

# ПЕНТАФЕНИЛСУРЬМА И ПЕНТАФЕНИЛВИСМУТ КАК ФЕНИЛИРУЮЩИЕ АГЕНТЫ В РЕАКЦИЯХ С ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ЭЛЕМЕНТОВ (ОБЗОР)

*В.В. Шарутин, О.К. Шарутина*

Представлены результаты по фенилированию органических производных элементов пентафенильными соединениями сурьмы и висмута. Большое внимание уделено реакциям перераспределения лигандов с участием производных сурьмы (V) и висмута (V) общей формулы  $\text{Ph}_3\text{EX}_2$  (E = Sb, Bi; X – электроотрицательный лиганд). Обсуждено влияние условий проведения реакций на строение и выход целевого продукта.

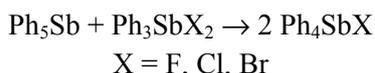
*Ключевые слова:* пентафенилсурьма, пентафенилвисмут, перераспределение, лиганд.

## Введение

Реакции перераспределения лигандов известны для органических соединений некоторых элементов, например, именно по этой схеме можно осуществить синтез органилмеркургалогенида (из диорганилртути и дигалогенидов ртути) [1]. Подобные реакции обмена лигандами с участием органических производных сурьмы (V) или висмута (V) до 1996 года были неизвестны.

## Фенилирование органических соединений сурьмы (V)

Из сполна замещенных производных пятивалентных элементов 15 группы наиболее известными являются пентаарилные соединения сурьмы и висмута. Поскольку в указанных соединениях концентрация органических радикалов при центральном атоме максимальна, то перераспределения лигандов следовало ожидать более всего в реакциях с их участием. Такая реакция была впервые осуществлена на примере взаимодействия пентафенилсурьмы с дигалогенидами трифенилсурьмы, при этом имело место образование единственного продукта – галогенида тетрафенилсурьмы с выходом до 99 % [2]:



Взаимодействие реагентов протекает в ароматическом углеводороде при комнатной температуре в течение суток, при нагревании (90–100 °С) полнота превращения достигается за 1–2 ч.

Возможность фенилирования пентафенилсурьмой других производных пятивалентной сурьмы общей формулы  $\text{Ph}_3\text{SbX}_2$  (X – электроотрицательный лиганд) была исследована в работах [2–21]. Установлено, что взаимодействие пентафенилсурьмы с диороданидом трифенилсурьмы [2], динитратом трифенилсурьмы (толуол, 90 °С, 2 ч) [3] и дитиоцианатом трифенилсурьмы (толуол, 90 °С, 1 ч) [4] происходит по той же схеме. Подобные превращения осуществляются с пентаарилсурьмой и дикарбоксилатами [5–12], дисульфонатами [13–17], диоксиматами [18–23], дифенолятами триарилсурьмы [24–26], динитритом трифенилсурьмы [27] и диперренатом трифенилсурьмы [28]:



В зависимости от природы лиганда X исчезновение пентаарилсурьмы из реакционной смеси происходило при нагревании (90 °С) через 0,25–2 ч. Единственным продуктом реакции являлись производные общей формулы  $\text{Ph}_4\text{SbX}$  с высоким, а иногда с количественным выходом.

Взаимодействие пентафенилсурьмы с *бис*(бензилокси)трифенилсурьмой и *бис*(трифенилсилокси)трифенилсурьмой, проведенное в аналогичных условиях, приводило к образованию бензилокситетрафенилсурьмы и трифенилсилокситетрафенилсурьмы соответственно [29].

Усложнение радикала X в производных сурьмы общей формулы  $\text{Ph}_3\text{SbX}_2$  не приводило к изменению схемы реакции перераспределения лигандов. Так, показано, что пентафенилсурьма реагирует с *бис*(дифенацилфосфинатом) трифенилсурьмы в растворе ароматического углеводорода при комнатной температуре с образованием дифенацилфосфината тетрафенилсурьмы с выходом 76 % [30].

Установлено, что наличие потенциальных координирующих центров в электроотрицательных заместителях X не меняет схемы реакции перераспределения лигандов [31, 22]. Однако увеличение объема электроотрицательного заместителя уменьшает выход целевого продукта, а *бис*(2-нафталинсульфонат) трифенилсурьмы не реагирует с пентафенилсурьмой даже при многочасовом нагревании. Это можно объяснить тем, что объемные заместители затрудняют образование промежуточного лабильного ионного комплекса, через который, как предполагается, протекает образование соединения  $\text{Ph}_4\text{SbX}$ :

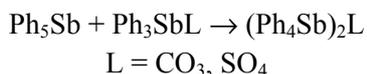


Однако выделить указанные промежуточные соединения авторам не удалось. В то же время несколько иные комплексы типа  $[\text{R}_4\text{Sb}]^+[\text{RSbHal}_5]^-$  или  $[\text{R}_4\text{Sb}]^+[\text{R}_2\text{SbHal}_4]^-$ , в которых анион имеет шестикоординированный атом сурьмы с пятью или четырьмя электроотрицательными заместителями были охарактеризованы [33, 34]. Очевидно, что комплексы, образующиеся в реакции перераспределения на первой стадии, являются неустойчивыми из-за нестабильности аниона, содержащего объемные заместители при атоме сурьмы.

Способ синтеза соединений общей формулы  $\text{Ph}_4\text{SbX}$  по реакции перераспределения лигандов весьма привлекателен из-за высокого выхода конечного продукта, количество которого достигает двух молей из расчета на один моль исходной пентафенилсурьмы.

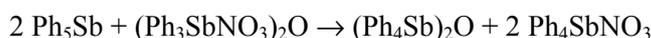
Использование в реакциях перераспределения радикалов соединений общей формулы  $\text{Ph}_3\text{SbX}_2$ , в которых лиганды X имеют столь различную природу, позволяет сделать вывод о том, что реакция перераспределения радикалов с участием пентафенилсурьмы имеет общий характер, т. е. является универсальной для фенильных соединений пятивалентной сурьмы.

Установлено, что реакция перераспределения радикалов успешно протекает между пентафенилсурьмой и производным сурьмы, содержащим бидентатный лиганд [35, 36]:

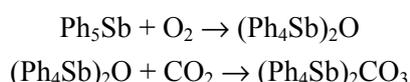


По мере нагревания реакционной смеси количество исходного карбоната или сульфата трифенилсурьмы, плохо растворимых в толуоле, уменьшалось; при охлаждении раствора наблюдалось образование кристаллов карбоната и сульфата тетрафенилсурьмы соответственно.

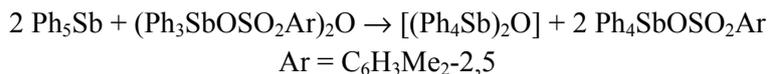
Перераспределение лигандов происходит и при взаимодействии пентафенилсурьмы с  $\mu$ -оксобис[(нитрато)трифенилсурьмой], в результате которого имеет место образование  $\mu$ -оксобис(тетрафенилсурьмы) и нитрата тетрафенилсурьмы [37]:



Нитрат тетрафенилсурьмы был выделен из реакционной смеси с выходом 98 %. Однако при проведении реакции в присутствии кислорода воздуха вместо  $\mu$ -оксобис(тетрафенилсурьмы) был получен с высоким выходом карбонат тетрафенилсурьмы. Специальным опытом подтверждено, что в растворе ароматического углеводорода  $(\text{Ph}_4\text{Sb})_2\text{O}$  количественно превращается в карбонат тетрафенилсурьмы [38]:

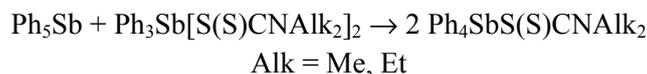


Установлено, что реакция пентафенилсурьмы с  $\mu$ -оксобис[(аренсульфонато)-трифенилсурьмой] в толуоле (20 °С, 24 ч) приводит к перераспределению фенильных и аренсульфонатных групп при атомах сурьмы [39]:

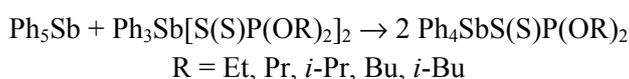


Из реакционной смеси были выделены аренсульфонат тетрафенилсурьмы и  $\mu$ -оксобис(тетрафенилсурьма) с выходами 71 и 70 % соответственно.

Показано, что по аналогичной схеме пентафенилсурьма реагирует с бис(N,N-диалкилдитиокарбаматами) трифенилсурьмы [40]:

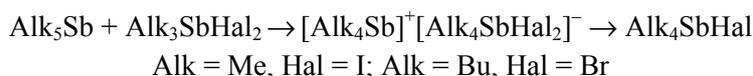


Пентафенилсурьма и бис(O,O-диалкилдитиофосфаты трифенилсурьмы реагируют при нагревании в растворе ароматического углеводорода с образованием O,O-диалкилдитиофосфата тетрафенилсурьмы [41]:

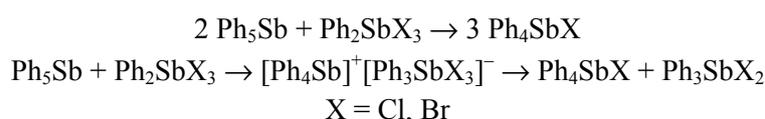


ИК спектр и температура плавления полученного O,O-диалкилдитиофосфата тетрафенилсурьмы совпадали с аналогичными характеристиками вещества, синтезированного из хлорида тетрафенилсурьмы и O,O-диалкилдитиофосфата калия [42].

Пентаалкильные соединения сурьмы являются донорами алкильных групп в подобных реакциях перераспределения лигандов. Так, пентаалкилсурьма реагирует с дигалогенидами триалкилсурьмы с образованием с высоким выходом (до 93 %) галогенидов тетраалкилсурьмы [42]:



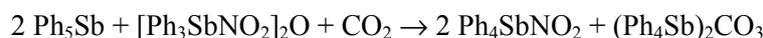
Способность пентафенилсурьмы фенилировать тригалогениды дифенилсурьмы общей формулы Ph<sub>2</sub>SbX<sub>3</sub> (X = Cl, Br) установлена в работах [40, 43]. Показано, что при мольном соотношении пентафенилсурьмы и тригалогенида дифенилсурьмы 2:1 (толуол, 90 °С, 1 ч) образуется галогенид тетрафенилсурьмы с выходом до 95 %. При мольном соотношении реагентов 1:1 была получена смесь галогенида тетрафенилсурьмы (до 98 %) и дигалогенида трифенилсурьмы (до 99 %), которую разделяли, пользуясь их различной растворимостью в органических растворителях:



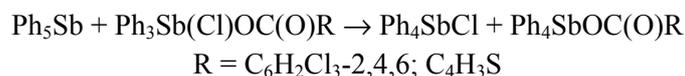
Перераспределение лигандов происходит и при взаимодействии пентафенилсурьмы с  $\mu$ -оксобис[(2,4,6-трибромфеноксо)трифенилсурьмой], однако в присутствии углекислого газа образуются ароксид тетрафенилсурьмы и карбонат тетрафенилсурьмы [40]:



По аналогичной схеме реагирует пентафенилсурьма с  $\mu$ -оксобис[(нитрито)-трифенилсурьмой] [40]:

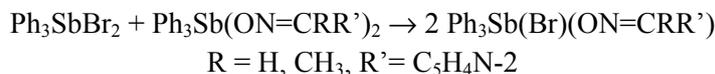


Найдено, что взаимодействие пентафенилсурьмы с хлоркарбоксилатами трифенилсурьмы приводит к образованию хлорида тетрафенилсурьмы и карбоксилата тетрафенилсурьмы [44]:

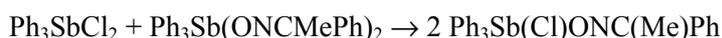


Ранее указанные карбоксилаты тетрафенилсурьмы получали по реакции замещения из бромида тетрафенилсурьмы и натриевой соли карбоновой кислоты в толуоле (кипячение с обратным холодильником, 8 ч) [45].

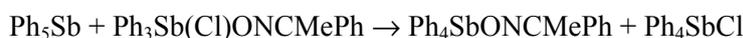
Авторы работы [46] синтезировали соединения пентавалентной сурьмы общей формулы  $\text{Ph}_3\text{SbYX}$  из диоксимата трифенилсурьмы и дибромида трифенилсурьмы в растворе бензола:



Несколько позже из *бис*(ацетофеноноксимата) трифенилсурьмы и дихлорида трифенилсурьмы в толуоле (90 °С, 1 ч) был получен хлороацетофеноноксимат трифенилсурьмы  $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{Cl})\text{ONC}(\text{Me})\text{Ph}$  с выходом 92 % [47]:

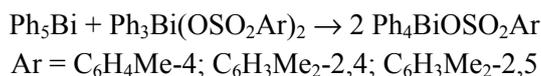


Показано, что пентафенилсурьма реагирует с хлороацетофеноноксиматом трифенилсурьмы в аналогичных условиях с образованием хлорида тетрафенилсурьмы и ацетофеноноксимата тетрафенилсурьмы, которые разделяли дробной кристаллизацией:



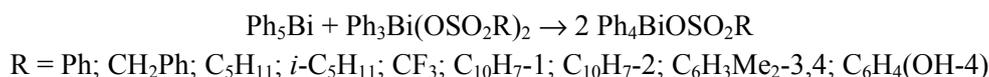
#### Фенилирование органических соединений висмута (V)

Реакции пентафенилвисмута с *бис*(аренсульфонатами) трифенилвисмута приводили к образованию аренсульфонатов тетрафенилвисмута с выходом 75–82 % [48–50]:



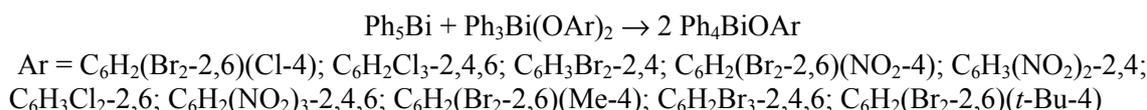
Реакции проводили в растворе толуола при 20 °С (нагревание недопустимо в связи с термической нестабильностью пентафенилвисмута), при этом наблюдалось исчезновение фиолетовой окраски раствора, характерной для пентафенилвисмута, и образование крупных кристаллов целевого продукта.

Введение в реакцию с пентафенилвисмутом *бис*(алкансульфонатов), *бис*(нафталинсульфонатов) и *бис*(4-оксибензолсульфоната) трифенилвисмута не оказывает влияния на схему протекания реакции [51]; увеличение объема аренсульфонатного лиганда в случае сульфонафтильных производных несколько снижает выход (до 53 %) целевого продукта [52]:



Общий характер реакций перераспределения лигандов в ряду арильных соединений пентавалентного висмута был доказан на примерах реакций пентафенилвисмута с диароксидами, *бис*(трихлорацетатом), диперренатом, динитритом и дифторидом трифенилвисмута.

Так, взаимодействие пентафенилвисмута с диароксидами трифенилвисмута (толуол, 20 °С) протекает с образованием ароксидов тетрафенилвисмута [53–56]:

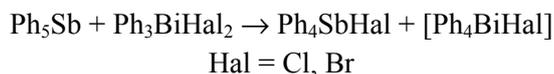


Взаимодействие дихлорида и дибромида трифенилвисмута с пентафенилвисмутом протекает с количественным образованием трифенилвисмута и галоидбензола, являющихся продуктами разложения неустойчивых при обычных условиях галогенидов тетрафенилвисмута.

Следует отметить, что реакции перераспределения радикалов с участием пентафенилвисмута протекают в более мягких условиях, чем подобные реакции соединений пентавалентной сурьмы, что можно объяснить меньшей прочностью связи Bi–C по сравнению со связью Sb–C.

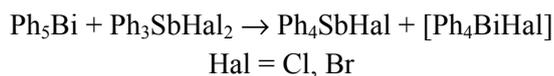
Таким образом, пентафенилвисмут в указанных выше реакциях проявляет себя в качестве более эффективного, чем пентафенилсурьма, фенилирующего агента, конвертирующего с высоким выходом производные общей формулы  $\text{Ph}_3\text{BiX}_2$  в соединения висмута общей формулы  $\text{Ph}_4\text{BiX}$ .

Возможность перехода органического радикала с атома сурьмы на атом висмута и наоборот была исследована в немногих работах. Найдено, например, что пентафенилсурьма реагирует с производными висмута общей формулы  $\text{Ph}_3\text{BiX}_2$  с образованием ониевых соединений сурьмы [57, 58]:



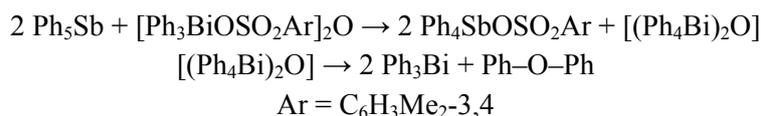
Реакции проводили в растворе бензола или толуола при комнатной температуре в течение 24 ч или на кипящей водяной бане в течение 1 ч. Во всех реакциях выход сурьмаорганического соединения был практически количественным. Хлорид и бромид тетрафенилвисмута неустойчивы даже при комнатной температуре и из реакционной смеси выделяли лишь продукты их разложения – трифенилвисмут и галоидбензол. Карбоксилаты тетрафенилвисмута также не были выделены из продуктов реакции пентафенилвисмута с дикарбоксилатами трифенилвисмута; из реакционной смеси были выделены лишь трифенилвисмут и фениловые эфиры карбоновых кислот.

В свою очередь, пентафенилвисмут фенилирует дигалогениды трифенилсурьмы до галогенида тетрафенилсурьмы [57]:

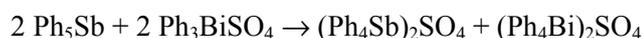


Реакции протекают в растворе ароматического углеводорода при комнатной температуре в течение нескольких минут. При этом образуются галогенид тетрафенилсурьмы, трифенилвисмут и галоидбензол с практически количественными выходами.

Взаимодействие пентафенилсурьмы с  $\mu$ -оксобис(3,4-диметилбензолсульфонатотрифенилвисмут) исследовано в работе [59]. Установлено, что продуктами реакции (толуол, 20 °С, 24 ч) являются 3,4-диметилбензолсульфонат тетрафенилсурьмы (82 %) и трифенилвисмут (79 %). Образование последнего, по мнению авторов, можно объяснить разложением неустойчивого  $\mu$ -оксобис(тетрафенилвисмута), получающегося в результате реакции перераспределения лигандов:



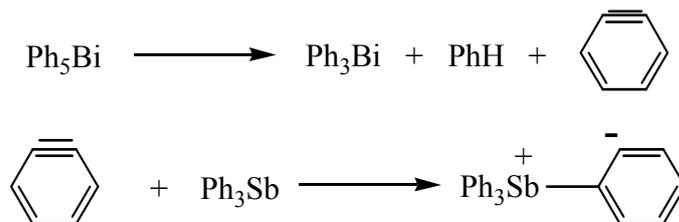
Найдено, что взаимодействие пентафенилсурьмы и сульфата трифенилвисмута (толуол, 90 °С, 1 ч) сопровождается образованием крупных кристаллов сульфата *бис*(тетрафенилсурьмы) [60]:



Таким образом, в указанных реакциях пентафенилсурьма и пентафенилвисмут ведут себя как фенилирующие агенты, с помощью которых происходит конверсия органических соединений сурьмы и висмута общей формулы  $\text{Ph}_3\text{MX}_2$  (M = Sb, Bi) в производные  $\text{Ph}_4\text{MX}$ . К достоинствам способа синтеза производных сурьмы и висмута общей формулы  $\text{Ph}_4\text{MX}$  следует отнести легкость выполнения синтеза и высокий выход целевого продукта.

### ***Арилирование органических соединений сурьмы (III) и висмута (III) арильными соединениями сурьмы (V) и висмута (V)***

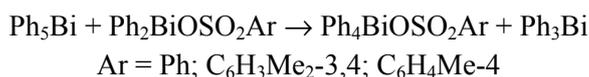
Впервые реакция фенилирования трифенилстибина пентафенилвисмутом была описана в работе [61]. Продуктом указанной реакции является цвиттер-ион, образование которого авторы объясняют взаимодействием трифенилстибина с дегидробензолом, выделяющимся при разложении неустойчивого пентафенилвисмута:



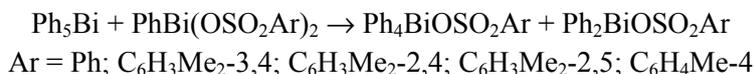
Полученный биполярный ион представляет собой бесцветное вещество, разлагающееся при нагревании свыше 250 °С. Его строение доказано реакциями с хлороводородом, бензиловым спиртом, галоидными алкилами. Например, при взаимодействии биполярного иона с хлороводородом образуется хлорид тетрафенилсурьмы.

Позднее было установлено, что продуктом окисления трифенилстибина избыточным количеством пентафенилвисмута является пентафенилсурьма [62]. Однако, пентафенилвисмут не фенилирует стибины с объемными заместителями, такие как тринифтил- и трицимантренилстибин.

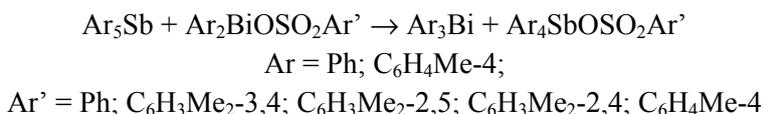
Интерес представляло исследование реакций перераспределения лигандов между соединениями висмута разных степеней окисления. Установлено, что в результате взаимодействия пентафенилвисмута с аренсульфонатами дифенилвисмута (эфир, 20 °С, 1 ч) происходит фенилирование производного трехвалентного висмута и образование аренсульфонатов тетрафенилвисмута (65–74 %) и трифенилвисмута (68–95 %) [63, 64]:



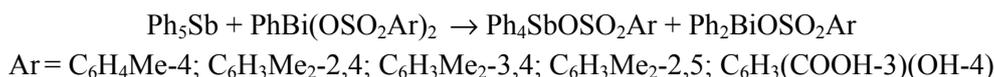
Синтез аренсульфонатов тетрафенилвисмута (68–72 %) и аренсульфонатов дифенилвисмута (78–98 %) наблюдается при взаимодействии пентафенилвисмута с *бис*(аренсульфонатами) фенилвисмута (эфир, 20 °С, 1 ч) [65]:



В результате взаимодействия пентафенилсурьмы с аренсульфонатом дифенилвисмута (или пента-*n*-толилсурьмы с аренсульфонатом ди-*n*-толилвисмута) (эфир, 20 °С, 48 ч) происходит перераспределение лигандов между атомами сурьмы и висмута и образование триарилвисмута (88–97 %) и аренсульфоната тетраарилсурьмы с выходом до 99 % [66, 67]:



По аналогичной схеме реагируют пентафенилсурьма и *бис*(аренсульфонаты) фенилвисмута (эфир, 20 °С, 48 ч), при этом образуются аренсульфонаты тетрафенилсурьмы (95–99 %) и аренсульфонаты дифенилвисмута (73–78 %) [60, 68, 69]:



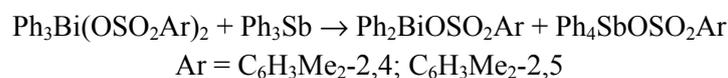
При взаимодействии пентафенилсурьмы с дибензоатом трифенилвисмута в растворе толуола наблюдалось образование бензоата тетрафенилсурьмы, при этом из реакционной смеси были выделены трифенилвисмут (50 %) и фениловый эфир бензойной кислоты (48 %), являющиеся, по-видимому, продуктами разложения промежуточно образующегося бензоата тетрафенилвисмута [70]:



## Органическая химия

Аналогичная реакция пентафенилсурьмы с *бис*(трихлорацетатом) трифенилвисмута привела к образованию трихлорацетата тетрафенилсурьмы с выходом 85 %.

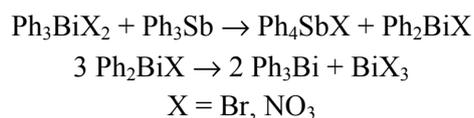
Реакция *бис*(аренсульфонатов) трифенилвисмута с трифенилсурьмой (толуол, 25 °С, 12–18 ч) сопровождается изменением степеней окисления атомов сурьмы и висмута, при этом с атома висмута на атом сурьмы переходят одновременно и фенильный, и аренсульфонатный лиганды [71]:



Выходы аренсульфонатов тетрафенилсурьмы составили 91 и 89 % соответственно. Аренсульфонаты дифенилвисмута были выделены с выходами 64 и 58 % соответственно [71, 72].

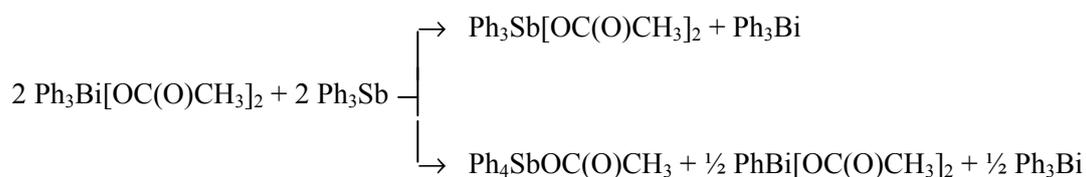
При мольном соотношении реагентов 1:2 в этих же условиях образуются *бис*(аренсульфонаты) фенилвисмута – мелкокристаллические вещества с высокими температурами плавления, плохо растворимые в органических растворителях.

В реакциях дибромида и динитрата трифенилвисмута с трифенилсурьмой (толуол, 100 °С, 4 ч) соединение висмута является одновременно и фенилирующим и окисляющим агентом [60]. Образование трифенилвисмута в этих реакциях, как считают авторы, можно объяснить диспропорционированием в условиях реакции производных трехвалентного висмута несимметричного строения:

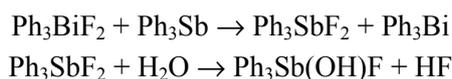


Бромид и нитрат тетрафенилсурьмы были выделены с выходами 90 и 86 % соответственно, трифенилвисмут – с выходом до 95 %.

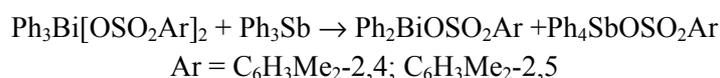
Иначе реагирует трифенилсурьма с диацетатом и дифторидом трифенилвисмута. Так, взаимодействие трифенилсурьмы с диацетатом трифенилвисмута привело к образованию трифенилвисмута (39 %) и диацетата трифенилсурьмы (24 %). Среди других продуктов реакции были идентифицированы ацетат тетрафенилсурьмы (36 %) и диацетат фенилвисмута (35 %) [65]:



Взаимодействие дифторида трифенилвисмута с трифенилсурьмой приводит к образованию трифенилвисмута и дифторида трифенилсурьмы. Однако при разделении продуктов реакции методом колоночной хроматографии вместо дифторида трифенилсурьмы был выделен оксифторид трифенилсурьмы (82 %), который, как показано специальным опытом, количественно образовывался при хроматографировании на оксиде алюминия или силикагеле дифторида трифенилсурьмы [73, 74]:



Показано, что трифенилсурьма реагирует с *бис*(аренсульфонатами) трифенилвисмута с образованием аренсульфоната тетрафенилсурьмы и аренсульфоната дифенилвисмута [75]:



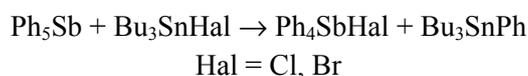
Таким образом, показано, что соединения пятивалентного висмута окисляют производные сурьмы(III), при этом происходит переход на атом сурьмы с атома висмута либо органического и электроотрицательного лигандов, либо двух электроотрицательных лигандов.

**Фенилирование органических соединений олова, германия, кремния и ртути  
пентафенилсурьмой и пентафенилвисмутом**

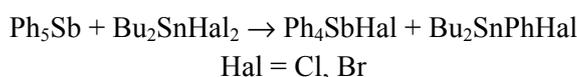
Элементоорганические соединения получают, как правило, с помощью реакций алкилирования и арилирования галогенидов элементов. В качестве арилирующих и алкилирующих агентов чаще всего используют органические соединения металлов I, II групп, реже другие элементоорганические соединения. Например, трифенилвисмут можно применять для получения фенильных производных четырехвалентного германия [76, 77].

В монографии [78] приведены всего несколько примеров алкилирования (арилирования) органических соединений Al, B, Sn пентаорганилсурьмой. В зависимости от типа взятого алюминийорганического соединения и соотношения реагентов образуются комплексные стибониевые соли различного состава, например  $[(C_2H_5)_4Sb]^+[Al(C_2H_5)_nCl_{4-n}]^-$  (где  $n = 0-3$ ) или  $[(C_2H_5)_4Sb]^+[(C_2H_5)_4Al]^-$ . С трифенилбором пентаорганилсурьма также дает устойчивый комплекс ионного строения  $[R_4Sb]^+[RBPh_3]^-$  ( $R = CH_3, C_6H_5$ ). Взаимодействие  $(CH_3)_5Sb$  с  $(CH_3)_3SnF$  или  $(CH_3)_3SnOH$  приводит к образованию тетраметилолова и фторида или гидроксида тетраметилсурьмы соответственно.

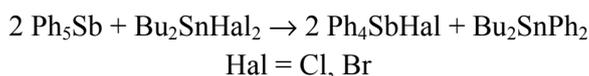
Найдено, что пентафенилсурьма способна фенилировать галогениды трибутилолова до фенилбутильных соединений олова, образующихся с выходом до 94 % [79, 80]:



В подобной реакции с дигалогенидами дибутилолова при мольном соотношении исходных реагентов 1:1 имеет место замена одного атома галогена на фенильную группу и образование фенилдибутилгалогенида олова с выходом до 82 %; в реакционной смеси также присутствует в качестве побочного продукта дифенилдибутилолово (по данным ПМР-спектров не более 2–3 %) [81]:



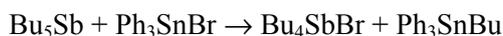
Взаимодействие указанных выше реагентов в соотношении 2:1 приводило к синтезу только дифенилдибутильных соединений олова с выходом до 87 %:



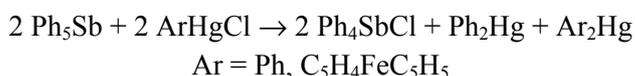
Реакции протекают в растворе толуола уже при комнатной температуре, при этом наблюдается образование крупных кристаллов галогенида тетрафенилсурьмы.

Показано, что пентафенилсурьма фенилирует хлорид трифенилолова или дихлорид дифенилолова по аналогичным схемам. Установлено, что фенилирование алкилгалогенидов германия протекает аналогичным образом, но в более жестких условиях (100 °С, 2 ч). Хлорид трифенилкремния реагирует с пентафенилсурьмой с образованием тетрафенилсилана (83 %) при нагревании (100 °С) в течение 3 ч. Введение электроотрицательных атомов фтора в фенильные кольца при атоме кремния способствует успешному взаимодействию пентафенилсурьмы с бромидом *трис*(пентафторфенил)кремния, которое в этом случае протекает в течение 1 ч при 90 °С с образованием тетраарилкремния несимметричного строения (61 %) [81].

Взаимодействие пентабутилсурьмы с бромидом трифенилолова в растворе толуола приводит к образованию бутилтрифенилолова с выходом 87 % [82]:



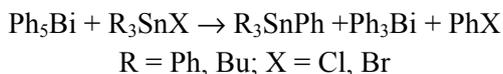
По сходной схеме пентафенилсурьма фенилирует соединения ртути: фенилмеркурхлорид и ферроцилмеркурхлорид [83]:



## Органическая химия

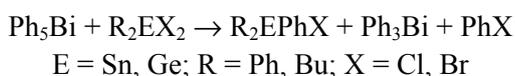
Образование в последнем случае диферроценилртути и дифенилртути можно объяснить реакциями диспропорционирования образующихся ртутьорганических соединений.

Пентафенилвисмут, также как и пентафенилсурьма, фенилирует галогениды триорганилолова (толуол, 20 °С, 1 ч) до фенилорганильных соединений олова, образующихся с выходом до 94 % [84]:

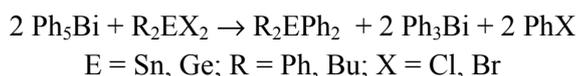


Пентафенилвисмут фенилирует хлорид трифенилкремния и бромид трифенилкремния (толуол, 20 °С, 1 ч) до тетрафенилкремния (25 и 27 % соответственно), а бромид *трис*(пентафторфенил)кремния до *трис*(пентафторфенил)фенилкремния с выходом 65 %.

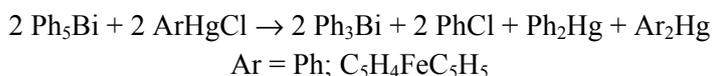
В подобной реакции пентафенилвисмута с дигалогенидами диорганилолова или германия при мольном соотношении реагентов 1:1 имеет место замена одного атома галогена на фенильную группу и образование фенилдиорганилгалогенида олова или германия с выходом до 85 %:



Взаимодействие указанных выше реагентов при соотношении 2:1 (мольн.) приводило к синтезу дифенилдиорганильных соединений олова или германия с выходом до 87 %:



Пентафенилвисмут фенилирует и фенилртутихлорид, и ферроценилртутихлорид (толуол, 20 °С, 1 ч):



### Заключение

Пентафенилсурьма и пентафенилвисмут являются удобными фенилирующими агентами в реакциях с элементоорганическими соединениями. Применение указанных реагентов для получения фенильных соединений элементов IV, V групп как симметричного, так и несимметричного строения представляет большой интерес.

К достоинствам пентафенилсурьмы как фенилирующего агента следует отнести ее устойчивость к влаге воздуха, термо- и фотостойчивость, хорошую растворимость в органических растворителях, высокий выход получаемых фенилсодержащих элементоорганических соединений. Фенилирование органических соединений элементов пентафенилвисмутом протекает в более мягких условиях, чем при использовании пентафенилсурьмы, с более высокими выходами целевых продуктов, при этом окончание реакции легко определяется по изменению цвета реакционной среды.

### Литература

1. Шарутин, В.В. Именные реакции в химии элементоорганических соединений / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин. – Челябинск.: Издат. центр ЮУрГУ, 2011. – 427 с.
2. Способ получения солей тетрафенилстибония общей формулы Ph<sub>4</sub>SbX [X = Cl, Br, OS(O)Ph, SCN] / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, О.К. Шарутина и др. // Журн. общ. химии. – 1996. – Т. 66, вып. 10. – С. 1755–1756.
3. Синтез и строение нитрата тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Л.П. Панова и др. // Журн. общ. химии. – 2002. – Т. 72, вып. 1. – С. 45–48.
4. Строение галогенидов тетраарилсурьмы и изотиоцианата тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.П. Пакутина и др. // Коорд. химия. – 2005. – Т. 31, № 2. – С. 117–124.
5. Реакции пентаарилсурьмы с диацилатами триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.П. Пакутина, В.К. Бельский // Журн. общ. химии. – 1997. – Т. 67, вып. 9. – С. 1536–1541.

6. Синтез фторбензоатов тетра- и триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Е.А. Бондарь и др. // Журн. общ. химии. – 2002. – Т. 72, вып. 3. – С. 419–420.
7. Синтез и строение пентафторбензоата тетрафенилсурьмы и нитрата тетра-*n*-толилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Е.А. Бондарь и др. // Коорд. химия. – 2001. – Т. 27, № 6. – С. 423–427.
8. Синтез и строение фторбензоатов тетра- и триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Е.А. Бондарь, А.П. Пакулина и др. // Коорд. химия. – 2002. – Т. 28, № 5. – С. 356–363.
9. Синтез и строение бензоата тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, Г.К. Фукин, Л.Н. Захаров и др. // Журн. общ. химии. – 2000. – Т. 70, вып. 12. – С. 1997–1999.
10. Синтез и строение ниацината тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакулина, Т.П. Платонова и др. // Журн. общ. химии. – 2003. – Т. 73, вып. 2. – С. 234–237.
11. Синтез и строение феноксиацетата и этилмалоната тетрафенилсурьмы Ph<sub>4</sub>SbOC(O)R [R = CH<sub>2</sub>OPh, CH<sub>2</sub>C(O)OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>] / В.В. Шарутин, А.П. Пакулина, О.П. Задачаина и др. // Коорд. химия. – 2004. – Т. 30, № 6. – С. 426–431.
12. Синтез и строение 1-адамантанкарбоксилата тетрафенилсурьмы и бис(1-адамантанкарбоксилата) трифенилсурьмы / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, О.К. Шарутина и др. // Журн. общ. химии. – 2009. – Т. 79, вып. 10. – С. 1636–1643.
13. Сульфонаты тетра- и триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Л.П. Панова, В.К. Бельский // Журн. общ. химии. – 1997. – Т. 67, вып. 9. – С. 1531–1535.
14. Синтез и строение 4-метилбензолсульфоната тетра-*n*-толилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Т.А. Тарасова и др. // Журн. общ. химии. – 1999. – Т. 69, вып. 12. – С. 1979–1981.
15. Синтез и строение органосульфонов тетра- и трифенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.П. Пакулина и др. // Коорд. химия. – 2004. – Т. 30, № 1. – С. 15–24.
16. Синтез и строение 2,4-диметилбензолсульфоната тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Т.А. Тарасова и др. // Журн. общ. химии. – 2000. – Т. 70, вып. 8. – С. 1311–1314.
17. Синтез и строение сурьма- и висмуторганических производных 4-сульфофенола и 2,4-дисульфофенола / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, А.П. Пакулина и др. // Коорд. химия. – 2007. – Т. 33, № 3. – С. 176–183.
18. Синтез и строение оксиматов тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, О.В. Молокова и др. // Журн. общ. химии. – 2000. – Т. 70, № 12. – С. 1990–1996.
19. Синтез и строение оксиматов тетра- и триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, О.В. Молокова и др. // Журн. общ. химии. – 2001. – Т. 71, вып. 8. – С. 1317–1321.
20. Синтез и строение оксиматов тетра- и триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, О.В. Молокова и др. // Журн. общ. химии. – 2002. – Т. 72, № 6. – С. 956–961.
21. Синтез и строение оксиматов тетра- и триарилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, О.В. Молокова и др. // Коорд. химия. – 2002. – Т. 28, № 8. – С. 581–590.
22. Оксиматы тетра- и триарилсурьмы. Синтез и строение / О.В. Молокова, В.В. Шарутин, О.К. Шарутина и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2004. – Т. 5, № 3. – С. 28–33.
23. Шарутин, В.В. Синтез и строение салицилальдоксиматов тетра- и трифенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, О.В. Молокова // Журн. неорган. химии. – 2012. – Т. 57, № 6. – С. 902–907.
24. Новый метод синтеза арокситетраарильных соединений сурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, П.Е. Осипов, О.В. Субачева // Журн. общ. химии. – 2001. – Т. 71, вып. 6. – С. 1045–1046.
25. Арокситетраарильные соединения сурьмы. Синтез, строение и термическое разложение / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, П.Е. Осипов и др. // Журн. общ. химии. – 2000. – Т. 70, вып. 6. – С. 931–936.
26. Сурьмаорганические производные 2,4,6-трибромфенола / В.В. Шарутин, А.П. Пакулина, М.А. Пушилини и др. // Журн. общ. химии. – 2003. – Т. 73, вып. 4. – С. 573–577.
27. Синтез и строение нитрита тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакулина, И.В. Егорова и др. // Коорд. химия. – 2002. – Т. 28, № 12. – С. 883–886.
28. Синтез и строение перрената тетрафенилсурьмы и хлората тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, О.А. Фастовец и др. // Журн. неорган. химии. – 2009. – Т. 54, № 3. – С. 436–442.

29. Шарутин, В.В. Реакции пентафенилсурьмы с бис(бензилокси)трифенилсурьмой и бис(трифенилсилокси)трифенилсурьмой / В.В. Шарутин, А.П. Пакусина // Бутлеровские сообщения. – 2012. – Т. 29, № 2. – С. 31–32.
30. Синтез и строение дифенацилфосфината тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакусина, С.А. Смирнова, Г.К. Фукин // Коорд. химия. – 2004. – Т. 30, № 6. – С. 421–425.
31. Синтез и строение дикарбоксилатов триарилсурьмы  $Ar_3Sb[OC(O)R]_2$  ( $Ar = Ph, n-Tol$ ;  $R = 2-C_4H_3O, 3-C_5H_4N$ ) / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.П. Пакусина и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 10. – С. 750–759.
32. Синтез и строение 2-фуруината и бензоата тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакусина, Т.П. Платонова и др. // Коорд. химия. – 2002. – Т. 28, № 11. – С. 803–808.
33. Wieber, M. Darstellung von Pentahalogenomethyl- und -phenylantimonaten (V), Trihalogenomethylantimonaten (III) und Tetrahalogenophenylstiboranen / M. Wieber, J. Walz // Z. Anorg. Allg. Chem. – 1990. – Bd. 583. – S. 102–112.
34. Dehnicke, K. Darstellung und Schwingungsspektren der Komplexe  $(Cl_5Sb)_2F$ ,  $(Cl_5Sb)_2CN$  und  $CH_3SbCl_4N_3$  / K. Dehnicke, H.G. Nadler // Z. Anorg. Allg. Chem. – 1976. – Bd. 426, N. 3. – S. 253–259.
35. Карбонат тетрафенилсурьмы. Синтез и строение / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Т.П. Платонова и др. // Журн. общ. химии. – 2001. – Т. 71, вып. 10. – С. 1637–1640.
36. Платонова, Т.П. Синтез, строение и некоторые реакции арильных соединений сурьмы (V): дис. ... канд. хим. наук / Т.П. Платонова; ДВГУ. – Владивосток. 2002. – 124 с.
37. Синтез и строение соединений сурьмы  $(Ar_3SbX)_2O$  / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Н.В. Насонова и др. // Металлоорганическая химия на рубеже XXI века: тез. докл. молодеж. шк.-конф. – М., 1999. – С. 117.
38. Синтез, строение и реакции  $\mu$ -оксо-бис(тетрафенилсурьмы) / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.С. Сенчуринов и др. // Коорд. химия. – 2001. – Т. 27, № 9. – С. 710–716.
39. Синтез, строение и реакции соединений сурьмы  $(Ar_3SbX)_2O$ ,  $X = Hal, NO_2, NO_3, OSO_2R, OC(O)R', OAr'$  / В.В. Шарутин, А.П. Пакусина, Н.В. Насонова и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2002. – № 11. – С. 13–22.
40. Шарутин, В.В. Пентафенилсурьма в реакциях фенилирования органических соединений пятивалентной сурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакусина // Бутлеровские сообщения. – 2011. – Т. 28, № 17. – С. 60–63.
41. Шарутин, В.В. О,О-Диалкилдитиофосфаты тетра- и трифенилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакусина, М.А. Иванов // Бутлеровские сообщения. – 2011. – Т. 28, № 19. – С. 51–53.
42. Пакусина А.П. Особенности химического поведения и строения арильных соединений сурьмы: дис. ... д-ра хим. наук / А.П. Пакусина; Иркут. ин-т химии. – Иркутск, 2006. – 323 с.
43. Фенилирование органических соединений сурьмы пентафенилсурьмой. Строение хлорида тетрафенилсурьмы / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.П. Пакусина и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 2. – С. 95–98.
44. Шарутин, В.В. Пентафенилсурьма в реакциях фенилирования хлоркарбоксилатов трифенилсурьмы / В.В. Шарутин, М.В. Васильева // Бутлеровские сообщения. – 2011. – Т. 28, № 17. – С. 70–72.
45. Synthesis, characterization and crystal structures of tri- and tetraphenylantimony (V) compounds containing arylcarbonyloxy moiety / Quan Li, Yin Han-dong, Cui Ji-chun et al. // J. Organomet. Chem. – 2009. – Vol. 694. – P. 3708–3717.
46. Synthetic, spectroscopic and structural aspects of Triphenylantimony (V) complexes with internally functionalized oximes: Crystal and molecular structure of  $[Ph_3Sb\{ON=C(Me)C_5H_4N-2\}_2]$  / A. Gupta, R.K. Sharma, R. Bohra et al. // Polyhedron. – 2002. – Vol. 21. – P. 2387–2392.
47. Шарутин, В.В. Хлороацетофеноноксимат трифенилсурьмы: синтез, молекулярная и кристаллическая структуры, взаимодействие с пентафенилсурьмой / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, О.В. Молокова // Бутлеровские сообщения. – 2011. – Т. 28, № 19. – С. 45–50.
48. Синтез и строение аренсульфонатов тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // Журн. общ. химии. – 1999. – Т. 69, вып. 9. – С. 1470–1473.
49. Аренсульфонаты тетра- и трифенилвисмута. Синтез и строение / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // Изв. АН. Сер. хим. – 1999. – № 12. – С. 2350–2354.

50. Синтез и кристаллическая структура гидрата бензолсульфоната и 3,4-диметилбензолсульфоната тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.К. Иваненко и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 7. – С. 502–507.
51. Синтез и строение арильных соединений висмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, О.К. Шарутина и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2004. – № 1. – С. 16–25.
52. Синтез и строение сульфонов тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.К. Иваненко и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2003. – № 2. – С. 13–17.
53. Синтез и строение 2,4,6-трибромфенокситетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // Коорд. химия. – 2004. – Т. 30, № 12. – С. 935–938.
54. Шарутин, В.В. Новый способ синтеза ароксидов тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.В. Циплухина // Журн. общ. химии. – 2004. – Т. 74, вып. 2. – С. 343–344.
55. Новый способ синтеза ароксидов тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.В. Циплухина и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2004. – № 1. – С. 28.
56. Синтез и строение ароксидов тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, О.К. Шарутина и др. // Коорд. химия. – 2008. – Т. 34, № 2. – С. 89–96.
57. Реакции пентафенилвисмута и -сурьмы с элементоорганическими соединениями  $\text{Ph}_3\text{E}\text{X}_2$  ( $\text{E} = \text{Sb}, \text{Bi}; \text{X} = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{NO}_3$ ) / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова, Л.П. Панова // Журн. общ. химии. – 1998. – Т. 68. – Вып. 2. – С. 345–346.
58. Синтез и строение 4-метилбензолсульфоната тетра-*n*-толилсурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакулина, И.В. Егорова и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 5. – С. 336–340.
59. Шарутин, В.В. Пентафенилвисмут как фенилирующий агент в реакциях с производными пятивалентного висмута  $\text{Ph}_3\text{Bi}(\text{Br})\text{OAr}$ ,  $(\text{Ph}_3\text{BiOAr})_2\text{O}$  ( $\text{Ar} = \text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{-}2,4,6$ ) и  $(\text{Ph}_3\text{BiOSO}_2\text{C}_6\text{H}_3\text{Me}_2\text{-}2,4)_2\text{O}$  / В.В. Шарутин, Т.В. Циплухина, М.В. Васильева // Бутлеровские сообщения. – 2011. – Т. 28, № 17. – С. 64–66.
60. Новый метод синтеза сульфата бис(тетрафенилсурьмы) / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, О.К. Шарутина, Т.К. Иваненко // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2002. – № 9. – С. 65–66.
61. Разуваев, Г.А. Исследование реакций пентафенилвисмута и пентафенилсурьмы / Г.А. Разуваев, Н.А. Осанова, В.В. Шарутин // Докл. АН СССР. – 1978. – Т. 238, № 2. – С. 361–363.
62. Шарутин, В.В. Роль стерических факторов в процессах термического разложения пентафенильных соединений фосфора, сурьмы и висмута / В.В. Шарутин // Журн. общ. химии. – 1988. – Т. 58, вып. 10. – С. 2305–2311.
63. Шарутин, В.В. Пентафенильные соединения висмута, сурьмы и фосфора в реакциях фенилирования висмуторганических соединений / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.К. Иваненко // Ученые записки БГПУ. – Благовещенск: Изд-во БГПУ – 2001. – Т. 19. – С. 38–42.
64. Синтез и строение 2,4-метилбензолсульфоната тетрафенилвисмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, Т.К. Иваненко и др. // Коорд. химия. – 2003. – Т. 29, № 5. – С. 341–345.
65. Егорова, И.В. Арильные соединения висмута. Синтез, строение, применение: дис. ... д-ра хим. наук / И.В. Егорова; Нижегородский ун-т. – Нижний Новгород, 2008. – 298 с.
66. Реакции арилирования соединениями сурьмы (V) / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова, В.С. Сенчурин // Ученые записки БГПУ. – Благовещенск: Изд-во БГПУ. – 1999. – Т. 18. – С. 19–22.
67. Арилирование аренсульфонатов арил- и диарилвисмута пентаарилсурьмой / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, И.В. Павлушкина, Т.К. Иваненко // Химия органических соединений кремния и серы: тез. докл. всерос. симп. – Иркутск: Изд-во ИрИХ, 2001. – С. 175.
68. Арилирование аренсульфонатов арил- и диарилвисмута пентаарилсурьмой / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, И.И. Павлушкина, Т.К. Иваненко // Химия органических соединений кремния и серы: тез. докл. всерос. симп. – Иркутск: Изд-во ИрИХ, 2001. – С. 175.
69. Шарутин, В.В. Арилирование аренсульфонатов арил- и диарилвисмута пентаарилсурьмой / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, И.И. Павлушкина, Т.К. Иваненко // Журн. общ. химии. – 2002. – Т. 72, вып. 12. – С. 2033–2034.

70. Взаимодействие пентафенилсурьмы с диацилатами трифенилвисмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.В. Егорова и др. // Журн. общ. химии. – 2000. – Т. 70, вып. 6. – С. 937–939.
71. Взаимодействие бис(аренсульфонатов) трифенилвисмута с трифенилстибином / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.И. Павлушкина и др. // Химия и химическое образование: тез. докл. II Междунар. симп. – Владивосток. – 2000. – С. 193–194.
72. Аренсульфонаты дифенилвисмута. Синтез и строение / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, М.В. Житкевич и др. // Журн. общ. химии. – 2000. – Т. 70, вып. 5. – С. 737–739.
73. Синтез и строение арильных соединений висмута / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, О.К. Шарутина и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2004. – Т. 5, №1. – С. 16–25.
74. Синтез фтор(окси)трифенилсурьмы / В.В. Шарутин, И.В. Егорова, О.К. Шарутина и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. – 2002. – № 9. – С. 62.
75. Взаимодействие бис(аренсульфонатов) трифенилвисмута с трифенилстибином / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, И.И. Павлушкина и др. // Журн. общ. химии. – 2001. – Т. 71, вып. 1. – С. 87–90.
76. Получение диарилгалогенидов германия из триарилвисмута и диоксанатов дигалогенгермания / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, К.В. Павлов, В.В. Щербинин // Журн. общ. химии. – 1994. – Т. 64, вып. 4. – С. 4101.
77. Шарутин, В.В. Взаимодействие дигалогенидов триарилсурьмы и -висмута с дигалогенидами германия / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Н.А. Викторов // Журн. общ. химии. – 1995. – Т. 65, вып. 2. – С. 345.
78. Кочешков, К.А. Методы элементоорганической химии. Сурьма, висмут / К.А. Кочешков, А.П. Сколдинов, Н.Н. Землянский. – М.: Наука, 1976. – 483 с.
79. Арилирование оловоорганических галогенидов пентаарилсурьмой и пентафенилвисмутом / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.С. Сенчурин, Т.А. Ковалева // Металлоорганическая химия на рубеже XXI века: тез. докл. молодеж. шк.-конф. – М., 1999. – С. 118.
80. Арилирование оловоорганических галогенидов пентаарилсурьмой и пентафенилвисмутом / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.С. Сенчурин и др. // Журн. общ. химии. – 2000. – Т. 70, вып. 1. – С. 69–70.
81. Шарутина, О.К. Арильные соединения сурьмы. Синтез, строение, реакционная способность: дис. ... д-ра хим. наук / О.К. Шарутина; Иркут. ин-т химии. – Иркутск, 2001. – 287 с.
82. Шарутин, В.В. Реакции пентабутилсурьмы с органилгалогенидами олова и сурьмы / В.В. Шарутин, А.П. Пакузина, В.С. Сенчурин // Строение и реакционная способность кремнийорганических соединений: тез. докл. V Всерос. симп. – Иркутск, 2001. – С. 80.
83. Реакции пентафенилсурьмы и пентафенилфосфора с арилмеркурхлоридами / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, Б.И. Петров, О.К. Шарутина // Журн. общ. химии. – 2003. – Т. 73, вып. 8. – С. 1398.
84. Пентафенилсурьма и -фосфор в реакциях фенилирования органических соединений ртути, кремния, олова и висмута / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.С. Сенчурин и др. // Журн. общ. химии. – 2003. – Т. 73, вып. 2. – С. 222–223.

*Поступила в редакцию 11 мая 2012 г.*

### **PENTAPHENYLANTIMONY AND PENTAPHENYLBISMUTH AS PHENYLATION AGENTS IN THE REACTIONS WITH ORGANIC COMPOUNDS OF ELEMENTS (REVIEW)**

The results for the phenylation of organoelement derivatives by pentaphenylantimony and pentaphenylbismuth are represented. Much attention is paid to the ligand redistribution reactions involving the derivatives of antimony(V) and bismuth(V) of the general formula  $\text{Ph}_3\text{EX}_2$  (E = Sb, Bi; X – electronegative ligand). The influence of reaction conditions on the structure and yield of the desired product.

*Keywords: pentaphenylantimony, pentaphenylbismuth, redistribution, ligand.*

**Sharutin Vladimir Viktorovich** – Dr. Sc. (Chemistry), Professor, Organic Chemistry Subdepartment, South Ural State University. 76, Lenin avenue, Chelyabinsk, 454080.

**Шарутин Владимир Викторович** – доктор химических наук, профессор, кафедра органической химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.  
E-mail: vvsharutin@rambler.ru

**Sharutina Olga Konstantinovna** – Dr. Sc. (Chemistry), Professor, Organic Chemistry Subdepartment, South Ural State University. 76, Lenin avenue, Chelyabinsk, 454080.

**Шарутина Ольга Константиновна** – доктор химических наук, профессор, кафедра органической химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.  
E-mail: sharutinao@mail.ru