

УДК 547:241

## СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ АРИЛФОСФОНОВЫХ, АРИЛТИОФОСФОНОВЫХ КИСЛОТ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

*Петров К. А., Чижов В. М., Покатун В. П., Агафонов С. В.*

Систематизированы данные по синтезу арилфосфоновых, арилтиофосфоновых кислот и их производных присоединением кислорода или серы к арилфосфонистым кислотам, их эфирам, амидам, дигалогенангидридам; действием арилметаллорганических соединений на хлорокись фосфора, диалкил- и диамидохлорфосфаты; взаимодействием бензола и его производных, содержащих различные заместители в ядре, с фосфорным ангидридом, тиогалогенидами и сульфидами фосфора, эфирами фосфористой и тиофосфористой кислоты; прочими менее известными способами. Приводятся способы приготовления арилдигалогенфосфинов — важных полупродуктов синтеза арилфосфоновых кислот и их производных.

Библиография — 355 ссылок.

### ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Введение	1834
II. Методы синтеза арилфосфоновых кислот и их производных	1834
III. Методы синтеза арилтиофосфоновых кислот и их производных	1845

### I. ВВЕДЕНИЕ

Арилфосфоновые кислоты и их производные благодаря разнообразию свойств, обусловленных наличием двух реакционных центров — ароматического ядра и фосфоновой группы, а также вследствие выявленных аспектов возможного практического использования, являются предметом многочисленных исследований. В настоящее время имеется большой материал по этому вопросу в отечественной и зарубежной печати, но нет обобщающих работ, за исключением двух, опубликованных в 1957—58 гг., в которых только частично использован накопленный материал [1, 2]. В настоящем обзоре рассматриваются данные по способам получения арилфосфоновых, арилтиофосфоновых кислот и их производных, появившиеся в печати до середины 1984 г.

### II. МЕТОДЫ СИНТЕЗА АРИЛФОСФОНОВЫХ КИСЛОТ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

Арилфосфоновые кислоты и их производные получают различными способами, которые можно разделить на две группы. К первой группе относятся методы, основанные на окислении арилфосфонистых кислот и их производных, ко второй — методы, приводящие к образованию фосфор-углеродной связи.

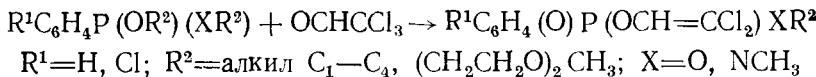
#### 1. Окисление арилфосфонистых кислот и их производных

В этот раздел, кроме окисления арилфосфонистых кислот, их солей, эфиров, амидов и хлорангидридов, включены также реакции  $\alpha$ -хлоркарбонильных соединений с арилфосфонитами.

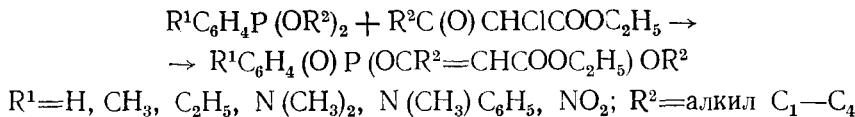
Арилфосфонистые кислоты, их соли, эфиры, амиды окисляются кислородом [3—5], перекисью водорода [3, 6], двуокисью марганца [7], каломелью [8], азотной кислотой [9, 10], хлором [11, 12] до фосфоновых кислот и их производных.

Взаимодействие эфиров, амидоэфиров арилфосфонистых кислот с хлоралем приводит к производным арилфосфоновых кислот, содержащим дихлорвинильную группу в эфирном радикале, с выходом до 79,5%

[13—15]:



Подобным образом взаимодействуют с арилфосфонитами и различные производные хлорацетоуксусного эфира [16]:



Окисление арилдигалогенфосфинов проводят кислородом [17—19]; хлором или бромом в среде *трет*-бутанола [20]; хлором с последующей обработкой реакционной массы сернистым газом [21—26], ацеталиями [27] или кетонами [28]; хлором в присутствии фосфорного ангидрида [29—31]; хлористым сульфурилом [29, 32—35] и при этом получают дихлорангидриды арилфосфоновых кислот с выходом 70—98 %. Причем, для окисления могут использоваться арилдигалогенфосфиины в виде алюмохлоридных комплексов. В некоторых случаях окисленный комплекс этерифицируют избытком спирта и подвергают кислоту гидролизу [36—42].

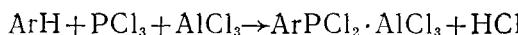
Дихлорангидрид фенилфосфоновой кислоты получают и взаимодействием тиоангидрида фенилтиофосфонистой кислоты с хлористым сульфурилом [43] или последовательной обработкой дихлорангидрида фенилтиофосфоновой кислоты (а также его смеси с фенилфосфоновой кислотой) хлором и сернистым газом [44, 45].

## 2. Методы синтеза арилдигалогенфосфинов

Все перечисленные в предыдущем разделе производные арилфосфонистых кислот обычно получают из арилдигалогенфосфинов [3], основные способы получения которых рассмотрены в этой главе.

а) Арилирование галогенидов фосфора ароматическими углеводородами.

При температуре выше 550 °C бензол взаимодействует с пятихлористым фосфором, конверсия которого в фенилдихлорфосфин при молярном соотношении пятихлористый фосфор : бензол, равном 1 : 14, достигает 8 % [19]. Фенил- и толидихлорфосфиины образуются при взаимодействии бензола или толуола с треххлористым фосфором при 500—600 °C [46—52]. Выход дихлорфосфинов достигает 70—99 %, если эту реакцию проводить в присутствии катализаторов: кислорода [53], алкилгалогенидов [54], фосгена [55] или цеолитов [56—58]. При использовании в качестве катализатора безводного хлористого алюминия температура фосфорилирования снижается до 60—80 °C. Арилдихлорфосфиины с небольшой примесью диарилхлорфосфинов получаются в виде комплекса с хлористым алюминием [36, 59—61].



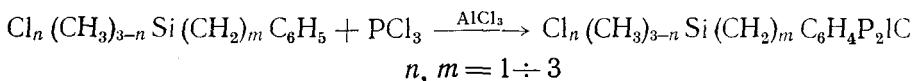
Обычно используют эквимолярные соотношения ароматического углеводорода и хлористого алюминия, но не менее трехкратного избытка треххлористого фосфора, так как в противном случае резко возрастает количество примеси диарилхлорфосфиина. Продолжительность реакции изменяется от 1 до 8 ч. При более длительном кипячении (36 и более часов) содержание диарилхлорфосфинов возрастает до 30 % и более [36].

Арилдихлорфосфиины выделяются из комплекса при действии хлорокиси фосфора [21, 62—64], пиридина [65, 66], фосфорной кислоты, три(2-хлорэтил)фосфата [67—69], простых и сложных эфиров, кетонов [70] или воды, взятой в рассчитанном количестве [64, 71]. После разложения комплекса арилдихлорфосфиин экстрагируют бензолом [67],

петролейным эфиром [9, 64, 72] или треххлористым фосфором [63, 73] и выделяют перегонкой.

Способ удобен в лабораторной практике, опробован на опытной установке на примере синтеза фенил- и 4-толилдихлорфосфинов [74] и позволяет получать арилдихлорфосфина, содержащие в ядре один или несколько заместителей. Так, при взаимодействии треххлористого фосфора с бензолом, толуолом, этилбензолом, ксиолом, 1,2-дифенилэтаном, дифенилметаном образуются соответственно фенил-[9, 10, 21, 23, 36, 63—70, 74—79], толил-[21, 40, 73, 74, 80], этилфенил-[21, 40, 62, 81, 82], ксилил-[77, 78, 80, 81, 83, 84], 4-фенилэтилфенил-[80], 4-бензилфенилдихлорфосфина [80, 85, 86]. При употреблении бифенила и дibenзфурана, в зависимости от соотношения реагентов, образуются соответствующиеmono- или бис-дихлорфосфина [80, 86—88].

При фосфорилировании алкилбензолов ( $RC_6H_5$ ) выход арилдихлорфосфинов ( $RC_6H_4PCl_2$ ) уменьшается с увеличением длины алкильного радикала от 60—69% ( $R=CH_3, C_2H_5$ ) до 33—39% ( $R=C_4H_9$ ) [21]. Фосфорилированиеmonoалкилбензолов всегда приводит к смеси изомерных дихлорфосфинов. Например, толилдихлорфосфин представляет собой смесь 4-, 3- и 2-изомеров в соотношении 63:27:10, этилфенилдихлорфосфин — смесь 4- и 3-изомеров [40, 81]. В дихлорфосфине, приготовленном из *n*-ксиола, метильные группы находятся в положении 2- и 5-[81], а в случае *o*-ксиола получается 3,4-диметилфенилдихлорфосфин [84]. При употреблении трифторметилсульфокислоты вместо треххлористого алюминия выход 3,4-диметилфенилдихлорфосфина составляет 33% [89]. Фосфорилирование псевдокумола и мезитилена приводит к образованию соответствующих дихлорфосфинов с выходом 45% [90, 91], а симметричного *tris*-*трет*-бутилбензола — с выходом 71% [92]. Алкилбензолы, содержащие в боковой цепи атом кремния, фосфорилируются до арилдихлорфосфинов с выходом смеси 4- и 2-изомеров 32—52% [93, 94].

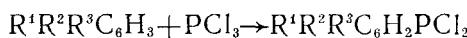


Арилгалогениды также фосфорилируются: фторбензол при кипячении с треххлористым фосфором и хлористым алюминием дает 4-фторфенилдихлорфосфин с выходом 45—65% [24, 95—97], а хлорбензол — смесь изомерных хлорфенилдихлорфосфинов с выходом до 80% [36, 63, 73, 81, 98—100], с преимущественным содержанием 4-изомера [34, 97, 101]. При фосфорилировании бромбензола выход 4-бромфенилдихлорфосфина в зависимости от условий проведения реакции изменялся от 14 до 51% [23, 72, 73, 97], а выход 2-бром-изомера — 41,5% [32]. 3-Хлор-4-толилдихлорфосфин получен из 2-хлортолуола с выходом 10—15% [22].

При длительном кипячении с треххлористым фосфором и хлористым алюминием 1,2- и 1,4-дихлорбензолы образуют соответственно 3,4- и 2,5-дихлорфенилдихлорфосфина, идентифицированные в виде арилфосфоновых кислот; при этом выход продуктов значительно меньше, чем в случае хлорбензола, а трихлорбензолы вообще не вступают в реакцию фосфорилирования [36].

Полифторбензолы  $C_6HF_4R$  при  $R=NO_2$  и  $CH_3SO_2$  не вступают в реакцию фосфорилирования, при  $R=OCH_3$  и  $SCH_3$  фосфорилирование сопровождается разрывом эфирной связи, а при  $R=H, F, CF_3$  — приводит к образованию дихлорфосфинов с выходом 37—53% [102].

Алковые эфиры или тиоэфиры одно- и двухатомных фенолов фосфорилируются треххлористым фосфором в присутствии хлоридов алюминия, железа, цинка, с образованием 4-алкоксифенилдихлорфосфинов с выходом не выше 39% [23, 72, 80, 103—106], а в присутствии хлорного олова — 26—91% [107, 108].



При фосфорилировании диметилового эфира резорцина в присутствии хлорного железа получен 2,4-диметоксифенилдихлорфосфин с выходом 27% [109], при использовании хлористого цинка, взятого в соотношении не более 0,06 моля на моль эфира, выход арилдихлорфосфина составил 69%, а при эквимолярном количестве хлористого цинка образуется только *трист*(2,4-диметоксифенил)фосфин с выходом 14% [35, 103].

Дифениловый эфир с треххлористым фосфором и хлористым алюминием, взятыми в мольном соотношении 1:1:0,15, дает 4-феноксифенилдихлорфосфин с выходом 13,7% [110].

При нагревании 2,3-бенз-1,4-диоксана с треххлористым фосфором и катализитическим количеством хлористого цинка ароматическое ядро фосфорилируется в *мета*-положение; выход соответствующего дихлорфосфина 50% [111].

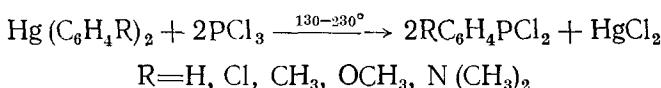
Фосфорилирование N,N-диалкиланилинов треххлористым фосфором протекает в отсутствие катализатора с выходом 4-N,N-диалкиламинофенилдихлорфосфинов 60—97% [23, 112, 113]. Присутствие хлористого алюминия снижает выход до 36% [8, 114, 115].

Арилдигромфосфина получают нагреванием арилдихлорфосфинов с трехбромистым фосфором или газообразным бромистым водородом [97].

Фенилдихлорфосфин получают нагреванием до 350° смеси дифенилхлор- или трифенилфосфина с треххлористым фосфором [116, 117].

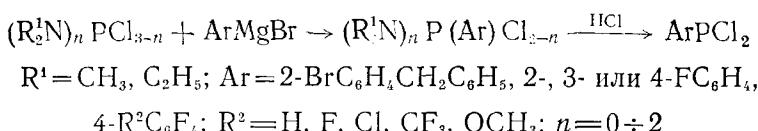
б) Арилирование тригалогенидов фосфора металлорганическими соединениями.

Этим способом из диарилртути синтезированы различные арилдихлорфосфина [3, 8, 48, 80, 118], например, 2-толилдихлорфосфин с выходом 78%:



Фенил-, 2- или 4-толил-, 4-этилфенилдихлорфосфина получены при нагревании треххлористого фосфора с соответствующими арилцинкбромидами с выходами до 32%, 4-бромфенилдихлорфосфина — с выходом 8% [119, 120]. Аналогично приготовлен 4-трифторметилфенилдихлорфосфин [25]. При продолжительном нагревании (180 ч) тетрафенилсвинца или тетрафенилолова с тригалогенидами фосфора выход фенилдигалогенфосфинов достигает 93% [121, 122], а при использовании трифенилсурьмы и висмута выход значительно ниже [123, 124].

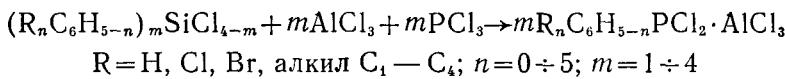
Взаимодействием арилмагнийбромидов с треххлористым фосфором, амидодихлор- и диамидохлорфосфинами получают арилдихлорфосфина, амидаарилхлорфосфина и амиды арилфосфонистых кислот с выходами 32—85% [102, 125—127]. Причем, амиды арилфосфонистых кислот при обработке хлористым водородом легко превращаются в арилдихлорфосфина [128].



Взаимодействием 2-литийфенилтетраметилдиамидофосфина с тетраметилдиамидохлорфосфином с выходом 84% получен *o*-фенилен-*bis*(тетраметилдиамидофосфин), который при обработке хлористым водородом превращается в *o*-фенилен-*bis*(дихлорфосфин) [129].

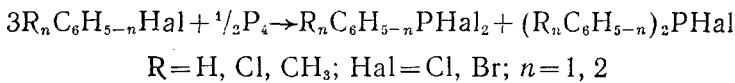
Для синтеза дихлорфосфинов применяются и арилхлорсиланы. Реакция идет только в присутствии хлористого алюминия, который в мягких условиях расщепляет кремний-углеродную связь с образованием соответствующих алюминийорганических соединений. Последние реагируют с треххлористым фосфором и дают арилдихлорфосфина с выходами

77—85% [130, 131, 132]:

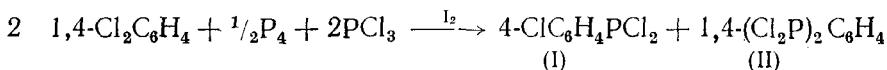


в) Арилирование белого фосфора арилгалогенидами

Арилгалогениды арилируют белый фосфор при температуре 250—450°C в присутствии катализитических количеств кислот Льюиса [133—135], порошков металлов (Cu, Ag, Zn) [136, 137] или без катализатора [138—140] с образованием смеси арилдигалоген- и диарилгалогенфосфинов с преобладанием первых:



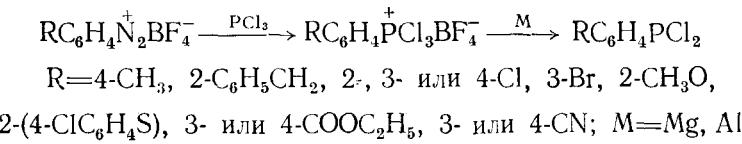
При проведении реакции в среде тригалогенида фосфора выход арилдигалогенфосфинов значительно возрастает, особенно в присутствии катализаторов — серы, иода, галогенсодержащих соединений. Так, фенилдихлорфосфин получается с выходом 90% [141—143], 2-толилдигалогенфосфин 50,21% и 4-фторфенилдихлорфосфин 73% [144]. 2,4,5-Трихлорфенилдихлорфосфин выделен в виде фосфонистой кислоты с выходом 57% [145]. Взаимодействие 1,4-дихлорбензола с белым фосфором и  $PCl_3$  приводит к смеси 4-хлорфенилдихлорфосфина (I) и 1,4-бис(дихлорфосфино)бензола (II):



Основным продуктом реакции при 290—300°C является соединение (I), а при 340° — соединение (II) с выходом 38,4%. Продукт (I) также превращается в соединение (II) при нагревании с белым и треххлористым фосфором с выходом 24,7% [7, 146, 147].

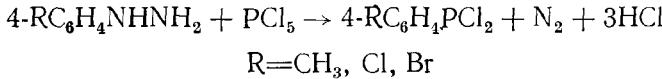
г) Прочие способы

Арилдихлорфосфины получаются при восстановлении комплексов, полученных из арилдиазонийфторборатов и треххлористого фосфора, магнием или алюминием [148—155]:



Реакция экзотермична, но легко контролируется.

Арилгидразины и их хлоргидраты при кипячении в бензоле с пятихлористым фосфором образуют арилдихлорфосфины с выходами 45—65% [156].



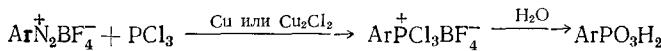
Фенилдигалогенфосфины образуются при облучении ультрафиолетовым светом смеси иодбензола, тригалогенида фосфора и порошкообразного серебра с выходом 8,5—11,5% [157].

Таким образом, арилдихлорфосфины чаще получают по способу Фриделя — Крафтса, который и изучен лучше других. Реакция проста в осуществлении, исходные реагенты доступны и дихлорфосфины получаются с хорошими выходами. Существенными недостатками способа являются:

образование трудноразделимой смеси 2-, 3- и 4-изомеров арилдихлорфосфинов; большое количество отходов производства<sup>1</sup> и ограниченный выбор заместителей в ароматическом ядре.

### 3. Арилирование тригалогенидов фосфора арилдиазоний фторборатами

Этим методом синтезировано большое число различных арилфосфоновых кислот, хотя первые попытки использовать соли арилдиазония для приготовления арилфосфоновых кислот были неудачными [23, 110, 158, 159]. Позже синтез арилфосфоновых кислот удалось осуществить реакцией борфторидов с треххлористым фосфором в присутствии порошка медной бронзы или галогенидов одновалентной меди:



Реакция проводится в среде безводного органического растворителя, главным образом этил- и изопропилацетата или диоксана при комнатной или повышенной до 50—60° С температуре. Реагенты берутся в эквимолярном соотношении. Трехбромистый фосфор используется редко [160—164]. Кроме диазонийфторборатов применяются хлорцинкатные и фторсиликатные соли диазония. Отмечается, что диазонийфторсиликаты устойчивее и удобнее в обращении [164]. Целевые соединения выделяют из концентрированных водных растворов в виде мононатриевых (калиевых) солей или свободных кислот и очищают перекристаллизацией, чаще всего из 6N HCl. Выходы арилфосфоновых кислот обычно колеблются в пределах 10—50% и редко превышают 70%. В качестве побочных продуктов образуются диарилфосфиновые кислоты с выходом до 15%.

Фенилфосфоновая кислота образуется из фенилдиазонийборфторида и треххлористого фосфора с выходом 17% [161]. 3-и 4-Толилфосфоновые кислоты приготовлены с выходом 69,8% и 60% соответственно [165], а все изомеры этилфенилфосфоновой кислоты — с выходом 11—18% [166]. 4-( $\beta$ -Бромэтил)фенилфосфоновая и 4-(тет-бутил)фенилфосфоновая кислоты получены с выходом 36% [167] и 55% [39] соответственно, а 2- и 4-бифенилфосфоновые кислоты с выходом 9 и 40% [168]. 2,5-Дифенилфенилфосфоновая кислота образуется с выходом 17% [169].

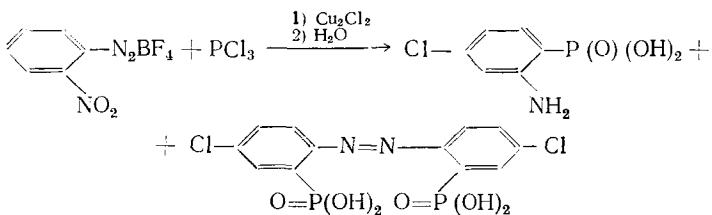
Почти все возможные изомерные моногалогенфенилфосфоновые кислоты, кроме 3-бром- и 4-иодзамещенных, синтезированы в свободном виде, за исключением 4-фторпроизводного, выделенного в виде 4-толуидиновой соли. Иодфенилдиазониевые соли реагируют с галогенидами фосфора труднее и выходы иодфенилфосфоновых кислот не превышают 22% [161, 163, 164, 170—174].

При обработке 1,3- и 1,4-фенилен-бис-диазонийфторборатов треххлористым фосфором фосфорилирование протекает только по одной диазогруппе, в то время как вторая замещается на хлор и частично на фтор [175]. Ди- и тригалогенфенилдиазонийфторбораты реагируют с треххлористым и трехбромистым фосфором в тех же условиях с образованием ди- и тригалогензамещенных фенилфосфоновых кислот с выходом до 32% [163, 173]. Этим способом получены и изомерные 2-хлор-5-метил, 3-хлор-4-метил- и 4-хлор-3-метилфосфоновые кислоты с выходами 36, 50 и 15% соответственно [162, 176].

3(4)-Нитрофенил- и 4(5)-нитро-2(3)-толилфосфоновые кислоты получаются диазоспособом с выходом 37—55% [161, 164, 174, 177]. 2-Нитрофенил- и динитрофенилфосфоновые кислоты получить этим способом не удалось [161, 170]. Взаимодействие 2-нитрофенилдиазонийфторбората с треххлористым фосфором сопровождается не только замещением диазогруппы на дихлорофосфонильную, но и восстановлением нитрогруппы до аминогруппы, а также хлорированием ароматического ядра. Из реакционной смеси выделены с малым выходом 4-хлор-2-аминофенил-

<sup>1</sup> На 1 кг арилдихлорфосфина получается от 2,2 до 2,5 кг твердых отходов и смол [74].

фосфоновая кислота и 2,2'-дифосфоно-4,4'-дихлоразобензол [178].



Катализатор берется в эквимолярном количестве, соотношение  $\text{ArN}_2\text{BF}_4 : \text{PCl}_3$  равно 1 : 3,5. При меньшем избытке галогенида фосфора выход арилфосфоновой кислоты заметно снижается. Хлораминофенилфосфоновая кислота выделяется из ее комплекса с солью меди при действии соляной кислоты с выходом до 15% [179—181]. Фосфорилирование моногалогенпроизводных 2-нитрофенилдиазонийфторборатов, независимо от положения атома галогена, протекает без галогенирования ароматического ядра, но с восстановлением нитрогруппы [182]. Использование восстановителей, например, порошкообразного железа в соляной кислоте позволяет повысить выход 2-амино-4-галогенфосфоновых кислот до 33% [182]. 2-Гидроксифенилфосфоновую кислоту синтезировать этим методом не удалось; из реакционной массы выделены в небольшом количестве лишь продукты ее сочетания с 4-нитрофенилдиазонийхлоридом [179, 183].

Алcoxифенил-, бензоксифенил-, 3,4-диоксиметилфенил- и алкилтиофенилфосфоновые кислоты синтезированы из соответствующих диазониевых солей и треххлористого фосфора с выходами 18—61% [173, 174, 184, 185], а 2-феноксифенилфосфоновая кислота — с выходом 63% [186].

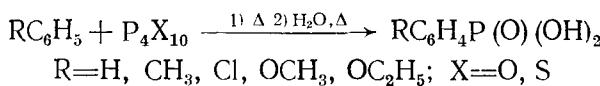
Труднодоступные иными методами арилфосфоновые кислоты, содержащие в качестве заместителей карбонильную, сульфамидную или циангруппу получаются диазоспособом с выходом 27—50% [161, 173, 187].

Так, 2-карбоксифенилфосфоновая кислота получена из диазониевой соли антраксиловой кислоты и треххлористого фосфора в одну стадию с выходом 37%; ранее ее синтез включал несколько стадий [173]. Этим способом из арилдиазониевых солей, содержащих несколько различных функциональных групп в ядре — один или два атома галогена (F, Cl, Br) и нитрогруппу [163, 173, 184, 188], атом хлора и оксигруппу [183] или метоксигруппу [186], нитро- и метокси- или карбоксигруппу [173, 177] — приготовлены соответствующие арилфосфоновые кислоты с выходами 12—44%. Например, 2-метокси-4-нитрофенилфосфоновая кислота получена с выходом 31% и использована для синтеза 2-гидрокси-4-аминофенилфосфоновой кислоты — фосфорного аналога 4-аминосалициловой кислоты [173].

Из приведенного следует, что метод диазотирования прост в осуществлении и позволяет получать арилфосфоновые кислоты с широким набором заместителей в ароматическом ядре, которые либо труднодоступны, либо не получаются другими методами. К недостаткам способа относится сравнительно низкий выход целевых веществ, редко превышающий 50%, и его непригодность для синтеза 2-нитро-, 2-гидроксифенилфосфоновых кислот и ряда других замещенных арилфосфоновых кислот.

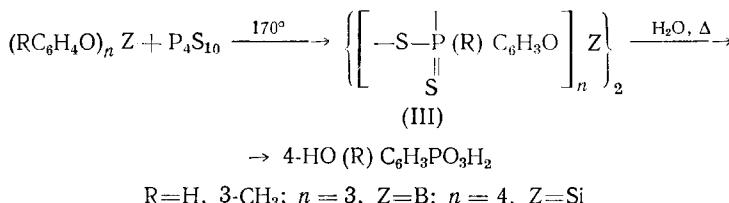
#### 4. Арилирование фосфорного ангидрида и пентасульфида фосфора

В качестве арилирующих реагентов в этом способе используются ароматические соединения, не содержащие гидрокси-, амино-, нитро- и других групп, которые могут претерпевать какие-либо изменения в условиях синтеза. Реакция проводится в автоклаве при 150—225°C, с использованием пятисернистого фосфора и при 250—325°C в случае пятиокиси фосфора в течение 5—25 ч. Ароматическое соединение берется в большом избытке. Продукты реакции гидролизуются водой до арилфосфоновых кислот. Так, при использовании анизола и пятисернистого фосфора 4-метоксифенилфосфоновая кислота получена с выходом 80% [189—



Реакция протекает с предварительным разрывом одной связи гексагональной формы ангидрида и образованием бирадикала или биполярного иона, который далее реагирует с ароматическим соединением, образуя полимерные ангидриды арилфосфоновых или арилтиоfosфоновых кислот [189]. Обработка ангидридов, тиоангидридов и смешанных тио-ангидридов арилфосфоновых кислот хлористым сульфурилом; пятихлористым фосфором или хлором и затем сернистым газом приводит к дихлорангидридам арилфосфоновых кислот [189, 194, 196—198]. Последние получаются и непосредственным нагреванием арилгалогенидов  $4\text{-}RC_6H_4\text{Hal}$  ( $R=H$ , алкил  $C_1—C_4$ ,  $\text{Cl}$ ;  $\text{Hal}=\text{Cl}, \text{Br}$ ) с фосфорным ангидридом и тригалогенидом фосфора при  $200—450^\circ\text{C}$  [199].

При взаимодействии тетраарилоксисиланов и трифенилового эфира борной кислоты с пентасульфидом фосфора образуются соединения (III), которые гидролизуются водой до гидроксизамещенных арилфосфоновых кислот с выходом до 40% [200, 201]:



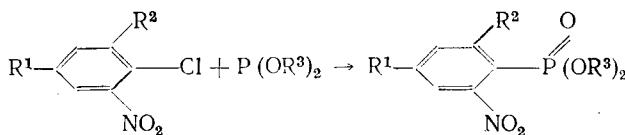
Рассмотренный способ, вследствие ограничений в выборе заместителей в бензольном ядре и препартивных трудностей, не получил широкого признания.

### 5. Арилирование эфиров фосфористой кислоты арилгалогенидами

В этом разделе описаны способы получения средних эфиров арилфосфоновых кислот с различными заместителями в ядре арилированием эфиров фосфористой кислоты ароматическими галогенидами или нитро-соединениями.

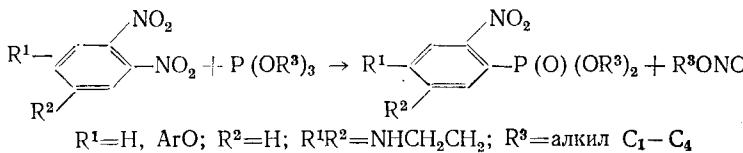
#### а) Арилирование без применения инициаторов

При длительном (16 ч) нагревании (до  $150^\circ\text{C}$ ) в автоклаве замещенных пентафторбензолов ( $RC_6F_5$ , где  $R=H, CF_3, CN, NO_2, C_6F_5$ ) и триэтилфосфита с выходами 25—30% получены 4-замещенные тетрафтор-фенилфосфонаты [202, 203]. При наличии в бензольном ядре кроме атома галогена нитрогруппы реакция протекает при более низких температурах ( $60—120^\circ\text{C}$ ) с сохранением нитрогруппы и выходами фосфоната до 95% [204—208]:



$R^1=H, CF_3, Cl, CN, NO_2, C_2H_5SO_2, CH_3COO$ ;  $R^2=H, Cl, NO_2$ ;  $R^3=$ алкил  $C_1—C_4$

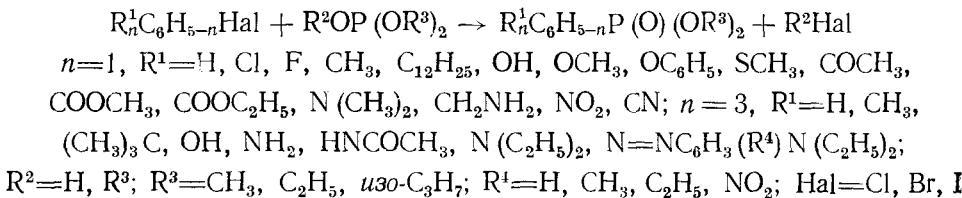
*o*-Динитробензолы, не содержащие галогена, арилируют триалкилфосфиты в среде ацетонитрила с образованием *o*-нитрофенилфосфонатов с выходами 50—80% [209—214]:



В 5-(6)-нитробензимидазоле при нагревании с диалкилфосфитом нитрогруппа легко замещается на фосфорильную [215].

### б). Арилирование в присутствии катализаторов

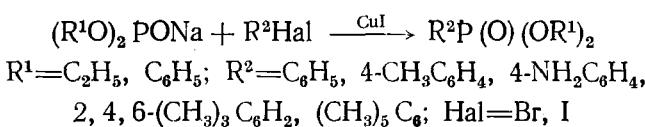
Нагреванием диалкилфосфитов [216—219] или триалкилфосфитов [220—234] с арилгалогенидами в присутствии катализаторов получены различные арилфосфонаты с выходами до 90%.



Лучшими катализаторами являются галогениды никеля, употребляемые в количестве 0,1—20% (мольных) [220—225] и хлористый или уксусно-кислый палладий — 0,01—0,05% (мольных) [228, 229]. Медная бронза и полуторахлористая медь дают худшие результаты, даже при употреблении трехкратного избытка фосфита [230, 231], в то время как арилирование в присутствии полуиодистой меди или ацетата меди протекает при сравнительно низких температурах (0—115°C) в растворителе с выходами фосфонатов до 85% [216, 217, 232—234]. В качестве катализатора используется также комплекс галогенида палладия с трифенилфосфином [218, 219].

Трифенилфосфит при нагревании до 250—340°C в присутствии катализитических количеств иодбензола и галогенидов никеля или меди изомеризуется в дифенилфенилфосфонат с выходом до 90%. В присутствии хлорного железа получены худшие результаты [226].

Взаимодействие натриевых солей диалкил- или диарилфосфитов с арилгалогенидами протекает в присутствии полуиодистой меди или иодистого магния. Выходы арилфосфонатов составляют 54—81% [227, 235].



### в) Арилирование при ультрафиолетовом облучении

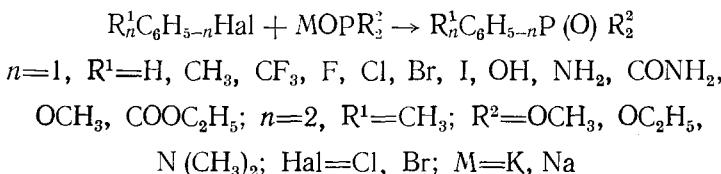
При длительном облучении смеси арилгалогенида с 3—5-ти кратным избытком триметил- или триэтилфосфита с хорошим выходом образуются диалкиларилфосфонаты. Оптимальная температура реакции от —5 до —25°C. В качестве арилирующих реагентов лучше употреблять иодистые или бромистые арилы. Диметиловые эфиры фенил-, толил- и ксилилфосфоновых кислот получаются с выходами 50—100%. При арилировании триэтилфосфита требуется более длительное облучение, чем при арилировании триметилфосфита; с увеличением длины радикала R в фосфита  $(RO_3)P$  наблюдается резкое снижение выхода арилфосфонатов. Так, при использовании триизопропилфосфита и иодбензола выход дизопропилфенилфосфоната составляет лишь 26% [236—242].

При взаимодействии дигалогенбензолов и триметилфосфита получают диметилгалогенфенилфосфонаты, причем лучшие выходы (39—92%) достигнуты при употреблении 1,3- и 1,4-изомеров и сочетании галогенов: I, Cl или Br; Br, F. Побочными продуктами реакции являются фенилендифосфонаты, выход которых зависит от природы и положения атомов галогена в дигалогенбензole, достигая 87% при употреблении 1,2-иодбромбензола и 10—39% в случае 1,3- или 1,4-изомеров [239, 240]. Пентафтор- и пентахлориридин взаимодействуют с низшими фосфитами с образованием тетрагалогениридилифосфонатов [241].

Взаимодействием замещенных иодбензолов с низшими триалкилфосфитами получены различные изомеры метокси- и диметокси-[238, 242, 243], гидрокси-[238, 242], амино-[244], формил-[243] и карбэтоксифенилфосфоновых кислот [245] с выходами 34—92%.

Этот способ оказался непригодным для синтеза нитрофенилфосфонатов вследствие протекания окислительно-восстановительных процессов при взаимодействии нитробензола с фосфитами [238].

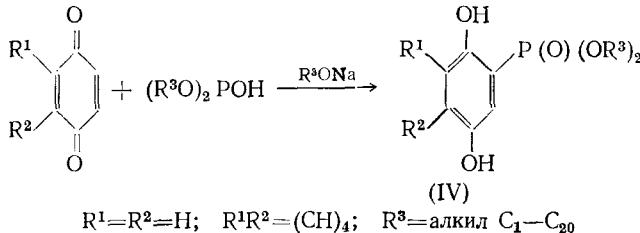
Натриевые или калиевые соли диалкилфосфитов и тетраалкилдиамидофосфитов взаимодействуют с бромистыми или лучше иодистыми арилами в жидким аммиаке при облучении ультрафиолетовым светом с образованием фосфонатов с выходом 87—96%. Без освещения выход целевых соединений очень низок (0—7%) [246—252].



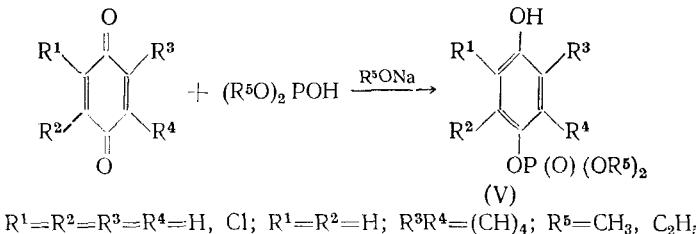
В тех же условиях 1,3-иодбром- и 1,3-иодхлорбензол реагируют с щелочными солями диалкилфосфитов с преимущественным образованием тетраалкиловых эфиров 1,3-фениленбисфосфоновых кислот [253, 254]. Вместо жидкого аммиака можно использовать другие растворители (диметилсульфоксид, диметилформамид, трет-бутанол и ацетонитрил) [255].

## 6. Прочие способы

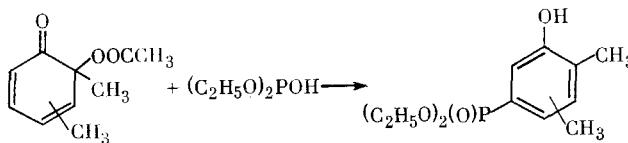
В первом сообщении [256] о взаимодействии *n*-хинонов с диалкилфосфитами в присутствии оснований высказано предположение, что продукт реакции имеет структуру фосфоната (IV).



В последующих работах [257—261] приводятся доказательства того, что продуктом этой реакции является фосфат (V)



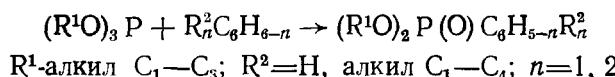
Позже описано [262] взаимодействие диметилфосфита с *n*-бензохиноном, которое приводит к образованию смеси фосфоната (IV) —  $\text{R}^1=\text{R}^2=\text{H}$ ,  $\text{R}^3=\text{CH}_3$  — 55%, фосфата (V) —  $\text{R}^1=\text{R}^2=\text{R}^3=\text{H}$ ,  $\text{R}^5=\text{CH}_3$  — 10% и бисфосфоната (IV) —  $\text{R}^1=\text{H}$ ,  $\text{R}^2=\text{P}(\text{O})(\text{OCH}_3)_2$  — 8%. Взаимодействие *n*-бензохинон-бис-бензосульфонилимида с низшими диалкилфосфитами также приводит к смеси фосфоната и амидафосфата, соотношение которых меняется в зависимости от условий проведения реакции [263]. Взаимодействием замещенных 2-метил-2-ацетоксициклогексадиен-3,5-онов с диэтилфосфитом получены 3-гидроксиарилфосфонаты с выходом до 40% [264].



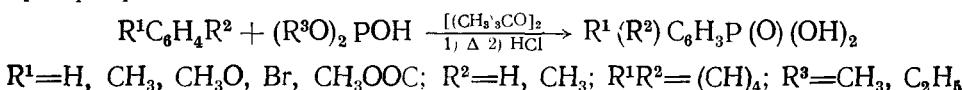
При изучении взаимодействия *n*-хинонов с низшими триалкилфосфитами разными авторами также получены противоречивые данные. Так, в работах [265, 266] утверждается, что продуктами этой реакции являются 2-алкокси-5-гидроксифенилфосфонаты; в [267—269]—4-алкоксифенилфосфаты, а в [270]—4-алкоксифенилфосфаты с примесью 2,5-дигидроксифенилфосфоната (до 2%). Реакция триэтилфосфита с бензохиноном и хлористым водородом в эфире при  $-70^{\circ}\text{C}$  приводит к смеси фосфата и фосфоната (1:1) [271].

Нагревание 4-бромфениларилсульфидов или 4-бромфенилариловых эфиров с эквимольными количествами треххлористого фосфора и хлористого алюминия с последующим щелочным гидролизом приводит к образованию фосфоновых кислот  $\text{ArX}_6\text{H}_4\text{PO}_3\text{H}_2\text{-}4$  с выходом 75—90% при  $\text{X}=\text{O}$  и 12,5—67% при  $\text{X}=\text{S}$ ,  $\text{Ar}=\text{C}_6\text{H}_4\text{R}^2\text{-}4$ ;  $\text{R}^2=\text{CH}_3, \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}$  [148, 149].

При электрохимическом окислении смеси триалкилфосфита и 18—25-ти кратного избытка ароматического углеводорода в ацетонитриле при комнатной температуре образуются диалкиларилфосфонаты с выходом 14—66% [272—276].

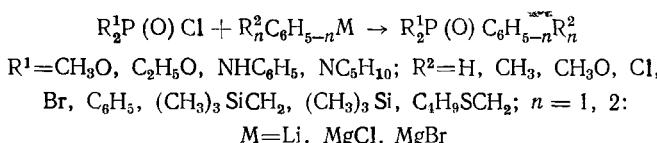


При нагревании бензола или хлорбензола с треххлористым фосфором и перекисью бензоила получены дихлорангидриды соответственно фенил- или хлорфенилфосфоновых кислот [277]. Взаимодействие диалкилфосфитов с перекисью бензоила приводит к образованию 4-карбоксифенилфосфонатов с выходом 55% [278, 279]. Диалкилфосфиты в присутствии перекиси третичного бутила реагируют с ароматическими углеводородами. После кислотного гидролиза продуктов реакции получают арилфосфоновые кислоты с выходом до 65% [280, 281].

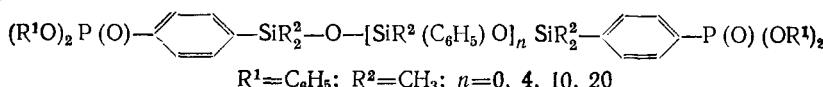


Фенилдиалкилфосфат в присутствии сильных оснований, например, дизопропиламида лития перегруппированывается в 2-гидроксифенилфосфонат с выходом до 98% [282].

Диэтиловые эфиры, эфироамиды и диамиды арилфосфоновых кислот, содержащие различные заместители, синтезированы взаимодействием ариллития или арилмагнийгалогенидов с диалкилхлорфосфатами с выходом 5,7—65,4% [225, 243, 293—289], с диамидохлорфосфатами с выходом 18—75,2% [290, 291]. О-2,5-Дихлорфенил-*N*-изопропиламинофенилфосфонат получен с выходом 26,6% [292]. Реакция проводится в среде абсолютного эфира или тетрагидрофурана.

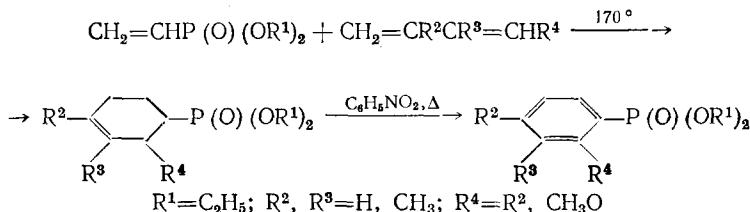


Этим способом из дифенилхлорфосфата и силоксанов, содержащих две фенилмагнийбромидные группы у разных атомов кремния, получают бисфосфорилированные силоксаны [293, 294].

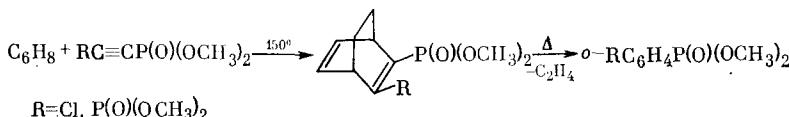


Тетрафенилсвинец или тетрафенилолово арилируют хлоркись фосфора при длительном (130—180 ч) нагревании (до 180°С) с образованием дихлорангидрида фенилфосфоновой кислоты с выходом до 58% [121, 122].

Иногда для получения эфиров арилфосфоновых кислот применяют реакцию диенового синтеза. Так, из диэтилвинилфосфоната и замещенных бутадиенов с последующим дегидрированием продуктов реакции получены арилфосфонаты с выходами до 68% [295].



2-Замещенные диметиларилфосфонаты получают из циклогексадиена и диметилхлорацетиленфосфоната или тетраметилацетилендифосфоната. Реакция включает образование бициклического фосфоната, который при высокой температуре отщепляет этилен и дает арилфосфонат [296].



2,5-Дифенилфенилфосфоновая кислота получается из малеинового ангидрида и 3-(2,5-дифенилфурил)фосфоновой кислоты с выходом 10—15% [170]. Нагреванием O,O-диалкил-1-винил-3,3-диметилалленфосфоната и ацетилацетона в присутствии этилата натрия получен O,O-диалкил-2-изопропил-4-метил-5-ацилфенилфосфонат [297].

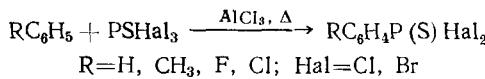
### III. МЕТОДЫ СИНТЕЗА АРИЛТИОФОСФОНОВЫХ КИСЛОТ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

Известные способы синтеза арилтиофосфоновых кислот и их производных немногочисленны, а выбор заместителей в ароматическом ядре ограничен (преимущественно алкильная, алcoxильная группа или галоген).

Дихлорангидриды арилтиофосфоновых кислот  $\text{R}_n\text{C}_6\text{H}_{5-n}\text{P(S)Cl}_2$  ( $\text{R}$ =алкил  $\text{C}_1-\text{C}_{30}$ , F, Cl, Br,  $\text{CF}_3$ ;  $n=1, 2$ ) получают присоединением серы к алюмохлоридному комплексу арилдихлорфосфинов [95, 298—300] или к свободным арилдигалогенфосфинам в присутствии катализитических количеств хлористого алюминия [25, 301], аммониевых или фосфониевых солей [302].

Последовательной обработкой фенил- или хлорфенилдихлорфосфинов однохлористой серой и сернистым газом или фосфорным ангидридом получают смесь дихлорангидридов соответствующих арилфосфоновых и арилтиофосфоновых кислот с преимущественным содержанием последних [303]. 4-Хлорфенилдихлорфосфин нагреванием с тиохлорокисью фосфора переводят в дихлорангидрид 4-хлорфенилтиофосфоновой кислоты с выходом 93,1% [304]. Эфиры, амиды, ангидриды арилтиофосфоновых кислот получают присоединением серы к соответствующим производным арилфосфонистых кислот с выходом до 90% [5, 34, 43, 104, 304—306] или окислением эфиров арилтиофосфонистых кислот перекисью водорода [305]. Дигалогенангидриды арилтиофосфоновых кислот образуются с выходом 10—79% при нагревании тиогалогенида фосфора и ароматического углеводорода с алюминием, хлористым алюминием [307—311] или хлористого алюминия с тригалогенидом фосфора и пятисерни-

стым фосфором [309, 310, 312—316]:

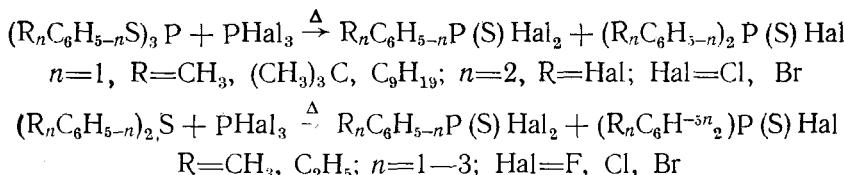


При использовании хлористого алюминия мольное соотношение реагентов —  $SPHal_3 : AlCl_3 : ArH$  равно 1:2—2,5:1—1,1. Побочными продуктами являются галогенангидриды диарилтиофосфоновых кислот и триарилфосфинсульфиды, количество которых возрастает при увеличении времени реакции, изменении соотношения реагентов. Так, при четырехчасовом кипячении смеси реагентов эти две примеси выделены с выходом 30 и 70% ( $Ar = C_6H_{13}C_6H_4$ ) [315, 316].

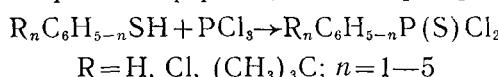
Фосфорилирование ароматических углеводородов тиогалогенидами фосфора [317—320], смесью тригалогенида фосфора и серы [321], как и фосфорилирование арилгалогенидов сульфидом фосфора ( $P_4S_3$ ) [322] или смесями сульфида фосфора ( $P_4S_{10}$ ) с тригалогенидами фосфора [199, 323] с добавками: красного фосфора [324], тиогалогенидов фосфора [325] или тиогалогенидов фосфора с красным фосфором [326] приводит к образованию дигалогенангидридов арилтиофосфоновых кислот  $R_nC_6H_{5-n}P(S)Hal_2$  ( $R=H$ , алкил  $C_1—C_4$ , F, Cl;  $n=1, 2$ ; Hal=Cl, Br). Эти же продукты получены фосфорилированием арилгалогенидов смесью тиогалогенида фосфора с белым или красным фосфором [327, 328] или тригалогенида фосфора с фосфором и серой [329]. Выход продуктов составляет 35—87%. Все эти реакции протекают при температурах 200—450°. Температура реакции снижается при добавлении иода, иодидов металлов, иодистых алкилов в количестве 0,01—0,1% от веса реакционной массы [323, 327]. Фосфорилирование толуола дает смесь, содержащую в равных количествах дигалогенангидриды 4-толилтиофосфоновой и бензилтиофосфоновой кислот [317—319].

Тетрахлорангидриды 1,4-арилен-бис(тиоfosфоновых) кислот образуются при нагревании 1,4-дихлорбензола с треххлористым и пятивалентным фосфором или тиохлорокисью фосфора и белым фосфором с выходом 60—66% [323, 324, 327, 329].

Дигалогенангидриды арилтиофосфоновых кислот получают при нагревании избытка тригалогенида фосфора с ди- и триарилтиофосфитами [330—332], триарилтетратиофосфатами [333], диарилсульфидами [334, 335] и дисульфидами [336] при 250—600° С в присутствии катализитических количеств галогенов, галогенсодержащих углеводородов, галогенидов металлов или без катализатора с выходом 30—91,2%. Побочными продуктами реакции являются галогенангидриды диарилтиофосфиновых кислот. Например:

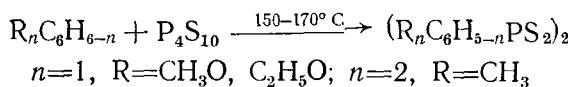


В реакцию с диарилсульфидами и дисульфидами вовлекалась и смесь тригалогенида фосфора с белым фосфором [337, 338] или с тиогалогенидом и сульфидами фосфора (типа  $P_4S_n$ , где  $n=3, 5, 7, 10$ ) [339]. Ди-хлорангидриды арилтиофосфоновых кислот образуются и при нагревании треххлористого фосфора с арилтиолами при 250—320° С с выходом 65—90%, но при этом требуется предварительное кипячение смеси исходных реагентов при атмосферном давлении [340]:



Тиоангидриды арилтиофосфоновых кислот получаются при нагревании 10-ти кратного избытка о-ксилола, анизола, фенетола с пятивалентным фосфором [191, 194, 201, 341, 342] или смеси фосфора (белого или

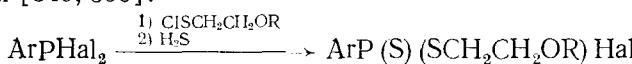
красного) с серой [343—345] с выходом 53,2—99%:



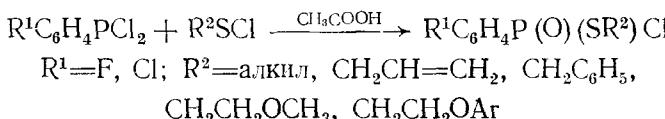
Дигалогенангидриды арилтиофосфоновых кислот образуются при действии галогенов, пятихлористого фосфора на тиоангидриды арилтиофосфоновых и -фосфонистых кислот с выходом 73—90% [43, 194, 198].

Дигалогенангидриды арилфосфоновых кислот при нагревании с тиогалогенидом, пентасульфидом фосфора [346, 347], белым фосфором и серой [348] превращаются в дигалогенангидриды арилтиофосфоновых кислот.

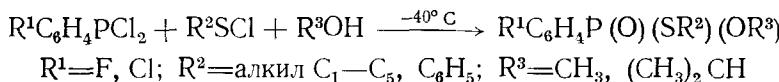
Эфирогалогенангидриды арилдитиофосфоновых кислот образуются при взаимодействии арилдигалогенфосфинов с сульфенхлоридами и сероводородом [349, 350]:



сульфенхлоридами в среде жидкой двуокиси серы или ледяной уксусной кислоты в отсутствие или присутствии инертного растворителя (хлористый метилен, хлороформ) при (—40)–35°C [351—354]:



Обычно эфирохлорангидриды не выделяют, а превращают в эфиры, эфироамиды арилтиол- и арилдитиолфосфоновых кислот с выходом 70—90% реакцией со спиртами, меркаптанами, аминами. Одновременное прибавление дихлорфосфина и сульфенхлорида к избытку спирта в растворителе приводит к O,S-диалкил(или алкиларил)арилтиолфосфонатам с выходом 66—99% [144]:



Диэтиловые эфиры 2,3,5,6-тетрафторарилтиофосфоновых кислот образуются при нагревании пентафторзамещенных производных бензола с диэтилтиофосфитом натрия в тетрагидрофуране с выходом 37—41% [335].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Freedman L. D., Doak G. O. Chem. Rev., 1957, v. 57, № 3, p. 479.
2. Crefts P. C. Quart. Rev., 1958, v. 12, p. 347.
3. Frank A. W. Chem. Rev., 1961, v. 61, № 4, p. 389.
4. Англ. заявка 2048883 (1980); С. А., 1980, v. 95, p. 43346.
5. Гефтер Е. Л., Рогачева И. А. Журн. общ. химии, 1964, т. 34, с. 88.
6. Англ. пат. 1520236 (1978); С. А., 1979, v. 90, 138016.
7. Баранов Ю. И., Филиппов О. Ф., Варшавский С. Л., Кабачник М. И. Докл. АН СССР, 1968, т. 182, с. 337.
8. Michaelis A., Schenck A. Lieb. Ann., 1980, B. 260, S. 1.
9. Arnold G. B., Hamilton C. S. J. Amer. Chem. Soc., 1941, v. 63, p. 2637.
10. Chantrell P. G., Pearce C. A., Toyer C. R., Twatts R. J. Appl. Chem., L, 1964, v. 14, p. 563.
11. Легин Г. Я. Журн. общ. химии, 1973, т. 43, с. 2202.
12. Близнюк Н. К., Левская Г. С., Варшавский С. Л. Авт. свид. СССР 247298 (1969); Бюл. изобр., 1969, № 16, с. 17.
13. Пат. ФРГ 954244 (1956); С. А., 1959, v. 53, 11305.
14. Англ. пат. 783697 (1957); С. А., 1958, v. 52, 8194.
15. Камай Г. Х., Харрасова Ф. М., Султанова Р. Б., Ткухватулина С. Ю. Изв. вузов. Химия и хим. технол., 1962, т. 5, с. 759.
16. Пат. США 2867646 (1959); С. А., 1959, v. 53, 12237.
17. Яп. пат. 49389 (1980); С. А., 1980, v. 93, 168409.
18. Пат. США 4252740 (1981); кл. 260—543.
19. Смирнов Е. А., Зиновьев Ю. М., Петрухин В. А. Журн. общ. химии, 1968, т. 38, с. 1551.

20. Близнюк Н. К., Протасова Л. Д., Клопкова Р. С., Климова Т. А. Авт. свид. СССР 487083 (1975); Бюл. изобр., 1975, № 37, с. 87.
21. Buchner B., Lockhart L. J. Amer. Chem. Soc., 1951, v. 73, p. 755.
22. Melchiker P. Chem. Ber., 1898, B. 31, S. 2915.
23. Vioit M. P. J. Recherches Centre natl. recherche sci (Paris), 1954, № 28, p. 15; C. A., 1956, v. 50, 7077.
24. Cherbulier E., Weber G., Rabinowits J. Helv. Chim. Acta, 1962, B. 45, S. 2665.
25. Ягупольский Л. Т., Иванова Ж. М. Журн. общ. химии, 1960, т. 30, с. 4026.
26. Гефтер Е. Л. В сб.: Методы получения химических реагентов и препаратов. М.: ВНИИХР и ОЧХВ, 1969, вып. 18, с. 99.
27. Митрасов Ю. Н., Владыко Е. Д., Кормачев В. В. Авт. свид. СССР 1051096 (1983); Бюл. изобр., 1983, № 40, с. 96.
28. Митрасов Ю. Н., Владыко Е. Д., Кормачев В. В. Авт. свид. СССР 1051097 (1983); Бюл. изобр., 1983, № 40, с. 96.
29. Даванков А. Б., Кабачник М. И., Коршак В. В., Лейкин Ю. А., Оховецкер Р. Ф., Цветков Е. Н. Журн. общ. химии, 1967, т. 37, с. 1605.
30. Toy A. D. F. J. Amer. Chem. Soc., 1948, v. 70, p. 186.
31. Пат. США 2482810 (1949); С. А., 1950, v. 44, 658.
32. Казакова А. В., Насакин О. Е., Кухтин В. А. В сб.: Фосфороганические соединения и мономеры. Чебоксары, 1977, в. 3, с. 19.
33. Кабачник М. И., Цветков Е. Н. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1961, с. 1896.
34. Цветков Е. Н., Лобанов Д. И., Кабачник М. И. Журн. общ. химии, 1968, т. 38, с. 2285.
35. Протопопов И. С., Крафт М. Я. Там же, 1964, т. 34, с. 1446.
36. Kosolapoff G. M., Huber F. J. Amer. Chem. Soc., 1947, v. 69, p. 2020.
37. Пат. США 2594454 (1952); С. А., 1953, v. 1179.
38. Пат. США 2632018 (1953); С. А., 1954, v. 48, 2097.
39. Kosolapoff G. M. J. Amer. Chem. Soc., 1954, v. 76, p. 3222.
40. Kosolapoff G. M. Ibid., 1952, v. 74, p. 4119.
41. Jutisz M., Scoffone E., Liosa P. Bull. Soc. chim. France, 1959, p. 1551.
42. Kosolapoff G. M. J. Amer. Chem. Soc., 1948, v. 70, p. 3465.
43. Мизрах Л. И., Евдаков В. П. Журн. общ. химии, 1966, т. 36, с. 469.
44. Яп. пат. 88943 (1976); С. А., 1976, v. 85, 177615.
45. Яп. пат. 93751 (1977); С. А., 1978, v. 88, 121375.
46. Michaelis A. Chem. Ber., 1873, B. 6, S. 601.
47. Michaelis A. Ibid., 1875, B. 8, S. 1313.
48. Michaelis A. Lieb. Ann., 1876, B. 181, S. 265.
49. Kohler H. Chem. Ber., 1880, B. 13, S. 1623.
50. Арбузов А. Е. Журн. русск. физико-химич. общества, 1910, т. 42, с. 398.
51. Pope W., Gibson C. S. J. Chem. Soc., 1912, v. 101, p. 735.
52. Linder J., Wirth W., Zannerbauer B. Monatsh. Chem., 1937, B. 70, S. 1.
53. Пат. США 3210418 (1965); С. А., 1966, v. 64, 2128.
54. Пат. США 3029282 (1962); РЖХим., 1963, 18Н110.
55. Пат. США 3709932 (1973); РЖХим., 1973, 23Н87.
56. Бельг. пат. 822737 (1975); С. А., 1976, v. 84, 74432.
57. Пат. США 3954859 (1976); РЖХим., 1977, 2Н176.
58. Англ. пат. 1469003 (1977); кл. С2Р.
59. Michaelis A. Chem. Ber., 1879, B. 12, S. 1009.
60. Камай Г. Журн. общ. химии, 1932, т. 2, с. 524.
61. Kosolapoff G. M. In: Friedel — Crafts and Related Reactions/Ed by Olar G. A. N. Y.: J. Wiley Sons, 1965, v. 4, p. 213.
62. Frank A. W. J. Org. Chem., 1959, v. 24, p. 966.
63. Харрасова Ф. М., Камай Г. М., Султанова Р. Б. Авт. свид. СССР 185908 (1966); Бюл. изобр., 1966, № 18, с. 39.
64. Dye W. T. J. Amer. Chem. Soc., 1948, v. 70, p. 2595.
65. Гефтер Е. Л. Авт. свид. СССР 107277 (1957); Бюл. изобр., 1957, № 6.
66. Гефтер Е. Л. Журн. общ. химии, 1958, т. 28, с. 1338.
67. Яп. пат. 17485 (1960); С. А., 1981, v. 55, 19861.
68. Кормачев В. В., Васильева Т. В., Абрамов А. И., Клубов А. Ю. Авт. свид. СССР 1011653 (1983); Бюл. изобр., 1983, № 14, с. 101.
69. Кормачев В. В., Соловьева К. В., Ворожцева Т. Н., Васильева Т. В., Чалых С. П. Журн. общ. химии, 1984, т. 54, с. 1004.
70. Яп. пат. 12054 (1975); С. А., 1975, v. 83, 10393.
71. Пат. США 2211707 (1940); С. А., 1941, v. 35, 468.
72. Davies W. C., Mann F. G. J. Chem. Soc., 1944, p. 276.
73. Камай Г. М., Харрасова Ф. М., Султанова Р. Б., Матвеева Г. И. Журн. общ. химии, 1967, т. 37, с. 902.
74. Дыбовский Р. К., Рогозкин В. А. Журн. прикл. химии, 1967, т. 40, с. 228.
75. Гефтер Е. Л. В кн.: Фосфороганические мономеры и полимеры. М.: Изд-во АН СССР, 1960; с. 98.
76. Kosolapoff G. M. J. Amer. Chem. Soc., 1950, v. 72, p. 4292.
77. Bucher B., Lockhart L. B. Org. Synt., 1951, v. 31, p. 88.
78. Mann F. G., Chaplin E. J. J. Chem. Soc., 1937, v. 39, p. 527.
79. Zecchini F. Gaz. chim. ital., 1984, v. 24, p. 34.
80. Michaelis A. Lieb. Ann., 1896, B. 293, S. 193.
81. Baldurn R. A., Smitheman K. A., Washburn R. M. J. Org. Chem., 1961, v. 26, p. 3547.

82. Wiley R. H., Jarboe C. H. J. Amer. Chem. Soc., 1951, v. 73, p. 4996.
83. Weller J. Chem. Ber., 1887, B. 20, S. 1718.
84. Европ. заявка 8164 (1980); С. А., 1980, v. 93, 168404.
85. Michaelis A. Lieb. Ann., 1901, B. 315, S. 43.
86. Пат. ФРГ 2152481 (1970); С. А., 1972, v. 77, 62815.
87. Пат. ФРГ 2215544 (1972); С. А., 1973, v. 78, 85327.
88. Ковалева Т. В., Рождественская И. Т., Фещенко Н. Г. Журн. общ. химии, 1977, т. 47, с. 318.
89. Европ. заявка 24128 (1981); С. А., 1981, v. 95, 150884.
90. Michaelis A. Lieb. Ann., 1897, B. 294, S. 1.
91. Davies W. C. J. Chem. Soc., 1935, v. 37, p. 462.
92. Cook G. A. J. Org. Chem., 1965, v. 30, p. 1262.
93. Пономарев В. В., Шапагин А. С., Голубцов С. А. Авт. свид. СССР 184856 (1966); Бюл. изобр., 1966, т. 43, № 16, с. 33.
94. Пономарев В. В., Голубцов С. А., Андрианов К. А., Кондрашов Г. Н. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1969, с. 1545.
95. Shindlbauer H. Chem. Ber., 1967, B. 100, S. 3432.
96. Gutman V., Wychera E., Mairinger F. Monatsh. Chem., 1966, B. 97, S. 1265.
97. Hince A., Kuchen W. Phosphorus Sulphur, 1983, v. 15, p. 93.
98. Гефтер Е. Л. Журн. общ. химии, 1962, т. 32, с. 3401.
99. Bartlett P. D., Meouerian G. J. Amer. Chem. Soc., 1956, v. 78, p. 3710.
100. Marathé K. G., Limaye N. S., Bhide B. V. J. Sci. Research, 1950, v. 98, № 11, p. 268.
101. Боканов А. И., Плахов В. А. Журн. общ. химии, 1965, т. 35, с. 350.
102. Якобсон Г. Г., Фурин Г. Г., Терентьева Т. В. Там же, 1973, т. 9, с. 1707.
103. Протопопов И. С., Крафт М. Я. Медицинская пром-сть СССР, 1959, № 12, с. 5.
104. Гефтер Е. Л. Журн. общ. химии, 1963, т. 33, с. 3548.
105. Камал Г. Там же, 1934, т. 4, с. 192.
106. Камал Г. Тр. Казанского химико-технологич. ин-та, 1934, вып. 2, с. 19.
107. Miles J. A., Beeny M. T., Ratts K. W. J. Org. Chem., 1975, v. 40, p. 343.
108. Пат. США 3974217 (1976); С. А., 1976, v. 86, 177613.
109. Vioit M. P., Rumpf P. Bull. Soc. chim. France, 1957, p. 768.
110. Davies W. C., Morris R. J. Chem. Soc., 1932, p. 2880.
111. Цибунин В. С., Лобанова Т. Н., Зарипова Б. Г., Зыкова Т. В. Журн. общ. химии, 1981, т. 51, с. 1553.
112. Кормачев В. В., Абрамов И. А. Авт. свид. СССР 551338 (1977); Бюл. изобр., 1977, т. 54, № 11, с. 84.
113. Bourneuf M. Bull. Soc. chim. France, 1923, v. 33, p. 1808.
114. Coune D. M., Ewen W. E., Werf C. A. J. Amer. Chem. Soc., 1958, v. 78, p. 3061.
115. Schiemenz G. P. Chem. Ber., 1965, B. 98, S. 65.
116. Заявка ФРГ 3216380 (1983); С. А., 1984, v. 100, 51836.
117. Заявка ФРГ 3216381 (1983); С. А., 1984, v. 100, 51838.
118. Негольский Л. М., Юфа П. А. Журн. общ. химии, 1958, т. 28, с. 2880.
119. Weil Th., Prijs B., Erlenmeyer H. Helv. Chim. Acta, 1952, B. 35, S. 1412.
120. Weil Th., Prijs B., Erlenmeyer H. Ibid., 1953, B. 36, S. 1314.
121. Пат. США 3321557 (1967); С. А., 1967, v. 67, 73684.
122. Maier L. J. Inorg. Nucl. Chem., 1962, v. 24, p. 1073.
123. Challenger F., Ridgway L. R. J. Chem. Soc., 1922, v. 121, p. 104.
124. Challenger F., Ridgway L. R. Ibid., 1924, v. 125, p. 864.
125. Koe P., Bickelhaupt F. Angew. Chem., Int. Ed., 1968, v. 6, p. 567.
126. Фурин Г. Г., Терентьева Т. В., Резвухин А. И., Якобсон Г. Г. Журн. общ. химии, 1975, т. 45, с. 1473.
127. Fild M., Glemser O., Hollenberg J. Z. Naturforsch., 1966, B. 21, S. 920.
128. Barlow M. G., Green M., Haszebdine R. N., Higson H. G. J. Chem. Soc., C, 1966, p. 1592.
129. Заявка ФРГ 3134834 (1981); С. А., 1983, v. 99, 22693.
130. Якубович А. Я., Моцарев Г. В. Докл. АН СССР, 1953, т. 88, с. 87.
131. Якубович А. Я., Моцарев Г. В. Журн. общ. химии, 1953, т. 23, с. 771.
132. Якубович А. Я., Моцарев Г. В. Там же, 1953, т. 23, с. 1547.
133. Пат. США 3557204 (1971); С. А., 1971, v. 75, 6088.
134. Пат. США 3651147 (1972); РЖХим., 1973, 1Н134.
135. Weinberg K. G. J. Org. Chem., 1975, v. 40, p. 3586.
136. Заявка ФРГ 1122522 (1962); С. А., 1962, v. 57, 16660.
137. Maier L. Helv. Chim. Acta, 1962, B. 46, S. 2026.
138. Петров К. А., Смирнов В. В., Царева А. Х., Емельянов В. И. Авт. свид. СССР 130512 (1960); Бюл. изобр., 1960, № 15, с. 26.
139. Петров К. А., Смирнов В. В., Емельянов В. И. Журн. общ. химии, 1961, т. 31, с. 3027.
140. Пат. США 3864394 (1975); С. А., 1975, v. 82, 140301.
141. Англ. пат. 1465305 (1977); кл. C2P.
142. Близнюк Н. К., Кваша З. Н., Коломиец А. Ф. Авт. свид. СССР 179316 (1966); Бюл. изобр., 1966, № 5, с. 23.
143. Близнюк Н. К., Кваша З. Н., Коломиец А. Ф. Журн. общ. химии, 1967, т. 37, с. 890.
144. Близнюк Н. К., Кваша З. Н., Маджара Г. А. Авт. свид. СССР 406839 (1973); Бюл. изобр., 1973, № 46, с. 70.

145. Близнюк Н. К., Хохлов С. П., Маркова Л. И., Варшавский С. Л. Авт. свид. СССР 247950 (1969); Бюл. изобр., 1969, № 23, с. 13.
146. Варшавский С. Л., Баранов Ю. И., Филиппов О. Ф., Кабачник М. И., Близнюк Н. К. Авт. свид. СССР 209455 (1968); Бюл. изобр., 1968, т. 45, № 5, с. 31.
147. Ковалева Т. В., Рождественская И. Т., Фещенко Н. Г. Журн. общ. химии, 1979, т. 49, с. 1228.
148. Granoth I., Kalir A. Chem. Commun., 1969, v. 6, p. 260.
149. Granoth I., Kalir A., Pelan Z., Bergman E. D. Isr. J. Chem., 1970, v. 8, p. 613.
150. Quin L. D., Humphrey J. S. J. Amer. Chem. Soc., 1960, v. 82, p. 3795.
151. Quin L. D., Montgomery R. E. J. Org. Chem., 1963, v. 28, p. 3315.
152. Quin L. D., Humphrey J. S. J. Amer. Chem. Soc., 1961, v. 83, p. 4124.
153. Лобанов Д. И., Цветков Е. Н., Кабачник М. И. Журн. общ. химии, 1969, т. 39, с. 841.
154. Цветков Е. Н., Лобанов Д. И., Кабачник М. И. Теор. эксп. химия, 1966, т. 2, с. 458.
155. Малахова И. Г., Цветков Е. Н., Кабачник М. И. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1970, с. 2602.
156. Пинчук А. М., Химченко Т. В., Кирсанов А. В. Авт. свид. СССР 391148 (1973); Бюл. изобр., 1973, № 31, с. 74.
157. Bowie R. A., Musgrave O. C. J. Chem. Soc., C, 1966, p. 566.
158. Nijk D. R. Rec. Trav. Chim., 1922, v. 41, p. 461.
159. Плец В. М. Журн. общ. химии, 1937, т. 7, с. 270.
160. Пат. США 2653160 (1953); С. А., 1954, v. 48, 10764.
161. Doak G. O., Freedman L. D. J. Amer. Chem. Soc., 1951, v. 73, p. 5658.
162. Freedman L. D., Doak G. O. J. Org. Chem., 1959, v. 24, p. 638.
163. Denham J. M., Ingham R. K. Ibid., 1958, v. 23, p. 1298.
164. Freedman L. D., Doak G. O. J. Amer. Chem. Soc., 1953, v. 75, p. 4905.
165. Ashby E. C., Kosolapoff G. M. Ibid., 1953, v. 75, p. 4903.
166. Freedman L. D., Doak G. O. Ibid., 1955, v. 77, p. 173.
167. Wiley R. H., Trinder W. A. J. Polym. Sci., 1960, v. 42, № 139, p. 113.
168. Jaffe H. H., Freedmann L. D., Doak G. O. J. Amer. Chem. Soc., 1954, v. 76, p. 1548.
169. Griffin C. E., Brown J. T. J. Org. Chem., 1961, v. 26, p. 853.
170. Doak G. O., Freedmann L. D. J. Amer. Chem. Soc., 1953, v. 75, p. 683.
171. Doak G. O., Freedmann L. D. Ibid., 1952, v. 74, p. 753.
172. Kosolapoff G. M., Priest G. G. Ibid., 1953, v. 75, p. 4847.
173. Freedmann L. D., Tauber H., Doak G. O., Magnuson J. Ibid., 1953, v. 75, p. 1379.
174. Bost R. W., Quin L. D., Roc A. J. Org. Chem., 1953, v. 18, p. 362.
175. Kosolapoff G. M., Duncan J. J. J. Amer. Chem. Soc., 1955, v. 77, p. 2419.
176. Freedman L. D., Doak G. O. J. Org. Chem., 1965, v. 30, p. 1263.
177. Freedman L. D., Doak G. O. Ibid., 1961, v. 26, p. 2082.
178. Лукин А. М., Калинина И. Д. Докл. АН СССР, 1961, т. 137, с. 873.
179. Лукин А. М., Калинина И. Д. Хим. наука и пром-сть, 1957, № 2, с. 400.
180. Лукин А. М., Калинина И. Д., Заварихина Г. Б. Авт. свид. СССР 134697 (1961); Бюл. изобр., 1961, № 1, с. 15.
181. Лукин А. М., Калинина И. Д., Заварихина Г. Б. Журн. общ. химии, 1960, т. 30, с. 4072.
182. Лукин А. М., Заварихина Г. Б., Болотина Н. А. Авт. свид. СССР 165168 (1964); Бюл. изобр., 1964, № 18, с. 14.
183. Лукин А. М., Калинина И. Д. Журн. общ. химии, 1960, т. 30, с. 1597.
184. Bell V. L., Kosolapoff G. M. J. Amer. Chem. Soc., 1953, v. 75, p. 4901.
185. Freedman L. D., Doak G. O., Petit E. L. J. Org. Chem., 1960, v. 25, p. 140.
186. Freedman L. D., Doak G. O. Ibid., 1958, v. 23, p. 769.
187. Doak G. O., Freedman L. D. J. Amer. Chem. Soc., 1959, v. 81, p. 3021.
188. Пат. США 3442938 (1969); С. А., 1969, v. 71, 39160.
189. Lecher H. Z., Chao T. H., Whitehouse K. C., Greenwood R. A. J. Amer. Chem. Soc., 1954, v. 76, p. 1045.
190. Пат. США 2717906 (1955); С. А., 1956, v. 50, 6508.
191. Пат. США 2847458 (1958); С. А., 1959, v. 53, 3178.
192. Пат. ФРГ 963425 (1957); С. А., 1960, v. 54, 8729.
193. Заявка ФРГ 1009628 (1957); С. А., 1960, v. 54, 1473.
194. Lecher H. Z., Greenwood R. A., Whitehouse K. C., Chao T. H. J. Amer. Chem. Soc., 1956, v. 78, p. 5018.
195. Lecher H. Z., Chao T. H., Whitehouse K. C., Greenwood R. A. Ibid., 1954, v. 76, p. 1045.
196. Пат. США 2814645 (1957); С. А., 1957, v. 52, 5464.
197. Англ. пат. 763992 (1956); С. А., 1957, v. 51, 15570.
198. Пат. США 2870204 (1959); С. А., 1959, v. 53, 11306.
199. Пат. США 3897491 (1975); РЖХим., 1976, 130364.
200. Кусков В. К., Бебих Г. Ф. Докл. АН СССР, 1961, т. 136, с. 354.
201. Бебих Г. Ф., Пентин Ю. А., Ершова Т. В. Журн. общ. химии, 1963, т. 33, с. 3544.
202. Марковский Л. Н., Фурин Г. Г., Шермалович Ю. Г., Якобсон Г. Г. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1977, с. 2839.
203. Марковский Л. Н., Фурин Г. Г., Шермалович Ю. Г., Якобсон Г. Г. Журн. общ. химии, 1979, т. 49, с. 531.
204. Головолосов Ю. Г., Ониско П. П., Прокопенко В. П. Докл. АН СССР, 1977, т. 237, с. 105.

205. Бондарь В. А., Сидоренко В. М., Маловик В. В. Журн. общ. химии, 1977, т. 47, с. 953.
206. Заявка ФРГ 2421070 (1975); С. А., 1976, в. 84, 74430.
207. Онисько П. П., Черепенко Т. И., Петренко В. С., Гололобов Ю. Г. Авт. свид. СССР 606317 (1980); Бюл., изобр., 1980, № 44, с. 296.
208. Заявка ФРГ 2829710 (1980); С. А., 1980, в. 93, 132619.
209. Codogan J. I., Sears D. J., Smith D. M. Chem. Commun., 1966, в. 15, р. 491.
210. Codogan J. I. Quart. Rev., 1968, в. 22, р. 222.
211. Codogan J. I., Sears D. J., Smith D. M. J. Chem. Soc., C, 1969, в. 10, р. 1314.
212. Европ. заявка 14684 (1980); С. А., 1981, в. 94, 103558.
213. Гуревич П. А., Степанов П. А., Знакова Т. В., Разумов А. И. Журн. общ. химии, 1983, т. 53, с. 2395.
214. Европ. заявка 71572 (1983); С. А., 1983, в. 99, 38638.
215. Матевосян Г. Л., Воловатова С. А., Завлин П. М. Журн. общ. химии, 1980, т. 50, с. 2803.
216. Заявка ФРГ 2717091 (1977); С. А., 1978, в. 88, 74456.
217. Hall H., Price R. J. Chem. Soc. Perkin Trans. I, 1979, р. 2873.
218. Hirao T., Masunaga T., Oshiro V., Agawa T. Synthesis, 1981, р. 56.
219. Hirao T., Masunaga T., Yamada N., Oshiro V., Agawa T. Bull. Chem. Soc. Japan., 1982, в. 55, р. 909.
220. Taus P. Chem. Ber., 1970, B. 103, S. 2428.
221. Англ. пат. 1200273 (1970); РЖХим., 1971, 7H137.
222. Пат. США 3493639 (1970); С. А., 1970, в. 72, 90635.
223. Швец. пат. 505152 (1971); РЖХим., 1971, 24H151.
224. Бельг. пат. 725475 (1972); РЖХим., 1973, 11H147.
225. Grabiaik R. C., Miles J. A., Schwenzer G. M. Phosphorus Sulfur, 1980, в. 9, р. 197.
226. Пат. США 4113807 (1978); С. А., 1979, в. 90, 5404.
227. Osuka A., Ohmasa N., Yoshida Y., Suzuki H. Synthesis, 1983, р. 69.
228. Пат. США 3705214 (1972); РЖХим., 1973, 21H175.
229. Яп. пат. 48994 (1982); С. А., 1982, в. 97, 145012.
230. Taus P., Korte F. Tetrahedron, 1967, в. 23, р. 4677.
231. Кухар В. П., Сагина Е. И. Журн. общ. химии, 1977, т. 47, с. 1662.
232. Hall H., Price R. J. Chem. Soc. Perkin Trans I, 1979, р. 2634.
233. Англ. пат. 1521353 (1978); РЖХим., 1979, 3H193.
234. Connor J. A., Jones A. C., Price R. Chem. Commun., 1980, р. 137.
235. Griffin C. E., Castellucci N. T. J. Org. Chem., 1961, в. 26, р. 629.
236. Plumb J. B., Obrycki R., Griffin C. E. Ibid., 1966, в. 31, р. 2455.
237. Griffin C. E., Davison R. B., Gordon M. Tetrahedron, 1966, в. 22, р. 560.
238. Obrycki R., Griffin C. E. J. Org. Chem., 1968, в. 33, р. 632.
239. Obrycki R., Griffin C. E. Tetrahedron Letters, 1966, р. 5049.
240. Kuba E. P., Lin S. T., Harris R. L. Organometallics, 1983, в. 2, р. 1877.
241. Boenigk W., Haegel G. Chem. Ber., 1983, B. 116, S. 2418.
242. Plumb J. B., Griffin C. E. J. Org. Chem., 1962, в. 27, р. 4711.
243. Allen D. W., Huntly B. G., Mellor M. T. J. Chem. Soc. Perkin Trans II, 1977, р. 789.
244. Naylor R. A., Williams A. Ibid., 1976, р. 1908.
245. Gordon M., Notaro V. A., Griffin C. E. J. Amer. Chem. Soc., 1964, в. 86, р. 1898.
246. Bennett J. F., Weiss R. H. Org. Synth., 1978, в. 58, р. 134.
247. Bennett J. F., Creay X. J. Org. Chem., 1974, в. 39, р. 3612.
248. Hoz S., Bennett J. F. J. Amer. Chem. Soc., 1977, в. 99, р. 4690.
249. Bennett J. F., Traber R. P. J. Org. Chem., 1978, в. 43, р. 1867.
250. Issleib K., Vollmer R. Z. Chem., 1978, B. 18, S. 451.
251. Swartz J. E., Bennett J. F. J. Org. Chem., 1979, в. 44, р. 4673.
252. Bard R. R., Bennett J. F., Traber R. P. Ibid., 1979, в. 44, р. 4918.
253. Bennett J. F., Shafer S. J. Ibid., 1978, в. 43, р. 1873.
254. Bennett J. F., Shafer S. J. Ibid., 1978, в. 43, р. 1877.
255. Bennett J. F., Scamehorn R. G., Traber R. P. Ibid., 1976, в. 41, р. 3677.
256. Пат. США 2553417 (1951); С. А., 1951, в. 45, 6865.
257. Арабзодов Б. А., Полежаева Н. А., Виноградов В. С. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1960, с. 1219.
258. Шепелева Е. С., Санин П. И. В сб.: Химия и применение фосфорорганических соединений. Тр. II конф. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 207.
259. Воронков М. Г., Ионин Б. И. Там же, 1962, с. 203.
260. Sidky M. M., Adbou W. M. Egypt. J. Chem., 1982, в. 25, р. 397.
261. Кутырев А. А., Москва В. В. Журн. общ. химии, 1983, т. 53, с. 2398.
262. Трутнева Е. К., Левин Я. А. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1983, с. 1684.
263. Sidky M. M., Mairan M. R., Zayed M. F. Phosphorus Sulfur, 1981, в. 9, р. 337.
264. Fulmek E., Siegel A., Wessely F., Clodi H. Monatsh. Chem., 1961, B. 91, S. 1167.
265. Кухтин В. А., Орехова К. М. Докл. АН СССР, 1959, т. 124, с. 819.
266. Кухтин В. А., Орехова К. М. В сб.: Химия и применение фосфорорганических соединений. Тр. II конф. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 88.
267. Ramirez F., Dershowitz S. J. Org. Chem., 1958, в. 23, р. 778.
268. Коновалова И. В., Пудовик А. Н. Успехи химии, 1972, т. 41, с. 799.
269. Ramirez F., Dershowitz S. J. Amer. Chem. Soc., 1959, в. 81, р. 587.
270. Ramirez F., Chen E. H., Dershowitz S. Ibid., 1959, в. 81, р. 4338.
271. Газизов Т. Х., Кибардин А. М., Пудовик А. Н. Журн. общ. химии, 1977, т. 47, с. 1914.

272. Каргин Ю. М., Никитина Е. В., Паракин О. В., Романов Г. В., Пудовик А. Н. докл. АН СССР, 1978, т. 242, с. 1108.
273. Никитин Е. В., Каргин Ю. М., Паракин О. В., Пудовик А. Н., Романов Г. В. Авт. свид. СССР 655702 (1979); Бюл. изобр., 1979, № 13, с. 91.
274. Ohmori H., Nakai S., Masui M. J. Chem. Soc. Perkin Trans I, 1979, p. 2023.
275. Никитин Е. В., Каргин Ю. М., Ромахин А. С., Паракин О. В., Пудовик А. Н., Романов Г. В. Изв. АН СССР. Сер. хим., 1981, с. 2170.
276. Никитин Е. В., Ромахин А. С., Паракин О. В., Романов Г. В., Косачев И. П., Каргин Ю. М., Пудовик А. Н. Докл. АН СССР, 1982, т. 266, с. 402.
277. Karelsky M., Pausacker K. H. Austral. J. Chem., 1958, v. 11, p. 336.
278. Пат. США 3178469 (1965); С. А., 1965, v. 63, 634.
279. Брель А. К., Богданова О. С., Рахимов А., Мудрий Ф. В. Авт. свид. СССР 757539 (1980); Бюл. изобр., 1980, № 31, с. 93.
280. Fields E. K., Rolin R. J. Chem. and Ind., 1960, v. 31, p. 999.
281. Пат. США 3054821 (1962); С. А., 1963, v. 58, 4599.
282. Melvin L. S. Tetrahedron Letters, 1981, v. 22, p. 3375.
283. Burger A., Dawson N. D. J. Org. Chem., 1951, v. 16, p. 1250.
284. Dawson N. D., Burger A. Ibid., 1953, v. 18, p. 207.
285. Петров К. А., Чаузов В. А., Чернобровкина Л. П., Баранов Н. Н. Журн. общ. химии, 1975, т. 45, с. 2428.
286. Bott R. W., Dowden B. F., Eaborn C. J. Organometal. Chem., 1965, v. 4, p. 291.
287. Bott R. W., Dowden B. F., Eaborn C. J. Chem. Soc., 1965, p. 4994.
288. Bott R. W., Dowden B. F., Eaborn C. Intern. Symp. Organosilicon Chem. Sci. Comptums, Praga, 1965, p. 290.
289. Кухтин В. А., Раков А. П., Рудницкая Г. Ф., Мишагин Б. Н., Зубцова Л. И. Журн. общ. химии, 1975, т. 45, с. 945.
290. Morisson D. C. J. Amer. Chem. Soc., 1951, v. 73, p. 5896.
291. Михайлов Б. М., Кучерова Н. Ф. Докл. АН СССР, 1951, т. 78, с. 709.
292. Грапов А. Ф., Лебедева Н. В., Мельников Н. Н. Журн. общ. химии, 1968, т. 38, с. 2260.
293. Пат. США 2889349 (1959); С. А., 1960, v. 54, 418.
294. Англ. пат. 815231 (1959); С. А., 1960, v. 54, 7134.
295. Daniewski W. M., Griffin C. E. J. Org. Chem., 1966, v. 31, p. 3237.
296. Syerther D., Paetsch J. D. H. Ibid., 1969, v. 34, p. 1483.
297. Дажеян Ю. М., Понасян Г. А., Восканян М. Г., Баданян Ш. О. Журн. общ. химии, 1983, т. 53, с. 930.
298. Пат. США 2662917 (1953); С. А., 1954, v. 48, 13711.
299. Пат. США 3294745 (1966); С. А., 1967, v. 66, 56695.
300. Яп. пат. 2925 (1960); С. А., 1960, v. 54, 24551.
301. Англ. пат. 713412 (1954); РЖХим., 1957, 28211.
302. Европ. заявка 71783 (1983); С. А., 1983, v. 99, 53965.
303. Пат. ГДР 11241 (1956); С. А., 1958, v. 53, 6156.
304. Цветков Е. Н., Лобанов Д. И., Кабачник М. И. Журн. общ. химии, 1968, т. 38, с. 2285.
305. Бельг. пат. 608802 (1962); С. А., 1962, v. 57, 7311.
306. Гефтер Е. Л., Рогачева И. А. Журн. общ. химии, 1962, т. 32, с. 3962.
307. Пат. ГДР 10881 (1955); С. А., 1958, v. 53, 6518.
308. Пат. ФРГ 1238024 (1967); С. А., 1967, v. 67, 90934.
309. Пат. США 3988368 (1976); С. А., 1977, v. 86, 55777.
310. Англ. пат. 1458162 (1976); кл. C2P.
311. Яп. пат. 138654 (1976); С. А., 1977, v. 86, 140249.
312. Яп. пат. 138656 (1976); С. А., 1977, v. 86, 140247.
313. Яп. пат. 138655 (1976); С. А., 1977, v. 86, 140248.
314. Яп. пат. 138657 (1976); С. А., 1977, v. 86, 140250.
315. Maier L. Helv. Chim. Acta, 1964, B. 47, S. 120.
316. Пат. США 3504025 (1970); С. А., 1967, v. 67, 90934.
317. Ухинг Ю. Г., Той А. Д. Авт. свид. СССР 625615 (1978); Бюл. изобр., 1978, № 35, с. 173.
318. Пат. США 3790629 (1974); РЖХим., 1974, 19Н117.
319. Англ. пат. 1362357 (1974); С. А., 1973, v. 79, 137276.
320. Пат. ФРГ 2803689 (1978); С. А., 1978, v. 89, 197716.
321. Пат. США 4133830 (1979); РЖХим., 1979, 22Н110.
322. Пат. США 4076746 (1978); С. А., 1978, v. 89, 43771.
323. Хохлов П. С., Близнюк Н. К., Маркова Л. И., Солнцева Л. М., Левская Г. С., Кваша З. Н., Протасова Л. Д., Матюхина Е. Н., Варшавский С. Л., Баранов Ю. И., Либман Б. Я., Жемчужина С. Г. Авт. свид. СССР 284784 (1974); Бюл. изобр., 1974, № 31, с. 179.
324. Близнюк Н. К., Хохлов П. С., Кваша З. Н., Маркова Л. И., Левская Г. С., Протасова Л. Д., Солнцева Л. М., Матюхина Е. Н., Варшавский С. Л., Баранов Ю. И., Либман Б. Я., Жемчужина С. Г. Авт. свид. СССР 653262 (1979); Бюл. изобр., 1979, № 11, с. 85.
325. Пат. США 3968156 (1976); РЖХим., 1977, 9Н105.
326. Пат. США 3803226 (1974); РЖХим., 1975, 90374.
327. Близнюк Н. К., Хохлов П. С., Кваша З. Н. Авт. свид. СССР 332094 (1972); Бюл. изобр., 1972, № 10, с. 93.

328. Пат. США 3726918 (1973); РЖХим., 1974, 5Н519.
329. *Близнюк Н. К., Хохлов П. С., Кваша З. Н.* Авт. свид. СССР 332095 (1972); Бюл. изобр., 1972, № 10, с. 94.
330. *Близнюк Н. К., Кваша З. Н., Варшавский С. Л., Баранов Ю. И., Либман Б. Я., Стрельцов Р. В., Протасова Л. Д., Маркова Л. И., Хохлов П. С., Маджара Г. А., Кирилина Л. Э.* Авт. свид. СССР 337384 (1972); Бюл. изобр., 1972, № 15, с. 79.
331. Пат. США 3457306 (1969); С. А., 1969; в. 71, 91648.
332. Пат. США 3457308 (1969); С. А., 1969; в. 71, 91646.
333. Пат. США 3962323 (1976); РЖХим., 1977, 50341.
334. Пат. США 3457305 (1969); С. А., 1969, в. 71, 81527.
335. Пат. США 3457307 (1969); С. А., 1969, в. 71, 124665.
336. Пат. США 3429916 (1969); С. А., 1969, в. 70, 106648.
337. Пат. США 4000190 (1976); РЖХим., 1977, 180287.
338. *Близнюк Н. К., Кваша З. Н., Варшавский С. Л., Баранов Ю. И., Либман Б. Я.* Авт. свид. СССР 300472 (1971); Бюл. изобр., 1971, № 13, с. 97.
339. Пат. США 4130583 (1978); С. А., 1979, в. 90, 152352.
340. *Близнюк Н. К., Кваша З. Н., Маджара Г. А., Маркова Л. И.* Авт. свид. СССР 298593 (1971); Бюл. изобр., 1971, № 11, с. 88.
341. Пат. США 2954379 (1960); С. А., 1961, в. 55, 4030.
342. *Бебих Г. Ф., Понизовцев Е. Ф., Золотухин И. О., Ангерт Л. Г., Михайлова Г. Н., Рутман Г. И., Гершанов Ф. Б., Калашников В. А.* Авт. свид. СССР 759524 (1980); Бюл. изобр., 1980, № 32, с. 104.
343. *Близнюк Н. К., Кваша З. Н.* Авт. свид. СССР 306132 (1971); Бюл. изобр., 1971, № 19, с. 86.
344. *Мазитова Ф. Н., Хайруллин В. К.* Журн. общ. химии, 1981, т. 51, с. 958.
345. *Мазитова Ф. Н., Хайруллин В. К.* Там же, 1981, т. 51, с. 558.
346. Пат. США 2993929 (1961); С. А., 1962, в. 56, 505.
347. *Гришина О. Н., Беззубова Л. М.* Изв. АН СССР. Сер. хим., 1965, с. 1619.
348. *Близнюк Н. К., Коломиец А. Ф., Хохлов П. С.* Авт. свид. СССР 172742 (1965); Бюл. изобр., 1965, № 14, с. 16.
349. Пат. ФРГ 2652922 (1978); С. А., 1978, в. 89, 109955.
350. Пат. США 3489825 (1970); С. А., 1970, в. 71, 67091.
351. *Неймышева А. А., Савчук В. И., Кнунянц Л. И.* Журн. общ. химии, 1966, т. 36, с. 500.
352. *Гладитеин Б. М., Шитов Л. Н.* Авт. свид. СССР 215973 (1968); Бюл. изобр., 1968, № 14, с. 26.
353. *Близнюк Н. К., Кваша З. Н., Солнцева Л. М.* Авт. свид. СССР 390099 (1973); Бюл. изобр., 1973, № 30, с. 79.
354. *Кваша З. Н., Солнцева Л. М., Близнюк Н. К.* Авт. свид. СССР 450814 (1974); Бюл. изобр., 1974, № 43, с. 60.
355. *Марковский Л. Н., Фурин Г. Г., Шермолович Ю. Г., Якобсон Г. Г.* Изв. АН СССР. Сер. хим., 1981, с. 867.