

Э. Лукевиц, О. А. Пудова

ФУРАНОВЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТОВ VIII ГРУППЫ

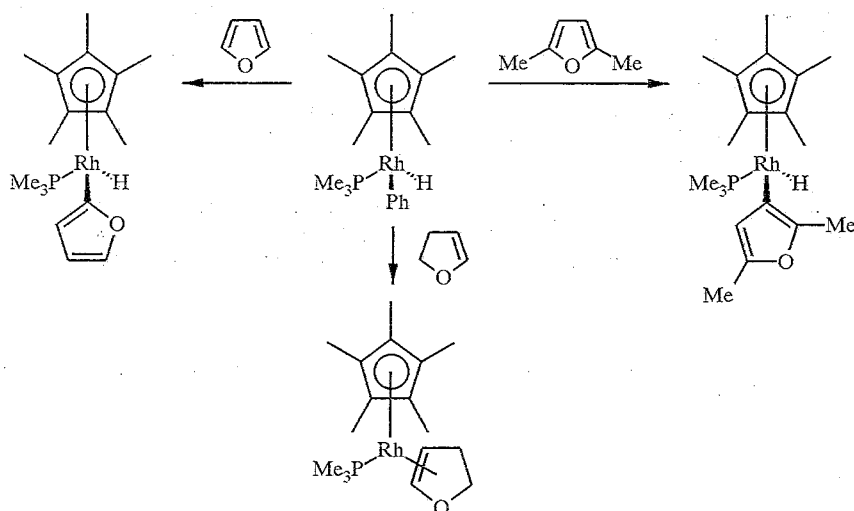
(ОБЗОР)

Обобщены методы синтеза, физико-химические и химические свойства фурановых производных железа, кобальта, никеля, родия, палладия, осмия, иридия и платины.

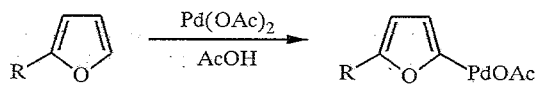
1. МЕТОДЫ СИНТЕЗА

Соединения со связью $C_{\text{фурил}}-M$ (M — металл VIII группы) известны для железа [1—3], никеля [4], родия [5], палладия [6—12], осмия [13—16], иридия [17—19] и платины [6]. Для их синтеза использовались самые разнообразные методы: прямое металлизирование фуранового кольца [5—7, 9—11, 13, 19], литиевый [4, 17] и ртутный [1, 12] синтез, декарбонилирование фуруильных соединений металлов [2, 14], циклизация [8] и некоторые другие.

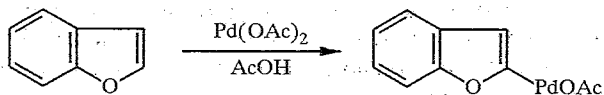
Прямым металлизированием фуранового цикла ряда фурилсодержащих соединений получены производные родия [5], палладия [6, 7, 9—11], осмия [13], иридия [19] и платины [6]. Так, при термолизе родиевого комплекса $(C_5Me_5)Rh(PMe_3)Ph(H)$ в присутствии фурана при температуре $60^\circ C$ в среде гексана с выходом 84% выделен единственный продукт — 2-фурилзамещенный родиевый комплекс. Аналогичная реакция с 2,5-диметилфураном протекает по положению 3 фуранового цикла, а в случае 2,3-дигидрофурана образуется π -комплекс с η^2 -координацией [5].



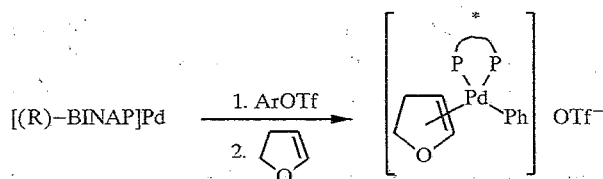
Фурилсодержащие палладийацетаты получают при обработке фурана, 2-метилфурана, фурфурола, 2-ацетилфурана и бензофурана [9—11] ацетатом палладия в уксусной кислоте; далее без выделения они использовались в реакциях с ароматическими и винильными соединениями.



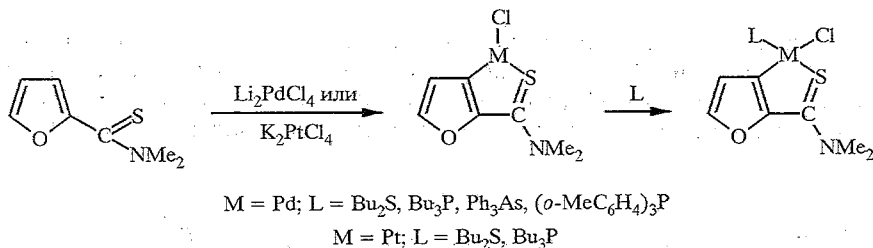
R = H, Me, CHO, MeCO



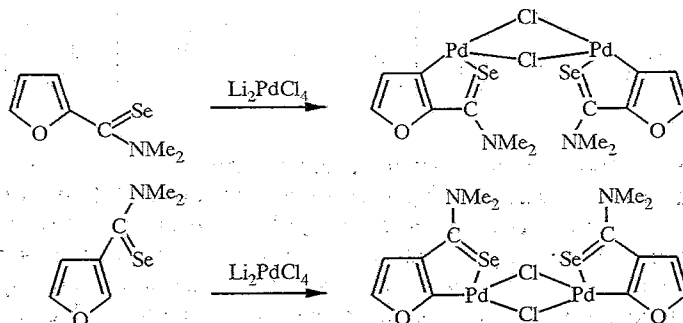
С высокой степенью стерео- и региоселективности проарилировать 2,3-дигидрофуран удалось при действии арилтрифлатов в присутствии аминов и комплексов палладия с (R)-2,2'-бис(дифенилфосфино)-1,1'-бинафтилом [(R)-BINAP]. Основным продуктом данной реакции был (R)-2-арил-2,3-дигидрофуран с высокой оптической чистотой (96%), а (S)-2-арил-2,5-дигидрофуран образуется с низким выходом. Авторы [20] считают, что асимметричное арилирование осуществляется благодаря образованию дигидрофуранового арилпалладиевого промежуточного продукта.



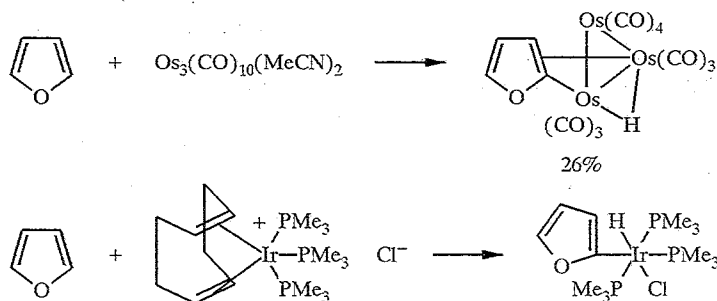
Проведено циклопалладирование и циклоплатинирование фуранового кольца N,N-диметил-2-фуранкарботиоамида соответственно тетрахлорпалладатом лития и тетрахлорплатинатом калия. В результате этой реакции образуются хелатные комплексы, в которых атом металла связан с атомом серы и атомом углерода в положении 2 фуранового кольца. Эти комплексы, в свою очередь, легко и с высоким выходом реагируют с донорными лигандами: Bu₂S, Bu₃P, (o-MeC₆H₄)₃P, Ph₃As. Кроме соединений с атомом хлора у палладия синтезированы также их бром- и йоданалоги [6].



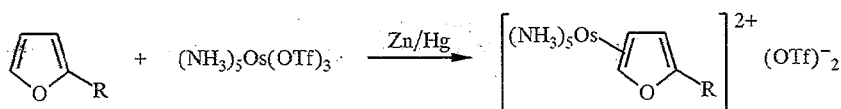
Тетрахлорпалладат лития реагирует также с N,N-диметил-2(или 3)-фуранкарбоселенамидом [7]. Циклопалладирование протекает по свободному 3- или 2-положению фуранового цикла.



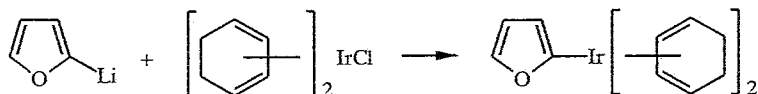
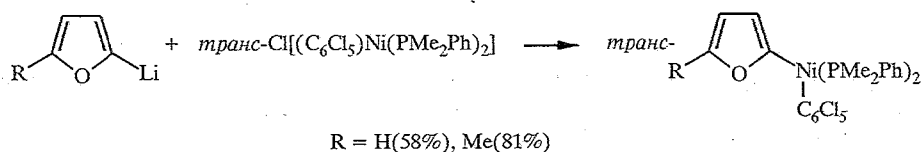
Взаимодействие фурана с триосмиевым комплексом $[\text{Os}_3(\text{CO})_{10}(\text{MeCN})_2]$ [13] и иридиевым $[\text{Ir}(\text{COD})(\text{PMe}_3)_3]\text{Cl}$ [19] идет через активацию С—Н связи и окислительное присоединение гетероцикла к металлоорганическому фрагменту. По данным рентгеноструктурного анализа, в полученном триосмиевом кластере два атома осмия связаны водородным мостиком и фурановым лигандом, причем фурановый цикл с одним атомом осмия образует σ -связь, а со вторым π -связан за счет двойной С=С связи [13]. В иридиевом комплексе водород находится в *транс*-положении относительно хлора, а 2-фурильная в *транс*-положении относительно PMe_3 [19].



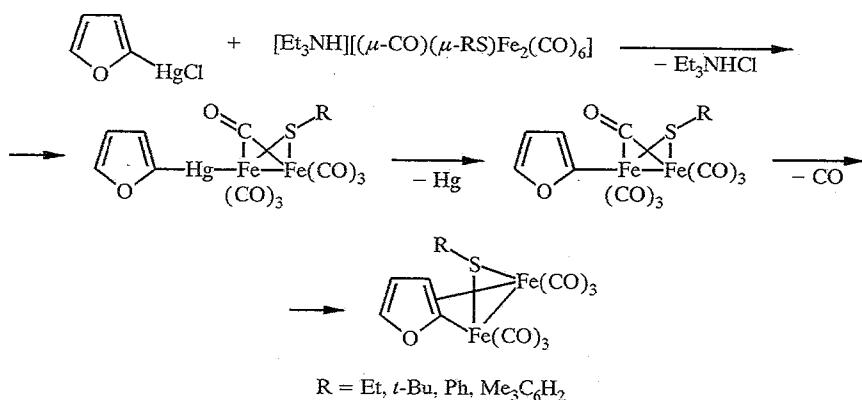
Восстановлением осмиевого комплекса $(\text{NH}_3)_5\text{Os}(\text{OTf})_3$ при действии Mg или Zn/Hg в присутствии избытка фурана или сальвана получены соединения, в которых атом осмия η^2 -связан с одной из двойных С=С связей гетероцикла [15, 16].



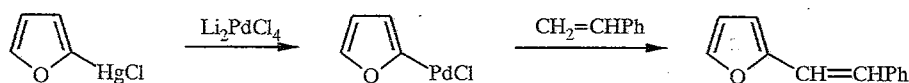
Замещение атома хлора в *транс*-хлор[бис(диметилфенилфосфин)]пентахлорфенилникеле [4] и хлор[бис(η^4 -циклогекса-1,3-диен)]иридии [17] на фурильную и 5-метил-2-фурильную осуществлено обработкой данных комплексов литиевыми производными фурана при охлаждении до 0 °С.



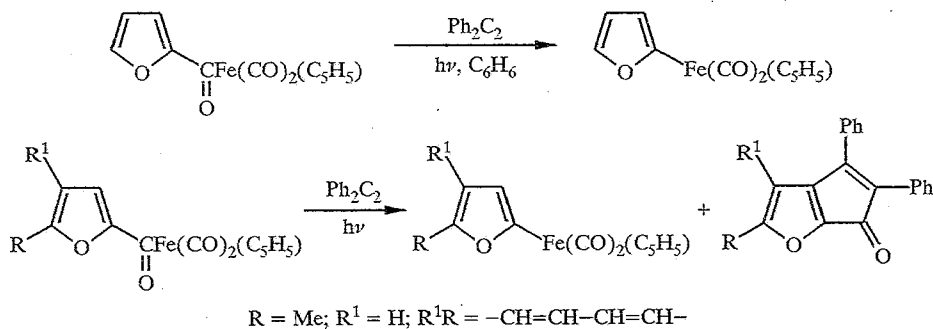
Фурановые производные ртути использовались для получения соединений железа [1] и палладия [12]. Ди(2-фурил)ртуть и 2-фурилртутьхлорид реагируют с комплексом железа $[\text{Et}_3\text{NH}]^+[(\mu\text{-CO})(\mu\text{-RS})\text{Fe}_2(\text{CO})_6]^-$ с образованием биядерного комплекса, в котором, по данным рентгеноструктурного анализа, один атом железа σ -связан с атомом углерода фуранового кольца в положении 2, а второй π -связан с двойной С=С связью [1]. Предполагаемый механизм реакции представлен на схеме:



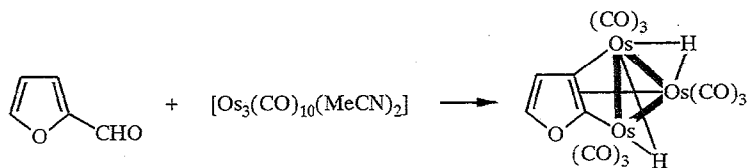
2-Фурилпалладийхлорид [12], полученный *in situ* из 2-фурилртутьхлорида и тетрахлорпалладата лития, далее реагирует с олефинами с образованием фурилалкенов и 2,2'-бифурила в качестве примеси.



При исследовании реакционной способности ацильных σ -комплексов циклопентадиенилдикарбонилжелеза с дифенилацетиленом установлено, что 2-фурильное производное при облучении в среде бензола полностью декарбонилируется [2], а производные сивлана и бензофурана в аналогичных условиях кроме продукта декарбонилирования дают гетероциклические аналоги 2,3-дифенилинденона.

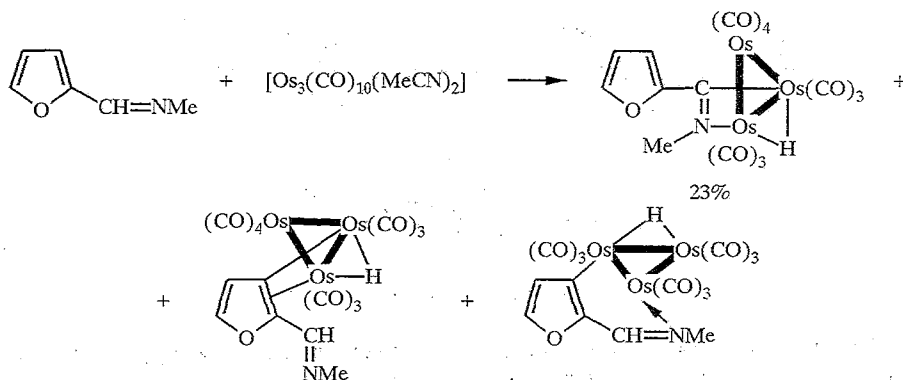


Продукт окислительного присоединения триосмиевого комплекса $[\text{Os}_3(\text{CO})_{10}(\text{CH}_3\text{CN})_2]$ к фурфуролу легко подвергается термическому декарбонилированию с образованием μ_3 -гетероциклической системы [14].

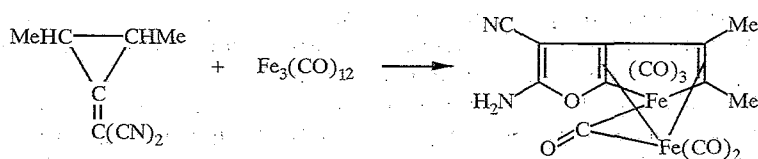


N-Фурфуриденметиламин также реагирует с комплексом $\text{Os}_3(\text{CO})_{10}(\text{CH}_3\text{CN})_2$ при комнатной температуре в дихлорметане. Однако кроме продукта окислительного присоединения (23%), полученного при расщеплении C—N связи альдиминной группы, получены продукты со

связями C_{фурил}—Os (17 и 35%), выводы о строении этих комплексов основаны лишь на данных спектров ПМР [14].

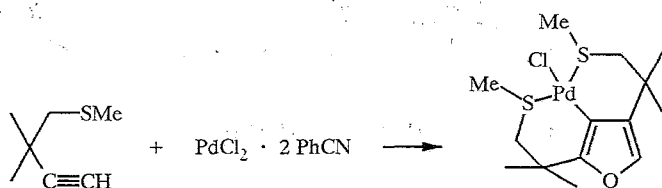


1,2-Диметил-3-дицианометиленциклопропан при взаимодействии с комплексом железа Fe₃(CO)₁₂ в толуоле образует продукт внедрения Fe(CO)₄ группы в трехчленный цикл. Одновременно происходит восстановление одной цианогруппы [3].

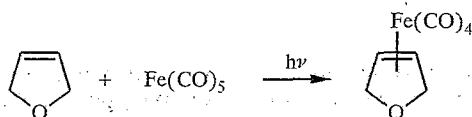


Строение полученного продукта доказано методом рентгеноструктурного анализа.

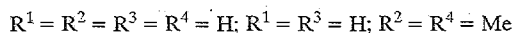
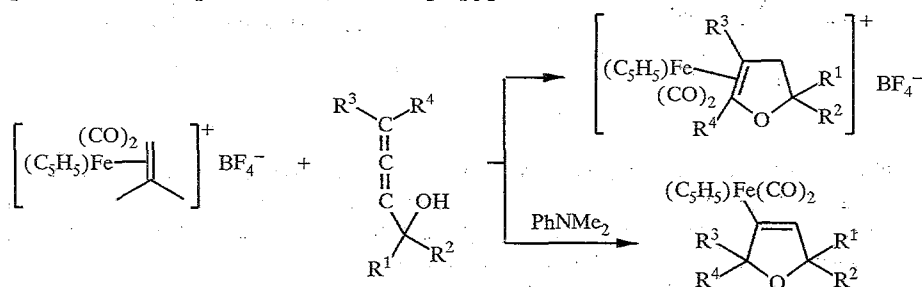
Взаимодействие 3,3-диметил-4-метилтио-1-бутина с PdCl₂·2PhCN в сухом хлористом метиле протекает сложно с образованием смеси пяти продуктов (общий выход 60%), один из которых, по данным рентгеноструктурного анализа, содержит фурановый цикл, связанный с атомом палладия (выход 10%) [8].



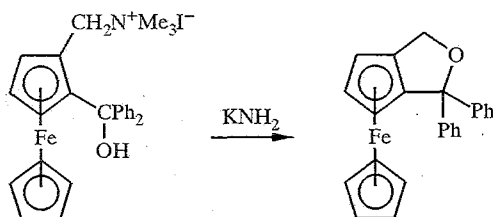
Соединения, в которых металл VIII группы связан с дигидро- или тетрагидрофурановым кольцом, немногочисленны и получены, как правило, путем циклизации [21—24]. Для синтеза тетракарбонил(η²-2,5-дигидрофуран) железа использовалась также термическая и фотохимическая конденсация 2,5-дигидрофурана с карбонильными комплексами железа Fe(CO)₅ и Fe₂(CO)₉ [25].



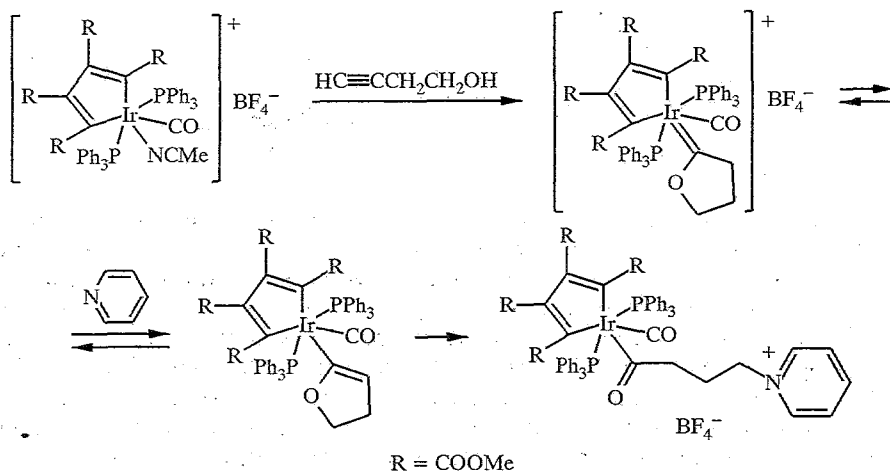
Изучена конденсация гидроксиметилалленов с катионом дикарбонил(η^5 -циклопентадиенил)(η^2 -изобутилен) железа в среде 1,2-дихлорэтана при небольшом нагревании [21]. Из алленов с $R^1 = R^2 = R^3 = R^4 = H$ и $R^1 = R^3 = H$, $R^2 = R^4 = Me$ за 15 мин с выходом 84 и 44% соответственно получены катионные комплексы, в которых атом железа η^2 -координирован с двойной связью 2,3-дигидрофурана. В аналогичных условиях аллены с $R^1 = R^2 = Me$, $R^3 = R^4 = H$ и $R^1 = R^2 = H$, $R^3 = R^4 = Me$ из-за перегруппировки образуют смесь катионов, а добавление 1 эквивалента *N,N*-диметилаанилина приводит к нейтральным 2,5-дигидрофурановым комплексам железа:



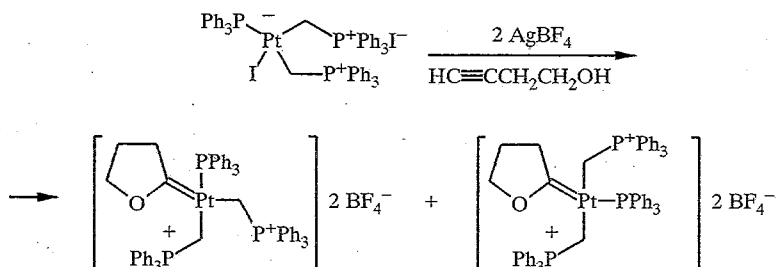
Синтез производного ферроцена, в котором одно из циклопентадиенильных колец конденсировано с тетрагидрофурановым, осуществлен с помощью внутримолекулярной конденсации йодметилата 1-диметиламинометил-2-дифенилгидроксиметилферроцена в моноглиме под действием амида калия. За 6 сут реакция протекает на 79% [22].



2-Оксациклопентилиденовые комплексы иридия [23] и платины [24] получены по классическому методу циклизации бут-3-ин-1-ола. При 1H ЯМР спектроскопическом исследовании реакции 2-оксациклопентилиденового комплекса иридия с пиридином первоначально наблюдалось образование промежуточного 2-(4,5-дигидрофурил)иридиевого соединения, из которого путем раскрытия дигидрофуранового кольца получен ацильный комплекс [23].

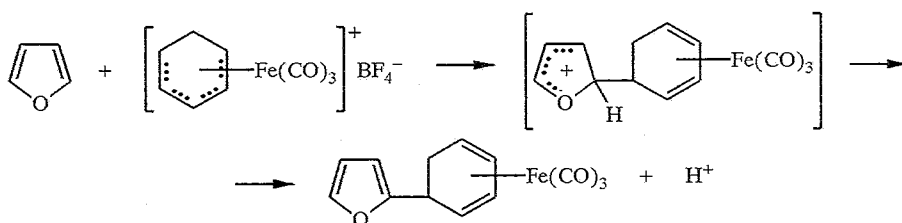


При синтезе соединения платины циклизация протекает с образованием двух изомерных (*цис*- и *транс*-) оксациклопентилиденовых комплексов в равном соотношении [24].

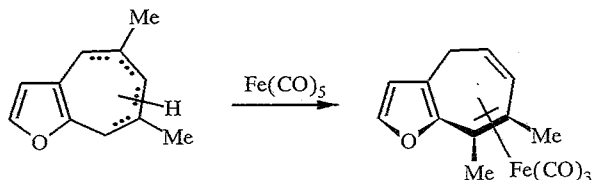


Из соединений, в которых атом металла не связан непосредственно с фурановым кольцом, а отделен от него каким-либо углеродным фрагментом, фактически исследованы лишь производные железа (как правило, соединения ферроценового ряда) и кобальта.

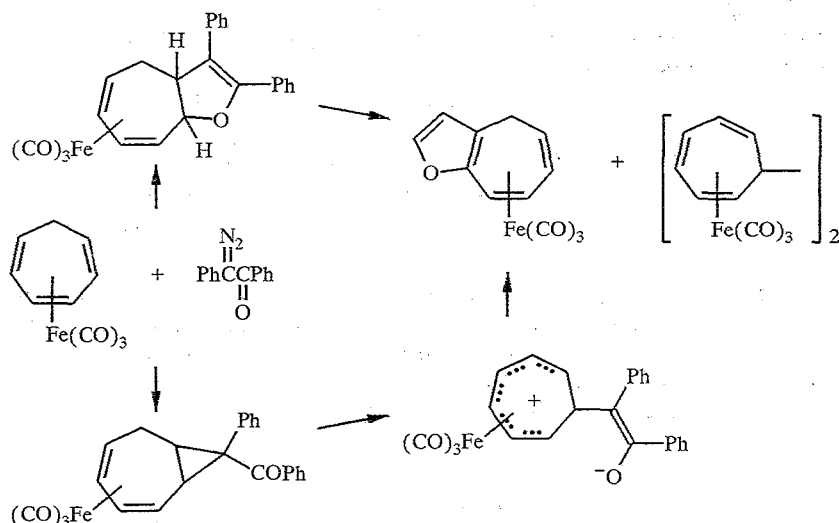
Различными методами синтезированы циклодиенильные комплексы железа, содержащие фурановый цикл [26—28]. Так, при нуклеофильном замещении атома водорода в положении 2 фуранового кольца катионом η^5 -циклогексацинильного комплекса железа получено трикарбонил[5-(2-фурил)циклогексади-1,3-енил]железо. Реакция протекает через образование промежуточного σ -комплекса. 2-Метилфуран тоже вступает в реакцию, однако в данном случае не удалось определить положение железосодержащего заместителя в фурановом кольце [26].



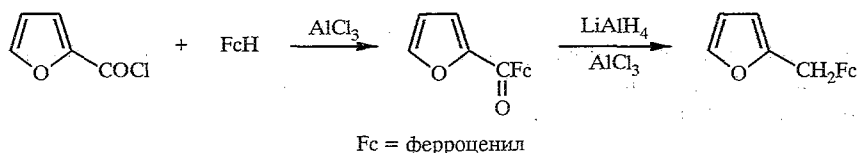
Изучена комплексообразующая способность фурилтропилиевой системы с пентакарбонилжелезом. При комнатной температуре в токе азота за 12 ч с низким выходом (11%) получен диенильный комплекс железа, строение которого установлено с помощью рентгеноструктурного анализа [27].



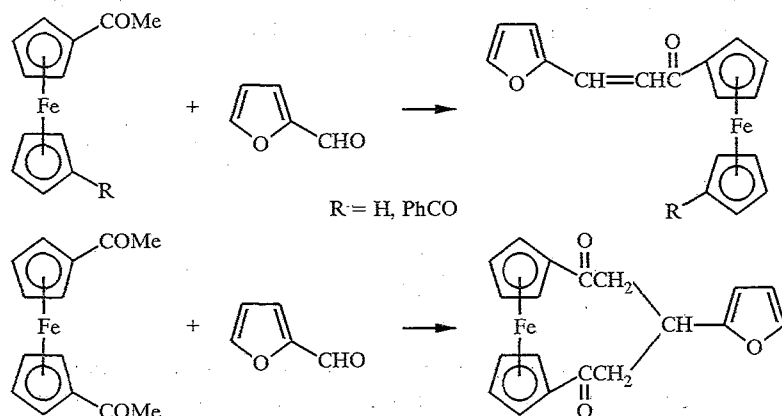
Второе соединение данного ряда получено конденсацией фенилдиазоацетофенона и трикарбонил(циклогептатриен)железа в присутствии меди при 45 °С. Однако и в данном случае выход невысок (9%), так как в основном образуется димерный комплекс — ди[трикарбонил(циклогептатриен)железо] [28]. Авторы [28] предполагают два возможных пути синтеза трикарбонил[(η -5,6,7,8)-2,3-дифенил-4Н-циклогепта[b]фуран]железа: 1,3-диполярное присоединение к двойной связи циклогептатриена с последующим дегидрогенированием или циклопропанирование и перегруппировка образовавшегося кетона через цвиттерионную структуру.



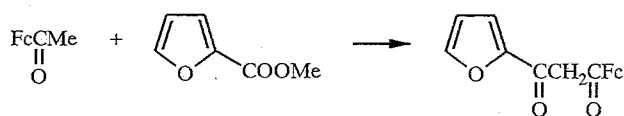
Ферроценовые производные фурана — наиболее широко изученный тип соединений, в которых атом металла не связан с фурановым кольцом. Для их получения использовались классические методы синтеза [29—41]. Легко протекает ацилирование ферроцена 2-фуроилхлоридом по Фриделю—Крафтсу в присутствии безводного алюминийхлорида [29, 30], а полученный 2-фуроилферроцен может быть, в свою очередь, восстановлен под действием $\text{LiAlH}_4/\text{AlCl}_3$ в фурфурилферроцен [31].



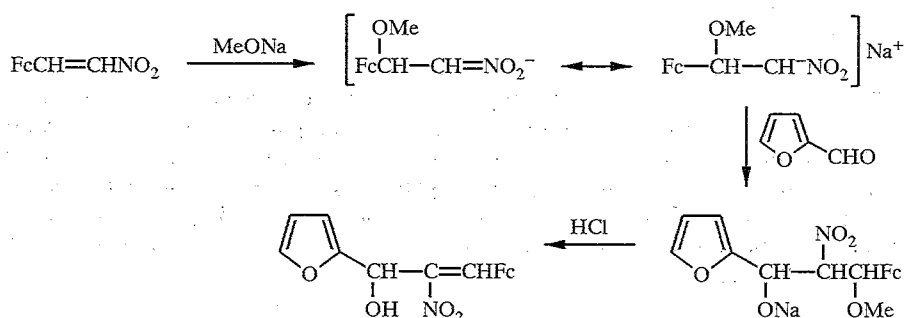
В условиях щелочного катализа (NaOH) ацетилферроцен вступает в реакцию конденсации с фурфуролом [32—35], выход 1-ферроценил-3-(2-фурил)проп-2-ен-1-она составил 58%. Введение бензоильной группы во второе цикlopentadiенильное кольцо несколько уменьшает выход продукта [33], а из 1,1'-диацетилферроцена получено соединение, в котором два цикlopentadiенильных кольца соединены C_5 -углеродной цепочкой [34].



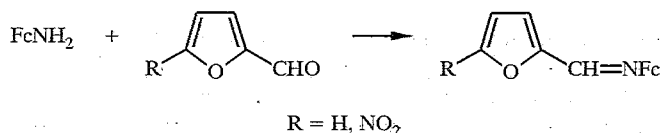
Ацетилферроцен реагирует также с метиловым эфиром 2-фуранкарбоновой кислоты с образованием дикетона, который под действием гидразина циклизуется в производное пиразола [37].



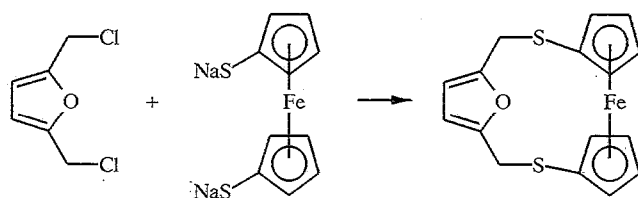
1-Ферроценил-2-нитроэтилен вступает в реакцию конденсации с фурфуролом в присутствии метилата натрия. Последний генерирует из нитроэтиленового соединения карбанион, который атакует карбонильную группу фурфурола. Далее при обработке интермедиата соляной кислотой с выходом 35% получен нитроалкенол [38].



При нагревании аминферроцена с фурфуролом или 5-нитрофурфуролом в течение 1 ч с выходом 82 и 85% соответственно синтезированы азометиновые основания [39].



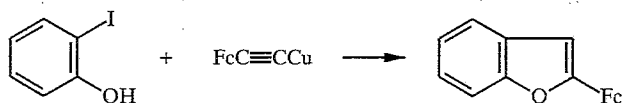
Синтез ферроцена, содержащего фурановый цикл в мостиковой цепи, осуществлен при взаимодействии 2,5-ди(хлорметил)фурана с 1,1-ферроценилдитиолатом натрия в условиях сильного разбавления. Однако даже в этих условиях выход продукта составил лишь 4% [40].



Для синтеза 2,5-диферроценилфурана [41] и 2-ферроценилбензофурана [42] использовалась реакция циклизации. В первом случае 1,4-диферроценилбутан-1,4-дион был превращен в циклическое соединение при обработке свежеприготовленной полифосфорной кислотой (выход 24%) [39].

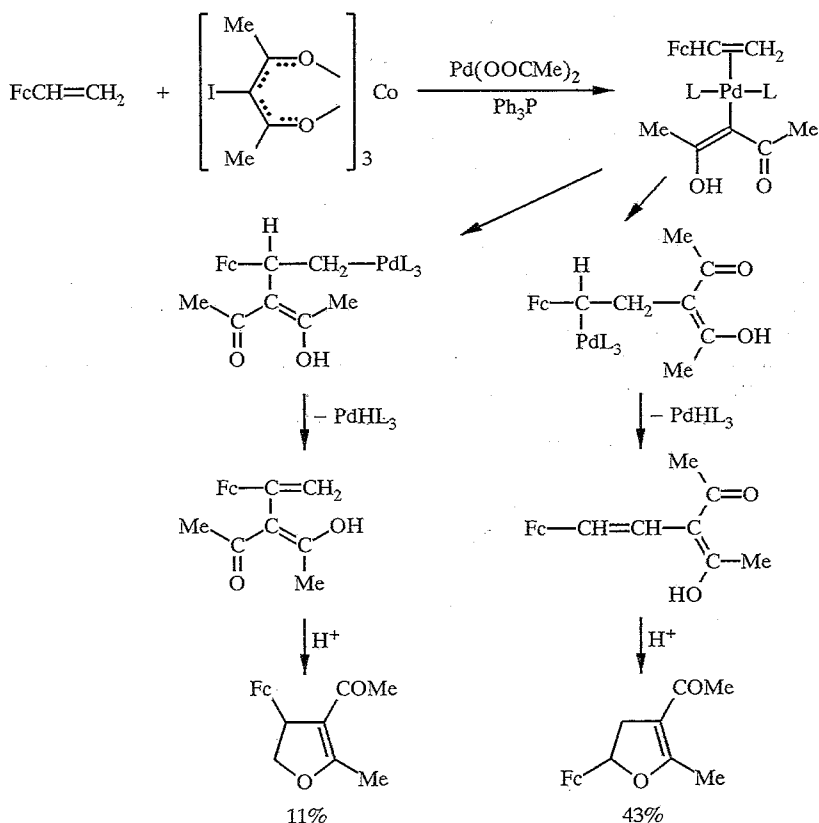


Нагреванием *o*-йодфенола с ферроценилэтинилмедью в пиридине за 8 ч с выходом 85% был получен 2-ферроценилбензофуран [42].

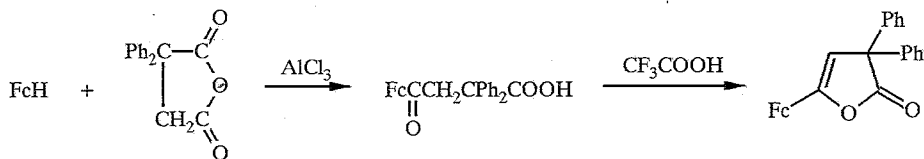


Особенно широкое применение реакция циклизации нашла в синтезе производных дигидро- и тетрагидрофурана, содержащих у гетероцикла ферроценовый заместитель [41, 43—53].

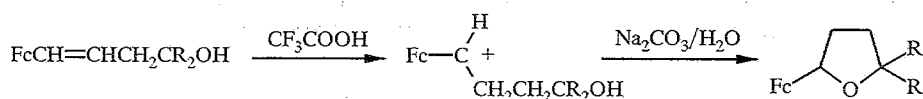
При взаимодействии винилферроцена с трис(3-йодопентан-2,3-дионато)кобальтом в присутствии трифенилфосфина и каталитического количества ацетата двухвалентного палладия получены два структурных изомера ферроценилдигидрофурана, образование которых можно объяснить следующими процессами [43]:



Ферроцен ацилируется ангидридом α,α -дифенилмалонной кислоты в присутствии хлористого алюминия, а образующаяся в результате реакции α,α -дифенил- γ -ферроценил- γ -оксомасляная кислота под действием трифторуксусной кислоты в хлористом метиле циклизуется в 3,3-дифенил-5-ферроценил-2(3H)-фуранон [44].

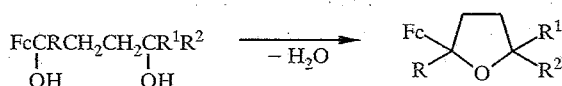


4-Ферроценилбут-3-ен-1-олы в трифторуксусной кислоте превращаются в карбокатионы, стабилизированные ферроценильным заместителем. Если их обработать избытком насыщенного водного раствора карбоната натрия, то с выходом 84...88% образуются 2-ферроценилтетрагидрофураны [45].



R = H, Me

Наиболее удобным и изученным методом синтеза 2-ферроценил- и 2,5-диферроценилтетрагидрофуранов является циклизация γ -гликолей ферроценового ряда [41, 46—49]. Реакция протекает как в присутствии дегидратирующего агента (10% H_2SO_4) [41, 49], так и при вакуумной перегонке гликоля [42—48] с высоким, часто почти количественным, выходом.



R = Me; R¹ = H; R² = Me, Pr, Ph;

R¹ = Me; R² = Me, Et, Pr;

R¹R² = (CH₂)₄, (CH₂)₅;

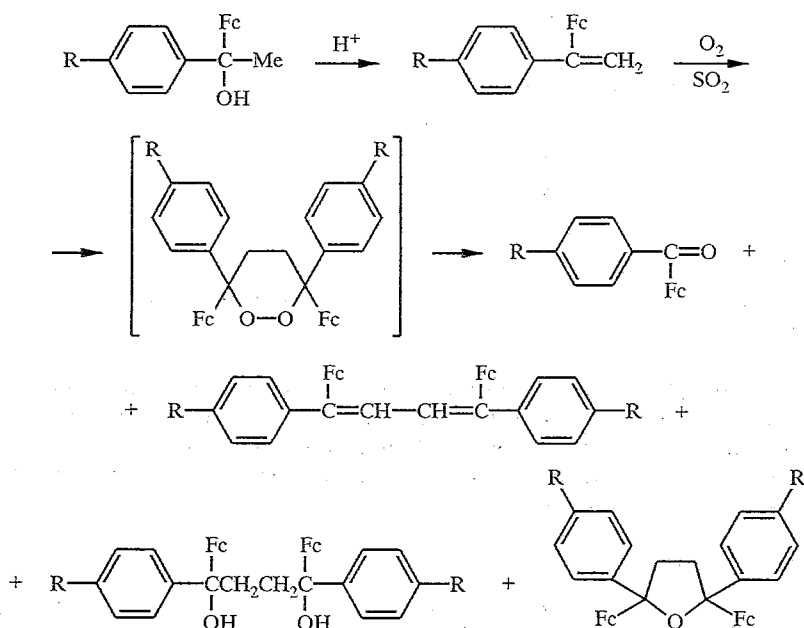
R = Ph; R¹ = R² = Me, Pr;

R¹ = Me; R² = Et;

R¹R² = (CH₂)₄, (CH₂)₅;

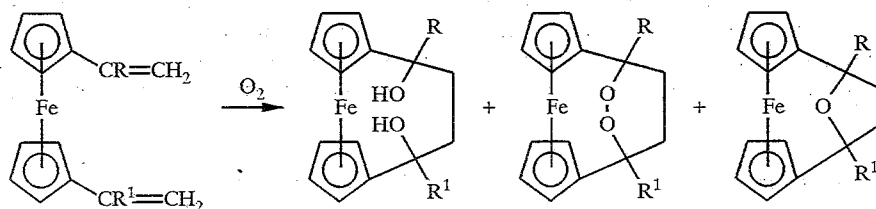
R = R¹ = H; R² = Fc

При обработке 1-гидрокси-1-фенилэтилферроцена в гексане молекулярным кислородом над силикагелем или кислотой окисью алюминия образуется ряд продуктов окислительной димеризации, среди которых обнаружены *цис*- и *транс*-изомеры 2,5-дифенил-2,5-диферроценилтетрагидрофурана. Их выход невелик и составляет 5,5 и 6,8% для *цис*- и *транс*-изомера. Введение метильной группы в *n*-положение фенильного кольца уменьшает выход до 2,3 и 1,1% соответственно [50, 51].

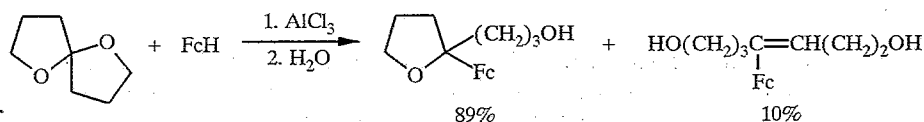


R = H, Me

Почти аналогично протекает окисление 1,1'-дивинилферроцена в присутствии Си-хлорофиллина натрия при облучении [52].

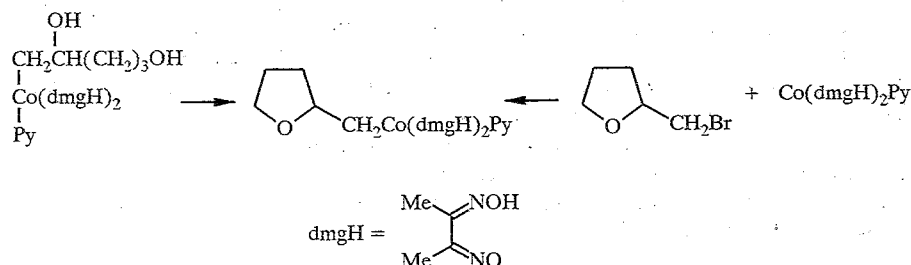


Катализируемая кислотами Льюиса (AlCl_3 , $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$) реакция 1,6-диоксаспиро[4.4]нона с ферроценом идет преимущественно с раскрытием одного тетрагидрофуранового цикла [54], и основным продуктом является 2-ферроценил-2-(3-гидроксипропил)тетрагидрофуран (89%).

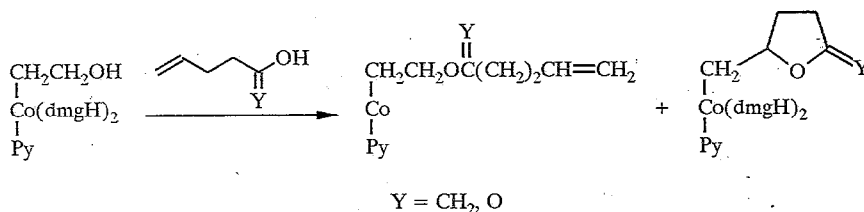


Тетрагидрофурильные производные кобалооксимоов были получены несколькими методами: циклизацией σ -связанного с атомом кобальта 2,5-диоксипентильного заместителя [55], замещением гидроксипентильной группы на тетрагидрофурильную [56] и алкилированием неорганических бисдиметилглиоксиматных хелатов кобальта некоторыми олефинами [57].

2,5-Диоксипентил(пиридин)кобалооксим легко циклизуется при пропускании его хлороформного раствора через колонку с силикагелем в тетрагидрофурильное производное кобалооксима, образование которого подтверждено также встречным синтезом [55].

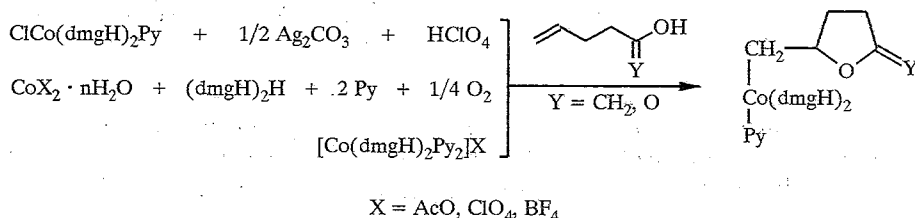


В присутствии кислых катализаторов (HClO_4 , $\text{BF}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$) тетрагидрофурильные кобалооксимоы образуются с очень низким выходом в реакции 2-оксиэтил(пиридин)кобалооксима с пент-4-ен-1-олом или пент-4-еновой кислотой, основными же продуктами этого процесса являются линейные эфиры [56].



Алкилирование комплексов и солей кобальта проводилось несколькими методами [57]. Так, хлор(пиридин)кобалооксим при обработке пент-4-ен-1-олом или пент-4-еновой кислотой в среде хлористого метилена со спиртом в присутствии стехиометрического количества углекислого серебра и хлорной кислоты образуют тетрагидрофурил(пиридин)кобалооксим (25...30%)

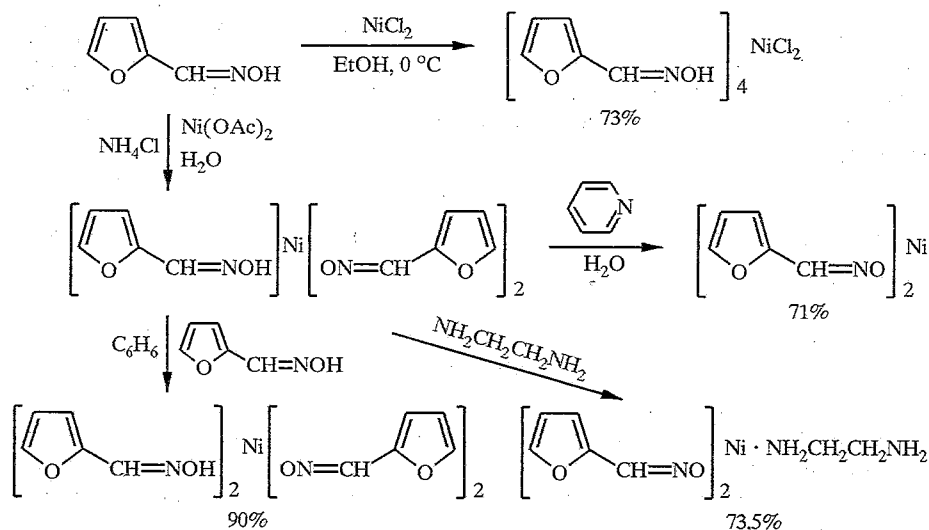
или соответствующий лактон. Такие же продукты удалось выделить с выходом не более 16% после окисления смеси соли двухвалентного кобальта, диметилглиоксима, пиридина и избытка олефина кислородом воздуха в спиртовой среде. Катионные дипиридиновые кобалоксими не реагировали с олефинами в нейтральной и кислой среде, но в присутствии гексацианоферрита калия они все же с небольшим выходом дают продукты алкилирования.



Из соединений с фрагментом $\text{С}_{\text{фурил}}-(\text{C})_n\text{ХМ}$, в которых атом металла связан с различными гетероатомами (O, S, N, P), наиболее исследованы 2,2'-фурилдиоксимины комплексы кобальта [58], никеля [59—63], рутения [64], палладия [59, 65—68] и осмия [69]. Это связано с тем, что 2,2'-фурилдиоксим является более чувствительным реагентом на ионы данных металлов, чем обычно применяющийся диметилглиоксим. Например, в оптимальных условиях 1 мг никеля может быть легко детектирован в 6 л водного раствора, а 1 мг палладия в 20 л при использовании 2,2'-фурилдиоксима [59]. Особенно удобен этот реагент при анализе на палладий, так как полное осаждение достигается даже из растворов сильных минеральных кислот. Ионы кобальта [58] и никеля [59] более чувствительны к pH среды и их количественное высаждение происходит лишь в щелочной среде. Количественное определение содержания металлов в комплексах с 2,2'-фурилдиоксимом было проведено с помощью гравиметрического метода [60, 64] путем сжигания осажденных комплексов до оксидов металлов и спектрофотометрического [60, 61, 69]. Кроме того, 2,2'-фурилдиоксим использовался как титрант при кондуктометрическом титровании солей никеля [63] и палладия [65].

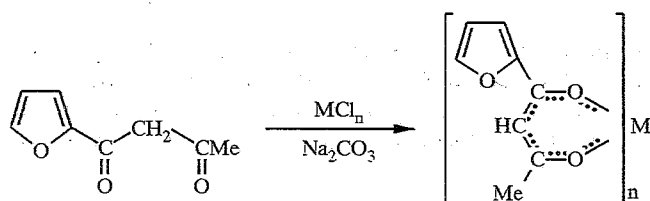
2,2'-Фурилмонооксим также образует хелатные комплексы с солями трехвалентного рутения [64] и двухвалентного палладия [70].

Изучено комплексообразование двухвалентного никеля с *анти*-изомером оксима фурфурола [71].

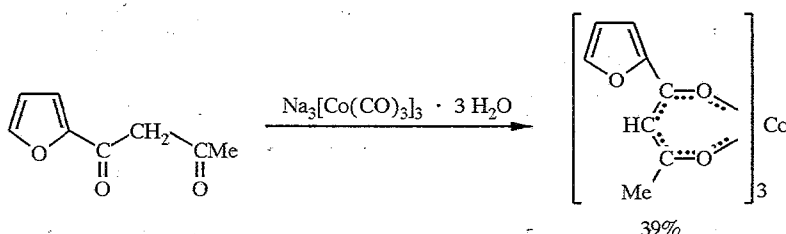


По мнению авторов [71], лиганды в этих комплексах моно- и(или) бидентатны и координированы с металлом атомами кислорода оксима и фуранового кольца. Атом никеля во всех соединениях, за исключением (2-фурил—CH=NO)₂Ni, октаэдричен.

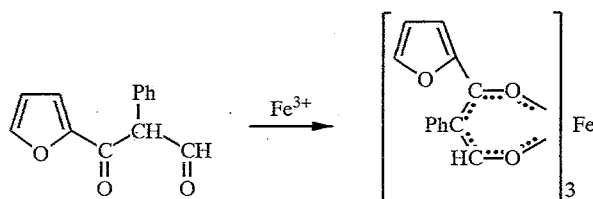
При обработке фуроилацетона хлоридами кобальта(II), никеля(II) и железа(III) в среде диметилформамида в присутствии углекислого натрия образуются соответствующие фуроилацетонаты. Фуроилацетонат трехвалентного кобальта получен взаимодействием фуроилацетона с карбонильным комплексом Na₃[Co(CO)₃]₃·3H₂O [72].



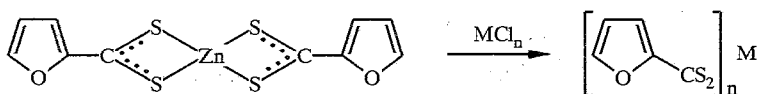
M = Ni(94%), Co(93%), Fe(28%)



Аналогично с ионами Fe³⁺ реагирует в этаноле 2-фенил-2-(2-фурил)ацетальдегид [73].

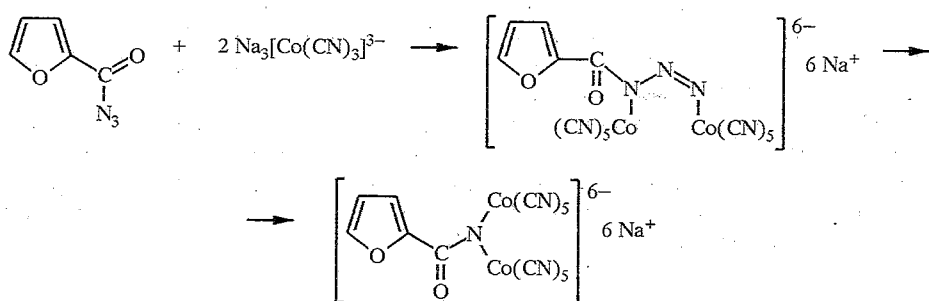


2-Фуранкарбодитионатные комплексы никеля(II), кобальта(III) и железа(III) получены замещением цинка в бис(2-фуранкарбодитиоате)цинка действием соответственно NiCl₂, CoCl₃ и FeCl₃ [74].

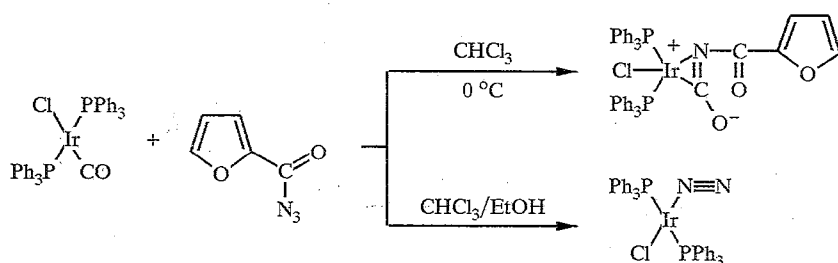


M = Ni, n = 2; M = Co, n = 3; M = Fe, n = 3

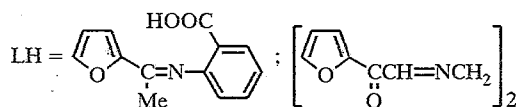
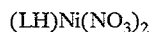
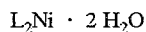
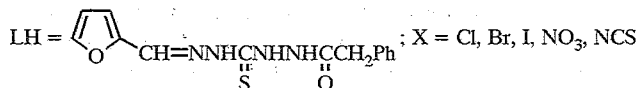
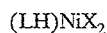
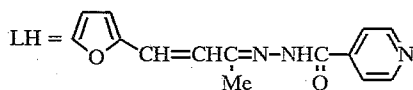
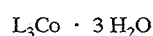
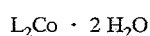
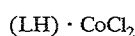
2-Фуроилазид реагирует при 0 °С в водно-этанольном растворе с ионом пентацианокобальтата. Взаимодействие протекает через промежуточный триазидный комплекс с выделением азота [75].



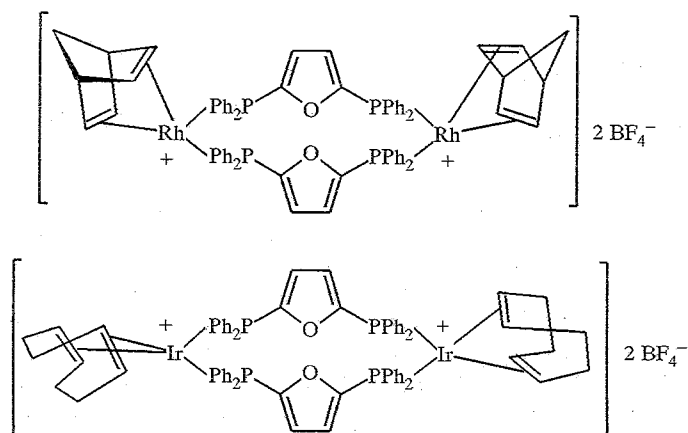
С хлорди(трифенилфосфин)карбонилиридием 2-фууроилазид образует различные продукты реакции в зависимости от чистоты хлороформа. В хлороформе, содержащем примесь спирта, получен иридиевый комплекс молекулярного азота, а в свободном от этанола — изоцианатный иридиевый комплекс [76].



При нагревании солей кобальта [77] и никеля [78, 79] с фурилсодержащими гидразонами, тиокарбогидразидами, азометиновыми основаниями образуются комплексы следующих типов:



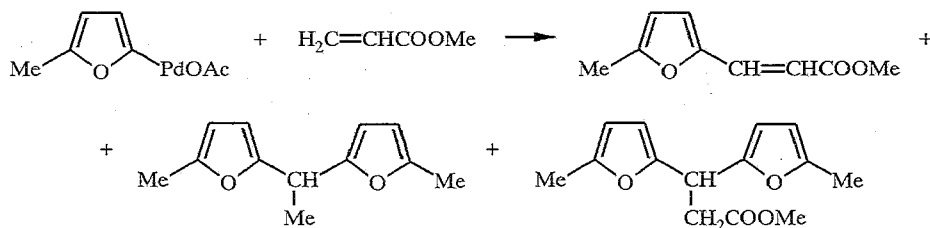
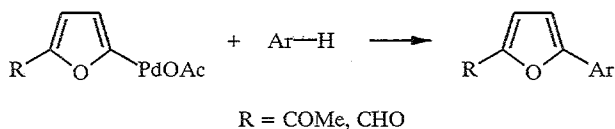
2,5-Бисдифенилфосфинофуран реагирует в хлороформе с тетрафторборатом бисбицикло [2.2.1] гептадиенродия. В результате этой реакции образуется биядерный комплекс [80]. Аналогично получено иридиевое соединение [81].



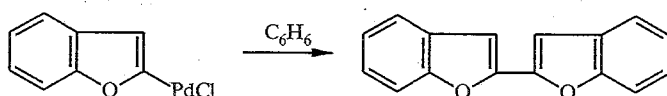
2. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Реакции, в которые вступают фурановые производные элементов VIII группы, можно подразделять на несколько типов: превращения, протекающие с расщеплением связи С—М, трансформации, затрагивающие фурановый цикл, и реакции групп, связанных с металлом.

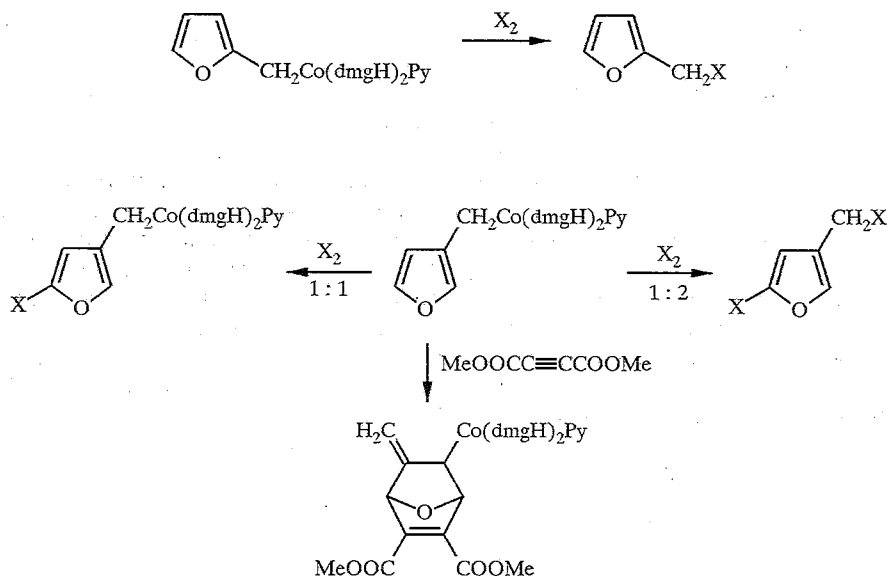
Из реакций первого типа в органическом синтезе часто использовалась реакция арилирования и винилирования фурана, протекающая *in situ* через образование промежуточных фурилпалладийхлоридов и -ацетатов [9—12]. Так, ацетаты фурилпалладия, содержащие альдегидную и ацетильную группы в фурановом кольце, реагируют с ароматическими соединениями с образованием арилзамещенных фуранов [10]. Винилирование ацетата 5-метил-2-фурилпалладия метилакрилатом происходит не столь селективно и кроме винильного производного фурана (выход 27%) с достаточно высоким выходом получены 1,1-бис(5-метил-2-фурил)этан (22%) и метиловый эфир 3,3-бис(5-метил-2-фурил)пропионовой кислоты (10%) [11].



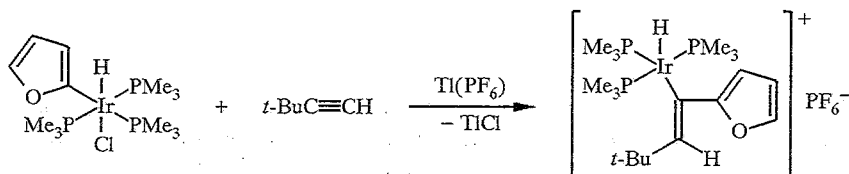
2-Фурилпалладийхлорид также реагирует с олефинами с образованием фурилалкенов, этот процесс сопровождался образованием в небольшом количестве 2,2'-бифурила [12]. Арилировать бензолом палладиевое производное бензофурана не удалось, так как единственным продуктом реакции был 2,2'-бисбензофурил [9].



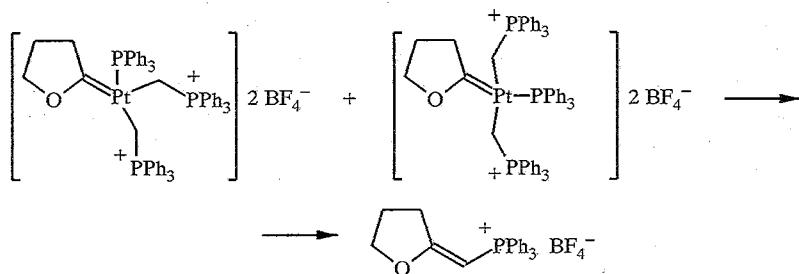
Проведено сравнение реакционной способности 2- и 3-фурилметилкобалоксимов при галогенировании [82, 83]. Взаимодействие фурурилкобалоксима с Cl_2 , Br_2 , I_2 , BrI в молярном соотношении 1 : 1 в хлороформе или уксусной кислоте в атмосфере азота протекает быстро с полным расщеплением связи $\text{Co}-\text{C}$. В аналогичных условиях 3-замещенный изомер дает продукты галогенирования фуранового кольца по положению 5 кольца фурана, лишь при использовании двукратного количества галогенирующего агента происходил разрыв $\text{Co}-\text{C}$ связи. В реакции с диметилым эфиром ацетилендикарбоновой кислоты 3-фурилметилкобалоксим выступает в качестве диена [84], в среде хлористого метилена циклоконденсация протекает при комнатной температуре с количественным выходом.



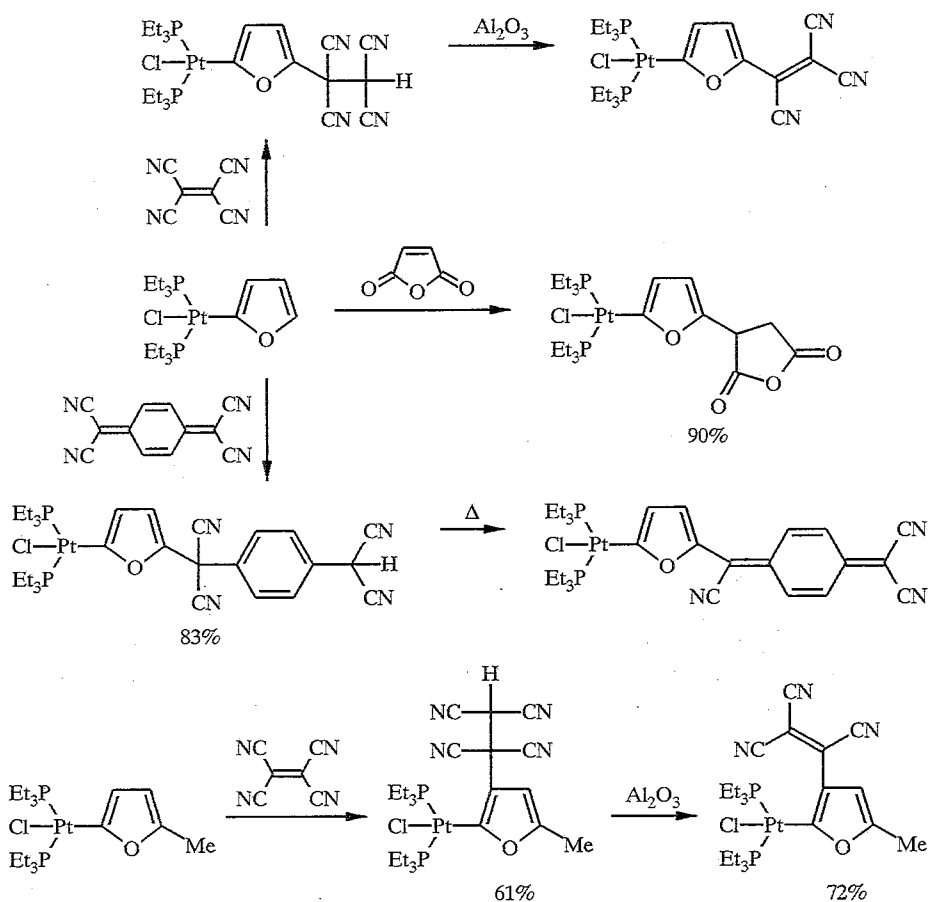
При взаимодействии фурилиридиевого комплекса (2-фурил) $(\text{Ir})(\text{PMe}_3)_3(\text{Cl})$ с *трет*-бутилацетиленом и $\text{Ti}(\text{PF}_6)_3$ в хлористом метиле с выходом 58% образуется винилиридиевый комплекс, который формально можно рассматривать как продукт внедрения *трет*-бутилацетилена по связи $\text{Ir}-\text{C}_{\text{фурил}}$. Следует отметить, что фурильная группа атакует β -, а не α -углеродный атом винильной группы [85].



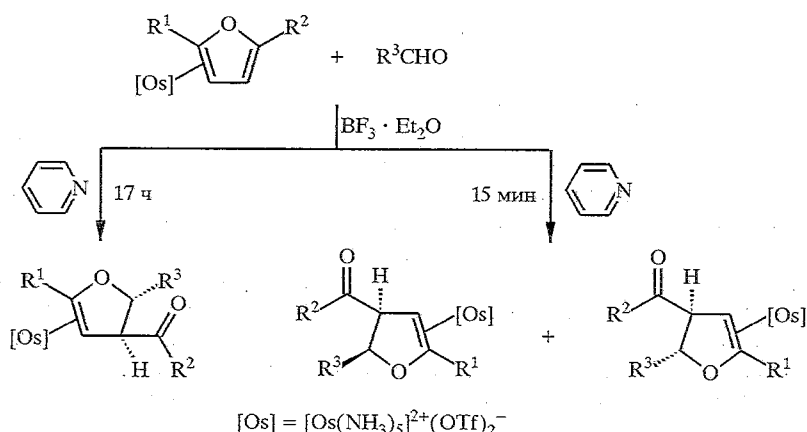
Цис- и транс-изомеры 2-оксациклопентилиденового комплекса платины в индивидуальном состоянии, а также в виде смеси при нагревании количественно превращаются в фосфониевую соль путем внедрения карбенового лиганда по связи Pt—C [24].



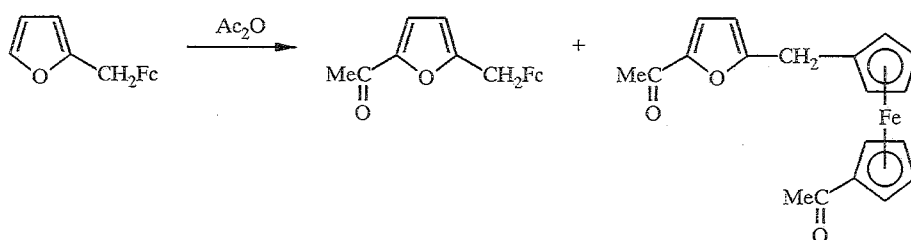
При обработке фосфиновых комплексов хлорида 2-фурилплатины малеиновым ангидридом (CH_2Cl_2 , кипячение), тетрацианоэтиленом или 7,7,8,8-тетрацианохинодимером (CH_2Cl_2 , комнатная температура) происходит не реакция диенового синтеза, а с высоким выходом образуются продукты внедрения олефинов по связи C—H положения 5 кольца фурана. Продукт внедрения тетрацианоэтилена нестабилен и постепенно разлагается с выделением HCN, причем полного отщепления HCN удалось достигнуть при хроматографировании на окиси алюминия. Комплекс 7,7,8,8-тетрацианохинодимера претерпевает подобное превращение при нагревании. Если в положение 5 гетероцикла ввести метильную группу, то молекула тетрацианоэтилена внедряется по C—H связи положения 3 [86].



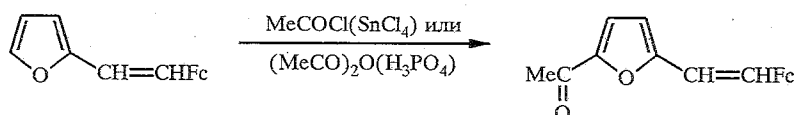
2,3- η^2 -Фурановые комплексы осмия(II) реагируют с различными альдегидами в присутствии кислот Льюиса [$\text{Sn}(\text{OTf})_2$, $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$] с образованием 4-ацилзамещенных 4,5-дигидрофурановых комплексов, в которых атом кислорода альдегидной группы внедрен в дигидрофурановое кольцо. Детальный анализ продуктов реакции показал, что первоначально происходит альдольная конденсация по положению 4 фурана, а затем смещение кислорода гетероцикла кислородом алкоксидной группы. Если реакционную смесь осмиевого комплекса с альдегидами и кислотой выдержать при -40°C 17 ч, а затем кислоту Льюиса нейтрализовать пиридином, то реакция протекает стереоселективно, уменьшение времени выдерживания до 15 мин приводит к смеси стереоизомеров [16].

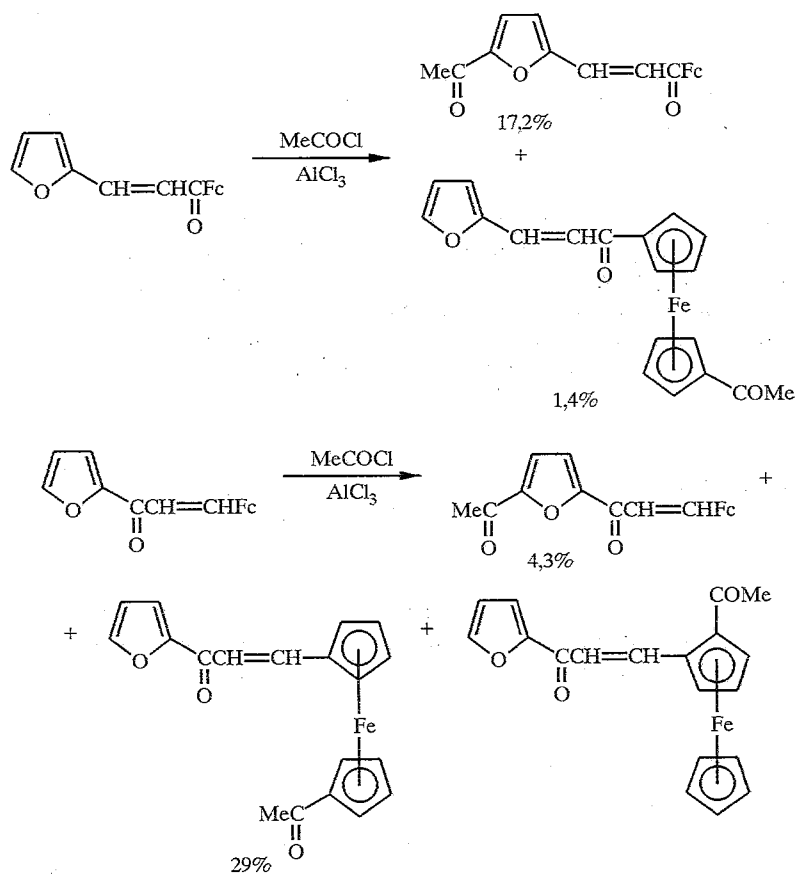


Из реакций, протекающих по фурановому циклу, исследовано также ацилирование различных фурановых производных ферроцена [31, 87]. Основным продуктом взаимодействия фурфурилферроцена с уксусным ангидридом в среде бензола под действием фосфорной кислоты при комнатной температуре является 5-ацетилфурфурилферроцен (выход 40%), кроме того с небольшим выходом (4%) образуется продукт его ацилирования по незамещенному цикlopентадиенильному кольцу [31].

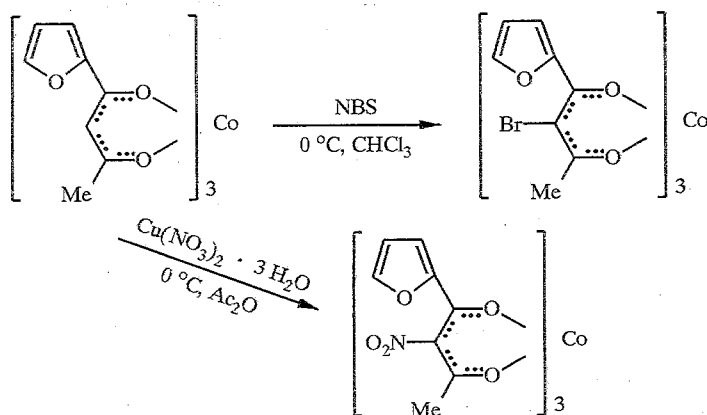


Ацилирование 2-фурилвинилферроцена как уксусным ангидридом (H_3PO_4), так и хлорангидридом уксусной кислоты (SnCl_4) протекает с невысоким выходом лишь по фурановому циклу [31]. Более сложно реагируют (2-фурилвинил)ферроценилкетоны и 2-фурилвинилферроцен с хлористым ацетилом в присутствии хлористого алюминия [87].

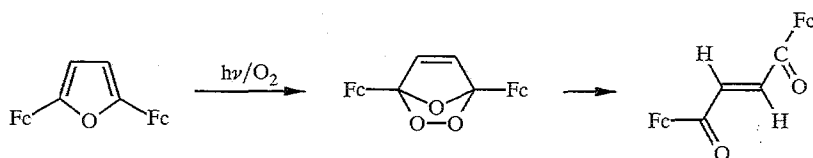




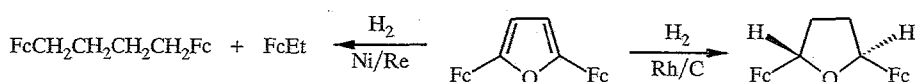
Нитрование нитратом меди(II) и бромирование N-бромсукцинимидом фууроилацетатного комплекса кобальта проведено для сравнения ароматичности фуранового и хелатного циклов [72]. Оказалось, что атом водорода хелатного кольца легко замещается на бром и нитрогруппу с образованием трибром- (выход 60%) и тринитропроизводного (выход 55%), а замещения водорода в фурановом кольце не наблюдалось вообще.



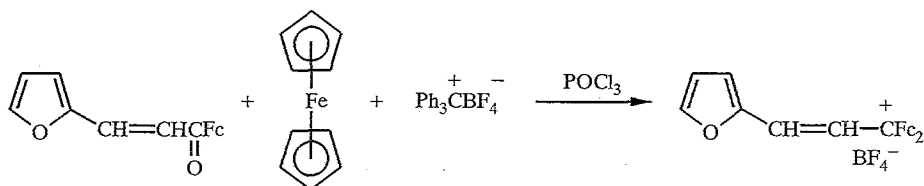
Фотоокисление 2,5-диферроценилфурана проводилось в среде ацетона при охлаждении до $-60\ldots-80^\circ\text{C}$. Первоначально наблюдалось образование промежуточного озонида, который при комнатной температуре превращается в *транс*-1,2-диферроценоилэтилен (выход 18,5%) [88].



Различным образом протекает гидрирование 2,5-диферроценилфурана на нанесенном на уголь родии и на никеле Ренея. В первом случае при комнатной температуре в этаноле происходит гидрирование фуранового кольца до тетрагидрофуранового и образование с выходом 9% *транс*-2,5-диферроценилтетрагидрофурана. Гидрирование на никеле Ренея при 110 °C в этаноле приводит к продуктам раскрытия фуранового цикла [41].

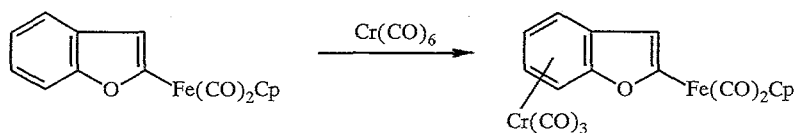


Изучены некоторые химические превращения 2-фурилакроилферроцена. Так, при его взаимодействии с ферроценом под действием тетрафторбората трифенилметана получен с выходом 28% (2-фурилвинил)метильный катион [89].



Гомополимеризовать 2-фурилакроилферроцен не удалось, однако он вступает в реакцию сополимеризации со стиролом и метилметакрилатом [90].

Конденсация 2-бензофурилциклопентадиенилдикарбонилжелеза с гексакрбониллом хрома протекает легко и с высоким выходом образуется соединение, в котором атом хрома π -координирован с бензольным кольцом бензофурана [91].

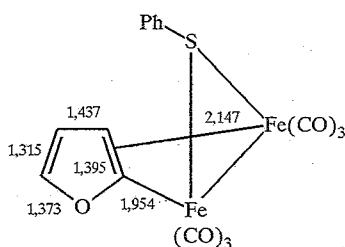


3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

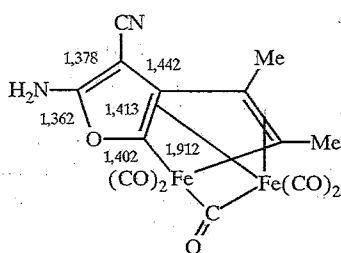
Для изучения фурановых производных элементов VIII группы чаще всего использовался метод рентгеноструктурного анализа [1, 3, 8, 13, 18, 19, 24, 27, 28, 86, 92—95]. Этот метод в ряде случаев оказался единственным, с помощью которого удалось однозначно доказать строение комплексов металлов. Кроме того, различные фурановые производные ферроцена исследовались ИК спектроскопически [96, 97], но в основном эти исследования касались особенностей полос поглощения ферроценового

фрагмента, а *E/Z* изомеризация платиновых комплексов с фурилиденаминами изучена ЯМР спектроскопически [98].

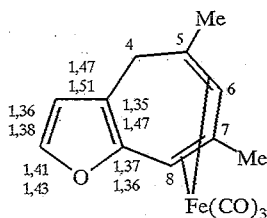
Некоторые геометрические параметры комплексов железа (1—5), родия (6), палладия (7), осмия (8, 9), иридия (10—12) и платины (13—15) приведены на рисунках.



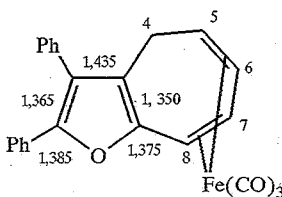
1 [1]



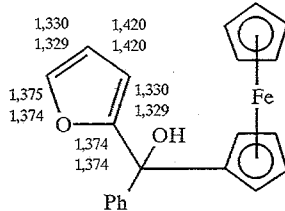
2 [3]



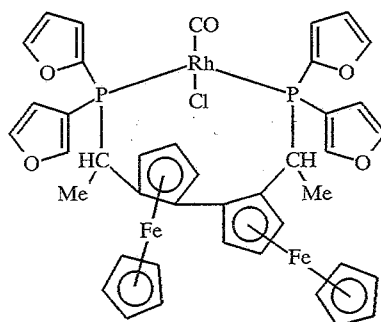
3 [27]



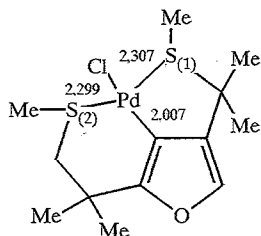
4 [28]



5 [94]



6 [95]



7 [8]

На геометрию фурильного лиганда в комплексах 1, 2, 8 и 9 сильное влияние оказывает π -взаимодействие $C(2)=C(3)$ двойной связи гетероцикла с атомом металла, координированная связь $C(2)=C(3)$ в комплексах значительно длиннее некоординированной $C(4)=C(5)$, удлинение характерно

и для связи C(2)—O по сравнению с C(5)—O связью. Длина σ -связей C(2)—M составляет 1,954 и 1,912 Å для производных железа 1 и 2, а для осмиевого комплекса 8 — 2,11 Å. Расстояния C(2)—M и C(3)—M для π -связанного металла неравноценны.

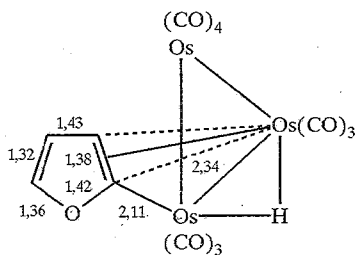
В комплексе 2 фурановое кольцо конденсировано с феррациклопентадиеновой системой, которая, в свою очередь, координирована с группой Fe(CO)₃. Гетероциклы почти копланарны, двугранный угол составляет 178,9°.

Соединения 3 и 4 имеют во многом подобные структурные особенности. Атом железа координирован с четырьмя атомами углерода семичленного кольца, причем расстояния C(5)—Fe и C(8)—Fe больше, чем C(6)—Fe и C(7)—Fe. В комплексе 4 связь C(2)—C_{Ph} значительно короче (1,459 Å), чем C(3)—C_{Ph} (1,480 Å). Вероятно, фенильная группа в положении 2, лежащая в одной плоскости с фурановым кольцом, более конъюгирована с гетероциклом, чем повернутая фенильная группа в положении 3.

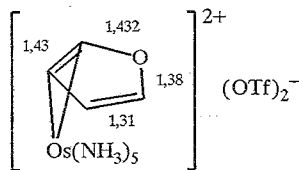
Молекулы рацемического ферроценил(2-фурил)фенилметанола 5 образуют centrosymmetричный димер за счет водородных связей гидроксильных групп. Для хирального фосфинового лиганда — (R,R)-(S,S)-2,2"-бис[ди(2-фурил)фосфиноэтил]-1,1"-биферроцена — в родиевом комплексе 6 характерно *транс*-расположение.

Атом палладия в комплексе 7 имеет геометрию плоского квадрата, отклонения атомов от плоскости PdS₁S₂ClC составляют 0,023, 0,113, 0,115 и 0,114 Å для Pd, S₁, S₂ и атома углерода фуранового кольца соответственно. Геометрические параметры для фурильной группы в работе [8] не приведены.

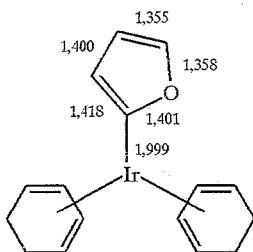
Длина связей C_{фурил}—Ir в иридиевых комплексах 10 и 11 равна 1,999 и 2,065 Å соответственно. Как и в соединениях 1, 2, 8 и 9 длины связей C(2)=C(3) и C(4)=C(5), а также C(2)—O и C(5)—O фуранового кольца комплекса 10 неравноценны.



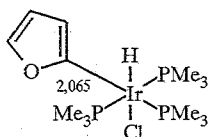
8 [13]



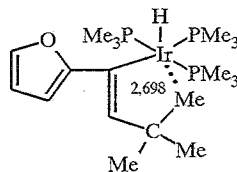
9 [93]



10 [18]

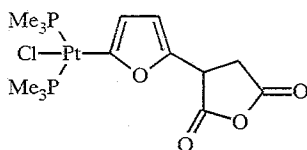


11 [19]

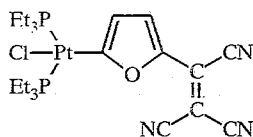


12 [85]

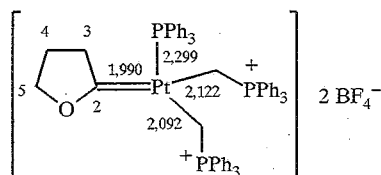
По данным рентгеноструктурного анализа, плоскость фуранового кольца в фурилплатинате 13 перпендикулярна координационной плоскости у атома платины и средней плоскости 2-оксациклопентан-1,3-дион-4-ильного заместителя. В комплексе 14 олефиновая C(CN)=C(CN)₂ часть почти



13 [86]



14 [86]



15 [24]

копланарна с 2-фурильной группой. Заместители у атома платины в 2-оксациклопентилиденовом производном 15 образуют квадрат, а плоскость, проходящая через атомы C(2), C(3), O, Pt, пересекает плоскость $\text{PtPC}(\text{CH}_2)\text{C}(\text{CH}_2)$ под углом $61,75^\circ$.

* *

Представленные обзоры завершают серию публикаций [99—104], в которых обобщены литературные данные и результаты собственных исследований в области синтеза, химических превращений, физико-химических свойств и биологической активности элементоорганических производных фурана за период с конца 40-х годов по настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Seyferth D., Anderson L. L., Villafañe F., Cowie M., Hilts R. W. // *Organometallics*. — 1992. — Vol. 11. — P. 3262.
2. Колобова Н. Е., Гончаренко Л. В. // *ХГС*. — 1979. — N 11. — С. 1461.
3. Dettlaff G., Behrens U., Eicher T., Weiss E. // *Organomet. Chem.* — 1978. — Vol. 152. — P. 203.
4. Wada M., Kusabe K., Oguro K. // *Inorg. Chem.* — 1977. — Vol. 16. — P. 446.
5. Jones W. D., Dong L., Myers A. W. // *Organometallics*. — 1995. — Vol. 14. — P. 855.
6. Nonoyama M. // *Inorg. Chim. Acta*. — 1989. — Vol. 157. — P. 9.
7. Nonoyama M., Nonoyama K. // *Polyhedron*. — 1989. — Vol. 8. — P. 2517.
8. McGrindle R., Ferguson G., Arsenault G. J., McAlees A. J., Parvez M. // *J. Organomet. Chem.* — 1983. — Vol. 246. — P. C19.
9. Kasahara A., Isumi T., Yodono M., Saito R., Takeda T., Sugawara T. // *Bull. Chem. Soc. Japan*. — 1973. — Vol. 46. — P. 1220.
10. Itahara T. // *J. Org. Chem.* — 1985. — Vol. 50. — P. 5272.
11. Maruyama O., Fujiwara Y., Taniguchi H. // *Bull. Chem. Soc. Japan*. — 1981. — Vol. 54. — P. 2851.
12. Kasahara A., Isumi T., Saito R., Takeda T. / *Asahi Garasu Kogyo Gijutsu Shoreikai Kenkyu Hokoku*. — 1973. — Vol. 22. — P. 95; C. A. — 1974. — Vol. 81. — 135859.
13. Himmelreich D., Müller G. // *J. Organomet. Chem.* — 1985. — Vol. 297. — P. 341.
14. Arce A. J., De Sanctis Y., Hernandez L., Marquez M., Deeming A. J. // *J. Organomet. Chem.* — 1992. — Vol. 436. — P. 351.
15. Cordone R., Harman W. D., Taube H. // *J. Amer. Chem. Soc.* — 1989. — Vol. 111. — P. 5969.
16. Liu R., Chen H., Harman W. D. // *Organometallics*. — 1995. — Vol. 14. — P. 2861.
17. Müller J., Friedrich C. // *J. Organomet. Chem.* — 1989. — Vol. 377. — P. C27.
18. Müller J., Friedrich C., Akhnoukh T., Qiao K. // *J. Organomet. Chem.* — 1994. — Vol. 476. — P. 93.
19. Selna H. E., Merola J. S. // *Organometallics*. — 1993. — Vol. 12. — P. 1583.
20. Ozawa F., Kubo A., Matsumoto Y., Hayashi T., Nishioka E., Yanagi K., Moriguchi K. // *Organometallics*. — 1993. — Vol. 12. — P. 4188.

21. Marten D. F. // J. Org. Chem. — 1981. — Vol. 46. — P. 5422.
22. Slocum D. W., Rockett B. W., Hauser C. R. // J. Amer. Chem. Soc. — 1965. — Vol. 87. — P. 1241.
23. O'Connor J. M., Pu L., Rheingold A. L. // Organometallics. — 1988. — Vol. 7. — P. 2060.
24. Hoover J. F., Stryker J. M. // J. Amer. Chem. Soc. — 1990. — Vol. 112. — P. 464.
25. Cosandey M., Von Bueren M., Hansen H. J. // Helv. Chim. Acta. — 1983. — Vol. 66. — P. 1.
26. John G. R., Mansfield C. A., Kane-Maguire L. A. P. // J. Chem. Soc. Dalton. — 1977. — N 6. — P. 574.
27. El Borai M., Guillard R., Fournari P., Dusausoy Y., Protas J. // J. Organomet. Chem. — 1978. — Vol. 148. — P. 285.
28. Goldschmidt Z., Antebi S., Goldberg I. // J. Organomet. Chem. — 1984. — Vol. 260. — P. 105.
29. Tirouflet J., Dabard R., Laviron E. // Bull. Soc. Chim. Fr. — 1963. — N 8—9. — P. 1655.
30. Dabard R., Gautheron B. // C. r. — 1962. — T. 254. — P. 2014.
31. Toma Š., Kalužayová E. // Chem. Zvesti. — 1969. — T. 23. — P. 540.
32. Furdík M., Elečko P., Toma Š., Suchý J. // Chem. Zvesti. — 1960. — T. 14. — P. 501.
33. Toma Š. // Chem. Zvesti. — 1965. — T. 19. — P. 703.
34. Tirouflet J., Boichard J. // C. r. — 1960. — T. 250. — P. 1861.
35. Villemain D., Martin B., Puciova M., Toma Š. // J. Organomet. Chem. — 1994. — Vol. 484. — P. 27.
36. Furdík M., Toma Š., Suchý J., Elečko P. // Chem. Zvesti. — 1961. — T. 15. — P. 45.
37. Wolf L., Henning H. // Z. Chem. — 1963. — Bd 3. — S. 469.
38. Shiga M., Kono H., Motoyama I., Hata K. // Bull. Chem. Soc. Japan. — 1969. — Vol. 42. — P. 798.
39. Яценко Г. Н., Шамигурина А. А., Петров Л. А., Латош Н. И. // ЖОХ. — 1976. — Т. 46. — С. 2631.
40. Sato M., Tanaka S., Ebine S., Morinaga K., Akabori S. // J. Organomet. Chem. — 1985. — Vol. 289. — P. 91.
41. Yamakawa K., Moroe M. // Tetrahedron. — 1968. — Vol. 24. — P. 3615.
42. Rausch M. D., Siegel A. // J. Org. Chem. — 1969. — Vol. 34. — P. 1974.
43. Lewis N. A., Patel B., White P. S. // J. Chem. Soc. Dalton. — 1983. — N 7. — P. 1367.
44. Tirouflet J., Gautheron B., Dabard R. // Bull. Soc. Chim. Fr. — 1965. — N 1. — P. 96.
45. Watts W. E. // J. Chem. Soc. Perkin I. — 1976. — N 7. — P. 804.
46. Гвердцители И. М., Асатиани Л. П. // Сообщ. АН ГрузССР. — 1969. — Т. 53. — С. 97.
47. Гвердцители И. М., Асатиани Л. П. // Сообщ. АН ГрузССР. — 1968. — Т. 51. — С. 585.
48. Асатиани Л. П., Гвердцители И. М. // Сообщ. АН ГрузССР. — 1977. — Т. 85. — С. 369.
49. Sugiyama N., Suzuki H., Shioura Y., Teitei T. // Bull. Chem. Soc. Japan. — 1962. — Vol. 35. — P. 767.
50. Hisatome M., Koshikawa S., Yamakawa K. // Chem. Lett. — 1975. — N 7. — P. 789.
51. Hisatome M., Koshikawa S., Chimura K., Hashimoto H., Yamakawa K. // J. Organomet. Chem. — 1978. — Vol. 145. — P. 225.
52. Hisatome M., Hashiyama T., Yamakawa K. // Tetrah. Lett. — 1978. — N 39. — P. 3759.
53. Jiang S., Chen T., Turos E. // Organometallics. — 1995. — Vol. 14. — P. 4710.
54. Norris W. P. // J. Org. Chem. — 1978. — Vol. 43. — P. 2200.
55. Парфенов Э. А., Юркевич А. М. // ЖОХ. — 1972. — Т. 42. — С. 2350.
56. Червякова Т. Г., Парфенов Э. А., Еделев М. Г., Юркевич А. М. // ЖОХ. — 1974. — Т. 44. — С. 466.
57. Парфенов Э. А., Червякова Т. Г. // ЖОХ. — 1975. — Т. 45. — С. 1200.
58. Nambiar O. G. B., Subbaraman P. R. // Aust. J. Chem. — 1971. — Vol. 24. — P. 2089.
59. Reed S. A., Banks C. V. // Proc. Iowa Acad. Sci. — 1948. — Vol. 55. — P. 267; C. A. — 1950. — Vol. 44. — 973f.
60. Кириллова З. П., Мерисов Ю. И., Петров Е. И. // Завод. лаб. — 1977. — Т. 43. — С. 1308.
61. Gahler A. R., Mitchell A. M., Mellon M. G. // Anal. Chem. — 1951. — Vol. 23. — P. 500.
62. Tsumaki T., Yamaguchi M. // J. Chem. Soc. Japan. Pure Chem. Sect. — 1949. — Vol. 70. — P. 10.
63. Ishikawa K. // Nippon Kagaku Zasshi. — 1960. — Vol. 81. — P. 460; C. A. — 1962. — Vol. 56. — 437i.
64. Савостина В. М., Шпигун О. А., Климова Н. В., Колотыркина И. Я., Пешикова В. М. // Вестник Моск. ун-та. Сер. 2 хим. — 1978. — Т. 19. — С. 692.
65. Ishikawa K. // Nippon Kagaku Zasshi. — 1965. — N 11. — P. 1166.
66. Takiguchi T., Kurosaki K., Abe M. // Kogyo Kagaku Zasshi. — 1969. — Vol. 72. — P. 1549.
67. Feigl F., Feigl H. E. // Anal. Chim. Acta. — 1949. — Vol. 3. — P. 300.
68. Banks C. V., Barnum D. W. // J. Amer. Chem. Soc. — 1958. — Vol. 80. — P. 3579.
69. Bhowal S. K. // Indian J. Chem. — 1975. — Vol. 13. — P. 1225.
70. Шленская В. И., Бирюков А. А., Тихвинская Т. И., Воронина Л. Н. // Ж. неорг. хим. — 1969. — Т. 14. — С. 3331.
71. Gupta V. K., Bhat A. N. // Monatsh. Chem. — 1978. — Bd 109. — S. 303.
72. Sasaki T., Kanematsu K., Kinoshita G. // J. Org. Chem. — 1968. — Vol. 33. — P. 680.
73. Takagi S., Yasuda H., Kono M. // Yakugaku Zasshi. — 1961. — Vol. 81. — P. 1559.

74. Fackler J. P., Coucouvanis D., Fetchin J. A., Seidel W. C. // J. Amer. Chem. Soc. — 1968. — Vol. 90. — P. 2784.
75. Kaska W. C., Sutton C., Serros E. // J. Chem. Soc. Chem. Commun. — 1970. — N 2. — P. 100.
76. Collman J. P., Kubota M., Vastine F. D., Sun J. Y., Kang J.W. // J. Amer. Chem. Soc. — 1968. — Vol. 90. — P. 5430.
77. Хакимов Х. Х., Шабилалов А. А., Азизов М. А. // Ж. неорг. хим. — 1970. — Т. 15. — С. 1022.
78. Jain M. C., Jain P. C. // Acta Chim. Acad. Sci. Hung. — 1977. — Т. 94. P. 209.
79. Dhakarey R., Saxena G. // J. Indian Chem. Soc. — 1987. — Vol. 64. — P. 685.
80. Brown J. M., Canning L. R. // J. Chem. Soc. Chem. Commun. — 1983. — N 8. — P. 460.
81. Brown J. M., Canning L. R., Lucy A.R. // J. Chem. Soc. Chem. Commun. — 1984. — N 14. — P. 915.
82. Gupta B. D., Roy S. // Tetrah. Lett. — 1984. — Vol. 25. — P. 3255.
83. Gupta B. D., Kuritar M., Roy S. // Inorg. Chem. — 1989. — Vol. 28. — P. 11.
84. Tada M., Nutoh N., Shimizu T. // J. Org. Chem. — 1995. — Vol. 60. — P. 550.
85. Selnaui H. E., Merola J. S. // Organometallics. — 1993. — Vol. 12. — P. 3800.
86. Onitsuka K., Urayama H., Sonogashira K., Ozawa F. // Chem. Lett. — 1995. — N 7. — P. 1019.
87. Toma Š. // Coll. Czech. Chem. Commun. — 1969. — Vol. 34. — P. 2235.
88. Yamakawa K., Moroe M. // Chem. Pharm. Bull. Tokyo. — 1974. — Vol. 22. — P. 709.
89. Боев В. И., Домбровский А. В. // ЖОХ. — 1984. — Т. 54. — С. 970.
90. Ma T.-T., Yeh P.-C., Lu C.-C., Wu L.-F. / Ko Fen Tzu T'ung Hsun. — 1964. — Vol. 6. — P. 148; C. A. — 1965. — Vol. 63. — 11708f.
91. Колобова Н. Е., Гончаренко Л. В. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1979. — N 4. — С. 900.
92. Groy T. L., Hartman R. F., Rose S. D. // Acta Crystallogr. C. — 1991. — Vol. 47C. — P. 273.
93. Chen H., Hodges L. M., Liu R., Stevens W. C., Jr, Sabat M., Harman W. D. // J. Amer. Chem. Soc. — 1994. — Vol. 116. — P. 5499.
94. Ferguson G., Glidewell C., Oproimolla G., Zakaira C. M., Zanella P. // J. Organomet. Chem. — 1996. — Vol. 506. — P. 129.
95. Sawamura M., Hamashima H., Sugawara M., Kuwano R., Ito Y. // Organometallics. — 1995. — Vol. 14. — P. 4549.
96. Perjéssy A., Toma Š. // Chem. Zvesti. — 1969. — Т. 23. — P. 533.
97. Алексеева И. А., Яценко Г. Н., Синицына Т. А., Петров Л. А. // ЖОХ. — 1977. — Т. 47. — С. 1874.
98. Al-Shalaan A. M., Al-Showiman S. S., Al-Najjar I. M. // J. Chem. Res. Synop. — 1986. — N 2. — P. 76.
99. Лукевиц Э., Пудова О. А. // ХГС. — 1995. — № 4. — С. 435.
100. Лукевиц Э., Пудова О. А. // ХГС. — 1995. — № 4. — С. 474.
101. Лукевиц Э., Пудова О. А. // ХГС. — 1995. — № 7. — С. 867.
102. Лукевиц Э., Пудова О. А. // ХГС. — 1995. — № 12. — С. 1587.
103. Лукевиц Э., Пудова О. А. // ХГС. — 1996. — № 5. — С. 579.
104. Лукевиц Э., Пудова О. А. // ХГС. — 1996. — № 7. — С. 867.