

КООРДИНАЦИОННЫЕ
СОЕДИНЕНИЯ

УДК 546.271-386

НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ПРИСОЕДИНЕНИЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
АМИНОВ К АЦЕТОНИТРИЛЬНЫМ ПРОИЗВОДНЫМ
КЛОЗО-БОРАТНЫХ АНИОНОВ $[B_nH_n - 1NCSH_3]^-$, ГДЕ $n = 10, 12$

© 2022 г. А. В. Нелюбин^а, М. С. Соколов^б, Н. А. Селиванов^а, А. Ю. Быков^а,
И. Н. Клюкин^а, А. П. Жданов^{а, *}, К. Ю. Жижин^а, Н. Т. Кузнецов^а

^аИнститут общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Ленинский пр-т, 31, Москва, 119991 Россия

^бРоссийский технологический университет, пр-т Вернадского, 86, Москва, 119571 Россия

*e-mail: zhdanov@igic.ras.ru

Поступила в редакцию 30.04.2022 г.

После доработки 03.06.2022 г.

Принята к публикации 04.06.2022 г.

Разработаны методы получения новых амидин-клозо-боратов на основе процессов нуклеофильного присоединения к нитрилевым производным клозо-декаборатного и клозо-додекаборатного анионов бифункциональных аминов, содержащих свободные функциональные группы $-NH_2$, $-SH$. Данные производные потенциально могут выступать в роли агентов для ^{10}B -НЗТ и служить стартовыми соединениями для дальнейшего получения борилированных производных методами органической химии. Структура полученных соединений подтверждена методами 1H , ^{11}B , ^{13}C ЯМР-спектроскопии, ESI-масс-спектроскопии.

Ключевые слова: клозо-додекаборатный анион, клозо-декаборатный анион, нитрилевыe производные, нуклеофильное присоединение, биологически активные амины

DOI: 10.31857/S0044457X22600761

ВВЕДЕНИЕ

Кластерные анионы бора $[B_nH_n]^{2-}$ ($n = 10, 12$) занимают одно из важнейших мест в современной химии [1–3]. Спектр областей применения замещенных клозо-боратов включает в себя получение новых координационных соединений, в том числе для использования в качестве катализаторов [4–7]. Высокое содержание водорода в их составе привлекает к ним интерес как к высокоэнергетическим соединениям [8–11], на их основе могут быть получены различные производные для применения в медицине [12–16]. Получение борилированных производных, содержащих активные функциональные группы, и их дальнейшая модификация являются одним из основных направлений исследований в области синтеза замещенных производных клозо-боратных анионов [17–19].

Нитрилевыe производные кластерных анионов бора хорошо зарекомендовали себя как стартовые соединения для получения продуктов с заданными свойствами в реакциях нуклеофильного присоединения к активированной нитрильной группе [20–31]. Для получения борилированных конъюгатов требуется наличие в конъюгируемых соединениях нуклеофильных фрагментов, таких

как аминогруппы или гидроксильные группы, это сужает список пригодных для функционализации соединений. Решением данной проблемы может быть получение производных, содержащих свободные функциональные группы. На примере производных аминокислот была показана возможность получения борилированных производных методами пептидного синтеза [32, 33]. В настоящей работе предложен расширенный метод разработанного ранее подхода. Получение производных клозо-боратных анионов, содержащих свободную аминогруппу, позволит осуществлять их дальнейшую модификацию методами пептидного синтеза в качестве аминокомпоненты, в реакциях алкилирования и ацилирования. Производные со свободными тиогруппами также являются важными стартовыми соединениями в реакциях образования дисульфидных связей и получения тиоэфиров.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК-спектры соединений записывали на ИК-Фурье-спектрофотометре Инфралюм ФТ-08 (НПФ АП “Люмекс”) в области 4000 – 600 cm^{-1} с разрешением 1 cm^{-1} . Образцы готовили в виде тонких пленок в CH_2Cl_2 .

Спектры ЯМР ^1H , ^{11}B , ^{13}C растворов исследуемых веществ в CD_3CN или CD_2Cl_2 записывали на импульсном Фурье-спектрометре Bruker MSL-300 (Германия) на частотах 300.3, 96.3 и 75.5 МГц соответственно с внутренней стабилизацией по дейтерию. В качестве внешних стандартов использовали тетраметилсилан или эфират трехфтористого бора.

ESI-масс-спектры растворов исследуемых веществ в ацетонитриле или метаноле записывали на спектрометре LCMS-IT-TOF (Shimadzu, Japan) в режиме прямого введения в диапазоне m/z от 120 до 700 Да. Напряжение детектора 1.55 кВ, напряжение ЭСИ 4.50 кВ.

Реактивы и растворители марок “х. ч.” и “ос. ч.” производства “Химмед” и Sigma-Aldrich использовали без дополнительной очистки.

Нитрильные производные *клозо*-декаборатного и *клозо*-додекаборатного анионов получали по известным методикам [26, 31].

(Bu₄N)[2-B₁₀H₉NHC(CH₃)HNCH₂CH₂NH₂] (**Bu₄N(1a)**). К раствору (Bu₄N)[2-B₁₀H₉NCCH₃] (**Bu₄N(1)**) (0.400 г, 1 ммоль) в 10 мл CH_2Cl_2 , охлажденному до 0°C, приливали 0.9 мл 10%-ного раствора этилендиамина в CH_2Cl_2 (15 ммоль). Температуру реакции повышали до комнатной и перемешивали раствор в течение 10 мин. Реакционную массу упаривали на роторном испарителе и перекристаллизовывали из этилового спирта. Полученный продукт высушивали в вакууме. Получено 0.444 г (Bu₄N)[2-B₁₀H₉NHC(CH₃)HNCH₂CH₂NH₂] (96%).

ИК-спектр (CH_2Cl_2 , cm^{-1}): 3394, 3328, 3174 $\nu(\text{N-H})$, 2474 $\nu(\text{B-H})$, 1631 $\nu(\text{C=N})$; ^{11}B - $\{^1\text{H}\}$ ЯМР (CD_2Cl_2 , δ , м.д.): -0.6 (с, 1В, В(10)), -8.1 (с, 1В, В(1)), -16.9 (с, 1В, В(2)), -27.4 (с, 3В, В(4,7,8)), -31.1 (с, 4В, В(3,5,6,9)); ^1H ЯМР (CD_2Cl_2 , δ , м.д.): -1.51...-1.0 (м, 9H, В₁₀H₉), 8.40 (с, 1H, NH-C=NH), 6.29 (с, 1H, NH-C=NH), 4.41 (с, 2H NH₂), 3.53 (т, 2H, NH-CH₂, $J = 3.5$ Гц), 3.01 (м, 8H, Bu₄N), 2.75 (с, 2H, CH₂-CH₂-NH₂), 2.02 (с, 3H, NH=C-CH₃), 1.57 (м, 8H, Bu₄N), 1.32 (м, 8H, Bu₄N), 0.92 (м, 12H, Bu₄N); ^{13}C ЯМР (CD_3CN , δ , м.д.): 166.5 (C=NH), 58.7 (Bu₄N), 44.0 (CH₂-CH₂), 23.7 (Bu₄N), 19.7 (Bu₄N), 18.6 (CH₃-C=NH), 13.2 (Bu₄N). MS(ESI) $m/z = 218.2666$ (найдено для [B₁₀H₉NHC(CH₃)HNCH₂CH₂NH₂]⁻, вычислено для {[A]-} 218.2660).

(Bu₄N)[B₁₂H₁₁NHC(CH₃)HNCH₂CH₂NH₂] (**Bu₄N(2a)**) получали по аналогичной методике. Из 0.425 г (1 ммоль) (Bu₄N)[B₁₂H₁₁NCCH₃] (**Bu₄N(2)**) и 0.9 мл 10%-ного раствора этилендиамина в CH_2Cl_2 (1.5 ммоль) получено 0.431 г (Bu₄N)[B₁₂H₁₁NHC(CH₃)HNCH₂CH₂NH₂] (89%).

ИК-спектр (CH_2Cl_2 , cm^{-1}): 3383, 3329, 3173 $\nu(\text{N-H})$, 2489 $\nu(\text{B-H})$, 1635 $\nu(\text{C=N})$; ^{11}B - $\{^1\text{H}\}$ ЯМР (CD_3CN , δ , м.д.): -6.5 (с, 1В, В(1)), -15.2 (с, 10В, В(2-11)), -16.4 (с, 1В, В(12)); ^1H ЯМР (CD_3CN , δ , м.д.): 2.50-0.0 (м, 11H, В₁₂H₁₁), 7.96 (с, 1H, NH-C=NH), 6.29 (с, 1H, NH-C=NH), 3.67 (т, 2H, NH-CH₂, $J = 6.3$ Гц), 3.16 (т, 2H, CH₂-CH₂-NH₂, $J = 6.1$ Гц), 3.01 (м, 8H, Bu₄N), 2.17 (с, 3H, NH=C-CH₃), 1.60 (м, 8H, Bu₄N), 1.35 (м, 8H, Bu₄N), 0.96 (м, 12H, Bu₄N); ^{13}C ЯМР (CD_3CN , δ , м.д.): 166.6 (C=NH), 59.2 (Bu₄N), 44.1 (CH₂-CH₂), 24.3 (Bu₄N), 20.2 (Bu₄N), 19.2 (CH₃-C=NH), 13.7 (Bu₄N). MS(ESI) $m/z = 242.2990$ (найдено для [B₁₂H₁₁NHC(CH₃)HNCH₂CH₂NH₂]⁻, вычислено для {[A]-} 242.3003).

(Bu₄N)[2-B₁₀H₉NHC(CH₃)HNCH₂CH₂SH] (**Bu₄N(1b)**). Навеску 0.400 г (1 ммоль) Bu₄N(1) растворяли в 10 мл CH_2Cl_2 и добавляли 0.08 г (1.05 ммоль) NH₂CH₂CH₂SH. Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре в течение 30 мин, фильтровали через шприцевой фильтр и упаривали на роторном испарителе. Продукт перекристаллизовывали из этилового спирта и высушивали в вакууме. Получено 0.455 г (Bu₄N)[2-B₁₀H₉NHC(CH₃)HNCH₂CH₂SH] (95%).

ИК-спектр (CH_2Cl_2 , cm^{-1}): 3386, 3280, 3236 $\nu(\text{N-H})$, 2474 $\nu(\text{B-H})$, 2350 $\nu(\text{S-H})$, 1623 $\nu(\text{C=N})$; ^{11}B - $\{^1\text{H}\}$ ЯМР (CD_2Cl_2 , δ , м.д.): -0.5 (с, 1В, В(10)), -7.5 (с, 1В, В(1)), -17.9 (с, 1В, В(2)), -27.4 (с, 3В, В(4,7,8)), -30, 4 (с, 4В, В(3,5,6,9)); ^1H ЯМР (CD_2Cl_2 , δ , м.д.): -1.51...-1.0 (м, 9H, В₁₀H₉), 8.49 (с, 1H, NH-C=NH), 6.35 (с, 1H, NH-C=NH), 3.39 (т, 2H, NH-CH₂, $J = 6.4$ Гц), 3.06 (м, 8H, Bu₄N), 3.36 (т, 2H, CH₂-CH₂-SH, $J = 6.5$ Гц), 2.02 (с, 3H, NH=C-CH₃), 1.57 (м, 8H, Bu₄N), 1.35 (м, 8H, Bu₄N), 0.93 (м, 12H, Bu₄N); ^{13}C ЯМР (CD_3CN , δ , м.д.): 167.7 (C=NH), 59.3 (Bu₄N), 44.1 (CH-CH₂-SH), 34.2 (CH-CH₂-SH), 24.3 (Bu₄N), 20.3 (Bu₄N), 18.8 (CH₃-C=NH), 13.8 (Bu₄N); MS(ESI) $m/z = 235.2253$ (найдено для [B₁₀H₉NHC(CH₃)HNCH₂CH₂SH], вычислено для {[A]-} 235.2272).

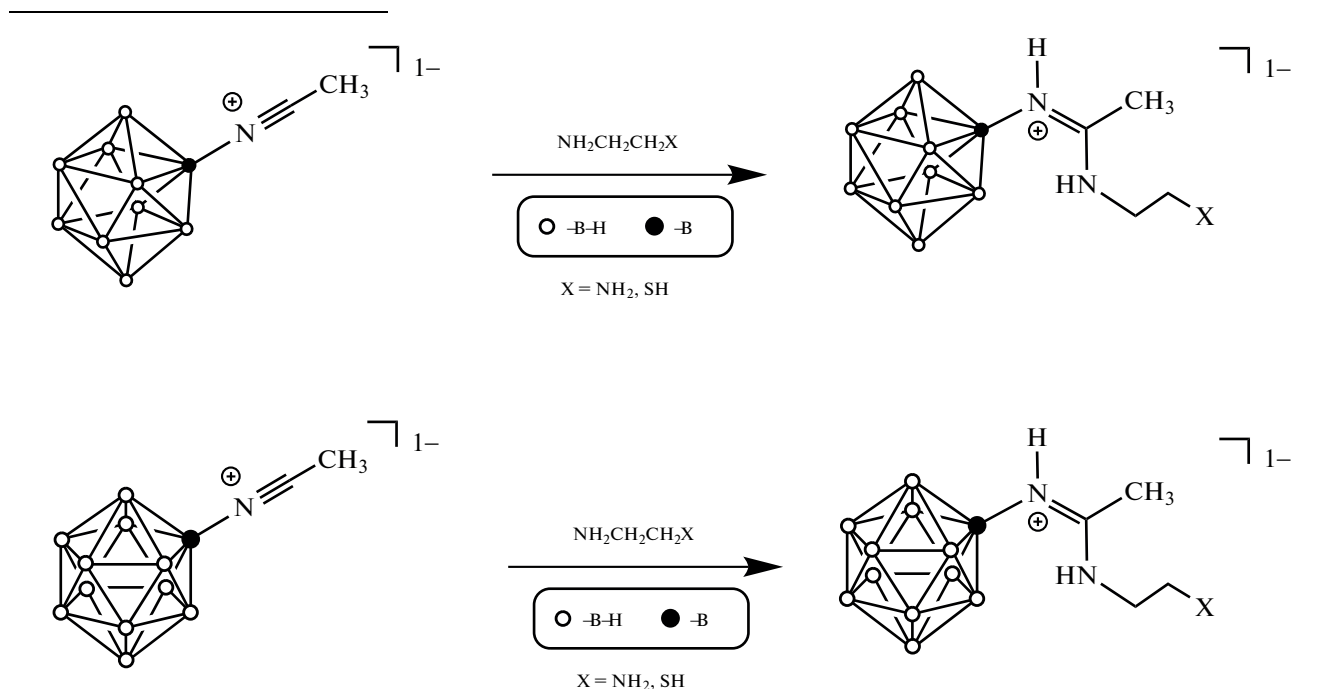
(Bu₄N)[B₁₂H₁₁NHC(CH₃)HNCH₂CH₂SH] (**Bu₄N(2b)**) получали по аналогичной методике. Из 0.427 г (1 ммоль) (Bu₄N)[B₁₂H₁₁NCCH₃] (**Bu₄N(2)**) и 0.08 г (1.05 ммоль) NH₂CH₂CH₂SH получено 0.461 г (Bu₄N)[B₁₂H₁₁NHC(CH₃)HNCH₂CH₂SH] (92%).

ИК-спектр (CH_2Cl_2 , cm^{-1}): 3393, 3327, 3177 $\nu(\text{N-H})$, 2493 $\nu(\text{B-H})$, 1632 $\nu(\text{C=N})$; ^{11}B - $\{^1\text{H}\}$ ЯМР (CD_3CN , δ , м.д.): -6,5 (с, 1В, В(1)), -15.2 (с, 10В, В(2-11)), -16.5 (с, 1В, В(12)); ^1H ЯМР (CD_3CN , δ , м.д.): 2.50-0.0 (м, 11H, В₁₂H₁₁), 8.09 (с, 1H, NH-C=NH), 6.39 (с, 1H, NH-C=NH), 3.62 (т, 2H, NH-CH₂, $J = 6.4$ Гц), 3.36 (т, 2H, CH₂-

$\text{CH}_2\text{-SH}$, $J = 6.9$ Гц), 3.01 (м, 8H, Bu_4N), 2.14 (с, 3H, $\text{NH}=\text{C}-\text{CH}_3$), 1.60 (м, 8H, Bu_4N), 1.35 (м, 8H, Bu_4N), 0.96 (м, 12H, Bu_4N); ^{13}C ЯМР (CD_3CN , δ , м.д.): 167.3 ($\text{C}=\text{NH}$), 59.3 (Bu_4N), 44.5 ($\text{CH}-\text{CH}_2-\text{SH}$), 34.3 ($\text{CH}-\text{CH}_2-\text{SH}$), 24.3 (Bu_4N), 20.3 (Bu_4N), 19.3 ($\text{CH}_3-\text{C}=\text{NH}$), 13.8 (Bu_4N); MS(ESI) $m/z = 259.2597$ (найдено для $[\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{NHC}(\text{CH}_3)\text{HNCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2]$, вычислено для $\{[\text{A}]^-\}$ 259.2615).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показано в работе [31], процесс присоединения аминов, содержащих две различные нуклеофильные группы, протекает селективно с образованием продукта нуклеофильного присоединения по атому азота. Реакция присоединения этилендиамина и цистеина протекает по схеме:



Данные $^{11}\text{B}-\{^1\text{H}\}$ ЯМР-спектроскопии свидетельствуют о том, что указанные реакции протекают при комнатной температуре. На примере реакции ацетонитрильного производного *клозо*-додекаборатного аниона с этилендиамином установлено, что использование больших избытков аминоконпоненты (>5 экв.) в присутствии следовых количеств воды снижает выход целевых продуктов за счет гидролиза исходного нитрилевого производного с образованием продукта амидной структуры. Однако для получения целевых продуктов в виде свободных оснований по атому азота и предотвращения образования димерных продуктов необходимо использование избытка (1.5 экв.) этилендиамина. Реакция нитрилевых производных с цистеином также протекает в присутствии незначительного избытка амина, который может быть легко удален при перекристаллизации.

Полноту протекания реакции и строение полученных производных устанавливали с помощью мультядерной ЯМР-спектроскопии. В ^{11}B ЯМР-спектрах производных *клозо*-додекаборатного аниона сигналы от апикальных атомов бора проявляются в диапазонах $-0.6\text{...}-0.5$ м.д. [B(10),

$I = 1$] и $-8.0\text{...}-7.5$ м.д. [B(1), $I = 1$], сигнал от замещенного атома бора наблюдается при $-16.9\text{...}-17.9$ м.д. [B(2), $I = 1$]. Сигналы от незамещенных экваториальных вершин борного кластера наблюдаются в сильном поле в области $-27\text{...}-31$ м.д. В спектре продукта присоединения цистеина наблюдается только один сигнал от замещенного атома бора, что свидетельствует об образовании только продукта присоединения по атому азота. ^{11}B ЯМР-спектры амидинов на основе *клозо*-додекаборатного аниона соотносятся со спектрами известных соединений: сигналы от замещенных атомов бора лежат в области -6.5 м.д. Сигналы от незамещенных атомов бора представляют собой два синглета при -15.2 и -16.5 м.д. с соотношением интегральных интенсивностей 10 : 1, которые соответствуют незамещенным атомам бора B(2–11) и B(12) соответственно.

В спектрах ^1H ЯМР производных этилендиамина наблюдаются три сигнала атомов водорода, принадлежащих амидиновым фрагментам: от протонов иминогруппы в области $6.35\text{--}6.29$ м.д. и протонов аминогруппы в области $8.5\text{--}8.4$ м.д., а также сигнал от протонов метильной группы аце-

тонитрильного заместителя в области 2.2–2.0 м.д. Положение сигналов протонов метильной группы свидетельствует о стереоселективности реакции присоединения и образовании только продуктов в виде *Z*-изомеров при двойной связи амидинового фрагмента [31, 34]. В спектрах ¹H ЯМР-производных цистеамина амидиновый фрагмент также представлен группой из трех сигналов: протонов иминогруппы в области 6.39–6.29 м.д., протонов аминогруппы в области 8.1–7.9 м.д. и протонов метильной группы ацетонитрильного заместителя в области 2.2–2.0 м.д.

Дополнительно состав и строение полученных продуктов устанавливали методами ESI-масс-спектрометрии высокого разрешения. В отрицательной части масс-спектров продуктов присоединения этилендиамина присутствуют интенсивные пики, соответствующие анионам: $m/z = 218.2666$ для аниона $[B_{10}H_9NHC(CH_3)HNCH_2CH_2NH_2]^-$ и 242.2990 для аниона $[B_{12}H_{11}NHC(CH_3)HNCH_2CH_2NH_2]^-$. При этом не наблюдается пиков, соответствующих анионам с дважды борилированной молекулой этилендиамина. В масс-спектрах продуктов присоединения цистеамина также отсутствуют пики, соответствующие дважды замещенному продукту и продуктам окислительной димеризации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен эффективный метод синтеза борилированных амидинов, содержащих свободные функциональные группы. Получены четыре новых амидина со свободными амино- и тиогруппами $[B_nH_{n-1}NHC(CH_3)HNCH_2CH_2X]^-$ ($n = 10, 12$; $X = NH_2, SH$). Подобные *клозо*-боратсодержащие продукты могут быть использованы для дальнейшего конъюгирования с различными векторными группами для получения новых агентов для борнейтронозахватной терапии, в том числе методами пептидного синтеза или нуклеофильного замещения с образованием тиоэфиров.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ 21-73-10292).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ФМИ ИОНХ РАН, функционирующего при поддержке государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Klyukin I.N., Kolbunova A.V., Novikov A.S. et al.* // Int. J. Mol. Sci. 2022. V. 23. № 8. P. 4190. <https://doi.org/10.3390/ijms23084190>
2. *Druzina A.A., Grammatikova N.E., Zhidkova O.B. et al.* // Molecules. 2022. V. 27. № 9. P. 2920. <https://doi.org/10.3390/molecules27092920>
3. *Avdeeva V.V., Vologzhanina A.V., Korolenko S. et al.* // SSRN Electronic J. 2022. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4078260>
4. *Zhao X., Fu Y., Yao C. et al.* // ChemCatChem. 2019. V. 11. № 9. P. 2362. <https://doi.org/10.1002/cctc.201900281>
5. *Wang Z., Wang Z., Ma X. et al.* // Int. J. Hydrogen Energy. 2021. V. 46. № 60. P. 30750. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.196>
6. *Wang L., Sun W., Duttwyler S. et al.* // J. Solid State Chem. 2021. V. 299. № March. P. 122167. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2021.122167>
7. *Wang Z., Liu Y., Zhang H. et al.* // J. Colloid Interface Sci. 2020. V. 566. P. 135. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.01.047>
8. *Rao M.H., Muralidharan K.* // Polyhedron. 2016. V. 115. P. 105. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2016.03.062>
9. *Derdziuk J., Malinowski P.J., Jaroń T.* // Int. J. Hydrogen Energy. 2019. V. 44. № 49. P. 27030. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.158>
10. *Hagemann H.* // Molecules. 2021. V. 26. № 24. P. 7425. <https://doi.org/10.3390/molecules26247425>
11. *Sharon P., Afri M., Mitlin S. et al.* // Polyhedron. 2019. V. 157. P. 71. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2018.09.055>
12. *Sun Y., Zhang J., Zhang Y. et al.* // Chem. Eur. J. 2018. V. 24. № 41. P. 10364. <https://doi.org/10.1002/chem.201801602>
13. *Różycka D., Leśnikowski Z.J., Olejniczak A.B.* // J. Organomet. Chem. 2019. V. 881. P. 19. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2018.11.037>
14. *Avdeeva V.V., Garaev T.M., Breslav N.V. et al.* // J. Biol. Inorg. Chem. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00775-022-01937-4>
15. *Turyshev E.S., Kopytin A.V., Zhizhin K.Y. et al.* // Talanta. 2022. V. 241. P. 123239. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2022.123239>
16. *Avdeeva V.V., Garaev T.M., Malinina E.A. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. № 1. P. 28. <https://doi.org/10.1134/S0036023622010028>
17. *Koganei H., Tachikawa S., El-Zaria M.E. et al.* // New J. Chem. 2015. V. 39. № 8. P. 6388. <https://doi.org/10.1039/C5NJ00856E>
18. *Zhang Y., Sun Y., Wang T. et al.* // Molecules. 2018. V. 23. № 12. P. 3137. <https://doi.org/10.3390/molecules23123137>
19. *Ishii S., Sato S., Asami H. et al.* // Org. Biomol. Chem. 2019. V. 17. № 22. P. 5496. <https://doi.org/10.1039/C9OB00584F>
20. *Zhdanov A.P., Polyakova I.N., Razgonyaeva G.A. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2011. V. 56. № 6. P. 847. <https://doi.org/10.1134/S003602361106026X>

21. *Mindich A.L., Bokach N.A., Kuznetsov M.L. et al.* // *Organometallics*. 2013. V. 32. № 21. P. 6576. <https://doi.org/10.1021/om400892x>
22. *Bolotin D.S., Burianova V.K., Novikov A.S. et al.* // *Organometallics*. 2016. V. 35. № 20. P. 3612. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.6b00678>
23. *Zhdanov A.P., Klyukin I.N., Bykov A.Yu. et al.* // *Polyhedron*. 2017. V. 123. P. 176. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2016.11.035>
24. *Zhdanov A.P., Nelyubin A.V., Klyukin I.N. et al.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019. V. 64. № 7. P. 841. <https://doi.org/10.1134/S0036023619070180>
25. *Burianova V.K., Bolotin D.S., Novikov A.S. et al.* // *Inorg. Chim. Acta*. 2018. V. 482. P. 838. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2018.07.038>
26. *Voinova V.V., Selivanov N.A., Plyushchenko I.V. et al.* // *Molecules*. 2021. V. 26. № 1. P. 248. <https://doi.org/10.3390/molecules26010248>
27. *Stogniy M.Y., Erokhina S.A., Sivaev I.B. et al.* // *Phosphorus Sulfur Silicon Relat. Elem.* 2019. V. 194. № 10. P. 983. <https://doi.org/10.1080/10426507.2019.1631312>
28. *Stogniy M.Y., Erokhina S.A., Suponitsky K.Y. et al.* // *New J. Chem.* 2018. V. 42. № 22. P. 17958. <https://doi.org/10.1039/c8nj04192j>
29. *Stogniy M.Y., Erokhina S.A., Anisimov A.A. et al.* // *Polyhedron*. 2019. V. 174. P. 114170. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2019.114170>
30. *Bogdanova E.V., Stogniy M.Y., Chekulaeva L.A. et al.* // *New J. Chem.* 2020. V. 44. № 37. P. 15836. <https://doi.org/10.1039/d0nj03017a>
31. *Nelyubin A.V., Selivanov N.A., Bykov A.Yu. et al.* // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. V. 22. № 24. P. 13391. <https://doi.org/10.3390/ijms222413391>
32. *Nelyubin A.V., Klyukin I.N., Zhdanov A.P. et al.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019. V. 64. № 14. P. 1750. <https://doi.org/10.1134/S0036023619140043>
33. *Nelyubin A.V., Klyukin I.N., Zhdanov A.P. et al.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019. V. 64. № 12. P. 1499. <https://doi.org/10.1134/S003602361912012X>
34. *Laskova J., Ananiev I., Kosenko I. et al.* // *Dalton Trans.* 2022. V. 51. № 8. P. 3051. <https://doi.org/10.1039/D1DT04174F>