

## КОМПЛЕКСЫ ВАНАДИЯ(V) С УГЛЕВОДАМИ И СПИРТАМИ

© 2021 г. Г. В. Горкуша\*, Г. Э. Литосов, Д. О. Рузанов

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),  
Московский пр. 26, Санкт-Петербург, 190013 Россия  
\*e-mail: grigorygor2014@yandex.ru

Поступило в Редакцию 16 июня 2021 г.

После доработки 20 августа 2021 г.

Принято к печати 22 августа 2021 г.

Получены продукты взаимодействия цитратного биядерного комплекса ванадия(IV) с глюкоза-6-фосфатом, глюкозой, мальтозой и монофосфатом глицерина. Изучено строение полученных комплексов.

**Ключевые слова:** ванадий, глюкоза-6-фосфат, комплексы ванадия, углеводы

**DOI:** 10.31857/S0044460X21090171

Координационные соединения играют важную роль в живых организмах, участвуя в важнейших процессах жизнедеятельности. Комплексные соединения ванадия(IV) и (V) – подтвержденные инсулиномиметики – используются при лечении сахарного диабета, а также в целях кардиозащиты и иммуномодуляции в ультрамалых концентрациях [1–3].

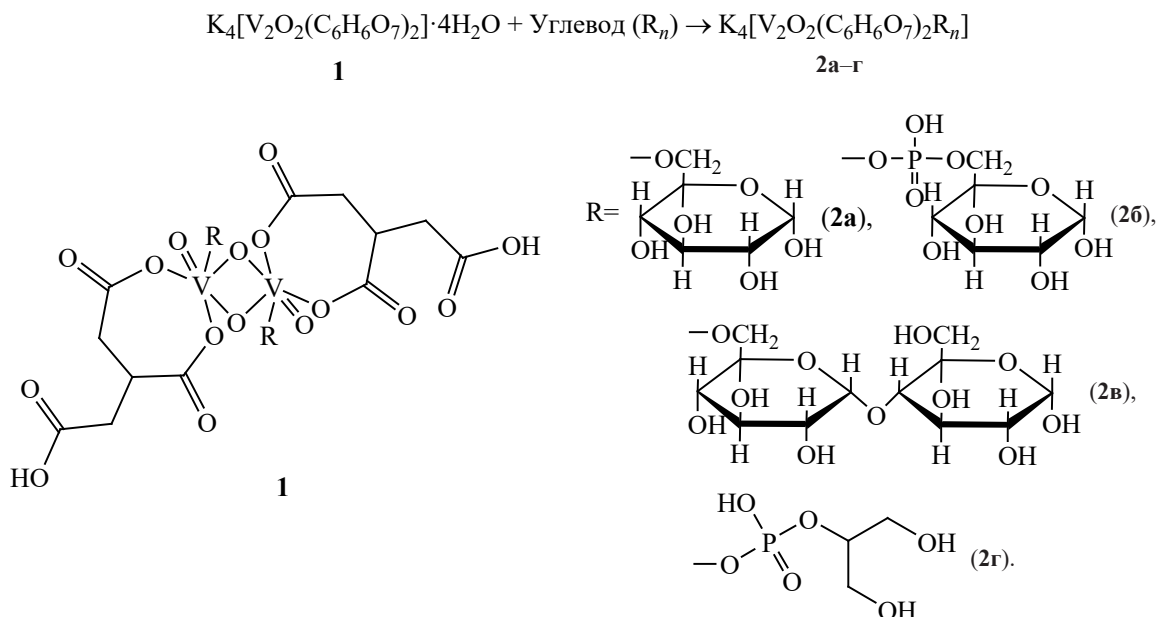
Координационные соединения ванадия с органическими лигандами имеют преимущества перед свободными ионами ванадия в растворе ввиду устойчивости комплекса и возможности контроля над ионным замещением окружения металла [1]. Комплексы воздействуют на компоненты ферментов, отвечающих за углеводный обмен в организме. Важной задачей остается выяснение процессов замещения или координации комплексов ванадия при взаимодействии с фосфатами углеводов и их влияние на сами ферменты.

Модельные реакции с углеводами и сложными спиртами могут раскрыть способ взаимодействия, если использовать в реакциях комплекс ванадия  $K_4[(VO)_2Cit_2] \cdot 4H_2O$  **1**, структура которого подтверждена методом РСА. По данным рентгеноструктурного анализа, комплекс **1** кристалли-

зуется в моноклинной сингонии в пространственной группе  $P2_1/c$  с параметрами элементарной ячейки  $a$  8.9440(6),  $b$  15.2560(10),  $c$  9.2970(6) Å,  $\beta$  107.4370(10)°,  $V$  1210.28(14) Å<sup>3</sup>,  $Z$  2. Исходный комплекс ванадия(IV) **1** состоит из биядерного аниона  $[(VO)_2Cit_2]^{4-}$ , четырех внешнесферных катионов калия и четырех сольватных молекул воды. Структура комплексных катионов представляет собой два катиона оксованадия(IV), связанных между собой двумя остатками лимонной кислоты. Каждый остаток лимонной кислоты в нейтральной и слабощелочной средах связывает попарно фрагменты  $V=O$ . Установлено антигликемическое действие комплекса **1**.

Ванадий в высших валентностях и фосфор сходны по свойствам и могут взаимодействовать с различными координационными рецепторами, которые функционализированы фосфатной группой (АДФ, АТФ). Фосфатная группа в составе углевода или  $\beta$ -глицерофосфата обладает высокой селективностью к соединениям ванадия, и это можно использовать для построения модельных реакций. Фосфатные группы некоторых соединений в гомогенной водной среде способны присоединяться к комплексам ванадия ( $V^{+5}O_2^+$ ). Биядерные комплексы ванадия ( $V^{+4}O^{2+}$ ) в меньшей степени способны

Схема 1.



присоединять фосфатную группу, координируясь через кислород к фосфорсодержащим ионам. Окислительно-восстановительная биокаталитическая способность соединений ванадия исследована в ряде работ [4–6].

Нами получены ванадий-углеводные и ванадий-спиртовые комплексы, установлен их состав. Комплекс ванадия(IV) **1** чувствителен к pH раствора. Слабокислая среда активирует металлоцентры и увеличивает способность присоединения к фосфатным группам углеводов и спиртов с образованием комплексов **2а–г** (схема 1), а в нейтральной или слабощелочной среде происходит их отрыв от фосфатной и гидроксильной групп углеводов.

Результаты ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , ИК, УФ спектроскопии комплексов **2а–г** указывают на их устойчивый состав. Биядерный остов комплекса остается без изменения. Атомы ванадия становятся V-валентными.

Сопоставление ИК спектров исходных углеводов и комплексов **2а–г** показало, что комплекс **1** может координироваться как к глюкоза-6-фосфату ( $\text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{V}$ ) (**2б**), так и к глюкозе, и мальтозе ( $\text{R}-\text{O}-\text{V}$ ) (**2а, в**). Комплекс **1** присоединяется к группе  $(\text{HO})_2\text{P}=\text{O}$  через кислород ОН-группы.

Из сравнения ИК спектров глюкозы ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 623, 777, 916, 996, 1024, 1051, 1112, 1149, 1204,

1226, 1341, 1378, 1460, 2924, 3311, 3411) и комплекса **2а** следует, что глюкоза в исходном виде и в полученном соединении находится в циклической форме (полоса  $916\text{ см}^{-1}$  [7]), изменения полосы при  $996\text{ см}^{-1}$ , а также полоса при  $1650\text{ см}^{-1}$  и смещение полосы при  $777\text{ см}^{-1}$  в комплексе **2а** свидетельствуют о присоединении комплекса **1** к спиртовой группе  $\text{CH}_2\text{OH}$  глюкозы с образованием связи  $\text{CH}_2\text{O}-\text{V}$ . Металлоцентры биядерного цитратного комплекса ванадия проявляются полосами при  $775$ ,  $553\text{ см}^{-1}$  [8].

В комплексе с глюкоза-6-фосфатом **2б** глюкоза также находится в циклической форме ( $916\text{ см}^{-1}$ ), присоединение происходит по фосфатной группе. Образовавшаяся группировка  $\text{ROPO}-\text{V}$  характеризуется полосами при  $1047$  ( $\text{P}-\text{O}-\text{C}$ ),  $1224$  ( $\text{P}-\text{O}-\text{H}$ ),  $1076\text{ см}^{-1}$  ( $\text{P}-\text{O}-\text{V}$ ).

Присоединение комплекса **1** к  $\beta$ -глицерофосфату идет по фосфатной группе, что подтверждается сопоставлением спектральных данных реагентов и продукта реакции [полосы в ИК спектре при  $1049$  ( $\text{P}-\text{O}-\text{C}$ ),  $1240$  ( $\text{P}-\text{O}-\text{H}$ ),  $1068\text{ см}^{-1}$  ( $\text{P}-\text{O}-\text{V}$ ) и в электронном спектре при  $270\text{ нм}$ ].

Согласно данным электронной спектроскопии, в каждом из полученных комплексов присутствует ион  $\text{VO}^{2+}$ , которому соответствуют длины волн от  $270$  до  $350\text{ нм}$  [9] (рис. 1, 2).

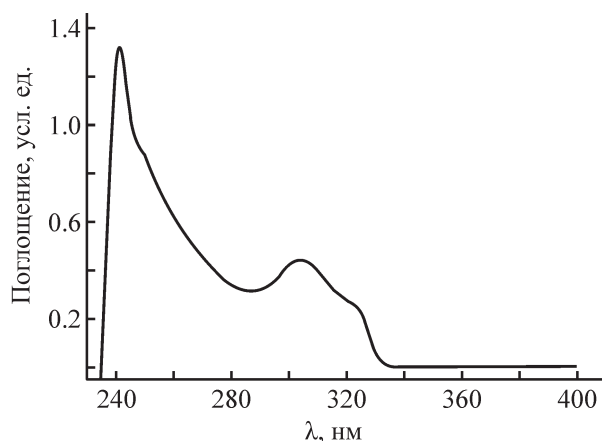


Рис. 1. Электронный спектр комплекса **2a** (306, 323 нм).

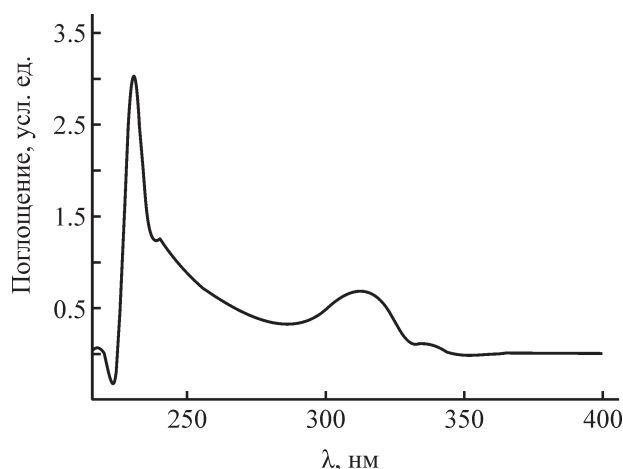


Рис. 2. Электронный спектр комплекса **2b** (315, 341 нм).

Все полученные соединения были охарактеризованы данными ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . Основные различия наблюдаются в положениях сигналов протонов и атомов углерода в молекулах углеводов и  $\beta$ -глицерофосфата в области 90–60 ( $^{13}\text{C}$ ) и 6–3 м. д. ( $^1\text{H}$ ). Сигналы атомов углерода углеводного остатка комплекса **2b** смещены на 3 м. д., комплекса **2a** – на 2 м. д. относительно исходного углевода. Структура двух соединенных между собой молекул глюкозы в мальтозе остается без изменения, ионное присоединение приводит к сильному сдвигу (4–5 м. д.) сигналов в спектре ЯМР  $^{13}\text{C}$  комплекса **2в** по сравнению с мальтозой. В  $\beta$ -глицерофос-

фате комплекс ванадия присоединен к фосфатной группе, о чем свидетельствует сдвиг сигнала атома  $\text{C}^2$  на 3 м. д. (табл. 1, 2).

Для уточнения структуры полученных соединений были использованы методы гетероядерной корреляционной спектроскопии  $^1\text{H}$ – $^{13}\text{C}$  HMBC и HSQC. Сдвиги сигналов атомов углерода (в среднем на 3 м. д.) и протонов (на 0.1–0.3 м. д.) свидетельствуют о взаимодействии углеводных лигандов с комплексом ванадия **1**. Сопоставление с ИК и электронными спектрами показывает, что комплекс V(IV) не оказывает каталитического влияние на углеводы и глицерофосфат. Координация

Таблица 1. Сравнение параметров спектров ЯМР исходной глюкозы и комплекса **2a**

| Атом углерода   | $\delta_{\text{C}}$ , м. д. |                    | Атом водорода   | $\delta$ , м. д. |                    |
|-----------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                 | глюкоза                     | комплекс <b>2a</b> |                 | глюкоза          | комплекс <b>2a</b> |
| $\text{C}^1$    | 94.84                       | 92.05              | $\text{H}^1$    | 5.22             | 5.13               |
| $\text{C}^2$    | 74.15                       | 71.38              | $\text{H}^2$    | 5.22             | 5.12               |
| $\text{C}^3$    | 75.58                       | 72.72              | $\text{H}^3$    | 3.53             | 3.34               |
| $\text{C}^4$    | 74.29                       | 71.44              | $\text{H}^4$    | 3.73             | 3.63               |
| $\text{C}^5$    | 72.40                       | 69.60              | $\text{H}^5$    | 3.40             | 3.31               |
| $\text{C}^6$    | 63.40                       | 60.54              | $\text{H}^6$    | 3.82             | 3.72               |
| $\text{C}^{1'}$ | 94.84                       | 95.87              | $\text{H}^{1'}$ | 5.22             | 5.12               |
| $\text{C}^{2'}$ | 74.15                       | 75.90              | $\text{H}^{2'}$ | 5.22             | 5.13               |
| $\text{C}^{3'}$ | 75.58                       | 75.72              | $\text{H}^{3'}$ | 3.53             | 3.60               |
| $\text{C}^{4'}$ | 74.29                       | 74.10              | $\text{H}^{4'}$ | 3.73             | 3.58               |
| $\text{C}^{5'}$ | 72.40                       | 69.55              | $\text{H}^{5'}$ | 3.40             | 3.29               |
| $\text{C}^{6'}$ | 63.40                       | 60.70              | $\text{H}^{6'}$ | 3.82             | 3.75               |

**Таблица 2.** Сравнение параметров спектров ЯМР  $\beta$ -глицерофосфата и комплекса **2г**<sup>a</sup>

| Атом углерода                      | $\delta_C$ , м. д.      |                    | Атом водорода   | $\delta$ , м. д.        |                    |
|------------------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|
|                                    | $\beta$ -глицеро-фосфат | комплекс <b>2г</b> |                 | $\beta$ -глицеро-фосфат | комплекс <b>2г</b> |
| C <sup>1</sup>                     | 75.81                   | 74.83              | H <sup>1</sup>  | 4.15                    | 4.03               |
| C <sup>1'</sup>                    | 75.61                   | 74.81              | H <sup>2</sup>  | 3.69                    | 3.57               |
| C <sup>2</sup>                     | 63.29                   | 62.33              | H <sup>3</sup>  | 3.67                    | 3.56               |
| C <sup>2'</sup>                    | 63.12                   | 62.30              |                 |                         |                    |
| C <sup>1<math>\alpha</math></sup>  | 75.81                   | 74.81              | H <sup>1'</sup> | 4.15                    | 3.97               |
| C <sup>1<math>\alpha'</math></sup> | 75.61                   | 74.79              | H <sup>2'</sup> | 3.69                    | 3.51               |
| C <sup>2<math>\alpha</math></sup>  | 63.29                   | 62.29              | H <sup>3'</sup> | 3.67                    | 3.48               |
| C <sup>2<math>\alpha'</math></sup> | 63.12                   | 62.22              |                 |                         |                    |

<sup>a</sup> Сигнал центрального атома углерода в глицерофосфате имеет два пика – C<sup>1</sup>, C<sup>1 $\alpha$</sup> . Сигналы первого и третьего углеводов обозначены C<sup>2</sup>, C<sup>2 $\alpha$</sup>  соответственно. Сигналы второй молекулы обозначены штрихом.

происходит с участием гидроксильной и фосфатной групп углеводов, а также фосфатной группы  $\beta$ -глицерофосфата.

Таким образом, на примере взаимодействия цитратного биядерного комплекса ванадия(IV) с глюкоза-6-фосфатом, глюкозой, мальтозой и монофосфатом глицерина показано, что присоединение комплекса протекает селективно по фосфатной группе в фосфатах углеводов и по гидроксильной группе индивидуальных углеводов.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C снимали на спектрометре Bruker Avance III HD 400 NanoBay на рабочих частотах 400.17 и 100.63 МГц соответственно. Для отнесения сигналов в спектрах ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C использовали методы двумерной гомо- и гетероядерной спектроскопии ЯМР НМВС и HSQC. ИК спектры записывали на ИК спектрометре Shimadzu IR Tracer-100 с приставкой Quest на длинах волн 4000–400 см<sup>-1</sup>. Электронные спектры поглощения записывали на спектрофотометре СФ-56. Количество ванадия в комплексах определяли гравиметрически.

**Тетракалий бис[( $\mu_2$ -цитрато)оксованадий(IV)] тетрагидрат, K<sub>4</sub>[(VO)<sub>2</sub>Citr<sub>2</sub>]-4H<sub>2</sub>O (**1**)** получен по модифицированной нами методике [10]. К водному раствору V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.6 г. 3.33 ммоль) добавляли твердый КОН (0.81 г. 14.4 ммоль). Реакционную массу нагревали до 90°C. После образования прозрачного раствора добавляли моногидрат ли-

монной кислоты (2.41 г, 11.5 ммоль), раствор охлаждали до комнатной температуры и подщелачивали 12 мл 1 М. КОН до pH  $\approx$  5.5, затем добавляли 50 мл этанола. После выдерживания при 2–4°C в течение недели образовывались синие кристаллы, которые отфильтровывали, промывали спиртом и сушили на воздухе. Выход 97%. УФ спектр (H<sub>2</sub>O):  $\lambda$  300 нм.

**Бис(D-глюконато)бис[( $\mu_2$ -цитрато)оксованадий(V)]тетракалий (**2а**).** 0.1 г. (0.13 ммоль) комплекса **1** растворяли в 20 мл H<sub>2</sub>O и добавляли 0.08 г D-глюкозы (0.30 ммоль). Полученный раствор кипятили 25 мин, затем упаривали. Полученный серо-фиолетовый осадок отфильтровывали, промывали этанолом и сушили. Выход 0.07 г (40%), т. пл. 178°C. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 3253, 2942, 2912, 2891, 1650 (C=O), 1369, 1302, 1287, 1224 (C–O), 1201 (C–O), 1145, 1103, 1082, 1041 (C–O–C), 1020, 991, 916, 839, 775 (V=O), 702, 646, 601, 553 (V=O), 433, 405. УФ спектр,  $\lambda$ , нм: 315, 341. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (D<sub>2</sub>O),  $\delta$ , м. д.: 5.13 д (2H, CH<sub>2</sub>O, <sup>3</sup>J<sub>HH</sub> 7.4 Гц), 5.12 д (2H, CH<sub>2</sub>O, <sup>3</sup>J<sub>HH</sub> 8.1 Гц), 4.54 с (1H, CHO), 4.52 с (1H, CHO), 3.81 д (2H, CH<sub>2</sub>, <sup>3</sup>J<sub>HH</sub> 8.8 Гц), 3.78 д (2H, CH<sub>2</sub>, <sup>3</sup>J<sub>HH</sub> 10.7 Гц), 3.75 с (1H, CHO), 3.72 с (1H, CHO), 3.63 д (2H, CH<sub>2</sub>, <sup>3</sup>J<sub>HH</sub> 11.2 Гц), 3.60 с (1H, CHO), 3.58 с (1H, CHO), 3.40 д (2H, CH<sub>2</sub>, <sup>3</sup>J<sub>HH</sub> 10.3 Гц), 3.34 м (1H, COOH), 3.31 с (1H, CHO), 3.29 с (1H, CHO). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (D<sub>2</sub>O),  $\delta_C$ , м. д.: 95.87 (C<sup>1'</sup>), 92.05 (C<sup>1</sup>), 75.90 (C<sup>2'</sup>), 75.72 (C<sup>3'</sup>), 72.72 (C<sup>3</sup>), 71.44 (C<sup>4</sup>), 71.38 (C<sup>2</sup>), 74.10 (C<sup>4'</sup>), 69.60 (C<sup>5</sup>), 69.55 (C<sup>5'</sup>), 60.70 (C<sup>6'</sup>), 60.54 (C<sup>6</sup>). Найдено, % С 33.02; Н

3.91; V 11.72.  $C_{24}H_{34}O_{28}V_2$ . Вычислено, %: C 33.02; H 3.89; V 11.69

**Бис(D-глюконато-6-фосфат)бис[( $\mu_2$ -цитрато)оксованадий(V)]тетракалий (2б)** получали аналогично из 0.1 г (0.13 ммоль) комплекса **1** и 0.1 г (0.38 ммоль) глюкоза-6-фосфата. Выход 0.14 г (70%), светло-синий кристаллический порошок, т. пл. 192°C. ИК спектр,  $\nu$ ,  $cm^{-1}$ : 3253, 2942, 2912, 2891, 2364, 1602, 1460, 1408, 1369, 1340, 1300, 1224 (P–O–H), 1201, 1145, 1103, 1076 (P–O–V), 1047 (P–O–C), 1020, 991, 916, 839, 775 (V=O), 702, 646, 601, 553 (V=O), 433, 405. УФ спектр,  $\lambda$ , нм: 306, 323. Спектр ЯМР  $^1H$  ( $D_2O$ ),  $\delta$ , м. д.: 5.24 д (2H,  $CH_2O$ ,  $^3J_{HH}$  7.1 Гц), 5.20 д (2H,  $CH_2O$ ,  $^3J_{HH}$  7.3 Гц), 4.81 с (1H, CHO), 4.76 д (2H,  $CH_2OR$ ,  $^3J_{HR}$  12.2 Гц), 4.52 с (1H, CHO), 4.01 с (1H, CHO), 3.97 с (1H, CHO), 3.92 д (2H,  $CH_2$ ,  $^3J_{HH}$  11.5 Гц), 3.87 д (2H,  $CH_2$ ,  $^3J_{HH}$  8.6 Гц), 3.79 с (1H, CHO), 3.69 д (2H,  $CH_2$ ,  $^3J_{HH}$  9.3 Гц), 3.59 с (1H, CHO), 3.51 д (2H,  $CH_2$ ,  $^3J_{HH}$  10.7 Гц), 3.46 с (1H, CHO), 3.36 м (1H, COOH), 3.30 с (1H, CHO). Спектр ЯМР  $^{13}C$  ( $D_2O$ ),  $\delta_C$ , м. д.: 94.67 ( $C^1$ ), 94.37 ( $C^{1'}$ ), 77.29 ( $C^2$ ), 74.22 ( $C^{3'}$ ), 73.97 ( $C^3$ ), 73.30 ( $C^{2'}$ ), 73.12 ( $C^{4'}$ ), 72.98 ( $C^4$ ), 66.41 ( $C^{5'}$ ), 65.23 ( $C^5$ ), 61.65 ( $C^{6'}$ ), 61.68 ( $C^6$ ). Найдено, % C 27.94; H 3.46; V 9.90.  $V_2C_{24}H_{36}O_{34}P_2$ . Вычислено, %: C 27.90; H 3.48; O 52.71; P 6.00; V 9.88.

**Бис(D-мальтолато)бис[( $\mu_2$ -цитрато)оксованадий(V)]тетракалий (2в).** 0.1 г (0.13 ммоль) комплекса **1** растворяли в 25 мл  $H_2O$ , раствор нагревали до 50°C, затем добавляли 0.07 г (0.20 ммоль) мальтозы и кипятили при перемешивании 10 мин. Раствор упаривали, образовавшийся осадок отфильтровывали, промывали этанолом и сушили. Выход 0.06 г (20%), серо-фиолетовый кристаллический порошок, т. пл. 178°C. ИК спектр,  $\nu$ ,  $cm^{-1}$ : 3292, 2924, 2358, 2341, 1589 (C=O), 1446, 1404, 1359, 1199 (C–O), 1143, 1102 (C–O), 1070, 1014, 990, 920, 900, 844, 669, 781 (V=O), 754, 549 (V=O), 509. УФ спектр:  $\lambda$  305 нм. Спектр ЯМР  $^1H$  ( $D_2O$ ),  $\delta$ , м. д.: 5.30 д (2H,  $CH_2O$ ,  $^3J_{HH}$  8.1 Гц), 5.21 д (2H,  $CH_2O$ ,  $^3J_{HH}$  8.5 Гц), 5.13 д (2H,  $CH_2O$ ,  $^3J_{HH}$  7.9 Гц), 5.10 д (2H,  $CH_2O$ ,  $^3J_{HH}$  6.1 Гц), 4.77 с (1H, CHO), 4.56 д (2H,  $CH_2$ ,  $^3J_{HH}$  9.8 Гц), 4.42 с (1H, CHO), 4.12 с (1H, CHO), 3.95 д (2H,  $CH_2$ ,  $^3J_{HH}$  8.7 Гц), 3.93 с (1H, CHO), 3.87 д (2H,  $CH_2$ ,  $^3J_{HH}$  10.1 Гц), 3.84 с (1H, CHO), 3.77 с (1H, CHO), 3.69 с (1H, CHO), 3.65 д (2H,  $CH_2$ ,  $^3J_{HH}$  11.0 Гц), 3.57 с

(1H, CHO), 3.53 с (1H, CHO), 3.50 с (1H, CHO), 3.44 с (1H, CHO), 3.39 с (1H, CHO), 3.31 с (1H, CHO), 3.26 м (1H, COOH), 3.25 с (1H, CHO). Спектр ЯМР  $^{13}C$  ( $D_2O$ ),  $\delta_C$ , м. д.: 99.58 ( $C^1$ ), 99.50 ( $C^{1'}$ ), 95.74 ( $C^{2'}$ ), 93.32 ( $C^2$ ), 74.51 ( $C^3$ ), 74.25 ( $C^4$ ), 74.32 ( $C^{3'}$ ), 74.17 ( $C^{4'}$ ), 73.13 ( $C^5$ ), 73.08 ( $C^{5'}$ ), 72.85 ( $C^6$ ), 72.80 ( $C^7$ ), 72.65 ( $C^{7'}$ ), 72.61 ( $C^{6'}$ ), 71.27 ( $C^8$ ), 71.24 ( $C^9$ ), 71.14 ( $C^{8'}$ ), 71.11 ( $C^{10}$ ), 70.90 ( $C^{9'}$ ), 70.83 ( $C^{10'}$ ), 67.30 ( $C^{11}$ ), 67.05 ( $C^{11'}$ ), 61.87 ( $C^{12'}$ ), 61.71 ( $C^{12}$ ). Найдено, % C 36.14; H 4.46; V 8.52.  $C_{36}H_{54}O_{38}V_2$ . Вычислено, %: C 36.12; H 4.51; V 8.52.

**Бис( $\beta$ -глицеро-6-фосфато)бис[( $\mu_2$ -цитрато)оксованадий(V)]тетракалий (2г).** 0.1 г (0.13 ммоль) комплекса **1** растворяли в 30 мл  $H_2O$ , раствор нагревали до 90°C, затем добавляли 0.09 г (0.52 ммоль)  $\beta$ -глицерофосфата натрия и кипятили при перемешивании 40 мин. Раствор упаривали, образовавшийся осадок отфильтровывали, промывали этанолом и сушили. Выход 0.06 г (32%), голубой порошок, т. пл. 129 °C. ИК спектр,  $\nu$ ,  $cm^{-1}$ : 3346, 3217, 2945, 2804, 1666, 1585, 1475, 1444, 1398, 1354, 1334, 1284, 1269, 1240 (P–O–H), 1120, 1068 (P–O–V), 1049 (P–O–C), 983, 954, 912, 893, 771, 700, 621, 518. УФ спектр:  $\lambda$  270 нм. Спектр ЯМР  $^1H$  ( $D_2O$ ),  $\delta$ , м. д.: 4.03 м (2H,  $CH_2O$ ), 3.97 м (2H,  $CH_2O$ ), 3.57 с (1H, CHOP), 3.56 д (2H,  $CH_2O$ ,  $^3J_{HH}$  8.9 Гц), 3.51 д (2H,  $CH_2O$ ,  $^3J_{HH}$  9.4 Гц), 3.48 с (1H, CHOP). Спектр ЯМР  $^{13}C$  ( $D_2O$ ),  $\delta_C$ , м. д.: 74.86 ( $C^1$ ), 74.83 ( $C^{1'}$ ), 74.81 ( $C^{1\alpha}$ ), 74.79 ( $C^{1\alpha'}$ ), 62.33 ( $C^2$ ), 62.30 ( $C^{2'}$ ), 62.29 ( $C^{2\alpha}$ ), 62.22 ( $C^{2\alpha'}$ ). Найдено, % C 25.24; H 3.27; V 11.90.  $C_{18}H_{28}O_{28}P_2V_2$ . Вычислено, %: C 25.23; H 3.27; P 7.24; V 11.91.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горкуша Григорий Владимирович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8027-935X>

Литосов Герман Эдгарович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7851-0148>

Рузанов Даниил Олегович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8567-4578>

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Инжиниринговому центру Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) за проведение ИК и ЯМР

спектральных исследований, а также преподавателям кафедры органической химии Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) и А.А. Федоришкиной за помощь в написании рукописи.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьева Н.М., Федорова Е.В., Баранова Н.И. // Биосфера. 2013. Т. 5. №1. С. 77.
2. Kaliva M., Gabriel C., Raptopoulou A.T., Salifoglou A. // Inorg. Chim. Acta. 2008. Vol. 361. P. 2631. doi 10.1016/j.ica.2007.11.014
3. Shechter Y., Karlsh S.J., Karlsh D. // Nature. 1980. Vol. 284. P. 556. doi 10.1038/284556a0
4. Федорова Е.В., Рыбаков В.Б., Сенявин В.М., Асланов Л.А., Анисимов А.В. // Коорд. хим. 2002. Т. 28. № 7. С. 516; Fedorova E.V., Rybakov V.B., Senyavin V.M., Aslanov L.A., Anisimov A.V. // Russ. J. Coord. Chem. 2002. Vol. 28. N 7. P. 483. doi 10.1023/A:1016201311785
5. Marzban L., McNeill H. J. // J. Trace Elem. Exp. Med. 2003. Vol. 16. N 4. P. 253. doi 10.1016/j.ica.2020.120057
6. Kaliva M., Kyriakakis E., Salifoglou A. // Inorg. Chem. 2002. Vol. 41. P. 7015. doi 10.1021/ic020323r
7. Driss H., Bannani F., Thouvenot R., Debbabi M. // J. Soc. Chim. Tunisie. 2010. Vol. 12. P. 173.
8. Neves A., Romanowski S., Bortoluzzi A.J., Mangrich A.S. // Inorg. Chim. Acta. 2001. Vol. 313. P. 137. doi 10.1016/s0020-1693(00)00379-0
9. Maurya M.R., Kumar A., Bhat A., Azam A., Bader C., Rehder D. // Inorg. Chem. 2006. Vol. 45. P. 1260. doi 10.1021/ic050811
10. Tsaramyrsi M., Kaliva M., Salifoglou A., Raptopoulou C.P., Terzis A., Tangoulis V., Giapintzakis J. // Inorg. Chem. 2001. Vol. 40. P. 5772. doi 10.1021/ic010276n

## Vanadium(V) Complexes with Some Carbohydrates and Alcohols

G. V. Gorkusha\*, H. E. Litosov, and D. O. Ruzanov

St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), St. Petersburg, 190013 Russia

\*e-mail: grigorygor2014@yandex.ru

Received June 16, 2021; revised August 20, 2021; accepted August 22, 2021

The products of the reaction of a citrate binuclear vanadium(IV) complex with glucose-6-phosphate, glucose, maltose, and glycerol monophosphate were obtained. Structure of the obtained complexes was studied.

**Keywords:** vanadium, glucose-6-phosphate, vanadium complexes, carbohydrates