

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА НАБУХАНИЯ ПЛОДОВ СОФОРЫ ЯПОНСКОЙ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

П.А. Васильева, А.А. Лебедев, И.Б. Дмитриева

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет»

Поступила в редакцию 2.02.2023 г.

**Аннотация.** Изучение физико-химических закономерностей процесса набухания лекарственного растительного сырья может способствовать увеличению контакта частиц растительной клетки с растворителем и улучшению диффузии биологически-активных веществ.

В данной статье описана кинетика набухания измельченных плодов софоры японской при различных значениях pH среды и температуры. Рассмотрено влияние спирта этилового на процесс набухания плодов софоры японской. Рассчитана максимальная степень набухания ( $\alpha_{\text{МАКС}}$ ) и коэффициент набухания ( $K$ ) данного процесса для всех рассматриваемых условий. Представлены зависимости влияния описываемых факторов на процесс набухания лекарственного сырья, в частности плодов софоры японской. В качестве объекта исследования использовались измельченные плоды софоры японской с размером частиц 0.1, 0.2 см. Определение степени набухания проводили по изменению объема частиц в цилиндре.

Установлено, что данный процесс представляет собой ограниченное набухание растительной клетки во всех рассматриваемых условиях.

Увеличение температуры способствует более полному набуханию растительной клетки. Вода дистиллированная является лучшей средой набухания плодов софоры японской. Время, определено соответствующее наиболее полному набуханию плодов софоры японской во всех рассмотренных случаях. Добавление спирта этилового снижает максимальную степень набухания измельченных плодов софоры японской более чем в два раза, а с ростом температуры наблюдается увеличение степени набухания.

Обнаружено, что при значениях pH, соответствующих изоэлектрическому состоянию поверхности частиц софоры, не наблюдается минимум набухания, так как частицы плодов софоры имеют клеточную структуру и сворачивание в глобулу как в растворах высокомолекулярных соединений не происходит. Максимальная степень набухания достигается в течение 60-80 минут при 20°C, а при 60°C в течение 120 минут. В начальный период набухания максимальная скорость набухания наблюдается при нагревании, а минимальная при значении pH = 3.6. Условия процесса набухания от установленных факторов описаны конкретно для плодов софоры японской, но закономерности, представленные в данной работе, могут способствовать рассмотрению процесса набухания других видов лекарственного растительного сырья.

**Ключевые слова:** лекарственное растительное сырье, полимеры, высокомолекулярные вещества, кинетика набухания, степень набухания, коэффициент набухания

Лекарственные препараты и пищевые добавки, основанные на биологически-активных веществах (БАВ), приобретают все большее значение для фармацевтической отрасли [1-3]. Извлечение данных веществ из лекарственного сырья является актуальным в настоящее время [4-5]. Набухание растительного сырья является важной стадией процесса экстракции БАВ. На данном этапе происходит одностороннее поглощение жидкости

высокомолекулярными веществами (целлюлозой, пектином и др.), из которых состоит оболочка растительной клетки [6]. Этот процесс сопровождается увеличением массы и объема растительного сырья [7-8]. Кроме того, внутрь клеток измельченного растительного сырья по капиллярам протекает вода, растворяются вещества, находящиеся в клеточном соке, и диффундируют изнутри клетки в раствор, которым будет проводиться дальнейшее извлечение (экстрагент) [9].

Рекомендуемые условия набухания растительного материала при процессах экстракции описаны довольно обще для всех видов сырья в Государственные Фармакопеи. Изучение процесса набухания конкретного вида сырья, может способствовать подбору условий для наиболее полного набухания растительной клетки, что, в свою очередь, способствует увеличению выхода биологически-активных веществ в процессе экстракции. Описание закономерностей влияния различных факторов на процесс набухания растительной клетки может способствовать изучению и описанию данного процесса для остальных видов природного сырья. На процесс набухания оказывает влияние различные факторы, такие как: вид лекарственного сырья (листья, цветки, корни, плоды и т.д.), его химический состав [10-12]; размер частиц [13]; заряд частиц, природа экстрагента [14]; время контакта частиц с экстрагентом [15]; рН, ионная сила [17-18], температура, при которой проводится процесс набухания [19].

Количественной мерой набухания является степень набухания ( $\alpha$ ) – это величина, характеризующая способность полимера набухать в определенных растворителях [7]. Она зависит от природы каркаса растительной клетки (жесткости цепей, из которых состоит оболочка растительной клетки), а также сродством к растворителю.

В зависимости от этих факторов и температуры набухания данный процесс может носить ограниченный или неограниченный характер.

При неограниченном набухании  $\alpha$  изменяется в течение всего времени, в конечном счете происходит растворение полимера.

При ограниченном набухании  $\alpha$  достигает предельного значения (максимальная степень набухания), после чего она не зависит от времени. В этих условиях межмолекулярные взаимодействия в полимере достаточно сильны; вклад свободной энергии, обусловленной энтальпией смещения становится равный вкладу свободной энергии, обусловленной силами упругого стягивания в сетке; нет движущей силы для набухания и экстрагент не может разобщить макромолекулы, достигается равновесие набухания [20].

Максимальная степень набухания зависит от способности сырья сорбировать и удерживать определенное количество воды. В оболочке клетки существуют два типа центров сорбции с разными энергиями связи. Первичные центры сорбции – гидрофильные группы целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина [7].

К вторичным центрам сорбции относят центры сорбции первого и последующего слоев воды. Активное поглощение воды осуществляется первичными центрами сорбции, при этом молекулы воды оказываются непосредственно связанными с –ОН группами аморфных областей макромолекулярных компонентов оболочки растительной клетки [7].

Целью данной работы являлось определение влияния физико-химических факторов на процесс набухания лекарственного сырья на примере плодов софоры японской.

Были поставлены следующие задачи: исследовать кинетику набухания плодов софоры японской с различным экстрагентом, при различном рН среды; определить степень и коэффициент набухания для данных процессов.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объекта исследования использовались плоды софоры японской ТУ 10.89-066-14721358-2017.

Для создания кислой среды использовали 0.1 М раствор HCl, для подщелачивания раствора до нужного значения рН использовали 0.1 М раствор NaHCO<sub>3</sub>.

Плоды софоры японской измельчали, далее просеивали при помощи набора сит лабораторных с размером частиц 0.1 и 0.2 см. Измельченные плоды софоры японской с определенным размером частиц взвешивали по  $2.0 \pm 0.025$  г. на весах лабораторных электронных CAS MWP-3000H. Навески помещали в мерный цилиндр 1-го класса точности на 10 мл (погрешность 0.10 см<sup>3</sup>).

К навескам плодов софоры японской добавляли экстрагент. Объем необходимого экстрагента измеряли при помощи мерного цилиндра 1-го класса точности вместимостью 10 мл (погрешность 0.10 см<sup>3</sup>). Изменение объема фиксировали в начальный момент времени, через 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120 и 180 минут.

Процесс набухания исследовали при 20°C и 60°C. Термостатирование осуществляли в циркуляционном жидкостном термостате LOIP LT-105a. Степень набухания рассчитывали по формуле 1 [8].

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0} \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень набухания, V - объём, занимаемый частицами плодов софоры японской через время (t), мл; V<sub>0</sub> - объём, занимаемый частицами плодов софоры японской в начале процесса, мл.

При ограниченном набухании высокомолекулярных соединений (ВМС) степень набухания изменяется во времени в соответствии с уравнением

$$\ln \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\max} - \alpha} = K\tau, \quad (2)$$

где  $K$  – константа скорости набухания, мин<sup>-1</sup>;  $\alpha_{\max}$  – максимальная (предельная) степень набухания;  $\tau$  – время, мин.

Константу скорости набухания определяли графическим методом. Строили график зависимости  $\ln(\alpha_{\max}/(\alpha_{\max}-\alpha))$  от  $\tau$  и рассчитывали  $K$  как тангенс угла наклона линейной зависимости  $\ln(\alpha_{\max}/(\alpha_{\max}-\alpha))$  от  $\tau$  [8].

Статистическая обработка данных проводилась в программе Excel. Оценку достоверности различий между выборками проводили параметрическим методом для независимых выборок, определяя t-критерий Стьюдента. Использовалось по 5 измерений для каждого варианта исследования. Рассчитанное значение t-статистики составило 2.1, что меньше критического значения для данного числа наблюдений (степень свободы 4) и уровня значимости ( $p < 0.05$ ). Результаты оказались значимыми, различия между выборками достоверные на уровне достоверности ( $p < 0.05$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По рассчитанным значениям степени набухания для каждого участка времени при различных условиях были построены графики зависимости степени набухания от времени протекания процесса (рис. 1-3). Степень набухания, во всех рассматриваемых случаях, увеличивалась, а затем выходила на постоянное значение, которое соответствует максимальной степени набухания. Бары на графиках соответствуют среднеквадратичному отклонению. Данные расчетов константы набухания и значения максимальной степени набухания представлены в таблице 1.

В прошлых работах было установлено, что в 50 % этиловом спирте из плодов софоры японской экстрагируется наибольшее количество флавоноидов [21], поэтому набухание в данных условиях представляло практический интерес. Отмечено, что добавления спирта этилового снижает максимальная степень набухания больше, чем в два раза

(рис. 1). Молекулы спирта этилового менее полярны, чем вода и их сольватирующая способность ниже, вследствие чего процесс набухания растительной клетки ухудшается и константа скорости набухания в растворе спирта этилового ниже чем в воде (табл. 1).

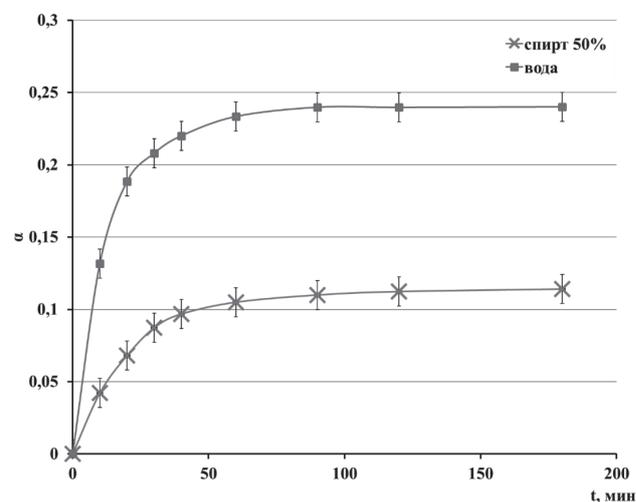


Рис. 1. Зависимость степени набухания частиц плодов софоры японской в воде и 50% этиловом спирте от времени

В воде, при значении рН 5.7, происходит наибольшее набухание частиц софоры японской, отклонение рН в кислую и щелочную область не привело к увеличению максимальной степени набухания (рис. 2). Ранее в работах [21] были определены точка нулевого заряда ( $pH_{\text{ТНЗ}}$ ) водных дисперсий софоры  $pH_{\text{ТНЗ}} = 5.8$ , и изоэлектрическая точка  $pH_{\text{ИЭТ}} = 6.0$ . Обычно, в растворах ВМС набухание при  $pH_{\text{ИЭТ}}$  наименьшее [22], что не наблюдается в нашей работе. Это связано с тем, что частички плодов софоры имеют клеточную структуру и сворачивание в глобулу как в растворах ВМС не происходит. С другой стороны, осмотическое давление вызывает проникновение воды в клетки софоры, что способствует более значительному набуханию в воде по сравнению с растворами электролитов. Также в результате воздействия агрессивной среды (кислой и щелочной), разрушаются внутренние связи в матрице полимера и ухудшается процесс набухания [22].

Таблица 1

Характеристики набухания плодов софоры японской в разных растворителях

экстрагент	вода дистиллированная при температуре $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	50 % этанол	вода дистиллированная подкисленная рН = 3.56	вода дистиллированная подщелоченная рН = 7.94	вода дистиллированная при температуре $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
$\alpha_{\max}$	$0.24 \pm 0.01$	$0.11 \pm 0.01$	$0.24 \pm 0.01$	$0.17 \pm 0.01$	$0.39 \pm 0.01$
$K, \text{ c}^{-1}$	0.07	0.05	0.06	0.1	0.04

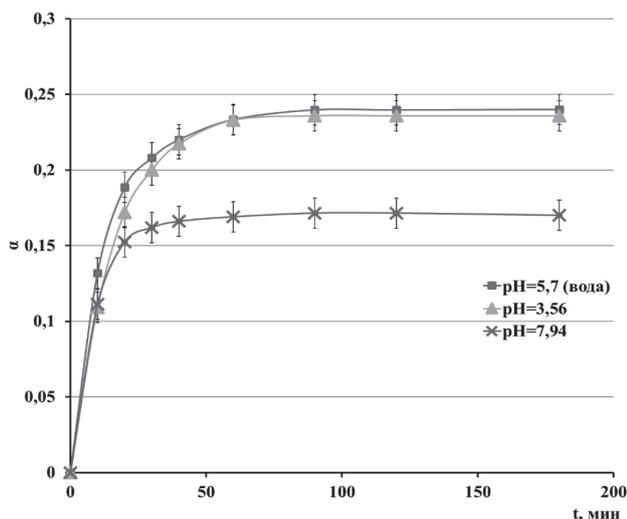


Рис. 2. Зависимость степени набухания частиц плодов софоры японской при различных pH от времени

Сопоставление скорости набухания частиц софоры в начале процесса набухания во всех рассматриваемых случаях (рис. 1-3) показывает, что наибольшая скорость набухания происходит при 60°C вследствие увеличения скорости диффузии молекул растворителя с ростом температуры.

Степень набухания частиц софоры японской с ростом температуры увеличивается (рис. 3), это объясняется как увеличением скорости диффузии молекул растворителя, так и увеличением разрушения оболочки клеток с ростом температуры [22], облегчающее проникновение молекул растворителя в глубь частиц софоры. Максимальное набухание частиц софоры при 20°C достигается в течение 60-80 минут, а при 60°C через 120 минут (рис. 3). Как уже выше отмечено, в начальный момент времени при нагревании скорость набуха-

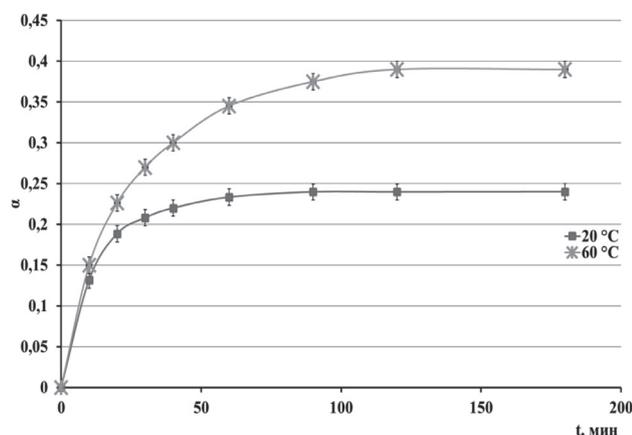


Рис. 3. Зависимость степени набухания частиц плодов софоры японской при температуре 60 °C и 20 °C от времени

ния увеличивается в основном из-за возрастания скорости диффузии молекул растворителя. Более длительное набухание при 60°C происходит за счет разрушения клеток софоры, этот процесс идет при нагревании значительно сильнее и дольше, чем при 20°C, что хорошо согласуется с самой низкой константой скорости набухания при 60°C (табл. 1).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Набухание частиц плодов софоры японской относится к ограниченному процессу. Это происходит вследствие того, что полимер, из которого состоит растительная клетка, представляет собой пространственную сетку, которая препятствует отрыву макромолекулы друг от друга и переходу их в раствор. Гемиллюлозы и лигнин, входящие в состав оболочки клетки, имеют разветвленную и сшитую структуру, свободное пространство каркаса полимера может активно заполняться водой при контакте [22].

Установлено, что добавление спирта этилового снижает максимальную степень набухания измельченных плодов софоры более чем в два раза, с ростом температуры наблюдается увеличение степени набухания.

Обнаружено, что при значениях pH, соответствующих изоэлектрическому состоянию поверхности частиц софоры, не наблюдается минимум набухания, так как частицы плодов софоры имеют клеточную структуру и сворачивание в глобулу как в растворах ВМС не происходит.

Определено, что при 20°C максимальная степень набухания достигается в течение 60 - 80 минут, а при 60 °C в течение 120 минут.

Установлено, что в начальный период набухания максимальная скорость набухания наблюдается при нагревании, а минимальная при значении pH = 3.6.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неверов П. А., Пислегина Н. В. // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2019. № 5. С. 217-222.
2. Caricatoa D., Primavillab S., Scuotab S., Riccia M., Periolia L., Marinozzia M. Giovagnoli S. Rojo D. // Journal of Pharmaceutical Sciences. 2021. Vol. 110, pp. 2974-2985.
3. Khan, H., Jawad, M., Kamal, M.A., Baldi, A., Xiao, J., Nabavi, S.M., Daglia, M. // Food and Chemical Toxicology. 2018, pp. 355-367
4. Цветов, Н. С., Пасичник Н. С. // От биохимии растений к биохимии человека. 2022. С. 307-311.

5. Флисюк Е. В., Белокуров С. С., Наркевич И. А. // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2020. Т. 9. № 2. С. 77-81.
6. Погребняк, А. В., Погребняк Л. В., Щербакова Л. И. // Наука в современном информационном обществе. 2019. С. 46-49.
7. Котлярова И.А., Степина И.В. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 3. С. 81-88.
8. Котлярова И. А., Степина И. В. // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 6. С. 87-91.
9. Бойко Н.Н., Макаревич Н.А., Писарев Д.И., Жиликова Е.Т., Новиков О.О. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т. 18. № 4. С. 479-487.
10. Garat W., Le Moigne N., Corn St., Beaugrand J., Bergeret A. // *Revue des Composites et des Materiaux Avances*. 2019. Vol. 29. No. 4, pp. 225-232.
11. Дукси Ф., Вандышев В. В., Мусса Р. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 5. С. 26-28.
12. Сорокин, А. В., Лавлинская М. С. // Актуальные проблемы науки о полимерах. 2021. С. 15-16.
13. Di W., Zha Sh.-H., Zhu Y., Li H., Hou Sh.-B., Zhao Q.-Sh., Zhao B. *Powder Technology*. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032591022007471> (accessed 30.11.2022).
14. Hao Y., Feifei J., Yunliang Zh., Wei W., Shaoxian S., Hongqiang L., Cheng L. // *Applied Surface Science*. Vol. 459. 2018, pp. 148-154.
15. Аминов С. Н., Авезов Х. Т., Ахмадова Д. А., Жалилов Ш. Н. // *Universum: химия и биология*. 2020. № 6(72). С. 48-51.
16. Каблов В. Ф., Кейбал Н. А., Крекалева Т. В. // Взаимодействие предприятий и вузов - наука, кадры, новые технологии: Сборник материалов конференции. 2018. С. 103-104.
17. Pernilla Karlsson R.-M., Larsson Per T., Yuc Sh., Pendergraph S. A., Pettersson T., Hellwig J., Wågberg L. // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2018. Vol. 519, pp. 119-129.
18. Шабадров, П. А. // Высокомолекулярные соединения. С. 2018. Т. 60. № 5. С. 402-412.
19. Адамцевич, Н. Ю., Болтовский В. С., Титок В. В. // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. 2020. Т. 65. № 4. С. 402-411.
20. Fijul Kabir S. M., Sikdar P. P., Haque B., Rahman Bhuiyan M. A., Ali A., Islam M. N. // *Progress in Biomaterials*. 2018, pp. 153-174.
21. Васильева П. А., Нестерова Д. И., Чеботова П. А., Дмитриева И. Б. // Бултеровские сообщения. 2022. Т. 71. № 8. С. 118-125.
22. Алексеева Т. В., Полянский К. К., Климова Е. А., Калгина Ю. О. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2020. № 2. С. 5-15.

Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет

\*Васильева П. А. аспирант 3 года обучения  
E-mail: [polina.vasileva@spcpu.ru](mailto:polina.vasileva@spcpu.ru)

Лебедев А. А., студент 3 курса  
E-mail: [andrej.lebedev@spcpu.ru](mailto:andrej.lebedev@spcpu.ru)

Дмитриева И. Б., доктор химических наук, доцент кафедры физической и коллоидной химии  
E-mail: [irina.dmitrieva@pharminnotech.com](mailto:irina.dmitrieva@pharminnotech.com)

St. Petersburg Chemical and Pharmaceutical University

\*Vasileva P. A., postgraduate student 3 years of study  
E-mail: [polina.vasileva@spcpu.ru](mailto:polina.vasileva@spcpu.ru)

Lebedev A. A. 3rd year student  
E-mail: [andrej.lebedev@spcpu.ru](mailto:andrej.lebedev@spcpu.ru)

Dmitrieva I. B., PhD., associate professor,  
Department of Physical and Colloidal Chemistry  
E-mail: [irina.dmitrieva@pharminnotech.com](mailto:irina.dmitrieva@pharminnotech.com)

## FEATURES SWELLING PROCESS OF THE SOPHORIA JAPANESE FRUITS

P.A. Vasileva, A.A. Lebedev, I.B. Dmitrieva

*St. Petersburg Chemical and Pharmaceutical University*

**Abstract.** Studying the physicochemical dependences of the process can contribute to increasing the contact of plant cell particles with the solvent and improving the diffusion of biologically active substances. This article describes the swelling kinetics of crushed *Sophora japonica* fruits at various pH and temperature values.

The influence of ethyl alcohol on the swelling process of *Sophora japonica* fruits is considered. The maximum swelling rate ( $\alpha_{\max}$ ) and swelling factor (K) of this process are calculated for all conditions under consideration. The dependence of the influence of the described factors on the swelling process of medicinal raw materials, in particular, *Sophora japonica* fruits, is presented.

The crushed *Sophora japonica* fruits with a particle size of 0.1, 0.2 cm were used as an object of study. The degree of swelling was determined by changing the volume of particles in the measuring graduate.

It was established that this process has been found to be limited swelling of the plant cell under all conditions considered. Increase in temperature contributes to a more complete swelling of the plant cell. It was noted that distilled water is the best swelling medium for *Sophora japonica* fruits. The time corresponding to the most complete swelling of the *Sophora japonica* determined fruits in all cases examined.

The addition of ethyl alcohol reduces the maximum degree of swelling of milled *Sophora japonica* fruits by more than twice; and increasing degree of swelling with increasing in temperature is observed.

It was found that at pH, which corresponding to the isoelectric state of the surface of the sophora particles, is not correspond to the minimum swelling, since the sophora fruit particles have a cellular structure and folding into a globule as in high-molecular substances solutions does not occur.

The maximum degree of swelling is achieved within 60-80 minutes at 20°C, and with 60°C within 120 minutes. The maximum swelling rate was observed when heated and the minimum at pH = 3.6 during the initial swelling period.

The conditions of the swelling process from established factors are described specifically for *Sophora japonica* fruits, but the dependences presented in this article may promote to the consideration of the swelling process of other medicinal plant raw materials.

**Keywords:** medicinal plant raw materials, polymers, high molecular weight substances, swelling kinetics, swelling degree, swelling coefficient.

## REFERENCES

1. Neverov P. A., Pislegina N. V., Gumanitarnye, social'no-jekonomicheskie i obshhestvennye nauki, 2019, Vol. 5, pp. 217-222.
2. Caricatoa D., Primavillab S., Scuotab S., Riccia M., Periolia L., Marinozzia M. Giovagnoli S. Rojo D., Journal of Pharmaceutical Sciences, 2021, Vol. 110, pp. 2974-2985.
3. Khan, H., Jawad, M., Kamal, M.A., Baldi, A., Xiao, J., Nabavi, S.M., Daglia, M., Food and Chemical Toxicology, 2018. pp. 355- 367.
4. Cvetov, N. S., Pasichnik N. S., Ot biohimii rastenij k biohimii cheloveka. 2022, pp. 307-311.
5. Flisjuk E. V., Belokurov S. S., Narkevich I. A., Razrabotka i registracija lekarstvennyh sredstv, 2020, Vol. 9, No. 2, pp. 77-81
6. Pogrebnjak, A. V., Pogrebnjak L. V., Shherbakova L. I., Nauka v sovremennom informacionnom obshhestve, 2019, pp. 46-49.
7. Kotljarova I.A., Stepina I.V., Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova, 2018, Vol. 3, pp. 81-88.
8. Kotljarova I. A., Stepina I. V., Vestnik Tehnologicheskogo universiteta, 2018, Vol. 21, No. 6, pp. 87-91.
9. Bojko N.N., Makarevich N.A., Pisarev D.I., Zhiljakova E.T., Novikov O.O., Sorbcionnye i hromatograficheskie process, 2018, Vol. 18, No. 4, pp. 479-487
10. Garat W., Le Moigne N., Corn St., Beaugrand J., Bergeret A., Revue des Composites et des Materiaux Avances, 2019, Vol. 29, No. 4, pp. 225-232.
11. Duksi F., Vandyshev V. V., Mussa R., Vestnik Rossijskoj sel'skohozjajstvennoj nauki, 2021, Vol. 5, pp. 26-28.
12. Sorokin, A. V., Lavlinskaja M. S., Aktual'nye problemy nauki o polimerah, 2021, pp. 15-16.
13. Di W., Zha Sh.-H., Zhu Y., Li H., Hou Sh.-B., Zhao Q.-Sh., Zhao B. Powder Technology. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S00322591022007471> (accessed 30.11.2022).
14. Hao Y., Feifei J., Yunliang Zh., Wei W., Shaoxian S., Hongqiang L., Cheng L., Applied Surface Science, Vol. 459, 2018, pp. 148-154.
15. Aminov S. N., Avezov H. T., Ahmadova D. A., Zhalilov Sh. N., Universum: himija i biologija, 2020, Vol. 6, No. 72, pp. 48-51.
16. Kablov V. F., Kejbal N. A., Krekaleva T. V., Vzaimodejstvie predpriyatij i vuzov - nauka, kadry, novye tehnologii: Sbornik materialov konferencii, 2018, pp. 103-104.
17. Pernilla Karlsson R.-M., Larsson Per T., Yuc Sh., Pendergraph S. A., Pettersson T., Hellwig J., Wågberg L., Journal of Colloid and Interface Science, 2018, Vol. 519, pp. 119-129.
18. Shabadrov, P. A., Vysokomolekuljarnye soedinenija S, 2018, Vol. 60, No. 5, pp. 402-412.

19. Adamceвич, N. Ju., Boltovskij V. S., Titok V. V., *Vesci Nacyjanal'naj akademii navuk Belarusi. Seryja bijalagichnyh navuk*, 2020, Vol. 65, No. 4, pp. 402-411.

20. Fijul Kabir S. M., Sikdar P. P., Haque B., Rahman Bhuiyan M. A., Ali A., Islam M. N., *Progress in Biomaterials*, 2018, pp. 153-174.

21. Vasil'eva P. A., Nesterova D. I., Chebotova P. A., Dmitrieva I. B., *Butlerovskie soobshhenija*, 2022, Vol. 71, No. 8, pp. 118-125.

22. Alekseeva T. V., Poljanskij K. K., Klimova E. A., Kalgina Ju. O., *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Himija. Biologija. Farmacija*, 2020, Vol. 2, pp. 5-15.