

DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2025.4.2>**О ФОРМИРОВАНИИ ГОМОЛОГИЧЕСКИХ СЕРИЙ (РЯДОВ) ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ ИОНОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Научная статья

**Ундалов Ю.К.<sup>1,\*</sup>**<sup>1</sup> Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (undal[at]yandex.ru)

**Аннотация**

В работе рассмотрен способ расчета гомологических серий (рядов) химических соединений трех-, четырех- и пятикомпонентных систем ионов химических элементов в обобщенном виде. При представлении систем треугольником и треугольной пирамидой, в углах которых помещены ионы химических элементов, используются геометрические особенности этих геометрических фигур, что позволило выявить в системах закономерности изменения состава химических соединений, которые оказались членами гомологических серий. Расчетами показано, что гомологические серии могут развиваться только в сторону двухкомпонентных химических соединений. Показана невозможность формирования и развития гомологических серий в сторону трехкомпонентных химических соединений из-за невыполнения в этом случае одного из основных требований существования гомологических серий – неизменность гомологической разницы для обеих ветвей гомологической серии, для ветви химических соединений и для ветви заряженных кластеров.

**Ключевые слова:** многокомпонентные системы ионов, химические соединения, обобщенный вариант расчета, направление развития гомологических серий.

**ON THE FORMATION OF HOMOLOGICAL SERIES (ROWS) OF CHEMICAL COMPOUNDS IN MULTICOMPONENT SYSTEMS OF CHEMICAL ELEMENTS IONS**

Research article

**Undalov Y.K.<sup>1,\*</sup>**<sup>1</sup> Ioffe Institute, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation

\* Corresponding author (undal[at]yandex.ru)

**Abstract**

In the work, the method of calculation of homological series (rows) of chemical compounds of three-, four- and five-component systems of ions of chemical elements in generalized form is examined. At representation of systems by a triangle and a triangular pyramid, in which corners ions of chemical elements are placed, geometrical features of these geometrical figures are used that has allowed to identify in systems regularities of change of structure of chemical compounds which appeared to be members of homological series. By calculations, it is shown that homological series can develop only in the direction of two-component chemical compounds. The impossibility of formation and development of homological series towards three-component chemical compounds is shown due to non-fulfilment in this case of one of the main requirements of existence of homological series – invariability of homological difference for both branches of homological series, for the branch of chemical compounds and for the branch of charged clusters.

**Keywords:** multicomponent ion systems, chemical compounds, generalized version of calculation, direction of homological series development.

**Введение**

В литературе известно крайне мало сведений о гомологических сериях (ГС) химических соединений (ХС). Из-за отсутствия закона формирования ГС опубликованы только экспериментально полученные формулы ГС многокомпонентных систем химических элементов (ХЭ):  $Va_m Cu_{m+n} O_{3n-1}$  [1],  $La_n Ni_n O_{3n-1}$  [2];  $La_{n+1} Ni_n O_{3n+1}$ ,  $n = 1-5$  [3];  $La_{n+1} Ni_n O_{3n-1}$ ,  $n = 7, 9, 13$  и  $30$  [4];  $La_{2n-4} Ni_2 O_{4n-5}$ ,  $n = 5-8$  [5],  $Fe^{2+}_n Fe^{3+}_{2m} O_{n+3m}$  [6],  $Sr_{n+1} Ti_n O_{3n+1}$  [7],  $M^+_4 Ti^{4+}_n O_{2(n+1)}$ , где  $M^+ \equiv Li^+, Na^+, K^+, Rb^+, Cs^+$  и  $n = 1-9$  [8]. Однако, следуя условию электронейтральности формул ХС, в приведенных в [2], [3], [4], [5] формулах ГС должны присутствовать два равновалентных иона никеля,  $Ni^{2+}$  и  $Ni^{3+}$ . Следовательно, исходя из этого, все формулы этих ГС должны относиться не к трехкомпонентным, а к четырехкомпонентным системам ионов.

Для системы (Y-Va-Cu-O), на наш взгляд, ошибочно считающейся четырехкомпонентной, опубликованы формулы ГС:  $Y_2 Va_4 Cu_{6+n} O_{14+n}$  [13] и  $Y_n Va_m Cu_{m+n} O_n$ , где ( $m = 2, 3, 5$ ;  $n = 1, 2$ ) [14]. Так, с учетом электронейтральности и диспропорционирования ионов меди  $Cu^{3+} \rightarrow Cu^{2+}$  [9], на наш взгляд, формулу  $Y_2 Va_4 Cu_{6+n} O_{14+n}$  следует представить так:  $Y_2 Va_4 Cu_{6+n} O_{14+n}$  [13]  $\equiv Y_2 Va_4 Cu^{2+}_{4+n} Cu^{3+}_2 O_{14+n}$ .

Для системы ( $Tl^{3+}-Ca^{2+}-Ba^{2+}-Cu^{2+}-O^{2-}$ ) опубликованы три формулы ГС:

$Tl_m Va_2 Ca_{n-1} Cu_n O_{2(n+1)m}$  ( $m = 1, 2$ ;  $n = 1, 2, 3$ ) [15] и  $Tl_1 Va_2 Ca_{n-1} Cu_n O_{2n+3}$  ( $n = 1, 2, 3$ ) [16] и  $Tl_2 Va_2 Ca_{n-1} Cu_n O_{2n+4}$  ( $n = 1, 2, 3$ ) [17].

Однако все выше указанные формулы ГС не опираются на какой-либо закон формирования ГС, т. к. его в те времена не существовало.

Тем не менее, в работах [18], [19], [20], [21] и работах [22], [23], [24] **впервые** были заложены основы способа расчета ГС трехкомпонентных систем ионов ХЭ. В работах [25], [26], [27], [28] идеи этого способа были распространены для четырех-, а в работах [29], [30], [31] – для пятикомпонентных ГС.

Следует обратить внимание на **полное совпадение** формулы ГС ( $M^+Ti^{4+}-O^2-$ ), полученной **расчетом** в [21], [22] и полученной в [10] на основе **эксперимента**, что однозначно доказывает достоверность впервые разработанного способа расчета ГС в работах [18], [19], [20], [23], [24], а также в [25], [26], [27], [28], [29] и [30], [31].

Формулирование Правила формирования многокомпонентных ГС на основе экспериментов (рентгеноструктурных, термодинамических и др.) практически неосуществимо, так как для этого потребуется огромное количество достоверных данных для различных систем, которые затем необходимо как-то обобщить. Поэтому предпринятая в вышеописанных работах попытка разработать Правило формирования ГС многокомпонентных ХС в обобщенном виде, на наш взгляд, может быть полезна для экспериментаторов.

Для решения задачи о расчете ГС системы ХЭ представлены их ионами, которые помещаются в углах треугольника или треугольной пирамиды. Использование геометрических особенностей этих фигур в работах [18], [19], [20], [21], [22], а также в [23], [24], [25], [26], [27] и [28], [29], [30], [31] удалось выявить закономерности химического взаимодействия компонент системы ионов ХЭ, определяемые как ГС.

В вышеописанных работах сформулировано Правило формирования ГС, основанное на протекании цепи чередующихся взаимодействий активированных атомных кластеров с ионами элементарных веществ, напоминающую «сплошь разветвленную цепную реакцию» [32, С. 226].

Цель работы: рассмотреть возможность формирования и развития ГС в сторону трехкомпонентных ХС (ТХС) в четырех- и пятикомпонентных системах ионов ХЭ.

### Обоснование способа расчета ГС

Известно, что фундаментальные свойства ХС-членов ГС изменяются закономерно за счет закономерного изменения состава и структуры кристаллической решетки гомологов [34], [35]. В одной и той же ГС гомологи отличаются друг от друга составом на определенное число повторяющихся структурных единиц – гомологическую разность, что и определяет отличие кристаллической структуры гомологов на один и тот же фрагмент:

$$\Delta = XC_{n+1} - XC_n = 3K_{n+1} - 3K_n = \mathbf{constant} \quad (1)$$

где  $3K$  – заряженные кластеры.

Формулы базовых четырехкомпонентных кластеров ( $ЧХС_{n(bas)}$ ) и базовых пятикомпонентных кластеров ( $ПХС_{n(bas)}$ ), с которых начинается расчет ГС, представляются в **обобщенном виде** так [21], [22], [23], [24], [25] и [26], [27], [28], [29], [30], [31]:

$$tbdA_cC_a + radB_cC_b + wabD_cC_d = (A_{tbd}B_{rad}D_{wab}C_{(t+r+w)abd} = ЧХС_{n(bas)=1} = \tau. 1) \quad (2)$$

$$tbdfA_cC_a + radfB_cC_b + wabfD_cC_d + vabdF_cC_f = (A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vab}C_{(t+r+w+v)abdf} = ПХС_{n(bas)=1} = \tau. 1) \quad (3)$$

где  $0 < t, r, w, v, n(bas) \geq 1$ .

Химические реакции, характеризующие формирование ГС, которые развиваются в сторону ДХС, описаны в **обобщенном виде** в работах [18], [19], [20], [23], [24], а также в [25], [26], [27], [28], [29] и [30], [31]. Однако при этом только для четырехкомпонентных [27], [28] и пятикомпонентных [30], [31] систем возникает вопрос: могут ли развиваться ГС в сторону ТХС? Рассмотрим эту проблему на примере четырехкомпонентной подсистемы ( $\tau. 5 - A^{at} - C^c$ ) на рисунках 1, 2 и пятикомпонентной подсистемы ( $\tau. 6 - \tau. 9 - C^c$ ) на рисунках 3, 4.

### Четырехкомпонентная система ( $Aa^+-Bb^+-Dd^+-Cc^-$ ) и подсистема ( $Aa^+-[BrdDwb](r+w)bd^+-Cc^-$ )

В четырехкомпонентной системе ( $A^{a+} - B^{b+} - D^{d+} - C^c$ ) серия химических взаимодействий характеризует образование базового кластера  $ЧХС_{n(bas)}$  на рисунке 1:

$$(\tau. 2 = B_{rd}D_{wbc}C_{(r+w)bd}) + A_cC_a = (\tau. 4 = A_{td}D_{wac}C_{(t+w)ad}) + B_cC_b = (\tau. 3 = A_{td}B_{rac}C_{(t+r)ab}) + D_cC_d = (A_{tbd}B_{rad}D_{wab}C_{(t+r+w)abd} = ЧХС_{n(bas)} = \tau. 1) \quad (4)$$

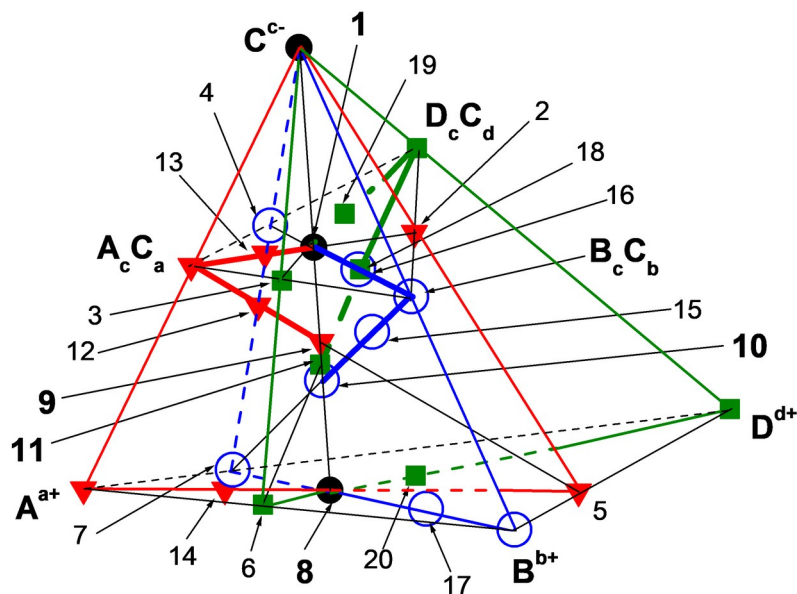


Рисунок 1 - Система ( $A^{a+} - B^{b+} - D^{d+} - C^{c-}$ )  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2025.4.2.1>

Примечание:  $m. 1 = \text{ЧХС}_{n(\text{bas})} = A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd}$ ,

$m. 2 = B_{rdc}D_{wbc}C_{(r+w)bd}$ ,

$m. 3 = A_{tbc}B_{rac}C_{(t+r)ab}$ ,

$m. 4 = A_{tdc}D_{wac}C_{(t+w)ad}$ ,

$m. 5 = [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+}$ ,

$m. 6 = [A_{tb}B_{ra}]^{(t+r)ab+}$ ,

$m. 7 = [A_{td}D_{wa}]^{(t+w)ad+}$ ,

$m. 8 = \text{TЗК}_{n(\text{bas})} = [(A_{tb}B_{ra}D_{wb})]^{(t+r+w)abd+}$ ,

$m. 9 = \text{ЧЗК}_{n(\text{bas})} = [(A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{tabd})]^{(r+w)abdc+}$ ,

$m. 10 = \text{ЧЗК}_{n(\text{bas})} = [(A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{rabd})]^{(t+w)abdc+}$ ,

$m. 11 = \text{ЧЗК}_{n(\text{bas})} = [(A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{wabd})]^{(t+r)abdc+}$ ,

$m. 12 = \text{ЧЗК}_{n(\text{bas})+1} = [(A_{(t+r+w)bdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd})]^{(r+w)abd+}$ ,

$m. 13 = \text{ЧХС}_{n(\text{bas})+1} = A_{(t+r+w)bdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+2(r+w))abd}$ ,

$m. 14 = \text{TЗК}_{n(\text{bas})+1} = [(A_{(t+r+w)bdc}B_{radc}D_{wabc})]^{(t+r)abdc+}$ ,

$m. 15 = \text{ЧЗК}_{n(\text{bas})+1} = [A_{tbdc}B_{(t+r+w)adc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd}]^{(t+w)abdc+}$ ,

$m. 16 = \text{ЧХС}_{n(\text{bas})+1} = A_{tbdc}B_{(t+r+w)adc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd}C_{(w+2(t+w))abd}$ ,

$m. 17 = \text{TЗК}_{n(\text{bas})+1} = [A_{tbdc}B_{(t+r+w)adc}D_{wabc}]^{(r+2(t+w))abd+}$ ,

$m. 18 = \text{ЧЗК}_{n(\text{bas})+1} = [A_{tbdc}B_{radc}D_{(t+r+w)abc}C_{(t+r+w)abd}]^{(t+r)abdc+}$ ,

$$m. 19 = \text{ЧХС}_{n(bas)+1} = A_{tbdc}B_{radc}D_{(t+r+w)abc}C_{(w+2(t+r)abd)},$$

$$m. 20 = \text{ТЗК}_{n(bas)+1} = [A_{tbdc}B_{radc}D_{(t+r+w)abc}]^{w+2(t+r)abdc+}$$

Взаимодействие базового кластера  $\text{ЧХС}_{n(bas)}$  с ионами  $A^{a+}$ ,  $B^{b+}$  и  $D^{d+}$  начинает формировать ГС, которые развиваются в сторону  $A_cC_a$ ,  $B_cC_b$  и  $D_cC_d$ , соответственно. В результате, как описано в работах [27], [28], в пирамиде выявляются подсистемы (т. 5 -  $A^{a+} - C^c$ ), (т. 7 -  $B^{b+} - C^c$ ) и (т. 6 -  $D^{d+} - C^c$ ), где непосредственно формируются ГС, которые развиваются в сторону  $A_cC_a$ ,  $B_cC_b$  и  $D_cC_d$ , соответственно (рис. 1). Появляющиеся кластеры  $\text{ЧЗК}_{n(bas)}$  в виде т. 9, т. 10 и т. 11 при  $t \neq r \neq w$  расположены на отрезке  $\{(т. 8 = [A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}]) - C^c\}$  в разных местах (рис. 1), что свидетельствует о различии состава  $\text{ЧЗК}_{n(bas)}$  для разных направлений развития ГС. При  $t = r = w = 1$  составы кластера  $\text{ЧЗК}_{n(bas)}$  для разных направлений развития ГС одинаковы.

Рассмотрим возможно ли формирование ГС, которая развивалась бы в подсистеме (т. 5 -  $A^{a+} - C^c$ ) в сторону трехкомпонентного ХС (ТХС) в виде (т. 2 =  $B_{rdc}D_{wbc}C_{(r+w)bd}$ ) с участием базового кластера ( $A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd} = \text{ЧХС}_{n(bas)} = т. 1$ ). Кластеры ЧХС и ЧЗК в искомой ГС должны располагаться на отрезках (т. 1 - т. 2) и (т. 21 - т. 2), соответственно, где (т. 21 =  $\text{ЧЗК}_{n(bas)}$ ) на рисунке 2.

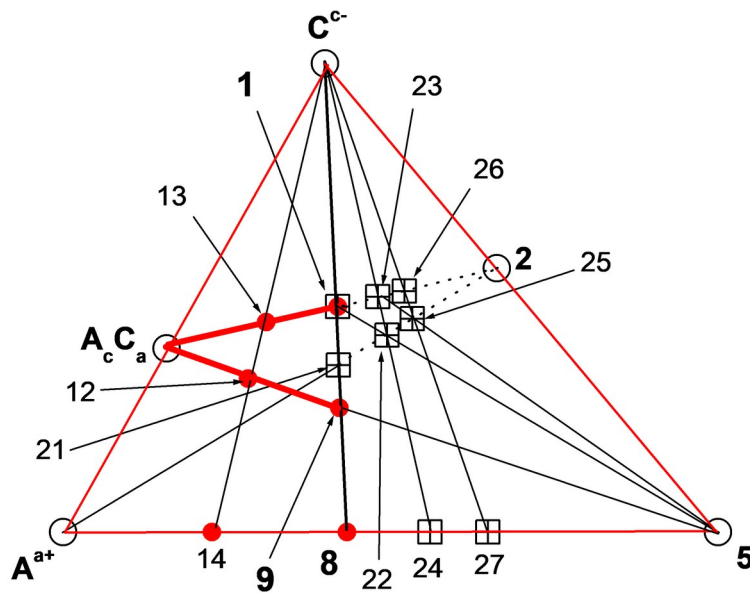


Рисунок 2 - Подсистема  $\{(т. 5 = [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+}) - A^{a+} - C^c\}$ , направление  $\{(т. 2 = B_{rdc}D_{wbc}C_{(r+w)bd})$   
 DOI: <https://doi.org/10.60797/СНЕМ.2025.4.2.2>

Примечание:  $m. 1 = \text{ЧХС}_{n(bas)} = A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd}$ ,

$$m. 2 = B_{rdc}D_{wbc}C_{(r+w)bd},$$

$$m. 5 = [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+},$$

$$m. 8 = \text{ТЗК}_{n(bas)} = [(A_{tbdc}B_{rad}D_{wabc})^{(t+r+w)abd+},$$

$$m. 9 = [(A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{tabd})^{(r+w)abdc+},$$

$$m. 12 = \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} = [(A_{(t+r+w)bdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd})^{(r+w)abdc+},$$

$$m. 13 = \text{ЧХС}_{n(bas)+1} = A_{(t+r+w)bdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+2(r+w)abd)},$$

$$m. 14 = \text{ТЗК}_{n(bas)+1} = [(A_{(t+r+w)bdc}B_{radc}D_{wabc})^{(t+r)abdc+},$$

$$m. 21 = \text{ЧЗК}_{n(bas)} = [A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(r+w)abd}]^{tabdc+},$$

$$m. 22 = \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} = [A_{t(r+w)bdc}B_{r(t+r+w)adc}D_{w(t+r+w)abc}C_{(r+w)(t+r+w)abd}]^{t(r+w)abdc^+},$$

$$m. 23 = \text{ЧХС}_{n(bas)+1} = A_{t(r+w)bdc}B_{r(t+r+w)adc}D_{w(t+r+w)abc}C_{(r+w)(2t+r+w)abd},$$

$$m. 24 = \text{ТХС}_{n(bas)+1} = [A_{t(r+w)bdc}B_{r(t+r+w)adc}D_{w(t+r+w)abc}]^{(r+w)(2t+r+w)abd^+},$$

$$m. 25 = \text{ЧЗК}_{n(bas)+2} = [A_{t(r+w)bdc}B_{r(2t+r+w)adc}D_{w(2t+r+w)abc}C_{(r+w)(2t+r+w)abd}]^{t(r+w)abdc^+},$$

$$m. 26 = \text{ЧХС}_{n(bas)+2} = A_{t(r+w)bdc}B_{r(2t+r+w)adc}D_{w(2t+r+w)abc}C_{(r+w)(3t+r+w)abd},$$

$$m. 27 = \text{ТХС}_{n(bas)+1} = [A_{t(r+w)bdc}B_{r(t+r+w)adc}D_{w(t+r+w)abc}]^{(r+w)(2t+r+w)abd^+}$$

### 3.1. Направление (т. 2 = $B_{rd}D_{wbc}C_{(r+w)bd}$ ) в подсистеме ( $A^{a+} - [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd^+} - C^{c-}$ )

Формирование искомой ГС происходило бы согласно схеме:

$$\begin{aligned} \text{ЧЗК}_{n(bas)} + C^{c-} &\rightarrow \text{ЧХС}_{n(bas)}, \text{ЧХС}_{n(bas)} + A^{a+} \left( \text{или } B^{b+}, \text{или } D^{d+} \right) \rightarrow \text{ЧЗК}_{n(bas)+1}, \\ \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} + C^{c-} &\rightarrow \text{ЧХС}_{n(bas)+1}, \text{ЧХС}_{n(bas)+1} + A^{a+} \left( \text{или } B^{b+}, \text{или } D^{d+} \right) \rightarrow \text{ЧЗК}_{n(bas)+2}, \\ \text{ЧЗК}_{n(bas)+2} + C^{c-} &\rightarrow \text{ЧХС}_{n(bas)+2} \text{ и т.д.} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} t b d c A^{a+} + a ( B_{r d c} D_{w b c} C_{(r+w) b d} = \text{т. 2} ) &= c \left( [ A_{t b d} B_{r a d} D_{w a b} ]^{(t+r+w) a b d^+} = \text{т. 8} \right) + (r+w) a b d C^{c-} = \\ &= \left( [ A_{t b d c} B_{r a d c} D_{w a b c} C_{(r+w) a b d} ]^{t a b d c^+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)} = \text{т. 21} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \left( [ A_{t b d c} B_{r a d c} D_{w a b c} C_{(r+w) a b d} ]^{t a b d c^+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)} = \text{т. 21} \right) + t a b d C^{c-} &= \{ t b d A_c C_a + a ( B_{r d c} D_{w b c} C_{(r+w) b d} = \text{т. 21} ) = \\ &= ( A_{t b d c} B_{r a d c} D_{w a b c} C_{(t+r+w) a b d} = \text{ЧХС}_{n(bas)} = \text{т. 1} ) \} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} (r+w) ( A_{t b d c} B_{r a d c} D_{w a b c} C_{(t+r+w) a b d} = \text{ЧХС}_{n(bas)} = \text{т. 1} ) + t a c \left( [ B_{r d} D_{w b} ]^{(r+w) b d^+} = \text{т. 5} \right) &= \\ = t (r+w) b d c A^{a+} + (t+r+w) a ( B_{r d c} D_{w b c} C_{(r+w) b d} = \text{т. 2} ) &= \\ = \left( [ A_{t(r+w) b d c} B_{r(t+r+w) a d c} D_{w(t+r+w) a b c} C_{(r+w)(t+r+w) a b d} ]^{t(r+w) a b d c^+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} = \text{т. 22} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \left( [ A_{t(r+w) b d c} B_{r(t+r+w) a d c} D_{w(t+r+w) a b c} C_{(r+w)(t+r+w) a b d} ]^{t(r+w) a b d c^+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} = \text{т. 22} \right) + t (r+w) a b d C^{c-} &= \\ = \{ t (r+w) b d A_c C_a + (t+r+w) a ( B_{r d c} D_{w b c} C_{(r+w) b d} = \text{т. 2} ) &= \\ = ( A_{t(r+w) b d c} B_{r(t+r+w) a d c} D_{w(t+r+w) a b c} C_{(r+w)(2t+r+w) a b d} = \text{ЧХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 23} ) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \left( [ A_{t(r+w) b d c} B_{r(t+r+w) a d c} D_{w(t+r+w) a b c} ]^{(r+w)(2t+r+w) a b d^+} = \text{ТХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 24} \right) + (r+w)(2t+r+w) C^{c-} &= \\ = ( A_{t(r+w) b d c} B_{r(t+r+w) a d c} D_{w(t+r+w) a b c} C_{(r+w)(2t+r+w) a b d} = \text{ЧХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 23} ) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} ( A_{t(r+w) b d c} B_{r(t+r+w) a d c} D_{w(t+r+w) a b c} C_{(r+w)(2t+r+w) a b d} = \text{ЧХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 23} ) + \\ + (2t+r+w) a c \left( [ B_{r d} D_{w b} ]^{(r+w) b d^+} = \text{т. 5} \right) = t (r+w) b d c A^{a+} + (2t+r+w) a ( B_{r d c} D_{w b c} C_{(r+w) b d} = \text{т. 2} ) &= \\ = \left( [ A_{t(r+w) b d c} B_{r(2t+r+w) a d c} D_{w(2t+r+w) a b c} C_{(r+w)(2t+r+w) a b d} ]^{t(r+w) a b d c^+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)+2} = \text{т. 25} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \left( [ A_{t(r+w) b d c} B_{r(2t+r+w) a d c} D_{w(2t+r+w) a b c} C_{(r+w)(2t+r+w) a b d} ]^{t(r+w) a b d c^+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)+2} = \text{т. 25} \right) + t (r+w) a b d C^{c-} &= \\ = \{ t (r+w) b d A_c C_a + (2t+r+w) a ( B_{r d c} D_{w b c} C_{(r+w) b d} = \text{т. 2} ) &= \\ = ( A_{t(r+w) b d c} B_{r(2t+r+w) a d c} D_{w(2t+r+w) a b c} C_{(r+w)(3t+r+w) a b d} = \text{ЧХС}_{n(bas)+2} = \text{т. 26} ) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \left( [ A_{t(r+w) b d c} B_{r(t+r+w) a d c} D_{w(t+r+w) a b c} ]^{(r+w)(2t+r+w) a b d^+} = \text{ТХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 27} \right) + (r+w)(3t+r+w) C^{c-} &= \\ = ( A_{t(r+w) b d c} B_{r(2t+r+w) a d c} D_{w(2t+r+w) a b c} C_{(r+w)(3t+r+w) a b d} = \text{ЧХС}_{n(bas)+2} = \text{т. 26} ) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \Delta &= (A_{t(r+w)bdc}B_r(2t+r+w)adcD_w(2t+r+w)abcC_{(r+w)(3t+r+w)abd} = \Psi XC_{n(bas)+2} = \text{т. 26}) - \\ &- (A_{t(r+w)bdc}B_r(t+r+w)adcD_w(t+r+w)abcC_{(r+w)(2t+r+w)abd} = \Psi XC_{n(bas)+1} = \text{т. 23}) = B_{tradc}D_{twabc}C_{t(r+w)abd} \neq \\ &\neq \Delta = (A_{t(r+w)bdc}B_r(t+r+w)adcD_w(t+r+w)abcC_{(r+w)(2t+r+w)abd} = \Psi XC_{n(bas)+1} = \text{т. 23}) - \\ &- (A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd} = \Psi XC_{n(bas)} = \text{т. 1}) = \\ &= (A_{t(r+w-1)bdc}B_r(t+r+w-1)adcD_w(t+r+w-1)abcC_{t(r+w)abd}) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \Delta &= \left( [A_{t(r+w)bdc}B_r(2t+r+w)adcD_w(2t+r+w)abcC_{(r+w)(2t+r+w)abd}]^{t(r+w)abdc+} = \Psi ZK_{n(bas)+2} = \text{т. 25}) - \right. \\ &- \left( [A_{t(r+w)bdc}B_r(t+r+w)adcD_w(t+r+w)abcC_{(r+w)(t+r+w)abd}]^{t(r+w)abdc+} = \Psi ZK_{n(bas)+1} = \text{т. 19}) = \right. \\ &= B_{tradc}D_{twabc}C_{t(r+w)abd} \neq \left( [A_{t(r+w)bdc}B_r(t+r+w)adcD_w(t+r+w)abcC_{(r+w)(t+r+w)abd}]^{t(r+w)abdc+} = \Psi ZK_{n(bas)+1} = \right. \\ &= \text{т. 19}) - \left( [A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(r+w)abd}]^{tabdc+} = \Psi ZK_{n(bas)} = \text{т. 21}) = \right. \\ &= (A_{t(r+w-1)bdc}B_r(t+r+w-1)adcD_w(t+r+w-1)abcC_{t(t+r+w-1)abd}) \end{aligned} \quad (15)$$

**Пятикомпонентная система (Aa+ - Bb+ - Dd+ - Ff+ - Cc-) и ее подсистема ([BrdDwb](r + w)bd+ - [AtfFva](t + v)af+ - Cc-)**

В пятикомпонентной системе (A<sup>a+</sup> - B<sup>b+</sup> - D<sup>d+</sup> - F<sup>f+</sup> - C<sup>c-</sup>) серия химических взаимодействий характеризует образование базового кластера ПХС<sub>n(bas)</sub> на рис. 3:

$$\begin{aligned} \{(\text{т. 2} = B_{rdfc}D_{wbfc}F_{vdbc}C_{(r+w+v)bd}) + A_cC_a\} &= \{(\text{т. 3} = A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd} + F_cC_f)\} = \\ &= (A_{tbdfc}B_{radfc}D_{wabfc}F_{vabdc}C_{(t+r+w+v)abdf} = \text{ПХС}_{n(bas)} = \text{т. 1}) \end{aligned} \quad (16)$$

Взаимодействие базового кластера ПХС<sub>n(bas)</sub> с ионами A<sup>a+</sup> и F<sup>f+</sup> начинает формировать ГС-1 и ГС-2, которые развиваются в сторону A<sub>c</sub>C<sub>a</sub> и F<sub>c</sub>C<sub>f</sub>, соответственно. В результате, как описано в работах [30], [31], в пирамиде выявляются подсистемы (т. 7 - A<sup>a+</sup> - C<sup>c-</sup>) и (т. 8 - F<sup>f+</sup> - C<sup>c-</sup>), где непосредственно формируются ГС-1 и ГС-2, соответственно (рис. 3). Появляющиеся кластеры ПЗК<sub>n(bas)</sub> в виде т. 11 и т. 12 при t ≠ r ≠ w ≠ v расположены на отрезке (т. 10 - C<sup>c-</sup>) в разных местах (рис. 3), что свидетельствует о различии состава ПЗК<sub>n(bas)</sub> для разных направлений развития ГС. При t = r = w = v = 1 составы кластера ПЗК<sub>n(bas)</sub> для разных направлений развития ГС одинаковы.

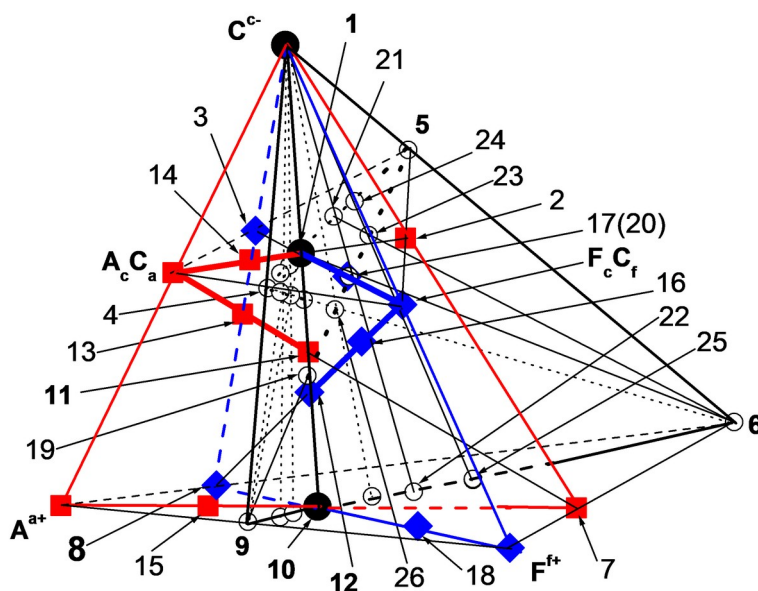


Рисунок 3 - Подсистема (A<sup>a+</sup> - F<sup>f+</sup> - [BrdDwb]<sup>(r + w)bd+</sup> - C<sup>c-</sup>) в системе (A<sup>a+</sup> - B<sup>b+</sup> - D<sup>d+</sup> - F<sup>f+</sup> - C<sup>c-</sup>)

DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2025.4.2.3>

Примечание: т. 1 = ПХС<sub>n(bas)</sub> = A<sub>tbdfc</sub>B<sub>radfc</sub>D<sub>wabfc</sub>F<sub>vabdc</sub>C<sub>(t+r+w+v)abdf</sub>

т. 2 = B<sub>rdfc</sub>D<sub>wbfc</sub>F<sub>vdbc</sub>C<sub>(r+w+v)bd</sub>

- $m. 3 = A_{tbdc}B_{radc}D_{wabc}C_{(t+r+w)abd}$ ,
- $m. 4 = A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af}$ ,
- $m. 5 = B_{rdc}D_{wbc}C_{(r+w)b}$ ,
- $m. 6 = [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+}$ ,
- $m. 7 = [B_{rd}D_{wb}F_{vbd}]^{(r+w+v)bdf+}$ ,
- $m. 8 = [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}]^{(t+r+w)abd+}$ ,
- $m. 9 = [A_{tfc}F_{va}]^{(t+v)af+}$ ,
- $m. 10 = \text{ЧЗК}_{n(bas)} = [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vabd}]^{(t+r+w+v)abdf+}$ ,
- $m. 11 = (\text{ПЗК}_{n(bas)} = [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vabd}C_{tabdf}]^{(r+w+v)abdfc+}) - \Gamma C-1$ ,
- $m. 12 = (\text{ПЗК}_{n(bas)} = [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vabd}C_{rabd}]^{(t+r+w+v)abdfc+}) - \Gamma C-2$ ,
- $m. 13 = \text{ПЗК}_{n(bas)+1} = ([A_{(t+r+w+v)bd}B_{rad}D_{wab}F_{vabd}C_{(t+r+w+v)abdf}]^{(r+w+v)abdfc+}) - \Gamma C-1$ ,
- $m. 14 = \text{ПХС}_{n(bas)+1} = (A_{(t+r+w+v)bd}B_{rad}D_{wab}F_{vabd}C_{(t+2(r+w+v)abdf)}) - \Gamma C-1$ ,
- $m. 15 = \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} = ([A_{(t+r+w+v)bd}B_{rad}D_{wab}F_{vabd}]^{(r+w+v)abdfc+}) - \Gamma C-1$ ,
- $m. 16 = \text{ПЗК}_{n(bas)+1} = [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{(t+r+w+v)abd}C_{(t+r+w+v)abdf}]^{(t+r+w)abdfc+}$ ,
- $m. 17 = \text{ПХС}_{n(bas)+1} = (A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{(t+r+w+v)abd}C_{(v+2(t+r+w)abdf)}) - \Gamma C-2$ ,
- $m. 18 = \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} = ([A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{(t+r+w+v)abd}]^{(t+r+w)abdfc+}) - \Gamma C-2$ ,
- $m. 19 = \text{ПЗК}_{n(bas)} = [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vabd}C_{(r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+}$ ,
- $m. 20 = \text{ПЗК}_{n(bas)+1} = [(A_{(r+w)bd}B_{r(t+r+w+v)ad}D_{w(t+r+w+v)ab}F_{v(r+w)abd}C_{(r+w)(t+r+w+v)abdf})]^{(t+v)(r+w)abdfc+}$ ,
- $m. 21 = \text{ПХС}_{n(bas)+1} = A_{(r+w)bd}B_{r(t+r+w+v)ad}D_{w(t+r+w+v)ab}F_{v(r+w)abd}C_{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf}$ ,
- $m. 22 = \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} = [A_{(r+w)bd}B_{r(t+r+w+v)ad}D_{w(t+r+w+v)ab}F_{v(r+w)abd}]^{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf+}$ ,
- $m. 23 = \text{ПЗК}_{n(bas)+2} = [A_{(r+w)bd}B_{r(2t+r+w+2v)ad}D_{w(2t+r+w+2v)ab}F_{v(r+w)abd}C_{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+}$ ,
- $m. 24 = \text{ПХС}_{n(bas)+2} = A_{(r+w)bd}B_{r(2t+r+w+2v)ad}D_{w(2t+r+w+2v)ab}F_{v(r+w)abd}C_{(r+w)(3t+r+w+3v)abdf}$ ,
- $m. 25 = \text{ЧЗК}_{n(bas)+2} = [A_{(r+w)bd}B_{r(2t+r+w+2v)ad}D_{w(2t+r+w+2v)ab}F_{v(r+w)abd}]^{(r+w)(3t+r+w+3v)abdf+}$ ,
- $m. 26 = \text{ПЗК} = [A_{(r+w)bd}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(r+w)abd}C_{(t+v)(r+w)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc}$

При представлении системы  $(A^{a+}-B^{b+}-D^{d+}-F^{f+}-C^{c-})$  треугольной пирамидой для получения информации о формировании вех ГС потребовалось в одном из углов основания пирамиды поместить двухкомпонентный заряженный кластер (ДЗК) [29], [30], [31]. По этой причине для определения схемы формирования всех ГС системы  $(A^{a+}-B^{b+}-D^{d+}-F^{f+}-C^{c-})$  требуется рассмотреть шесть подсистем:

$$\begin{aligned} & \left( A^{a+} - B^{b+} - [D_{wf}F_{vd}]^{(w+v)df+} - C^{c-} \right), \left( A^{a+} - D^{d+} - [B_{rf}F_{vb}]^{(r+v)bf+} - C^{c-} \right), \\ & \left( A^{a+} - F^{f+} - [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} - C^{c-} \right), \left( B^{b+} - D^{d+} - [A_{tfc}F_{va}]^{(t+v)af+} - C^{c-} \right), \\ & \left( B^{b+} - F^{f+} - [A_{td}D_{wa}]^{(t+w)ad+} - C^{c-} \right) \text{ и } \left( D^{d+} - F^{f+} - [A_{tb}B_{ra}]^{(t+r)ab+} - C^{c-} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

В каждой из этих подсистем появляются другие подсистемы, которые, кроме подсистемы  $(A^{a+}-F^{f+}-[B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+}-C^{c-})$ , в работах [30], [31] на предмет формирования в них ГС подробно не рассматривались:

$$\begin{aligned} & \left( [D_{wf}F_{vd}]^{(w+v)df+} - [A_{tb}B_{ra}]^{(t+r)ab+} - C^{c-} \right), \left( [B_{rf}F_{vb}]^{(r+v)bf+} - [A_{td}D_{wa}]^{(t+w)ad+} - C^{c-} \right), \\ & \left( [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} - [A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+} - C^{c-} \right), \left( [A_{tb}B_{ra}]^{(t+r)ab+} - [D_{wf}F_{vd}]^{(w+v)df+} - C^{c-} \right) \\ & \text{и} \left( [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} - [A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+} - C^{c-} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

Рассмотрим возможно ли формирование ГС, которые развивались бы в подсистеме  $(A^{a+} - F^{f+} - [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} - C^{c-})$  и в ее подсистеме  $\{([B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} = \text{т. 6}) - ([A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+} = \text{т. 9}) - C^{c-}\}$  в сторону ТХС в виде (т. 5 =  $B_{rd}D_{wb}C_{(r+w)bd}$ ) и (т. 4 =  $A_{tf}F_{va}C_{(r+w)af}$ ) с участием базового кластера  $(A_{td}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf} = \text{ПХС}_{n(\text{bas})} = \text{т. 1})$  на рисунках 3, 4.

Формирование ГС происходит согласно схеме:

$$\begin{aligned} & \text{ПЗК}_{n(\text{bas})} + C^{c-} \rightarrow \text{ПХС}_{n(\text{bas})}, \text{ПХС}_{n(\text{bas})} + A^{a+} \left( \text{или } B^{b+}, \text{или } D^{d+}, \text{или } F^{f+} \right) \rightarrow \text{ПЗК}_{n(\text{bas})+1}, \\ & \text{ПЗК}_{n(\text{bas})+1} + C^{c-} \rightarrow \text{ПХС}_{n(\text{bas})+1}, \text{ПХС}_{n(\text{bas})+1} + A^{a+} \left( \text{или } B^{b+}, \text{или } D^{d+}, \text{или } F^{f+} \right) \rightarrow \text{ПЗК}_{n(\text{bas})+2}, \\ & \text{ПЗК}_{n(\text{bas})+2} + C^{c-} \rightarrow \text{ПХС}_{n(\text{bas})+2} \text{ и т.д.} \end{aligned} \quad (19)$$

#### 4.1. Направление (т. 5 = $B_{rd}D_{wb}C_{(r+w)bd}$ ) в подсистеме $([B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} - [A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+} - C^{c-})$

Гомологи в искомой ГС должны находиться на отрезках (т. 1 – т. 5) и (т. 19 – т. 5), где (т. 19 =  $\text{ПЗК}_{n(\text{bas})} = [A_{td}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+}$ ), формула которой определится ниже.

Для искомой ГС, которая развивалась бы в сторону (т. 5 =  $B_{rd}D_{wb}C_{(r+w)bd}$ ), кластер  $\text{ПЗК}_{n(\text{bas})}$  должен находиться в точке пересечения отрезков (т. 9 – т. 5) и (т. 10 –  $C^{c-}$ ) на рисунке 4:

$$\begin{aligned} & \text{bdc} \left( [A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+} = \text{т. 9} \right) + \text{af} \left( B_{rd}D_{wb}C_{(r+w)bd} = \text{т. 5} \right) = \\ & = [A_{td}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+} = \text{ЧЗК}_{n(\text{bas})} = \text{т. 10} \left) + (r+w)C^{c-} = \\ & = \left( [A_{td}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+} = \text{ПЗК}_{n(\text{bas})} = \text{т. 19} \right) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & \left( [A_{td}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+} = \text{ПЗК}_{n(\text{bas})} = \text{т. 19} \right) + (t+v)abdfC^{c-} = \\ & = (A_{td}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf} = \text{ПХС}_{n(\text{bas})} = \text{т. 1}) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & (r+w) \left( A_{td}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf} = \text{ПХС}_{n(\text{bas})} = \text{т. 1} \right) + (t+v) \text{afc} \left( [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} = \text{т. 6} \right) = \\ & = (t+r+w+v) \text{af} \left( B_{rd}D_{wb}C_{(r+w)bd} = \text{т. 5} \right) + (r+w) \text{bdc} \left( [A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+} = \text{т. 9} \right) = \\ & = \left( \left( [A_{t(r+w)}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+} = \text{ПЗК}_{n(\text{bas})+1} = \text{т. 20} \right) \right) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} & \left( [A_{t(r+w)}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+} = \text{ПЗК}_{n(\text{bas})+1} = \text{т. 20} \right) + (t+v)(r+w)abdfC^{c-} = \\ & = (r+w)bd \left( A_{tf}F_{va}C_{(t+v)af} = \text{т. 4} \right) + (t+r+w+v) \text{af} \left( B_{rd}D_{wb}C_{(r+w)bd} = \text{т. 5} \right) = \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} & = (A_{t(r+w)}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf} = \text{ПХС}_{n(\text{bas})+1} = \text{т. 21}) \\ & \left( [A_{t(r+w)}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf}]^{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf+} = \text{ЧЗК}_{n(\text{bas})+1} = \text{т. 22} \right) + \\ & + (r+w)(2t+r+w+2v)abdfC^{c-} = \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} & = (A_{t(r+w)}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf} = \text{ПХС}_{n(\text{bas})+1} = \text{т. 21}) \\ & + (t+v) \text{afc} \left( [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} = \text{т. 6} \right) = \end{aligned}$$

$$= (r+w) \text{adc} \left( [A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+} = \text{т. 9} \right) + (2t+r+w+2v) \text{af} \left( B_{rd}D_{wb}C_{(r+w)bd} = \text{т. 5} \right) = \quad (25)$$

$$\begin{aligned} & = \left( [A_{t(r+w)}B_{rf}D_{wa}B_{rf}D_{wa}C_{(t+r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+} = \text{ПЗК}_{n(\text{bas})+2} = \text{т. 23} \right) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & \left( [A_{t(r+w)}bdfc B_r(2t+r+w+2v)adfc D_w(2t+r+w+2v)abfc F_v(r+w)abdc C_{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \right. \\
 & \quad = \Pi 3K_{n(bas)+2} = \text{Т. 23}) + (t+v)(r+w)abdfC^{c-} = \\
 & = (r+w)bd (A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af} = \text{Т. 4}) + (2t+r+w+2v)af (B_{rdc}D_{wbc}C_{(r+w)b} = \text{Т. 5}) = \\
 & = (A_{t(r+w)}bdfc B_r(2t+r+w+2v)adfc D_w(2t+r+w+2v)abfc F_v(r+w)abdc C_{(r+w)(3t+r+w+3v)abdf} = \\
 & \quad = \Pi X C_{n(bas)+2} = \text{Т. 24})
 \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}
 & \left\{ [A_{t(r+w)}bdfc B_r(2t+r+w+2v)adfc D_w(2t+r+w+2v)abfc F_v(r+w)abdf]^{(r+w)(3t+r+w+3v)abdf+} = \Upsilon 3K_{n(bas)+2} = \text{Т. 25}) + \right. \\
 & + (t+v)(r+w)abdfC^{c-} = (r+w)bd (A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af} = \text{Т. 4}) + (2t+r+w+2v)af (B_{rdc}D_{wbc}C_{(r+w)b} = \text{Т. 5}) = \\
 & = (A_{t(r+w)}bdfc B_r(2t+r+w+2v)adfc D_w(2t+r+w+2v)abfc F_v(r+w)abdc C_{(r+w)(3t+r+w+3v)abdf} = \\
 & \quad = \Pi X C_{n(bas)+2} = \text{Т. 24})
 \end{aligned} \tag{27}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta \neq & (A_{t(r+w)}bdfc B_r(t+r+w+v)adfc D_w(t+r+w+v)abfc F_v(r+w)abdc C_{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf} = \Pi X C_{n(bas)+1} = \text{Т. 21}) - \\
 & - (A_{t}bdfc B_{radfc} D_{wabfc} F_{vabdc} C_{(t+r+w+v)abdf} = \Pi X C_{n(bas)} = \text{Т. 1}) = \\
 & = A_{t(r+w-1)} B_r(t+r+w+v-1) adfc D_w(t+r+w+v-1) abfc F_v(r+w-1) C_{(t+v)(r+w)abc}
 \end{aligned} \tag{28}$$

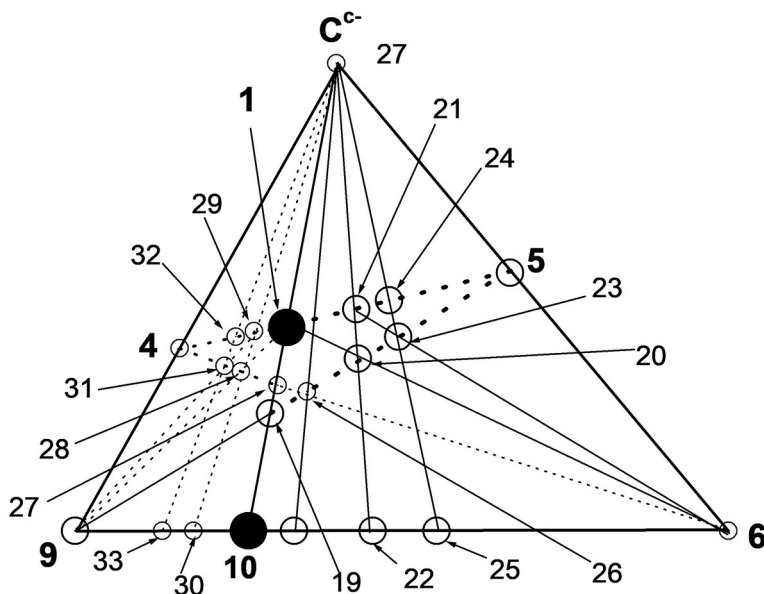


Рисунок 4 - Подсистема  $\{(\text{Т. 6} = [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+}) - (\text{Т. 9} = [A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+}) - C^{c-}\}$   
 DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2025.4.2.4>

Примечание:  $m. 1 = \Pi X C_{n(bas)} = A_{t}bdfc B_{radfc} D_{wabfc} F_{vabdc} C_{(t+r+w+v)abdf}$ ,

$m. 4 = A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af}$ ,

$m. 5 = B_{rdc}D_{wbc}C_{(r+w)b}$ ,

$m. 6 = [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+}$ ,

$m. 9 = [A_{tf}F_{va}]^{(t+v)af+}$ ,

$m. 10 = \Upsilon 3K_{n(bas)} = [A_{t}bdfc B_{radfc} D_{wabfc} F_{vabdc}]^{(t+r+w+v)abdf+}$ ,

$m. 19 = \Pi 3K_{n(bas)} = [A_{t}bdfc B_{radfc} D_{wabfc} F_{vabdc} C_{(r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+}$ ,

$m. 20 = \Pi 3K_{n(bas)+1} = [(A_{t(r+w)}bdfc B_r(t+r+w+v)adfc D_w(t+r+w+v)abfc F_v(r+w)abdc C_{(r+w)(t+r+w+v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+}$ ,

$$m. 21 = \Pi X C_{n(bas)+1} = A_{t(r+w)bd} B_{r(t+r+w+v)ad} D_{w(t+r+w+v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf},$$

$$m. 22 = \Upsilon 3 K_{n(bas)+1} = [A_{t(r+w)bd} B_{r(t+r+w+v)ad} D_{w(t+r+w+v)ab} F_{v(r+w)abd}]^{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf+},$$

$$m. 23 = \Pi 3 K_{n(bas)+2} = [A_{t(r+w)bd} B_{r(2t+r+w+2v)ad} D_{w(2t+r+w+2v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+},$$

$$m. 24 = \Pi X C_{n(bas)+2} = A_{t(r+w)bd} B_{r(2t+r+w+2v)ad} D_{w(2t+r+w+2v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(r+w)(3t+r+w+3v)abdf},$$

$$m. 25 = \Upsilon 3 K_{n(bas)+2} = [A_{t(r+w)bd} B_{r(2t+r+w+2v)ad} D_{w(2t+r+w+2v)ab} F_{v(r+w)abdf}]^{(r+w)(3t+r+w+3v)abdf+},$$

$$m. 26 = \Pi 3 K = [A_{t(r+w)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(t+v)(r+w)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+},$$

$$m. 27 = \Pi 3 K_{n(bas)} = [A_{tbd} B_{rad} D_{wab} F_{vab} C_{(t+v)abdf}]^{(r+w)abdfc+},$$

$$m. 28 = \Pi 3 K_{n(bas)+1} = [A_{t(t+r+w+v)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(t+r+w+v)abc} C_{(t+v)(t+r+w+v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+},$$

$$m. 29 = \Pi X C_{n(bas)+1} = A_{t(t+r+w+v)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(t+r+w+v)abc} C_{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf},$$

$$m. 30 = \Upsilon 3 K_{n(bas)+1} = [A_{t(t+r+w+v)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(t+r+w+v)abd}]^{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf+},$$

$$m. 31 = \Pi 3 K_{n(bas)+2} = [A_{t(t+2r+2w+v)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(t+2r+2w+v)abc} C_{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+},$$

$$m. 32 = \Pi X C_{n(bas)+2} = A_{t(t+2r+2w+v)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(t+2r+2w+v)abc} C_{(t+v)(t+3r+3w+v)abdf},$$

$$m. 33 = \Upsilon 3 K_{n(bas)+2} = [A_{t(t+2r+2w+v)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(t+2r+2w+v)abd}]^{(t+v)(t+3r+3w+v)abdf+}$$

$$\begin{aligned} \Delta \neq (A_{t(r+w)bd} B_{r(2t+r+w+2v)ad} D_{w(2t+r+w+2v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(r+w)(3t+r+w+3v)abdf} = \Pi X C_{n(bas)+2} = \\ = \text{т. 24}) - (A_{t(r+w)bd} B_{r(t+r+w+v)ad} D_{w(t+r+w+v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf} = \Pi X C_{n(bas)+1} = \text{т. 21}) = \end{aligned} \quad (29)$$

$$= af B_{r(t+v)dc} D_{w(t+v)bc} C_{(t+w)(r+w)bd}$$

$$\begin{aligned} \Delta \neq \left( (A_{t(r+w)bd} B_{r(t+r+w+v)ad} D_{w(t+r+w+v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(r+w)(t+r+w+v)abdf} \right)^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \\ = \Pi 3 K_{n(bas)+1} = \text{т. 20}) - \left( [A_{tbd} B_{rad} D_{wab} F_{vab} C_{(r+w)abdf}]^{(t+v)abdfc+} = \Pi 3 K_{n(bas)} = \text{т. 19}) = \end{aligned} \quad (30)$$

$$= \left( A_{t(r+w-1)bd} B_{r(t+r+w+v-1)ad} D_{w(t+r+w+v-1)ab} F_{v(r+w-1)abc} C_{(r+w)(t+r+w+v-1)abdf} \right)^{(t+v)(r+w-1)abdfc+}$$

$$\begin{aligned} \Delta \neq \left( [A_{t(r+w)bd} B_{r(2t+r+w+2v)ad} D_{w(2t+r+w+2v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(r+w)(2t+r+w+2v)abdf}]^{(t+v)(r+w-1)abdfc+} = \right. \\ = \Pi 3 K_{n(bas)+2} = \text{т. 23}) - \\ \left. - \left( [A_{t(r+w)bd} B_{r(t+r+w+v)ad} D_{w(t+r+w+v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(r+w)(t+r+w+v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \right. \right. \end{aligned} \quad (31)$$

$$\left. \left. = \Pi 3 K_{n(bas)+1} = \text{т. 20}) = af B_{r(t+v)dc} D_{v(t+v)bc} C_{(t+v)(r+w)bd} \right.$$

Некоторый интерес представляет кластер в виде т. 26, расположенный на пересечении отрезков  $\{(B_{rd} D_{wbc} C_{(r+w)b} = \text{т. 5}) - ([A_{tf} F_{va}]^{(t+v)af+} = \text{т. 9})\}$  и  $\{(A_{tf} F_{vac} C_{(t+v)af} = \text{т. 4}) - ([B_{rd} D_{wb}]^{(r+w)bd+} = \text{т. 6})\}$  на рис. 3:

$$\begin{aligned} (t+v)afc \left( [B_{rd} D_{wb}]^{(r+w)bd+} = \text{т. 6} \right) + (r+w)bd (A_{tf} F_{vac} C_{(t+v)af} = \text{т. 4}) = \\ = (r+w)bdc \left( [A_{tf} F_{va}]^{(t+v)af+} = \text{т. 9} \right) + (t+v)af (B_{rd} D_{wbc} C_{(r+w)b} = \text{т. 5}) = \end{aligned} \quad (32)$$

$$= \left( [A_{t(r+w)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(t+v)(r+w)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \Pi 3 K = \text{т. 26}) \right.$$

$$\begin{aligned} \left( [A_{t(r+w)bd} B_{r(t+v)ad} D_{w(t+v)ab} F_{v(r+w)abc} C_{(t+v)(r+w)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \Pi 3 K = \text{т. 26} \right) + \chi C^{c-} \neq \\ \neq (A_{tbd} B_{rad} D_{wab} F_{vab} C_{(t+r+w+v)abdf} = \Pi X C_{n(bas)} = \text{т. 1}) \end{aligned} \quad (33)$$

Как следует из (33), кластер в виде т. 26 не связан с базовым кластером  $(A_{tbd} B_{rad} D_{wab} F_{vab} C_{(t+r+w+v)abdf} = \Pi X C_{n(bas)} = \text{т. 1})$  взаимодействием с  $C^c$  и, таким образом не является для последнего базовым  $\Pi 3 K_{n(bas)}$ . Кроме этого, воображаемый (искомый) кластер  $\Pi 3 K_{n(bas)}$ , связанный с  $(\Pi X C_{n(bas)} = \text{т. 1})$  взаимодействием с  $C^c$ , должен бы находиться на отрезке (т. 9 – т. 5), который определял бы направление развития искомой ГС, или, точнее, на пересечении отрезков (т. 10 –  $C^c$ ) и (т. 9 – т. 5) на рис. 3, что согласно (32) и (33) быть не может. Забегая вперед, аналогичное можно заключить, что в подсистеме  $\{(т. 6 = [B_{rd} D_{wb}]^{(r+w)bd+}) - (т. 9 = [A_{tf} F_{va}]^{(t+v)af+}) - C^c\}$  базовый кластер  $\Pi 3 K_{n(bas)}$ , связанный с  $(\Pi X C_{n(bas)} = \text{т. 1})$  взаимодействием с  $C^c$ , должен бы находиться на отрезке (т. 4 – т. 6), который определял бы направление развития

воображаемой (искомой) ГС, или, точнее, на пересечении отрезков (т. 10 – C<sup>c</sup>) и (т. 4 – т. 6) на рис. 3, чего также быть не может.

**4.2. Направление (т. 4 = A<sub>afc</sub>F<sub>vac</sub>C<sub>(r+w)af</sub>) в подсистеме ([B<sub>rd</sub>D<sub>wb</sub>]<sup>(r+w)bd+</sup> - [A<sub>af</sub>F<sub>va</sub>]<sup>(t+v)af+</sup> - C<sup>c</sup>)**

Гомологи в искомой ГС должны находиться на отрезках (т. 1 – т. 4) и (т. 27 – т. 4), где (т. 27 = ПЗК<sub>n(bas)</sub> = [A<sub>tbd</sub> B<sub>rad</sub> D<sub>wab</sub> F<sub>vab</sub> C<sub>(t+v)abdf</sub>]<sup>(r+w)abdfc+</sup>), формула которого определится ниже.

Для искомой ГС, которая развивалась бы в сторону (т. 4 = A<sub>afc</sub>F<sub>vac</sub>C<sub>(t+v)af</sub>), кластер ПЗК<sub>n(bas)</sub> должен находиться в точке пересечения отрезков (т. 6 – т. 4) и (т. 10 – C<sup>c</sup>):

$$\begin{aligned} & \text{afc} \left( [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} = \text{т. 6} \right) + \text{bd} \left( A_{afc}F_{vac}C_{(t+v)af} = \text{т. 4} \right) = \\ & = [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vab}]^{(t+r+w+v)abdf+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)} = \text{т. 10} \Big) + (t+v)C^{c-} = \\ & = \left( [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vab}C_{(t+v)abdf}]^{(r+w)abdfc+} = \text{ПЗК}_{n(bas)} = \text{т. 27} \right) \end{aligned} \quad (34)$$

В случае, когда (t = r = w = v = 1), кластер ПЗК<sub>n(bas)</sub> для обоих направлений развития ГС (т. 4 = A<sub>afc</sub>F<sub>vac</sub>C<sub>(t+v)af</sub>) и (т. 5 = B<sub>rd</sub>D<sub>wbc</sub>C<sub>(r+w)bd</sub>) был бы одним и тем же и он находился бы в точке пересечения отрезков (т. 9 – т. 5), (т. 6 – т. 4) и (т. 10 – C<sup>c</sup>), т.е. в т. 26, где согласно (32) кластер (т. 26 = [A<sub>tbd</sub> B<sub>rad</sub> D<sub>wab</sub> F<sub>vab</sub> C<sub>(t+v)abdf</sub>]<sup>(t+v)abdf+</sup> = [A<sub>tbd</sub> B<sub>rad</sub> D<sub>wab</sub> F<sub>vab</sub> C<sub>(t+v)abdf</sub>]<sup>(r+w)abdf+</sup> = [A<sub>tbd</sub> B<sub>rad</sub> D<sub>wab</sub> F<sub>vab</sub> C<sub>(t+v)abdf</sub>]<sup>2abdf+</sup>) на рис. 4.

$$\begin{aligned} & (t+v) \left( A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vab}C_{(t+r+w+v)abdf} = \text{ПХС}_{n(bas)} = \text{т. 1} \right) + (r+w) \text{bdc} \left( [A_{tfc}F_{va}]^{(t+v)af+} = \text{т. 9} \right) = \\ & = (t+v) \text{af} \left( [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} = \text{т. 6} \right) + (t+r+w+v) \text{bdc} \left( A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af} = \text{т. 4} \right) = \\ & = \left( [A_{t(t+r+w+v)bdf}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+r+w+v)abdc}C_{(t+v)(t+r+w+v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \right. \\ & \quad \left. = \text{ПЗК}_{n(bas)+1} = \text{т. 28} \right) \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} & \left( [A_{t(t+r+w+v)bdf}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+r+w+v)abdc}C_{(t+v)(t+r+w+v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \right. \\ & \quad \left. = \text{ПЗК}_{n(bas)+1} = \text{т. 28} \right) + (t+v)(r+w) \text{abdf}C^{c-} = \\ & = (t+r+w+v) \text{bd} \left( A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af} = \text{т. 4} \right) + (t+v) \text{af} \left( B_{rd}D_{wbc}C_{(r+w)b} = \text{т. 5} \right) = \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} & = (A_{t(t+r+w+v)bdc}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+r+w+v)abdc}C_{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf} = \text{ПХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 29}) \\ & \left( [A_{t(t+r+w+v)bdf}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+r+w+v)abdc}]^{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)+1} = \text{т. 30} \right) + \\ & \quad + (r+w)(t+2r+2w+v) \text{abdf}C^{c-} = \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} & = (A_{t(t+r+w+v)bdf}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+r+w+v)abdc}C_{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf} = \text{ПХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 29}) \\ & (A_{t(t+r+w+v)bdf}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+r+w+v)abdc}C_{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf} = \text{ПХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 29}) + \\ & \quad + (r+w) \text{bdc} \left( [A_{tfc}F_{va}]^{(t+v)af+} = \text{т. 9} \right) = \\ & = (t+2r+2w+v) \text{bd} \left( A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af} = \text{т. 4} \right) + (t+v) \text{afc} \left( [B_{rd}D_{wb}]^{(r+w)bd+} = \text{т. 6} \right) = \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} & = \left( [A_{t(t+2r+2w+v)bdf}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+2r+2w+v)abdc}C_{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \right. \\ & \quad \left. = \text{ПЗК}_{n(bas)+2} = \text{т. 31} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left( [A_{t(t+2r+2w+v)bdf}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+2r+2w+v)abdc}C_{(t+v)(t+2r+2w+v)abdf}]^{(t+v)(r+w)abdfc+} = \right. \\ & \quad \left. = \text{ПЗК}_{n(bas)+2} = \text{т. 31} \right) + (t+v)(r+w) \text{abdf}C^{c-} = \\ & = (t+2r+2w+v) \text{bd} \left( A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af} = \text{т. 4} \right) + (t+v) \text{af} \left( B_{rd}D_{wbc}C_{(r+w)b} = \text{т. 5} \right) = \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} & = (A_{t(t+2r+2w+v)bdc}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+2r+2w+v)abdc}C_{(t+v)(t+3r+3w+v)abdf} = \text{ПХС}_{n(bas)+2} = \text{т. 32}) \\ & \left\{ [A_{t(t+2r+2w+v)bdf}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+2r+2w+v)abdc}]^{(t+v)(t+3r+3w+v)abdf+} = \text{ЧЗК}_{n(bas)+2} = \text{т. 33} \right\} + \\ & \quad + (t+v)(t+3r+3w+v) \text{abdf}C^{c-} = \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} & = (t+2r+2w+v) \text{bd} \left( A_{tfc}F_{vac}C_{(t+v)af} = \text{т. 4} \right) + (t+v) \text{af} \left( B_{rd}D_{wbc}C_{(r+w)b} = \text{т. 5} \right) = \\ & = (A_{t(t+2r+2w+v)bdc}B_{r(t+v)ad}D_{w(t+v)ab}F_{v(t+2r+2w+v)abdc}C_{(t+v)(t+3r+3w+v)abdf} = \text{ПХС}_{n(bas)+2} = \text{т. 32}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left( [A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vab}C_{(t+v)abdf}]^{(r+w)abdfc+} = \text{ПЗК}_{n(bas)} = \text{т. 27} \right) + (r+w) \text{abdf}C^{c-} = \\ & = (A_{tbd}B_{rad}D_{wab}F_{vab}C_{(t+r+w+v)abdf} = \text{ПХС}_{n(bas)} = \text{т. 1}) \end{aligned} \quad (41)$$

$$\Delta \neq (A_{t(t+r+w+v)} bdc B_{r(t+v)} adfc D_{w(t+v)} abfc F_{v(t+r+w+v)} abdc C_{(t+v)(t+2r+2w+v)} abdf = \text{ПХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 29}) - \\ - (A_{t bdc} B_{radfc} D_{wabfc} F_{vabfc} C_{(t+r+w+v)} abdf = \text{ПХС}_{n(bas)} = \text{т. 1}) = \\ = A_{t(t+r+w+v-1)} B_{r(t+v-1)} adfc D_{w(t+v-1)} abc F_{v(t+r+w+v-1)} C_{(t+v)(r+w)} abdf \quad (42)$$

$$\Delta \neq (A_{t(t+2r+2w+v)} bdc B_{r(t+v)} adfc D_{w(t+v)} abfc F_{v(t+2r+2w+v)} abdc C_{(t+v)(t+3r+3w+v)} (abdf = \text{ПХС}_{n(bas)+2} = \text{т. 32}) - \\ - (A_{t(t+r+w+v)} bdc B_{r(t+v)} adfc D_{w(t+v)} abfc F_{v(t+r+w+v)} abdc C_{(t+v)(t+2r+2w+v)} abdf = \text{ПХС}_{n(bas)+1} = \text{т. 29}) = \\ = bdA_{t(r+w)} fc F_{v(r+w)} ac C_{(t+v)(r+w)} afc \quad (43)$$

$$\Delta \neq \left( [A_{t(t+r+w+v)} bdc B_{r(t+v)} adfc D_{w(t+v)} abfc F_{v(t+r+w+v)} abdc C_{(t+v)(t+r+w+v)} abdf]^{(t+v)(r+w) abdfc+} = \right. \\ = \text{ПЗК}_{n(bas)+1} = \text{т. 28}) - \left( [A_{t bdc} B_{radfc} D_{wabfc} F_{vabdc} C_{(t+v)} abdf]^{(r+w) abdfc+} = \text{ПЗК}_{n(bas)} = \text{т. 27}) = \quad (44)$$

$$= \left( [A_{t(t+r+w+v-1)} bdc B_{r(t+v-1)} adfc D_{w(t+v-1)} abfc F_{v(t+r+w+v-1)} abdc C_{(t+v)(t+r+w+v-1)} abdf]^{(t+v)(t+v-1) abdfc+} \right. \\ \Delta \neq \left( [A_{t(t+2r+2w+v)} bdc B_{v(t+v)} adfc D_{w(t+v)} abfc F_{v(t+2r+2w+v)} abdc C_{(t+v)(t+2r+2w+v)} abdf]^{(t+v)(r+w) abdfc+} = \right. \\ = \text{ПЗК}_{n(bas)+2} = \text{т. 31}) - \\ - \left( [A_{t(t+r+w+v)} bdc B_{r(t+v)} adfc D_{w(t+v)} abfc F_{v(t+r+w+v)} abdc C_{(t+v)(t+r+w+v)} abdf]^{(t+v)(r+w) abdfc+} = \right. \\ = \text{ПЗК}_{n(bas)+1} = \text{т. 28}) = bdA_{t(r+w)} fc F_{v(r+w)} ac C_{(t+v)(r+w)} af \quad (45)$$

### Заключение

Ранее в работах [18], [19], [20], [21], [22], а также в [23], [24], [25], [26], [27] и [28], [29], [30], [31] для многокомпонентных систем ионов ХЭ разработан способ расчета формул ГС. Причем, ГС во всех случаях развивались в сторону **только ДХС**. Однако, в случае четырех- и пятикомпонентных систем вопрос развития ГС в сторону ТХС оставался открытым. Расчеты, проведенные для систем ( $A^{a+}$ -  $B^{b+}$ -  $D^{d+}$ -  $C^{c-}$ ) и ( $A^{a+}$ -  $B^{b+}$ -  $D^{d+}$ -  $F^{f+}$ -  $C^{c-}$ ) в данной работе показали, что в соответствии с уравнениями (14), (15), (28)-(31) и (42)-(45) одно из основных условий существования ГС (условие (1) – неизменность величины  $\Delta$ , не выполняется. Из этого следует, что в системах ( $A^{a+}$ -  $B^{b+}$ -  $D^{d+}$ -  $C^{c-}$ ) и ( $A^{a+}$ -  $B^{b+}$ -  $D^{d+}$ -  $F^{f+}$ -  $C^{c-}$ ) не могут формироваться ГС, которые развиваются в сторону ТХС. Расчет, приведенный ранее в вышеописанных работах и в настоящей работе, показал, что **ГС могут развиваться только в сторону ДХС, а в сторону ТХС – нет**. Данный вывод важен еще и потому, что в литературе встречаются полученные на основе экспериментов формулы, приписываемые к ГС и противоречащие выводу настоящей работы.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Klinkova L.A. On the existence of a homologous series of  $BamCum + nOy$  oxides with the cubic structure of the  $BaCuO_2$  oxide / L.A. Klinkova, V.I. Nikolaichik, N.V. Barkovskii [et al.] // *Physica C: Superconductivity*. — 2010. — Vol. 470. — Iss. 22. — P. 2067–2071. DOI: 10.1016/j.physc.2010.09.013.
2. Gay P.L. Vacancy ordering in anion deficient  $LaNiO_3$  / P.L. Gay, C.N.R. Rao // *Z. Naturforsch. A*. — 1975. — Vol. B30. — Iss.18. — P. 1092–1093.
3. Li Z. Epitaxial growth and electronic structure of Rudlesden-Popper nickelates ( $Lan + 1Ni_nO_{3n+1}$ ),  $n = 1-5$  / Z. Li, W. Guo, N.N. Zhang [et al.] // *APL Mater*. — 2020. — Vol. 8. — P. 091112. DOI: 10.1063/5.0018934.
4. Drennan J. An electron microscope investigation of phases in the system  $Ln-Ni-O$  / J. Drennan, C.P. Tavares, B.C.H. Steele // *Mater. Res. Bull.* — 1982. — Vol. 17. — Iss. 5. — P. 621. DOI: 10.1016/0025-5408(82)90044-7.
5. Савченко В.Ф. Синтез и электрические свойства двойного оксида лантана и никеля / В.Ф. Савченко, И.Я. Любкина // *Неорганические материалы*. — 1986. — Т. 22. — № 9. — С. 1483–1486.
6. Bykova T. Structural complexity of simple  $Fe_2O_3$  at high pressures and temperatures / T. Bykova, L. Dubrovinsky, N. Dubrovinskaya [et al.] // *Nature Communication*. — 2016. — Vol. 7. — P. 10661. DOI: 10.1038/neomms10661.
7. Ruddesden S.N. The compound  $Sr_3Ti_2O_7$  and its structure / S.N. Ruddesden, P. Popper // *Acta Crystallogr.* — 1958. — Vol. 11. — Iss. 1. — P. 54–55. DOI: 10.1107/S0365110X58000128.
8. Du M.-H. Zero-dimensional metal oxide  $Li_4TiO_4$  / M.-H. Du // *J. Materials Chemistry C*. — 2019. — Vol. 7. — № 19. — P. 5710–5715. DOI: 10.1039/C9TC00197B.
9. Raveau B. Oxygen nonstoichiometry and superconductivity in mixed valence copper oxides / B. Raveau, C. Michel, M. Hervien // *Solid State Ionics*. — 1989. — Vol. 32/33. — P. 1035–1042.

10. Babenko V.V. The effect of oxygen content on the charges of the ions in yttrium – barium cuprates / V.V. Babenko, V.G. Butiko, I.M. Reznik // *Superconductivity: Physics, Chemistry, Engineering*. — 1989. — Vol. 2. — Iss. 3. — P. 14–18.
11. Oyamagi H. Valence study of orthorhombic and tetragonal Ba<sub>2</sub>YCu<sub>3</sub>O<sub>y</sub>: the role of oxygen vacancies in high – T<sub>c</sub> superconductivity / H. Oyamagi, H. Ihara, T. Matsubara [et al.] // *Jpn. J. Appl. Phys.* — 1987. — Vol. 26. — Iss. 9. — P. L1561.
12. Kishio K. Determination of oxygen stoichiometry in a high – T<sub>c</sub> superconductor Ba<sub>2</sub>YCu<sub>3</sub>O<sub>7 – δ</sub> / K. Kishio, J. Shimoyoma, T. Hasegawa [et al.] // *Jpn. Appl. Phys.* — 1987. — Vol. 26. — Iss. 7. — P. L1228–L1230.
13. Senaris – Rodrigues M.A. A novel “126” phase of the family of Y<sub>2</sub>Ba<sub>4</sub>Cu<sub>6</sub> + nO<sub>14</sub> + n high – temperature superconducting materials / M.A. Senaris – Rodrigues, A.M. Chippindale, A. Vares [et al.] // *Physica C*. — 1991. — Vol. 172. — Iss. 5. — P. 477–480. DOI: 10.1016/0921-4534(91)90216-L.
14. Клинкова Л.А. О существовании гомологического ряда оксидов Y<sub>n</sub>Ba<sub>m</sub>Cu<sub>m</sub> + n O<sub>y</sub> (m = 2, 3, 5; n = 1, 2) с тетрагональной и ромбической структурой YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>6</sub> + δ / Л.А. Клинкова, В.И. Николайчик, Н.В. Барковский [и др.] // *Журнал неорганической химии*. — 2012. — Т. 57(9). — С. 1278–1291.
15. Parkin S.S.P. Model family of high-temperature superconductors: Tl<sub>m</sub>Ba<sub>2</sub>Can - 1Cu<sub>n</sub>O<sub>2</sub>(n + 1)<sub>m</sub> (m = 1, 2; n = 1, 2, 3) / S.S.P. Parkin, V.Y. Lee, A.I. Nazzari [et al.] // *Phys. Rev. B*. — 1988. — Vol. 38. — Iss. 10. — P. 6531–6537.
16. Parkin S.S.P. Tl<sub>1</sub>Ba<sub>2</sub>Can - 1Cu<sub>n</sub>O<sub>2</sub>n + 3 (n = 1, 2, 3): a new class of crystal structures exhibiting volume superconductivity at up to ≈ 110 K / S.S.P. Parkin, V.Y. Lee, A.I. Nazzari [et al.] // *Phys. Rev. Lett.* — 1988. — Vol. 61. — Iss. 10. — P. 750. DOI: 10.1103/PhysRevLett.61.750.
17. Gopinath C.S. Comparative photoemission studies of Tl<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>Can - 1Cu<sub>n</sub>O<sub>2</sub>n + 4 (n = 1, 2, 3) / C.S. Gopinath, S. Subramanian, M. Paranthaman [et al.] // *Phys. Rev. B*. — 1993. — Vol. 48. — Iss. 21. — P. 15999–16005. DOI: 10.1103/PhysRevB.48.15999.
18. Ундалов Ю.К. Прогнозирование формул многокомпонентных химических соединений: трехкомпонентные системы, формирование гомологических серий соединений / Ю.К. Ундалов // *Журнал неорганической химии*. — 1998. — Т. 43. — № 9. — С. 1561–1564.
19. Ундалов Ю.К. Прогнозирование формул многокомпонентных химических соединений: трехкомпонентные системы, расчет формул гомологических серий / Ю.К. Ундалов // *Журнал неорганической химии*. — 1999. — Т. 44. — № 8. — С. 1389–1392.
20. Ундалов Ю.К. Прогнозирование формул многокомпонентных химических соединений: трехкомпонентные системы, сравнение расчета с экспериментом / Ю.К. Ундалов // *Журнал неорганической химии*. — 1999. — Т. 44. — № 9. — С. 1557–1560.
21. Ундалов Ю.К. Гомологические серии химических соединений: трех компонентные системы (Li<sup>+</sup> – Ti<sup>4+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>), (Na<sup>+</sup> – Ti<sup>4+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>), (K<sup>+</sup> – V<sup>5+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>), (Ba<sup>2+</sup> – Cu<sup>2+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) и четырех компонентная система {Li<sup>+</sup> – Fe<sup>2+</sup> – (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub><sup>-</sup>} / Ю.К. Ундалов, Е.И. Теруков, А.В. Бобыль [и др.] // *Известия СПбГТИ(ТУ)*. — 2021. — № 59(84). — С. 26–36. DOI: 10.36807/1998-9849-2021-59-85-26-36.
22. Undalov Yu.K. Calculation of formulas of homologous series of chemical compounds (in generalized form): three-component systems (Aa<sup>+</sup> – Bb<sup>+</sup> – Cc<sup>-</sup>) and (Na<sup>+</sup> – Ti<sup>4+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>), (Li<sup>+</sup> – Ti<sup>4+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>), (K<sup>+</sup> – V<sup>5+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>), (Ba<sup>2+</sup> – Cu<sup>2+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) / Yu.K. Undalov // *Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA. Vaterials of International University Scientific Forum*. — 2023. — P. 73–92. DOI: 10.34660/INF.2023.39.95.228.
23. Ундалов Ю.К. Гомологические серии химических соединений в трехкомпонентных системах (Aa<sup>+</sup> – Bb<sup>+</sup> – Cc<sup>-</sup>) и (Zn<sup>2+</sup> – Ge<sup>4+</sup> – P<sub>3</sub><sup>-</sup>) в обобщенном виде / Ю.К. Ундалов // *CIFRA. Химия*. — 2024. DOI: 10.18454/CHEM.2024.1.1.
24. Undalov Yu.K. Homologous Series of Chemical Compounds in Three-component Systems (Aa<sup>+</sup> – Bb<sup>+</sup> – Cc<sup>-</sup>) and (Zn<sup>2+</sup> – Ge<sup>4+</sup> – P<sub>3</sub><sup>-</sup>) in Generalized Form / Yu.K. Undalov // *IgMin Res*. — 2023. — № 1(1). — P. 060–069. DOI: 10.61927/igmin117.
25. Ундалов Ю.К. Гомологические серии химических соединений системы (Li<sup>+</sup> – Fe<sup>2+</sup> – P<sub>5</sub><sup>+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) / Ю.К. Ундалов, Е.И. Теруков, А.В. Бобыль // *Известия СПбГТИ (ТУ)*. — 2017. — № 39(65). — С. 32–38.
26. Ундалов Ю.К. Гомологические серии химических соединений системы (Li<sup>+</sup> – Ni<sup>3+</sup> – Mn<sup>3+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) / Ю.К. Ундалов, Е.И. Теруков, Д.В. Агафонов [и др.] // *Известия СПбГТИ(ТУ)*. — 2022. — № 60(86). — С.11–17. DOI: 10.36807/1998-9849-2022-60-86-11-17.
27. Undalov Yu.K. Calculation of formulas of homologous series of chemical compounds (in generalized form): four-component systems (Aa<sup>+</sup> – Bb<sup>+</sup> – Dd<sup>+</sup> – Cc<sup>-</sup>) and (La<sup>3+</sup> – Ni<sup>2+</sup> – Ni<sup>3+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) / Yu.K.Undalov // *Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA. Vaterials of International University Scientific Forum*. — 2023. — P. 93–109. DOI: 10.34660/inf.2023.32.28.229.
28. Ундалов Ю.К. Гомологические серии химических соединений в четырехкомпонентных системах (Aa<sup>+</sup> – Bb<sup>+</sup> – Dd<sup>+</sup> – Cc<sup>-</sup>) и (La<sup>3+</sup> – Ni<sup>2+</sup> – Ni<sup>3+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) в обобщенном виде / Ю.К. Ундалов // *CIFRA. Химия*. — 2024. DOI: 10.18454/CHEM.2024.1.2.
29. Ундалов Ю.К. Гомологические серии химических соединений в системе (Y<sup>3+</sup> – Ba<sup>2+</sup> – Cu<sup>2+</sup> – Cu<sup>3+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) / Ю.К. Ундалов, Е.И. Теруков, А.В. Бобыль // *Известия СПбГТИ(ТУ)*. — 2019. — № 49(75). — С. 9–17.
30. Undalov Yu.K. Calculation of formulas of homologous series of chemical compounds (in generalized form): five-component systems (Aa<sup>+</sup> – Ff<sup>+</sup> – [BrdDwb](r + w)bd<sup>+</sup> – Cc<sup>-</sup>) and (Li<sup>+</sup> – Fe<sup>4+</sup> – [Sr<sub>3</sub>La<sub>2</sub>]<sub>12</sub><sup>+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) / Yu.K. Undalov // *Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA. Materials of International University Scientific Forum*. — 2023. — P. 110–125. DOI: 10.34660/inf.2023.53.27.230.
31. Ундалов Ю.К. Гомологические серии химических соединений в системах (Aa<sup>+</sup> – Ff<sup>+</sup> – [BrdDwb](r + w)bd<sup>+</sup> – Cc<sup>-</sup>) и (Bi<sup>3+</sup> – Cu<sup>2+</sup> – [SrCa]<sub>4</sub><sup>+</sup> – O<sub>2</sub><sup>-</sup>) в обобщенном виде / Ю.К. Ундалов // *CIFRA. Химия*. — 2024. — № 1(3). — С. 1–14. DOI: 10.18454/CHEM.2024.1.3.

32. Еремин Е.Н. Основы химической кинетики / Е.Н. Еремин. — М. : Высшая школа, 1976. — 374 p.
33. West R. Solid State Chemistry and its application / R. West. — New York : J. Wiley and Sons. — 1985. — 742 p.
34. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия / В.С. Урусов. — М. : МГУ, 1987. — 275 с.
35. Ковба Л.М. Стехиометрия, дефекты в кристаллах и структурная гомология / Л.М. Ковба. — М. : МГУ, 1988. — 32 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Klinkova L.A. On the existence of a homologous series of  $Ba_mCu_nO_x$  oxides with the cubic structure of the  $BaCuO_2$  oxide / L.A. Klinkova, V.I. Nikolaichik, N.V. Barkovskii [et al.] // *Physica C: Superconductivity*. — 2010. — Vol. 470. — Iss. 22. — P. 2067–2071. DOI: 10.1016/j.physc.2010.09.013.
2. Gay P.L. Vacancy ordering in anion deficient  $LaNiO_3$  / P.L. Gay, C.N.R. Rao // *Z. Naturforsch. A*. — 1975. — Vol. B30. — Iss.18. — P. 1092–1093.
3. Li Z. Epitaxial growth and electronic structure of Ruddlesden-Popper nickelates ( $La_{n+1}Ni_nO_{3n+1}$ ),  $n = 1-5$  / Z. Li, W. Guo, N.N. Zhang [et al.] // *APL Mater*. — 2020. — Vol. 8. — P. 091112. DOI: 10.1063/5.0018934.
4. Drennan J. An electron microscope investigation of phases in the system  $Ln-Ni-O$  / J. Drennan, C.P. Tavares, B.C.H. Steele // *Mater. Res. Bull.* — 1982. — Vol. 17. — Iss. 5. — P. 621. DOI: 10.1016/0025-5408(82)90044-7.
5. Savchenko V.F. Sintez i jelektricheskie svojstva dvojnogo oksida lantana i nikelja [Synthesis and electrical properties of lanthanum and nickel double oxide] / V.F. Savchenko, I.Ya. Lyubkina // *Neorganicheskie materialy [Inorganic Materials]*. — 1986. — Vol. 22. — № 9. — P. 1483–1486. [in Russian]
6. Bykova T. Structural complexity of simple  $Fe_2O_3$  at high pressures and temperatures / T. Bykova, L. Dubrovinsky, N. Dubrovinskaia [et al.] // *Nature Communication*. — 2016. — Vol. 7. — P. 10661. DOI: 10.1038/neomms10661.
7. Ruddesden S.N. The compound  $Sr_3Ti_2O_7$  and its structure / S.N. Ruddesden, P. Popper // *Acta Crystallogr.* — 1958. — Vol. 11. — Iss. 1. — P. 54–55. DOI: 10.1107/S0365110X58000128.
8. Du M.-H. Zero-dimensional metal oxide  $Li_4TiO_4$  / M.-H. Du // *J. Materials Chemistry C*. — 2019. — Vol. 7. — № 19. — P. 5710–5715. DOI: 10.1039/C9TC00197B.
9. Raveau B. Oxygen nonstoichiometry and superconductivity in mixed valence copper oxides / B. Raveau, C. Michel, M. Hervien // *Solid State Ionics*. — 1989. — Vol. 32/33. — P. 1035–1042.
10. Babenko V.V. The effect of oxygen content on the charges of the ions in yttrium – barium cuprates / V.V. Babenko, V.G. Butiko, I.M. Reznik // *Superconductivity: Physics, Chemistry, Engineering*. — 1989. — Vol. 2. — Iss. 3. — P. 14–18.
11. Oyamagi H. Valence study of orthorhombic and tetragonal  $Ba_2YCu_3O_y$ : the role of oxygen vacancies in high – Tc superconductivity / H. Oyamagi, H. Ihara, T. Matsubara [et al.] // *Jpn. J. Appl. Phys.* — 1987. — Vol. 26. — Iss. 9. — P. L1561.
12. Kishio K. Determination of oxygen stoichiometry in a high – Tc superconductor  $Ba_2YCu_3O_{7-\delta}$  / K. Kishio, J. Shimoyama, T. Hasegawa [et al.] // *Jpn. Appl. Phys.* — 1987. — Vol. 26. — Iss. 7. — P. L1228–L1230.
13. Senaris – Rodrigues M.A. A novel “126” phase of the family of  $Y_2Ba_4Cu_6 + nO_{14} + n$  high – temperature superconducting materials / M.A. Senaris – Rodrigues, A.M. Chippindale, A. Vares [et al.] // *Physica C*. — 1991. — Vol. 172. — Iss. 5. — P. 477–480. DOI: 10.1016/0921-4534(91)90216-L.
14. Klinkova L.A. O sushhestvovanii gomologicheskogo rjada oksidov  $Y_nBa_mCu_nO_x$  ( $m = 2, 3, 5; n = 1, 2$ ) s tetragonal'noj i rombicheskoj strukturoj  $YBa_2Cu_3O_6 + \delta$  [On the existence of a homologous series of oxides  $Y_nBa_mCu_nO_x$  ( $m = 2, 3, 5; n = 1, 2$ ) with a tetragonal and orthorhombic structure  $YBa_2Cu_3O_6 + \delta$ ] / L.A. Klinkova, V.I. Nikolaychik, N.V. Barkovsky [et al.] // *Zhurnal neorganicheskoj himii [Journal of Inorganic Chemistry]*. — 2012. — Vol. 57(9). — P. 1278–1291. [in Russian]
15. Parkin S.S.P. Model family of high-temperature superconductors:  $Tl_mBa_2Can - 1CunO_2(n + 1)m$  ( $m = 1, 2; n = 1, 2, 3$ ) / S.S.P. Parkin, V.Y. Lee, A.I. Nazzal [et al.] // *Phys. Rev. B*. — 1988. — Vol. 38. — Iss. 10. — P. 6531–6537.
16. Parkin S.S.P.  $Tl_1Ba_2Can - 1CunO_{2n + 3}$  ( $n = 1, 2, 3$ ): a new class of crystal structures exhibiting volume superconductivity at up to  $\approx 110$  K / S.S.P. Parkin, V.Y. Lee, A.I. Nazzal [et al.] // *Phys. Rev. Lett.* — 1988. — Vol. 61. — Iss. 10. — P. 750. DOI: 10.1103/PhysRevLett.61.750.
17. Gopinath C.S. Comparative photoemission studies of  $Tl_2Ba_2Can - 1CunO_{2n + 4}$  ( $n = 1, 2, 3$ ) / C.S. Gopinath, S. Subramanian, M. Paranthaman [et al.] // *Phys. Rev. B*. — 1993. — Vol. 48. — Iss. 21. — P. 15999–16005. DOI: 10.1103/PhysRevB.48.15999.
18. Undalov Yu.K. Prognozirovanie formul mnogokomponentnyh himicheskikh soedinenij: trehkomponentnye sistemy, formirovanie gomologicheskikh serij soedinenij [Forecasting formulas of multicomponent chemical compounds: three-component systems, formation of homologous series of compounds] / Yu.K. Undalov // *Zhurnal neorganicheskoj himii [Journal of Inorganic Chemistry]*. — 1998. — Vol. 43. — № 9. — P. 1561–1564. [in Russian]
19. Undalov Yu.K. Prognozirovanie formul mnogokomponentnyh himicheskikh soedinenij: trehkomponentnye sistemy, raschet formul gomologicheskikh serij [Forecasting formulas of multicomponent chemical compounds: three-component systems, calculation of formulas of homologous series] / Yu.K. Undalov // *Zhurnal neorganicheskoj himii [Journal of Inorganic Chemistry]*. — 1999. — Vol. 44. — № 8. — P. 1389–1392. [in Russian]
20. Undalov Yu.K. Prognozirovanie formul mnogokomponentnyh himicheskikh soedinenij: trehkomponentnye sistemy, sravnenie rascheta s jeksperimentom [Forecasting formulas of multicomponent chemical compounds: three-component systems, comparison of calculation with experiment] / Yu.K. Undalov // *Zhurnal neorganicheskoj himii [Journal of Inorganic Chemistry]*. — 1999. — Vol. 44. — № 9. — P. 1557–1560. [in Russian]
21. Undalov Yu.K. Gomologicheskie serii himicheskikh soedinenij: treh komponentnye sistemy ( $Li^+ - Ti^{4+} - O_2^-$ ), ( $Na^+ - Ti^{4+} - O_2^-$ ), ( $K^+ - V^{5+} - O_2^-$ ), ( $Ba^{2+} - Cu^{2+} - O_2^-$ ) i chetyreh komponentnaja sistema  $\{Li^+ - Fe^{2+} - (PO_4)_3\}$  [Homologous series of chemical compounds: three-component systems ( $Li^+ - Ti^{4+} - O_2^-$ ), ( $Na^+ - Ti^{4+} - O_2^-$ ), ( $K^+ - V^{5+} - O_2^-$ ), ( $Ba^{2+} -$

$\text{Cu}^{2+} - \text{O}_2^-$ ) and a four-component system  $\{\text{Li}^+ - \text{Fe}^{2+} - (\text{PO}_4)_3^-\}$  / Yu.K. Undalov, E.I. Terukov, A.V. Bobyl [et al.] // *Izvestija SPbGTI(TU)* [Proceedings of SPbGTI(TU)]. — 2021. — № 59(84). — P. 26–36. DOI: 10.36807/1998-9849-2021-59-85-26-36. [in Russian]

22. Undalov Yu.K. Calculation of formulas of homologous series of chemical compounds (in generalized form): three-component systems ( $\text{Aa}^+ - \text{Bb}^+ - \text{Cc}^-$ ) and ( $\text{Na}^+ - \text{Ti}^{4+} - \text{O}_2^-$ ), ( $\text{Li}^+ - \text{Ti}^{4+} - \text{O}_2^-$ ), ( $\text{K}^+ - \text{V}^{5+} - \text{O}_2^-$ ), ( $\text{Ba}^{2+} - \text{Cu}^{2+} - \text{O}_2^-$ ) / Yu.K. Undalov // *Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA*. Vaterials of International University Scientific Forum. — 2023. — P. 73–92. DOI: 10.34660/INF.2023.39.95.228.

23. Undalov Yu.K. Gomologicheskie serii himicheskikh soedinenij v trehkomponentnyh sistemah ( $\text{Aa}^+ - \text{Bb}^+ - \text{Cc}^-$ ) i ( $\text{Zn}^{2+} - \text{Ge}^{4+} - \text{P}_3^-$ ) v obobshhennom vide [Homological series of results of compounds in ternary components ( $\text{Aa}^+ - \text{Bb}^+ - \text{Cc}^-$ ) and ( $\text{Zn}^{2+} - \text{Ge}^{4+} - \text{P}_3^-$ ) in a generalized form] / Yu.K. Undalov // *CIFRA. Himija* [FIGURE. Chemistry]. — 2024. DOI: 10.18454/CHEM.2024.1.1. [in Russian]

24. Undalov Yu.K. Homologous Series of Chemical Compounds in Three-component Systems ( $\text{Aa}^+ - \text{Bb}^+ - \text{Cc}^-$ ) and ( $\text{Zn}^{2+} - \text{Ge}^{4+} - \text{P}_3^-$ ) in Generalized Form / Yu.K. Undalov // *IgMin Res.* — 2023. — № 1(1). — P. 060–069. DOI: 10.61927/igmin117.

25. Undalov Yu.K. Gomologicheskie serii himicheskikh soedinenij sistemy ( $\text{Li}^+ - \text{Fe}^{2+} - \text{P}_5^+ - \text{O}_2^-$ ) [Homological series of chemical compounds of the system ( $\text{Li}^+ - \text{Fe}^{2+} - \text{P}_5^+ - \text{O}_2^-$ )] / Yu.K. Undalov, E.I. Terukov, A.V. Bobyl // *Izvestija SPbGTI (TU)* [News of St. Petersburg State Technical University (TU)]. — 2017. — № 39(65). — P. 32–38. [in Russian]

26. Undalov Yu.K. Gomologicheskie serii himicheskikh soedinenij sistemy ( $\text{Li}^+ - \text{Ni}^{3+} - \text{Mn}^{3+} - \text{O}_2^-$ ) [Homological series of chemical compounds of the system ( $\text{Li}^+ - \text{Ni}^{3+} - \text{Mn}^{3+} - \text{O}_2^-$ )] / Yu.K. Undalov, E.I. Terukov, D.V. Agafonov [et al.] // *Izvestija SPbGTI (TU)* [News of St. Petersburg State Technical University (TU)]. — 2022. — № 60(86). — P.11–17. DOI: 10.36807/1998-9849-2022-60-86-11-17. [in Russian]

27. Undalov Yu.K. Calculation of formulas of homologous series of chemical compounds (in generalized form): four-component systems ( $\text{Aa}^+ - \text{Bb}^+ - \text{Dd}^+ - \text{Cc}^-$ ) and ( $\text{La}^{3+} - \text{Ni}^{2+} - \text{Ni}^{3+} - \text{O}_2^-$ ) / Yu.K.Undalov // *Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA*. Vaterials of International University Scientific Forum. — 2023. — P. 93–109. DOI: 10.34660/inf.2023.32.28.229.

28. Undalov Yu.K. Gomologicheskie serii himicheskikh soedinenij v chetyrehkomponentnyh sistemah ( $\text{Aa}^+ - \text{Bb}^+ - \text{Dd}^+ - \text{Cc}^-$ ) i ( $\text{La}^{3+} - \text{Ni}^{2+} - \text{Ni}^{3+} - \text{O}_2^-$ ) v obobshhennom vide [Homological series of chemical compounds in four-component systems ( $\text{Aa}^+ - \text{Bb}^+ - \text{Dd}^+ - \text{Cc}^-$ ) and ( $\text{La}^{3+} - \text{Ni}^{2+} - \text{Ni}^{3+} - \text{O}_2^-$ ) in a generalized form] / Yu.K. Undalov // *CIFRA. Himija* [CIFRA. Chemistry]. — 2024. DOI: 10.18454/CHEM.2024.1.2. [in Russian]

29. Undalov Yu.K. Gomologicheskie serii himicheskikh soedinenij v sisteme ( $\text{Y}^{3+} - \text{Ba}^{2+} - \text{Cu}^{2+} - \text{Cu}^{3+} - \text{O}_2^-$ ) [Homological series of chemical compounds in the system ( $\text{Y}^{3+} - \text{Ba}^{2+} - \text{Cu}^{2+} - \text{Cu}^{3+} - \text{O}_2^-$ )] / Yu.K. Undalov, E.I. Terukov, A.V. Bobyl // *Izvestija SPbGTI(TU)* [News of St. Petersburg State Technical University (TU)]. — 2019. — № 49(75). — P. 9–17. [in Russian]

30. Undalov Yu.K. Calculation of formulas of homologous series of chemical compounds (in generalized form): five-component systems ( $\text{Aa}^+ - \text{Ff}^+ - [\text{BrdDwb}](r + w)\text{bd}^+ - \text{Cc}^-$ ) and ( $\text{Li}^+ - \text{Fe}^{4+} - [\text{Sr}_3\text{La}_2]^{12+} - \text{O}_2^-$ ) / Yu.K. Undalov // *Practice Oriented Science: UAE – RUSSIA – INDIA*. Materials of International University Scientific Forum. — 2023. — P. 110–125. DOI: 10.34660/inf.2023.53.27.230.

31. Undalov Yu.K. Gomologicheskie serii himicheskikh soedinenij v sistemah ( $\text{Aa}^+ - \text{Ff}^+ - [\text{BrdDwb}](r + w)\text{bd}^+ - \text{Ss}^-$ ) i ( $\text{Bi}^{3+} - \text{Cu}^{2+} - [\text{SrCa}]_4^+ - \text{O}_2^-$ ) v obobshhennom vide [Homologous series of chemical compounds in the systems ( $\text{Aa}^+ - \text{Ff}^+ - [\text{BrdDwb}](r + w)\text{bd}^+ - \text{Cc}^-$ ) and ( $\text{Bi}^{3+} - \text{Cu}^{2+} - [\text{SrCa}]_4^+ - \text{O}_2^-$ ) in a generalized form] / Yu.K. Undalov // *CIFRA. Himija* [CIFRA. Chemistry]. — 2024. — № 1(3). — P. 1–14. DOI: 10.18454/CHEM.2024.1.3. [in Russian]

32. Eremin E.N. Osnovy himicheskoy kinetiki [Fundamentals of chemical kinetics] / E.N. Eremin. — M. : Higher school, 1976. — 374 p. [in Russian]

33. West R. Solid State Chemistry and its application / R. West. — New York : J. Wiley and Sons. — 1985. — 742 p.

34. Urusov V.S. Teoreticheskaja kristallohimija [Theoretical crystal chemistry] / V.S. Urusov. — M. : MSU, 1987. — 275 p. [in Russian]

35. Kovba L.M. Stehiometrija, defekty v kristallah i strukturnaja gomologija [Stoichiometry, defects in crystals and structural homology] / L.M. Kovba. — M.: MSU, 1988. — 32 p. [in Russian]