ЖУРНАЛ ОБЩЕЙ ХИМИИ, 2023, том 93, № 6, с. 905–910

УДК 547:546.185

СИНТЕЗ НОВЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ДИАМИДОФОСФАТОВ НА ОСНОВЕ *мета*-ФЕНИЛЕНДИАМИНА В УСЛОВИЯХ МИКРОВОЛНОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

© 2023 г. А. Б. Куандыкова[1], Б. Ж. Джиембаев[1], А. Р. Бурилов[2], Н. И. Акылбеков[3,*], Е. А. Чугунова[2], А. Б. Добрынин[2], Г. М. Абызбекова[3]

[1] Казахский национальный женский педагогический университет, ул. Айтеке би 99, Алматы, 050000 Казахстан
[2] Институт органической и физической химии имени А. Е. Арбузова, Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, 420088 Россия
[3] Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, 120014 Казахстан
**e-mail: nurgali_089@mail.ru*

Поступило в редакцию 15 мая 2023 г.
После доработки 15 мая 2023 г.
Принято к печати 17 мая 2023 г.

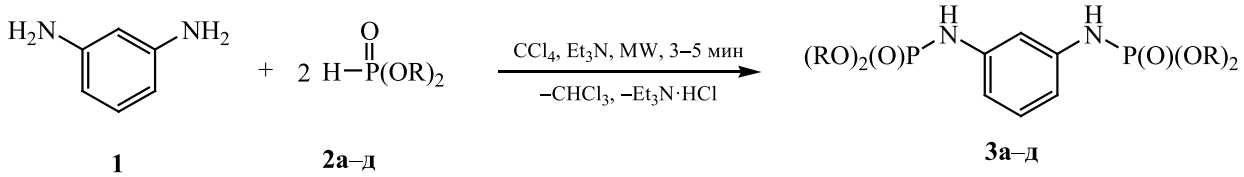
В результате реакции *мета*-фенилендиамина с диалкилфосфитами в присутствии CCl_4 и триэтиламина (реакция Атертона–Тодда), реализуемой при микроволновом облучении, были получены новые дифосфорилированные амидофосфаты. Структура всех амидофосфатов установлена на основании данных ЯМР ^{31}P, ^{1}H, ^{13}C, ИК спектроскопии и масс-спектрометрии, а также данных РСА и элементного анализа.

Ключевые слова: *мета*-фенилендиамин, реакция Атертона–Тодда, диалкилфосфиты, микроволновое облучение

DOI: 10.31857/S0044460X23050098, **EDN:** FLPBDV

Исследования в области методов синтеза новых функционально замещенных производных амидофосфатов ароматического ряда, установление их строения, а также поиск в их ряду перспективных биологически активных соединений являются современными и актуальными [1–8]. Впечатляющие успехи, достигнутые в области синтеза и изучения свойств амидов четырехкоординированного атома фосфора, во многом обусловлены уникальному набору химических свойств [5, 6, 9–13] и широкому спектру их биологической активности: от пестицидов до противоопухолевых препаратов [3, 4, 14]. Разнообразная биологическая активность амидофосфатов во многом определяется природой связи фосфор–азот: способностью молекул со связью P–N встраиваться в структуры природных нуклеотидов, их высокая алкилирующая способность, а также склонность к спонтанному и ферментативному гидролизу [2, 3, 10, 14]. Одним из наиболее перспективных методов синтеза амидофосфатов является реакция Атертона–Тодда: взаимодействие гидрофосфорильных соединений с четыреххлористым углеродом в различных экспериментальных условиях [1, 4–6, 9, 11–13, 15]. Несмотря на то, что эта реакция была открыта в 1945 году, в последние годы наблюдается стремительный рост публикаций, посвященных различным синтетическим вариациям этой реакции. Известны работы по фосфорилированию аминов, их гидрохлоридов, в условиях межфазного катализа с использованием в качестве катализаторов тетраалкиламмонийбромидов [6, 12], использова-

Схема 1.



R = Me (**а**), Et (**б**), Pr (**в**), *i*-Pr (**г**), Ph (**д**).

ние наночастиц Fe_3O_4@MgO [16], трихлоризоциануровой кислоты [17] в качестве эффективных реагентов также позволяет существенно повысить выход целевых продуктов реакции. В настоящее время в литературе имеются всего две публикации по синтезу диалкиламидофосфатов с использованием микроволнового облучения [5, 9].

Мало изученными остаются фосфорорганические производные диаминов ароматического ряда, имеющих различные заместители как в ароматическом цикле, так и у атома фосфора [3–6]. В литературе практически отсутствуют данные о фосфорилировании *мета*-фенилендиамина. В связи с этим дальнейшее развитие методов синтеза замещенных амидофосфатов, установление строения и изучение их биологических свойств является важной и актуальной задачей.

В данной работе нами впервые осуществлено фосфорилироваение *мета*-фенилендиамина в условиях реакции Атертона–Тодда. Фосфорилирование проводили в среде CCl_4 при мольном соотношении реагентов *мета*-фенилендиамин:-диалкилфосфит:триэтиламин = 1:2:2 с дальнейшим микроволновым облучением реакционной смеси в течение 3–5 мин. При этом с выходами, близкими к количественному (95–98%), были выделены и охарактеризованы новые симметричные N,N-бисамидофосфаты **3а–д** (схема 1).

Строение всех синтезированных соединений **3а–д** доказано комплексом физико-химических методов: спектроскопии ЯМР ^{1}H, ^{13}C, ^{31}P, ИК спектроскопии, РСА (рис. 1, 2), состав – данными масс-спектрометрии (ESI) и элементного анализа. Так, характерными являются полосы поглощения связи P–O–C в ИК спектрах при 989–1043 см$^{-1}$. Химический сдвиг фосфора в спектрах ЯМР ^{31}P соединений **3а–д** регистрируется в интервале –6.60–5.28 м. д. В масс-спектрах присутствуют пики,

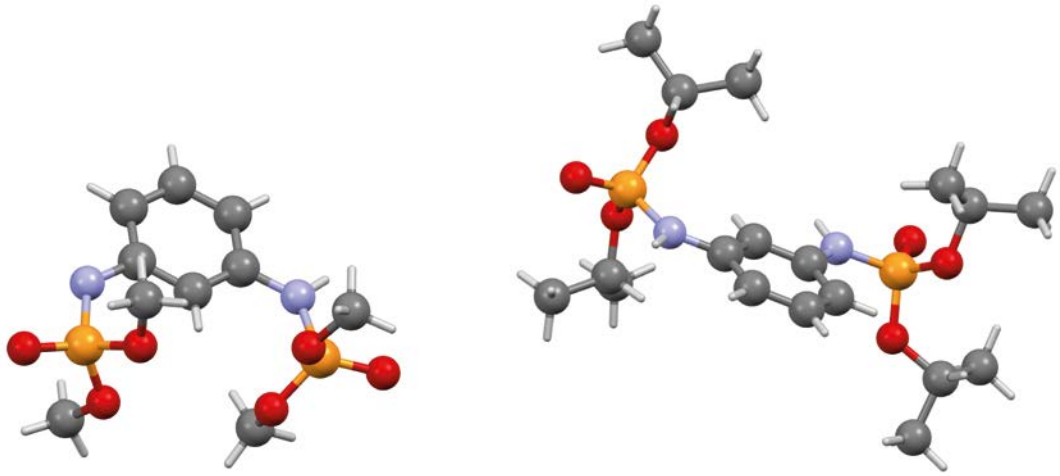


Рис. 1. Общий вид молекул соединений **3а** (а) и 3г (б) в кристалле.

соответствующие молекулярному иону. Строение амидофосфатов **3а** и **3г** подтверждено также данными рентгеноструктурного анализа (рис. 1). Соединение **3а** имеет ромбическую кристаллическую структуру с пространственной группой *Pbcn*. Соединение **3г** имеет триклинную кристаллическую структуру с пространственной группой *P*-1.

Таким образом, нами впервые изучена реакция *мета*-фенилендиамина с диалкилфосфитами в присутствии CCl_4 и триэтиламина (реакция Атертона–Тодда), реализуемая при микроволновом облучении, позволяющая получать новые дифосфорилированные амидофосфаты в течении 3–5 мин с выходами 95–98%.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР ^{1}H, ^{13}C и ^{31}P записаны на спектрометрах Bruker AVANCEII-400 с рабочей частотой 400.1 МГц (^{1}H), 100.6 МГц (^{13}C), Bruker Avance-600 с рабочей частотой 600.1 МГц (^{1}H), 150.9 МГц (^{13}C) относительно сигналов остаточных протонов дейтерированного растворителя или ядер углерода дейтерорастворителя (ДМСО-d_6). ИК спектры записаны на Фурье-спектрометре Vector 22 фирмы Bruker в интервале 400–4000 см$^{-1}$. Образцы исследовали в виде таблеток в KBr. Микроволновый синтез осуществлен в микроволновом реакторе MAS-II Plus. Температуры плавления определены на приборе Boetius. Элементный анализ выполнен на приборе Carlo Erba марки EA 1108. Полноту протекания реакций и чистоту синтезированных соединений контролировали методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинах СОРБФИЛ ПТСХ-АФ-А-УФ («Сорбполимер», Краснодар), элюент – бензол–этанол (10:1), проявитель – УФ свет.

Кристаллографические данные получены на автоматическом дифрактометре BrukerD8 QUEST с детектором PHOTONIICCD [графитовый монохроматор, λ(MoK_α) 0.71073 Å, ω-сканирование], 2θ < 66.4°, R_{int} 0.041. Сбор и индексирование данных, определение и уточнение параметров элементарной ячейки, коррекция абсорбции, учет систематических ошибок и определение параметров пространственной группы кристалла выполнены посредством пакета программ APEX2 [18]. Учет поглощения проводился с использованием программы SADABS [19]. Структура кристалла расшифрована и уточнена с использованием программы SHELX [20]. Параметры атомного смещения для атомов (кроме водорода) уточнены анизотропно. Атомы водорода расположены геометрически и включены в уточнение по модели *наездника*. Кристаллографические данные структур **3а** и **3г** депонированы в Кембриджской базе кристаллоструктурных данных (CCDC2258499 и 2258500 соответственно).

Общая методика получения соединений 3а–д. К смеси 1.08 г (0.01 моль) *мета*-фенилендиамина **1** и 2.91 мл (0.021 моль) триэтиламина в четыреххлористом углероде (50 мл) при охлаждении (0–5°C) добавляли 0.02 моля диалкилфосфита **2а–д**. Реакционную смесь доводили до комнатной температуры, после чего осуществляли микроволновое облучение (102 Вт, 115°C) в течение 3–5 мин. Образовавшийся белый осадок отфильтровывали и дополнительно промывали водой (300 мл), сушили в вакууме (10 мм рт. ст.). Осадок перекристаллизовывали из 96% этилового спирта.

Тетраметил-1,3-фениленбис(фосфорамидат) (3а). Выход 3.11 г (96%), порошок белого цвета, т. пл. 234–235°C. ИК спектр (KBr), ν, см$^{-1}$: 1020, 1052 (P–O–C), 1235 (P=O), 1611 (Ar), 2949 (CH_3), 3186 (NH). Спектр ЯМР ^{1}H (ДМСО-d_6), δ, м. д.: 3.63 д (12H, OCH_3, *J* 11.3 Гц), 6.57 д (2H, CH_{Ar}, *J* 7.2 Гц), 6.78 с (1H, CH_{Ar}), 7.02 т (1H, CH_{Ar}, *J* 7.4 Гц), 7.97 д (2H, NH, *J* 8.8 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО-d_6), δ_C, м. д.: 53.8 д (*J* 4.9 Гц), 107.7 т (*J* 8.1 Гц), 111.2 д (*J* 7.7 Гц), 130.3, 142.4. Спектр ЯМР ^{31}P (ДМСО-d_6): δ_P 5.28 м. д. Масс-спектр (ESI$^+$), *m/z* ($I_{отн}$, %): 325.13 $[M + H]^+$, 347.11 $[M + Na]^+$. Масс-спектр (ESI$^-$), *m/z* ($I_{отн}$, %): 323.10 $[M - H]^-$. Найдено, %: C 37.35; H 5.81; N 8.68; P 19.18. $C_{10}H_{18}N_2O_6P_2$.Вычислено, %: C 37.05; H 5.60; N 8.64; P 19.11. Кристаллы соединения **3а** ($C_{10}H_{18}N_2O_6P_2$, *M* 323.98) ромбические. При 100 K получены следующие параметры ячейки: *a* 16.8847(8), *b* 7.6873(4), *c* 34.1736(16) Å, *V* 4435.7(4) Å^3, *Z* 8, пространственная группа *Pbcn*, $d_{выч}$ 1.453 г/см^3, μ 0.319мм$^{-1}$, *F*(000) 2032. Данные получены на автоматическом дифрактометре BrukerD8 QUEST с детектором PHOTONIICCD [графитовый монохроматор, λ(Mo*K*α) 0.71073 Å, ω-сканирование], 2θ < 62.4°, R_{int} 0.067. Было измерено 63913 отражений, из них 7194 независимых, число наблюдаемых отражений с $I > 2\sigma(I)$ равно

6454, окончательные значения факторов расходимости R0.0877, wR_2 0.1794, GOF 1.32, число определяемых параметров 278.

Тетраэтил-1,3-фениленбис(фосфорамидат) (3б). Выход 3.69 г (97%), порошок белого цвета, т. пл. 214–215°C. ИК спектр (KBr), ν, см$^{-1}$:1002, 1017 (P–O–C), 1228 (P=O), 1610 (Ar), 2907 (CH_2), 2989 (CH_3), 3204 (NH). Спектр ЯМР ^{1}H (ДМСО-d_6), δ, м. д.: 1.22 т (12H, OCH$_2$<u>CH</u>$_3$, J 7.1 Гц), 3.93–4.06 м (8H, O<u>CH</u>$_2$CH$_3$), 6.56 д. д (2H, CH$_{Ar}$, J 8.1, 2.0 Гц), 6.80 т (1H, CH$_{Ar}$, J 1.9 Гц), 6.99 т (1H, CH$_{Ar}$, J 8.0 Гц), 7.87 д (2H, NH, J 9.2 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО-d_6), δ_C, м. д.: 16.4 д (J 5.5 Гц), 62.3 д (J 4.2 Гц), 107.1 м, 110.6 д (J 7.2 Гц), 129.6, 142.1. Спектр ЯМР ^{31}P (ДМСО-d_6): δ_P 2.51 м. д. Масс-спектр (ESI$^+$), m/z ($I_{отн}$, %): 381.22 [M + H]$^+$, 403.20 [M + Na]$^+$. Масс-спектр (ESI$^-$), m/z ($I_{отн}$, %): 379.20 [M – H]$^-$. Найдено, %: C 44.45; H 6.64; N 7.55; P 16.21. $C_{14}H_{26}N_2O_6P_2$. Вычислено, %: C 44.21; H 6.89; N 7.37; P 16.29.

Тетрапропил-1,3-фениленбис(фосфорамидат) (3в). Выход 4.15 г (95%), порошок розового цвета, т. пл. 124–125°C. ИК спектр (KBr), ν, см$^{-1}$: 1028, 1043 (P–O–C), 1225 (P=O), 1609 (Ar), 2894 (CH_2), 2969 (CH_3), 3221 (NH). Спектр ЯМР ^{1}H (ДМСО-d_6), δ, м. д.: 0.86 т (12H, OCH$_2$CH$_2$<u>CH</u>$_3$, J 7.4 Гц), 1.55–1.64 м (8H, OCH$_2$<u>CH</u>$_2$CH$_3$, J 7.1 Гц), 3.81–3.95 м (8H, O<u>CH</u>$_2$CH$_2$CH$_3$), 6.57 д. д (2H, CH$_{Ar}$, J 8.1, 2.0 Гц), 6.79 т (1H, CH$_{Ar}$, J 1.9 Гц), 6.98 т (1H, CH$_{Ar}$, J 8.1 Гц), 7.89 д (2H, NH, J 9.3 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО-d_6), δ_C, м. д.: 10.9, 24.1 д (J 6.9 Гц), 68.3 д (J 5.3 Гц), 107.8 т (J 7.9 Гц), 111.1 д (J 7.4 Гц), 129.9, 142.5. Спектр ЯМР ^{31}P (ДМСО-d_6): δ_P 3.60 м. д. Масс-спектр (ESI$^+$), m/z ($I_{отн}$, %): 437.30 [M + H]$^+$, 459.30 [M + Na]$^+$, 475.25 [M + K]$^+$. Масс-спектр (ESI$^-$), m/z ($I_{отн}$, %): 435.29 [M – H]$^-$. Найдено, %: C 49.51; H 7.89; N 6.35; P 14.55. $C_{18}H_{34}N_2O_6P_2$. Вычислено, %: C 49.54; H 7.85; N 6.42; P 14.19.

Тетраизопропил-1,3-фениленбис(фосфорамидат) (3г). Выход 4.30 г (98%), порошок белого цвета, т. пл. 190–191°C. ИК спектр (KBr), ν, см$^{-1}$: 989 (P–O–C), 1234 (P=O), 1612 (Ar), 2894 (CH$_{Alk}$), 1465, 2979 (CH_3), 3177 (NH). Спектр ЯМР ^{1}H (ДМСО-d_6), δ, м. д.: 1.17 д (12H, OCH<u>CH</u>$_3$, J 6.2 Гц), 1.26 д (12H, OCH<u>CH</u>$_3$, J 6.2 Гц), 4.47–4.52 м (4H, O<u>CH</u>CH$_3$), 6.55 д. д (2H, CH$_{Ar}$, J 8.1, 1.9 Гц), 6.76 т (1H, CH$_{Ar}$, J 2.1 Гц), 6.96 т (1H, CH$_{Ar}$, J 8.0 Гц), 7.78 д (2H, NH, J 9.1 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО-d_6), δ_C, м. д.: 24.5 д. д (J 25.4, 4.7 Гц), 71.2 д (J 4.9 Гц), 107.9 т (J 7.9 Hz), 111.2 д (J 7.3 Гц), 129.7, 142.8. Спектр ЯМР ^{31}P (ДМСО-d_6): δ_P 0.49 м. д. Масс-спектр (ESI$^+$), m/z ($I_{отн}$, %): 437.29 [M + H]$^+$, 459.29 [M + Na]$^+$, 475.25 [M + K]$^+$. Масс-спектр (ESI$^-$), m/z ($I_{отн}$, %): 435.30 [M – H]$^-$. Найдено, %: C 49.26; H 7.55; N 6.38; P 14.39. $C_{18}H_{34}N_2O_6P_2$. Вычислено, %: C 49.54; H 7.85; N 6.42; P 14.19. Кристаллы соединения **3г** ($C_{18}H_{34}N_2O_6P_2$, M 436.06) триклинные. При 100 K получены следующие параметры ячейки: a 8.8195(3), b 12.1125(5), c 12.7849(5) Å, α 106.795(1), β 107.643(1), γ 108.139(1)°, V 1120.59(8) Å^3, Z 2, пространственная группа P-1, $d_{выч}$ 1.293 г/см^3, μ 0.229 мм$^{-1}$, F(000) 468. Было измерено 86374 отражений, из них 8565 независимых, число наблюдаемых отражений с $I > 2\sigma(I)$ равно 7820, окончательные значения факторов расходимости R0.0314, $_wR_2$ 0.0879, GOF 1.15, число определяемых параметров 261.

Тетрафенил-1,3-фениленбис(фосфорамидат) (3д). Выход 5.45 г (95%), порошок белого цвета, т. пл. 136–137°C. ИК спектр (KBr), ν, см$^{-1}$: 1011, 1026 (P–O–C), 1215 (P=O), 1591, 1612 (Ar), 3171 (NH). Спектр ЯМР ^{1}H (ДМСО-d_6), δ, м. д.: 6.82 д. д (2H, CH$_{Ar}$, J 8.1, 2.1 Гц), 7.20 т (4H, CH$_{Ar}$, J 7.4 Гц), 7.25 д (8H, CH$_{Ar}$, J 8.4 Гц), 7.29 с (1H, CH$_{Ar}$), 7.32 т (1H, CH$_{Ar}$, J 2.2 Гц), 7.36 т (8H, CH$_{Ar}$, J 7.9 Гц), 8.92 д (2H, NH, J 10.3 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО-d_6), δ_C, м. д.: 108.3 т (J 7.2 Гц), 112.6 д (J 9.2 Гц), 121.2 д (J 4.6 Гц), 126.3, 130.4, 130.9, 141.7, 151.1 д (J 6.2 Гц). Спектр ЯМР ^{31}P (ДМСО-d_6): δ_P –6.60 м. д. Масс-спектр (ESI$^+$), m/z ($I_{отн}$, %): 573.24 [M + H]$^+$, 595.21 [M + Na]$^+$, 611.19 [M + K]$^+$. Масс-спектр (ESI$^-$), m/z ($I_{отн}$, %): 571.24 [M – H]$^-$. Найдено, %: C 62.81; H 4.55; N 4.66; P 10.67. $C_{30}H_{26}N_2O_6P_2$. Вычислено, %: C 62.94; H 4.58; N 4.89; P 10.82.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куандыкова Акбота Бостандыккызы, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7610-9983

Джиембаев Булат Жазкенович, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7868-7285

Акылбеков Нургали Икрамович, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7584-9741

Чугунова Елена Александровна, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9371-1877

Добрынин Алексей Борисович, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4912-3699

Абызбекова Гульмира Минбаевна, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3721-1322

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Синтетическая часть работы выполнена при финансовой поддержке Казахского национального женского педагогического университета и Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан (грант № BR10764960). Физико-химические исследования были выполнены с использованием оборудования Спектро-аналитического центра Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр РАН» в рамках государственного задания.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

А.Р. Бурилов является членом редколлегии Журнала общей химии. Остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hansruedi S., Sabyasachi G.* EP Pat. 2481744 A1 2012.
2. *Romanowska J., Kolodziej K., Sobkowski M., Rachwalak M., Jakubowski T., Golebiewska J., Kraszewski A., Boryski J., Dabrowska A., Stawinski J.* // Eur. J. Med. Chem. 2019. Vol. 164. P. 47. doi 10.1016/j.ejmech.2018.12.038
3. *Kim I.-H., Park Y.-K., Nishiwaki H., Hammock B.D., Nishi K.* // Bioorg. Med. Chem. 2015. Vol. 23. P. 7199. doi 10.1016/j.bmc.2015.10.016
4. *Джиембаев Б.Ж., Куандыкова А.Б., Досжанова К.А., Тлеубаева А.А., Садыков С.Т., Айтбаев Т.Е., Алимкулов Д.М.* Пат. РК 35532 (2022).
5. *Hudson H.R., Tajti Á., Bálint E., Czugler M., Keglevich G.* // Synth. Commun. 2020. Vol. 50. P. 1446. doi 10.1080/00397911.2019.1679186
6. *Milen M., Ábrányi-Balogh P., Kangyal R., Dancsó A., Frigyes D.* // Heteroatom Chem. 2014. Vol. 25. P. 245. doi 10.1002/hc.21170
7. *Trofimov B.A., Gusarova N.K., Volkov P.A., Ivanova N.I., Khrapova K.O.* // Heteroatom Chem. 2016. Vol. 27. P. 44. doi 10.1002/hc.21299
8. *Крылов А.С., Питерская Ю.Л., Гуржий В.В., Воронина Д.Ю., Догадина А.В.* // ЖОХ. 2022. Т. 92. № 10. С. 1535; *Krylov A.S., Piterskaya Y.L., Gurzhiy V.V., Voronina D.Yu., Dogadina A.V.* // Russ. J. Gen. Chem. 2022. Vol. 92. P. 1912. doi 10.1134/S1070363222100061
9. *Минаева Л.И., Патрикеева Л.С., Кабачник М.М., Белецкая И.П.* // ЖОрХ. 2010. Т. 46. № 10. С. 1572; *Minaeva L.I., Patrikeeva L.S., Kabachnik M.M., Beletskaya I.P.* // Russ. J. Org. Chem. 2010. Vol. 46. P. 1579. doi 10.1134/S1070428010100246
10. *Туканова С.К., Джиембаев Б.Ж., Бутин Б.М.* // ЖОХ. 1989. Т. 59. С. 2633.
11. *Крутиков В.И., Еркин А.В., Крутикова В.В.* // ЖОХ. 2012. Т. 82. № 5. С. 713; *Krutikov V.I., Erkin A.V., Krutikova V.V.* // Russ. J. Gen. Chem. 2012. Vol. 82. P. 822. doi 10.1134/S1070363212050039
12. *Zwierzak A., Osowska K.A.* // Synthesis. 1984. Vol. 3. P. 223. doi 10.1055/s-1984-30778
13. *Ou Y., Huang Y., He Z., Yu G., Huo Y., Li X., Gao Y., Chen Q.* // Chem. Commun. 2020. Vol. 56. P. 1357. doi 10.1039/C9CC09407E
14. *Romero-Estudillo I., Viveros-Ceballos J.L., Cazares-Carreño O., González-Morales A., de Jesús B.F., López-Castillo M., Razo-Hernández R.S., Castañeda-Corral G., Ordóñez M.* // Bioorg. Med. Chem. 2019. Vol. 27. P. 2376. doi 10.1016/J.BMC.2018.12.041
15. *Le Corre S.S., Berchel M., Couthon-Gourvès H., Haelters J., Jaffrès P.* // Beilstein J. Org. Chem. 2014. Vol. 10. P. 1166. doi 10.3762/bjoc.10.117
16. *Kaboudin B., Kazemi F., Habibi F.* // Tetrahedron Lett. 2015. Vol. 56. P. 6364. doi 10.1016/j.tetlet.2015.09.129
17. *Kaboudin B.* // Synthesis. 2018. Vol. 50. P. 170. doi 10.1055/s-0036-1589111
18. APEX2 (Version 2.1), SAINTPlus. Data Reduction and Correction Program (Version 7.31A), Bruker Advansed X-Ray Solutions 2006.
19. *Sheldrick G.M.* SADABS. Madison, Wisconsin, USA, 1997.
20. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. (C). 2014. Vol. 71. P. 3. doi 10.1107/S2053229614024218

Synthesis of New Symmetrical Diamidophosphates Based on *meta*-Phenylenediamine under Microwave Irradiation

A. B. Kuandykova[a], B. Zh. Dzhiembaev[a], A. R.Burilov[b], N. I. Akylbekov[c,*], E. A. Chugunova[b], A. B. Dobrynin[b], and G. M. Abyzbekova[c]

[a] *Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, 050000 Kazakhstan*
[b] *A.E. Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, Federal Research Center "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, 420088 Russia*
[c] *Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, 120014 Kazakhstan*
**e-mail: nurgali_089@mail.ru*

Received May 15, 2023; revised May 15, 2023; accepted May 17, 2023

A new series of diphosphorylated amidophosphates was obtained as a result of the reaction of *meta*-phenylenediamine with dialkylphosphites in the presence of CCl_4 and triethylamine (Atherton–Todd reaction) under microwave irradiation. Structure of all the obtained amidophosphates was established on the basis of ^{31}P, ^{1}H, ^{13}C NMR, IR spectroscopy and mass spectrometry methods, as well as single crystal X-ray diffraction and elemental analysis data.

Keywords: *meta*-phenylenediamine, Atherton–Todd reaction, dialkylphosphites, microwave irradiation