

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ СВИНЦА. СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ

В.В. Шарутин, Н.М. Тарасова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

✉ tarasovanm@susu.ru

Аннотация. На основе анализа литературы, опубликованной преимущественно с 2020 по 2022 гг., систематизированы и описаны методы получения, особенности строения и некоторые реакции органических соединений свинца. Кроме того, рассмотрены примеры их возможного практического применения.

Ключевые слова: органические соединения свинца, плюмбилены, синтез, строение

Для цитирования: Шарутин В.В., Тарасова Н.М. Органические соединения свинца. Синтез и строение // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2025. Т. 17, № 1. С. 48–60. DOI: 10.14529/chem250102

Review article

DOI: 10.14529/chem250102

ORGANIC LEAD COMPOUNDS. SYNTHESIS AND STRUCTURE

V.V. Sharutin, N.M. Tarasova

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

✉ tarasovanm@susu.ru

Abstract. Based on literature data published mainly from 2020 to 2022, the methods of preparation, structural features and some reactions of organic lead compounds were described and systematized. Furthermore, examples of their possible practical application were considered.

Keywords: organic lead compounds, plumbilenes, synthesis, structure

For citation: Sharutin V.V., Tarasova N.M. Organic lead compounds. Synthesis and structure. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2025;17(1):48–60. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem250102

Введение

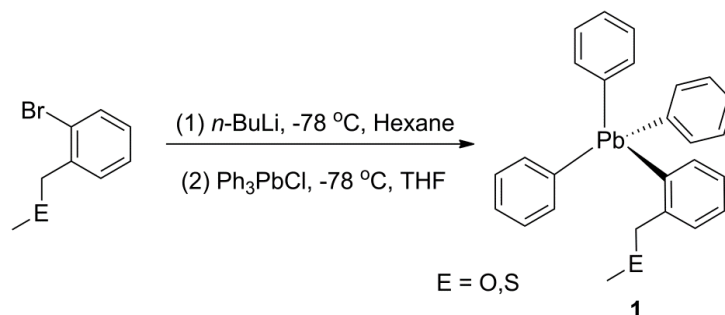
С 2020 года группа химиков-элементооргаников Южно-Уральского государственного университета начала публиковать обзорные статьи, посвященные химии различных координационных и элементоорганических соединений, таких как производные висмута [1–3], сурьмы [4, 5], фосфора [6], циркония [7], платины [8–10] и золота [11]. Продолжая цикл публикаций по этой теме, предлагаем вниманию читателей обзор по органическим производным свинца.

С момента выхода из печати монографии [12], наиболее полно освещающей вопросы синтеза и реакционной способности органических соединений свинца, прошло более 50 лет. В последнее время в литературе эти темы не обсуждались, поэтому появление обзорной статьи по органическим соединениям свинца своевременно и актуально. Органические соединения свинца могут содержать в своем составе четыре, три, две и одну связь Pb–C, поэтому в настоящем обзоре органические соединения свинца рассматриваются именно в такой последовательности, причем особое внимание уделяется методам их получения, реакционной способности и особенностям строения.

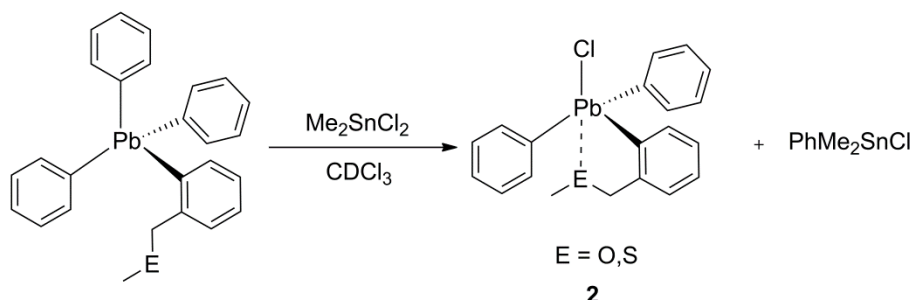
Синтез органических соединений свинца R_4Pb

Синтез и особенности строения полностью замещенных производных четырехвалентного свинца общей формулы R_4Pb , получаемые, как правило, из дихлорида свинца и магний- или литийорганических соединений, хорошо известны. Комплексы четырехвалентного свинца, содержащие, кроме трех фенильных лигандов, арильный заместитель с функциональной группой в *орто*-положении неизвестны.

Синтез таких соединений $[2-(CH_3ECH_2)C_6H_4]PbPh_{(3-n)}Cl_n$ (**1**) ($n = 0$, $E = O$, $E = S$; $n = 1$, $E = O$, $E = S$; $n = 2$, $E = O$) из хлорида трифенилсвинца и литийарила описан в работе [13]. Данные ЯМР и монокристаллов иллюстрируют значительное увеличение взаимодействий $Pb \cdots E$ по мере увеличения n от 0 до 2.



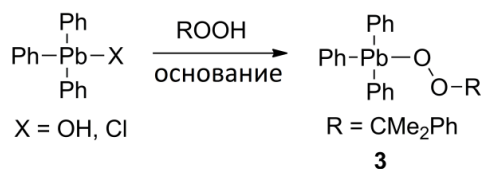
Взаимодействия $Pb \cdots E$ стабилизируют связь Pb -арил до такой степени, что их взаимодействие с Me_2SnCl_2 приводит к обмену фенильной группы на электроотрицательный атом хлора с образованием соединения **2** и $PhMe_2SnCl$.



Получение аналогичным способом подобного комплекса свинца $Ph_3PbCH_2C_6H_4(OMe-2)$ описано в работе [14].

Синтез органических соединений свинца R_3PbX

Более изученным классом свинецорганических соединений являются производные общей формулы R_3PbX (X – электроотрицательная группа), которые получают разнообразными методами. Так, кристаллический кумилпероксид трифенилсвинца ($Ph_3PbOOCMe_2Ph$) (**3**) синтезирован из гидроксида или хлорида трифенилсвинца и гидропероксида кумила [15].

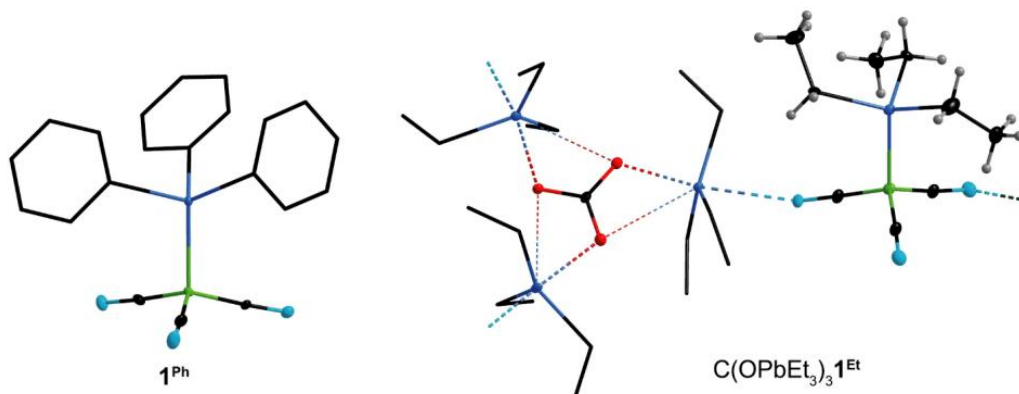
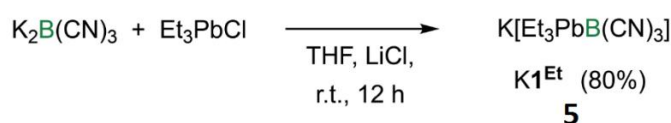
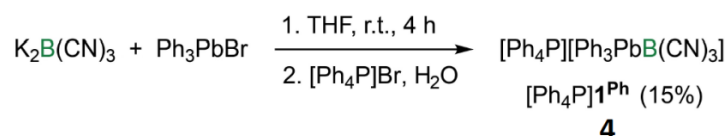


Полученный кумилпероксид трифенилсвинца охарактеризован методами монокристаллической и порошковой рентгеновской дифракции, ЯМР, FTIR- и рамановской спектроскопии, ТГ и ДСК-анализа. Отметим, что полученный комплекс является первым структурно охарактеризованным органическим пероксидом трифенилсвинца.

Описаны синтез, превращение и применение в катализе гидроперекиси трифенилсвинца – первого дикислородного комплекса свинца [16]. Гидропероксид трифенилсвинца был получен взаимодействием хлорида трифенилсвинца с избытком высококонцентрированной перекиси во-

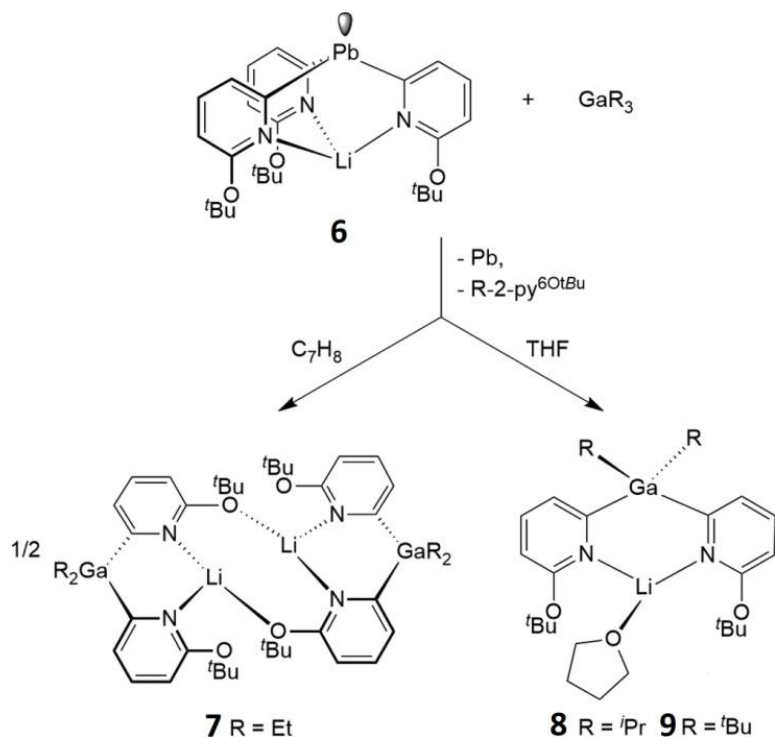
дорода в присутствии аммиака в диэтиловом эфире. Изучено и подтверждено методом спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ^{207}Pb гидропероксо/гидроксозамещение в координационном окружении свинца (IV) после добавления пероксида водорода в исходную систему. Гидропероксид трифенилсвинца охарактеризован методами ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ^{207}Pb , инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR), рамановской спектроскопии и монокристаллической рентгеновской дифракции, обнаруживая первый одномерный (1D) координационный пероксополимер. Фотолитическая изоморфная трансформация Ph_3PbOOH приводит к образованию смешанной гидроксо/супероксокристаллической структуры, первой нещелочной супероксокристаллической соли металла, которая стабильна до 100°C . При дальнейшем фотолизе наблюдается еще одно изоморфное превращение супероксида в гидроксид. Это первые превращения монокристалла в монокристалл, гидропероксид в супероксид, а затем в гидроксид, о которых сообщалось на сегодняшний день. Фотолиз гидропероксида трифенилсвинца приводит к образованию двух форм кристаллических структур, легированных супероксидом, которые отличаются сильно различающимися характерными временами релаксации. Описано использование Ph_3PbOOH в качестве легкого в обращении твердого двухэлектронного окислителя для высокоэнантиоселективного эпоксидирования олефинов.

Реакцией бороцентрированного нуклеофила $[\text{B}(\text{CN})_3]^{2-}$ с триорганилсвинцовыми галогенидами (**4,5**) получена серия беспрецедентно устойчивых на воздухе (трицианоборил)плюмбат-анионов [17].



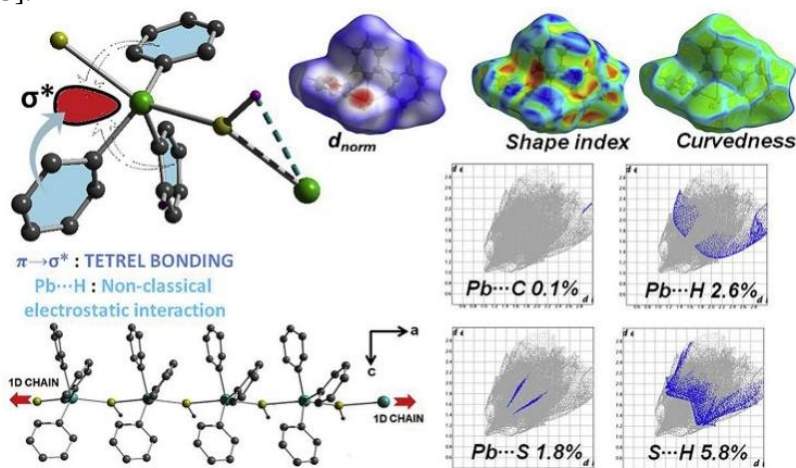
Соли анионов $[\text{R}_3\text{PbB}(\text{CN})_3]^-$ ($\text{R}=\text{Ph}, \text{Et}$) были выделены и оказались устойчивыми на воздухе при комнатной температуре. В случае Me_3PbHal ($\text{Hal}=\text{Cl}, \text{Br}$) получена смесь анионов $[\text{Me}_{4-n}\text{Pb}\{\text{B}(\text{CN})_3\}_n]^{n-}$ ($n=1, 2$). Ион $[\text{Et}_3\text{PbB}(\text{CN})_3]^-$ претерпевает ступенчатую дисмутацию в водном растворе с образованием плюмбат-анионов $[\text{Et}_{4-n}\text{Pb}\{\text{B}(\text{CN})_3\}_n]^{n-}$ ($n=1-4$) и PbEt_4 . Скорость реакции увеличивается при уменьшении значения pH водного раствора или при барботировании O_2 через реакционную смесь. Корректировка условий позволила селективно выделить соли всех анионов ряда $[\text{Et}_{4-n}\text{Pb}\{\text{B}(\text{CN})_3\}_n]^{n-}$ ($n=2-4$), в том числе гомолептического тетрааниона $[\text{Pb}\{\text{B}(\text{CN})_3\}_4]^{4-}$.

Реакция литиевой соли *трис*(2-пиридил)свинца(II) $[\text{LiPb}(2\text{-py}^{60}\text{tBu})_3]$ (**6**) с триалкильными соединениями галлия и индия привела к образованию бис(2-пиридила) и *трис*(2-пиридил)галлатные комплексы $[\text{LiGaEt}_2(2\text{-py}^{60}\text{tBu})_2]_2$, $[\text{LiGaR}_2(2\text{-py}^{60}\text{tBu})_2(\text{THF})]$ ($\text{R} = {}^i\text{Pr}, {}^t\text{Bu}$), $[\text{LiGa}^t\text{Bu}_2(2\text{-py}^{60}\text{tBu})_2]_2$ и $[\text{LiGaMe}(2\text{-py}^{60}\text{tBu})_3]$ (**7–9**), а также соответствующие комплексы индия общего состава $[\text{LiInR}(2\text{-py}^{60}\text{tBu})_3]$ ($\text{R} = \text{Me}, \text{Et}$) [18].



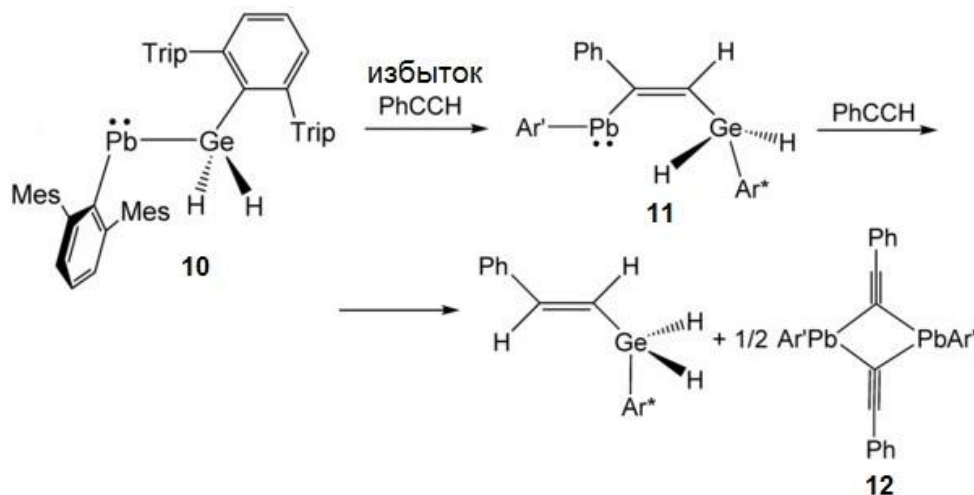
Образование этих соединений можно предполагать как быструю деградацию первоначально образовавшихся аддуктов Pb–M (M = Ga или In), как это обнаружено для $[\text{tBu}_3\text{Ga}\{\text{Pb}(\text{2-py}^{60}\text{tBu})_3\text{Li}\}]$. Кроме того, окислительно-восстановительный путь трансметаллирования был использован для синтеза $[\text{LiIn}(\text{2-py}^{60}\text{tBu})_3(\text{THF})]$. Строение всех соединений подтверждено методами монокристаллического рентгеноструктурного анализа, ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии.

Синтезирован и охарактеризован с помощью микроанализа, многоядерного ЯМР и рентгеноструктурного анализа новый координационный полимер на основе Pb(IV) формулы $[(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{PbSH}]_n$ [19].



Рентгеновская кристаллическая структура демонстрирует искаженную квадратно-пирамидальную геометрию ($\tau_5 = 0,19$) вокруг центрального центра Pb(IV). Облако ароматических π -электронов перемещается исключительно к разрыхляющей σ^* -орбитали связи Pb–S, тем самым образуя внутримолекулярное тетрел-связывающее взаимодействие Pb $\cdots$ C, как и внутримолекулярное взаимодействие S $\cdots$ H в линейной цепочке. Наблюдаемые взаимодействия подробно обсуждались и критически рассматривались с помощью анализа поверхности Хиршфельда и графиков отпечатков пальцев.

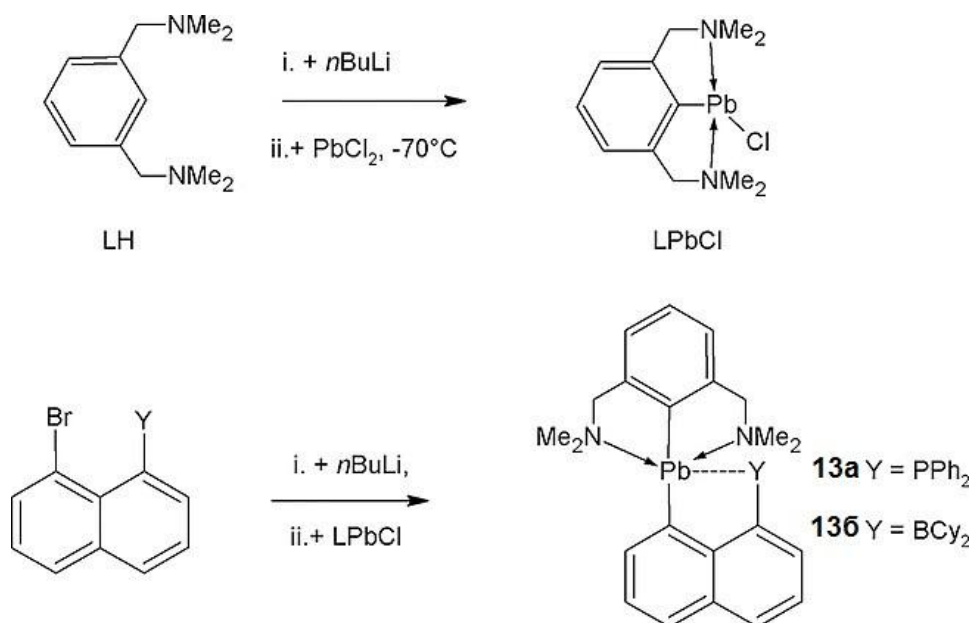
Фенилацетилен присоединяется к $[\text{Ar}^*\text{GeH}_2\text{-SnAr}']$, $[\text{Ar}^*\text{GeH}_2\text{-PbAr}']$ (**10**) и $[\text{Ar}'\text{SnH}_2\text{-PbAr}^*]$ при комнатной температуре в ходе региоселективной и стереоселективной реакции. Самая высокая реакционная способность обнаружена у станнилена, который реагирует сразу же при добавлении одного эквивалента алкина. Гермиплюмбilen (**10**) присоединяется к алкину только в реакции с избытком фенилацетилена, продукт присоединения (**11**), не удается выделить из реакционной смеси, однако был выделен и структурно охарактеризован димерный плюмбilen (**12**) [20].

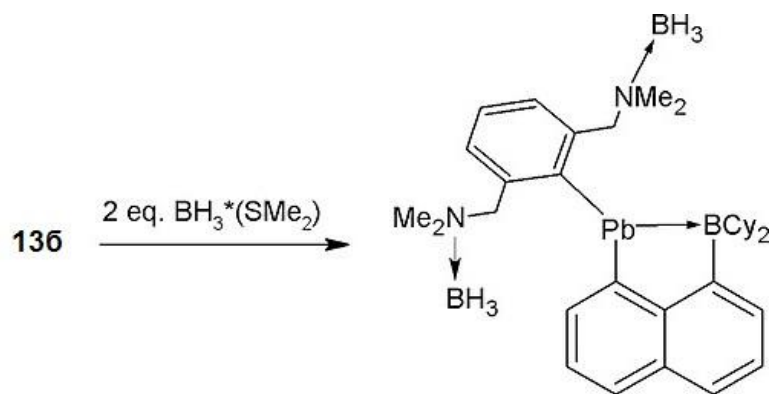


Выделены продукт присоединения гермиплюмбилена со вторым эквивалентом алкина и продукт активации CH – димерный ацетилид свинца. В случае станнилплюмбилена продукт *транс*-присоединения характеризовался как кинетически контролируемый продукт, который изомеризуется при комнатной температуре с образованием продукта *цис*-присоединения, который стабилизируется внутримолекулярным взаимодействием Sn-H-Pb. Химические сдвиги ЯМР олефинов были исследованы с использованием двух- и четырехкомпонентных релятивистских расчетов методом DFT, поскольку спин-орбитальные эффекты могут быть большими. Отщепление гидрогена осуществляли обработкой $[\text{Ar}'\text{SnPhC=CHGeH}_2\text{Ar}^*]$ тритиловой солью $[\text{Ph}_3\text{C}][\text{Al}(\text{OC}\{\text{CF}_3\})_4]$ с получением четырехчленного кольцевого катиона.

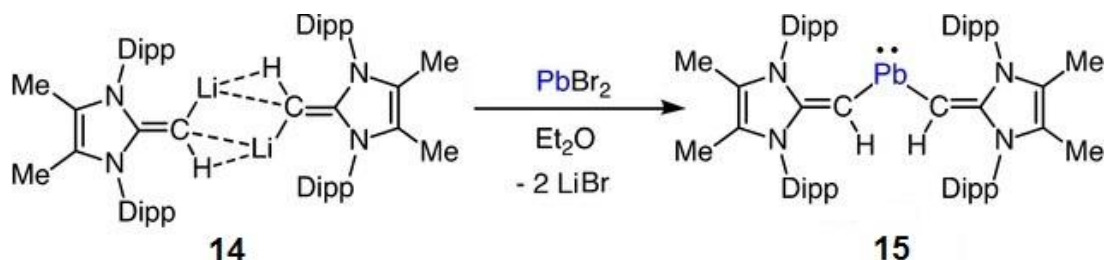
Синтез органических соединений свинца, содержащие две связи C–Pb

Синтез перизамещенных производных нафталина – N-координированных плюмбиленов **1-PPh₂-8-PbL-C₁₀H₆** (**13a**) и **1-BCy₂-8-PbL-C₁₀H₆** (**13b**) (L = 2,6-(Me₂NCH₂)₂C₆H₃) и их реакции с кислотами Льюиса описаны в работе [21].

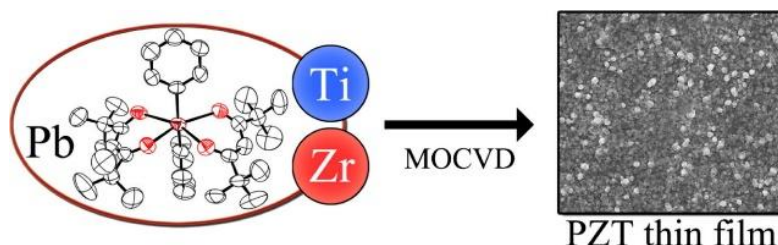




Сообщается о синтезе ряда новых дивинилтетреленовых производных, так на основе нового объемного винилитиевого реагента $[(\text{Mei-PrCH})\text{Li}]_2$ (**14**), в диэтиловом эфире был получен и выделен с выходом 49% дивинилплюмбilen $(\text{Mei-PrCH})_2\text{Pb}$ (**15**) [22].

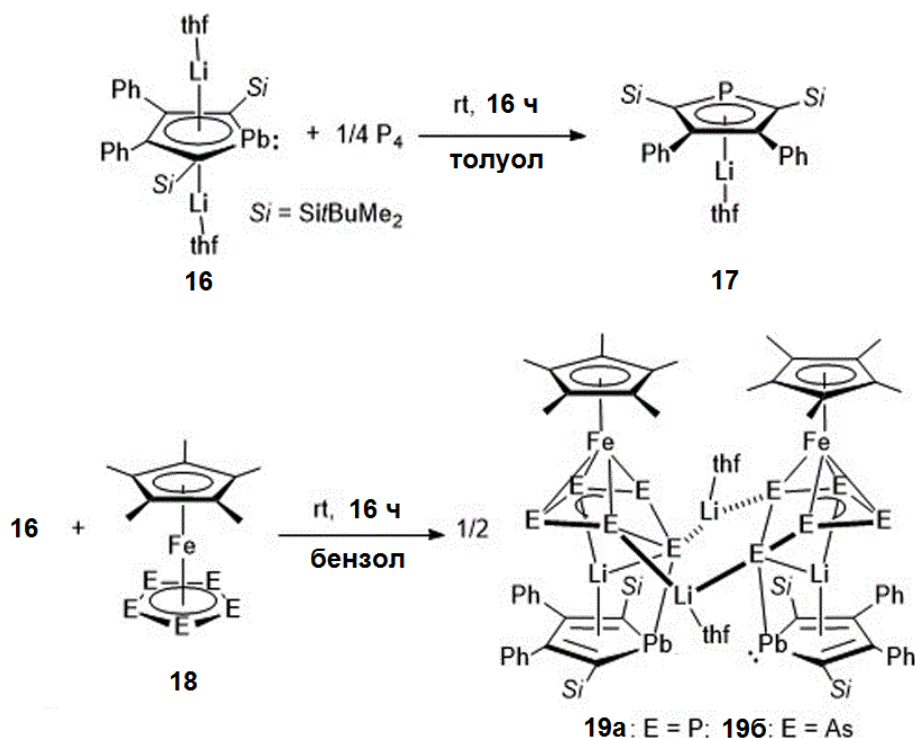


Синтезированы новые прекурсоры Pb(IV) для получения тонких пленок цирконата-титаната свинца (ЦТС) и выяснена их твердотельная структура методом монокристаллической рентгеновской кристаллографии [23].



Тетрафенилсвинец (Ph_4Pb) был синтезирован реакцией PbCl_2 с реактивом Гриньяра PhMgBr . Два фенильных лиганда в Ph_4Pb были заменены бромами, а затем заменены бис(триметилсилил)амидами (btsa) с образованием $\text{Ph}_2\text{Pb}(\text{btsa})_2$ или 2,2,6,6-тетраметил-3,5-гептадикетонатные (thd) лиганды с образованием $\text{Ph}_2\text{Pb}(\text{thd})_2$. Монокристаллы этих двух новых предшественников Pb(IV) были получены перекристаллизацией из гексана, их химический состав охарактеризован методами ИК-Фурье и ^1H -ЯМР. При ТГ-анализе оба соединения показали резкие кривые разложения с основной потерей массы в районе 200–250 °С. Пленки ЦТС были изготовлены из полученных прекурсоров Pb(IV) методом MOCVD с участием $\text{Ti}(\text{O}^i\text{Pr})_4$ и $\text{Zr}(\text{OPr})_4$, а развитие перовскитной фазы с температурой контролировалось методом рентгеноструктурного анализа.

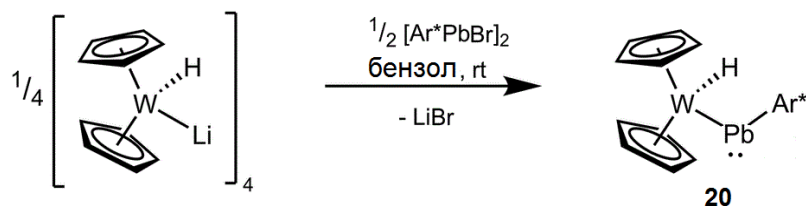
Реакционная способность дилитиоплюмбола $[\text{Li}_2(\text{thf})_2(\mu, \eta^5\text{-LPb})]$ (**16**), LPb = 1,4-бис-трет-бутилдиметилсилил-2,3-бис-фенилплюмболил) была изучена по отношению к реакционноспособным предшественникам пниктогена [24].



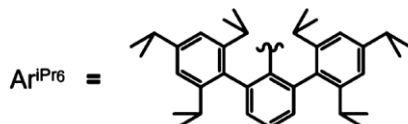
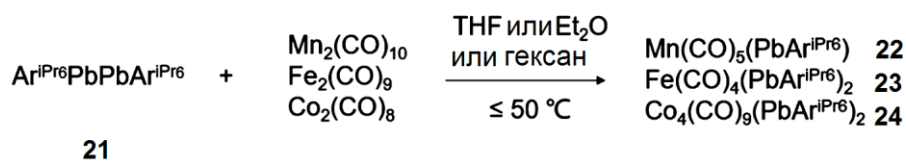
Так, взаимодействие плюмбола **16** с P_4 приводило к образованию фосфолиллиевого комплекса (**17**) посредством обмена свинец-фосфор, а в реакциях с $[\text{Cr}^*\text{Fe}(\eta^5\text{-E}_5)]$ (**18**) были получены первые примеры гетеротриметаллических трехэтажных полипниктогенидов Pb-Fe-Li с тремя различными мотивами (**19a,б**).

Синтез органических соединений свинца, содержащие одну связь C–Pb

В литературе описаны свинецорганические соединения, имеющие в своем составе лишь одну связь Pb–C. Так, гидридо-вольфрамтетрилен свинца (**20**) был синтезирован взаимодействием соли $[\text{Cr}_2\text{W}(\text{H})\text{Li}]_4$ с органотетриленом Ar^*PbBr [$\text{Ar}^* = 2,6\text{-Trip}_2\text{C}_6\text{H}_3$, Trip = 2,4,6-triisopropylphenyl] [25].

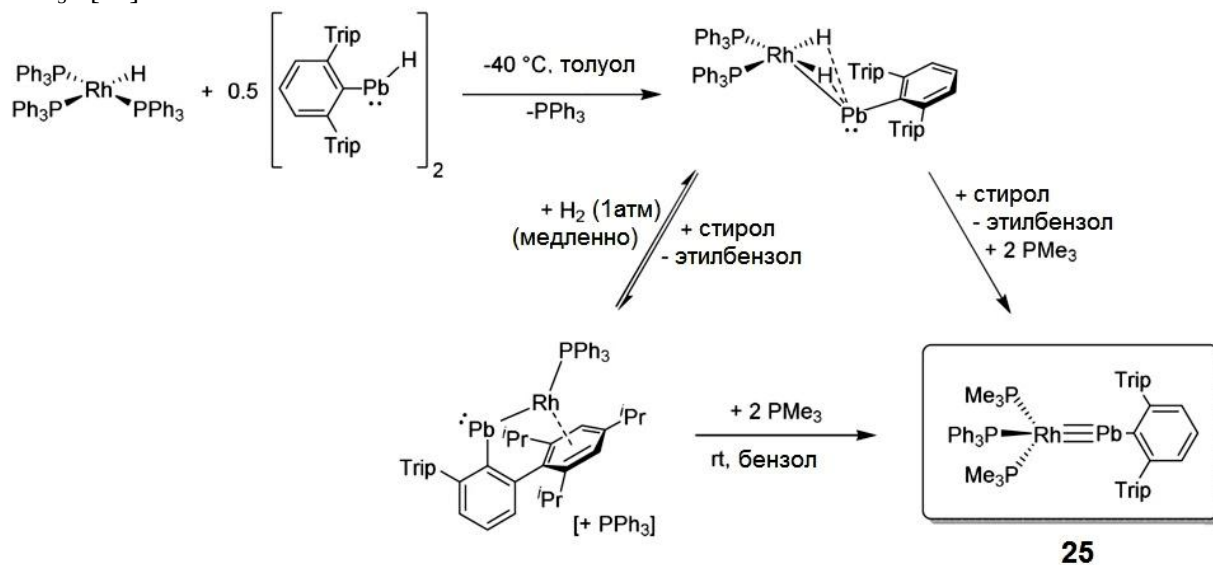


Реакции метатезиса диплумбина $\text{Ar}^i\text{Pr}_6\text{PbPbAr}^i\text{Pr}_6$ ($\text{Ar}^i\text{Pr}_6 = -\text{C}_6\text{H}_3-2,6-(\text{C}_6\text{H}_2-2,4,6\text{-iPr}_3)_2$) (**21**) с биядерными карбонилами металлов $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$, $\text{Fe}_2(\text{CO})_9$ и $\text{Co}_2(\text{CO})_8$ в мягких условиях образовывал комплексы $\text{Mn}(\text{CO})_5(\text{PbAr}^i\text{Pr}_6)$ (**22**), $\text{Fe}(\text{CO})_4(\text{PbAr}^i\text{Pr}_6)_2$ (**23**) и $\text{Co}_4(\text{CO})_9(\text{PbAr}^i\text{Pr}_6)_2$ (**24**) соответственно [26].



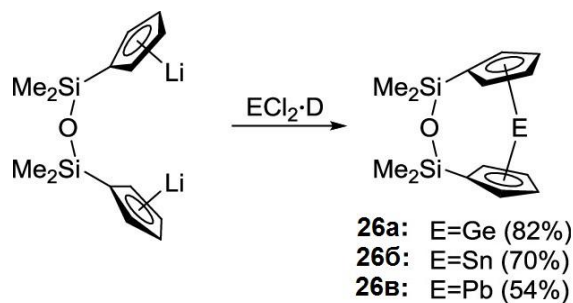
Структуру комплексов охарактеризовали методом монокристаллической рентгеновской дифракции и спектроскопически методами ЯМР ^1H , $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$, $^{59}\text{Co}\{^1\text{H}\}$, $^{207}\text{Pb}\{^1\text{H}\}$; УФ- и ИК-методы. Это редкие примеры соединений, образующихся в результате прямой реакции диметаллина группы 14 с карбонилами переходных металлов. В первых двух комплексах присутствуют одинарные связи Mn–Pb или Fe–Pb, тогда как в третьем комплексе образуется кластер Co–Pb, в котором плюмбилидиновый фрагмент замыкает либо край, либо грань карбонильного кластера Co_4 .

Комплекс, содержащий тройную связь $\text{Rh}\equiv\text{Pb}$ $[(\text{Me}_3\text{P})_2(\text{Ph}_3\text{P})\text{Rh}\equiv\text{PbAr}^*]$ (25) впервые получен в результате дегидрирования при взаимодействии со стиролом дигидрида родия – свинца $[(\text{Ph}_3\text{P})_2\text{RhH}_2\text{PbAr}^*]$ ($\text{Ar}^*=2,6\text{-Trip}_2\text{C}_6\text{H}_3$, $\text{Trip}=2,4,6\text{-триизопропилфенил}$) с последующей реакцией с Me_3P [27].



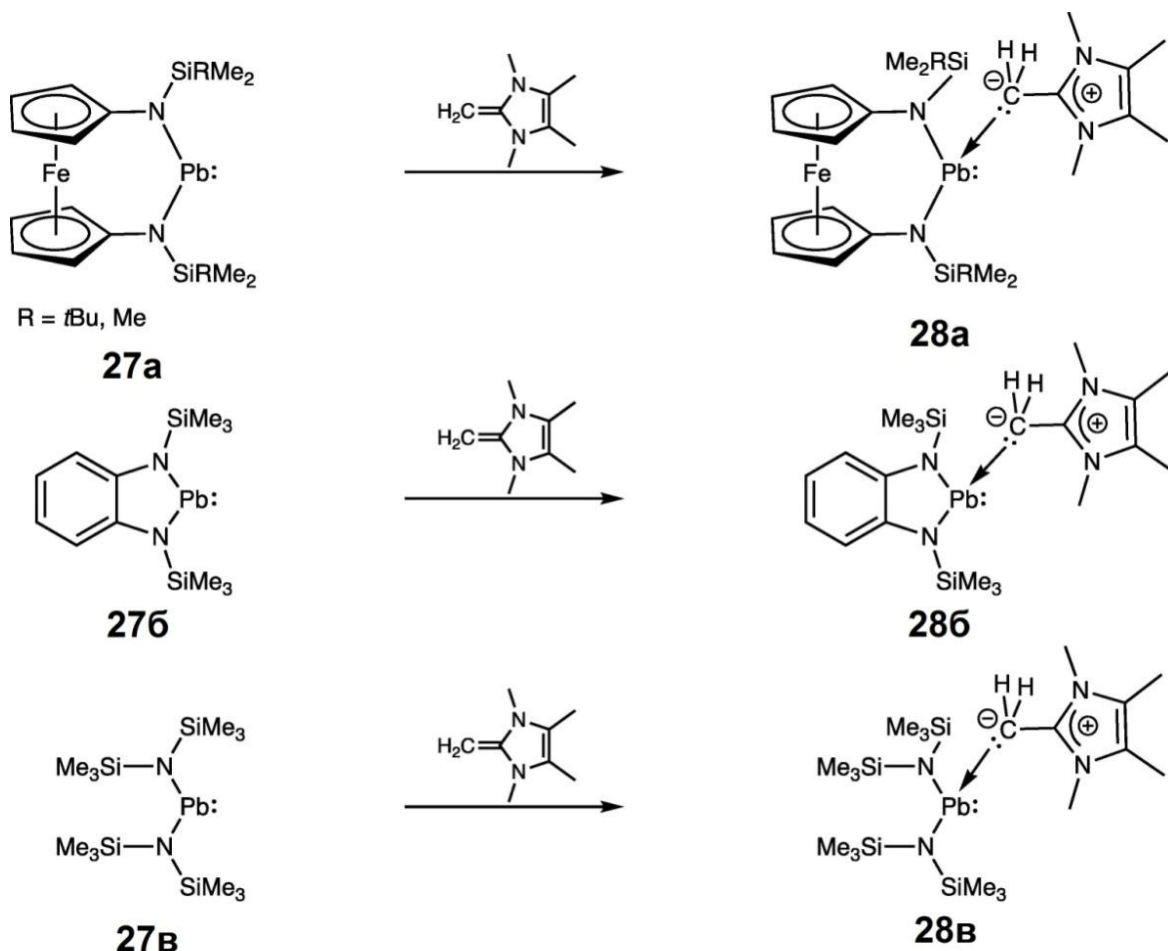
Дигидрид $[(\text{Ph}_3\text{P})_2\text{RhH}_2\text{PbAr}^*]$ синтезировали из $[(\text{Ph}_3\text{P})_3\text{RhH}]$ и $[(\text{Ar}^*\text{PbH})_2]$. Гидрирование тройных связей при комнатной температуре с избытком H_2 дает *цис*-дигидрид $[(\text{Me}_3\text{P})_2(\text{Ph}_3\text{P})\text{RhH}_2\text{PbAr}^*]$.

Тетраметилдисилоксан[3]металлоценофаны германия, олова и свинца (тетроценофаны) (26а–в) синтезированы реакцией дилитированного лиганда с соответствующим хлоридом элемента(II) [28].



Плюмбоценофан является полимером и в твердом состоянии образует одномерную координацию, тогда как германоценофан и станноценофан являются мономерами. Кроме того, реакционная способность станноценофана и плюмбоценофана по отношению к нетероциклическим были исследованы карбены. Хотя координация карбена обратима в растворе при комнатной температуре, соответствующие карбеновые комплексы могут быть охарактеризованы структурно, иллюстрируя кислотность Льюиса центрального атома в эти металлоценофаны.

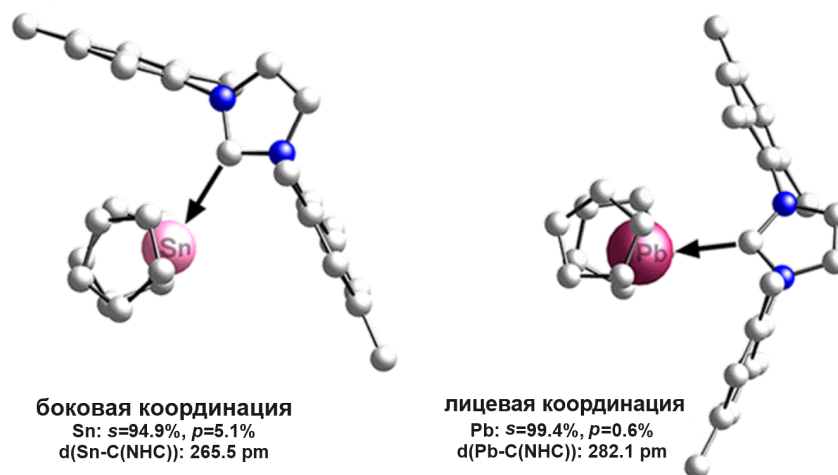
Стабильные аддукты N-гетероциклического олефина с 1,3,4,5-тетраметил-2-метиленимидазолином (MeImeCH_2) (28а–в) выделены с помощью циклических диаминоплюмбиленов $\text{ph}(\text{NSiMe}_3)_2\text{Pb}$ ($\text{ph} = 1,2\text{-фенилен}$) (27а) и $\text{fc}(\text{NSiRMe}_3)_2\text{Pb}$ ($\text{fc} = 1,10\text{-ферроценилен}$), $\text{R} = \text{Me}, \text{tBu}$) (27б), а также с ациклическим родственным соединением $[(\text{Me}_3\text{Si})_2\text{N}]_2\text{Pb}$ (27в) [29].



Все стабильные аддукты структурно характеризуются монокристаллической структурой.

В работе [30] представлено детальное экспериментальное и расчетное исследование ряда станноценовых и плумбоценовых N-гетероциклических карбеновых комплексов. Этот уникальный класс кислотно-основных аддуктов Льюиса 14-й группы был получен реакциями соответствующих металлоценов и гетероциклических карбенов (NHC).

дисперсионные взаимодействия и координация металла

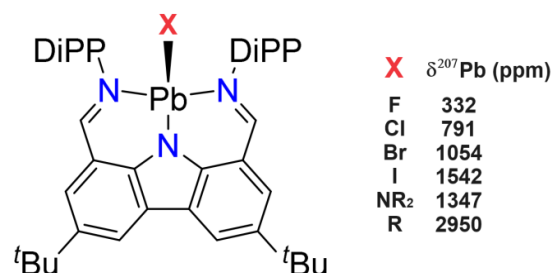


Из данных PCA следует, что структуры демонстрируют перпендикулярное положение NHC по отношению к металлоцену, что исключает максимальное взаимодействие между фрагментами. Природа связей $\text{Sn}-\text{CNHC}$ и $\text{Pb}-\text{CNHC}$ была исследована с применением анализа орбиталей

связи (NBO) и анализа энергетического разложения (EDA-NOCV). Показано, что дисперсионные взаимодействия играют определяющую роль по мере увеличения размеров заместителей, а ковалентные взаимодействия возникают в результате передачи карбенового лиганда на пустую р-орбиталь металлоцена.

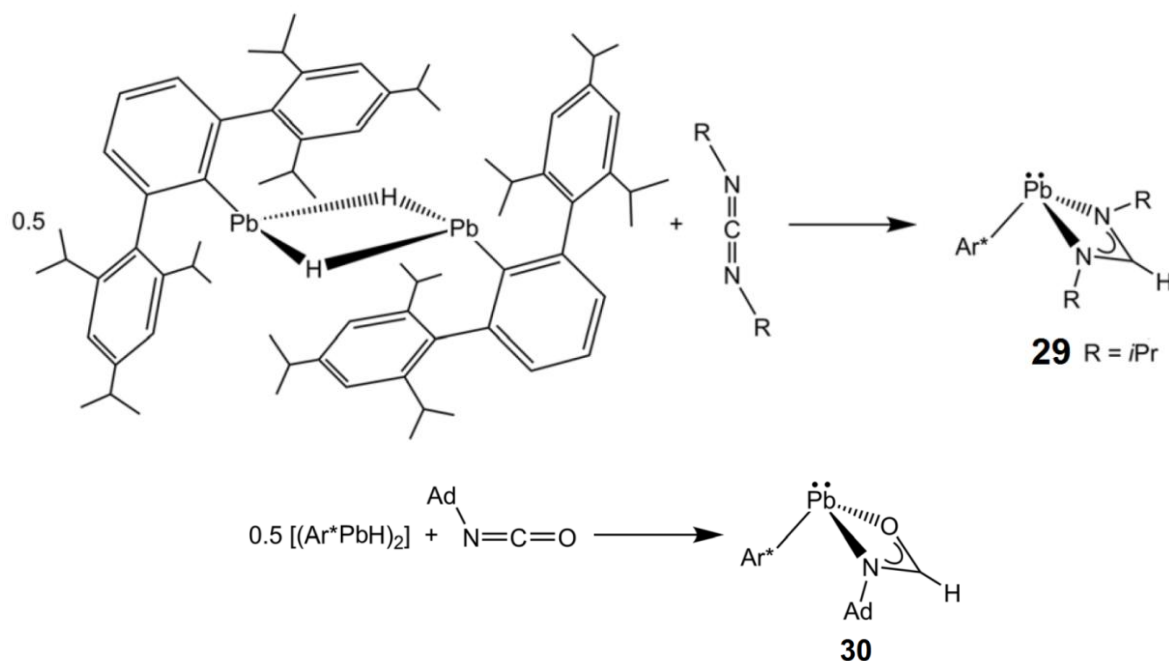
Реакции димера $(\text{CO})_2\text{CrMo}\equiv\text{MoCr}(\text{CO})_2$ ($\text{Cr} = \eta^5\text{-C}_5\text{H}_5$) с диметаллидами $\text{Ar}^i\text{Pr}_4\text{MMAr}^i\text{Pr}_4$ или $\text{Ar}^i\text{Pr}_6\text{MMAr}^i\text{Pr}_6$ ($\text{Ar}^i\text{Pr}_4 = \text{C}_6\text{H}_3\text{-2,6-(C}_6\text{H}_3\text{-2),6-Pr}^i\text{2)}_2$, $\text{Ar}^i\text{Pr}_6 = \text{C}_6\text{H}_3\text{-2,6-(C}_6\text{H}_2\text{-2,4,6-Pr}^i\text{3)}_2$; $\text{M} = \text{Ge, Sn или Pb}$) в мягких условиях ($\leq 80^\circ\text{C}$, 1 бар) приводят к образованию $\text{Ar}^i\text{Pr}_4\text{M}\equiv\text{MoCr}(\text{CO})_2$ или $\text{Ar}^i\text{Pr}_6\text{M}\equiv\text{MoCr}(\text{CO})_2$ с выходом от умеренного до отличного [31]. Аналогичные реакции обмена с одинарной связью $(\text{CO})_3\text{CrMo-MoCr}(\text{CO})_3$ дали $\text{Ar}^i\text{M-MoCr}(\text{CO})_3$ ($\text{Ar} = \text{Ar}^i\text{Pr}_4$ или Ar^iPr_6 ; $\text{M} = \text{Sn или Pb}$). Продукты охарактеризованы методами ЯМР (^1H , ^{13}C , ^{119}Sn или ^{207}Pb), электронной, ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа.

Универсальность объемистого бис(имино)карбазолатного лиганда в химии свинца(II) иллюстрируется синтезом растворимого гетеролептического фторида свинца(II) и нескольких галогенидных (Cl, Br и I), амидных и гидрокарбильных соединений [32].

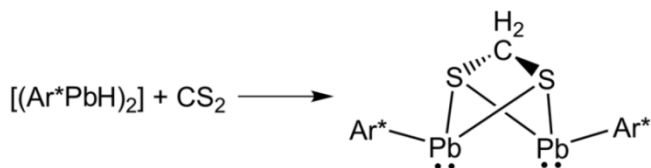


Для всех структурно охарактеризованных комплексов приведен полный набор данных ЯМР ^{207}Pb .

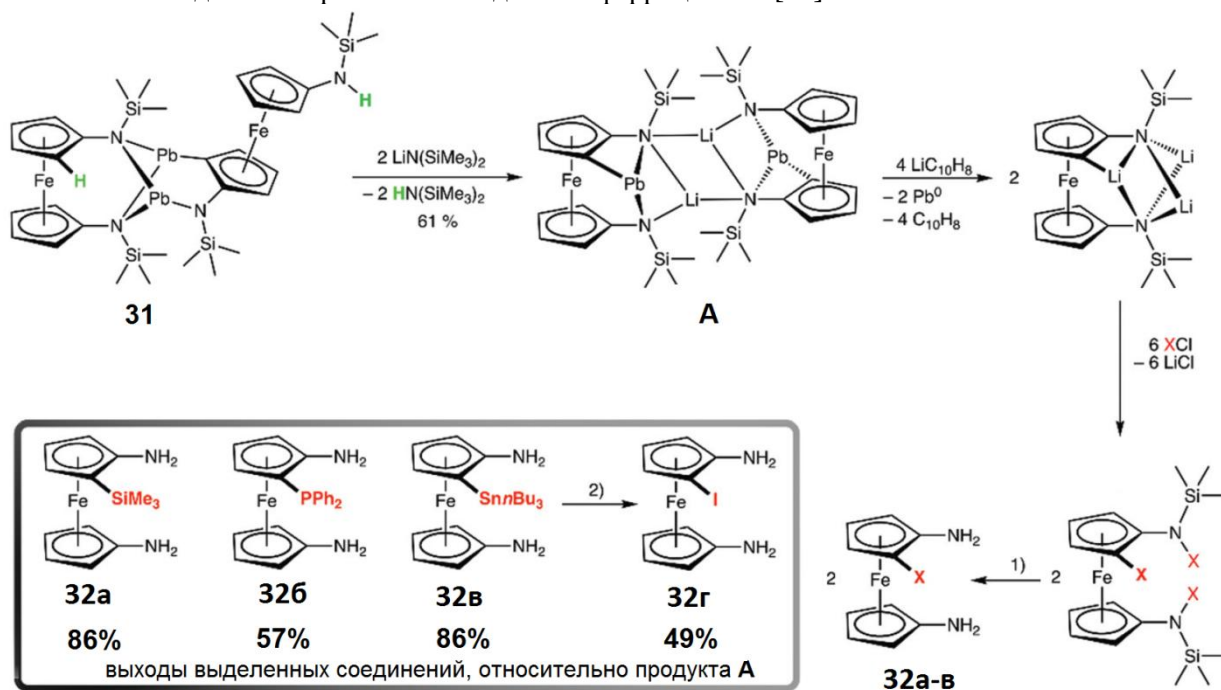
Низковалентный элементоорганический гидрид свинца $[(\text{Ar}^*\text{PbH})_2]$ подвергали взаимодействию с диорганокрбодиимидом и адамантилизоцианатом с образованием продуктов реакций гидроэлементирования **29** и **30** [33].



Сероуглерод реагирует с двумерным низковалентным свинцовоорганическим гидридом с переносом обоих гидридных лигандов на атом углерода CS_2 и образованием дитиолового лиганда $[\text{CH}_2\text{S}_2]^{2-}$, соединяющего оба свинцовоорганических звена.



Планарно-хиральные гомологи 1,10-диаминоферроцена **32(a–г)**, которые несут один дополнительный заместитель, соседний с одной из аминогрупп, получают в виде рацемических смесей в несколько стадий и с хорошими выходами из ферроцена **31** [34].



1) а (X = SiMe₃): 1. водн. HCl, 2. NEt₃; б (X = PPh₂): 1. HCl в диоксане, 2. NEt₃; в (X = SnBu₃): H₂O.
2) 1. PhCHO, 2. I₂, 3. HONH₃Cl

Различные заместители, имеющие отношение к стерическому экранированию, координации и дальнейшей функционализации дают доступ к плоско-хиральным дииминам и диаминам на основе ферроцена, а также стабильным N-гетероциклическим карбенам и тетраленам.

Заключение

Химия органических соединений свинца в настоящее время развивается недостаточно интенсивно: получено значительное количество разнообразных моно-, би- и полиядерных соединений; показано, что соединения свинца демонстрируют разнообразие структурных типов, проявляют химическую активность в самых разнообразных реакциях. При изучении данных соединений показана возможность стабилизации соединений двухвалентного свинца, продемонстрирована возможности разнообразных реакций. Свинцеорганические соединения к настоящему времени остаются значительно менее изученными по сравнению с германий- и оловосодержащими производными. Анализ публикаций по данной теме позволяет сделать вывод о том, что интерес к органическим соединениям свинца не ослабевает, поскольку они имеют перспективы применения в качестве реагентов в элементоорганическом синтезе.

Список источников

1. Шарутин В.В., Мосунова Т.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2020. Т. 12. № 3. С. 7. DOI: 10.14529/chem200301
2. Poddel'sky A.I., Sharutin V.V. // J. Organomet. Chem. 2022. Т. 957. С. 122152. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2021.122152

3. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2021. Т. 47. № 12. С. 719. DOI: 10.31857/S0132344X21120021
4. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2020. Т. 46. № 10. С. 579. DOI: 10.31857/S0132344X20100011; Sharutin V.V., Poddelsky A.I., Sharutina O.K. // Russ. J. Coord. Chem. 2020. V. 46. No. 10. P. 663. DOI: 10.1134/S1070328420100012
5. Шарутин В.В. / Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16. № 1. С. 5. DOI: 10.14529/chem240101
6. Зыкова А.Р. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2020. Т. 12. № 4. С. 5. DOI: 10.14529/chem200401
7. Шарутин В.В., Тарасова Н.М. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15. № 1. С. 17. DOI: 10.14529/chem230102
8. Шарутин В.В., Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15. № 2. С. 5. DOI: 10.14529/chem230201
9. Шарутин В.В., Зыкова А.Р. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15. № 3. С. 5. DOI: 10.14529/chem230301
10. Шарутин В.В., Рыбакова А.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15. № 3. С. 45. DOI: 10.14529/chem230302
11. Шевченко Д.П. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 4. С. 9–108. DOI: 10.14529/chem230401
12. Кочешков К.А., Землянский Н.Н., Шевердина Н.И., Панов Е.М. Методы элементоорганической химии. Германий, олово, свинец. М.: Наука, 1968.
13. Ornelas A., Arias-Ugarte R., Metta-Magana A.J. et al. // Dalton Trans. 2021. V. 50. P. 16084. DOI: 10.1039/D1DT02781F
14. Sharma H.K., Metta-Magana A.J., Lopez-Cardoso M., Pannell K.H. // Texas Journal of Science. 2021. V. 73. P. 2. DOI: 10.32011/txjsoci 73 1 Article2
15. Medvedev A.G., Sharipov M.Yu., Grishanov D.A. et al. // Mendeleev Commun. 2022. V. 32. P. 57. DOI: 10.1016/j.mencom.2022.01.018
16. Medvedev A.G., Grishanov D.A., Mikhaylov A.A. et al. // Inorg. Chem. 2022. V. 61. No. 21. P. 8193. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.2c00487
17. Haring M., Kerpen C., Ribbeck T. et al. // Angew. Chem. Int. Ed. 2022. P. e202202882. DOI: 10.1002/anie.202202882
18. Zeckert K., Fuhrmann D. // Inorg. Chem. 2019. V. 58. No. 24. P. 16736. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.9b02872
19. Dutta A., Trivedi M., Alarifi A. et al. // J. Mol. Struct. 2020. V. 1207. P. 127801. DOI: 10.1016/j.molstruc.2020.127801
20. Maudrich J.-J., Diab F., Weiß S. et al. // Chem. -Eur. J. 2021. V. 21. P. 4691. DOI: 10.1002/chem.202005119
21. M. Aman, L. Dostál, T. Mikysek et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2020. P. 3644. DOI: 10.1002/ejic.202000696
22. Roy M.M.D., Baird S.R., Dornsiepen E. et al. // Chem. -Eur. J. 2022. V. 27. P. 8572. DOI: 10.1002/chem.202100969
23. E.H. Kim, C.W. Moon, J.G. Lee et al. // Polyhedron. 2020. V. 177. P. 114270. DOI: 10.1016/j.poly.2019.114270
24. X. Sun, A.K. Singh, R. Yadav et al. // Chem. Commun. 2022. V. 58. P. 673. DOI: 10.1039/D1CC06182H
25. Widemann M., Jeggle S., Auer M. et al. // Chemical Science. 2022. V. 13. P. 3999. DOI: 10.1039/d2sc00297c
26. Zhu Q., Fetting J.C., Vasko P., Power P.P. // Organometallics. 2020. V. 39. P. 4629. DOI: 10.1021/acs.organomet.0c00659
27. M. Widemann, K. Eichele, H. Schubert et al. // Angew. Chem. Int. Ed. 2021. V. 60. P. 5882. DOI: 10.1002/anie.202015725
28. Wirtz L., Jourdain M., Huch V. et al. // ACS Omega. 2019. V. 4. P. 18355. DOI: 10.1021/acsomega.9b02605

29. Guthardt R., Bruhn C., Siemeling U. // *Polyhedron*. 2021. V. 194. P. 114959. DOI:10.1016/j.poly.2020.114959
30. Danés S., Müller C., Wirtz L. et al. // *Organometallics*. 2020. V. 39. P. 4629. DOI: 10.1021/acs.organomet.9b00667
31. Queen J.D., Phung A.C., Caputo C.A. et al. // *J. Am. Chem. Soc.* 2020. V. 142. P. 2233. DOI: 10.1021/jacs.9b13604.
32. Chapple P.M., Hamdoun G., Roisnel T. et al. // *Dalton Trans.*, 2021. V. 50. P. 9021. DOI: 10.1039/D1DT01615F
33. Weiß S., Widemann M., Eichele K. et al. // *Dalton Trans.* 2021. V. 50. P. 4952. DOI: 10.1039/d1dt00542a
34. Guthardt R., Blanckenberg J., Bruhn C., Siemeling U. // *Chem. Commun.* 2021. V. 57. P. 12984. DOI: 10.1039/d1cc05287j

Шарутин Владимир Викторович – доктор химических наук, главный научный сотрудник управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutin50@mail.ru

Тарасова Наталья Михайловна – кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: tarasovanm@susu.ru

*Статья поступила в редакцию 30 сентября 2024 г.
The article was submitted 30 September 2024.*