.
13. Наддака В. И., Гарькин В. П., Садеков И. Д. и др.//Там же. 1979. Т. 15. С. 896.
14. Davis F. A., Billmers J. M., Stringer O. D.//Tetrahedron Lett. 1983. V. 24. P. 3191.
15. Наддака В. И., Краснов В. П., Минкин В. И.//Журн. орган. химии. 1985. Т. 21.
16. Наддака В. И., Гарькин В. П., Минкин В. И.//Там же. 1976. Т. 12. С. 2481.
17. Деркач Н. Я., Барашенков Г. Г., Слюсаренко Е. И.//Там же. 1982. Т. 18. С. 70.
18. Davis F. A., Stringer O. D., McCouley J. P.//Tetrahedron, 1985. V. 41. P. 4747.
19. Деркач Н. Я., Пасмурцева Н. А., Ляпина Т. В., Левченко Е. С.//Журн. орган. химии. 1974. Т. 10. С. 1873.
20. Наддака В. И., Гарькин В. П., Аванесян К. В.//Там же. 1986. Т. 22. С. 1102.
21. Фурманова И. Г., Герр Р. Г., Краснов В. П., Наддака В. И.//Журн. структ. химии. 1984. Т. 25. С. 166.
22. Roesky H. W., Weber K.-L., Seseke U. et. al.//J. Chem. Soc. Dalton Trans. 1985.
23. Наддака В. И.//Журн. орган. химии. 1985. Т. 21. С. 716.
24. Нуждина Ю. А., Егоров Ю. П., Деркач Н. Я. и др.//Теор. эксп. химия. 1974. Т. 10.
25. Наддака В. И., Краснов В. П., Минкин В. И.//Журн. орган. химии. 1983. Т. 19.
26. Деркач Н. Я., Пасмурцева Н. А., Левченко Е. С.//Журн. общ. химии. 1972. Т. 42.
27. Нуждина Ю. А., Егоров Ю. П., Миронюк Л. В., Деркач Н. Я.//Теор. эксп. химия. 1975. Т. 11. С. 605.
28. Деркач Н. Я., Пасмурцева Н. А., Левченко Е. С.//Журн. орган. химии. 1971. Т. 7.
29. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Левченко Е. С.//Там же. 1980. Т. 16. С. 33.
30. Деркач Н. Я., Тищенко Н. П.//Там же. 1977. Т. 13. С. 100.
31. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В.//Там же. 1981. Т. 17. С. 529.
32. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Левченко Е. С.//Там же. 1974. Т. 10. С. 139.
33. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Левченко Е. С.//Там же. 1978. Т. 14. С. 280.
34. Деркач Н. Я., Тищенко Н. П., Левченко Е. С.//Там же. 1977. Т. 13. С. 96.
35. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Левченко Е. С.//Там же. 1981. Т. 17. С. 622.
36. Бальон Я. Г., Левченко Е. С.//Там же. 1967. Т. 3. С. 777.
37. Деркач Н. Я., Пасмурцева Н. А.//Там же. 1973. Т. 9. С. 1414.
38. Деркач Н. Я., Краснянская Т. В., Левченко Е. С., Заболотная Т. Г.//Там же. 1984. Т. 20. С. 2377.
39. Зибарев А. В., Доленко Г. И., Круподер С. А. и др.//Там же. 1980. Т. 16. С. 390.
40. Thrasher J. S., Seppelt K.//Z. anorg. und allg. Chem. 1983. B. 507. S. 7.
41. Thrasher J. S., Bauknight C. W., DesMarteau D. D.//Inorg. Chem. 1985. V. 24.
42. Kirsanov A. W., Levchenko E. S., Markowski L. N.//Organic Sulfur Chemistry, IUPAC/Ed. by Freidlend R. Oxford.— N. Y.: Pergamon-Press, 1984. P. 109.
43. Деркач Н. Я., Барашенков Г. Г., Левченко Е. С.//Журн. орган. химии. 1982. Т. 18.
44. Hartl H., Haupmann P., Lentz D., Seppelt K.//Inorg. Chem. 1983. V. 22. P. 2183.
45. Деркач Н. Я., Барашенков Г. Г., Левченко Е. С.//Журн. орган. химии. 1979. Т. 15.
46. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Барашенков Г. Г.//Там же. 1979. Т. 15. С. 879.
47. Bussas R., Kresza G., Munster H., Schwöbel A.//Sulfur Reports. 1983. V. 2. P. 215.
48. Деркач Н. Я., Барашенков Г. Г.//Журн. орган. химии. 1976. Т. 12. С. 2484.
49. Деркач Н. Я., Барашенков Г. Г., Левченко Е. С.//Там же. 1983. Т. 19. С. 1622.
50. Деркач Н. Я., Барашенков Г. Г.//Там же. 1986. Т. 22. С. 1189.
51. Fockenberg F., Haas A.//Z. Naturforsch. 1986. B. 41b. S. 413.
52. Herberhold M., Jellen W.//Ibid. 1986. B. 41b. S. 144.
53. Sharpless K. B., Hori T., Truesdale L. K., Dietrich C. O.//J. Amer. Chem. Soc. 1976. V. 98. P. 269.
54. Sharpless K. B., Singer S. P.//J. Org. Chem. 1976. V. 41. P. 2504.
55. Sharpless K. B., Hori T.//Ibid. 1976. V. 41. P. 176.
56. Baroni A.//Atti. R. Accad. naz. Lincei Rend [6], 1932. B. 16. S. 253; Chem. Zentralbl. 1933. B. 1. S. 1767.