

УДК 547.1'181.54

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЗАМЕЩЕННЫЕ ТРЕТИЧНЫЕ ФОСФИНЫ

Ерастов О. А., Никонов Г. Н.

Рассмотрены способы получения замещенных третичных фосфинов и особенности взаимного влияния фосфиногруппы и заместителя, проявляющиеся в физико-химических свойствах (равновесие между конформерами или стереоизомерами, геометрические параметры молекул) и в реакционной способности (пути распада фосфониевых соединений, реакции функциональных групп с электрофильными реагентами, нуклеофильное замещение, таутомерия, перегруппировки).

Библиография — 248 ссылок.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Введение	625
II. Способы получения	626
III. Физико-химические свойства	630
IV. Химические свойства	632

I. ВВЕДЕНИЕ

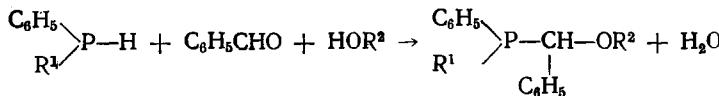
Третичные фосфиды, содержащие электроноакцепторные заместители, обладают высокой и многосторонней реакционной способностью. Во-первых, они вступают в реакции, типичные для третичных фосфинов и для содержащихся функциональных групп. Взаимное влияние активных центров проявляется в скоростях реакций и в стабильности образующихся продуктов. Во-вторых, для таких соединений характерны особенности, обусловленные наличием тесно связанных функциональных групп. С электрофильными реагентами они дают фосфониевые соединения, которые являются неустойчивыми и стабилизируются за счет переноса протона на отрицательный центр электрофила с образованием новых третичных фосфинов или илидов. Эти реакции обнаруживают аналогию в реакционной способности между функционально-замещенными третичными фосфинами и первичными или вторичными фосфинами, а также эфирами кислот трехвалентного фосфора. Присутствие электроноакцепторного заместителя облегчает нуклеофильное замещение у атома углерода при атоме фосфора, причем уходящими могут быть как фосфиногруппа, так и функциональная группа. Близкое расположение в пространстве фосфиногруппы и заместителя создает благоприятные условия для перегруппировок. Накопление электроноакцепторных заместителей у атома углерода при атоме фосфора приводит к прототропной диадной фосфор-углеродной таутомерии.

Синтез функционально-замещенных третичных фосфинов базируется на доступном сырье, таком как фосфин, хлорангидриды кислот трехвалентного фосфора, белый фосфор. Поэтому неудивительно, что в последнее десятилетие наблюдалось быстрое развитие химии этого класса соединений и появилось много новых работ, которые требуют обобщения. В настоящем обзоре рассмотрены способы получения и свойства функционально-замещенных третичных фосфинов. Эти вопросы частично обсуждались в работах [1–5].

II. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ

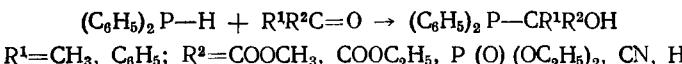
Функционально-замещенные третичные фосфиды могут быть получены из фосфинов, силилфосфинов, фосфидов, хлорангидридов кислот трехвалентного фосфора и таких производных, как фосфониевые соли, фосфиноксиды и фосфинсульфиды.

Наиболее общий способ получения — присоединение фосфинов со связью Р—Н к непредельным соединениям. Фосфин [1], первичные и вторичные фосфины [6—10] реагируют с альдегидами в нейтральной среде с образованием α -оксиалкилфосфинов. В реакцию вступают и галогенсодержащие альдегиды; так, из РН₃ и хлорала получен кристаллический *трист*(α -окси- β,β,β -трихлорэтил)фосфин [11]. В присутствии спиртов образуются α -алкоксиалкилфосфины [12].



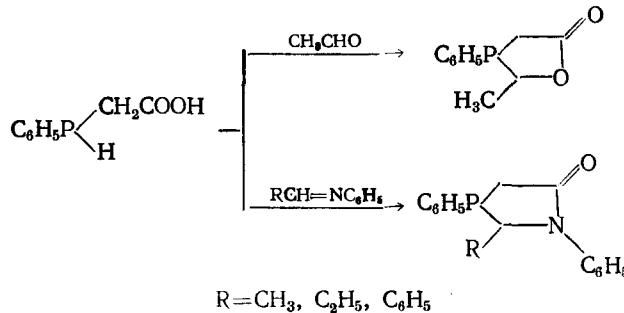
$\text{R}^1=\text{CH}_3, \text{C}_6\text{H}_5; \text{R}^2=\text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5, \text{изо-}\text{C}_3\text{H}_7, \text{C}_4\text{H}_9$

Кетоны реагируют подобно альдегидам. Заместители не оказывают влияния на направление реакции. С эфирами пироноградной кислоты получены α -карбалкокси- α -оксиэтилфосфины [13, 14]:

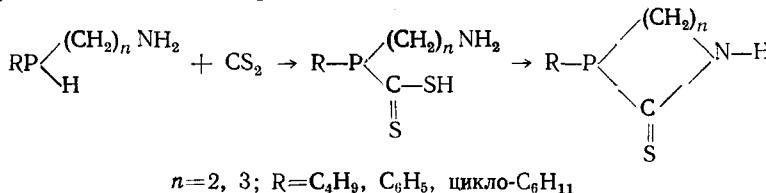


Описано присоединение фосфинов к тиобензофенону [15], азометинам [16], изоцианатам и карбодиимидам [17, 18]. При взаимодействии фенилфосфина с азометинами и бензальдегидом образуются N-замещенные 2,4,5,6-тетрафенил-1,3,5-оксазафосфораны [19].

Присоединение первичных и вторичных фосфинов к винилсульфториду [20], винилсульфонам [21], винилсиланам [22, 23], винилфосфинам [24], аллиламинам [25] и эфирам непредельных кислот [26] привело к соответствующим β - и γ -замещенным третичным фосфинам. В случае первичных фосфинов реакции протекают ступенчато и могут быть остановлены на первой стадии. Это дает возможность последовательно замещать атомы водорода на различные функциональные группы. Таким способом были получены 1,3-азафосфолан-5-оны и 1,3-оксафосфолан-5-оны [27, 28], 1,3-оксафосфоланы [29], 1,3-оксафосфораны [30] и 1,3-азафосфенаны [31], например:



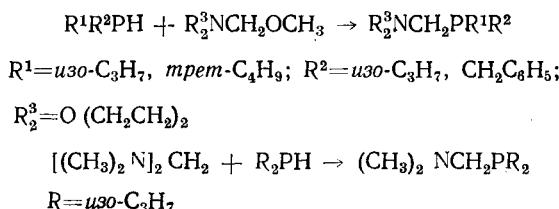
Введение сероуглерода в реакции с аминоалкилфосфинами позволило получить 1,3-азафосфоланы и 1,3-азафосфораны с тиокарбонильными группами в цикле [32].



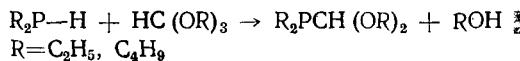
Присоединением фосфинов к кетенам и оксетану получены соответственно ацилфосфины [33] и γ -оксипропилфосфины [34].

Функционально-замещенные третичные фосфины могут быть получены из фосфинов также с помощью реакции замещения. Аминометилирование фосфинов алкоксиметиламиналами и диаминометанами дало

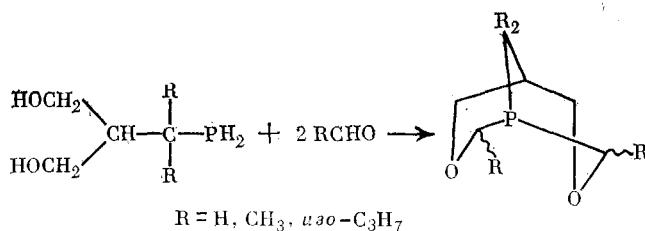
аминометилфосфины [35—37].



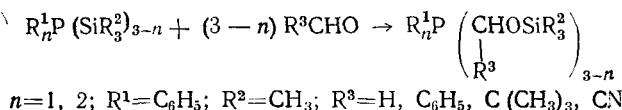
Вторичные фосфины реагируют с *ортоп*-формиатами в присутствии BF_3 , при 20° с образованием фосфиноформалей [38].



При взаимодействии альдегидов с первичным фосфином, содержащим две β -оксигруппы, получены 3,7-диокса-1-fosфабицикло [3,3,1] nonаны [39].

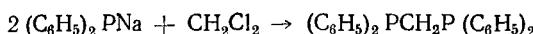


Для получения функционально-замещенных третичных фосфинов широко используются силилфосфины. Как и фосфины, содержащие связь Р—Н, силилфосфины вступают в реакции с карбонильными соединениями, образуя силоксиалкилфосфины [40—42].

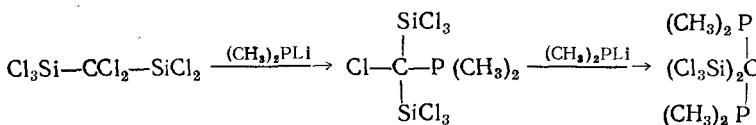


Силилдиорганилфосфины в реакциях с хлорангидридами карбоновых кислот дают ацилфосфины [40, 43—45]. Триметилсилилфенил присоединяется к карбодиимидам [18] и замещает атом хлора в дихлормалеиновом эфире [46].

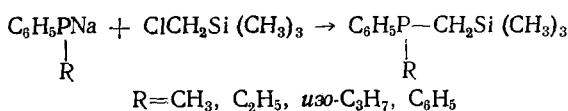
В реакциях с галогенсодержащими соединениями вместо силилфосфинов можно использовать фосфиды металлов. Из фосфida натрия и эфиров хлоругольной кислоты получены трикарбалоксифосфины [47], а из фенилфосфидов лития и трифторминилгалогенидов образуются в незначительных количествах трифторминил замещенные фосфины [48]. Фенил- и метилфосфиды лития или натрия с 3-хлорпропилдифенилфосфином дают γ -дифосфины [49]. При взаимодействии дифенилфосфida натрия с хлористым метиленом образуется тетрафенилметилдифосфин [50].



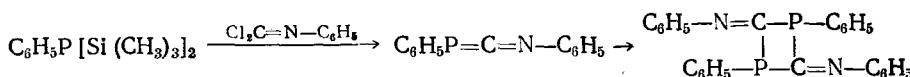
Исходя из диметилфосфида лития получен диметил-*бис*(α -трихлорсилил)- α -хлорметилфосфин, который обладает большими возможностями для дальнейших превращений. Замещение в нем подвижного атома хлора открывает путь к новым производным третичных фосфинов [51].



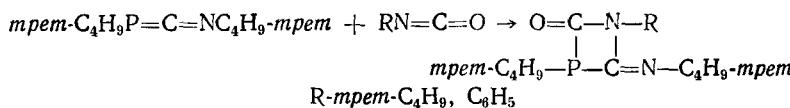
Наряду с перечисленными выше электроноакцепторными заместителями, использование фосфидов металлов позволило ввести в α -положение к атому фосфора электронодонорную триметилсилилметильную группу [52].



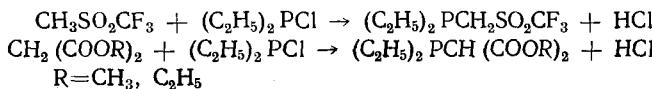
Одним из способов получения функционально-замещенных гетероциклических фосфинов является димеризация соединений двухкоординированного атома фосфора. Взаимодействие дисилилфосфинов с сероуглеродом [53] или фенилизоцианиддиоксидом [54], силилфосфидалития с карбонильными соединениями [55], дисилилфосфинов и первичных фосфинов с кетонами и диметилформамидом [56] приводит к образованию соединений с двухкоординированным атомом фосфора, которые димеризуются в 1,3-дифосфациклогубутаны.



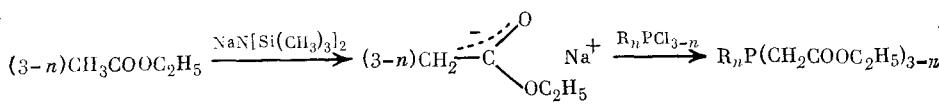
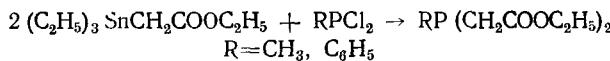
Циклоприсоединение изоцианатов к «карбоимидоfosфену» дает 1,3-азаfosфетидины с имино- и карбонильной группами [57].



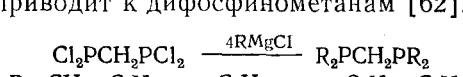
Хлорангидриды кислот трехвалентного фосфора легко вступают в реакции с соединениями, имеющими подвижный атом водорода или с металлоганическими соединениями. Отщепление хлористого водорода триэтиламином наблюдали при фосфорилировании диалкилхлорфосфатами трифторметилсульфона и эфиров малоновой кислоты [58, 59].



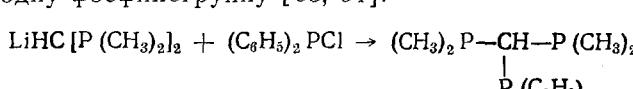
При этом были получены третичные фосфины с трифторметилсульфонильной и аллоксикарбонильными группами. Последние образуются также при фосфорилировании эфиров триэтилстанилуксусной кислоты [60] и натриевых производных эфиров карбоновых кислот, имеющих енолятное строение [61].



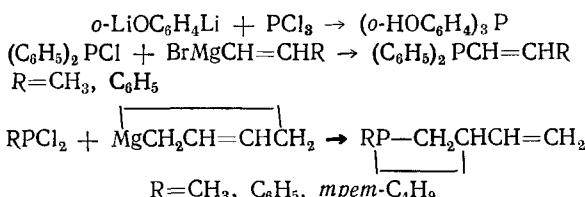
Взаимодействие тетрахлорметилендиfosфина с магнийорганическими



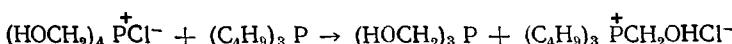
Фосфорилирование лигативных производных этих соединений позволяет проводить фосфориметрический анализ.



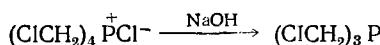
Из металлоганических соединений и хлоридов фосфора также получены *бис*- и *трис*(*o*-оксифенил)фосфины [65], фосфорсодержащие алкены [66] и 2-винилфосфиран [67].



Важное значение имеют способы получения функционально-замещенных третичных фосфинов из соответствующих производных пятивалентного фосфора — фосфониевых солей, фосфиноксидов и фосфинсульфидов. Расщепление *тетракис*(оксиметил)фосфониевых солей основаниями дает *трикс*(оксиметил)фосфин [1, 68]. В качестве оснований могут быть использованы третичные фосфина [69].

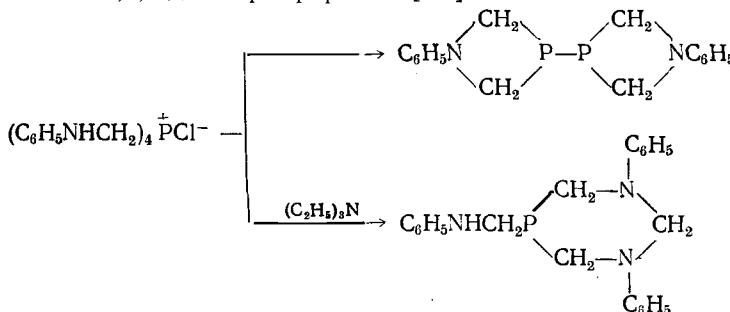


При действии на *tetrakis*(хлорметил)fosфонийхлорид щелочью выделяется *tris*(хлорметил)fosфин [70].

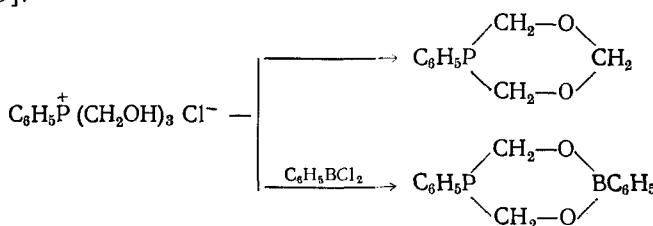


Из метилкарбаматных производных фосфониевых солей получены метилкарбаматные производные *tris*(оксиметил)fosфина [71].

При диспропорционировании фосфониевых солей образуются различные продукты, в том числе и функционально-замещенные третичные фосфины. Кипячение *тетракис*(анилинометил)фосфонийхлорида в этаноле приводит к образованию 1,1'-дифенил-1,1'-диаза-3,3'-дифосфетидина [72], в то время как обработка его триэтиламином дает 1,3-дифенил-5-анилинометил-1,3,5-диазафосфоринан [73].

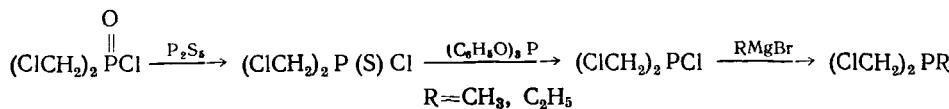


2,5-Дифенил-1,3,2,5-диоксаборафосфоринан получен нагреванием *tris*(оксиметил)фенилфосфонийхлорида с фенилдихлорбораном [74]. В отсутствие фенилдихлорборана образуется 5-фенил-1,3,5-диоксаборафосфоринан [75].



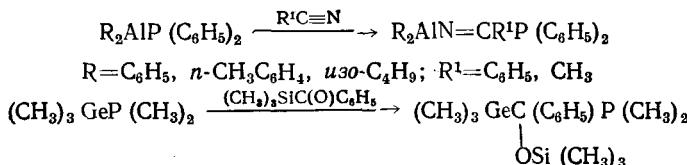
Имеются примеры восстановления окисей фосфинов, содержащих функциональные группы. Таким путем были получены многочисленные ароматические третичные фосфины, содержащие окси-, циан-, карбальлоксигруппы, формильную группу и другие заместители в *ortho*-, *мета*- и *пара*-положениях ароматического ядра [76, 77]. В качестве восстанов-

вителя использовался трихлорсилан. Оксиды могут быть предварительно переведены в сульфиды с последующим удалением серы при действии трифенилфосфитом [78].



В связи с этим представляют интерес в качестве объектов для восстановления продукты присоединения гипофосфористой кислоты к непредельным соединениям [79, 80], а также окиси третичных фосфинов с нитро- [81], амино- [82, 83], фенокси- [84] и карбалкоксигруппами [5], особенно получаемые на основе белого фосфора [85].

В дополнение к рассмотренному выше, следует обратить внимание на возможность получения функционально-замещенных третичных фосфинов присоединением алюмофосфинов [86] и гермилфосфинов [87] к непредельным соединениям.

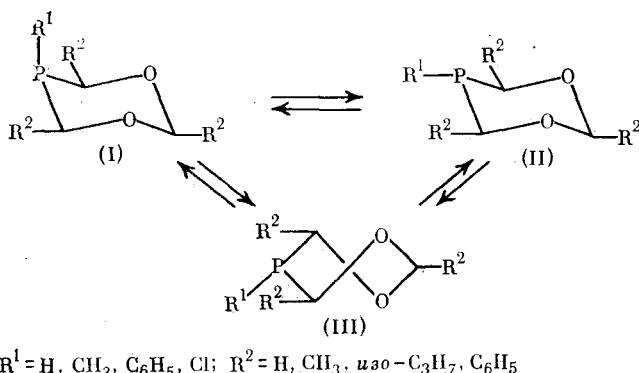


Последняя реакция идет с перегруппировкой.

III. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

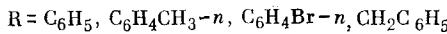
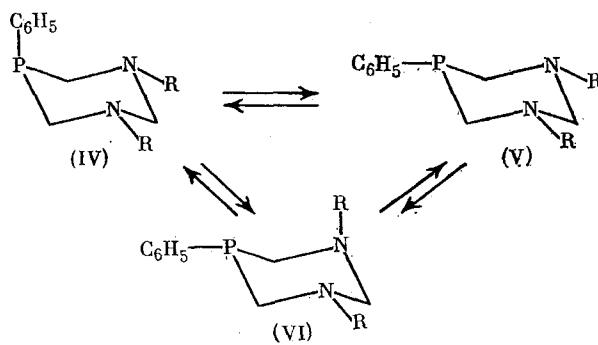
Функционально-замещенные третичные фосфины содержат две или более группировки, способные взаимодействовать друг с другом. Это взаимодействие должно приводить к появлению особенностей в строении и реакционной способности соединений. Наиболее чувствительны к взаимному влиянию атомов положение равновесия между конформерами или стереоизомерами и геометрические характеристики молекул.

В работах [88—97] изучено равновесие между конформерами для незамещенных или стереоизомерами для замещенных 1,3,5-диоксифоринанов.



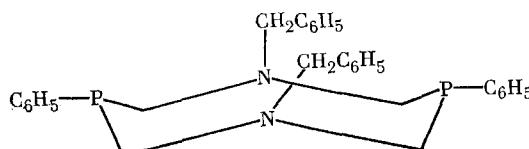
Содержание формы (I) в равновесии (I) \rightleftharpoons (II) при $R^1=C_6H_5$, равно 72 и 86% для $R^2=H$ и CH_3 , соответственно. В случае 1-фенилфосфоринана [98], 1-фенил-4-трит-бутилфосфоринана [99] и 1-фенилфосфоринанонов-4 [100—102] оно составляет 30—40%. Сравнение показывает, что замена группы CH_2 на атом кислорода смещает равновесие в сторону формы (I). Этот эффект говорит о существовании взаимодействия между гетероатомами и аналогичен наблюдаемому в гетероциклах с фрагментом $N-C=O$ [103—105].

В работах [106, 107] изучено равновесие между конформерами N,N-дизамещенных 5-фенил-1,3,5-диазафосфоринанов.



В случае арильных заместителей на атомах N в равновесии отсутствует конформер (VI). Содержание формы (IV) в равновесии (IV) \rightleftharpoons (V) составляет 24, 34 и 0% для $R = C_6H_5$, $C_6H_4CH_3-n$ и C_6H_4Br-n соответственно. 1,3-Дибензил-5-фенил-1,3,5-диазафосфоринан представляет собой смесь конформеров (V) и (VI) (64 : 36). Это подтверждено рентгеноструктурным исследованием [107]; оказалось, что в кристаллическом состоянии соединение имеет конформацию кресла с аксиальной ориентацией бензила на одном из атомов N. По положению равновесия между конформерами 1,3-дибензил-5-фенил-1,3,5-диазафосфоринан мало отличается от 1,3-диметил-1,3-диазана (40% формы с аксиальной ориентацией метила [104]). Отсюда следует, что в 1,3,5-диазафосфоринанах имеется взаимодействие между атомами N, но атом P в этом взаимодействии не участвует.

В случае 1,5-диаза-3,7-дифосфациклооктанов не имеется конкурирующих взаимодействий, что позволяет решить вопрос о взаимном влиянии атомов в системе P—C—N. По данным рентгеноструктурного анализа [108], 1,5-дибензил-3,7-дифенил-1,5-диаза-3,7-дифосфациклооктан существует в конформации короны. Координация атомов P и N тригонально-пирамидальная (суммы валентных углов 297 и 343° соответственно). Положение фенилов при атомах P псевдоэкваториальное, а бензилов при атомах N-псевдоаксиальное.



Псевдоаксиальная ориентация заместителей у атомов N может рассматриваться как следствие взаимодействия между гетероатомами в системе P—C—N; оно аналогично наблюдаемому в системе N—C—N [103—105].

По одной из концепций [109], взаимодействие между гетероатомами в системах N—C—O и N—C—N, стабилизирующее аксиальную ориентацию заместителя у атома N, представляет собой перенос электронной плотности с орбитали неподеленной электронной пары атома азота на свободную орбиталь связи C—O или C—N. С этой точки зрения электронные смещения в системах P—C—O и P—C—N должны иметь разный характер, так как они стабилизируют аксиальную ориентацию в первом случае заместителя у атома P, а во втором — заместителя у атома N.

Влияние взаимодействия групп в функционально-замещенных третичных фосфинах может проявляться не только в положении конформационного равновесия или равновесия между стереоизомерами, но и в других характеристиках молекулы: длинах связей, валентных углах, дипольных моментах, параметрах спектров ЯМР и т. п. В этой связи представляют интерес 2,6,7-триокса-4-фосфабицик-

ло[2,2,2]октаны. Имеются данные рентгеноструктурного исследования бициклического тиофосфата $S=P(OCH_2)_3P$ и его производных [110], а также комплекса $P(OCH_2)_3P \cdot Fe(CO)_5 \cdot P(OCH_2)_3P$ [111]. Длины связей $P-C$ и валентные углы при атомах P в этих соединениях близки к нормальным. Экспериментальные дипольные моменты $P(CH_2O)_3P$ (3,10 Д) и $P(CH_2O)_3As$ (1,58 Д) хорошо согласуются с рассчитанными (2,94 и 1,49 Д, соответственно) [112]. Спектры ПМР соединения $P(CH_2O)_3P$, некоторых аналогичных бициклических соединений и их производных рассмотрены в работах [113—116]. Значения констант спин-спинового взаимодействия $^2J_{PN}$ для всех соединений P^{III} близки к ожидаемым; обнаружить отклонения в случае 2,6,7-триокса-4-фосфабицикло[2,2,2]октанов не удалось.

Данные рентгеноструктурного анализа 1,3,5-триаза-7-фосфаадаманта и его производных приведены в работах [117, 118]. Длины связей $C-N$ и углы при атомах N близки к нормальным. Имеются заметные различия в длинах связей $P-C$ и отклонения их от обычного значения (1,841 Å). Однако найти корреляцию между наблюдаемыми изменениями и взаимодействием гетероатомов не представляется возможным.

Такая корреляция предполагается в случае 1,5-дibenзил-3,7-дифосфациклооктана [108] и 1,3-дibenзил-5-фенил-1,3,5-диазафосфорина [107]. Уменьшение длин связей $C-N$ (в среднем 1,452 Å) и увеличение длин связей $P-C$ (в среднем 1,888 Å) для первого соединения, а также уменьшение длины связи $C-N$ до 1,424 Å во втором соединении могут быть объяснены переносом электронной плотности с орбитали неподеленной пары электронов атома N на свободные орбитали связей $P-C$ и $C-N$ соответственно. В тетрафенил-1,5-диаза-3,7-дифосфациклооктане [119] внутрициклические длины связей совпадают с найденными для 1,5-дibenзил-3,7-дифенил-1,5-диаза-3,7-дифосфациклооктана [108].

Помимо рассмотренных выше, имеются данные рентгеноструктурного анализа для 2,4-ди-*трет*-бутил-2,4-бис(триметилсилокси)-1,3-дифосфетана [120], фосфоранонов-4 [121, 122] и комплексов *tris*(β-цианэтил)фосфина [123]. Изучены колебательные спектры ацилфосфинов [124]. В жидкой фазе они существуют в виде одного конформера, имеющего плоскость симметрии. Значительное снижение барьеров пирамидальной инверсии атома фосфора в ацилфосфинах по сравнению с третичными фосфинами объяснено сопряжением неподеленной пары электронов атома P с группой $C=O$ в плоском переходном состоянии [125].

IV. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Функционально-замещенные третичные фосфины вступают в реакции окисления и присоединения по атому P , которые являются типичными для третичных фосфинов. При этом получаются оксиды, сульфиды, селениды, фосфониевые соли и другие производные третичных фосфинов. Влияние функциональных групп проявляется в изменении скорости реакции и устойчивости образующихся продуктов [1]. Кроме того, для этих соединений существует ряд характерных реакций, обусловленных наличием функциональных групп; это реакции замещения при действии электрофильных или нуклеофильных реагентов, прототропная фосфор-углеродная диадная таутомерия и перегруппировки.

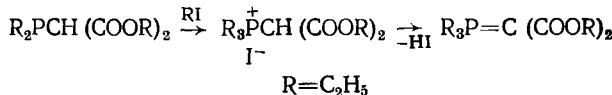
1. Реакции с электрофильными реагентами

Введение электроноакцепторных заместителей приводит к появлению новых путей распада первоначально образующегося фосфониевого соединения; они связаны с положением подвижного атома водорода в молекуле. Если подвижный атом H находится в α -положении к атому P , фосфониевое соединение может стабилизироваться отщеплением его в виде протона и аниона, переходя в илид. При подвижном атоме H в β -положении к атому P может происходить перенос протона из этого положения на анионный центр молекулы с разрывом связи $P-C$. В результате фосфониевое соединение будет распадаться на ненасыщенное

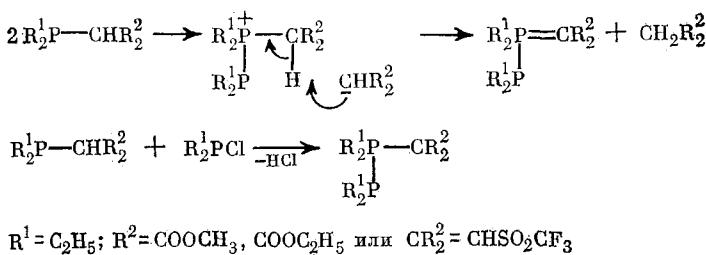
соединение и новый третичный фосфин. В обоих случаях возможна конкурентная реакция по нуклеофильному центру функциональной группы. Конкурентные реакции имеют место в анионах функционально-замещенных третичных фосфинов.

а) Фосфины с подвижным α -атомом водорода

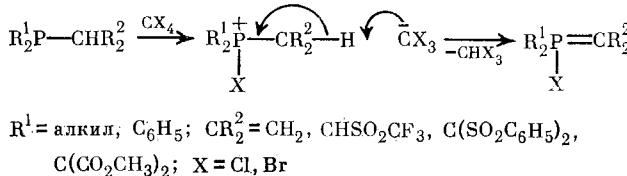
Стабилизацию фосфониевого соединения отщеплением протона от α -атома углерода с образованием илидов фосфора наблюдали в реакции диэтилдикарбэтоксиметилфосфина с иодистым этилом в присутствии триэтиламина [126].



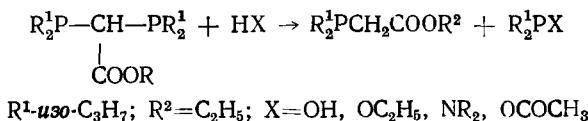
Илиды получаются при диспропорционировании диэтилдикарбоксиметилфосфинов и диэтилтрифторметилсульфонилметилфосфина [127, 128], а также при взаимодействии их с диэтилхлорфосфином в присутствии триэтиламина [129].



Аналогично протекают реакции этих соединений с тетрагалогенидами углерода [130, 131].



Активация молекулы за счет образования водородных связей функциональной группой может приводить к отщеплению фосфиногруппы при нуклеофильной атаке. Подобное наблюдалось в случае взаимодействия эфиров дифосфинозамещенных уксусных кислот с соединениями, имеющими подвижный атом водорода [132].

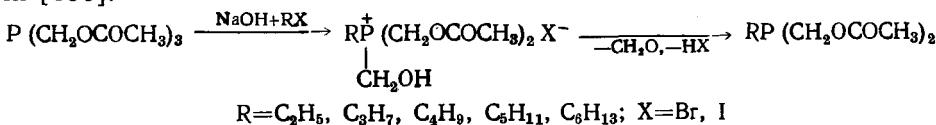


Таким образом, для фосфинов, имеющих подвижный α -атом водорода, характерны реакции электрофильного замещения, приводящие к повышению координационного числа атома фосфора.

б) Фосфины с подвижным β -атомом водорода

Имеются многочисленные примеры распада фосфониевых производных с отщеплением протона из β -положения и выделением непредельного соединения, в результате чего образуется третичный фосфин. Так, при действии алкилгалогенидов на *tris*(оксиметил)фосфин осуществлено замещение оксиметильных группировок алкильными [133]. Ана-

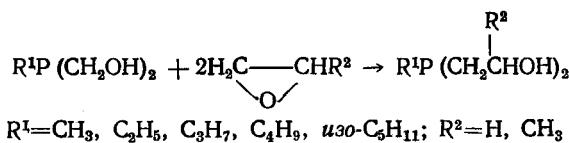
логично реагирует и *трист*(ацетоксиметил)fosфин в присутствии щелочи [134].



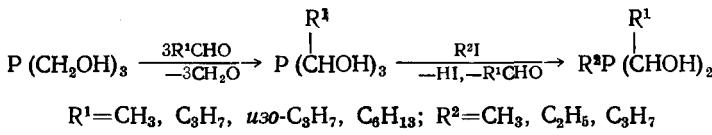
Наряду с алкилгалогенидами был использован диметилсульфат [135]. В последнем случае взаимодействие фосфониевой соли с хлористоводородной кислотой ведет к образованию окисей хлорметилfosфинов [136].

трист(оксиметил)fosфин [137], а также *бис*(оксиметил)fosфины [138] образуют с нитрилом акриловой кислоты в нейтральной среде соответствующие β -цианэтилfosфины. Аналогично протекает реакция *трист*(оксиметил)fosфина с эфирами акриловой кислоты [139]. В водно-спиртовой среде β -цианэтилfosфины превращаются в β -карбалкоксиэтилfosфины [140].

Продукты замещения получены в реакциях алкил-*бис*(оксиметил)fosфинов с α -окисями [141, 142].

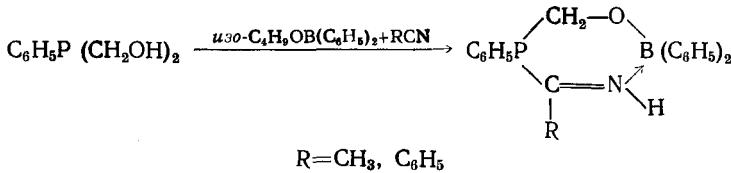


Заключение о существовании межмолекулярного обмена оксиметильными группами в случае *трист*(оксиметил)fosфина было сделано на основании изучения температурных изменений в спектрах ЯМР [143—145]. Возможность подобной реакции подтверждена выделением *трист*(α -оксиалкил)fosфинов при взаимодействии *трист*(оксиметил)fosфина с алифатическими альдегидами [146].



Полученные таким образом оксиалильные производные fosфинов вступают в реакцию с алкилгалогенидами. После обработки продуктов триэтиламина выделены соответствующие алкил-*бис*(α -оксиалкил)fosфины, которые получаются также из алкил-*бис*(оксиметил)fosфинов и альдегидов [146].

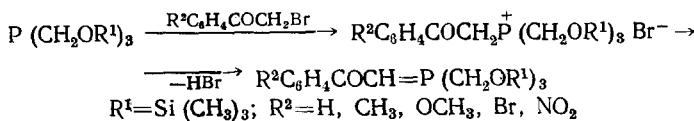
Оксиметильные группы вытесняются также при взаимодействии с непредельными кетонами [147, 148]. Реакцией фенил-*бис*(оксиметил)fosфина с изобутиловым эфиром дифенилборной кислоты в присутствии нитрилов получены имидоилfosфины [149].



В отсутствие нитрилов образуется 2,2,5-трифенил-5-оксиметил-2-борона-5-фосфона-1,3-диоксан [150].

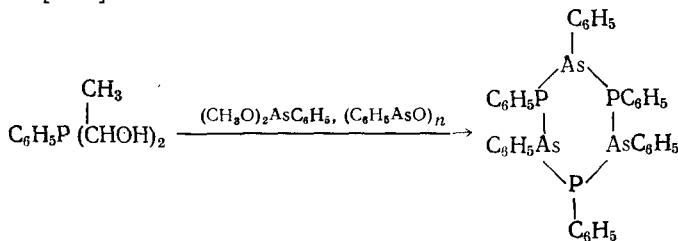
трист(оксиметил)fosфин реагирует с α -бромметиларилкетонами с образованием бромидов ароилметил-*трист*(оксиметил)fosфония. При разложении их *трист*(оксиметил)fosфином происходит циклизация в 4-арил-1-фосфа-3,5-диоксабицикло[2.2.1]гептана [151]. Иначе протекает реакция *трист*(триметилсилоксиметил)fosфина с α -бромметиларилкетонами; при добавлении триэтиламина отщепляется бромистый

водород с образованием илидов [152].



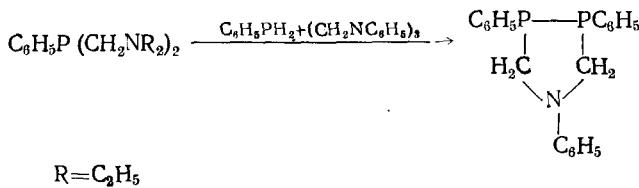
В первом случае реакция идет с участием β -атома, а во втором — α -атома водорода.

Имеются примеры замещения оксиалкильных групп элементоорганическими радикалами. При взаимодействии *бис*(α -оксиэтил)фенилфосфина с фениларсиноксидом или диметиловым эфирем фенилмышьяковистой кислоты получен гексафенил-1,3,5-трифосфа-2,4,6-триарсациклогексан [153].



Аминометильные группы также способны замещаться на органические и элементоорганические радикалы. При взаимодействии 1,3-ди-*пара*-толил-5-*пара*-толуидинометил-1,3,5-диазафосфоринана с иодистым метилом вместо продукта присоединения выделен один из продуктов симметризации — иодистый 1,3-ди-*пара*-толил-5,5-диметил-1,3,5-диазафосфониаринан, имеющий два метильных радикала у атома фосфора [154]. В работе [155] при действии иодистого метила на морфолинометилдизопропилфосфин получили продукт с двумя аминометильными группами у атома фосфора. В совокупности эти две реакции дают оба продукта симметризации.

При нагревании *бис*(диэтиламинометил)фенилфосфина с фенилфосфином выделяются метилдиэтиламин и диэтиламин с образованием $(\text{C}_6\text{H}_5\text{P})_5$ и $(\text{C}_6\text{H}_5\text{P})_4\text{CH}_2$ [156]. В присутствии 1,3,5-трифенил-1,3,5-триана получается 1,3,4-трифенил-1,3,4-азадифосфолан [157].



трист(β -Цианэтил)фосфин с иодистым метилом также дает продукты замещения [158].

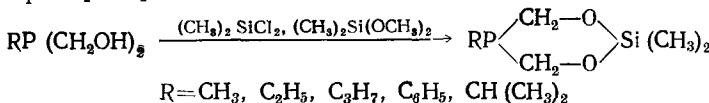
Интересным случаем электрофильного замещения являются реакции *трист*(оксиметил)фосфина, приводящие к соединениям с двухкоординированным атомом фосфора. Так, получены фосфацианины [159] и 2,4,6-трифенилфосфабензол [160].

трист(Триметилсилилоксиметил)фосфин, не имеющий подвижных атомов водорода, при взаимодействии с PCl_5 и HCl дает *трист*(триметилсилилоксиметил)дигалогенфосфоран [161].

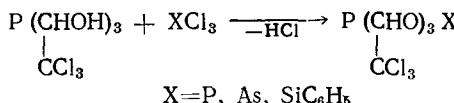
Для фосфинов, имеющих подвижный β -атом водорода, весьма характерны реакции по функциональной группе. Легко протекает взаимодействие алкил-*бис*(оксиметил)фосфинов с фенил- и *m*-хлорфенилизоцианатами, приводящее к алкил-*бис*(ариламинокарбонилоксиметил)фосфинам [162]. Алкил-*бис*(оксиметил)фосфины энергично реагируют и с дизоцианатами, образуя полиуреты [163]. Помимо изоцианатов, в качестве органических электрофилов использовались карбонильные соединения. Нагреванием фенил-*бис*(оксиметил)фосфина или

tris(оксиметил)fosфина в смеси уксусной кислоты и уксусного ангидрида получены соответствующие ацетаты [6, 134]. При взаимодействии фенил-*бис*(α -оксиалкил)fosфинов с альдегидами образуются 1,3,5-диоксафосфорианы [95]. Нагревание *tris*(оксиметил)fosфина с триметилортотоформиатом или триметилортотоацетатом привело к получению триоксафосфабицикло[2,2,2]октановых производных [164, 165].

Элементоорганические электрофилы также могут реагировать по функциональной группе. Проведено силилирование *tris*(оксиметил)fosфина [166, 167] и алкил-*бис*(оксиалкил)fosфинов [168]. Вместо триметилхлорсилана могут быть использованы триэтилхлорсилан и гексаметилдисилазан. Использование диметилдихлорсилана и диметилдиметоксисилана привело к образованию 1,3,2,5-диоксасилафосфорианов. В первом случае реакция протекает в эфире в присутствии триэтиламина, во втором — при кипячении в толуоле в присутствии метилата натрия [169].

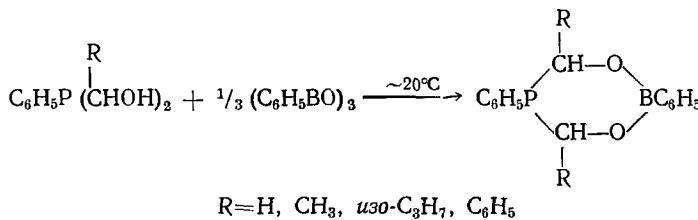


Взаимодействием *tris*(оксиметил)fosфина с триметилфосфитом, триметиларсенитом и метилтрихлорсиланом получены 2,6,7-триокса-1,4-диоксафобицикло[2,2,2]октан [170] и его мышьяковый и кремневый аналоги [171, 172]. Реакции *tris*(α -окси- β, β, β -трихлорэтил)fosфина с PCl_3 , AsCl_3 и $\text{C}_6\text{H}_5\text{SiCl}_3$ в присутствии триэтиламина приводят к образованию бициклических соединений [173].



Фенил-*бис*(β -оксиэтил)fosфин реагирует с метилдихлорфосфином, давая 1,3-диокса-2,6-диоксафобициклооктан [174].

Еще одним типом элементоорганических электрофилов, которые в мягких условиях взаимодействуют с функциональной группой, являются производные борных кислот. Изобутиловый эфир дифенилборной кислоты с фенил-*бис*(оксиметил)fosфином дает продукт переэтерификации [175]. С диэтиловым эфиром или ангидрилом фенилборной кислоты получены 1,3,2,5-диоксаборафосфорианы [176, 177].

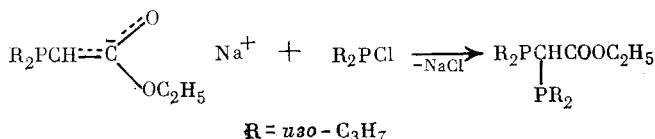


В отличие от фосфинов с подвижным α -атомом водорода, для фосфинов, имеющих подвижный β -атом водорода, характерны реакции электрофильного замещения, протекающие без изменения координационного числа атома фосфора.

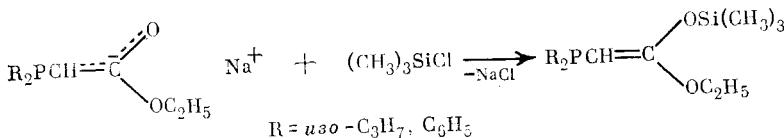
в) Фосфинсодержащие анионы

Функционально-замещенные третичные фосфины с подвижным α -атомом водорода при обработке основаниями дают фосфинсодержащие карбанионы. Эти анионы могут реагировать с хлорсодержащими электрофилами как по атому углерода, так и по атому фосфора. Если функциональная группа содержит карбонил, то реакция может идти и по атому кислорода карбонильной группы. Замещение по атому углерода наблюдали для анионов фосфинозамещенных эфиров уксусной

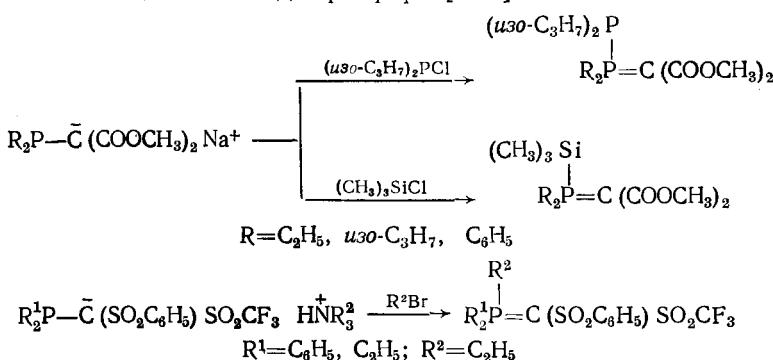
кислоты при действии на них диизопропилхлорfosфином [178].



При обработке того же соединения триметилхлорсиланом получили продукт замещения по атому кислорода [179].



Замещение по атому фосфора характерно для *бис*(карбалкокси)метилфосфинов и трифторметилсульфонилметилфосфинов. В первом случае были получены Р—Р- и Р—Si-замещенные илиды [180], а во втором — алкилзамещенные илиды фосфора [181].



Электроноакцепторные заместители стабилизируют группу $\text{--}\overset{\text{+}}{\text{P}}\text{--CR}_2$; их накопление повышает термодинамическую устойчивость продукта замещения по атому фосфора и направляет реакцию в сторону его образования.

Изучение реакций с электрофильными реагентами показывает, что имеется аналогия в поведении третичных фосфинов, несущих подвижный атом водорода, и первичных или вторичных фосфинов. Для последних также характерно замещение у атома Р (примеры таких реакций даны при описании способов получения функционально-замещенных третичных фосфинов). Аналогия основана на способности фосфониевых солей, полученных из всех трех типов соединений, стабилизироваться путем переноса протона на отрицательный центр электрофила. Такой способ стабилизации родственен наблюдаемому в реакциях эфиров кислот Р^{III} с электрофильными реагентами [182], что указывает на большие синтетические возможности рассмотренных реакций. Следует подчеркнуть, что атом Р часто не препятствует протеканию реакций с электрофилами также и по функциональной группе.

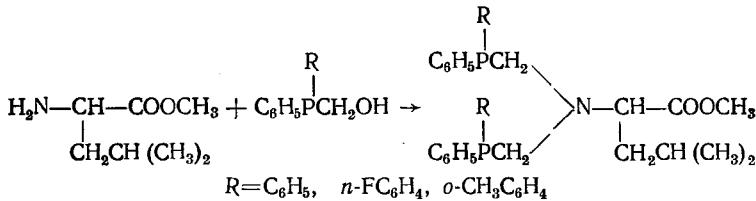
2. Реакции с нуклеофильными реагентами

Электрофильным центром в молекулах третичных фосфинов является атом углерода при атоме фосфора. Введение электроноакцепторных заместителей должно повышать его активность. Уходящими группами могут быть как заместитель, так и фосфиногруппа.

Нуклеофильное замещение у атома углерода наиболее широко изучено для окси- и аминометильных производных фосфинов. В качестве нуклеофильных реагентов использовались первичные, вторичные и

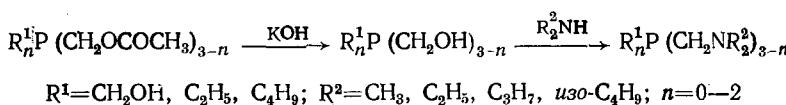
третичные амины. При этом получены разнообразные линейные и циклические продукты.

Реакции оксиалкилфосфинов с первичными и вторичными аминами идут с выделением тепла и приводят к продуктам замещения гидроксильных групп на аминогруппы. Из фенил-бис(оксиметил)фосфина и диэтиламина получен фенил-бис(диэтиламинометил)фосфин [183]. Эфиры аминокислот при обработке их оксиметильными производными вторичных фосфинов дали производные фосфорсодержащих аминокислот [184].

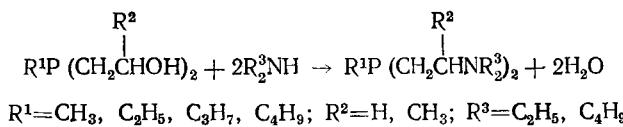


При взаимодействии оксиметильных производных вторичных фосфинов с аммиаком и гидразином получены *трист*(фосфинометил)амины, *трист*(фосфинометил)гидразин и *тетракис*(фосфинометил)гидразин [185]. Реакции *трист*(оксиметил)фосфина с вторичными хиральными аминами и оксиметильных производных вторичных фосфинов с первичными хиральными аминами протекали аналогично с образованием хиральных *трист*(аминометил)фосфинов и *N,N*-бис(фосфинометил)аминов соответственно [186].

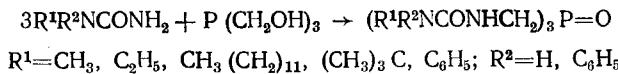
Показано, что аминометилфосфиины могут быть получены нагреванием ацетоксиметилфосфинов со вторичными аминами в метиловом спирте в присутствии щелочи [187].



β -Оксиэтилфосфиины реагируют с аминами в тех же условиях, что и оксиметилфосфиины. При добавлении вторичных аминов к алкил-бис(β -оксиэтил)фосфинам наблюдается экзотермическая реакция с образованием алкил-бис(β -диалкиламиноалкил)фосфинов [188].



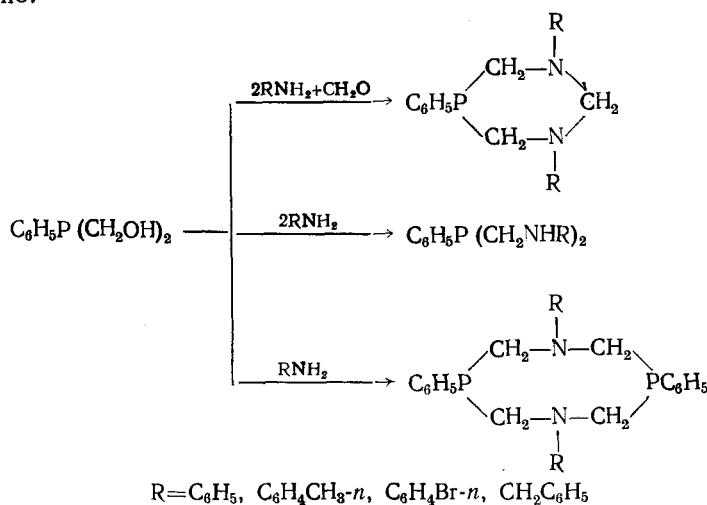
Мономерные продукты получены взаимодействием триоксиметилфосфина сmono- или дизамещенными мочевинами [189].



Окисление продукта связывают с присутствием формальдегида в реакционной смеси.

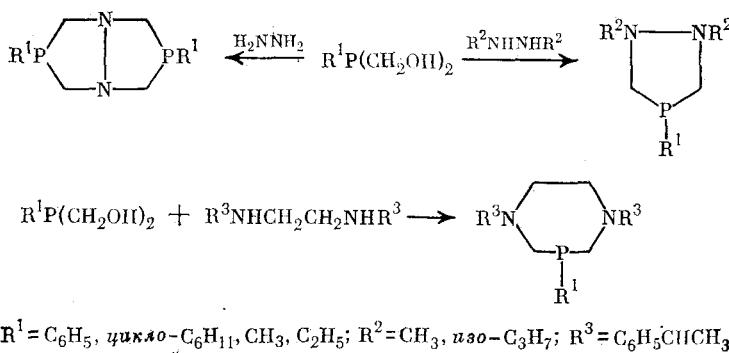
Большое внимание привлекли реакции фенил-бис(оксиметил)фосфина с первичными ароматическими аминами и с бензиламином. Они проводились в растворителе или без него, в присутствии или в отсутствие параформа, при различном соотношении реагентов [190—192]. Во всех случаях взаимодействие протекало с выделением тепла. Продукту, полученному в присутствии параформа и двух молей амина, приписано строение *N,N*-дизамещенного 5-фенил-1,3,5-диазафосфоринана, а продуктам, полученным в отсутствие параформа с двумя и одним молем амина — строение *N,N*-дизамещенных фенил-бис(аминометил)фосфинов и 3,7-дифенил-1,5-диаза-3,7-дифосфациклооктанов соот-

ветственно.

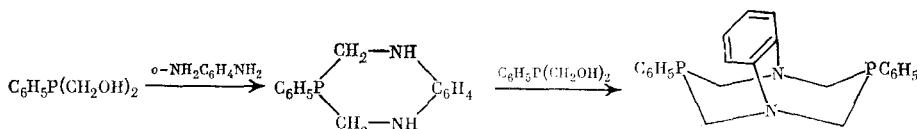


Аналогично протекали реакции с борными эфирами фенил-*бис*(оксиметил)fosfinina [193—197]. 1,5-Диаза-3,7-дифосфациклооктаны получены также из диолов, содержащих алифатические заместители у атома фосфора, и широкого набора аминов, включая алифатические [198].

Реакции *бис*(оксиметил)fosfinov с гидразином, замещенными гидразинами и этилендиамином в тех же условиях привели к получению новых гетероциклов [199, 200].

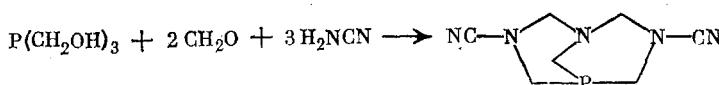


o-Фенилendiамин реагирует с фенил-*бис*(оксиметил)fosfinom только при нагревании, причем образуются 6,7-бензо-3-фенил-1,5-диаза-3-фосфепан и 9,10-бензо-3,7-дифенил-1,5-диаза-3,7-дифосфабицикло[3,3,2]декан [201].



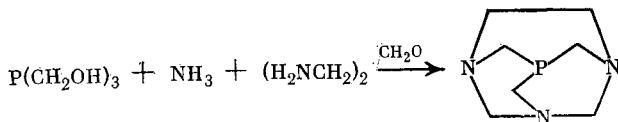
При соотношении реагентов 1 : 1 получается продукт первой стадии реакции.

Взаимодействием *трис*(оксиметил)fosfinina с формалином и цианамидом в присутствии фосфорной кислоты получен 3,7-дициан-3,5,7-триаза-1-фосфабицикло[3,3,1]нонан, который способен окисляться и присоединять иодистый метил по атому фосфора [202, 203].

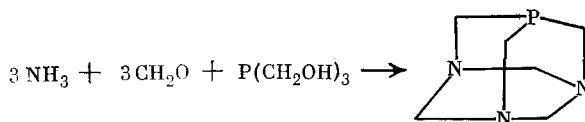


Реакция *трис*(оксиметил)fosфина с гексаметилентетрамином и формальдегидом (соотношение 1:1:4) привела к 1,3,5-триаза-7-фосфаадамантану [204, 205]. Это соединение присоединяет иодистый метил и пикриновую кислоту по одному из атомов азота [206, 207].

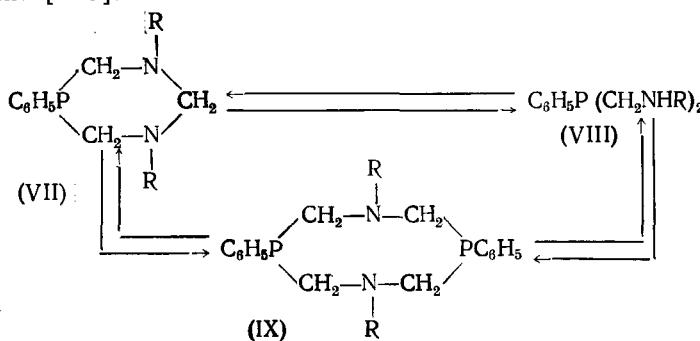
Описано получение следующего члена этой серии [208]. Триазафосфагомоадамантан образуется при взаимодействии этилендиамина и аммиака с *трис*(оксиметил)fosфином в избытке формальдегида.



В отличие от триазафосфаадамантана он не реагирует с иодистым метилом. 1,3,5-Триаза-7-фосфаадамантан получается также непосредственно из аммиака, формалина и *трис*(оксиметил)fosфина [209].

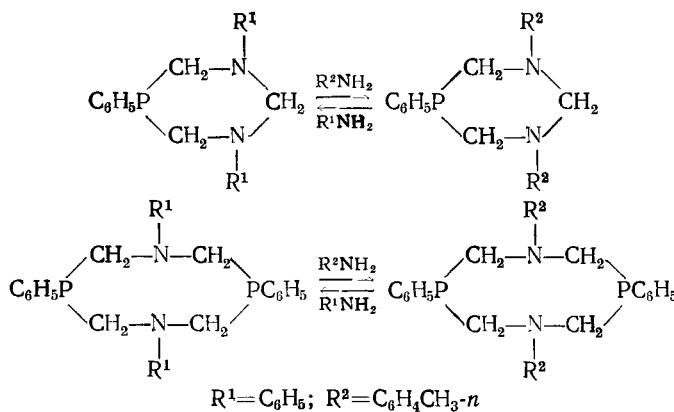


Не только окси-, но аминогруппы функционально-замещенных третичных fosфинов легко подвергаются нуклеофильному замещению. Так, показаны взаимные переходы аминометильных производных фенилfosфина [210].



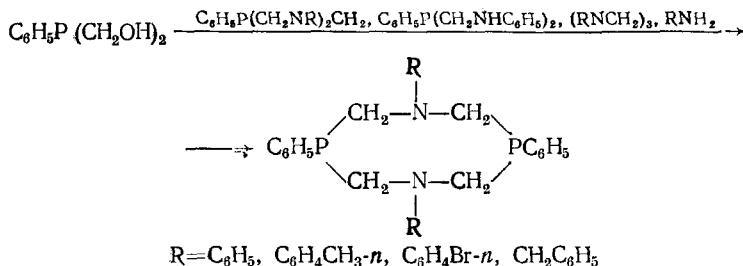
Соединения (VII) и (IX) переходят в (VIII) под действием аминов. Диазадифосфациклооктан (IX) получается из (VII) и (VIII) отщеплением, соответственно, азометинов или аминов. Присоединение азометинов к (VIII) и (IX) дает (VII). Эти реакции представляют собой нуклеофильное замещение одной аминогруппы на другую; они протекают в довольно мягких условиях.

Замещение одной аминогруппы на другую возможно и без изменения скелета молекулы [211].

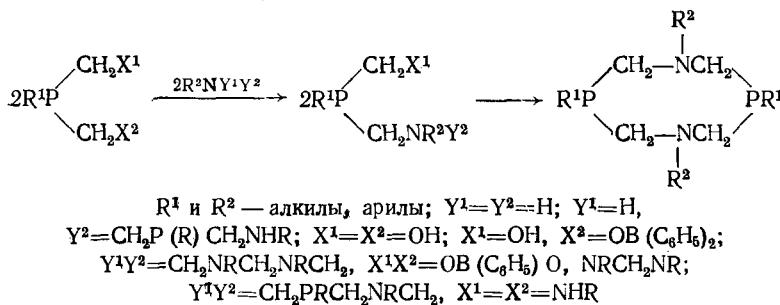


Переходы обратимы; направление реакции определяется условиями и растворимостью веществ.

Гидроксильную группу можно заменить на аминогруппу действием не только первичных и вторичных аминов, но и триазанов или аминометильных производных фосфинов. Так, фенил-бис(оксиметил)фосфин и его борные эфиры дают 1,5-диаза-3,7-дифосфациклооктаны как с первичными аминами, так и с 1,3,5-трифенил-1,3,5-триазаном, фенил-бис(анилинометил)фосфином или 5-фенил-1,3,5-диазафосфоринанами [212].

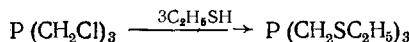


Многообразные способы получения 1,5-диаза-3,7-дифосфациклооктанов могут быть сведены в единую схему [212].

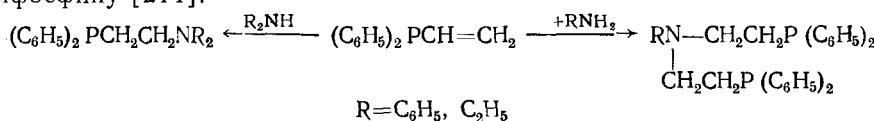


Реакции образования, переаминирования и взаимного превращения аминометильных производных фосфинов, представляющие собой нуклеофильное замещение у атома углерода фрагмента $\text{P}-\text{C}-\text{O}$ или $\text{P}-\text{C}-\text{N}$, протекают в более мягких условиях, чем аналогичные реакции спиртов, аминов и их производных. Это обусловлено участием фосфиногруппы во внутримолекулярных взаимодействиях. Из рассмотрения пространственных эффектов следует, что в системе $\text{P}-\text{C}-\text{O}$ электронная плотность смещается к атому кислорода, а в системе $\text{P}-\text{C}-\text{N}$ — к атому фосфора. Перенос электронной плотности облегчает нуклеофильную атаку. Уходящей в первом случае будет фосфиногруппа, а во втором — аминогруппа. Разрыв связи $\text{P}-\text{C}$ предполагается в реакциях диоксиалкилфосфиноксидов с аминами [213].

Взаимодействия окси- и аминометилфосфинов с нуклеофильными реагентами довольно хорошо изучены. Примеры таких реакций для других функционально-замещенных третичных фосфинов более редки. *трист*(Хлорметил)фосфин превращается в *трист*(этилмеркапто)фосфин под действием этилмеркаптана или этилмеркаптида натрия [70].



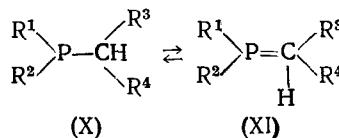
Описано присоединение первичных и вторичных аминов к дифенилвивилфосфину [214].



Амин атакует β -положение по отношению к атому фосфора.

3. Таутомерия

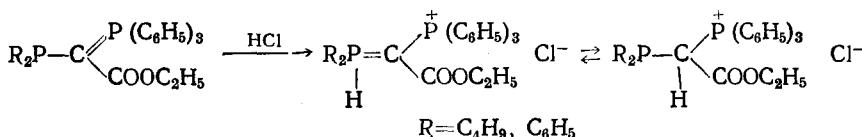
В случае функционально-замещенных третичных фосфинов, несущих подвижный атом водорода в α -положении, может наблюдаться прототропная таутомерия. Если в функциональной группе отсутствуют центры, способные стабилизировать протон, это будет диадная фосфор-углеродная таутомерия.



При наличии таких центров не исключены и другие виды таутомерии. Возможность таутомерии зависит главным образом от заместителей у атомов углерода и фосфора.

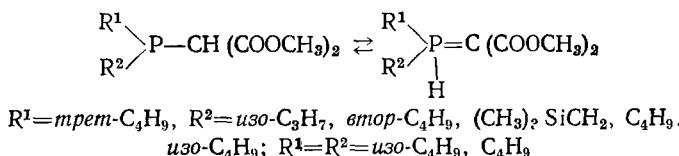
Изучение различных третичных фосфинов показало, что в случае алкильных и арильных заместителей у атома углерода они существуют в форме (X). Для стабилизации илидной формы необходимо введение сильно электроноакцепторных заместителей, таких как трифенилфосфониевые, аллоксикарбонильные и сульфонильные группы.

Присутствие двух трифенилфосфониевых групп полностью смещает равновесие в сторону формы (XI). В случае бутильных заместителей на атоме Р илид выделен в кристаллическом состоянии [215, 216]. Зависимость положения равновесия от заместителей при атоме Р обнаружена для соединений, содержащих трифенилфосфониевую и аллоксикарбонильную группы [217, 218].



Бутильные заместители стабилизируют илидную форму. Замена бутила на фенил приводит к установлению подвижного таутомерного равновесия, причем относительное содержание форм в растворе зависит от температуры и полярности среды. В трифторуксусной кислоте существует только форма (X). Замена карбонильной группы на тоцильную смещает равновесие в сторону илидной формы [219].

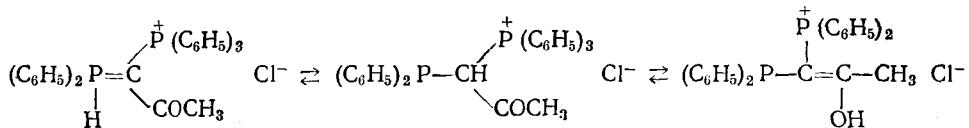
Диадная фосфор-углеродная таутомерия была также показана для диалкил-бис(метоксикарбонил)метилфосфинов [220—223].



При $\text{R}^1=\text{изо-} \text{C}_4\text{H}_9$ и $\text{R}^3=\text{изо-} \text{C}_3\text{H}_7$, втор- C_4H_9 , $(\text{CH}_3)_2\text{SiCH}_2$ соединения в кристаллическом состоянии находятся в илидной форме. При плавлении значительная часть илида превращается в третичный фосфин, который кристаллизуется снова в илидной форме. Соединения в растворе существуют как таутомерная смесь форм (X) и (XI). Положение равновесия зависит от температуры, природы растворителя, концентрации и характера заместителей у атома Р. Нагревание смещает равновесие в сторону формы (X). Объемистые заместители стабилизируют илидную форму и по своему влиянию располагаются в ряд: $\text{C}_5\text{H}_9 < \text{изо-} \text{C}_4\text{H}_9 < \text{изо-} \text{C}_3\text{H}_7 < \text{втор-} \text{C}_4\text{H}_9 < (\text{CH}_3)_2\text{SiCH}_2 < \text{трем-} \text{C}_4\text{H}_9$.

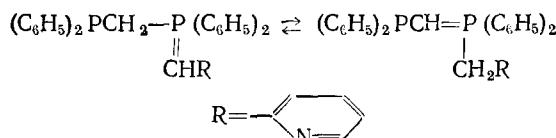
Рассмотренные выше замещенные третичные фосфины, несмотря на наличие карбонильных групп, проявляют только фосфор-углеродную диадную таутомерию. Фосфор-углеродная тетрадная таутомерия была обнаружена при замене в них карбонильной группы на ацетильную.

[217, 218].

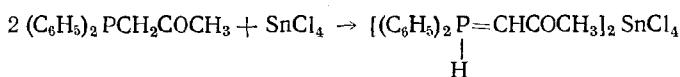


Этот вид таутомерии включает в себя диадную фосфор-углеродную и кетоенольную таутомерию.

Введение илидной группы в качестве заместителя в молекулу третичного фосфина приводит к переходу подвижного атома водорода в эту группу. Процесс может быть как обратимым, так и необратимым [224].



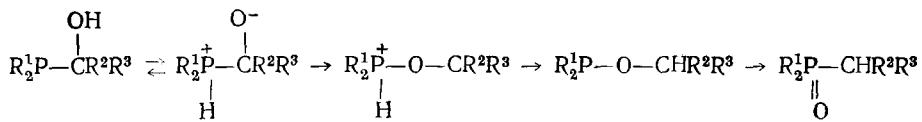
Переход протона на атом Р обнаружен в дифенилацетонилфосфине под действием хлорного олова [225].



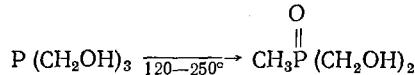
Обнаружение прототропной фосфор-углеродной диадной таутомерии подчеркивает сильное влияние заместителей на свойства третичных фосфинов.

4. Перегруппировки

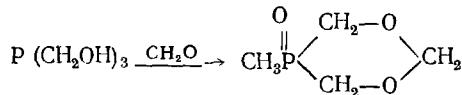
Лабильность связи Р—С и близкое пространственное расположение заместителей и атома фосфора в функционально-замещенных третичных фосфинах могут приводить к перегруппировкам, характер которых зависит от природы заместителей. Наиболее изучены перегруппировки оксиалкилфосфинов. Предполагают, что молекула оксиалкилфосфина находится в равновесии с биполярным ионом, который образуется благодаря переносу протона на атом Р. Этот биполярный ион может перегруппировываться в другой биполярный ион, содержащий группу Р—О—С. Перегруппировка является необратимой, и данный ион стабилизируется перемещением протона к атому углерода с образованием фосфинита; последующая изомеризация дает наиболее стабильные в данной системе соединения — окиси третичных фосфинов [226].



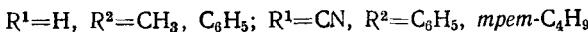
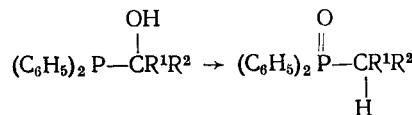
tris(Оксиметил)фосфин изомеризуется при нагревании в метил-*bis*(оксиметил)фосфиноксид [227—231].



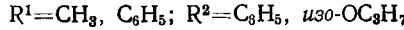
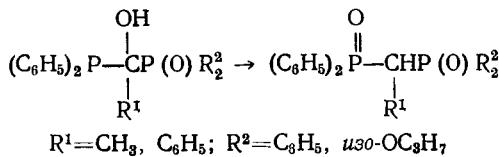
При добавлении параформа образуется 5-метил-5-оксо-1,3,5-диоксафосфоринан [232].



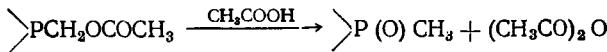
В случае оксиалкильных производных дифенилфосфина перегруппировка наблюдалась для различных С-замещенных соединений [226, 233].



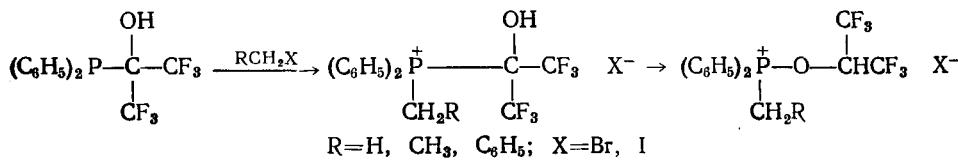
Замена фенила при атоме Р на этил не влияет на возможность перегруппировки [226]. α -Фосфорзамещенные фосфинокарбинолов при нагревании также дают продукты перегруппировки [234, 235].



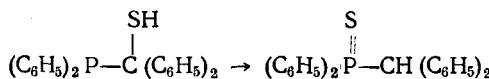
Изомеризация оксиалкилфосфинов в окиси третичных фосфинов может проходить под влиянием кислот и оснований [233, 236]. Ацетоксимилифосфиины перегруппировываются в кислой среде [237, 238].



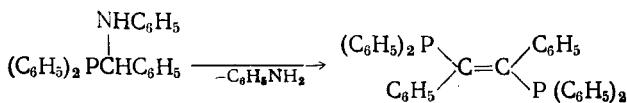
В приведенных выше примерах атом кислорода переходит на атом фосфора, и остановить реакцию на стадии образования фосфинитов не удается. Фосфониевые соединения с группой Р—О—С получены при действии алкилгалогенидов на оксиалкилфосфиины с трифторметильными группами при атоме углерода [236].



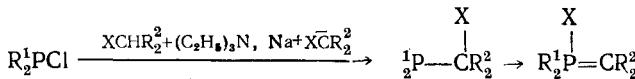
Изучение меркаптоалкилфосфинов показало, что они также способны перегруппировываться в тиоокиси третичных фосфинов. Механизмы перегруппировок, по-видимому, аналогичны. Это следует из превращения α -меркаптобензидрилдифенилфосфина в бензидрилдифенилфосфинитооксид [15].



Азоторганические аналоги оксиалкилфосфинов превращаются в 1,2-дифосфеноэтилены. При этом выделяются соответствующие ариламины [239].

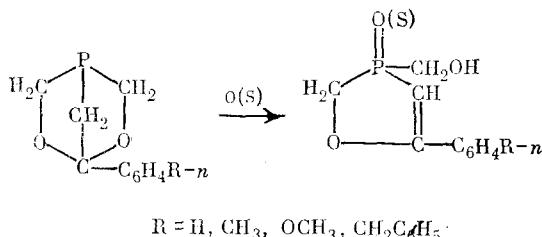


Описана перегруппировка α -галогенфосфинов, образующихся при взаимодействии хлорангидридов фосфинистых кислот с α -галогенметилсульфонами в присутствии триэтиламина или с натриевыми производными α -галоген-*bis*(фенилсульфонил)метанов, в Р-галогенилиды [240, 241].

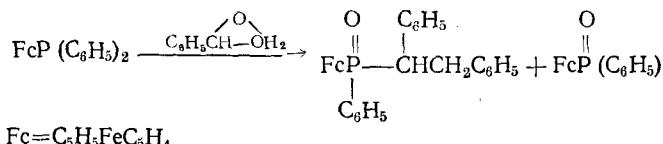


Предполагается, что перегруппировка включает согласованный бимолекулярный перенос атома галогена через шестичленное переходное состояние. Эта реакция рассмотрена также в работах [242, 243]. α -Галогенфосфины с алкильными заместителями при атоме углерода устойчивы [244].

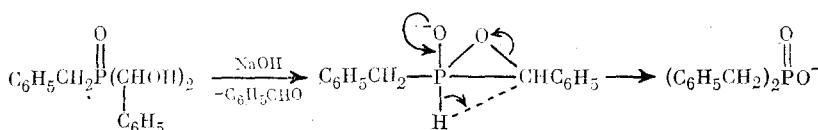
Для замещенных фосфинов известен ряд перегруппировок, которые могут происходить в условиях окисления или присоединения серы. 4-Арил-1-фосфа-3,5-диоксабицикло[2.2.1]гептан при окислении или присоединении серы дает оксид или сульфид 1-оксиметил-4-арил-1-фосфа-3-оксациклопентена-4 соответственно [245, 246].



При реакциях ферроценилдифенилфосфинов, ведущих к образованию фосфониевых бетаинов и винилфосфониевых солей, наблюдали миграцию фенила от атома фосфора к атому углерода [247].



Нагревание бензил-бис(α -оксибензил)фосфиноксида с эквимолярным количеством щелочи в бензole дает с почти количественным выходом натриевую соль дibenзилфосфиновой кислоты [248].



В этой реакции предполагается гидридный перенос от атома Р к атому углерода в промежуточном анионе.

* * *

Таким образом, введение заместителей существенно изменяет свойства третичных фосфинов; появляются новые пути распада фосфониевого соединения, становятся характерными реакциями с нуклеофильными реагентами и перегруппировки. Высокая и многосторонняя реакционная способность функционально-замещенных третичных фосфинов наряду с существованием значительного числа удобных способов их получения делает перспективным изучение данного класса соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров К. А., Паршина В. А. Успехи химии, 1968, т. 37, с. 1218.
2. Петров К. А., Чайзов В. А., Ерохина Т. С. Там же, 1974, т. 43, с. 2044.
3. Harnisch H. Angew. Chem., 1976, B, 88, S. 547.
4. Швецов-Шиловский Н. И., Бобкова Р. Г., Игнатова Н. П., Мельников Н. Н. Успехи химии, 1977, т. 46, с. 967.
5. Петров К. А., Чайзов В. А., Агафонов С. В. Там же, 1982, т. 51, с. 412.
6. Арубузов Б. А., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш., Зябликова Т. А. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979, с. 2136.

7. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш., Зябликова Т. А. Докл. АН СССР, 1979, т. 244, с. 610.
8. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979, с. 886.
9. Пурделла Д., Вылчану В. Химия органических соединений фосфора. М.: Химия, 1972, с. 86.
10. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Игнатьева С. Н., Зябликова Т. А., Романова И. Л. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1981, с. 2776.
11. Козлов Э. С., Соловьев А. В., Марковский Л. Н. Ж. общ. химии, 1978, т. 46, с. 2437.
12. Oehme H., Leissing E. Tetrahedron, 1981, v. 37, p. 753.
13. Пудовик А. Н., Коновалова И. В., Романов Г. В., Пожидаев В. М., Аношина Н. П., Лапин А. А. Ж. общ. химии, 1978, т. 48, с. 1001.
14. Пудовик А. Н., Гурьянова И. В., Романов Г. В., Лапин А. А. Там же, 1971, т. 41, с. 709.
15. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Пожидаев В. М. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1978, с. 2800.
16. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Пожидаев В. М. Ж. общ. химии, 1978, т. 48, с. 1008.
17. Thewissen D. H., Ambrosing H. P. Rec. trav. chim. Pays-Bas, 1980, v. 99, p. 344.
18. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Степанов Т. Я. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1982, с. 1416.
19. Oehme H., Issleib K., Leissing E., Zschynke A. Synth React. Inorg. Met.-Org. Chem., 1974, v. 4, p. 453.
20. Гладыштейн Б. М., Зимин В. М., Носков В. Г., Соборовский Л. Е., Тимошевский Б. П., Шитов Л. Н. В кн.: Химия и применение фосфорорганических соединений. М.: Наука, 1972, с. 279.
21. Issleib K., Zimmermann K. Z. anorg. allgem. Chem., 1977, B. 436, S. 20.
22. Courret C., Escudie J., Saige J., Andriamizaka J. D., Saint-Roch B. J. Organometal. Chem., 1979, v. 182, p. 9.
23. Grobe J., Moller U. Ibid., 1971, v. 31, p. 157.
24. Issleib K., Weichmann H. Z. Chem., 1971, B. 11, S. 188.
25. Oehme N., Thamm R. J. prakt. Chem., 1973, B. 315, S. 526.
26. Reijendam J. W., Baardman F. Tetrahedron Letters, 1972, p. 5181.
27. Oehme H., Issleib K., Leissing E. Phosphorus, 1973, v. 3, p. 159.
28. Oehme H., Leissing E., Zschunke A. Phosphorus and Sulfur, 1978, v. 4, p. 59.
29. Oehme H., Issleib K., Leissing E. Tetrahedron, 1972, v. 28, p. 2587.
30. Zschunke A., Meyer H., Leissing E., Oehme H., Issleib K. Phosphorus and Sulfur, 1978, v. 5, p. 81.
31. Issleib K., Oehme H., Moler K. Z. Chem., 1973, B. 13, S. 139.
32. Oehme H., Leissing E., Thamm R. J. prakt. Chem., 1978, B. 320, S. 600.
33. Костяновский Р. Г., Эльнатанов Ю. И., Заурская Л. М. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1975, с. 901.
34. Arpac E., Dahlenburg L. Z. Naturforsch., 1980, B. 35b, S. 146.
35. Костяновский Р. Г., Эльнатанов Ю. И., Шихалиев Ш. М. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1977, с. 249.
36. Костяновский Р. Г., Шихалиев Ш. М. Там же, 1978, с. 972.
37. Костяновский Р. Г., Эльнатанов Ю. И., Шихалиев Ш. М. Там же, 1979, с. 1590.
38. Ливанцев М. В., Бойко В. И., Проскурнина М. В., Луценко И. Ф. Ж. общ. химии, 1982, т. 52, с. 930.
39. Oehme H., Leissing E., Meyer H. Z. anorg. allgem. Chem., 1980, B. 471, S. 155.
40. Becker G., Mundt O. Там же, 1980, B. 462, S. 130.
41. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Степанова Т. Я. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1981, с. 1675.
42. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Степанова Т. Я. Там же, 1982, с. 1417.
43. Frey G., Lesiecki H., Lindner E., Vordermaier G. Chem. Ber., 1979, B. 112, S. 763.
44. Lindner E., Frey G. Там же, 1980, B. 113, S. 2769.
45. Dankowski M., Praefcke K. Phosphorus and Sulfur, 1982, v. 12, p. 131.
46. Becker H. J., Bensmann W., Fenske D., Pfennig B. Monatsh. Chem., 1978, B. 109, S. 1023.
47. Frank A. W., Drake G. J. Org. Chem., 1971, v. 36, p. 3461.
48. Horn H.-G., Köntges R., Kolkmann F. Z. Naturforsch., 1978, B. 33b, S. 1422.
49. Arpac F., Dahlenburg L. Ibid., 1980, B. 35b, S. 146.
50. Maier L. Helv. Chim. Acta, 1965, v. 48, p. 1034.
51. Fritz G., Braun W., Schick K., Honle W., Schneing H. G. Z. anorg. allgem. Chem., 1981, B. 472, S. 45.
52. Appel R., Peters J., Schmitz R. Ibid., 1981, B. 475, S. 18.
53. Becker V. G., Gresser G., Uhl W. Ibid., 1980, B. 463, S. 144.
54. Appel R., Laubach B. Tetrahedron Letters, 1980, v. 21, p. 2497.
55. Becker G., Gresser G., Uhl W. Z. Naturforsch., 1981, B. 36b, S. 16.
56. Becker G., Uhl W., Wessely H.-J. Z. anorg. allgem. Chem., 1981, B. 479, S. 41.
57. Колодяжный О. И. Ж. общ. химии, 1982, т. 52, с. 2361.
58. Колодяжный О. И., Кухарь В. П. Там же, 1975, т. 45, с. 2556.
59. Колодяжный О. И. Там же, 1979, т. 49, с. 104.
60. Исмаилов Р. К., Разумов А. И., Яфарова Р. Л. Там же, 1972, т. 42, с. 1248.
61. Новикова З. С., Здоровая С. Н., Кизнер В. А., Луценко И. Ф. Там же, 1974, т. 44, с. 575.

62. Нифантьев Э. Е., Новикова З. С., Луценко И. Ф., Пращенко А. А. Там же, 1980, т. 50, с. 1881.
63. Grim S. O., Walton E. D. *Phosphorus and Sulfur*, 1980, v. 9, p. 123.
64. Karsch H. H. Z. *Naturforsch.*, 1979, B, 34b, S. 1171.
65. Tzschach A., Nietzschmann E. Z. *Chem.*, 1980, B, 20, S. 341.
66. Dunkan M., Gallagher M. J. *Org. Magn. Reson.*, 1981, v. 15, p. 37.
67. Rishter W. J. *Angew. Chem.*, 1982, B, 94, S. 298.
68. Vilceanu R., Veuczel A. *Rev. Chim. (RSR)*, 1980, v. 31, p. 1062.
69. Frank A. W., Drake G. L. J. *Org. Chem.*, 1971, v. 36, p. 549.
70. Цветков Е. Н., Борисов Г., Сивреев Х., Малеванная Р. А., Кабанчик М. И. *Ж. общ. химии*, 1970, т. 40, с. 285.
71. Frank A. W. *Canad. J. Chem.*, 1981, v. 59, p. 27.
72. Frank A. W., Drake G. L. J. *Org. Chem.*, 1977, v. 42, p. 4125.
73. Frank A. W., Drake G. L. *Ibid.*, 1972, v. 37, p. 2752.
74. Pailer M., Huetter H. *Monatsh. Chem.*, 1964, B, 95, S. 373.
75. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш., Зябликова Т. А., Аршинова Р. Н., Кадыров Р. А. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1980, с. 1626.
76. Жмуркова И. Н., Юрченко В. Г., Юрченко Р. И., Савенко Т. В. *Ж. общ. химии*, 1977, т. 47, с. 2207.
77. Tzschach A., Nietzschmann E. Z. *Chem.*, 1980, B20, S. 341.
78. Maier L. *Helv. Chim. Acta*, 1971, B, 54, S. 1651.
79. Юделевич В. И., Соколов Л. В., Ионин Б. И. *Успехи химии*, 1980, т. 49, с. 92.
80. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Романова И. П., Зябликова Т. А. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1981, с. 2803.
81. Петров К. А., Чазов В. А., Агафонов С. В., Лебедева Н. Ю. *Ж. общ. химии*, 1983, т. 53, с. 56.
82. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Пожидаев В. М. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1977, с. 2173.
83. Bhatnagar J., Gupia J. C., Lal K., Bhatnagar H. L. *Ind. J. Chem.*, 1978, v. 16A, p. 356.
84. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Пожидаев В. М. *Ж. общ. химии*, 1977, т. 47, с. 1910.
85. Brown G., Hudson R. F., Wartew G. *Phosphorus and Sulfur*, 1978, v. 5, p. 67.
86. Giurgen D., Popescu J. *Rev. Roumaine Chim.*, 1976, v. 21, p. 1373.
87. Courret C., Satge J., Picard J. P. J. *Organometal. Chem.*, 1977, v. 141, p. 35.
88. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш., Зябликова Т. А., Аршинова Р. П. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1978, с. 1911.
89. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Игнатьева С. Н., Зябликова Т. А., Аршинова Р. П., Шакиров И. Х. *Докл. АН СССР*, 1978, т. 240, с. 331.
90. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш., Зябликова Т. А., Кадырова Р. А. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1979, с. 2239.
91. Ерастов О. А., Никонов Г. Н. В кн.: Конформационный анализ фосфорорганических соединений. М.: Наука, 1983, с. 83.
92. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Игнатьева С. Н., Зябликова Т. А., Аршинова Р. П. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1979, с. 1863.
93. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш., Зябликова Т. А., Аршинова Р. П. Там же, 1980, с. 1630.
94. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Игнатьева С. Н., Романова И. П., Аршинова Р. П., Кадыров Р. А. Там же, 1983, с. 420.
95. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш. *Докл. АН СССР*, 1979, т. 246, с. 326.
96. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Литвинов И. А., Юфит Д. С., Стручков Ю. Т. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1982, с. 599.
97. Зябликова Т. А., Ильясов А. В., Ерастов О. А., Хетагурова С. Ш., Игнатьева С. Н. Там же, 1980, с. 2289.
98. Fotherman S. J., Quin L. D. J. *Amer. Chem. Soc.*, 1975, v. 97, p. 4349.
99. Macdonell G. D., Berlin K. D., Backer J. R., Ealick S. E., Dick van der Helm, Marssi K. L. *Ibid.*, 1978, v. 100, p. 4535.
100. Blackburne J. D., Katritzky A. R., Read D. M., Bodalski R., Pietrusiewics K. J. *Chem. Soc., Perkin Trans. II*, 1974, p. 1155.
101. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Игнатьева С. Н., Гольдфарб Э. И., Зябликова Т. А. *Докл. АН СССР*, 1977, т. 233, с. 858.
102. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Игнатьева С. Н., Зябликова Т. А., Гольдфарб Э. И. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1978, с. 1532.
103. Crowley R. J., Robinson M. J. T., Ward M. C. *Tetrahedron*, 1977, v. 33, p. 915.
104. Katritzky A. R., Baker V. J., Ferguson I. J. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. II*, 1979, p. 143.
105. Katritzky A. R., Baker V. J., Brito-Palme F. M. S. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. II*, 1980, p. 1739.
106. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Зябликова Т. А., Аршинова Р. П., Кадыров Р. К. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1980, с. 1571.
107. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Зябликова Т. А., Юфит Д. С., Стручков Ю. Т. Там же, 1981, с. 1539.
108. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Литвинов И. А., Юфит Д. С., Стручков Ю. Т. Там же, 1981, с. 2279.
109. Epotis N. D., Cherry W. R., Shaik S. Там же, In: *Structural Theory of Organic Chemistry*. Berlin: Springer-Verlag, 1977, p. 1—250.

110. Clardy J. C., Dow D. C., Verkade J. G. *Phosphorus*, 1975, v. 5, p. 85.
111. Allison D. A., Clardy J., Verkade J. D. *Inorg. Chem.*, 1972, v. 11, p. 2804.
112. Rathke J. W., Gruder J. W., Verkade J. G. *J. Org. Chem.*, 1970, v. 35, p. 2310.
113. Bertrand R. D., Allison D. A., Verkade J. G. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1970, v. 92, p. 71.
114. Bertrand R. D., Raethke J. W., Verkade J. G. *Phosphorus*, 1973, v. 3, p. 1.
115. Allison D. A., Verkade J. G. *Ibid.*, 1973, v. 2, p. 257.
116. Fluck E., Forster J.-E., Weidlein J., Hadicke E. Z. *Naturforsch.*, 1977, B. 32b, S. 499.
118. Jorg K. H., Stezowsky J. J., Fluck E., Weidlein J. *Phosphorus and Sulfur*, 1978, v. 4, p. 199.
119. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Литвинов И. А., Юфит Д. С., Стручков Ю. Т. *Докл. АН СССР*, 1981, т. 257, с. 127.
120. Becker G., Uhl W. Z. *anorg. allgem. Chem.*, 1981, B. 475, S. 35.
121. McPhail A. T., Breen J. J., Quin L. D. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1971, v. 93, p. 2574.
122. McPhail A. T., Breen J. J., Somere J. H., Steel J. C. H., Quin L. D. *Chem. Commun.*, 1971, p. 1020.
123. Cotton F. A., Darenbourg D. J., Isleu W. *Inorg. Chem.*, 1981, v. 20, p. 578.
124. Разимова Е. Р., Эльнатанов Ю. И., Шихалиев Ш. М., Костяновский Р. Г. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1978, с. 97.
125. Червин И. И., Исабаев М. Д., Эльнатанов Ю. И., Шихалиев Ш. М., Быстров Л. В. *Там же*, 1981, с. 1769.
126. Репина Л. А., Локтионова Р. А., Гололобов Ю. Т. *Ж. общ. химии*, 1976, т. 46, с. 2683.
127. Колодяжный О. И., Шевчук Л. И., Кихарь В. П. *Там же*, 1978, т. 48, с. 223.
128. Колодяжный О. И., Кихарь В. П. *Ж. орг. химии*, 1977, т. 14, с. 275.
129. Колодяжный О. И. *Там же*, 1975, т. 45, с. 2561.
130. Колодяжный О. И. *Там же*, 1980, т. 50, с. 1885.
131. Колодяжный О. И. *Там же*, 1977, т. 47, с. 2159.
132. Новикова З. С., Скоробогатова С. Я., Луценко И. Ф. *Там же*, 1976, т. 46, с. 2213.
133. Maier L. *Helv. Chim. Acta*, 1971, B. 54, S. 1434.
134. Миронова З. Н., Цветков Е. Н., Николаев А. В., Кабачник М. И. *Ж. общ. химии*, 1967, т. 37, с. 2747.
135. Цветков Е. Н., Крон Т. Е., Миронова З. Н., Кабачник М. И. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1979, с. 1859.
136. Цветков Е. Н., Крон Т. Е., Кабачник М. И. *Там же*, 1980, с. 669.
137. Валетдинов Р. К., Кузнецов Е. В., Комиссарова С. Л. *Ж. общ. химии*, 1969, т. 39, с. 1744.
138. Комиссарова С. Л., Валетдинов Р. К., Кузнецов Е. В. *Там же*, 1971, т. 41, с. 322.
139. Валетдинов Р. К., Зуйкова А. Н. *Там же*, 1978, т. 48, с. 1726.
140. Яковенко Т. В., Валетдинов Р. К., Якиминская Н. Ш. *Там же*, 1978, т. 48, с. 1540.
141. Валетдинов Р. К., Зарипов Ш. И. *Там же*, 1974, т. 44, с. 1440.
142. Валетдинов Р. К., Зарипов Ш. И. *Там же*, 1975, т. 45, с. 1943.
143. Eltzeu S. E., Connick W. J., Boudreux G. J. *Canad. J. Chem.*, 1971, v. 49, p. 3581.
144. Eltzeu S. E., Connick W. J., Boudreux G. J., Klapffer H. J. *Org. Chem.*, 1972, v. 37, p. 3453.
145. Granzow A. J. *Amer. Chem. Soc.*, 1977, v. 99, p. 2648.
146. Валетдинов Р. К., Зуйкова А. Н., Зябликова Т. А., Ильясов А. В. *Ж. общ. химии*, 1979, т. 49, с. 1503.
147. Merkl G., Fischer D. E., Olbrich H. *Tetrahedron Letters*, 1970, p. 645.
148. Rampal J. B., Berlin K. D., Edasery J. P., Satyamurthy N., Helm D. J. *Org. Chem.*, 1981, v. 46, p. 1166.
149. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Зябликова Т. А., Ефремов Ю. Т., Мусин Р. З. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1982, с. 676.
150. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Еспенбетов А. А., Яновский А. И., Стручков Ю. Т. *Там же*, 1981, с. 1545.
151. Козлов Э. С., Седлов А. И., Кирсанов А. В. *Ж. общ. химии*, 1968, т. 38, с. 1880.
152. Козлов Э. С., Товстенко В. И. *Там же*, 1980, т. 50, с. 1499.
153. Ерастов О. А., Романова И. П., Чадаева Н. А. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1983, с. 235.
154. Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Арбузов Б. А. *Там же*, 1983, с. 1379.
155. Костяновский Р. Г., Эльнатанов Ю. И., Шихалиев Ш. М., Игнатов С. М., Червин И. И. *Там же*, 1982, с. 1611.
156. Kaska W. C., Maier L. *Helv. Chim. Acta*, 1974, v. 57, p. 2550.
157. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Ефремов Ю. Я. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1982, с. 1436.
158. Rauhut M. M., Hechenbleikner J., Currier H. A., Schaeter F. C., Wistrach V. P. W. *J. Amer. Chem. Soc.*, 1959, v. 81, p. 1103.
159. Dimroth K., Hoffmann R. *Angew. Chem.*, 1964, B. 76, S. 433.
160. Merkl G. *Ibid.*, 1966, B. 78, S. 907.
161. Романенко В. Д., Товстенко В. И., Козлов Э. С., Марковский Л. Н. *Ж. общ. химии*, 1980, т. 50, с. 1006.
162. Валетдинов Р. К., Зарипов Ш. И., Хасанов М. Х. *Там же*, 1973, т. 43, с. 1029.
163. Валетдинов Р. К., Кузнецов Е. В., Хасанов М. Х., Валеева Т. Х. В кн.: *Синтез и физико-химия полиуретана*. Киев: Наукова думка, 1970, с. 68.

164. *Boros E. J., Coskran K. J., King R. W., Verkade J. G.* J. Amer. Chem. Soc., 1966, v. 88, p. 1140.
165. Козлов Э. С. Ж. общ. химии, 1980, т. 50, с. 2425.
166. Козлов Э. С., Товстенко В. И., Марковский Л. Н. Там же, 1977, т. 47, с. 954.
167. Дьяков В. М., Кудяков Н. М., Воронков М. Г., Валетдинов Р. К., Глухих В. И. Там же, 1979, т. 49, с. 800.
168. Валетдинов Р. К., Зарипов Ш. И., Лебедев Е. П., Шакирова Р. Х., Дьяков В. М., Кудяков Н. М. Там же, 1977, т. 47, с. 2213.
169. Воронков М. Г., Кудяков Н. М., Дьяков В. М., Глухих В. И., Валетдинов Р. К. Докл. АН СССР, 1979, р. 247, с. 609.
170. *Goskran K. J., Verkade J. G.* Inorg. Chem., 1965, v. 4, p. 1655.
171. *Rathke J., Gugger J. W., Verkade J. G.* J. Org. Chem., 1970, v. 35, p. 2310.
172. *Bertrand R. D., Rathke J. W., Verkade J. G.* Phosphorus, 1973, v. 3, p. 1.
173. Козлов Э. С., Соловьев А. В., Марковский Л. Н. Ж. общ. химии, 1978, т. 48, с. 2437.
174. *Dutasta J. P., Jürkschat K., Robert J. B.* Tetrahedron Letters, 1981, v. 22, p. 2549.
175. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Зябликова Т. А., Аришнова Р. П., Кадыров Р. А. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979, с. 2349.
176. *Parshall G. N.* Inorg. Chem., 1965, v. 4, p. 52.
177. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Аришнова Р. П., Оводова О. В. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1983, с. 1374.
178. Новикова З. С., Скоробогатова С. Я., Прищенко А. А., Луценко И. Ф. Ж. общ. химии, 1976, т. 46, с. 571.
179. Здорова С. Н., Новикова З. С., Луценко И. Ф. Там же, 1976, т. 46, с. 1218.
180. Колодяжный О. И., Кухарь В. П. Там же, 1979, т. 49, с. 949.
181. Колодяжный О. И. Там же, 1977, т. 47, с. 956.
182. *Bhattacharya A. K., Thyagaraj G.* Chem. Rev., 1981, v. 81, p. 415.
183. *Maier L.* Helv. Chim. Acta, 1965, v. 48, S. 1034.
184. *Merkel G., Yu Jin G.* Tetrahedron Letters, 1981, v. 22, p. 223.
185. *Merkel G., Yu Jin G.* Ibid., 1981, v. 22, p. 1105.
186. *Merkel G., Yu Jin G., Schoerner Ch.* Ibid., 1980, v. 21, p. 1845.
187. Миронова З. Н., Цветков Е. Н., Петровская Л. И., Негребецкий В. В., Николаев А. В., Кабачник М. И. Ж. общ. химии, 1972, т. 42, с. 2152.
188. Валетдинов Р. К., Зарипов Ш. И., Яркова Э. Г. Там же, 1976, т. 46, с. 275.
189. *Pepperman A. B., Daigle D. J., Vail S. L.* J. Org. Chem., 1976, v. 41, p. 675.
190. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979, с. 2771.
191. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Аришнова Р. П., Кадыров Р. А. Там же, 1980, с. 721.
192. Авт. свид. СССР 854932 (1980); Бюл. изобр., 1981, № 30.
193. Авт. свид. СССР 810715 (1980); Бюл. изобр., 1980, № 90.
194. Авт. свид. СССР 785316 (1980); Бюл. изобр., 1980, № 45.
195. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1980, с. 735.
196. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н. Там же, 1980, с. 952.
197. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н. Там же, 1980, с. 2129.
198. *Merkel G., Yu Jin G., Schoerner Ch.* Tetrahedron Letters, 1980, v. 21, p. 1409.
199. *Merkel G., Yu Jin G.* Ibid., 1981, v. 22, p. 229.
200. *Merkel G., Yu Jin G.* Ibid., 1980, v. 21, p. 3467.
201. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Романова И. П., Ефремов Ю. Я., Мусин Р. З. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1982, с. 440.
202. *Daigle D. J., Pepperman A. B., Normand F. L.* J. Heterocycl. Chem., 1972, v. 9, p. 715.
203. Пат. США 374584 (1973); С. А., 1974, 81, 120786.
204. *Diagle D. J., Pepperman A. B., Vail S. L.* J. Heterocycl. Chem., 1974, v. 11, p. 407.
205. Пат. США 391189 (1973); С. А., 1974, v. 81, 120788.
206. *Daigle D. J., Pepperman A. B.* J. Heterocycl. Chem., 1975, v. 12, p. 579.
207. *Daigle D. J., Boudreaux G. J., Vail S. L.* J. Chem. Eng. Data, 1976, v. 21, p. 240.
208. *Daigle D. J., Pepperman A. B.* Ibid., 1975, v. 20, p. 448.
209. *Fluck E., Forster J.-E., Weidlein J., Hadicke E. Z.* Naturforsch., 1977, B. 32b, S. 499.
210. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1980, с. 1438.
211. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н. Там же, 1980, с. 2417.
212. Арбузов Б. А., Ерастов О. А., Никонов Г. Н., Аришнова Р. П., Кадыров Р. А. Там же, 1983, с. 1438.
213. *Pepperman A. B., Siddall Th. H.* J. Org. Chem., 1975, v. 40, p. 1373.
214. *Merkel G., Merkl B.* Tetrahedron Letters, 1981, v. 22, p. 4459.
215. Мастрюкова Т. А., Алладжева И. М., Леонтьева И. В., Скворенъ В. А., Петровский П. В., Кабачник М. И. Ж. общ. химии, 1977, т. 47, с. 2454.
216. Мастрюкова Т. А., Леонтьева И. В., Алладжева И. М., Скворенъ В. А., Петровский П. В., Луценко А. И., Кабачник М. И. Там же, 1978, т. 48, с. 991.
217. Мастрюкова Т. А., Леонтьева И. В., Алладжева И. М., Петровский П. В., Федин Э. И., Кабачник М. И. Докл. АН СССР, 1979, т. 247, с. 866.
218. *Mastryukova T. A., Aladzheva I. M., Leont'eva I. V., Petrovski P. V., Fedin E. I., Kabachnik M. I.* Tetrahedron Letters, 1980, v. 21, p. 2931.
219. Алладжева И. М., Быховская О. В., Петровский П. В., Мастрюкова Т. А. Ж. общ. химии, 1982, т. 52, с. 1095.

220. Колодяжный О. И. Там же, 1979, т. 49, с. 104.
221. Колодяжный О. И. Там же, 1980, т. 50, с. 1485.
222. Kolodiarzhnyi O. I. Tetrahedron Letters, 1980, v. 21, p. 2269.
223. Колодяжный О. И., Кухарь В. П. В кн.: Химия и применение фосфорорганических соединений. Киев: Наукова думка, 1981, с. 63.
224. Schmidbaur H., Descler U. Chem. Ber., 1981, B. 114, S. 2491.
225. Пудовик А. Н., Собинова О. В., Муратова А. А., Яркова Э. Г. Ж. общ. химии, 1977, т. 47, с. 2384.
226. Romanov G. V., Pudovik A. N., Nasmutdinov R. J., Poshidaev W. M., Lapin A. A. J. Thermal Analysis, 1979, v. 16, p. 103.
227. Пат. США 3732316 (1973); С. А., 1973, в. 79, 67335.
228. Пат. ФРГ 2313307 (1974); С. А., 1975, в. 82, 57949.
229. Пат. США 4049719 (1976); С. А., 1977, в. 86, 55579.
230. Frank A. W. Phosphorus and Sulphur, 1978, v. 5, p. 197.
231. Валетдинов Р. К., Зуйкова А. Н., Зябликова Т. А., Ильясов А. В. Ж. общ. химии, 1978, т. 38, с. 97.
232. Валетдинов Р. К., Зуйкова А. Н., Якиминская Н. Ш. Там же, 1978, т. 48, с. 2653.
233. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Пожидаев В. М. Там же, 1977, т. 47, с. 719.
234. Пудовик А. Н., Романов Г. В., Пожидаев В. М. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979, с. 452.
235. Пудовик А. Н., Коновалова И. В., Романов Г. В., Пожидаев В. М., Аношина Н. П., Лапин А. А. Ж. общ. химии, 1978, т. 48, с. 1001.
236. Vangelidon E. E., Ramirez F. Phosphorus, 1974, v. 4, p. 121.
237. Цветков Е. Н., Крон Т. Е., Миронова З. Н., Кабачник М. И. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979, с. 1859.
238. Авт. свид. СССР 578316 (1976); Бюл. изобр., 1977, № 40.
239. Авт. свид. СССР 579281 (1976); Бюл. изобр., 1977, № 41.
240. Колодяжный О. И., Шевчук Л. И., Кухарь В. П. Ж. общ. химии, 1976, т. 47, с. 723.
241. Колодяжный О. И., Кухарь В. П. Ж. орг. химии, 1977, т. 13, с. 275.
242. Fritz G., Braun W., Schick H., Honle W. Z. anorg. allgem. Chem., 1981, B. 472, S. 45.
243. Appel R., Peters J., Westerhaus A. Angew. Chem., 1982, B. 94, S. 76.
244. Appel R., Hippertz M. Z. anorg. allgem. Chem., 1979, B. 459, S. 7.
245. Козлов Э. С., Седлов А. И., Кирсанов А. В. Ж. общ. химии, 1970, т. 40, с. 1673.
246. Козлов Э. С., Седлов А. И., Кирсанов А. В. Там же, 1972, т. 42, с. 519.
247. Allen D. W. Z. Naturforsch., 1980, B. 35b, S. 981.
248. Pepperman A. B., Siddall Th. H. J. Org. Chem., 1976, v. 41, p. 2931.

Институт органической и
физической химии им. А. Е. Арбузова
Казанского филиала АН СССР, Казань