

УДК 547.594+546.132 : 546.18

© 1990 г.

РЕАКЦИИ ХЛОРИДОВ Р(III) С КАРБОНИЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Газизов М. Б., Хайруллин Р. А., Москва В. В.

Проанализирован состав продуктов взаимодействия хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями и пути их образования в зависимости от строения исходных реагентов и условий эксперимента. Обсуждена катализическая роль примеси хлористого водорода в хлоридах Р(III) в первичных процессах. Показано влияние функциональной группы в замещенных альдегидах и кетонах и третьего реагента на ход реакций и природу конечных продуктов.

Библиография — 231 ссылка.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Введение	431
II. Реакции хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями в отсутствие третьего реагента	431
III. Реакции хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями в присутствии третьего реагента	445
IV. Заключение	451

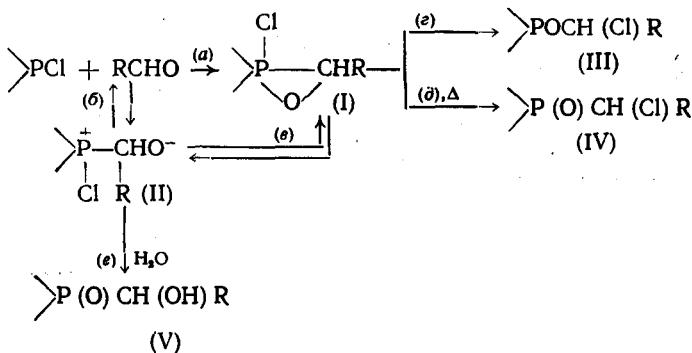
I. ВВЕДЕНИЕ

Реакции хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями уже обсуждались в обзорах [1, 2], однако последний из них был опубликован 20 лет тому назад. С тех пор были достигнуты большие успехи в исследовании этих реакций, накопилось значительное число новых научных данных, существенно изменивших многие наши представления об этих реакциях. Строение продуктов взаимодействия хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями и пути их образования кардинально зависят от того, проводятся ли реакции в присутствии третьего реагента или в отсутствие его. Основное внимание в предлагаемом обзоре уделено общению литературных данных, появившихся за последние 20 лет. Стремление показать эволюцию взглядов на рассматриваемые реакции побудило нас включить в обзор и некоторые работы раннего периода.

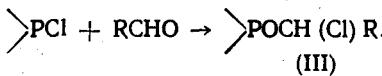
II. РЕАКЦИИ ХЛОРИДОВ Р(III) С КАРБОНИЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ В ОТСУТСТВИЕ ТРЕТЬЕГО РЕАГЕНТА

1. Альдегиды

Более ста лет тому назад Фоссек [3] впервые установил, что треххлористый фосфор энергично взаимодействует с альдегидами с образованием густых маслянистых продуктов присоединения. Михаэлис [4] приписал им строение циклофосфорана (I) (схема 1, направление (a)), т. е. он предполагал, что взаимодействие протекает с повышением координации фосфора. Конант [5] сначала полностью придерживался схемы Михаэлиса. Однако на основании кинетических исследований он сделал допущение о первоначальном образовании продукта биполярного строения (II) (направление (б)) [6], способного переходить в фосфоран (I) (направление (в)).



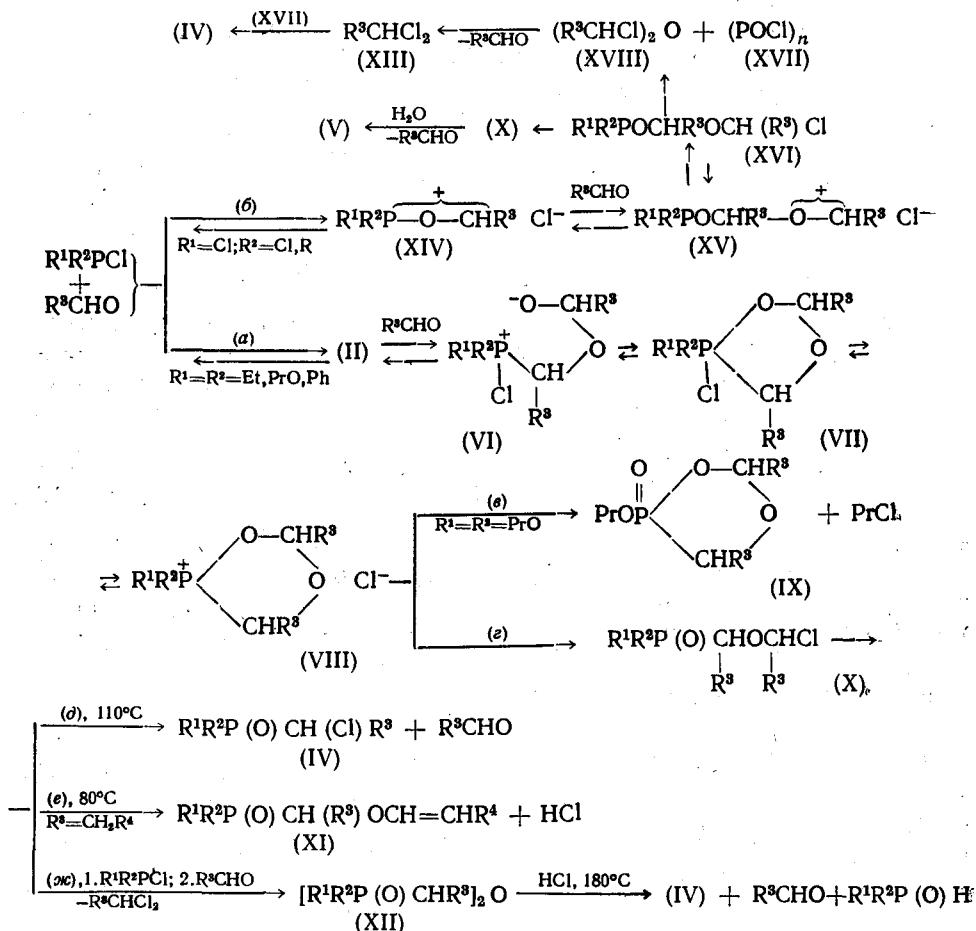
Противоположной точки зрения на природу первичного процесса придерживались Пэдж [7], Кабачник [1] и Аттертон с сотр. [8]. Они считают, что хлорид Р(III) является электрофилом и координация фосфора в первичном процессе не изменяется.



Пудовик и Хайруллин [2], придерживаясь точки зрения о нуклеофильном характере хлоридов Р(III) в первичном акте взаимодействия и учитывая новые данные [1, 7, 8], дополнили схему Михаэлиса — Конанта, внеся в нее новые направления (e) и (d). Если продукт непосредственного взаимодействия хлорида Р(III) с альдегидом подвергнуть пиrolизу (направление (d)) или действию воды (направление (e)), то образуются устойчивые α -хлор- (IV) и α -гидроксиалкилпроизводные Р^{IV} (V) [1, 2, 9—15].

Исходя из строения соединений (IV) и (V) исследователи предполагали, что в образовании продукта в реакции хлорида Р(III) с альдегидами на каждую связь Р—Cl расходуется лишь одна молекула альдегида. Однако, начиная с 70-х годов, появляются работы, свидетельствующие о расходовании двух молекул альдегида на одну связь Р—Cl [16—21]. Исходя из характера влияния природы заместителей в хлоридах Р(III) и альдегидах на скорость реакции, было сделано заключение о том, что PCl_3 и RPCl_2 проявляют электрофильную [16—19, 22—24], а $\text{R}^1\text{R}^2\text{PCl}$ и $(\text{R}^1\text{O})(\text{R}^2\text{O})\text{PCl}$ — нуклеофильную реакционную способность [16, 17, 20]. Так, при взаимодействии вторичных хлорфосфинов с бензальдегидом получаются соли (VIII), которые затем по реакции Арбузова превращаются в соединения (X) (схема 2, направления (a), (e)) [24], а при взаимодействии дифенилхлорфосфина с алифатическими полифторальдегидами — устойчивые фосфораны (VII) [20]. Фосфоран (VII) с $\text{R}^1=\text{R}^2=\text{PrO}$ стабилизируется за счет отщепления хлористого пропила, при этом сохраняется 1,4,2-диоксафосфолановый цикл (IX) (направления (a), (e)). Образование соединений (VII) и (VIII), вероятно, можно представить следующим образом: в результате нуклеофильной атаки неподеленной пары Р(III) на углерод карбонильной группы образуется биполярный ион (II), который присоединяет вторую молекулу альдегида, превращаясь в новый биполярный ион (VI). Последний пространственно является более выгодным для формирования фосфорановой структуры (VII) по сравнению с (II).

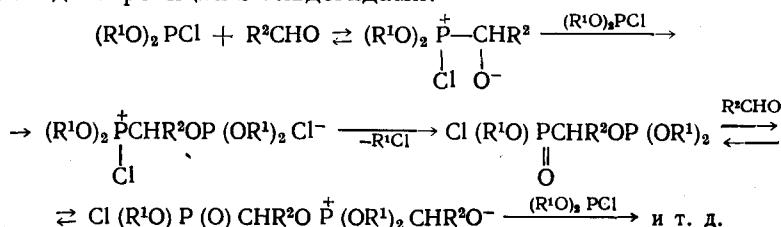
Соединение (X) при 80°C дегидрохлорируется в продукт (XI) (направление (e)) [18], а при 110°C оно отщепляет молекулу альдегида и превращается в известное соединение (IV) (направление (d)) [23]. Фосфиноксид (X) легко реагирует также с дифенилхлорфосфином и альдегидом, давая алкилиденхлорид (XIII) и эфир (XII) (направление (ж)). Пиролиз последнего в присутствии HCl приводит, как и в случае продукта (X), к соединению (IV) [16].



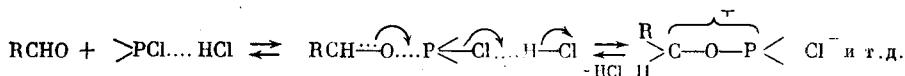
В случае хлоридов Р(III), проявляющих электрофильные свойства, первичными, видимо, являются продукты обмена атомов хлора у Р(III) на новую группу [16], которые образуются в результате нуклеофильной атаки атомом кислорода карбонильной группы атома Р(III), что приводит к ионной паре (XIV) (направление (б)). Катион (XIV), устойчивость которого повышенна благодаря делокализации заряда, присоединяет следующую молекулу альдегида, давая ионную пару (XV). Соединения (XV) и (XVI) через стадию образования квазифосфониевой соли типа (VIII) превращаются в продукт (X). Последний при обработке водой легко образует α -гидроксиалкилпроизводное Р(IV) (V), а также может претерпевать химические превращения по направлениям (д) и (е) [18].

В более ранних работах [22, 23], на основании выделения из реакции PCl_3 с бензальдегидом соединений (XIII) и (XVIII), предполагалось образование фосфорсодержащего продукта (XVII), реагирующего с бензилиденхлоридом (XIII) по схеме реакции Арбузова. Строение соединения (XVII) строго не доказано, трудно также представить взаимодействие соединения со связью Р(III) — Cl с таким слабым электрофилом, как бензилиденхлорид. Пока остается невыясненным, непосредственно из какого промежуточного соединения в мягких условиях образуются эфиры (XVIII). Но вполне возможно, что им является соединение, содержащее у фосфора одну или несколько 1-(1'-хлоралкокси) аллоксигрупп. Следует также указать, что в случае взаимодействия формальдегида (параформа) с хлоридами Р(III) образование ФОС со структурными фрагментами $POCH_2OCH_2Cl$ и $P(O)CH_2OCH_2Cl$ пока экспериментально не подтверждено, хотя неоднократно сообщалось об обнаружении или выделении из этой реакции эфира (XVIII, $R^3 = H$) [9, 25—27].

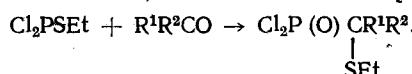
В некоторых работах [27, 28] допускается проявление диалкилхлорфосфитами как нуклеофильных, так и электрофильных свойств на различных стадиях реакции с альдегидами:



Весьма важным является факт установления каталитического действия примеси HCl в хлоридах P(III) на протекание рассматриваемых реакций [29, 30]. Оказалось, что хлорид P(III), очищенный от примеси HCl обработкой винилалкиловыми эфирами (ВАЭ), не взаимодействует с альдегидом при 20° С. Процесс начинается лишь при введении в реакционную смесь HCl. Ранее каталитический эффект примеси HCl был обнаружен при взаимодействии хлоридов P(III) с алkenоксидами [31, 32], карбоновыми кислотами [33], ацеталиями [34, 35]. В недавнем обзоре [36] также подчеркивается каталитическая роль примеси HCl в хлоридах P(III) в обменных реакциях. Каталитическая роль HCl во взаимодействии альдегидов с хлоридами P(III) может быть отражена схемой, аналогичной реакциям последних с алkenоксидами и ацеталиями:

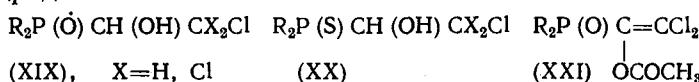


Природа хлорида P(III) может кардинально изменить направление взаимодействия его с карбонильными соединениями. Недавно было показано, что этилтиодихлорфосфит реагирует с бензальдегидом и ацетоном не с участием связи P—Cl, а по связи P—S [37, 38].



Исследовано также взаимодействие хлоридов P(III) с функционально замещенными альдегидами. Так, меркурированный уксусный альдегид реагирует с хлоридами P(III) с образованием O-производных, т. е. реакция протекает с переносом реакционного центра [39].

Предполагается, что вторичные хлорфосфины в реакциях с α -хлоральдегидами проявляют нуклеофильную реакционную способность и образуют аддукт бетанинового строения (II) [2, 40, 41]. Для получения индивидуальных веществ (XIX)–(XXI) реакционную смесь $R_2PCl + X_2ClCCCHO$ обрабатывают протонодонорными соединениями или уксусным ангидридом.

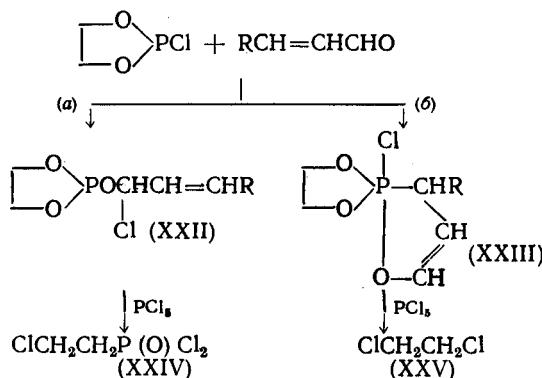


Однако следует заметить, что возможность первоначального взаимодействия различных вторичных хлорфосфинов с хлорзамещенными альдегидами экспериментально не подтверждена, а продукты (XIX)–(XXI) могут образоваться в результате первоначального гидролиза хлорфосфинов до соответствующей кислоты и присоединения последней по карбонильной группе альдегида. В работе [42] продукту взаимодействия хлорала с 2-хлор-1,3,2-диоксафосфоланом придается строение, аналогичное строению соединения (III), однако достаточных доказательств этому не приведено.

2-Хлор-1,3,2-диоксафосфолан бурно реагирует с акролеином и кротоновым альдегидом с образованием олигомеров (схема 3) [43]. На основании строения продуктов (XXIV), (XXV), получаемых после обработки олигомеров пятихлористым фосфором, авторы пришли к вы-

воду, что, в основном, имеет место 1,2-присоединение хлорида по карбонильной группе с разрывом Р—Cl-связи, т. е. происходит обмен хлора у Р(III) на новую группу (направление (а), соединение (XXII)). Допускается также частичное 1,4-присоединение атома фосфора к сопряженной системе без разрыва Р—Cl-связи с повышением координации фосфора от 3 до 5 (направление (б), соединение (XXIII)).

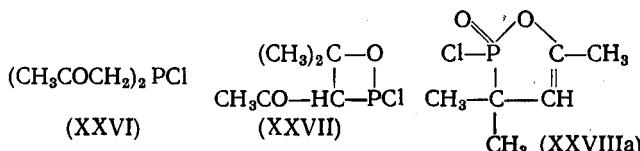
Схема 3:



Нам кажется, что взаимодействие хлоридов Р(III) с непредельными альдегидами изучено еще недостаточно, и для установления реальной схемы реакции необходимы более глубокие исследования.

2. Кетоны

Еще в прошлом веке Михаэлис [1, 2] установил, что в присутствии трихлорида алюминия PCl_3 и PCl_2 конденсируются с ацетоном в соотношении 1 : 2. Продукту реакции, получившему в литературе название «хлорида Михаэлиса», сначала было придано ациклическое строение (XXVI), а затем циклическое (XXVII). Намного позже, уже при исследовании реакций хлоридов Р(III) с непредельными кетонами, удалось показать, что он имеет строение 2-хлор-2-оксо-1,2-оксафосфолена (XXVIIIa) [44].

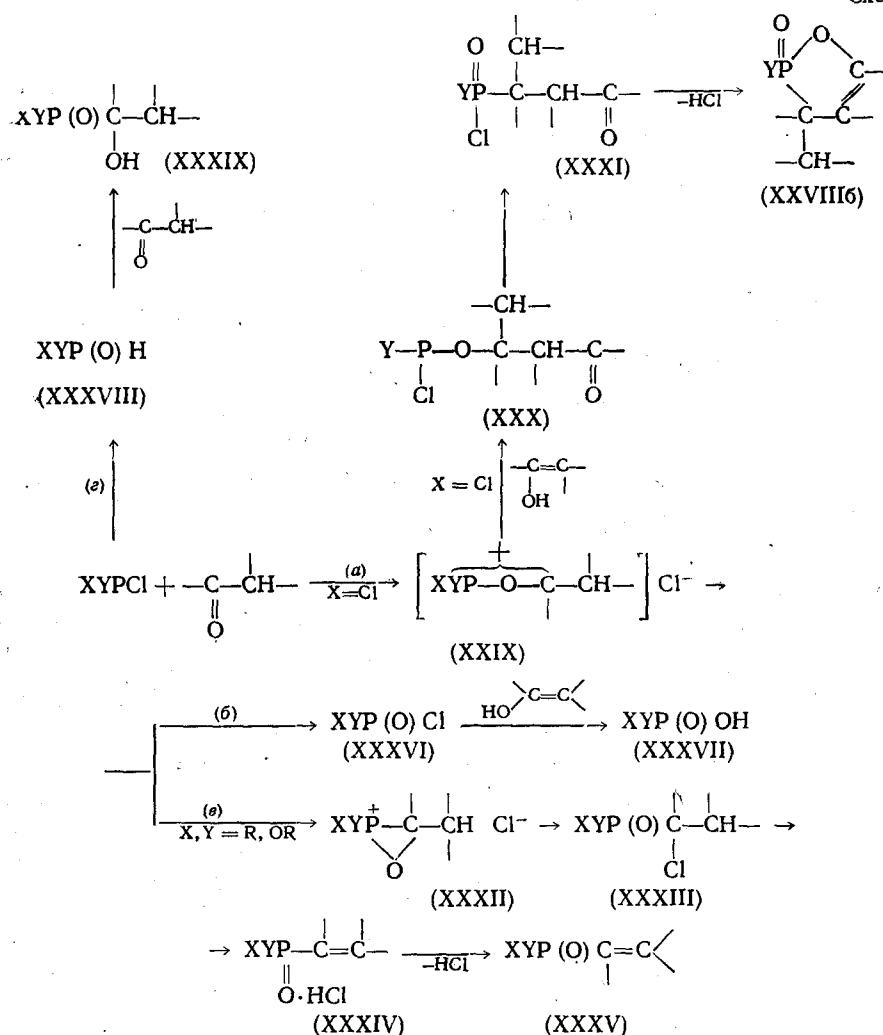


В последние 15 лет было найдено, что алифатические и жирноароматические кетоны реагируют с хлоридами Р(III) и в отсутствии AlCl_3 , но при нагревании. В случае PCl_3 и дихлоридов Р(III) продуктами реакции являются производные 1,2-оксафосфолена (XXVIIIb) (схема 4, направление (а)) [13, 45–50].

Авторы предполагают, что первичным является обмен атома хлора у электрофильного Р(III) (схема 4, направление (а)). Ионная пара (XXIX) реагирует с енольной формой кетона, давая γ -кетоэфирохлорангидрид фосфористой или фосфонистой кислоты (XXX), который изомеризуется в производное Р(IV) (XXXI), способное к циклизации с отщеплением HCl в конечный продукт (XXVIIIb). Если в качестве кетона взять циклогексанон, то образуется полициклическое соединение, которое также является замещенным 1,2-оксафосфоленом [51].

Образование промежуточного соединения (XXXI) было подтверждено методами ИК-спектроскопии и ЯМР. В указанных работах вопрос о путях перехода (XXX) \rightarrow (XXXI) не обсуждается. Вполне возможно, что соединение (XXX) распадается на неполный хлорангидрид кислоты фосфора и непредельный кетон, которые, взаимодействуя между собой, дают продукт (XXXI). Вероятно, HCl благоприятствует такому распаду.

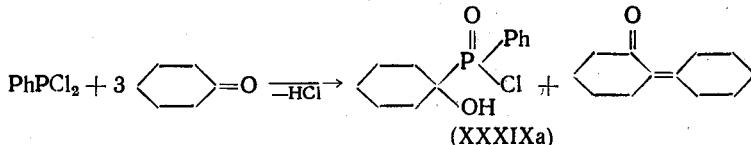
Схема 4



Диэтил-, этилфенилхлорфосфины и монохлорфосфиты реагируют с кетонами [50—53], в том числе и циклическими [53—56], в соотношении 1 : 1 с образованием α -хлоралкилпроизводных Р(IV) (XXXIII) (схема 4, направления (а), (в)), которые при нагревании или под действием основания отщепляют HCl и превращаются в непредельные соединения (XXXIV) и (XXXV). Отмечается [53—57], что при взаимодействии вторичных хлорфосфинов с циклогексаноном методом ЯМР удалось зафиксировать промежуточное соединение (XXXII), и перевести его в более устойчивое тетрафенилборатное производное. В случае вторичных хлорфосфинов также предполагается первоначальная нуклеофильная атака атомом кислорода карбонильной группы атома Р(III) с образованием продукта обмена (XXIX), который быстро превращается в (XXXII). Однако следует отметить, что, как и в случае реакций с альдегидами, возможно проявление вторичными хлорфосфинами нуклеофильных свойств, т. е. образование соединения (XXXII) из биполярного иона (II).

Дифенилхлорфосфин, в отличие от других хлоридов Р(III), реагирует с ацетоном по направлению (б) (схема 4). Под действием енольной формы кетона хлорангирид (XXXVI) превращается в кислоту (XXXVII) [57]. С циклогексаноном он реагирует еще сложнее — по трем направлениям (б), (в) и (г) — и из реакционной смеси выделяются соединения (XXXIII), (XXXVII) и (XXXIX). По направлению (г) идет также взаимодействие фенилдихлорфосфина с циклогексаноном. В этой ре-

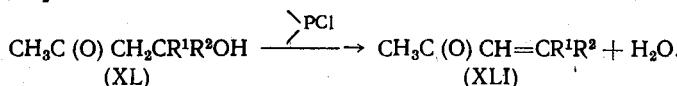
акции исходные реагенты расходуются в соотношении 1:3 [58].



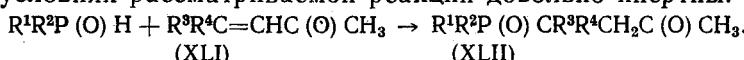
Циклопентанон с дихлорфосфинами и циклогексанон с фенилдихлорфосфитом и *n*-фторфенилдихлорфосфином реагируют по направлению (*в*) и продуктами реакции являются циклопентенил- и циклогексенилпроизводные Р(IV) (XXXV) [13, 59, 60].

Исследованы также реакции хлоридов Р(III) с кетонами, имеющими вторую функциональную группу. Например, довольно сложно они взаимодействуют с гидроксикетонами (XL). Строение конечных продуктов реакции существенно зависит как от условий эксперимента, так и от природы заместителей у исходных реагентов. Существенным является фактор наличия или отсутствия триэтиламина в реакционной среде.

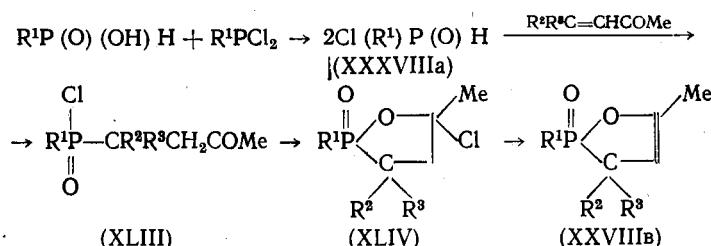
В отсутствии основания все хлориды Р(III) вызывают быстрый катализитический распад β -кетоспиртов на α, β -непредельные кетоны (XLI) и воду [61—69].



Поэтому дальнейшие превращения, приводящие к конечным веществам, рассматриваются в рамках реакций непредельных кетонов с хлоридами Р(III) в присутствии воды. Последняя гидролизует хлориды Р(III) до соответствующих кислот ХҮРНХО (XXXVIII) ($X=Y=R$, RO , Ar ; $X=OH$, $Y=R$, RO , Ar ; $X=Y=OH$). Аналогичное действие на хлориды Р(III) оказывает уксусная кислота [69, 70], но процесс является обратимым. Кислоты (XXXVIII) обладают различной активностью по отношению к кетонам (XLI): фосфинистые кислоты присоединяются по двойной связи, образуя оксиды третичных фосфинов (XLII), остальные кислоты в условиях рассматриваемой реакции довольно инертны.



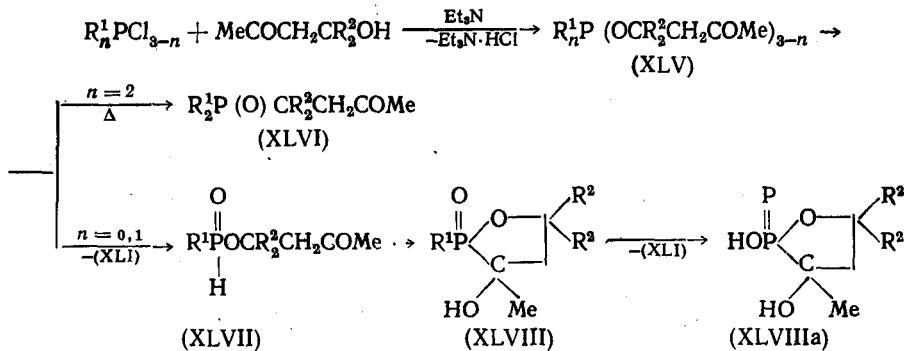
Диалкилфосфористые кислоты можно выделить в чистом виде. Алкилфосфористые, фосфонистые и фосфористая кислоты легко реагируют с хлоридами Р(III) с образованием химически весьма активных неполных хлорангидридов (XXXVIIIa). Взаимодействие последних с кетонами (XL) приводит к 1,2-оксафосфоленам-4 (XXVIIIb). Образование промежуточных соединений (XLIII) и (XLIV) было доказано не только спектральными методами, но и выделением их для некоторых R^1 , R^2 и R^3 в индивидуальном виде. Утверждение, что 1,2-оксафосфолейновые системы образуются в результате меж- и внутримолекулярного нуклеофильного замещения у Р(III) [71] в рассматриваемых реакциях является спорным.



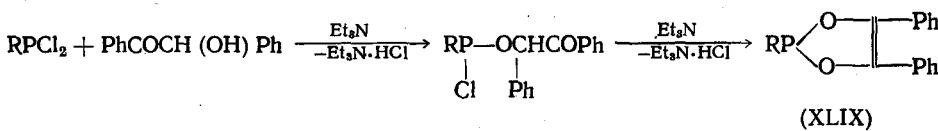
Сейчас без преувеличения можно утверждать, что идея химиков Казанской школы о катализитическом распаде β -кетоспиртов на непредельный кетон и воду и первоначальном взаимодействии хлорида Р(III) с водой, а не с карбонильными соединениями, а также идея о промежуточном образовании неполных хлорангидридов (XXXVIIIa) нашли полное

подтверждение в последующих работах [70] и являются крупным вкладом в теорию реакций хлоридов Р(III) со всеми альдегидами и кетонами в присутствии протонодонорных соединений, исследования которых были начаты более века тому назад.

В присутствии триэтиламина характер реагирования хлоридов Р(III) с гидроксикетонами является совершенно иным: первичный процесс проходит по гидроксильной группе без изменения координации атома фосфора [69, 72–78]. Если в продуктах обмена (XLV) содержится лишь одна γ -кетоалкоксильная группа, то при нагревании они перегруппировываются в производные Р(IV) (XLVI) [73, 77], если две, то отщепляется непредельный кетон, и кислота (XLVII) циклизуется в оксафосфолан (XLVIII) [69, 72–76, 79], а если три, то элиминируется еще одна молекула кетона (XL1) [69] и образуется оксафосфоланол (XLVIIIa):



Продуктами реакции бензоина с ди- и трихлоридами Р(III) являются непредельные производные Р(III) (XLIX), которые образуются в результате первичного обмена и последующей циклизации [80, 81].



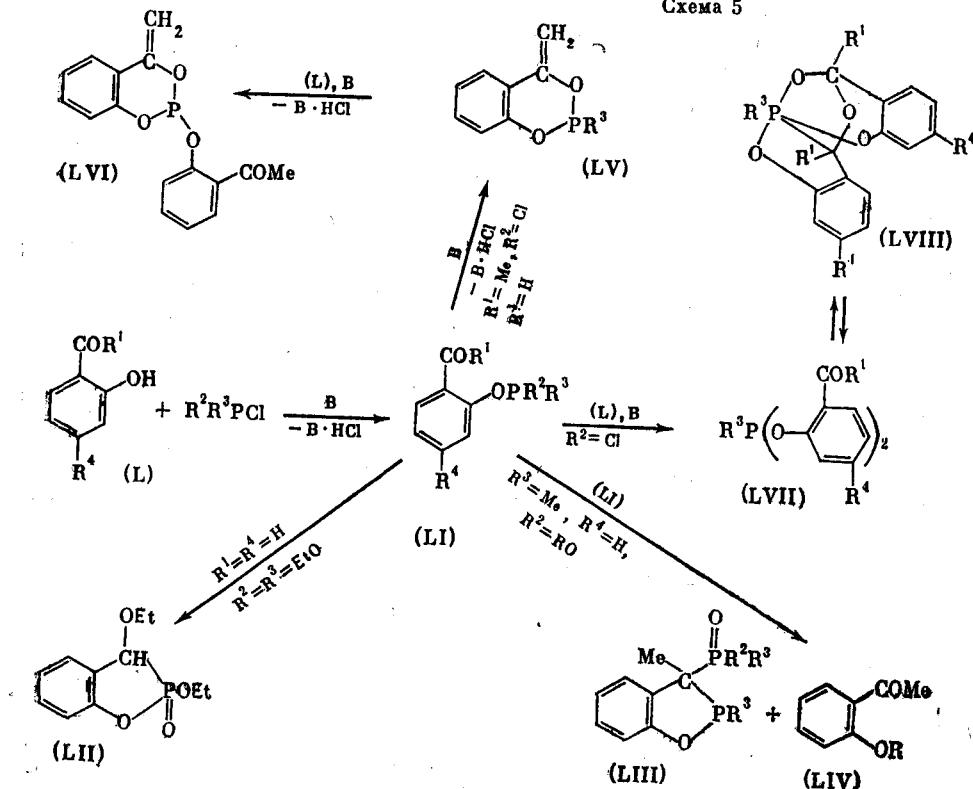
Весьма сложно реагируют хлориды Р(III) с *o*-карбонилсодержащими фенолами (L). Направления дальнейших превращений первичных продуктов (LI) зависят от природы радикалов $\text{R}^1, \text{R}^2, \text{R}^3, \text{R}^4$ и условий эксперимента. В случаеmonoхлоридов Р(III) они оказываются наиболее устойчивыми [82, 83]. Но при $\text{R}^1=\text{H}$ легко идет гетероциклизация в результате атаки неподеленной пары Р(III) на углерод карбонильной группы, и образуется соединение (LII) (схема 5) [84].

Соединения (LIII) и (LIV) являются продуктами медленного взаимодействия двух молекул (LI, $\text{R}^1=\text{Me}$). В присутствии основания (B) соединение (LI, $\text{R}^2=\text{Cl}$) превращается в продукты (LV) и (LVII) в результате внутри- ($\text{R}^3=\text{RO, Cl}$) [82, 83, 85] или межмолекулярного ($\text{R}^3=\text{Alk, Ar}$) [82, 85–88] нуклеофильного замещения. При $\text{R}^3=\text{Cl}$ продукт (LV) может вступать в реакцию обмена с образованием (LVI) [85]. Соединения (LVII) являются вполне устойчивыми, если R^4 – стерически перегруженный 2,4,5,6-тетраметилфенильный радикал или если электрофильность карбонильной группы понижена ($\text{R}^1=\text{OMe}$) [86]. В отсутствие этих факторов соединения (LVII) превращаются в циклические фосфораны (LVIII) в результате окислительной циклизации [85–88]. При $\text{R}^1=2,4\text{-Me}_2\text{C}_6\text{H}_3$ и $\text{R}^4=\text{OMe}$ фосфоран (LVIII) находится в равновесии с фосфонистой формой [86].

Взаимодействие салицилового альдегида с PCl_3 в жестких температурных условиях приводит к 2-оксо-2,3-дихлор-4,5-бензо-1,2-оксафосфолану [89, 90].

Металлпроизводные кетонов легко реагируют с хлоридами Р(III). Так, последние взаимодействуют с α -меркурированными кетонами с переносом реакционного центра и образованием непредельных эфиров [91].

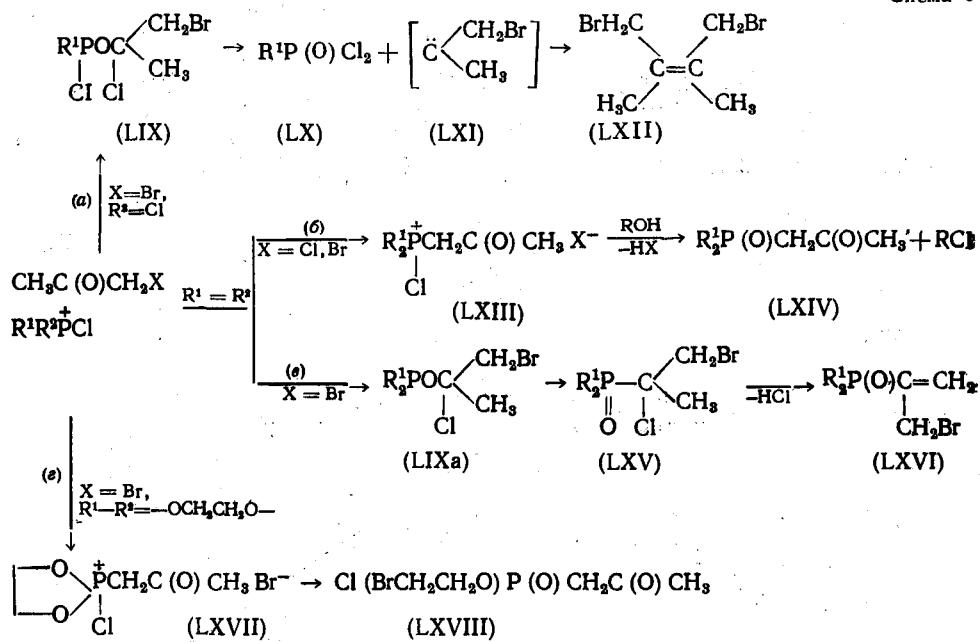
Схема 5



На примере реакции хлоридов Р(III) с триалкилстаниллацетоном можно проследить влияние природы заместителей у Р(III) на направление взаимодействия [91]: PCl_3 и вторичные хлорфосфиды реагируют без переноса реакционного центра, моно- и дихлорфосфиды — с переносом, а эфирохлорангидриды фосфонистой кислоты дают смесь О- и С-фосфорилированных продуктов.

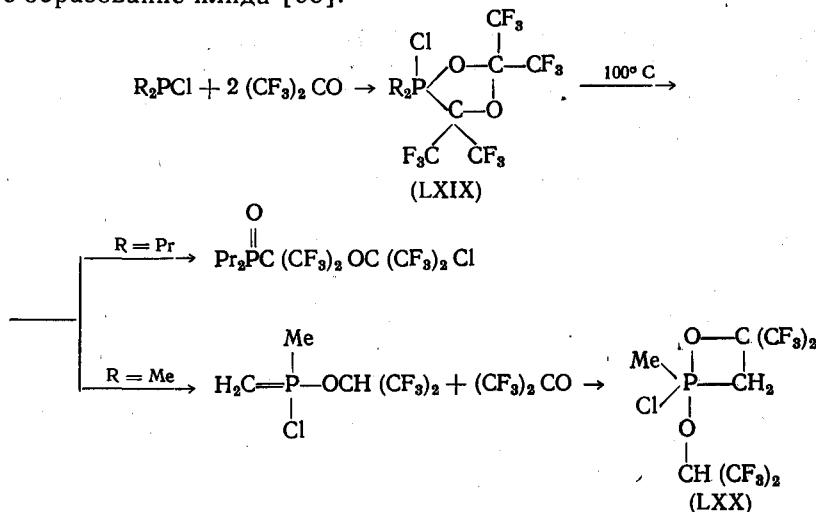
Хлориды Р(III) в зависимости от природы заместителей у Р(III) могут взаимодействовать с α -моногалогензамещенными кетонами как по α -углеродному атому, так и по карбонильной группе [92—95]. В реакции дихлоридов Р(III) с бромацетоном образуются дихлориды Р(IV) (LX) и дигалогензамещенный алкан (LXII) (схема 6) [92]. Полагают, что дихлориды Р(III) проявляют электрофильные свойства и первоначально атом хлора у Р(III) замещается на новую группу (направление (а), соединение (LIX)). Затем соединение (LIX) распадается по связи С—О с образованием дихлорида (LX) и карбена (LXI), который димеризуется в алкан (LXII). Вторичные хлорфосфины взаимодействуют с α -галогенокетонами по двум направлениям [93—95]: либо Р(III) присоединяет галогеноацетон (нуклеофильные свойства) с образованием фосфониевой соли (LXIII), которая может быть выделена в чистом виде [94] или при обработке ее спиртами [93, 95], водой или уксусным альдегидом [95] превращена в оксид фосфина (LXIV) (направление (б)); либо атом хлора у Р(III) замещается на новую группу (электрофильные свойства) с образованием промежуточного соединения (LIXa), которое затем изомеризуется в производное Р(IV) (LXV); последнее дегидрохлорируется, давая продукт (LXVI) (схема 6, направление (в)). 2-Хлор-1,3,2-диксифосфолан ($R^1—R^2=—OCH_2CH_2O—$) проявляет нуклеофильные свойства. Он присоединяет бромацетон, давая квазифосфониевую соль (LXVII), которая превращается по реакции Арбузова в продукт (LXVIII) [93].

Гексафторацетон реагирует со вторичными хлорфосфинами аналогично полифторзамещенным альдегидам [20] в соотношении 2:1 с об-

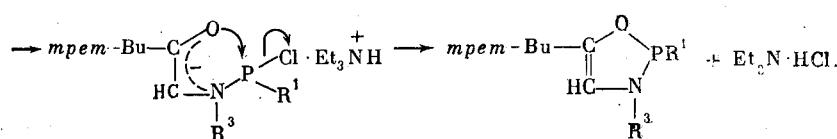
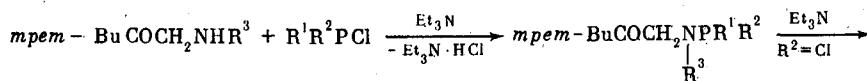


разованием фосфорана (LXIX) с 1,2,4-диоксафосфолановым циклом [96—98].

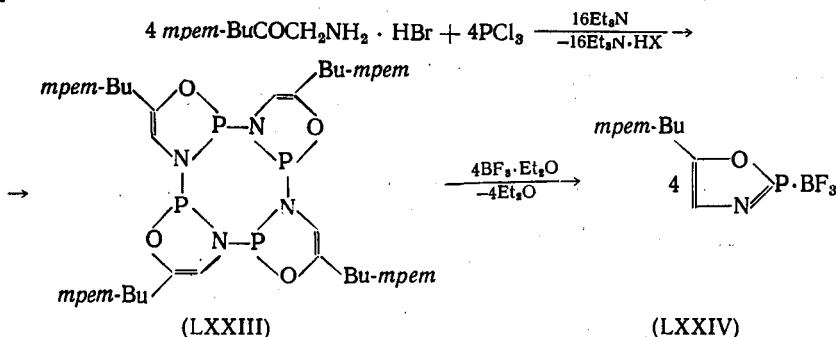
Соединение (LXIX, R=Pr) при 100° С претерпевает превращение по реакции Арбузова [96], а при R=Me превращается в циклическое соединение (LXX). Предполагается, что реакция протекает через промежуточное образование илида [98].



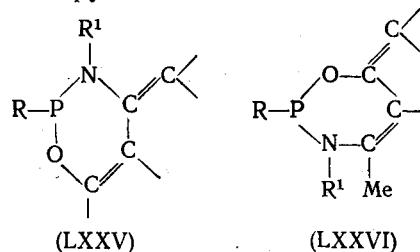
α-(N-алкил)аминокетоны взаимодействуют с хлоридами P(III) с разрывом связи N—H. Продукты обмена (LXXI) при наличии у P(III) атома хлора легко претерпевают внутримолекулярную циклизацию с образованием продукта (LXXII) [99—104].



Соль незамещенного аминокетона с PCl_3 дает сложное полициклическое соединение (LXXXIII), которое под действием эфирата трехфтористого бора превращается в продукт с двухкоординированным атомом фосфора (LXXXIV). Последний был идентифицирован в виде комплекса с BF_3 [105].



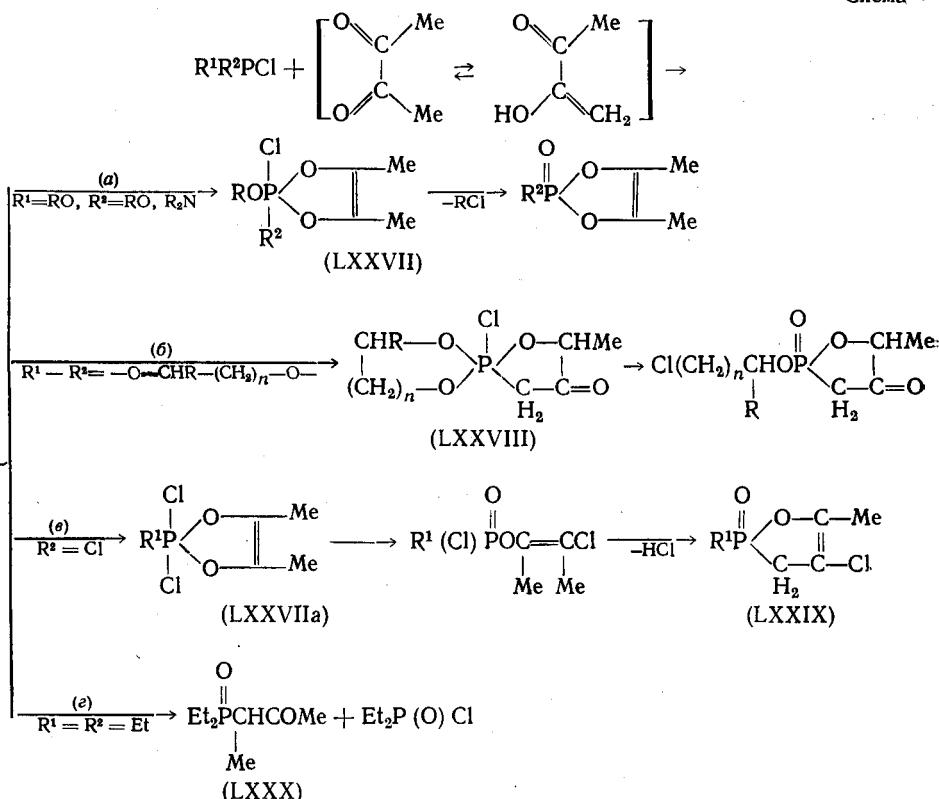
Реакции дихлоридов Р(III) с N-монозамещенными енаминонектонами приводят к 1,3,2-оксазафосфоринанам с диеновой системой $C=C$ -связей (LXXV), причем эндоциклическая связь $C=C$ в них соседствует с атомом азота [106]. Продукт с эндоциклической связью $C=C$ у атома кислорода (LXXVI) не обнаруживается.



Хотя хлориды Р(III) реагируют с насыщенными аминокетонами [99—104] и азотистыми аналогами ацетилацетона и ацетоуксусного эфира [107] исключительно по атому азота, вывод о первоначальном фосфорилировании енаминокетонов по атому О или N необходимо делать очень осторожно, так как возможны прототропные взаимодействия между первичными продуктами обмена, а также соединениями (LXXV) и (LXXVI).

Изучены реакции хлоридов Р(III) с α - и β -дикарбонилсодержащими соединениями: диацетилом, ацетиляцетоном и эфирами пировиноградной и ацетоуксусной кислот.

Диацетил экзотермично реагирует со всеми хлоридами Р(III). Строение продуктов реакции зависит от природы заместителей у Р(III). Считают, что ациклическиеmonoхлорфосфиты реагируют с кетонной (схема 7, направление (а)) [108—111], а циклические — с енольной (схема 7, направление (б)) формой диацетила [112]. Аддукты (XXVII) и (XXVIII) превращаются в производные Р(IV) по схеме второй стадии реакции Арбузова. Образование фосфорана (XXVII) подтверждено методом ЯМР ^{31}P [111]. В случае первичных дихлорфосфинов образующийся на первой стадии аддукт (XXVIIa) превращается затем в 1,2-оксафосфолен (XXIX), т. е. реакция протекает с образованием новой Р—С-связи (схема 7, направление (в)) [113, 114]. При взаимодействии диэтилхлорфосфина с диацетилом получены оксид третичного фосфина (XXX) и хлорангидрид диэтилфосфиновой кислоты (схема 7, направление (г)) [115]. Авторы допускают участие в реакции енольной формы диацетила и образование диэтилфосфинистой кислоты в качестве промежуточного продукта. Хотя из схем (а), (б), (в) следует, что атом фосфора проявляет бифильные свойства, в литературе нет единого мнения о характере первичного акта взаимодействия. Если роль monoхлорфосфитов в первичном акте реакции остается невыясненной [108—111], то более электрофильным первичным дихлорфосфинам отводится роль нуклео-



филов [113, 114]. В то же время допускается донорно-акцепторное взаимодействие атома кислорода диацетила с атомом P(III) диэтилхлорфосфина [115] (электрофильные свойства) — самого нуклеофильного из хлоридов P(III). Из приведенного материала следует, что роль хлорида P(III) в первичном акте взаимодействия определена нечетко, и, чтобы внести ясность в этот вопрос, необходимы дополнительные исследования.

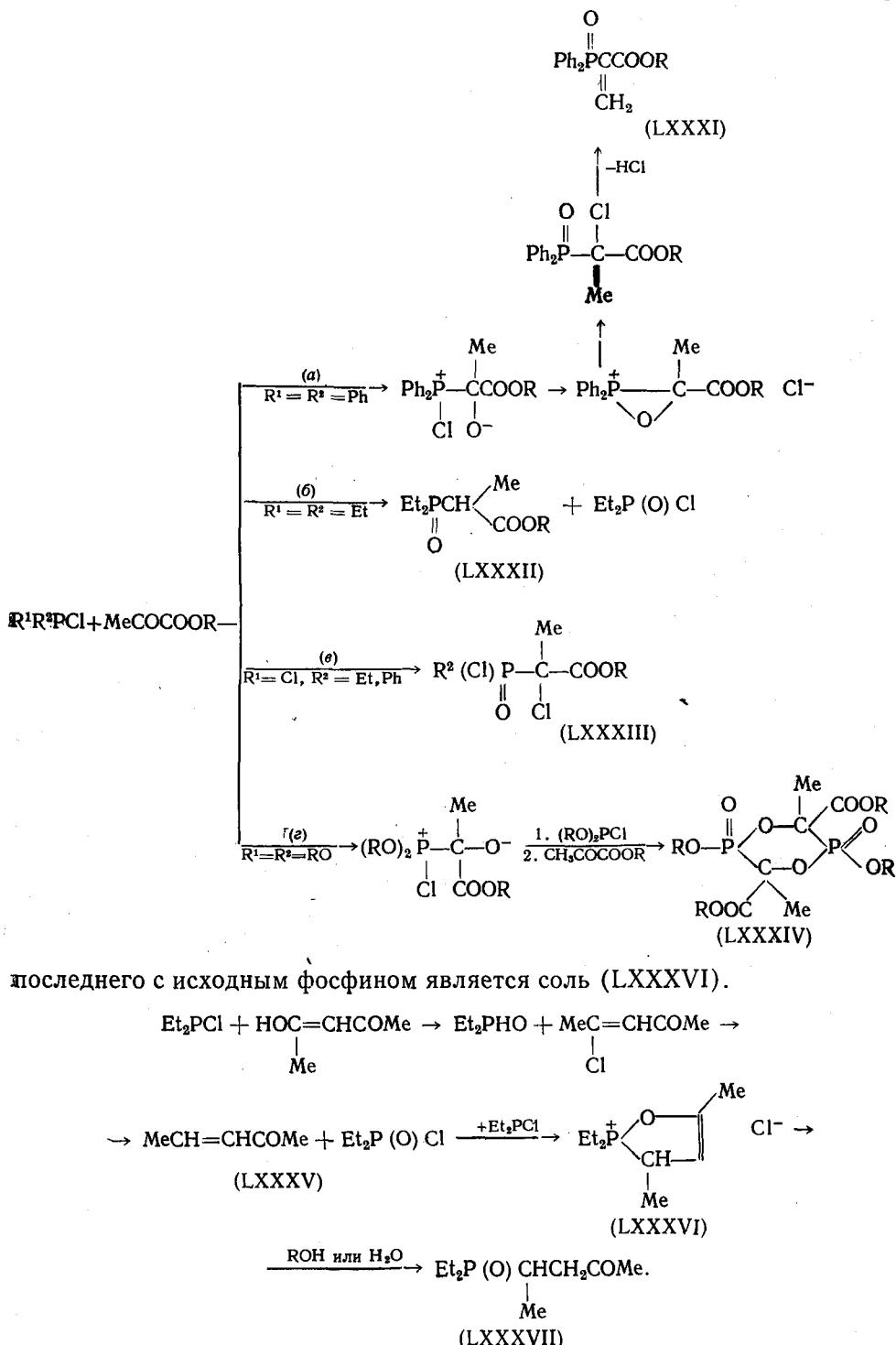
Согласно литературным данным, эфиры пировиноградной кислоты, в отличие от диацетила, реагируют с хлоридами P(III) исключительно в кетонной форме, и строение продуктов взаимодействия существенно зависит от природы заместителей у P(III). Так, продуктом реакции в случае дифенилхлорфосфина (схема 8, направление (а)) является непредельный фосфиноксид (LXXXI) [116], в случае диэтилхлорфосфина (схема 8, направление (б)) — предельный фосфиноксид (LXXXII) [115—117].

При взаимодействии эфиров пировиноградной кислоты с первичными дихлорфосфинами (схема 8, направление (в)) образуются хлорангидриды функционально замещенных фосфиновых кислот (LXXXIII) [116, 118], а с диалкилхлорфосфитами (схема 8, направление (г)) — 3,6-диметил-3,6-дикарбокси-2,5-диоксо-2,5-диалкокси-1,4-диокса-2,5-дифосфоринаны (LXXXIV) [119].

Считают, что в приведенных реакциях дифенилхлорфосфин проявляет нуклеофильную [116], а диалкилхлорфосфит на первой стадии — нуклеофильную, и на второй — электрофильную реакционную способность [119].

Взаимодействие диэтилхлорфосфина с ацетилацетоном в отсутствие основания завершается образованием хлорангидрида диэтилфосфиновой кислоты и фосфониевой соли (LXXXVI), которая при обработке спиртами или водой превращается в оксид третичного фосфина (LXXVII) [57, 115]. Авторы считают, что реакция протекает с участием енольной формы β -дикетона через промежуточное образование диэтилфосфинистой кислоты и непредельного кетона (LXXXV). Продуктом взаимодействия

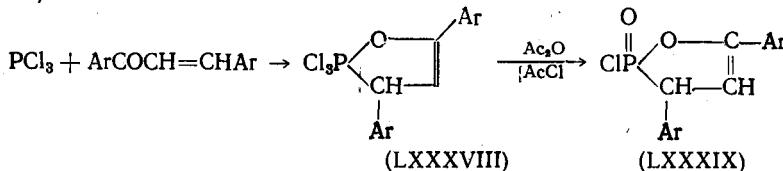
Схема 8



Допускается аналогичная схема и для реакции диэтилхлорфосфина с ацетоуксусным эфиром [1:15].

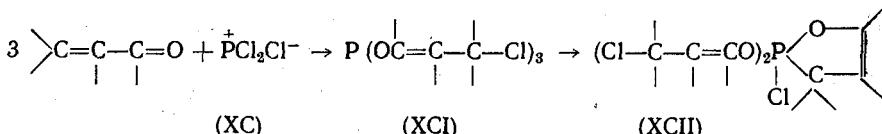
Изучение реакций хлоридов Р(III) с кетонами, имеющими в качестве второй функциональной группы алкилиденовую группу, было начато Конантом еще в 1917 г. [1, 2]. Он предположил, что реакция протекает через 1,4-присоединение Р(III) к концам сопряженной системы с образованием фосфорана (LXXXVIII) [120], который при обработке уксус-

ным ангидридом превращается в оксафосфоленовое производное Р(IV) (LXXXIX).



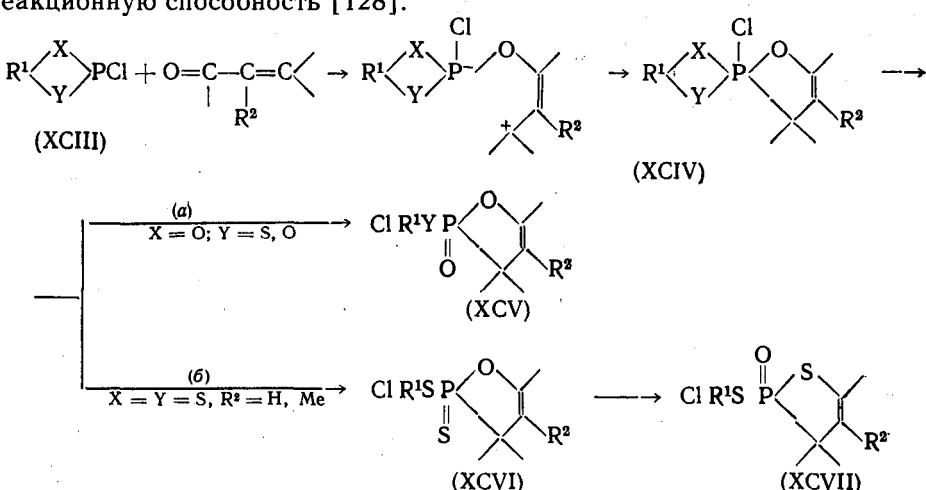
Позже Дрейк и Марвелл [44] установили общий характер 1,4-присоединения PCl_3 к алкил- и арилзамещенным непредельным кетонам, хотя при изучении более сложных объектов такая универсальность ставилась под сомнение [121, 122].

Основываясь на трудности алкилирования PCl_3 , и результатах собственных исследований по взаимодействию этого хлорида с 5- и 6-членными циклическими непредельными кетонами, Кабачник [1] подверг критике схему 1,4-присоединения, предложенную Конантом. Взамен нее он предложил схему 1,4-присоединения заряженных фрагментов $\text{P}^{\ddagger}\text{Cl}_2\text{Cl}^-$ к концам сопряженной системы кетона, в результате чего образуется γ -хлорированный непредельный эфир фосфористой кислоты (ХСI). Последний по схеме первой стадии реакции Арбузова превращается в соединение (ХСII) с 1,2-оксафосфоленовым циклом



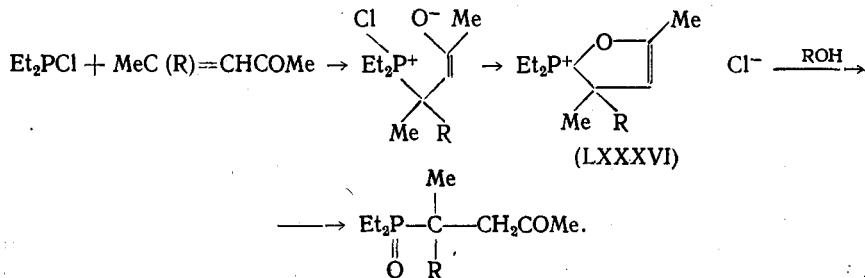
Таким образом, как и в случае незамещенных альдегидов, предлагается нуклеофильное замещение атома хлора у электрофильного Р(III) на новую группу. Аналогичную интерпретацию получило и взаимодействие PCl_3 с такими сложными кетонами как 4-холестин-3-оном и 2-кето-10-метил- $\Delta^{1,9}$ -окталином [123]. Однако общепризнанным является проявление атомом Р(III) бифильных свойств и его 1,4-присоединение к концам сопряженной системы непредельного кетона [2, 43, 124—129].

Подробно изучены реакции непредельных кетонов с циклическими галогенидами Р(III) (ХСIII). Предполагается, что в первичном акте взаимодействия циклические хлориды Р(III) проявляют электрофильную реакционную способность [128].



1,4-Аддукт (XCIV) устойчив, когда R^1 — арилен [128], если же R^1 — алкилен, то происходит превращение аддукта (XCIV) по схеме второй стадии реакции Арбузова [2, 43, 124, 125] с образованием соединений (XCV) и (XCVI). При $R^2=H$ соединение (XCVI) изомеризуется в (XCVII) по Пищимуке [126].

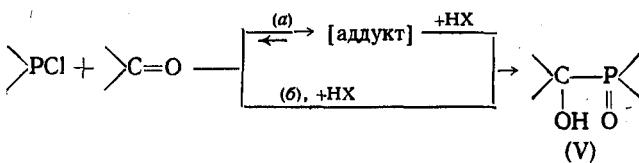
Важные результаты были получены при изучении взаимодействия диэтилхлорфосфина с непредельными кетонами [57]. В этом случае продукт 1,4-присоединения был выделен в индивидуальном виде и были изучены некоторые его реакции. Исходя из значения химического сдвига атома фосфора (126—128 м.д.) ему было приписано строение квазифосфониевой соли (LXXXVI). Кроме того диэтилхлорфосфин оказался более активным, чем треххлористый фосфор и дихлориды Р(III), откуда можно заключить, что он проявляет нуклеофильные свойства в первичном акте взаимодействия



Изложенный выше материал свидетельствует о том, что в последние 15—20 лет получены важные сведения о реакциях хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями в отсутствие третьего реагента: установлено участие примеси HCl в хлоридах Р(III) в качестве катализатора, расходование на каждую Р—Cl связь двух молекул альдегида, в некоторых случаях и кетона, найдены новые направления в реакциях кетонов.

III. РЕАКЦИИ ХЛОРИДОВ Р(III) С ҚАРБОНИЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ В ПРИСУТСТВИИ ТРЕТЬЕГО РЕАГЕНТА

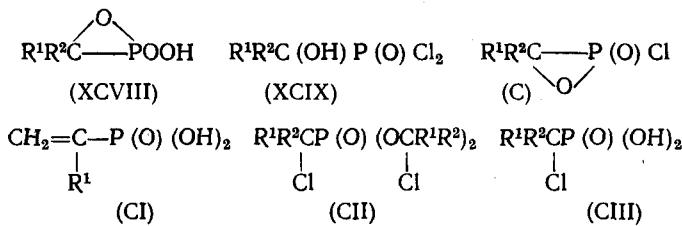
Реакции хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями в присутствии гидролизующих агентов (вода, уксусная кислота, уксусный ангидрид с последующей обработкой реакционной массы водой) приводят к 1-гидроксиалкилфосфоновым и фосфиновым кислотам (V) [1, 2]. Причем, сначала можно получить продукт присоединения хлорида Р(III) к карбонильному соединению и затем обрабатывать его гидролизующим агентом [6, 130—132] (путь (a)) или смешивать исходные реагенты в присутствии H_2O , AcOH или Ac_2O [132] (путь (б)).



Примерно 15 лет тому назад считалось, что по какому бы пути (a) или (b) ни осуществлялся синтез, схема образования соединений (V) одинаковая: сначала взаимодействие хлорида Р(III) с карбонильным соединением приводит к аддукту, на который затем оказывает действие гидролизующий агент. Однако схемы взаимодействия этих реагентов по путям (a) и (b) принципиально различны.

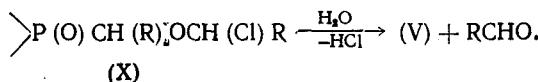
Остановимся кратко на эволюции взглядов на реакции хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями с последующим использованием гидролизующих агентов (путь (a)). Согласно Михаэлису, аддукт (I) непосредственно гидролизуется в кислоту (V) (см. схему 1) [4]. Конант допускает промежуточное образование фостоновой кислоты (ХСVIII) [130, 131, 133]. На основании тщательных кинетических исследований он же приходит к выводу о взаимодействии гидролизующихся агентов с биполярным аддуктом (II) [6]. Причем, когда используется уксусная кислота, первоначально образуются хлорангидриды (ХСIX) и (С), которые при действии воды превращаются в кислоту (V). В случае кетонов реакция осложняется образованием непредельных кислот (СI) [130,

132]. Аналогично трактуется схема взаимодействия хлоридов Р(III) с непредельными кетонами [6, 120, 130, 131, 133].



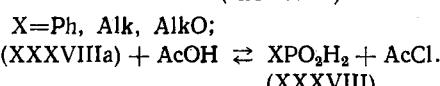
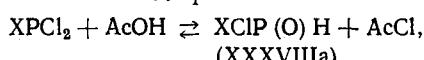
Согласно представлениям Пэджа и Кабачника [1, 7] первичный продукт (III) с Р(III) изомеризуется в соединение (II), которое последовательно гидролизуется в кислоты (III) и (V). В более поздних работах Кабачник [90, 134] опроверг возможность перехода (III) \rightarrow (V) в мягких условиях.

В настоящее время изложенные выше взгляды на протекание реакции по пути (a), по-видимому, имеют лишь историческую ценность. В действительности имеет место первоначальное образование 1-(1-хлораллокси)алкилпроизводных Р(IV) (X) и последующий гидролиз их в кислоту (V).



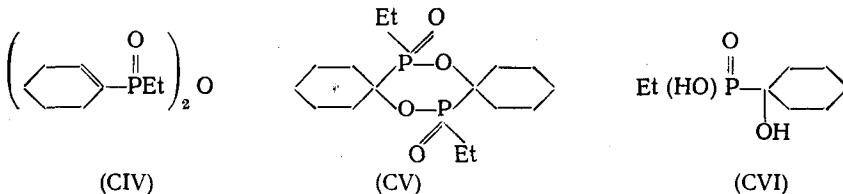
Кетоны, которые менее активны, чем альдегиды, в мягких условиях реагируют с хлоридами Р(III) вяло: в течение 20—40 ч при комнатной температуре [56, 57]. Поэтому, если даже гидролизующий агент добавляется к смеси хлорида Р(III) и кетона через несколько часов после их смешения, вряд ли путь (a) внесет решающий вклад в общую схему реакции. Кроме того, в отличие от альдегидов, при взаимодействии хлоридов Р(III) с кетонами в зависимости от их строения образуются различные ФОС: (XXXIII), (XXXV), (XXXVII) и (XXXIX) (см. схему 4), которые вполне устойчивы по отношению к гидролизующим агентам. В присутствии же последних реакция протекает очень быстро (путь (b)) с образованием соединений (XXXIX) с высокими выходами. Отсюда следует, что и в случае кетонов аддукты (I), (II) и соединение (III) не являются непосредственным объектом действия гидролизующих агентов.

Благодаря, в основном, работам советских химиков теперь можно считать доказанным, что путь (b) осуществляется через первичное взаимодействие хлоридов Р(III) с гидролизующим агентом и промежуточное образование гидрофосфорильных соединений (XXXVIII) (в частности, весьма активных неполных хлорангидридов фосфонистых и фосфористых кислот (XXXVIIIa)) [59, 61—64, 69, 70, 135—150]. При использовании в качестве гидролизующего агента карбоновых кислот [70, 142] хлорид Р(III) сначала превращается в неполный хлорангидрид (XXXVIIIa), который способен гидролизоваться дальше до кислоты (XXXVIII). Последняя взаимодействует как с исходным хлоридом Р(III), так и с хлористым ацилом с образованием соединения (XXXVIIIa). При использовании воды реакции являются необратимыми.

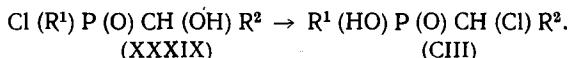


Карбонильные соединения являются своего рода ловушкой активных гидрофосфорильных соединений, особенно неполных хлорангидридов (XXXVIIIa). Циклогексанон оказался наиболее удачным карбонильным соединением, позволившим выделить в индивидуальном виде продукт (XXXIXa) в результате непосредственного взаимодействия его с соединением (XXXVIIIa) (X=Ph) [58, 59, 139, 140]. При замене в продукте

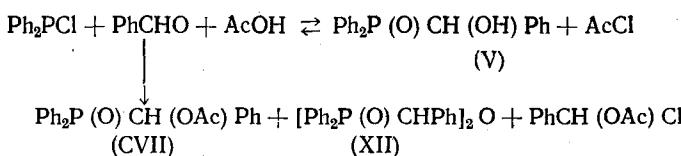
(XXXIXa) Ph на Et устойчивость его понижается и при удалении растворителя образуются несколько ФОС (CIV) — (CVI) [140, 145].



Недавно было показано, что соединения (XXXIX) со временем видоизменяются, превращаясь в кислоту (CIII) с 1-хлоралкильным радикалом [151—153].

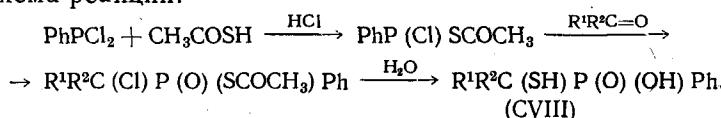


В литературе имеются также сведения о том, что видоизменяться могут даже соединения, не имеющие лабильную Р—Cl-связь, например соединения (V). Так, Миллер и Стюарт [154], повторив эксперименты Конанта по взаимодействию дифенилхлорfosфина с бензальдегидом в присутствии уксусной кислоты, установили, что первоначально быстро (5 мин) образуется ожидаемый продукт (V), однако через три дня конечным продуктом реакции будет не соединение (V), а ацетат (CVII) и дифосфорилированный эфир (XII):

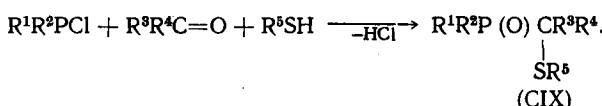


Причем вещество, охарактеризованное Конантом, как соединение (V) [135], оказалось эфиром (XII).

Несколько необычно протекает реакция арилдихлорфосфинов с кетонами в присутствии монотиоуксусной кислоты [155]: вместо ожидаемых 1-гидроксиалкилмонотиофосфиновых кислот получаются 1-меркаптоалкилфосфиновые кислоты (CVIII). Исходя из факта сохранения координации фосфора в первоначальной стадии реакции предлагается следующая схема реакции:

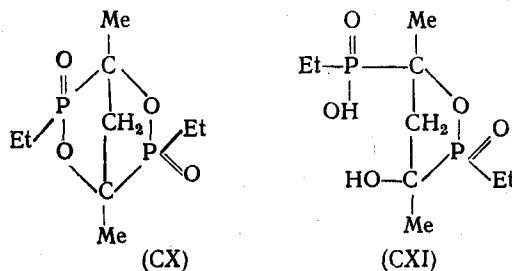


Взаимодействие хлоридов Р(III) с альдегидами и кетонами в присутствии меркаптанов является новым удобным методом синтеза α -алкилтиоалкилфосфонатов и фосфинатов (CIX) [156].

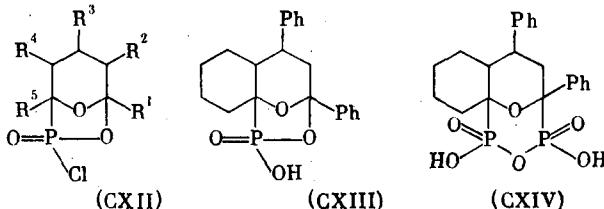


Реакции хлоридов Р(III) с непредельными кетонами в присутствии гидролизующих агентов также включают стадию образования гидрофосфорильных соединений (XXXVIII) [69, 157]. Если вместо уксусной кислоты или воды используется сероводород, то получаются продукты с тиофосфорильной группой [158].

Изучены также реакции дикетонов с хлоридами Р(III) в присутствии уксусной кислоты [159—163]. В случае этилхлорфосфина и ацетилацетона образуется бициклическое дифосфорное соединение (СХ), которое очень легко гидролизуется в моноциклическое производное 2-оксо-1,2-оксафосфолана (СХI) [159].

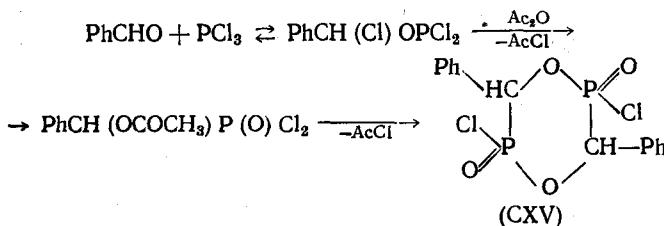


Из PCl_5 и 1,5-дикетонов образуются моно- (CXII) и (CXIII) и дифосфорилированные производные тетрагидропирана (CXIV) [160—163]:

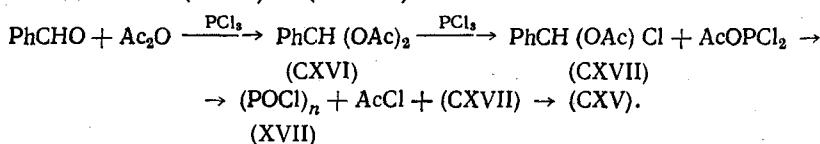


Гидролизующий агент может быть использован также в синтезе полифункциональных ФОС из хлорида Р(III), карбонильного соединения и диалкиламина [164, 165] или амида карбоновых и угольной кислот [166—176]. Предполагается, что реакции протекают через стадию образования гидрофосфорильных соединений [172].

Новые данные получены также при изучении реакций хлоридов Р(III) с альдегидами в присутствии уксусного ангидрида [8, 177]. Авторам удалось выделить циклический продукт (СХV), который считается предшественником соединения (V), получаемого гидролизом аддукта альдегида с хлоридом Р(III). Сначала предполагалась схема, включающая первоначальное взаимодействие PCl_3 с альдегидом [8]:



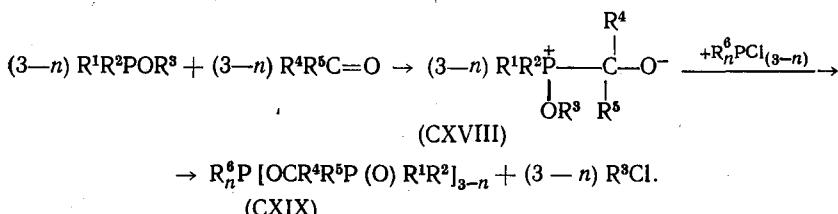
Эта схема некорректна уже потому, что, как было показано выше (см. гл. II), на одну связь $P-Cl$ должна расходоваться не одна, а две молекулы альдегида [16—18, 22—24]. Позже было установлено, что альдегиды первоначально реагируют с уксусным ангидридом с образованием диацетата (CXVI), причем PCl_3 является катализатором процесса [177, 178]. Последующая реакция диацетата с PCl_3 приводит к соединению (CXV). Оно было получено встречным синтезом из (CXVI) и PCl_3 , а также из соединений (XVII) и (XVIII).



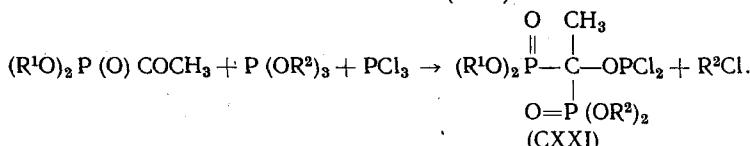
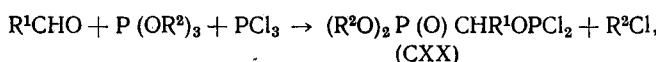
Однако не все еще ясно в этой схеме. Не установлено каково строение продукта (XVII), в чем состоит сущность катализа и реальность превращения (XVII) под действием соединения (CXVII) по схеме реакции Альбузова (так как α -хлоралкиловые эфиры карбоновых кислот являются слабыми электрофилами). Не внесена окончательная ясность и в схему взаимодействия хлоридов Р(III) с кетонами, в том числе и с непредельными, в присутствии уксусного ангидрида, хотя в случае непредельных

кетонов мы имеем общий важный метод синтеза соединений с 1,2-окса-фосфоленовым циклом [2, 179—183], а из последних — кетоалкиловых эфиров кислот фосфора [2, 184—187].

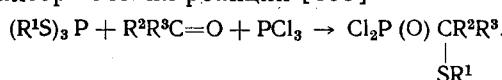
Плодотворным оказалось проведение реакций хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями в присутствии эфиров кислот Р(III) [40]. Такие реакции впервые были осуществлены Бирумом [188]. Этим способом получены органические соединения, содержащие несколько атомов фосфора различной координации. Считают, что сначала эфир кислоты Р(III) присоединяется к углероду карбонильной группы с образованием биполярного иона (CXVIII) [40], взаимодействие которого с хлоридом Р(III) приводит к полифункциональным соединениям (CXIX)



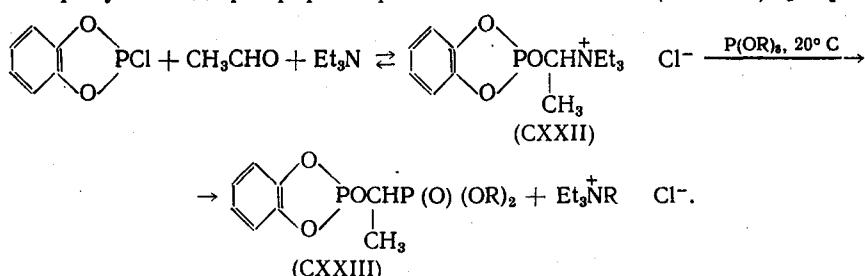
В последние годы эти реакции были использованы для получения ацеталей, содержащих два атома фосфора различной координации [189, 190], моно- (CXX) и дифосфорилированных (CXXI) алкилдихлорфосфитов [191, 192]



Замена в этом процессе триалкилфосфитов их тиоаналогами принципиально меняет характер течения реакции [193]

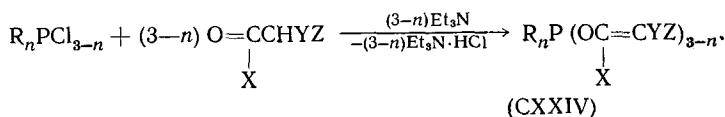


Довольно много работ посвящено изучению реакций хлоридов Р(III) с карбонильными соединениями в присутствии триэтиламина с целью синтеза непредельных ФОС. Еще в 1957 г. сообщалось [194] о синтезе виниловых эфиров кислот Р(III) взаимодействием пирокатехин- и этиленгликольхлорфосфитов с уксусным альдегидом в присутствии триэтиламина. В этих реакциях сначала образуется соль (CXXII), нагревание которой в вакууме приводит к виниловому эфиру. Однако дальнейшее изучение этой реакции показало, что соль (CXXII) в условиях, описанных в работе [194], распадается на исходные соединения, при этом с хорошим выходом выделяется пирокатехинхлорфосфит. В присутствии триалкилфосфитов распад соли (CXXII) происходит в мягких условиях, при этом образуются дифосфорсодержащие соединения (CXXIII) [29].



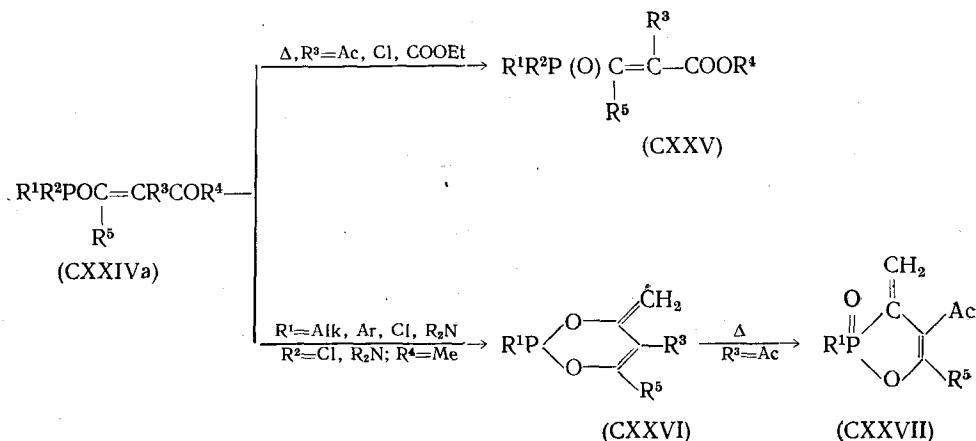
Установлено, что электроноакцепторные заместители у Р(III) и α -углеродного атома кетона благоприятствуют протеканию реакции с об-

разованием разнообразных непредельных ФОС (CXXIV) [81—82, 91, 100, 195—224].

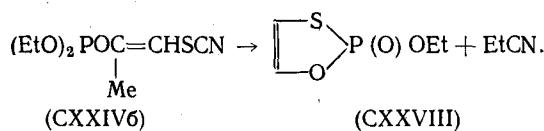


По-видимому, здесь реализуется основной катализ, и промежуточными продуктами являются триэтиламмониевые еноляты. Косвенным подтверждением этому является взаимодействие хлоридов как P(III), так и P(IV) с кетонами с повышенной CH-кислотностью в сравнимых условиях. Для сравнения следует отметить, что Na-еноляты, в зависимости от строения кетона, природы заместителей у P(III) и растворителя образуют не только непредельные соединения, но и C-fosфорилированные производные, а также O,C-дифосфорсодержащие соединения [225—228].

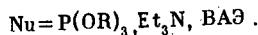
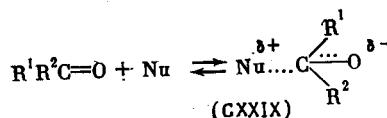
В случае β -дикарбонильных соединений продукты замещения (CXXIVa) могут быть выделены в индивидуальном виде [82, 210—219, 222], а в присутствии основания многие из них превращаются в циклические производные (CXXVI) [80, 206—212, 215, 216]. Вещества (CXXIVa) и (CXXVI, R³=Ac) при нагревании претерпевают винилфосфит-винилфосфонатную перегруппировку с образованием соединений (CXXV) и (CXXVII) [214, 215, 218, 223]:



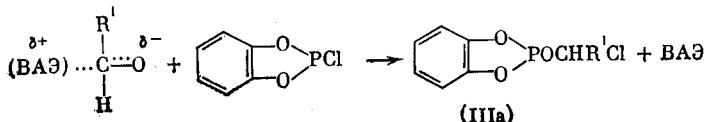
В случае тиоцианатоацетона продукт замещения (CXXIVб) циклизуется с отщеплением пропионитрила в 1,3,2-оксатиафосолен (CXXVIII) [209]:



Важные результаты были получены при использовании в качестве третьего реагента винилалкилового эфира (ВАЭ) — более слабого нуклеофилы, чем триалкилфосфиты и триэтиламин. Последние активируют карбонильное соединение и в измененном виде входят в состав конечных продуктов (CXXII) и (CXXIII), образуя новую связь C—Э (Э=P, N) [188, 194]. В отличие от них, ВАЭ активируют лишь карбонильную группу альдегидов, не образуют новой связи C—C и не входят в состав продукта реакции [29, 30, 229]. Важно также, что все перечисленные нуклеофилы блокируют атом углерода карбонильной группы в результате образования донорно-акцепторного комплекса (CXXIX), а значит и карбатионный центр в промежуточном аддукте (XIV). Видимо, это и является причиной расходования на каждую связь P—Cl лишь одной молекулы карбонильного соединения в присутствии этих нуклеофилов.



Лишь созданием особых условий удалось осуществить синтез одного из представителей первичных аддуктов хлоридов Р(III) с альдегидами (IIIa) [29, 30, 229—231], возможность образования которых предсказывали еще Пэдж [7], а затем Кабачник [1] и Аттертон [8].



Продукт (IIIa) в отсутствие винилалкилового эфира медленно распадается на исходные соединения, а последние образуют аддукт в соотношении 1:2.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всего изложенного материала можно сделать основные выводы о том, что в случае PCl_3 и дихлоридов Р(III) первичный процесс взаимодействия с карбонильными соединениями можно охарактеризовать как катализитическое нуклеофильное замещение у электрофильтрального Р(III), причем роль катализатора играет примесь HCl в хлоридах Р(III). В различных вторичных процессах происходит повышение координации фосфора до 4. Вторичным хлорфосфинам и хлорфосфитам в зависимости от природы карбонильного соединения отводится роль как нуклеофила, так и электрофила. Однако для более корректного решения этого вопроса требуются дополнительные исследования.

Кетоны менее активны, чем альдегиды, но направления их реагирования с хлоридами Р(III) более разнообразны. Нужны более глубокие исследования для установления истинной природы процессов, приводящих к конкретным соединениям. При наличии у кетона второй функциональной группы с хлоридом Р(III) реагирует более активная, и в дальнейшем первичный продукт участвует в различных процессах внутри- и межмолекулярного взаимодействия с образованием важных полифункциональных ФОС. Реакции хлоридов Р(III) с альдегидами и кетонами в присутствии гидролизующих агентов характеризуются превращением хлоридов Р(III) в гидрофосфорильные соединения и присоединением последних по карбонильной группе. Третичные амины, триалкилфосфиты и ВАЭ, используемые в качестве третьего реагента, не вызывают повышения координации фосфора, первоначально связанного с атомом хлора. В зависимости от строения карбонильного соединения реализуется основной или нуклеофильный катализ. Винилалкиловый эфир позволяет синтезировать первичные продукты взаимодействия хлоридов Р(III) с альдегидами в соотношении 1:1. Вопрос о синтезе интермедиатов с Р(III) и двумя альдегидными фрагментами на одну Р—Cl-связь пока остается открытым.

Не на все поднятые вопросы можно найти в литературе удовлетворительный ответ. Учитывая важность этих реакций как в теоретическом отношении, так и в развитии препаративного синтеза функционально замещенных ФОС, интерес к их изучению все возрастает. Предлагаемый обзор обобщает успехи в разработке данного научного направления, а также акцентирует внимание исследователей на ряде нерешенных пока вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабачник М. И. //Успехи химии. 1947. Т. 16. С. 403.
2. Пудовик А. Н., Хайруллин В. К. //Успехи химии. 1968. Т. 37. С. 745.
3. Fossek W. //Monatsh. 1884. B. 5. S. 121.

4. Michaelis A.//Berichte. 1885. B. 18. S. 898.
5. Conant J. B., McDonald A. D.//J. Amer. Chem. Soc. 1920. V. 42. P. 2337.
6. Conant J. B., Wallingford V. H.//Ibid. 1924. V. 46. P. 192.
7. Page H. J.//J. Chem. Soc. 1912. V. 101. P. 423.
8. Atherton F. R., Clark V. M., Todd A. R.//Rec. trav. chim. Pays-Bas. 1950. V. 69. P. 295.
9. Алиев Р. З., Хайруллин В. К.//Журн. общ. химии. 1976. Т. 46. С. 266.
10. Новикова З. С., Одинец И. Л., Луценко И. Ф.//Там же. 1983. Т. 53. С. 1673.
11. Голованов А. В., Масленников И. Г., Гудина И. В. и др.//Там же. 1985. Т. 55. С. 2623.
12. Разумов А. И., Гуревич П. А., Нуртдинов С. Х., Муслимов С. А.//Там же. 1977. Т. 47. С. 1421.
13. Баевов Ф. В., Васильева Л. А., Стифанова Ю. П., Кузнецова О. С.//Там же. 1979. Т. 49. С. 1242.
14. Голованов А. В., Масленников И. Г., Лаврентьев А. Н.//Там же. 1986. Т. 56. С. 1657.
15. Голованов А. В., Масленников И. Г., Лебедев В. Г. и др.//Там же. 1986. Т. 56. С. 2540.
16. De'Ath N. J., Miller J. A., Nunn M. J., Stewart D.//J. Chem. Soc. Perkin Trans. I. 1981. P. 776.
17. Michie J. K., Miller J. A., Nunn M. S., Stewart D.//Ibid. 1981. P. 1744.
18. Нуртдинов С. Х., Сафран В. И., Зыкова Т. В. и др.//Журн. общ. химии. 1979. Т. 49. С. 2446.
19. Нуртдинов С. Х., Сафран В. И., Зыкова Т. В. и др.//Химия и практическое применение кремний- и фосфороганических соединений/Под ред. Б. И. Ионина. Л.: ЛТИ, 1979. С. 121.
20. Шермолович Ю. Г., Соловьев А. В., Данченко Е. А., Марковский Л. Н.//Журн. общ. химии. 1985. Т. 55. С. 291.
21. Нуртдинов С. Х., Султанова Р. Ю., Мухаметова Г. Г. и др.//Там же. 1989. Т. 59. С. 344.
22. Müller J. A., Nunn M. J.//J. Chem. Soc. Perkin. Trans. I. 1976. P. 535.
23. Müller J. A., Nunn M. J.//Tetrahedron Lett. 1972. P. 3853.
24. De'Ath N. J., Müller J. A., Nunn M. J.//Ibid. 1973. P. 5191.
25. Уокер Дж. Ф. Формальдегид. М.: Госхимиздат, 1957. 608 с.
26. Moedritzer K.//J. Amer. Chem. Soc. 1961. V. 83. P. 4381.
27. Левин Я. А., Гозман И. П., Сидорова Е. Е.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1970. С. 173.
28. А. с. 224058 СССР//Б. И. 1968. № 25.
29. Gazizov M. B., Khairullin R. A., Ostanina L. P.//Intern. Conf. on Phosphorus Chemistry: Abstr. Вопн. 1986. А-30.
30. Газизов М. Б., Хайруллин Р. А.//Журн. общ. химии. 1986. Т. 56. С. 226.
31. Пудовик А. Н., Файзуллин Э. М., Журавлев Г. И.//Докл. АН СССР. 1965. Т. 165. С. 586.
32. Пудовик А. Н., Файзуллин Э. М.//Журн. общ. химии. 1966. Т. 36. С. 798.
33. Газизов Т. Х., Пашинкин А. П., Харламов В. А. и др.//Там же. 1977. Т. 47. С. 1226.
34. Газизов М. Б., Хайруллин Р. А.//VIII Всесоюз. конф. по химии и применению фосфороганических соединений: Тез. докл. Казань, 1985. Т. 1. С. 89.
35. Газизов М. Б., Шергина И. И., Хайруллин Р. А. и др.//Журн. общ. химии. 1984. Т. 54. С. 1204.
36. Хохлов П. С.//Успехи химии. 1984. Т. 53. С. 802.
37. Альфонсов В. А., Низамов И. С., Батыева Э. С., Пудовик А. Н.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1985. С. 2413.
38. Низамов И. С., Альфонсов В. А., Батыева Э. С., Пудовик А. Н.//Журн. общ. химии. 1988. Т. 58. С. 1473.
39. Карлстэт Н. Б., Кудрявцева Г. Н., Прокурина М. В., Луценко И. Ф.//Там же. 1982. Т. 52. С. 1974.
40. Пудовик А. Н., Коновалова И. В., Ишмаева Э. А. Реакции и методы исследования органических соединений. М.: Химия, 1973. Т. 23. 488 с.
41. Нуртдинов С. Х., Казарин С. В., Исмагилова Н. М., Цивунин В. С.//Журн. общ. химии. 1976. Т. 46. С. 36.
42. Антохина Л. А., Алимов П. И.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1966. С. 2135.
43. Разумова Н. А., Петрова А. А., Вознесенская А. Х., Новицкий К. И.//Журн. общ. химии. 1966. Т. 36. С. 244.
44. Drake L. R., Marvel C. S.//J. Org. Chem. 1937. V. 2. P. 387.
45. А. с. 249385 СССР//Б. И. 1969. № 25.
46. Нуртдинов С. Х., Цивунин В. С., Хайруллин Р. С.//Журн. общ. химии. 1970. Т. 40. С. 36.
47. Нуртдинов С. Х., Хайруллин Р. С., Цивунин В. С. и др.//Там же. 1970. Т. 40. С. 2377.
48. Нуртдинов С. Х., Хайруллин Р. С., Бурмакина Т. В. и др.//Там же. 1971. Т. 41. С. 1685.
49. Арбузов Б. А., Визель А. О., Гиниатуллин Р. С., Таренко Ю. Ф.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1972. С. 1847.
50. Нуртдинов С. Х., Исмагилова Н. М., Филиппова И. Г. и др.//Журн. общ. химии. 1974. Т. 44. С. 1678.

51. Нуртдинов С. Х., Исмагилова Н. М., Зыкова Т. В. и др.//Там же. 1982. Т. 52. С. 2195.
52. Нуртдинов С. Х., Хайруллин Р. С., Зыкова Т. В. и др.//Там же. 1971. Т. 41. С. 2158.
53. Нуртдинов С. Х., Исмагилова Н. М., Зыкова Т. В. и др.//Там же. 1977. Т. 47. С. 1256.
54. А. с. 414270 СССР//Б. И. 1974. № 5.
55. Нуртдинов С. Х., Хайруллин Р. С., Исмагилова Н. М.//Химия и применение фосфорорганических соединений: Тр. V конф. М.: Наука, 1974. С. 113.
56. Нуртдинов С. Х., Султанова Р. Б., Нуртдинова С. С. и др.//Журн. общ. химии. 1980. Т. 50. С. 1975.
57. Нуртдинов С. Х., Каширская И. М., Исмагилова Н. М. и др.//Там же. 1980. Т. 50. С. 1297.
58. Карданов Н. А., Провоторова Н. П., Годовиков Н. Н., Кабачник М. И.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1981. С. 697.
59. Нуртдинов С. Х., Исмагилова Н. М., Зыкова Т. В. и др.//Журн. общ. химии. 1976. Т. 46. С. 1007.
60. Нуртдинов С. Х., Исмагилова Н. М., Зыкова Т. В. и др.//Там же. 1973. Т. 43. С. 1251.
61. Арбузов Б. А., Ризположенский Н. И., Визель А. О. и др.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1971. С. 117.
62. Мухаметов Ф. С., Ризположенский Н. И., Гольдфарб Э. И.//Там же. 1971. С. 2221.
63. Арбузов Б. А., Визель А. О.//Проблемы органической и физической химии/Под ред. Я. А. Левина и др. Казань: ИОФХ, 1971. С. 84.
64. Ризположенский Н. И., Мухаметов Ф. С.//Химия и применение фосфорорганических соединений: Тр. V конф. М.: Наука, 1974. С. 116.
65. Мухаметов Ф. С., Ризположенский Н. И.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1970. С. 499.
66. А. с. 248672 СССР//Б. И. 1969. № 24.
67. Ризположенский Н. И., Мухаметов Ф. С.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1972. С. 175.
68. Мухаметов Ф. С., Ризположенский Н. И.//Там же. 1972. С. 1827.
69. Мухаметов Ф. С. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Казань: Изд-во КГУ, 1973. 14 с.
70. Карданов Н. А., Годовиков Н. Н.//Химия и применение фосфорорганических соединений: Тр. VI конф. Киев: Наук. думка, 1981. С. 91.
71. Moedritzer K., Miller R. E.//J. Org. Chem. 1982. V. 47. P. 1530.
72. Ризположенский Н. И.//Некоторые вопросы органической химии/Под ред. В. Ф. Тороповой. Казань: Изд-во КГУ, 1964. С. 122.
73. Ризположенский Н. И., Мухаметов Ф. С.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1968. С. 2756.
74. Ризположенский Н. И., Мухаметов Ф. С.//Там же. 1969. С. 1754.
75. Ризположенский Н. И., Мухаметов Ф. С., Шагидуллин Р. Р.//Там же. 1969. С. 1121.
76. Ризположенский Н. И., Мухаметов Ф. С., Гольдфарб Э. И.//Там же. 1970. С. 693.
77. Ризположенский Н. И., Мухаметов Ф. С.//Там же. 1968. С. 2163.
78. Мухаметов Ф. С., Степашкина Л. В., Ризположенский Н. И.//Там же. 1977. С. 1134.
79. Ang H. G., Schmutz R.//J. Chem. Soc. A. 1969. P. 702.
80. Мухаметов Ф. С., Волкова В. Н., Ризположенский Н. И., Пудовик М. А.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1976. С. 2841.
81. Мухаметов Ф. С., Елисеенкова Р. М., Ризположенский Н. И.//Журн. общ. химии. 1981. Т. 51. С. 2674.
82. Мухаметов Ф. С., Коршин Э. Е.//Журн. общ. химии. 1985. Т. 55. С. 2013.
83. Мухаметов Ф. С., Коршин Э. Е.//VIII Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Казань, 1985. Т. 2. С. 112.
84. Мухаметов Ф. С., Коршин Э. Е., Коршунов Р. Л. и др.//Журн. общ. химии. 1986. Т. 86. С. 1781.
85. Gragg G. M., Dawidowitz B., Fazakerly G. V. et al.//J. Chem. Soc. Chem. Commun. 1978. P. 510.
86. Harper S. D., Arduengo A. J.//J. Amer. Chem. Soc. 1982. V. 104. P. 2497.
87. Harper S. D., Arduengo A. J.//Tetrahedron Lett. 1980. P. 4331.
88. Коршин Э. Е., Мухаметов Ф. С.//Журн. общ. химии. 1986. Т. 56. С. 961.
89. Арбузов Б. А., Визель А. О., Шарипова С. М., Зябликова Т. А.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1984. С. 1175.
90. Кабачник М. И., Шепелева Е. С.//Докл. АН СССР. 1950. Т. 75. С. 219.
91. Новикова З. С., Скоробогатова С. Я., Прищенко А. А., Луценко И. Ф.//Журн. общ. химии. 1976. Т. 46. С. 571.
92. Нуртдинов С. Х., Исмагилова Н. М., Губайдуллина Р. Ш. и др.//Химия и технология элементоорганических соединений и полимеров/Под ред. П. А. Кирпичникова. Казань: Казан. хим.-технол. ин-т, 1978. С. 65.
93. Нуртдинов С. Х., Губайдуллина Р. Ш., Кукушкина В. С. и др.//Журн. общ. химии. 1974. Т. 44. С. 1461.
94. Гладштейн Б. М., Зимин В. М.//Там же. 1967. Т. 37. С. 2055.
95. Гладштейн Б. М., Зимин В. М., Носков В. Г. и др.//Химия и применение фосфорорганических соединений: Тр. IV конф. М.: Наука, 1972. С. 279.
96. Волковецкий В. Н., Кнунянц И. Л., Быховская Э. Г.//Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1973. Т. 18. С. 112.
97. Orat R. K., Trippet S.//J. Chem. Soc. Perkin. Trans. I. 1975. P. 1300.

98. Gibson J. A., Roschenthaler G. A., Sauerbrey K., Schmutzler R.//Chem. Ber. 1977. B. 110. S. 3214.
99. Гололобов Ю. Г., Иванова Ж. М., Балицкий Ю. В. и др.//Химия и применение фосфорорганических соединений: Тр. VI конф. Киев: Наук. думка, 1981. С. 164.
100. Гололобов Ю. Г.//VI Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Киев, 1977. С. 83.
101. Гололобов Ю. Г., Балицкий Ю. В.//Журн. общ. химии. 1974. Т. 44. С. 2356.
102. Балицкий Ю. В., Касухин Л. Ф., Пономарчук М. П., Гололобов Ю. Г.//Там же. 1979. Т. 49. С. 42.
103. Балицкий Ю. В., Гололобов Ю. Г., Юрченко В. М. и др.//Там же. 1980. Т. 50. С. 291.
104. Гололобов Ю. Г., Балицкий Ю. В., Болдескул И. Е.//VI Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Киев, 1977. С. 81.
105. Балицкий Ю. В., Негребецкий В. В., Гололобов Ю. Г.//Журн. общ. химии. 1981. Т. 51. С. 475.
106. Мухаметов Ф. С., Елисеенкова Р. М., Коршин Э. Е.//Там же. 1989. Т. 59. С. 321.
107. Мухаметов Ф. С., Елисеенкова Р. М., Коршин Э. Е.//Там же. 1986. Т. 56. С. 2054.
108. Гозман И. П., Кухтин В. А.//Там же. 1967. Т. 37. С. 881.
109. Гозман И. П.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1968. С. 2362.
110. Cordon E. M., Freze R., Buono C.//Bull. Soc. chim. France. 1973. P. 2279.
111. Левин Я. А., Гозман И. П., Салихов С. Г.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1968. С. 2609.
112. Вознесенская А. Х., Разумова Н. А.//Журн. общ. химии. 1968. Т. 38. С. 1553.
113. Пудовик А. Н., Хайруллин В. К., Самитов Ю. Ю., Шагиудуллин Р. Р.//Там же. 1967. Т. 37. С. 865.
114. Пудовик А. Н., Хайруллин В. К., Харитонова Н. И.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1969. С. 466.
115. Нургдинов С. Х., Каширская И. М., Исмагилова Н. М. и др.//Журн. общ. химии. 1979. Т. 49. С. 100.
116. Самитов Ю. Ю., Коновалова И. В., Какурина В. П., Пудовик А. Н.//Там же. 1974. Т. 44. С. 515.
117. Нургдинов С. Х., Мамина А. И., Исмагилова Н. М. и др.//Там же. 1973. Т. 43. С. 2645.
118. А. с. 376384 СССР//Б. И. 1973. № 17.
119. Пудовик А. Н., Гурьянова И. В., Какурина В. П., Гольдфарб Э. И.//Журн. общ. химии. 1970. Т. 40. С. 2374.
120. Conant J. B., Cook A. A.//J. Amer. Chem. Soc. 1920. V. 42. P. 830.
121. Griffen C. E., Brown J. T.//J. Org. Chem. 1961. V. 26. P. 853.
122. Ramires F., Madan O. P., Smith C. P.//Ibid. 1965. V. 30. P. 2284.
123. Ross J. A., Martz M. D.//Ibid. 1969. V. 34. P. 399.
124. Разумова Н. А., Ковалев Л. С., Петров А. А.//Журн. общ. химии. 1968. Т. 38. С. 126.
125. Разумова Н. А., Ковалев Л. С., Петров А. А.//Там же. 1968. Т. 38. С. 2277.
126. Новицкий К. И., Разумова Н. А., Петров А. А.//Химия органических соединений фосфора/Под ред. С. Н. Данилова. Л.: Наука, 1967. С. 248.
127. Елисеенкова Р. М., Ризположенский Н. И., Акамсин Б. Д.//Проблемы органической и физической химии/Под ред. Я. А. Левина и др. Казань: ИОФХ, 1972. С. 67.
128. Разумова Н. А., Петров А. А., Евтихов Ж. Л. и др.//Химия и применение фосфорорганических соединений: Тр. IV конф. М.: Наука, 1972. С. 100.
129. Нургдинов С. Х., Дмитриева Н. В., Цивунин В. С. и др.//Журн. общ. химии. 1970. Т. 40. С. 2189.
130. Conant J. B., McDonald A. A., Kinney Ms. B.//J. Amer. Chem. Soc. 1921. V. 43. P. 1928.
131. Conant J. B., Wallingford V. H., Gandheker S. S.//Ibid. 1923. V. 45. P. 762.
132. Conant J. B., Coyne B. B.//Ibid. 1922. V. 44. P. 2530.
133. Conant J. B., Braverman J. B., Hussey R. E.//Ibid. 1923. V. 45. P. 165.
134. Кабачник М. И., Шепелева Е. С.//Изв. АН СССР. ОХН. 1950. С. 39.
135. Пудовик А. Н., Харламов В. А., Пашикян А. П. и др.//Химия элементоорганических соединений/Под ред. С. Н. Данилова и др. Л.: Наука, 1976. С. 156.
136. Газизов Т. Х., Пашикян А. П., Харламов В. А. и др.//Журн. общ. химии. 1977. Т. 47. С. 1226.
137. Пудовик А. Н., Газизов Т. Х., Пашикян А. П., Харламов В. А.//Там же. 1975. Т. 45. С. 2123.
138. Карданов Н. А., Годовиков Н. Н., Кабачник М. И.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1976. С. 2638.
139. Карданов Н. А., Чепайкина Т. А., Годовиков Н. Н., Кабачник М. И.//Там же. 1977. С. 1171.
140. Нургдинов С. Х., Исмагилова Н. М., Зыкова Т. В. и др.//Журн. общ. химии. 1977. Т. 47. С. 2685.
141. Андреев Н. А., Гришина О. Н., Смирнова В. Н.//Там же. 1978. Т. 48. С. 1048.
142. Карданов Н. А., Годовиков Н. Н., Петровский П. В. и др.//Докл. АН СССР. 1983. Т. 268. С. 364.
143. Дьяконова Н. И., Мухаметзянова Э. Х., Шермергорт И. М.//Журн. общ. химии. 1971. Т. 41. С. 2203.
144. Miller J. A., Stewart D.//Tetrahedron Lett. 1977. P. 1065.

145. Нуртдинов С. Х., Исмагилова Н. М., Зыкова Т. В. и др.//VI Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Киев. 1977. С. 187.
146. Карданов Н. А., Провоторова Н. П., Петровский П. В. и др.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1983. С. 2114.
147. Kardanov N. A., Godovikov N. N., Kabachnik M. I.//Third Polish-Soviet Colloquium on Phosphorus Chemistry: Communication. Lods, 1980.
148. Карданов Н. А., Годовиков Н. Н., Кабачник М. И.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1978. С. 1466.
149. Нуртдинов С. Х., Савран В. И., Зыкова Т. В. и др. О некоторых особенностях алкоголиза дихлорангидрида α -(1-хлорэтокси)этилфосфоновой кислоты. Рукопись деп. в ОНИИХЭХим. Черкассы, 1979. 10 с.—11.07.79 № 2925/79.
150. Карданов Н. А., Тимофеев А. М., Годовиков Н. Н. и др.//Журн. общ. химии. 1988. Т. 58. С. 2038.
151. Kardanov N. A., Timofeev A. M., Godovikov N. N., Kabachnik M. I.//Conf. Intern. de Chemie du Pohosphorus: Rusumes. Nice (France), 1983. P. 43.
152. Карданов Н. А., Тимофеев А. М., Годовиков Н. Н., Кабачник М. И.//VIII Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Казань, 1985. Т. 1. С. 29.
153. Карданов Н. А., Тимофеев А. М., Годовиков Н. Н. и др.//Докл. АН СССР. 1986. Т. 286. С. 1403.
154. Miller J. A., Stewart D.//J. Chem. Soc. Perkin. Trans. I. 1977. P. 1340.
155. Карданов Н. А., Годовиков Н. Н., Кабачник М. И.//VI Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Киев, 1977. С. 64.
156. Альфонсов В. А., Низамов И. С., Батыева Э. С., Пудовик А. Н.//Докл. АН СССР. 1987. Т. 292. С. 360.
157. Kingsbury C. A., Thoennes D.//Tetrahedron Lett. 1976. P. 3037.
158. Арбузов Б. А., Визель А. О., Шукина Л. И. и др.//Журн. общ. химии. 1976. Т. 46. С. 2501.
159. Нуртдинов С. Х., Цивунина И. В., Савран В. И. и др.//Там же. 1981. Т. 51. С. 1549.
160. Высоцкий В. И., Павлычева Э. В., Скобун А. С. и др.//XI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Органическая химия и технология органических веществ. М.: Наука, 1974. С. 81.
161. Высоцкий В. И., Чупракова К. Г., Тиличенко М. Н.//Журн. общ. химии. 1976. Т. 46. С. 785.
162. Высоцкий В. И., Васильева И. А., Черный В. Н. и др.//Там же. 1979. Т. 49. С. 1949.
163. Высоцкий В. И., Чупракова К. Г., Скобун А. С. и др.//Химия и применение фосфорорганических соединений: Тр. VI конф. Киев: Наук. думка, 1981. С. 270.
164. Руцина М. Н., Полякарпов Ю. М., Ярошенко Г. Ф., Тимакова Л. М.//Журн. общ. химии. 1973. Т. 43. С. 238.
165. А. с. 201397 СССР//Б. И. 1967. № 18.
166. Wojtowicz H., Mastalerz P.//Synthesis. 1987. P. 477.
167. Oleksyszyn J.//J. prakt. Chem. 1987. B. 329. S. 19.
168. Oleksyszyn J., Tyka R., Mastalerz P.//Synthesis. 1978. P. 479.
169. Oleksyszyn J., Rachon J., Soroka M.//Chimia. 1978. V. 32. P. 235.
170. Oleksyszyn J.//Synthesis. 1981. P. 444.
171. Oleksyszyn J., Gruszecka E., Kafarski P., Mastalerz P.//Monatsh. Chem. 1982. B. 113. S. 59.
172. Kamiya T., Hemmi K., Takeno H., Hashimoto M.//Tetrahedron Lett. 1980. V. 21. P. 95.
173. Пат. 117789 Польша//С. А. 1983. V. 99. 70992.
174. Subotkonski W., Tyka R., Mastalerz P.//Pol. J. Chem. 1980. V. 54. P. 503.
175. Maier L.//Phosphorus and Sulfur. 1983. V. 14. № 3. P. 295.
176. Weissmel K., Kleiner H. J., Finke M., Felcht U. H.//Angew. Chem. Intern. Ed. 1981. V. 20. P. 223.
177. Michie J. K., Miller J. A.//J. Chem. Soc. Perkin Trans. I. 1981. P. 785.
178. Michie J. K., Miller J. A.//Synthesis. 1981. P. 824.
179. Васянина М. А., Хайруллин В. К.//Журн. общ. химии. 1974. Т. 44. С. 48.
180. Bergesen K.//Acta chem. scand. 1965. V. 19. P. 1784.
181. Арбузов Б. А., Бельский В. Е., Визель А. О. и др.//Докл. АН СССР. 1967. Т. 176. С. 323.
182. Алиев Р. Э., Хайруллин В. К.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1973. С. 2785.
183. Пудовик А. Н., Хайруллин В. К., Кондратьева Р. М.//Там же. 1970. С. 2548.
184. Арбузов Б. А., Визель О. А., Ивановская К. М.//Химия гетероциклических соединений. 1971. С. 1329.
185. А. с. 185903 СССР//Б. И. 1966. № 16.
186. Арбузов Б. А., Визель А. О., Ивановская К. М.//Докл. АН СССР. 1968. Т. 182. С. 101.
187. Арбузов Б. А., Визель А. О., Ивановская К. М.//Химия гетероциклических соединений. 1971. С. 1329.
188. Пат. 3014951. США//РЖХим. 1963. 9Н97П.
189. Газизов М. Б., Шергина И. И., Хайруллин Р. А. и др.//Журн. общ. химии. 1983. Т. 53. С. 2788.
190. Газизов М. Б., Шергина И. И., Хайруллин Р. А. и др.//Там же. 1983. Т. 53. С. 2656.
191. Газизов М. Б., Захаров В. М., Хайруллин Р. А., Москва В. В.//Там же. 1984. Т. 54. С. 2783.

192. Газизов М. Б., Захаров В. М., Хайруллин Р. А., Москва В. В.//Там же. 1984. Т. 54. С. 1671.
193. Низамов И. С., Альфонсов В. А., Трусенева А. Г. и др.//Там же. 1986. Т. 56. С. 216.
194. Гефтер Е. Л., Кабачник М. И.//Докл. АН СССР. 1957. Т. 114. С. 541.
195. Ким Т. В., Иванова Ж. М., Гололобов Ю. Г.//Журн. общ. химии. 1978. Т. 46. С. 346.
196. Ким Т. В., Иванова Ж. М., Гололобов Ю. Г.//Там же. 1978. Т. 48. С. 1967.
197. Прокопенко В. П., Ким Т. В., Иванова Ж. М., Гололобов Ю. Г.//Там же. 1978. Т. 48. С. 1963.
198. Колодка Т. В., Поволоцкий М. И., Гололобов Ю. Г./Там же. 1982. Т. 52. С. 1511.
199. Гололобов Ю. Г., Ким Т. В., Киселева Е. И.//Докл. АН СССР. 1983. Т. 272. С. 1388.
200. Лазукова Л. А., Мигайчук И. В., Трихлеб Л. И., Кухарь В. П.//Журн. общ. химии. 1988. Т. 55. С. 1747.
201. Ким Т. В., Киселева Е. И., Стручков Ю. Т. и др.//Там же. 1984. Т. 54. С. 2496.
202. Кабачник М. И., Новикова З. С., Нечанова Е. Г., Луценко И. Ф.//Там же. 1986. Т. 56. С. 781.
203. Маленко Д. М., Гололобов Ю. Г.//Там же. 1980. Т. 50. С. 682.
204. Колодка Т. В., Локтионова Л. А., Гололобов Ю. Г.//Там же. 1983. Т. 53. С. 2476.
205. Касухин Л. Ф., Пономарчук М. П., Ким Т. В. и др.//Там же. 1978. Т. 48. С. 354.
206. Иванова Ж. М., Ким Т. В., Гололобов Ю. Г.//VI Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Киев, 1977. С. 234.
207. Гололобов Ю. Г., Колодка Т. В., Оганесян А. С.//Журн. общ. химии. 1986. Т. 56. С. 1708.
208. Маленко Д. М., Синица А. Д.//Там же. 1986. Т. 56. С. 219.
209. Zeiss W., Schmidpeter A.//Z. Naturforsch. B. 1979. B. 34. S. 1042.
210. Кабачник М. И., Российская П. А., Шабанова М. П. и др.//Журн. общ. химии. 1960. Т. 30. С. 2218.
211. Мухаметов Ф. С., Коршин Э. Е., Шагидуллин Р. Р., Ризположенский Н. И.//Там же. 1983. Т. 53. С. 2703.
212. Мухаметов Ф. С., Степашкина Л. В., Коршин Э. Е. и др./Там же. 1983. Т. 53. С. 1274.
213. Мухаметов Ф. С., Коршин Э. Е.//Там же. 1984. Т. 54. С. 2795.
214. Коршин Э. Е., Мухаметов Ф. С.//Изв. АН СССР. Сер. хим. 1984. С. 1918.
215. Коршин Э. Е., Мухаметов Ф. С.//VII Молодеж. конф. по синтетическим и природным физиологически активным соединениям: Тез. докл. Ереван, 1984. С. 94.
216. Мухаметов Ф. С., Коршин Э. Е.//VIII Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Казань, 1985. Т. 1. С. 87.
217. Mukhametov F. S., Korschin E. E., Rizpolozhenski N. J.//Conf. Intern. de Chemie du Phosphorus: Rusumes. Nice (France), 1983. Р. 28.
218. Маленко Д. М., Репина Л. А., Синица А. Д.//Журн. общ. химии. 1984. Т. 54. С. 2402.
219. Казенашева Л. Я., Смирнова Т. В., Колесова В. А., Вирик Л. И.//Там же. 1983. Т. 53. С. 943.
220. Cragg G. M., Davidowitz B., Giles R. F., Haines R. J.//Chem. Commun. 1977. Р. 569.
221. Seyerl J. V., Huttner G.//Z. Naturforsch. B. 1980. B. 35. S. 1373.
222. Ким Т. В., Киселева Е. И., Синица А. Д.//Журн. общ. химии. 1987. Т. 57. С. 807.
223. Маленко Д. М., Репина Л. А., Синица А. Д./Там же. 1985. Т. 55. С. 698.
224. Маленко Д. М., Елисеенкова Р. М., Коршин Э. Е.//Там же. 1989. Т. 59. С. 321.
225. Куркин А. Н., Новикова З. С.//Вестн. МГУ. Сер. Химия. 1978. Т. 19. С. 624.
226. Новикова З. С., Куркин А. Н., Луценко И. Ф.//Журн. общ. химии. 1978. Т. 48. С. 305.
227. Новикова З. С., Куркин А. Н., Луценко И. Ф.//VII Всесоюз. конф. по химии и применению фосфорорганических соединений: Тез. докл. Киев, 1977. С. 157.
228. Куркин А. Н., Новикова З. С., Луценко И. Ф.//Журн. общ. химии. 1980. Т. 50. С. 1467.
229. Газизов М. Б., Хайруллин Р. А., Шергина И. И.//Там же. 1984. Т. 54. С. 2638.
230. Gazizov M. B., Khairullin R. A., Kadyrova R. F.//Intern. Conf. on Heteroatom. Chemistry: Abstracts, PS 3040. Kobe (Japan), 1987. Р. 234.
231. Газизов М. Б., Хайруллин Р. А., Кадырова Р. Ф.//Журн. общ. химии. 1989. Т. 59. С. 1457.

Казанский химико-технологический
институт им. С. М. Кирова