

УДК 547.558

АЗААНАЛОГИ КИСЛОРОДНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ
И НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ СЕЛЕНАДеркач 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

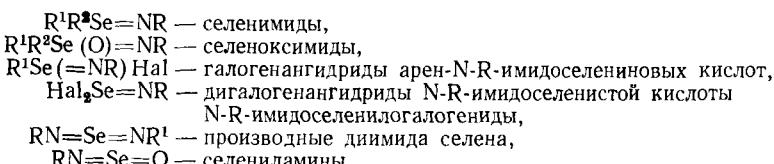
| | |
|--|-----|
| I. Введение | 862 |
| II. Селенимиды | 863 |
| III. Селеноксимиды | 867 |
| IV. Хлорангидриды арен-N-R-имидоселениновых кислот | 867 |
| V. Дигалогенангидриды N-R-имидоселенистой кислоты | 870 |
| VI. Азааналоги диоксида селена | 873 |

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.

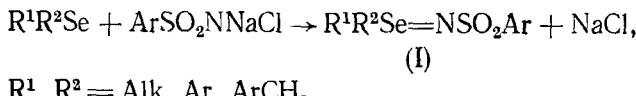
В настоящее время известны азааналоги селеноксидов, селенонов, производных селениновых и селенистой кислот и диоксида селена. Устойчивой номенклатуры для этих классов соединений селена пока еще нет. В настоящем обзоре мы будем придерживаться номенклатуры, принятой для аналогичных соединений серы, которая,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



II. СЕЛЕНИМИДЫ

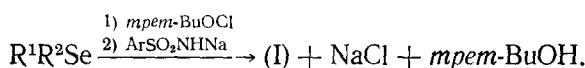
Из производных азааналогов селеноксидов — N-R-селенимидов — в настоящее время известны N-арилсульфонил- и N-карбацилселенимиды $R^1R^2Se=NR$ [$R=SO_2R^3$ (I), COR^3 (II)]. Методы синтеза N-R-селенимидов и их сернистых аналогов — соответствующих N-R-сульфимидов [1], как правило, подобны, однако между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

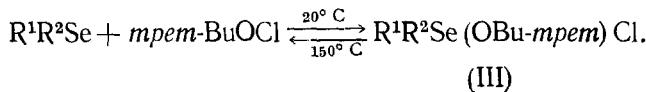


Реакция идет в ацетонитриле [6], диметилформамиде [3, 5], смеси ацетонитрила с метанолом [3], метаноле [4], как правило, при $20^\circ C$ и с применением безводных N-натрий-N-хлорамидов аренсульфокислот.

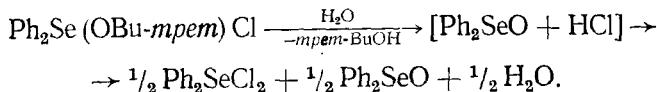
Селенимиды (I) получаются также и при последовательном действии трет-бутилгипохлорита и N-натрийаренсульфамидов на селениды при $-25\dots-40^\circ C$ в ацетонитриле или хлороформе [7, 8] или при $20^\circ C$ в четыреххлористом углероде [9]:



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



Соединения (III) — бесцветные кристаллические вещества, растворимые в органических растворителях (бензоле, хлороформе, хлористом метилене, 1,2-дихлорэтане), при нагревании до $130\dots140^\circ C$ в вакууме возгоняются, но при $150^\circ C$ 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 $20^\circ C$ практически не гидролизуется, но при кипячении в течение 2—3 ч разлагается с образованием смеси дифенилселеноксида и дифенилселендиоксида (последний образуется при реакции дифенилселеноксида с хлористым водородом):

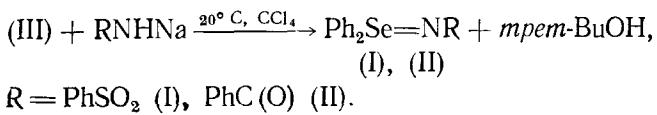


При условии удаления из реакционной смеси хлористого водорода (при длительном хранении в вакуум-эксикаторе над едким кали) получается только дифенилселеноксид [9].

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

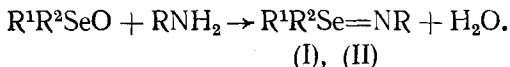


Аллоксихлорселенаны (III) образуются и при взаимодействии R^1R^2 -селендихлоридов с алкоголятами в молярном соотношении 1 : 1 [12]. При действии на соединения (III) натриевых производных бензосульфамида или бензамида получаются соответствующие N-R-селенимиды (I) или (II) [9]:



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

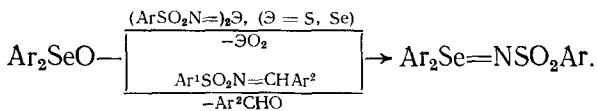
Следующим сравнительно простым и общим методом синтеза N-R-селенимидов (I), (II) является реакция селеноксидов с амидами сульфоновых и карбоновых кислот [5, 7, 13–15]:



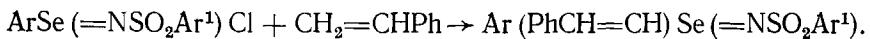
Условия реакции зависят от характера амидов и заместителей у атома селена. Дибензилселеноксид, метиларилселеноксиды реагируют с аренсульфонамидами и амидом трифтормукусной кислоты в хлороформе, ацетонитриле или бензole при нагревании [5, 7, 13, 15] или при условии удаления воды даже при $20^\circ C$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

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

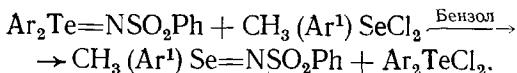
N-Арилсульфонилселенимиды (I) легко получаются при взаимодействии диарилселеноксидов с бис-(арилсульфонил)димиидами серы или селена [17], а также с альдиминами [18]:



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

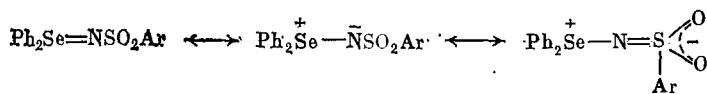


Se-Метил-Se-арил-N-фенилсульфонилселенимиды получаются при взаимодействии метиларилселендихлоридов с Te,Te-диарил-N-фенилсульфонилтеллуримидами [20]:

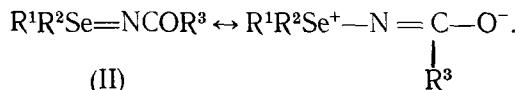


Селенимиды (I) и (II) — бесцветные кристаллические сравнительно устойчивые соединения. По данным рентгеноструктурного анализа соединений $Ph_2Se=NSO_2Ph$ [21] и $Ph_2Se=NSO_2C_6H_4CH_3 \cdot n$ [22] длина связи селен — азот (1,82 и 1,787 Å) больше длины расчетной двойной связи селен — азот (1,628 Å), а также простой связи селен — азот с высокой степенью двоесвязанности, 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—590 cm^{-1} [5], 572 cm^{-1} [22], 675 cm^{-1} [23]; $\nu(\text{S(VI)}-\text{N})$ — 930—950 cm^{-1} [5, 22, 23] (в работах [14, 24] $\nu(\text{Se}=\text{N})$ в соединениях (I) отнесены к области 890 cm^{-1} [14] и 930—950 cm^{-1} [24], а $\nu(\text{S(VI)}-\text{N})$ к области 672—677 cm^{-1} [24]. Результаты этих исследований дают основание предположить, что потеря двойного характера связи $\text{Se}=\text{N}$ и существенная двоесвязанность 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 «илиндной» структуры в селенимидах (II) свидетельствует заметный сдвиг в длинноволновую область $\nu(\text{Se}=\text{N})$ (470 cm^{-1} [5]) и $\nu(\text{C=O})$ (1580, 1535 cm^{-1} [5, 9], 1600—1585 cm^{-1} [15]).

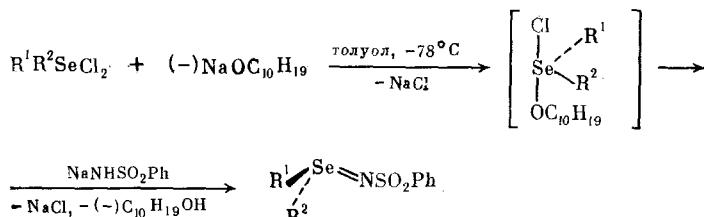


Вследствие этого изображение связи селен — азот в соединениях (I) и (II) как семиполярной $\text{Se} \rightarrow \text{N}$ или $\text{Se}^+ - \text{N}$ является, очевидно, более объективным (см. [5]).

В УФ-спектрах N-тозилселенимидов (I) имеется максимум поглощения в области 223—226 нм (Ig_{\max} 4,04—4,49), N-ацилселенимиды (II) поглощают в области 226 нм (Ig_e 4,41) и 259 нм (Ig_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 rK_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]:

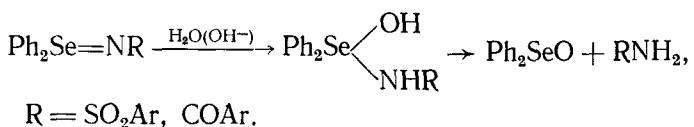


Асимметрическая индукция наблюдается также и при взаимодействии несимметричных сelenоксидов с (+)- или (—)-10-камфорсульфамидом

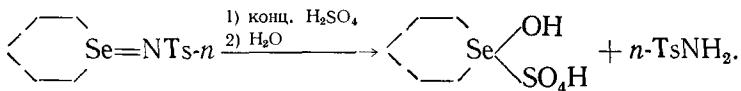
[14, 18], а также с (+)- или (—)-камфорсульфонилбензальдимином [18].

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 ПМР соответствующих по структуре селен- и сульфимидов. Сигнал α -протонов в спектрах ПМР селенимидов находится в более длиннопольной области, чем у соответствующих сульфимидов [5].

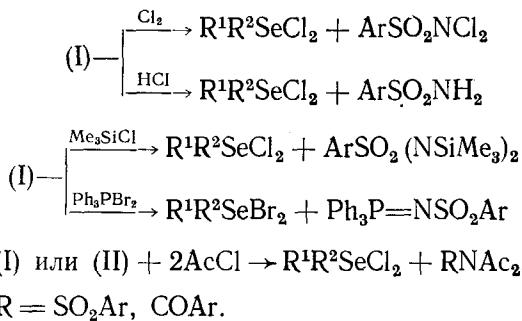
Различие в длинах связей Э=N (Э=S, Se) и степени их поляризованности оказывается и на сравнительной реакционной способности селен- и сульфимидов. В отличие от N-арилсульфонилсульфимидов [1], селенимиды (I) значительно менее устойчивы к гидролизу. Соединения (I) и (II) не изменяются при действии разбавленных 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).



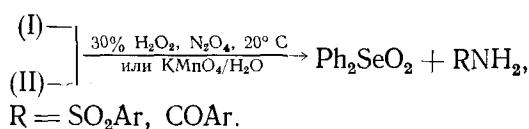
Взаимодействием N-тозил-Se,Se-пентаметиленселенимода с серной кислотой (—50°С) и последующим гидролизом получено соединение селенурановой структуры [5]:



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



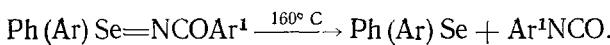
При действии на соединение (I), $\text{R}^1=\text{R}^2=\text{Ph}$, 30%-ного пероксида водорода в уксусной кислоте при 20°С образуется гидрат исходного соединения, а соединение (II), $\text{R}^1=\text{R}^2=\text{Ph}$ в этих условиях гидролизуется до селеноксида и бензамида [5]. Селенимиды (I) и (II) 30%-ным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



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



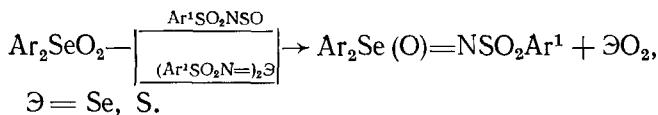
Селенимиды (II) при нагревании разлагаются до селенидов и изоцианатов [5]



При изучении кинетики термолиза селен- и сульфимидов $\text{Ph}_2\text{Se}=\text{NCOPh}$ и $\text{Ph}_2\text{S}=\text{NCOPh}$ 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-арилсульфонилселеноксимиды (IV). Соединения (IV) получаются при взаимодействии диарилселенононов с N-сульфониларенсульфамидами [4, 26], а также с N,N'-диарилсульфонилдиимидаами селена или серы [17]:



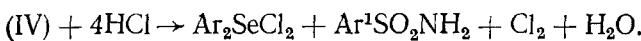
Необходимо отметить, что сульфоны с N-сульфониларенсульфамидами не реагируют.

В ИК-спектрах соединений (IV) $\nu(\text{Se}=\text{N})$ находится в области 930—910 cm^{-1} . На основании тонкой структуры УФ-спектров сделан вывод, что фрагмент $\text{Se}(\text{O})(=\text{NSO}_2—)$ 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 диарилселенононов и аренсульфамидов.



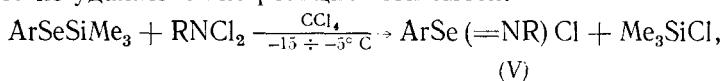
При действии сухого хлористого водорода соединения (IV) разлагаются с образованием диарилсelenидхlorидов, аренсульфамидов, хлора и воды.



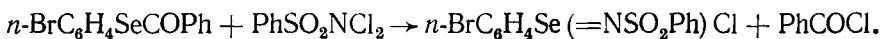
В отличие от селенимидов (I), селеноксимиды (IV) с элементарным хлором не реагируют [26].

IV. ХЛОРАНГИДРИДЫ АРЕН-N-R-ИМИДОСЕЛЕНИНОВЫХ КИСЛОТ

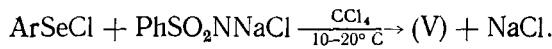
Основным методом синтеза хлорангидридов арен-N-R-иминоселениновых кислот (V) является реакция окислительного иминирования аренсelenенихlorидов или производных селенононов N-галогенсоединениями. Соединения (V) очень легко образуются при взаимодействии Se- trimetilisiliil- или Se-бензоилселенононов с N,N'-дихлорамидаами аренсульфокислот, карбоновых, угольной или фосфорной кислот [19, 28—30]. Реакции идут очень легко, trimetilхlorosilan или хлористый бензоил легко удаляются из реакционной смеси:



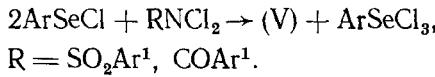
$R = SO_2Ar, COAr, COOC_2H_5, (AlkO)_2P(O)$.



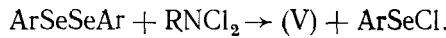
Хлорангидриды арен-N-арилсульфонилимидоселениновых кислот (V) образуются также при взаимодействии аренселененилхлоридов с N-натрий-N-хлорамидами аренсульфокислот [19]:



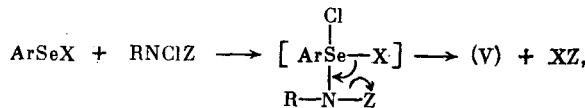
При взаимодействии аренселененилхлоридов с N,N-дихлорамидами сульфокислот и карбоновых кислот наряду с хлорангидридами (V) образуются арилселентрихлориды [19, 29]:



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



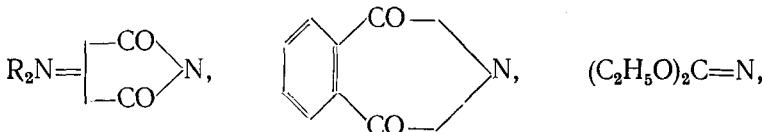
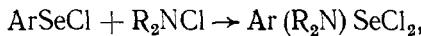
Наиболее вероятно предположить, что при взаимодействии $ArSeX$ с N,N-дихлорамидами сначала образуются соединения четырехкоординированного селена, которые подвергаются дальнейшему превращению с образованием хлорангидридов (V):



$X = SiMe_3, COR, SeR, Cl; Z = Cl, Na$.

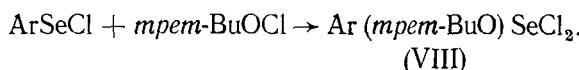
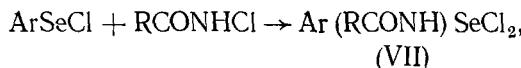
Это подтверждается изучением реакции аренселененилхлоридов с N-хлоримидами и N-монохлорамидами карбоновых кислот, трет-бутилгипохлоритом и др.

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



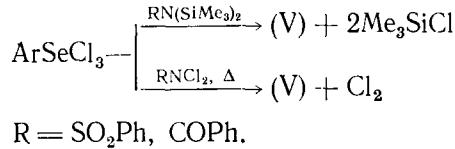
$PhC(OAlk)=N, Ph_2C=N$ и др.

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

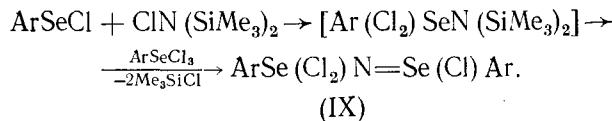


Хлорангидриды арен-N-R-имидоселениновых кислот (V) получаются очень легко при действии на арилселентрихлориды бис-(trimетилсилил) амидов сульфокислот или карбоновых кислот [29] или при нагревании арилселентрихлоридов с N,N-дихлорамидами [29]. Однако

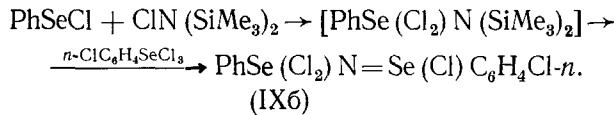
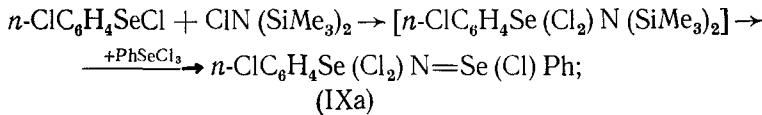
последняя реакция обратима и хлорангидриды (V) получаются только при удалении хлора из реакционной смеси.



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 *bis*-(триметилсилил)амидаами дали основание предположить следующую схему реакции:



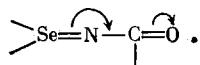
Подтверждением этой схемы и строения образующихся соединений является получение изомерных хлорангидридов (IX) в результате следующих реакций:



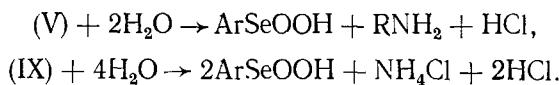
Соединения (IX) получаются также и при взаимодействии N-хлоргексаметилдисилазана с бензолселененилхлоридом или фенилселентрихлоридом, но с меньшими выходами. Реакции в этих случаях идут, очевидно, сложнее [35].

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

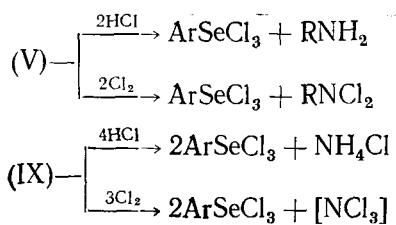
В ИК-спектрах хлорангидридов N-арилсульфонилимидоселениновых кислот (V), R=SO₂Ar, ν(Se=N) находится, по-видимому, в области 910—950 см⁻¹ [24, 27], а для хлорангидридов N-ароилимидоселениновых кислот (V), R=COAr, — в области 845—870 см⁻¹ [29]. Сдвиг в длинноволновую область, очевидно обусловлен делокализацией π-электронов в системе



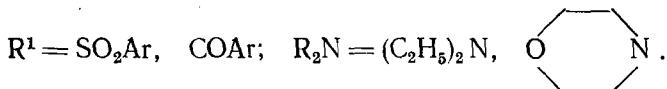
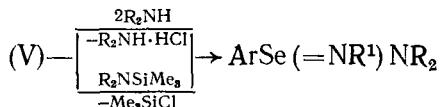
Хлорангидриды (V), (IX) легко гидролизуются до селениновых кислот и амидов [19, 28, 29, 35]:



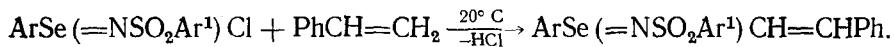
Сухим хлористым водородом или хлором соединения (V), (IX) разщепляются по связи Se=N с образованием арилселентрихлоридов и амидов или N,N-дихлорамидов [19, 29, 35]:



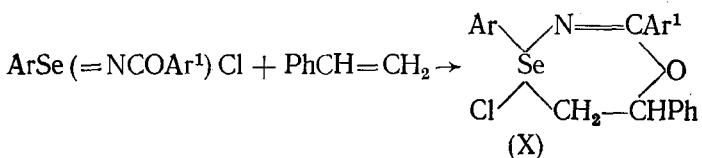
При взаимодействии хлорангидридов (V) с вторичными аминами образуются соответствующие амида N-R-имидоселениновых кислот — бесцветные кристаллические или жидкие соединения, очень легко гидролизующиеся влагой воздуха и медленно разлагающиеся при хранении без доступа влаги [19, 29]:



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



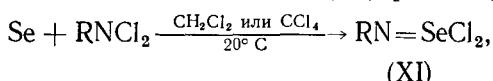
Хлорангидриды арен-N-ароилимидоселениновых кислот реагируют со стиролом по типу 1,2- 1,4-цикlopрисоединения с образованием аддуктов 1 : 1, которые, по-видимому, имеют строение производных 5,6-дигидро-4-селена-1,3-оксазинов (X) [29]

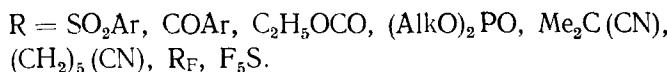


Соединения (X) — бесцветные кристаллические вещества, трудно растворимы в большинстве органических растворителей. В их ИК-спектрах присутствуют $\nu(\text{C}=\text{N})$ — 1580 см⁻¹ и $\nu(\text{Se}-\text{N})$ — 589 см⁻¹ и отсутствует поглощение в области 840—870 см⁻¹, характерное для Se=N связи в исходных хлорангидридах. Электропроводность насыщенных растворов соединений (X) в дихлорэтане 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-дихлоралкиламинаами, N,N-дихлорперфторалкиламинаами, N,N-дихлораминопентафторсерой, образуя соответствующие хлористые N-R-имидоселенилы (XI) [37—41]:

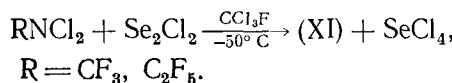




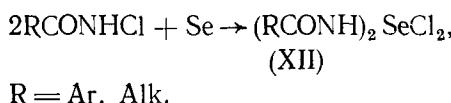
В инертных растворителях (хлористый метилен, четыреххлористый углерод, дихлорэтан и др.) реакция идет, как правило, при 20°С или с небольшим выделением тепла.

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 сульфиноных кислот в зависимости от соотношения реагентов и условий реакции образуются соответствующие хлористые N-R-имидотионилы или производные димида серы [42]. При реакции селена с этими реагентами независимо от их соотношения получаются только хлористые N-R-имидоселенилы [37].

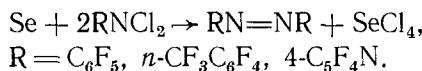
Установлено, что хлористые N-перфторалкилиминоселенилы образуются также при взаимодействии N,N-дихлорперфторалкиламинов с однохлористым селеном [39, 40]:



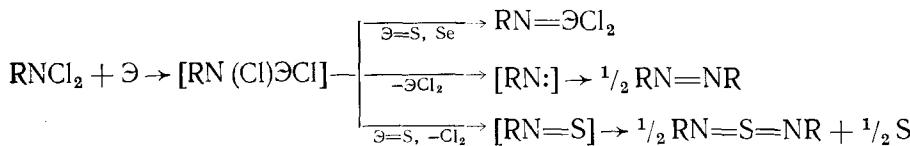
Известно, что хлористые N-R-имидотионилы $Cl_2S=NCOR$, $R=Ar$, Alk, получаются при реакции серы с N-монохлорамидами карбоновых кислот [42]. Селен также очень легко реагирует с N-монохлорамидами карбоновых кислот, однако при этом образуются производные ортоселенистой кислоты — *bis*-(R-карбациламидо)селендихлориды (XII) [31—33]:



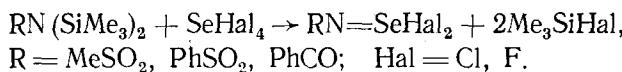
При взаимодействии селена с N,N-дихлорперафторарил- или N,N-дихлортетрафторпиридилил-4-аминами образуются соответствующие азосоединения и четыреххлористый селен [39]:



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 $RN(Cl)\tilde{E}Cl$, которые в зависимости от характера R (состояния связи $\tilde{E}-Cl$) претерпевают превращения по трем направлениям — с образованием хлористых N-R-имидотионилов (N-R-имидоселенилов), азосоединений или производных димидов серы (последнее превращение для селена не характерно) [39]:



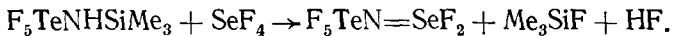
Хлористые и фтористые N-R-имидоселенилы очень легко образуются при взаимодействии четыреххлористого или четырехфтористого селена с N-*bis*-(trimетилсилил) амидами [43, 44]:



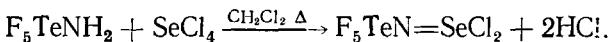
Частоты валентных колебаний связи $\text{Se}=\text{N}$ в ИК-спектрах хлористых N-R-имидоселенилов

| R | $\nu (\text{Se}=\text{N}) \cdot \text{см}^{-1}$ | Ссылки | R | $\nu (\text{Se}=\text{N}), \text{см}^{-1}$ | Ссылки |
|-----------------------|---|----------|--------------------------------------|--|--------|
| F_5S | 1045 | [40] | C_2F_5 | 933 | [41] |
| F_5Te | 965 | [44] | $(\text{CH}_3)_3\text{C}$ | 960 | [37] |
| ArSO_2 | 980—975 | [24, 37] | $(\text{CH}_2)_4\text{C}(\text{CN})$ | 950 | [37] |
| CF_3 | 962 | [41] | ArCO | 765—750 | [38] |

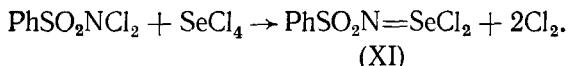
Фтористый N-пентафортеллуроимидоселенил получен при реакции четырехфтористого селена с N-триметилсилилпентафортеллурамином [44]:



При нагревании пентафортеллурамина с четыреххлористым селеном образуется хлористый N-пентафортеллуроимидоселенил [44]:

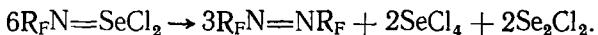


Четыреххлористый селен реагирует при нагревании с N,N-дихлорамидом бензолсульфокислоты с образованием хлористого N-фенилсульфонилимидоселенила:



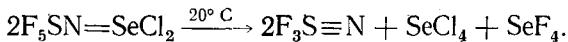
Однако реакция эта обратима и идет вправо только при удалении хлора из реакционной смеси [37].

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-пентафортеллуроимидоселенилы [44] и N-арилсульфонилимидоселенилы [36, 37]. Хлористые N-перфторалкилимидоселенилы начинают разлагаться сразу же после получения или перегонки по схеме [41]:

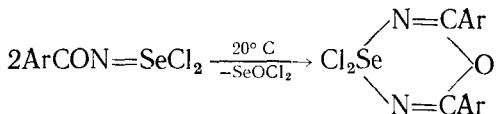


Вполне вероятно, что хлористые N-перфторалимидоселенилы не получены из-за их крайне малой устойчивости, а не из-за иной схемы течения реакции селена с N,N-дихлорперфторалиминами [39].

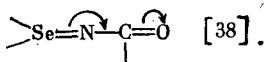
Хлористый N-пентафортноимидоселенил уже при комнатной температуре претерпевает следующие превращения [40, 41]:



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



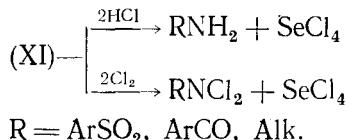
В ИК-спектрах хлористых имидоселенилов (XII) $\nu (\text{Se}=\text{N})$ изменяются в довольно широких пределах (таблица). Наиболее низкое значение $\nu (\text{Se}=\text{N})$ у хлористых N-ароилимидоселенилов, одновременно в спектрах этих соединений понижается и $\nu (\text{C}=\text{O})$ (1600 см^{-1}),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



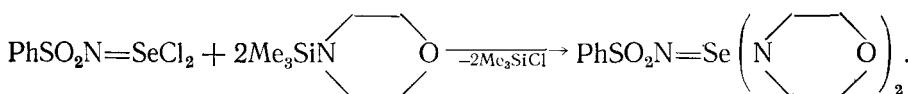
Соединения (XI) очень реакционноспособны. Они гидролизуются даже влагой воздуха с образованием амидов или аминов, селенистой кислоты и хлороводорода [37]. При ацидозе хлористого N-фенилсульфонилимидоселенила муравьиной кислотой образуется бензольсульфамид и хлористый селенил [37]:



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

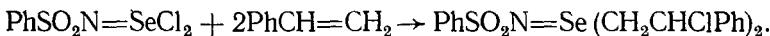


При взаимодействии хлористого N-фенилсульфонилимидоселенила с N-триметилсиломорфолином получается диморфолид N-фенилсульфонилимидоселенистый кислоты [37]:

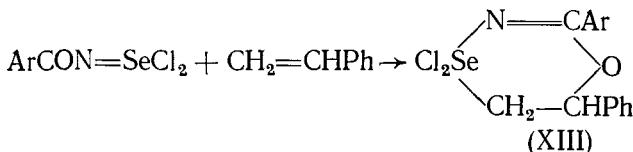


При реакции соединений (XI) с N,N-бис(триметилсил)амидаами образуются производные димида селена [38, 45] (см. ниже).

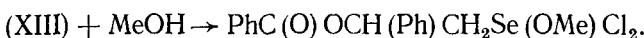
Хлористые N-R-имидоселенилы очень легко взаимодействуют с непредельными соединениями. Направление реакции зависит от природы ацильного остатка. Например, хлористый N-фенилсульфонилимидоселенил реагирует со стиролом в соотношении 1:2 с образованием $\text{Se}(\text{Se}-[\text{бис}-(2\text{-хлор-2-фенилэтил})]-\text{N-фенилсульфонилселенимид}]$ [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-бензоилоксиэтил) (метоксил)селиндихлорид [38]:



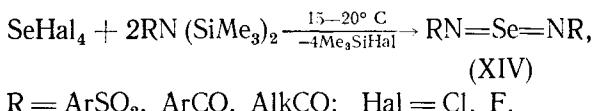
О других свойствах соединений (XIII) см. ниже.

VI. АЗААНАЛОГИ ДИОКСИДА СЕЛЕНА

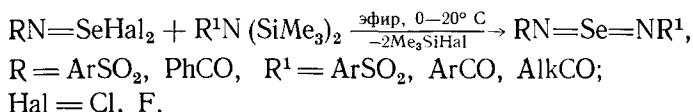
Из азааналогов кислородных соединений серы особое внимание привлекли азотистые аналоги диоксида серы — тиониламины и тиониламиды $\text{RN}=\text{S}=\text{O}$ и производные димида серы $\text{RN}=\text{S}=\text{NR}$. Высокая реакционная способность и препаративная доступность этих классов соединений 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 димида селена и селениламинов или селиниламидов.

1. Производные диимида селена

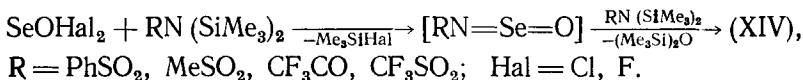
Одним из основных методов синтеза симметричных производных диимида селена (XIV) являются реакция четыреххлористого или четыреххлористого селена с *бис*-(trimетилсилил) амидами сульфоновых или карбоновых кислот [43, 45, 48—50]:



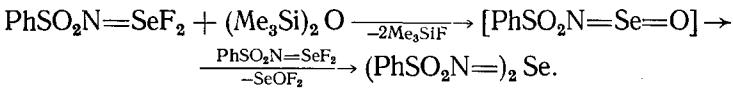
Симметричные и несимметричные производные диимида селена получаются при взаимодействии гексаметилдисилиламидов с хлористыми или фтористыми N-ацилиминидоселенилами [43, 45, 49]



бис-(Сульфонил)дииимиды селена неожиданно получаются и при взаимодействии N,N-*бис*-(trimетилсилил) 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:



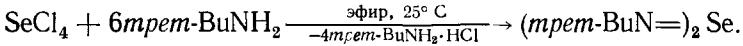
При взаимодействии фтористого N-фенилсульфонилиминидоселенила с гексаметилдисилоксаном вместо ожидаемого N-селенилбензолсульфамида получается *бис*-(фенилсульфонил)дииimid селена. Предполагается, что в этой реакции, как и в предыдущей, в качестве промежуточных соединений образуются N-селениламиды [43]:



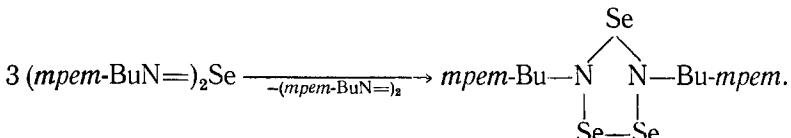
N,N-*бис*-(Триметилсилил)дииimid селена получен при взаимодействии Li-гексаметилдисилазана с хлористым селенилом [51]:



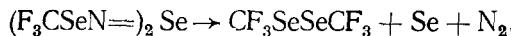
При реакции четыреххлористого селена с *трет*-бутиламином образуется *бис*-(*трет*-бутил)дииimid селена [52, 53]:



Производные дииимида селена (XIX) — светло-желтые кристаллические вещества, сравнительно хорошо растворимые в хлористом метилене, дихлорэтане; термически они мало устойчивы — при 20° C без доступа влаги хранятся 2—3 дня, при нагревании быстро разлагаются [18, 43, 45, 48—52]. *бис*-(*трет*-Бутил)дииimid 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]:

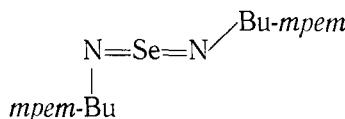


бис-(Трифторметилселено)диимид селена устойчив только до 80° С. При повышении температуры соединение разлагается [51]:

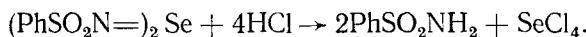


бис-(Триметилсилил)диимид селена разлагается уже при —48° С. Строение этого соединения доказано химическими превращениями [51].

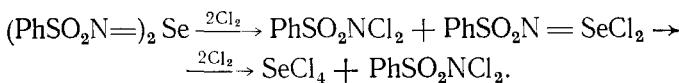
В ИК-спектрах производных диимида селена к частотам связи Se=N относят интенсивные полосы поглощения в области 1000—900 см⁻¹ [45, 49]. В ИК-спектре *бис*-(трет-бутил)диимида селена к валентным колебаниям связи Se=N отнесены две полосы поглощения 998 см⁻¹ (*as*) и 650 см⁻¹ (*s*) [52]. В спектре ПМР этого соединения (в CDCl₃, в присутствии сдвигающих реагентов) при —30° С имеется два сигнала H (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]:



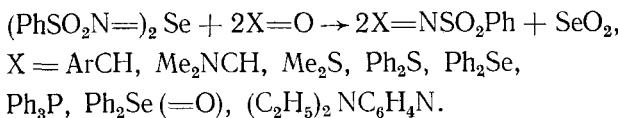
Производные диимида селена (XIV) — очень реакционноспособные соединения. Они легко гидролизуются влагой воздуха до соответствующих амидов или аминов и селенистой кислоты [45, 49]. При действии сухого хлористого водорода диимиды селена расщепляются по связи Se=N с образованием соответствующих амидов и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



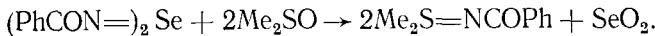
Реакция *бис*-(арилсульфонил)диимида селена с хлором идет в две стадии. Сначала при взаимодействии реагентов в соотношении 1:2 получается N,N-дихлорамид бензолсульфокислоты и хлористый N-фенилсульфонилимидоселенил, который при дальнейшем действии хлора расщепляется на N,N-дихлорамид бензолсульфокислоты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



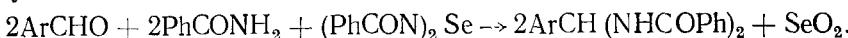
бис-(Арилсульфонил)диимиды селена при взаимодействии с соединениями, содержащими группировку X=O (альдегидами, диметилформамидом, дифенилсelenоксидом, трифенилфосфиноксидом и др.), образуют соединения с группировкой X=NSO₂Ar [17]:



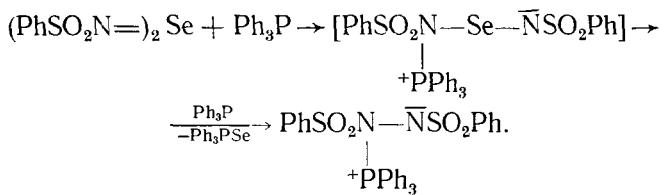
бис-(Бензоил)диимид селена (XIV), R=PhCO, с диметилсульфоксидом реагирует аналогично [17]:



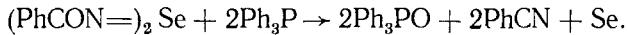
С ароматическими альдегидами *бис*-(Бензоил)диимид селена не реагирует. Однако в присутствии бензамида реакция идет очень легко с образованием N,N'-дibenzoиламидалей [17]. По-видимому, в этом случае *бис*-(бензоил)диимид селена является дегидратирующим агентом при реакции бензамида с альдегидом, причем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



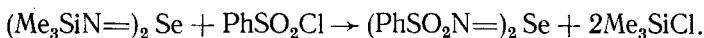
бис-(Фенилсульфонил)диимид селена с трифенилfosфином сначала дает аддукт 1:1, который при действии еще одного моля трифенилfosфина образует трифенилfosфинселенид и соединение, которое, вероятно, имеет строение N,N'-*бис*-(фенилсульфонил)-N-трифенилfosфониогидразината [17]:



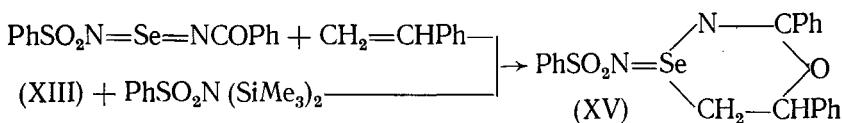
Из бис(бензол)диимида селена при реакции с трифенилfosфином образуются трифенилfosфиноксид, бензонитрил и селен [17]:



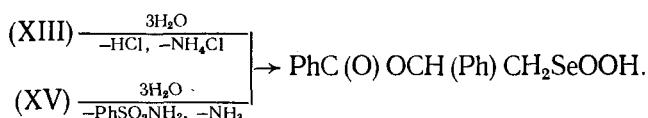
При взаимодействии *bis*(trimетилсилил)диимида селена с бензолсульфохлоридом получен соответствующий *bis*(фенилсульфонил)диимида [51]:



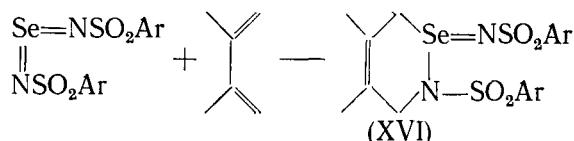
Производные димида селена очень легко реагируют с непредельными соединениями. Направление реакции зависит от строения исходных реагентов. Дизамещенные димида селена, содержащие хотя бы у одного атома азота ацильную группировку, реагируют с непредельными соединениями (стиролом, циклогексеном, 1,1-дифенилэтиленом 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'-фенилсульфонилдимида 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-(треметилсилил)бензосульфамидом (см. гл. V):



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



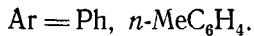
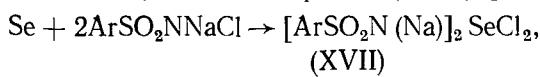
бис(Арилсульфонил)диимида селена с диеновыми углеводородами реагируют по типу [2+4]-цикlopрисоединения с образованием аддуктов 1:1, которые, по-видимому, имеют строение 3,6-дигидро-1-арилсульфонил-2-арилсульфонилимино-2,1-сelenазинов (XVI) [50]:



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'-дитозилдиимида 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 метилене или дихлорэтане в соотношении 2:1. Однако образующиеся при этом соединения по составу, физическим и химическим свойствам отличаются от соответствующих *bis*-(арилсульфонил)димидов 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 *bis*(арилсульфонил)димидов селена они не растворимы в хлористом метилене, дихлорэтане, в других органических растворителях. Это дало основание предположить, что при взаимодействии хлорамина-Б или хлорамина-Т с селеном образуются N,N'-динатриевые соли *bis*-(арилсульфониламида)селендихлоридов (XVII) [50]:

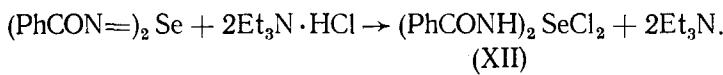


Косвенным подтверждением строения «продуктов Шарплесса» может служить реакция селена сmonoхлорамидами карбоновых кислот, в результате которой образуются *bis*(ароиламида)селендихлориды (XII) (см. гл. V) [32, 33].

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

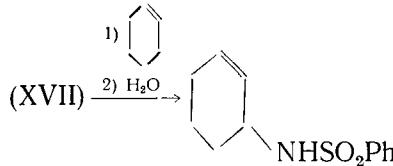


Это предположение косвенно подтверждается реакцией хлоргидрата триэтиламина с *bis*-(бензоил)димида селена, в результате которой образуется *bis*-(бензоиламида)селендихлорид (XII) (см. гл. V):



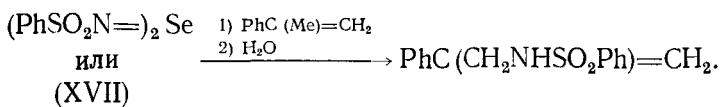
Соединение (XII) выделено и идентифицировано, однако если его сразу же не изолировать из реакционной смеси, то последняя постепенно темнеет (через 10—15 мин) и выделяется селен [50].

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

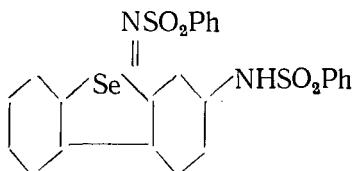


bis-(Арилсульфонил)димиды селена также реагируют с олефинами, однако направление реакции зависит от природы олефина. При взаимодействии α -метилстирола с *bis*-(фенилсульфонил)димида селена, как и с соединением (XVII), получается 2-фенил-3-фенилсульфониламино-

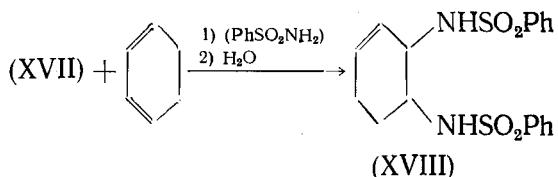
пропен [50] (ср. [53, 55]):



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]:



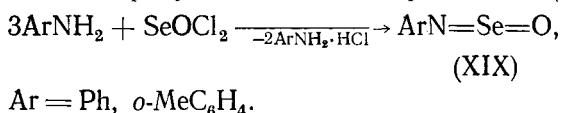
При взаимодействии соединений (XVII) с циклогексадиеном в присутствии сульфамида с последующим гидролизом получается 1,2-бис-(фенилсульфониламино)циклогексен-3 (XVIII) (ср. [54]):



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

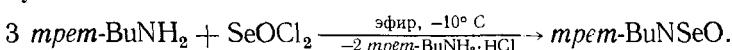
2. Селениламины

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-БуNH₂·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, RSeO , где $\text{R}=\text{ArSO}_2$, 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., Monako 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., Tomimatsu K. //Tetrahedron Lett. 1982. V. 23. P. 901.
7. Tamagaki S., Oae S., Sakaki K. //Ibid. 1975. P. 649.
8. Наддака В. И., Красное 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., Whiterfield 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. R. //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. Roessky 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. Нуждина Ю. А., Егоров Ю. П., Миронюк Л. В., Деркач Н. Я. //Теор. эксп. химия. 1975. Т. 11. С. 605.
27. Деркач Н. Я., Пасмурцева Н. А., Левченко Е. С. //Журн. орган. химии. 1971. Т. 7.
28. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Левченко Е. С. //Там же. 1980. Т. 16. С. 33.
29. Деркач Н. Я., Тищенко Н. П. //Там же. 1977. Т. 13. С. 100.
30. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В. //Там же. 1981. Т. 17. С. 529.
31. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Левченко Е. С. //Там же. 1974. Т. 10. С. 139.
32. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Левченко Е. С. //Там же. 1978. Т. 14. С. 280.
33. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Левченко Е. С. //Там же. 1977. Т. 13. С. 96.
34. Деркач Н. Я., Тищенко Н. П., Левченко Е. С. //Там же. 1981. Т. 17. С. 622.
35. Бальон Я. Г., Левченко Е. С. //Там же. 1967. Т. 3. С. 777.
36. Деркач Н. Я., Пасмурцева Н. А. //Там же. 1973. Т. 9. С. 1414.
37. Деркач Н. Я., Краснянская Т. В., Левченко Е. С., Заболотная Т. Г. //Там же. 1984. Т. 20. С. 2377.
38. Зибарев А. В., Доленко Г. И., Круподер С. А. и др. //Там же. 1980. Т. 16. С. 390.
39. Thrasher J. S., Seppelt K. //Z. anorg. und allg. Chem. 1983. B. 507. S. 7.
40. Thrasher J. S., Bauknight C. W., DesMarteau D. D. //Inorg. Chem. 1985. V. 24.
41. 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.
42. Деркач Н. Я., Барашенков Г. Г., Левченко Е. С. //Журн. орган. химии. 1982. Т. 18.
43. Hartl H., Naiermann P., Lentz D., Seppelt K. //Inorg. Chem. 1983. V. 22. P. 2183.
44. Деркач Н. Я., Барашенков Г. Г., Левченко Е. С. //Журн. орган. химии. 1979. Т. 15.
45. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Барашенков Г. Г. //Там же. 1979. Т. 15. С. 879.
46. Деркач Н. Я., Ляпина Т. В., Барашенков Г. Г. //Там же. 1976. Т. 12. С. 2484.
47. Bussas R., Kresza G., Münslerer 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.