

ISSN 2072-0831

---

---

**В мире  
научных  
открытий**

**№ 8(68), 2015**

Научный журнал

---

---

Электронная версия  
журнала размещена  
на сайте  
[www.nkras.ru/vmno/](http://www.nkras.ru/vmno/)

Журнал включен  
в Перечень ВАК  
ведущих рецензируемых  
научных журналов

Журнал основан в 2008 г.  
ISSN 2072-0831  
Импакт-фактор  
РИНЦ 2014 = 0,381

Главный редактор – А.С. Пуликов

Шеф-редактор – Я.А. Максимов

Ответственный секретарь редакции – К.А. Коробцева

Технический редактор, администратор сайта – Ю.В. Бяков

Компьютерная верстка – Р.В. Орлов, Л.И. Иосипенко

---

---

**In the World  
of Scientific  
Discoverie**

**No. 8(68), 2015**

Scientific Journal

---

---

The electronic  
version takes place  
on a site  
[www.nkras.ru/vmno/](http://www.nkras.ru/vmno/)

The journal is in the list of leading  
peer-reviewed scientific journals  
and editions, approved by Higher  
Attestation Commission

Founded 2008  
ISSN 2072-0831  
RSCI IF (2014) = 0,381

Editor-in-Chief – A.S. Pulikov

Chief Editor – Ya.A. Maksimov

Executive Secretary – K.A. Korobtseva

Support Contact – Yu.V. Byakov

Imposers – R.V. Orlov, L.I. Iosipenko

Красноярск, 2015

Научно-Инновационный Центр

----

Krasnoyarsk, 2015

Publishing House Science and Innovation Center

12+

## Издательство «Научно-инновационный центр»

ISSN 2072-0831

*Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР)*

**ПИ № ФС 77-39604 от 26 апреля 2010 г.**

**В мире научных открытий.** Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. № 8(68). 308 с.

*Периодичность – 12 выпусков в год по сериям.*

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ РАН:  
<http://catalog.viniti.ru/>

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал «В мире научных открытий» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны, в Научной Электронной Библиотеке (НЭБ) – головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного цитирования (ИФ РИНЦ).

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Правила для авторов доступны на сайте журнала: <http://www.nkras.ru/vmno/guidelines.html>

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:

660127, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192

E-mail: [open@nkras.ru](mailto:open@nkras.ru)

<http://www.nkras.ru/vmno/>

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 94089

Учредитель и издатель: Издательство ООО «Научно-инновационный центр»

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2015

DOI: 10.12731/WSD -2015-8-10

УДК 542.913

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИНТЕЗА ГИДРОКСИАПАТИТА С ЭДТА

*Леонова Л.А., Бурачевская (Пасынкова) А.В., Павлюк У.В.*

*Для теоретического обоснования процесса синтеза гидроксиапатита с использованием комплексообразователя этилендиаминтетраацетата натрия (ЭДТА) применяются термодинамические методы, которые позволяют определить направление реакции в рассматриваемой системе при заданных условиях. В данной работе впервые методом приближенного расчета определены числовые значения энтропии и энтальпии образования сложного органического соединения – ЭДТА, с целью установления термодинамических параметров реакции синтеза гидроксиапатита (энергии Гиббса и константы равновесия реакции). В расчете параметров ЭДТА был использован метод инкрементов составляющих связей с учетом стехиометрических коэффициентов, а так же эмпирический метод введения поправок на замещение водорода соответствующими группами. В конечном итоге установлено, что реакция образования гидроксиапатита с использованием ЭДТА протекает необратимо в диапазоне температур 298–353 К.*

**Ключевые слова:** гидроксиапатит; ЭДТА; термодинамика; энтальпия; энтропия.

## THERMODYNAMIC ANALYSIS SYNTHESIS HYDROXYAPATITE WITH EDTA

*Leonova L.A., Burachevskaya (Pasynkova) A.V., Pavlyuk U.V.*

*For a theoretical substantiation of the synthesis of hydroxyapatite with a complexing agent, sodium ethylenediaminetetraacetate (EDTA) used*

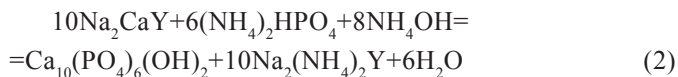
*thermodynamic methods, which allow you to determine the direction of the reaction in the system under specified conditions. In this work for the first time by an approximate calculation determined numerical values of entropy and enthalpy of formation of complex organic compounds - EDTA in order to establish the thermodynamic parameters of the reaction of synthesis of hydroxyapatite (Gibbs energy and the equilibrium constant of the reaction). Method increments constituting relations with the stoichiometric ratio was used in the calculation of the parameters of EDTA, as well as an empirical method of introducing amendments to the replacement of hydrogen by the respective groups. Finally it found that the reaction of formation of hydroxyapatite with the use of EDTA takes place irreversibly in the temperature range 298–353 K.*

**Keywords:** *hydroxyapatite; EDTA; thermodynamics; enthalpy; entropy.*

В настоящее время в медицинской практике делается упор на применение биоматериалов. При создании биосовместимых материалов используют порошки фосфатов кальция, в частности гидроксиапатита (ГА) различного стехиометрического и гранулометрического состава, с разной морфологией [1]. Гидроксиапатит получают в ходе твёрдофазного синтеза, гидротермальными или растворными методами. На стадии реального внедрения этих методов в производственную практику, остро стоит задача выбора того или иного метода синтеза и идентификации биоактивных форм ГА [1–5].

Для формирования гидроксиапатита с заданными свойствами, осуществляется синтез ГА в режиме гомогенного осаждения с применением комплексообразователя – ЭДТА. Известно, что натриевая соль ЭДТА образует прочный комплекс с кальцием и взаимодействует с ионами  $\text{Ca}^{2+}$  стехиометрически в соотношении 1:1 (1), в результате чего осаждение по реакции 2 осуществляется более дозировано, гомогенно:

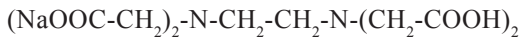




Целью работы являлось изучение термодинамики синтеза гидроксиапатита с использованием метода гомогенного осаждения [6].

Термодинамические параметры реакции определяются свойствами веществ, участвующих в реакции. Расчет термодинамических характеристик в стандартном состоянии: энергии Гиббса и константы равновесия реакции синтеза ГА с ЭДТА – может быть проведен по известной методике [7–9]. Основной проблемой при проведении термодинамического анализа реакции синтеза ГА является отсутствие в справочной литературе термодинамических характеристик гидроортофосфата аммония, гидроксиапатита и ЭДТА. Поэтому предварительно был проведен приближенный расчет [9] энтропии гидроортофосфата аммония, энтальпии и энтропии гидроксиапатита для стандартных условий по методикам сравнительного расчета, приведенным в [7–11]. При этом использовались наиболее распространенные приближенные закономерности, найденные сопоставлением некоторых опытных данных [12]. При отсутствии опытных данных, применяются эмпирические закономерности для приближенного расчета, в частности, термодинамических характеристик органического соединения ЭДТА.

Для расчета энтальпии ЭДТА необходимо записать соединение в развернутом виде:



Энтальпию соединения ЭДТА можно найти как сумму инкрементов составляющих связей с учетом стехиометрических коэффициентов по методу Кокса [7, 13–14]. Для расчета используются справочные данные, приведенные в таблице 1.

$\Delta\text{H}^\circ_{298} = 2 \cdot (-\text{CH}_2\text{-N}) + 6 \cdot (-\text{CH}_2\text{-}) + 4 \cdot (-\text{C=O}) + 4 \cdot (-\text{OH}) = 710,39 \text{ кДж/моль}$ .

Метод Кокса применяется для расчета органических соединений, содержащих галогены, кислород, азот или серу, связанных со значениями термов энергий связей  $C - C$ ,  $C = C$  и  $C - H$ . Термы определялись по теплотам образования отдельных соединений. Однако в соединениях, содержащих другие элементы, в особенности кислород, возможные различия в состоянии связи между двумя данными атомами не могут быть отражены учетом различия энергий связи только для первичных, вторичных и третичных атомов углерода. В частности, существенную роль играет полярность связей и взаимное влияние атомов распространяется на более отдаленные атомы. Поэтому погрешность  $\Delta H_{298}^{\circ}$ , получаемых с помощью таких данных, весьма значительна, в особенности при наличии в молекуле сильно полярных связей, таких как кислород. Таким образом, можно сделать вывод, что данный метод расчета термодинамических величин в данном случае не подходит.

Таблица 1.

**Термы энергии связи и инкременты теплоты образования соединений по Коксу**

Ион	$-CH_2-$	$-CH_2-N=$	$-C=O$	$-OH^*$
Энтальпия $\Delta H_{298}^{\circ}$ , кДж/моль	-13,42	34,53	-64,83	-109,06

\* Для связи  $-ONa$  принимаем значение энтальпии, равное значению энтальпии для связи  $-OH$ .

Андерсен, Байер и Ватсон [7, 11, 15–18] описали эмпирический метод расчета  $\Delta H_{298}^{\circ}$ ,  $\Delta S_{298}^{\circ}$ ,  $\Delta G_{298}^{\circ}$  как функций температуры для различных органических соединений по соответствующим групповым инкрементам. Метод отличается детализированной разработкой системы инкрементов и позволяет достаточно точно рассчитать термодинамические параметры органического соединения. Проверка этого метода показала, что результаты расчетов:  $\Delta H_{298}^{\circ}$  отличаются от лучших экспериментальных данных не более чем на 17 кДж/моль и  $\Delta S_{298}^{\circ}$  – не более чем на 9 Дж/моль·К. В расчете каждое соединение принимают

состоящим из основной группы, которая видоизменяется замещением составляющих ее атомов на другие группы [11]. Поправки зависят от числа замен и положения заменяемой группы. Для определения соответствующих поправок необходимо знать так называемые типовые числа этого атома углерода (Таблица 2), у которого проводится замена (атом типа А) и соседнего с ним атома (атом типа В). Типовые числа атомов углерода определяют по числу имеющихся у атома углерода атомов водорода:

Таблица 2.

Типовые числа атомов углерода

Радикал	$-\text{CH}_3$	$=\text{CH}_2$	$-\text{CH}-$ 	$-\overset{\text{I}}{\text{C}}-$	$=\overset{\text{I}}{\text{C}}-$
Тип	1	2	3	4	5

В качестве основного вещества примем метан, для которого  $\Delta H^\circ_{298} = -17,89$  ккал/моль =  $-74,78$  кДж/моль и  $\Delta S^\circ_{298} = 44,5$  кал/моль·К =  $186,45$  Дж/моль·К [11, с. 243].

Поправки на вторичные замещения вводятся с учетом типовых чисел углеродных атомов. Определяем искомые термодинамические свойства ЭДТА методом введения поправок на замещение водорода группами  $-\text{CH}_3$  и другими. Просуммировав все поправки, получаем величины искомым термодинамических величин ЭДТА.

В соответствии с рекомендацией к использованию методом, последовательно строим самую длинную углеродную цепь рассматриваемой молекулы и поочередно вводим поправки на первичное, вторичное замещения водорода и т.д. После чего начинаем вводить боковые цепи в порядке их длины (рис. 1).

Таким образом, последовательно производя замещения водорода соответствующими группами, определяем искомые термодинамические свойства суммированием термодинамических свойств основной группы и всех поправок:

$$\Delta H^\circ_{298} = -393,64 \text{ ккал/моль} = -1653,29 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta S^\circ_{298} = 197,67 \text{ кал/моль}\cdot\text{град} = 830,21 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}.$$

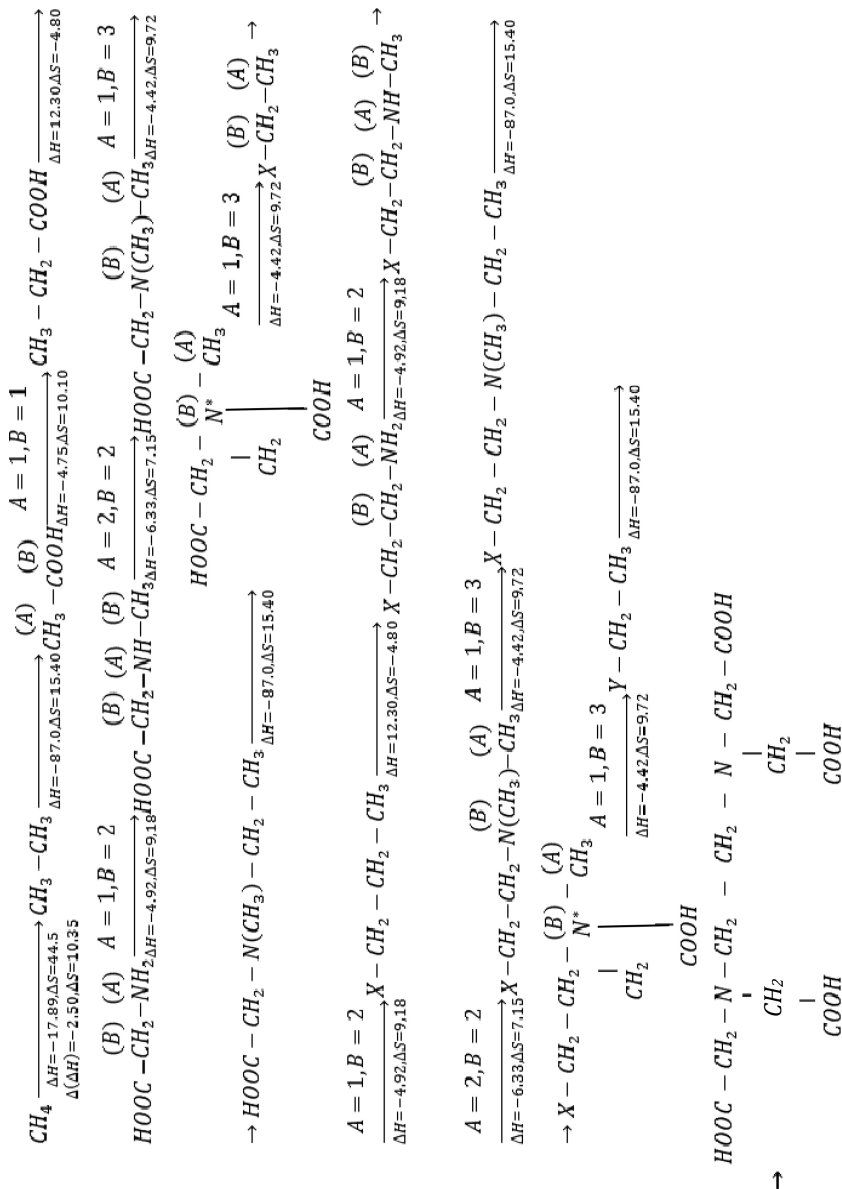


Рис. 1



### Термодинамический расчет реакции синтеза гидроксиапатита

В результате произведенных выше расчетов определили термодинамические параметры веществ, участвующих в суммарной реакции синтеза гидроксиапатита (3). Термодинамические характеристики исходных веществ и продуктов реакции, необходимые для расчета по известным выражениям [7–8], представлены в таблице 3.

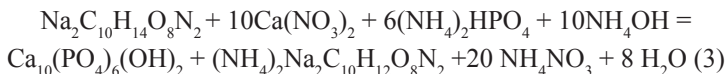


Таблица 3.

Термодинамические параметры исходных веществ и продуктов реакции получения гидроксиапатита в стандартном состоянии [19–20]

Вещество	Энтальпия - $\Delta H_{298}^\circ$ кДж/моль	Энтропия $\Delta S_{298}^\circ$ , Дж/ моль·К	Энергия Гиббса - $\Delta G_{298}^\circ$ кДж/моль
$\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2$	1653,29*	830,21*	-
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	938	193,3	743,5
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1566	189**	-
$\text{NH}_4\text{OH}$	361	166	254
$(\text{NH}_4)_2\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_8\text{N}_2$	1653,29*	830,21*	-
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	366	151	184
$\text{H}_2\text{O}$	286	70	237
$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	13360**	853,5**	-

\* – расчетные данные,

\*\* – расчетные данные [9].

$$\Delta H_{298}^\circ = n_i \sum_{298} H_{298}^\circ \text{ продуктов реакции} - n_i \sum_{298} H_{298}^\circ \text{ исх. веществ} = (1 \cdot (-13360) + \\ + 1 \cdot (-1653,29) + 20 \cdot (-366) + 8 \cdot (-286)) - (1 \cdot (-1653,29) + 10 \cdot (-938) + 6 \cdot (-1566) + \\ + 10 \cdot (-361)) = -582 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta S_{298}^\circ = n_i \sum_{298} S_{298}^\circ \text{ продуктов реакции} - n_i \sum_{298} S_{298}^\circ \text{ исх. веществ} = (1 \cdot 853,5 + 1 \cdot 830,21 + 20 \cdot 151 + \\ + 8 \cdot 70) - (1 \cdot 830,21 + 10 \cdot 193,3 + 6 \cdot 189 + 10 \cdot 166) = -293,5 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К} = \\ = -0,29 \text{ кДж/моль} \cdot \text{К},$$

$$\Delta G_{298}^{\circ} = \Delta H_{298}^{\circ} - T\Delta S_{298}^{\circ} = -582 - (298 \cdot (-0,29)) = -494,54 \text{ кДж/моль},$$

$$\lg K_{p,T} = -\frac{\Delta G_{298}^{\circ}}{2,3 R T} = -\frac{-494,54}{2,3 \cdot 8,314 \cdot 298} 1000 = 86,8,$$

$$K_{p298} = 10^{86,8}.$$

Таблица 4.

**Результаты термодинамического расчета реакции синтеза  
гидроксиапатита с ЭДТА**

Температура, К	Энтальпия $-\Delta H_{298}^{\circ}$ , кДж/моль	Энтропия $-\Delta S_{298}^{\circ}$ , Дж/моль К	Энергия Гиббса, $-\Delta G_{298}^{\circ}$ , кДж/моль	$\lg K_p$	$K_p$
298	582	293,5	494,5	86,8	$10^{86,8}$
313				82,6	$10^{82,6}$
333				77,7	$10^{77,7}$
353				73,3	$10^{73,3}$

По результатам термодинамического расчета, представленного в таблице 4, можно сделать следующие выводы: реакция синтеза ГА с ЭДТА характеризуется большим отрицательным значением энтальпии ( $-\Delta H_{298}^{\circ}$ ) и высокими значениями констант равновесия в интервале температур 25–80 °С, что свидетельствует о том, что равновесие реакции самопроизвольно необратимо смещено в сторону образования гидроксиапатита.

Приведенная методика термодинамического анализа, апробированная на примере гидроксиапатита, может быть использована для расчёта сложных комплексных соединений, в том числе и неорганических полимеризованных систем.

**Список литературы**

1. Фомин А.С., Баринов С.М., Иевлев В.М., Фадеева И.В., Комлев В.С., Белоногов Е.К., Тураева Т.Л. Наноразмерный гидроксиапатит, синтезированный осаждением в растворе желатина // Доклады академии наук. 2006. Т. 411. № 3. С. 348–351.

2. Третьяков Ю.Д., Путияев В.И. Введение в химию твердофазных материалов: учебное пособие. М.: Издательство МГУ, издательство Наука, 2006. 342 с.
3. Кубарев О.Л. Формирование микроструктуры и свойств керамики на основе гидроксипатита и трикальцийфосфата: Автореф. дис. на соискание учёной степени канд. тех. наук. М., 2007. 25 с.
4. Сафронова Т.В., Шехирев М.А., Путияев В.И., Третьяков Ю.Д. Керамические материалы на основе гидроксипатита, полученные из растворов различной концентрации // Неорганические материалы. 2007. Т. 43. № 8. С. 1005-1014.
5. Цубер В.К., Лесникович Л.А., Кулак А.И., Трофимова И.В., Петров П.Т., Трухачева Т.В., Коваленко Ю.Д., Красильникова В.Л. Синтез, идентификация и определение примесей в биоактивном гидроксипатите // Химико-фармацевтический журнал. 2006. Т.40. № 8. С. 48-51.
6. Гузеева Т.И., Гузеев В.В., Леонова Л.А., Лелюк О.А., Крикуненко А.С., Шагохина Ю.В. Получение порошка гидроксипатита в ходе жидкофазного синтеза // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315. № 3. Химия. С. 47–50.
7. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. М.: Химия, 1970. 519 с.
8. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. М.: Химия, 1975. 584 с.
9. Леонова Л.А. Термодинамика образования гидроксипатита // В мире научных открытий. 2010. № 4 (10). Часть 6. С. 18–21.
10. Омарова Р.А., Еркасов Р.Ш., Таутова Е.Н. Теоретический расчет энтальпий образования производных ацетамида // Вестник КазНУ. Сер. Химическая. 2006. №3, 43. С. 65–68.
11. Казанская А.С., Скобло В.А. Расчеты химических равновесий. Сборник примеров и задач: учебное пособие для вузов / Под редакцией Г.М. Панченкова. М.: Высшая школа, 1974. 288 с.
12. Egan E.P., Wakefield Z.E., Elmore K.L. Low-temperature Heat Capacity and Entropy of hydroxyapatite // Amer.Chem. Soc., 1951, № 73, pp. 5579–5580.
13. Cox J.D. Tetrahedron, 1962, vol. 18, p.1337.
14. Cox J.D. Tetrahedron, 1963, vol. 19, p.175.

15. Andersen J.M., Beyer G.H., Watson K.M. // *Natrl. Petrol. News*, 1944, vol. 36, p.476.
16. Hougen A., Watson K.M. // *Chemical Processes Principles*. vol. 1–3, New York, 1947–1948.
17. Рид Р, Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. М.: Гостоптехиздат, 1964.
18. Janz G.J. *Thermodynamic Properties of Organic Compounds*, New York, 1967.
19. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Неорганическая химия в реакциях. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2007. 637 с.
20. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. Мн.: Современная школа, 2005. 608 с.

### *References*

1. Fomin A.S, Barinov S.M, Ievlev V.M., Fadeev I.V. Komlev VS, Belonogov EK, T. Turaev. *Nanorazmernyy gidroksiapatit, sintezirovanny osazhdeniem v rastvore zhelatina* [Nanosized hydroxyapatite synthesized by precipitation of the gelatin solution]. *Doklady akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2006, vol. 411, no. 3, pp. 348–351.
2. Tret'yakov Yu.D., Putlyayev V.I. *Vvedenie v khimiyu tverdogaznykh materialov: uchebnoe posobie* [Introduction to solid-phase chemistry of materials]. Moscow: MGU Publ., Nauka Publ., 2006. 342 p.
3. Kubarev O.L. *Formirovanie mikrostruktury i svoystv keramiki na osnove gidroksiapatita i trikal'tsiyfosfata: Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [The formation of the microstructure and properties of ceramics based on hydroxyapatite and tricalcium phosphate], Moscow, 2007. 25 p.
4. Safronova T.V., Shekhirev M.A., Putlyayev V.I., Tret'yakov Yu.D. *Keramicheskie materialy na osnove gidroksiapatita, poluchennye iz rastvorov razlichnoy kontsentratsii* [Ceramic materials based on hydroxyapatite obtained from solutions of different concentrations]. *Neorganicheskie materialy* [Inorganic materials], 2007, vol. 43, no. 8, pp. 1005-1014.

5. Cuber V.K., Lesnikovich L.A., Kulak A.I., Trofimova I.V., Pet-rov P.T., Truhacheva T.V., Kovalenko J.D., Krasil'nikova V.L. *Sintez, identifikacija i opredelenie primesej v bioaktivnom gidroksiapatite* [Synthesis, identification and impurities in bioactive hydroxyapatite]. *Himiko-farmaceuticheskiy zhurnal* [Chemical and Pharmaceutical Journal], 2006, vol.40, no. 8, pp. 48-51.
6. Guzeeva T.I., Guzeev V.V., Leonova L.A., Leljuk O.A., Krikunenko A.S., Shatohina J.V. *Poluchenie poroshka gidroksiapatita v hode zhidkofaznogo sinteza* [Preparation of hydroxyapatite powder in the liquid-phase synthesis]. *Izvestija TPU* [News TPU], 2009, vol. 315, no. 3, pp. 47–50.
7. Kireev V.A. *Metody prakticheskikh raschetov v termodinamike khimiche-skikh reaktsiy* [Methods of practical calculations in the thermodynamics of chemical reactions], Moscow: Khimiya Publ., 1970. 519 p.
8. Karapet'janc M.H. *Himicheskaja termodinamika* [Chemical thermodynamics], Moscow: Khimiya Publ., 1975. 584 p.
9. Leonova L.A. *Termodinamika obrazovanija gidroksiapatita* [Thermodynamics of formation of hydroxyapatite]. *V mire nauchnyh otkrytij* [In the world of scientific discovery], 2010, no. 4 (10), vol. 6, pp. 18–21.
10. Omarova R.A., Erkasov R.Sh., Tautova E.N. *Teoreticheskij raschet jental'piz obrazovanija proizvodnyh acetamida* [Theoretical calculation of the enthalpies of formation of derivatives acetamide]. *Vestnik KazNU. Seriya Himicheskaja* [Bulletin of the KNU. Chemical series], 2006, no. 3, 43, pp. 65–68.
11. Kazanskaja A.S., Skoblo V.A. *Raschety himicheskikh ravnovesij: Sbornik primerov i zadach: uchebnoe posobie dlja vuzov / Pod redakciej G.M. Panchenkova* [The calculations of chemical balance], Moscow: Vysshaja shkola Publ., 1974. 288 p.
12. Egan E.P., Wakefield Z.E., Elmore K.L. Low-temperature Heat Capacity and Entropy of hydroxyapatite. *Amer.Chem. Soc.*, 1951, no. 73, pp. 5579–5580.
13. Cox J.D. *Tetrahedron*, 1962, vol. 18, p.1337.
14. Cox J.D. *Tetrahedron*, 1963, vol. 19, p.175.
15. Andersen J.M., Beyer G.H., Watson K.M. *Natrl. Petrol. News*, 1944, vol. 36, p. 476.

16. Hougen A., Watson K.M. *Chemical Processes Principles*. vol. 1–3, New York, 1947–1948.
17. Rid R, Shervud T. *Svojstva gazov i zhidkостей* [The properties of gases and liquids], Moscow: Gostoptehizdat Publ., 1964.
18. Janz G.J. *Thermodynamic Properties of Organic Compounds*, New York, 1967.
19. Lidin R.A., Molochko V.A., Andreeva L.L. *Neorganicheskaja himija v reakcijah* [Inorganic chemistry reactions], Moscow: Drofa, 2007. 637 p.
20. Volkov A.I., Zharskiy I.M. *Bol'shoy khimicheskij spravocnik* [Large chemical reference], Minsk: Sovremennaya shkola Publ., 2005. 608 p.

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Леонова Лилия Александровна**, доцент кафедры химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов физико-технического института ТПУ, кандидат технических наук

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*проспект Ленина, дом 30, г. Томск, 634050, Россия*

*e-mail: leonovala@tpu.ru*

*SPIN-code: 3647-6329*

*ORCID: 0000-0001-7438-9934*

*ResearcherID: E-5401-2015*

**Бурачевская (Пасынкова) Анастасия Владимировна**, инженер 3 категории участка планирования и координации работ

*Открытое акционерное общество по наладке, совершенствованию эксплуатации и организации управления атомных станций «АТОМТЕХЭНЕРГО» Смоленский филиал «СМОЛЕНСКАТОМТЕХЭНЕРГО»*

*промзона САЭС, г. Десногорск, Смоленской обл., 216400, Россия*

*e-mail: smate@atech.ru*

**Павлюк Ульяна Валерьевна**, студентка кафедры химической технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов физико-технологического института ТПУ

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*проспект Ленина, дом 30, г. Томск, 634050, Россия*

*e-mail: pavlyuk.uv@yandex.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Leonova Liliya Aleksandrovna**, Associate professor of Department of Rare, Scattered and Radioactive Element Technology, Institute of Physics and Technology, Ph.D. in Technical Science

*National Research Tomsk Polytechnic University*

*30, Lenina Avenue, Tomsk, 634050, Russia*

*e-mail: leonovala@tpu.ru*

*SPIN-code: 3647-6329*

*ORCID: 0000-0001-7438-9934*

*ResearcherID: E-5401-2015*

**Burachevsky (Pasyukova) Anastasia Vladimirovna**, Engineer Category 3 site planning and coordination

*Open Joint Stock Company for the setup, operation and improvement of the organization of management of nuclear power plants "Atomtechen-ergo" Smolensk branch "SMOLENSKATOMTEHENERGO"*

*Smolensk NPP industrial zone, Desnogorsk, Smolensk region, 216400, Russia*

*e-mail: smate@atech.ru*

**Pavlyuk Uliana Valerevna**, student of Department of Rare, Scattered and Radioactive Element Technology, Institute of Physics and Technology

*National Research Tomsk Polytechnic University*

*30, Lenina Avenue, Tomsk, 634050, Russia*

*e-mail: pavlyuk.uv@yandex.ru*