

УДК 663.44

Физико-химические свойства и теплофизические характеристики экстрактов листьев крапивы двудомной**А.В. Савенко**, saven21@mail.ruканд. техн. наук **В.В. Гриценко**, gritsenko8@rambler.ru

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им И.И. Ползунова»

г. Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6

Д-р техн. наук **А.Ф. Сорокопуд**, office@kemtipp.ruКемеровский технологический институт пищевой промышленности
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

Применение экстрактов природного происхождения при производстве продуктов питания приобретает все большую актуальность. Вещества природного происхождения обладают низкой токсичностью и высокой биосовместимостью. Рост интереса к продуктам питания, имеющим в своем составе природные добавки, наблюдается во многих странах, в том числе и в России. Экстрагирование является одним из наиболее оправданных способов получения полезных веществ, содержащихся в растительном сырье. Решить ряд проблем, связанных с транспортировкой, хранением, погрузкой-разгрузкой, дозированием полученного экстракта в продукт, позволяет его концентрирование. Однако, для осуществления процесса концентрирования в промышленных масштабах необходимы данные о физико-химических свойствах и теплофизических характеристиках экстрактов, необходимые прежде всего для определения наиболее рациональных режимов работы выпарной аппаратуры, так как это позволяет снизить затраты энергии на производство готового продукта, что неизменно отражается на его себестоимости. И так же при расчете дозирующей, насосной аппаратуры и трубопроводов. В работе представлены результаты исследования влияния температуры и концентрации сухих веществ на физико-химические свойства (плотность, вязкость, поверхностное натяжение) и теплофизические характеристики (теплопроводность, теплоемкость) экстрактов листьев крапивы, полученные с использованием наиболее распространенных методик исследования в экспериментальной практике. Полученные данные представлены в виде диаграмм, выявленные зависимости проанализированы. Получены уравнения множественной регрессии, описывающие изменение физико-химических свойств и теплофизических характеристик экстрактов в широком диапазоне температур и содержания сухих веществ. Представленные данные формируют необходимые предпосылки к промышленной переработке листьев крапивы в качестве источника биологически активных веществ.

Ключевые слова: экстракт листьев крапивы, плотность, вязкость, поверхностное натяжение, теплопроводность, теплоемкость.

Physicochemical properties and thermo-physical characteristics of common nettle leaves' extracts**A.V. Savenko**, saven21@mail.ruPh. D. **V.V. Gritsenko**, gritsenko8@rambler.ruAltai State Technical University. Polzunov
2/6 Traktornaya St., Rubtsovsk, 658207, RussiaD. Sc. **A.F. Sorokopud**, office@kemtipp.ruKemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

The use of extracts of natural origin in food production is becoming increasingly important. Natural substances have low toxicity and high biocompatibility. There is rising interest in food products with natural supplements in many countries, including Russia. The extraction is one of the most effective ways to produce useful substances, contained in the plant material. The concentration of the essence allows to solve a

number of problems, such as transportation, storage, loading, unloading and its dosing into the product. However, the process of concentrating on an industrial scale requires data on the physicochemical and thermal properties of the extracts. First of all, they are necessary for the determining the most efficient modes of an evaporator, as this can reduce the energy consumption for the producing of the finished product. It invariably affects its cost and the calculation of the metering, pumping and piping equipment. The work contains the research results of the effects of temperature and the concentration of dry matter on the physicochemical properties (density, viscosity, surface tension) and thermal characteristics (thermal conductivity, specific heat) of common nettle leaves' extract produced using the most widespread research methods in experimental practice. The received data are presented in the form of diagrams and discovered dependences are analyzed. We have got multiple regression equations describing the change of physicochemical properties and thermal characteristics of the extracts in a wide range of temperatures and dry matter content. The produced data form the necessary prerequisites for the industrial nettle leaves recycling as a source of biologically active substances.

Key words: nettle leaf extract, density, viscosity, surface tension, thermal conductivity, specific heat.

Введение

Использование биологически активных веществ в виде натуральных ингредиентов разнообразных композиций в пищевой, фармакологической, парфюмерной и косметической областях промышленности вызывает серьезный интерес во всем мире. При этом прослеживается четкая тенденция повсеместного применения естественных продуктов [3, 14]. Производство качественных конкурентоспособных продуктов питания в настоящее время весьма затруднительно без достаточного обеспечения сырьем, в том числе природными консервирующими добавками. Наиболее оправданным решением данного вопроса является использование для этой цели местных ресурсов [11]. Дешевым многотоннажным сырьем для выработки необходимых препаратов могут служить отдельные элементы древесных и травянистых растений. В качестве весьма перспективного сырья для этой цели являются отдельные вегетативные органы растений.

Особый интерес наблюдается в отношении растений издревле известных своими целебными свойствами, таких как крапива. Большую значимость им как исходному сырью для производства экстрактов придает широкая доступность на территории России, что позволяет сократить затраты на транспортировку и хранение. Ареал произрастания на территории России - средняя полоса Европейской части, Урал, Сибирь, Дальний Восток, Кавказ [2]. Крапива двудомная – многолетнее растение и для обеспечения урожайности в 800–1000 ц/га, без орошения, достаточно засеивать ее раз в 8–10 лет [1]. Наряду с содержанием протеинов и аминокислот, крапива представляет значительную пищевую ценность вследствие наличия в ней широкого ряда витаминов [13]. На данный момент уже известны основные направления применения экстрактов крапивы в пищевой промышленности. Так богатый минеральный состав листьев крапивы делает возможным применение их экстрактов при производстве мясопродуктов. Выдерживание мясного фарша в посоле на основе крапивного экстракта позволяет повысить технологические качества фарша и показатели качества готовой продукции [12]. На организм человека концентрированный экстракт листьев крапивы, оказывает тонизирующее, противовоспалительное действие, ускоряет обмен веществ, повышает тонус дыхательного центра, сердечнососудистой системы, стимулирует регенерацию пораженных тканей, слизистых оболочек, увеличивает содержание эритроцитов в крови, способствует лактации у женщин. Применяют листья крапивы и как антимикробное, гипотензивное, противоопухолевое средство [4, 9, 16].

Целесообразность концентрирования экстрактов объясняется тем, что экстракты с высокой концентрацией сухих веществ дольше сохраняют полезные свойства, отличаются простотой дозирования и внесения в продукт, к тому же получение концентрированных экстрактов позволяет

добиться высокого содержания полезных веществ на единицу объема, существенно сократить расходы, связанные с транспортно-складскими работами.

Термолabileность содержащихся в экстрактах крапивы полезных веществ оставляет свой отпечаток на требованиях к режимам тепловой обработки при концентрировании. Наиболее распространенным и простым способом получения концентратов при относительно невысоких температурах является выпаривание под вакуумом [8, 15]. В связи с этим большую значимость приобретают данные по теплофизическим характеристикам (ТФХ) и физико-химическим свойствам (ФХС) экстрактов, характеризующие параметры экстракта в процессе обработки, что во многом определяет габаритные размеры технологического оборудования.

Поэтому целью настоящей работы является определение ТФХ и ФХС экстрактов листьев крапивы.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования были концентрированные водные экстракты листьев крапивы, полученные в результате выпаривания водных экстрактов на лабораторной вакуум-выпарной установке при температуре не выше 48°C , до концентрации $C_{\text{св}} = 60\%$. Содержание сухих веществ в экстракте определялось рефрактометрическим методом. Предел допускаемой погрешности измерения по шкале сухих веществ по сахарозе $\pm 0,01\%$ [6].

Получение экстрактов с необходимой концентрацией осуществлялось путем разбавления концентрата с $C_{\text{св}} = 60\%$ масс. дистиллированной водой. Границы изменения параметра: $C_{\text{св}}$ – от 1 до 60% масс., шаг варьирования $\Delta C_{\text{св}} = 15\%$ масс. Границы изменения температуры: t от 20 до 48°C , шаг варьирования $\Delta t = 7^{\circ}\text{C}$.

Плотность ρ , ($\text{кг}/\text{м}^3$) является весомым физическим параметром при расчете режимов течения и взаимодействия контактирующих фаз, так же служит одним из индикаторов показывающих качество экстракта. Традиционным и высокоточным методом измерения относительной плотности является пикнометрический метод [7]. Погрешность определения относительной плотности экстрактов, при использовании данной методики составляет $\delta\rho_t = \pm 0,097\%$. Что приемлемо для расчетной практики [15].

Вязкость – один из важнейших физико-химических параметров. Определяется трением, возникающим между слоями жидкости, движущимися с разной скоростью относительно друг друга. Таким образом вязкость влияет на режимы течения жидкости а, следовательно, и на процессы тепло- и массообмена. Для измерения динамической вязкости μ , ($\text{Па}\cdot\text{с}$) использовались вискозиметры ВПЖ- 2 2,37 и ВПЖ – 2 4,66 с диаметрами капилляра 2,37 мм и 4,66 мм соответственно. Так как в изменяемом диапазоне концентрации и температуры определяемая вязкость имеет существенные изменения. Относительная погрешность измерения динамической вязкости по этой методике, составила $\delta\mu = \pm 4,6\%$, что является достаточным для проведения инженерных расчетов [15].

Поверхностное натяжение σ , ($\text{Н}/\text{м}$) оказывает определяющее влияние на процесс парообразования. Объясняется это тем, что наличие на поверхности жидкости молекул, не уравновешенных межмолекулярными силами, создает в поверхностном слое свободную поверхностную энергию, стремящуюся уменьшиться. На поверхности жидкости образуется пленка, обладающая поверхностным натяжением. Чтобы увеличить площадь поверхности жидкости, т.е. чтобы преодолеть ее поверхностное натяжение, необходимо затратить некоторое количество работы. Поэтому при кипении из верхнего слоя жидкости может вырваться та молекула, которая в состоянии преодолеть силы сцепления между молекулами в самой жидкости. Определялось поверхностное натяжение методом Ребиндера [5]. Относительная погрешность измерения по этой методике, составляет $\delta\sigma = \pm 1,16\%$, что является достаточным для проведения инженерных расчетов [15].

Теплопроводность λ , (Вт/(м·К)) характеризует перенос энергии внутри тела от более нагретой части к менее нагретой. Поэтому является важной величиной при расчете тепломассообменных процессов. Для исследования теплопроводности был использован наиболее простой и часто используемый метод Христиансона [10]. Метод основан на сравнении образца материала X с эталоном N, обладающим хорошо изученной и неподвергающейся изменениям теплопроводностью. Относительная погрешность измерения теплопроводности по этой методике составляет $\delta_\lambda = \pm 2,14\%$ [8].

Теплоемкость c , кДж/(кг·К) определяет отношение полученной телом теплоты к приращению его температуры. Этот параметр является, безусловно, важной характеристикой без которой, при расчете тепловых процессов обойтись невозможно. Для определения удельной теплоемкости экстрактов был выбран калориметрический метод, описанный в [10] и основанный на измерении времени изменения температуры жидкости при известном количестве подводимой энергии. Относительная погрешность измерений этим способом $\delta_c = \pm 4,44\%$ [8].

Результаты и их обсуждение

Полученные опытные данные были обработаны на ЭВМ в среде программы статистической обработки данных STATISTICA 10 и EXCEL. В результате получены поверхности отклика для их графического анализа.

Зависимость плотности экстракта листьев крапивы от концентрации и температуры изображена на рис. 1. Из представленных поверхностей отклика видно, что плотность экстрактов снижается с увеличением температуры, это вполне объяснимо присутствием воды, плотность которой также снижается по мере возрастания температуры. Так как плотность сухих водорастворимых веществ значительно больше плотности воды, то при увеличении концентрации сухих веществ увеличивается и плотность экстрактов.

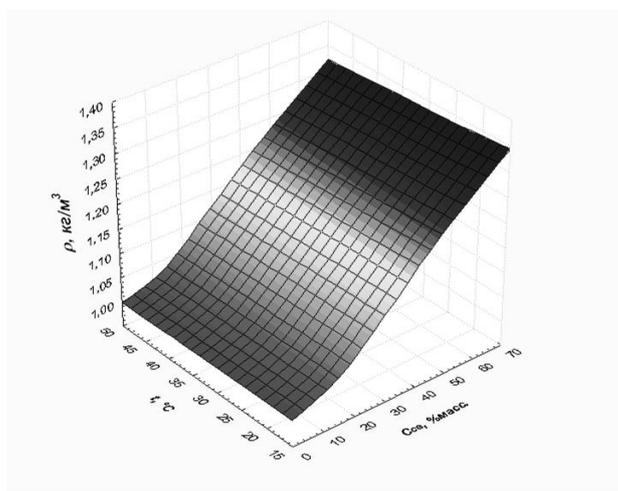


Рис. 1. Зависимость плотности экстрактов листьев крапивы двудомной от температуры и концентрации сухих веществ

Из данных на рис. 2 видно, что увеличение температуры приводит к снижению вязкости. Так как текучесть жидкости обусловлена, прежде всего, межмолекулярным взаимодействием. Большая температура придает молекулам большую подвижность. Так как для перемещения молекулы в жидкости необходимым является условие – возникновение в соседнем слое молекул полости, на образование которой и расходуется энергия активации вязкого течения, которая снижается с повышением температуры. Кроме того экстракты содержат высокомолекулярные соединения, тепловые колебания которых, при одной и той же температуре ниже чем у молекул воды, поэтому с увеличением концентрации вязкость увеличивается.

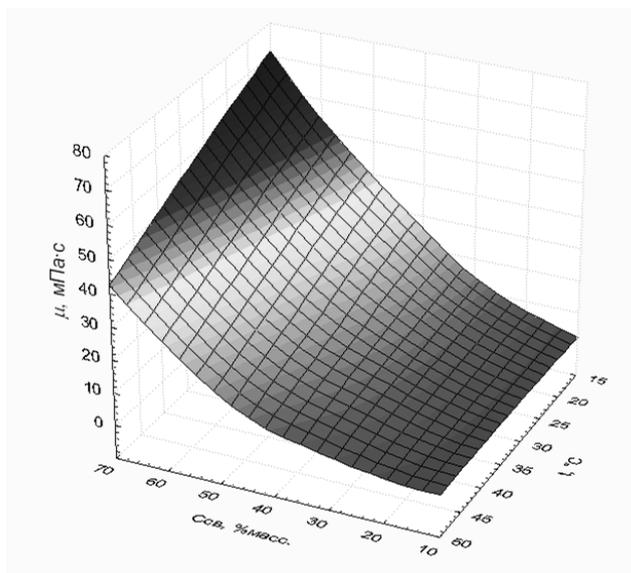


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости экстрактов листьев крапивы двудомной от температуры и концентрации сухих веществ

Поверхности отклика, отображающие картину экспериментальных исследований зависимостей поверхностного натяжения экстрактов листьев крапивы двудомной от температуры и концентрации сухих веществ изображены на рис. 3. Уменьшение поверхностного натяжения с увеличением концентрации сухих веществ и температуры объясняется тем, что с увеличением температуры интенсивность межмолекулярного взаимодействия уменьшается, поэтому снижается и поверхностное натяжение жидкостей на границе с воздухом или с собственным паром.

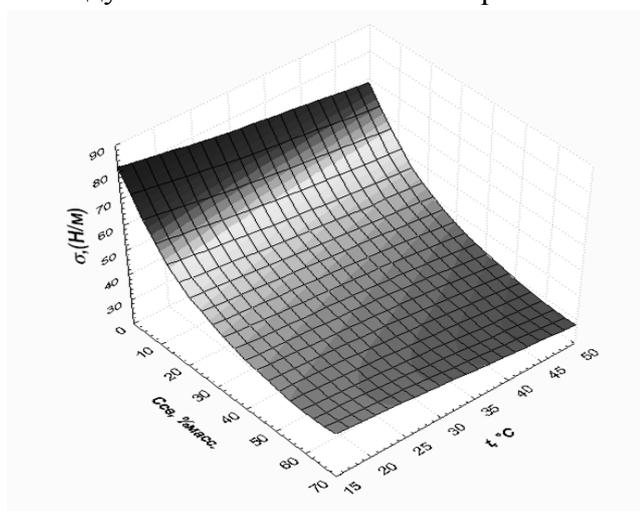


Рис. 3. Зависимость поверхностного натяжения экстрактов листьев крапивы двудомной от температуры и концентрации сухих веществ

На рис. 4 представлена зависимость коэффициента теплопроводности от температуры и содержания сухих веществ. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что теплопроводность экстрактивных веществ меньше чем теплопроводность присутствующей в экстракте воды. Об этом говорит увеличение коэффициента теплопроводности с увеличением температуры и уменьшением концентрации. Так как при разбавлении изменяется плотность и молекулярный состав экстракта.

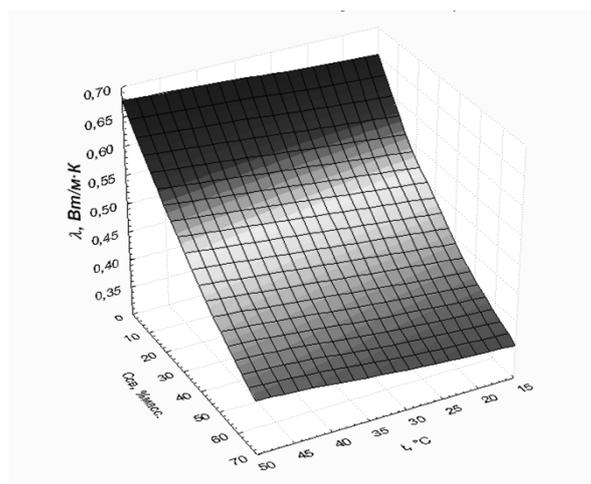


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности экстрактов листьев крапивы двудомной от температуры и концентрации сухих веществ

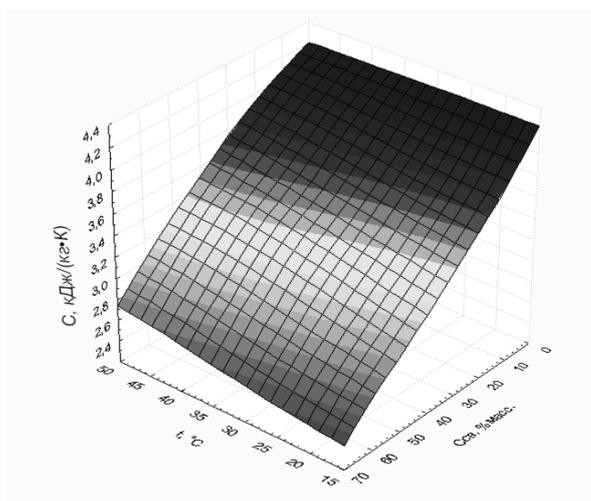


Рис. 5. Зависимость коэффициента теплоемкости экстрактов листьев крапивы двудомной от температуры и концентрации сухих веществ

Графическое решение результатов исследования удельной теплоёмкости экстрактов, представлено на рис. 5. Анализируя поверхность отклика, можно сказать, что повышение температуры приводит к возрастанию удельной теплоёмкости. Это связано с ослаблением, под действием температуры, межмолекулярных связей внутри экстрактов. Возрастание теплоемкости с уменьшением концентрации так же обусловлено присутствием в экстракте воды.

В результате обработки экспериментальных данных в среде статистического пакета STATISTICA 8.0 были получены статистические модели, описывающие ФХС и ТФХ экстрактов. Для плотности, ρ уравнения имеют вид:

$$\rho_k = 997,298386 + 4,915039 \cdot C_{св} - 369,43 \cdot t, R = 98,2 \%, \quad (1)$$

где R – коэффициент множественной корреляции, показывающий величину соответствия полученной математической модели экспериментальным данным.

Для вязкости, μ :

$$\mu_k = -2,96192 + \exp(2,00732 + 0,039373 \cdot C_{св} - 0,017842 \cdot t), R = 99,3\%; \quad (2)$$

Для поверхностного натяжения, σ :

$$\sigma_k = 28,38879 + \exp(4,04306 - 0,03683 \cdot C_{св} - 0,01245 \cdot t), R = 99,1\%; \quad (3)$$

Для теплопроводности, λ :

$$\lambda_k = 0,599992 - 0,00413821 \cdot C_{св} + 0,0012643 \cdot t, R = 99,2\%; \quad (4)$$

Для теплоемкости, c :

$$c_k = 3,944955 - 0,02170677 \cdot C_{св} + 0,0079749 \cdot t, R = 98,7\%; \quad (5)$$

Как показали проведенные исследования, ФХС и ТФХ экстрактов листьев крапивы в значительной мере зависят от температуры и концентрации сухих веществ. Данные о ФХС и ТФХ являются необходимыми при расчете режимных и конструктивных параметров технологического оборудования.

Литература

1. Агротехника выращивания крапивы. Использование крапивы на корм [Электронный источник]. URL: <http://urozhayna-gryadka.narod.ru/krapiva.htm> (дата обращения 15.03.2015).
2. Крапива двудомная: признаки, место произрастания, ареал, общие сведения, медицинское значение [Электронный источник]. URL: http://mr-1.ru/PHOTO/PLANTS/urtica_dioica.htm (дата обращения 15.03.2015).
3. Nature's nourishing botanical. *Soap and Cosmet.* 2000. V. 76, no. 12, pp. 51-54.
4. Thornhill SM., Kelly A.M. Natural treatment of perennial allergic rhinitis. *Altern Med Rev.* 2000. V.5(5), pp. 448-454/
5. Анисимова Л.С., Пикула Н.П., Михеева Е.В. Практикум по физической и коллоидной химии: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 108 с.
6. ГОСТ 28562-90. *Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ.* Введ. 1991-07-01. М.: Стандартиформ, 2010. 12 с.
7. ГОСТ 29030 – 91. *Продукты переработки плодов и овощей. Пикнометрический метод определения относительной плотности и содержания растворимых сухих веществ.* Введ. 1992-01-07. М.: Стандартиформ, 2010. 8 с.
8. Гриценко В.В. Интенсификация теплообмена в роторном распылительном испарителе: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2009. С. 110-121.
9. Коржавых В. Фитопрепараты на зарубежном фармацевтическом рынке // *Фармацевтический мир.* 1997. № 2. С. 41-43.
10. Лыков А.В. Методы определения теплопроводности температуропроводности. М.: Энергия, 1973. 336 с.
11. Павлов С.С., Кравченко С.Н. Производство обогащенных продуктов с использованием экстрактов и их товароведная оценка. Кемерово: Российские университеты, Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. 151 с.
12. Пластинина З.А. Разработка путей использования крапивы коноплевой как биологически активного компонента в колбасных изделиях: дис. ... канд. техн. наук. Улан-Уде, 1995. С. 172-185.
13. Попов И.П., Шпанько Д.Н., Черкасова Е.А. Некоторые товароведческие показатели крапивы двудомной и крапивы Коноплевой // *Техника и технология пищевых производств.* 2009. № 3. С. 57.
14. Сорокопуд А.Ф., Дубинина Н.В. Об использовании растительных ресурсов для обогащения продуктов питания. М., 2008. 10 с. Деп. в ЦИИТЭИагропром 18.02.08, № 3.
15. Сорокопуд А.Ф. Разработка и совершенствование роторных распылительных аппаратов с целью интенсификации процессов в гетерогенных газожидкостных системах: дис. ... докт. техн. наук. Кемерово, 1998. 529 с.
16. Трубников Г.А., Журавлев Ю.И. Антиоксиданты в комплексной терапии больных хроническим бронхитом // *Рос. мед. журн.* 1998. № 2. С.38-41.

References

1. *Agrotehnika vyrashchivaniya krapivy. Ispol'zovanie krapivy na korm.* URL: <http://urozhayna-gryadka.narod.ru/krapiva.htm> (data obrashcheniya 15.03.2015).
2. *Krapiva dvudomnaya: priznaki, mesto proizrastaniya, areal, obshchie svedeniya, meditsinskoe znachenie.* URL: http://mr-1.ru/PHOTO/PLANTS/urtica_dioica.htm (data obrashcheniya 15.03.2015).
3. Nature's nourishing botanical. *Soap and Cosmet.* 2000. V. 76, no. 12, pp. 51-54.
4. Thornhill SM., Kelly A.M. Natural treatment of perennial allergic rhinitis. *Altern Med Rev.* 2000. V.5(5), pp. 448-454/
5. Anisimova L.S., Pikula N.P., Mikheeva E.V. *Praktikum po fizicheskoi i kolloidnoi khimii: uchebnoe posobie.* Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. 108 p.
6. GOST 28562-90. *Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Refraktometricheskii metod opredeleniya rastvorimyykh sukhikh veshchestv.* Vved. 1991-07-01. M.: Standartinform, 2010. 12p.
7. GOST 29030 – 91. *Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Piknometricheskii metod opredeleniya odnositel'noi plotnosti i sodержaniya rastvorimyykh sukhikh veshchestv.* Vved. 1992-01-07. M.: Standartinform, 2010. 8 p.
8. Gritsenko V.V. Intensifikatsiya teploobmena v rotornom raspylitel'nom isparitele. *Candidate's thesis.* Kemerovo, 2009. pp. 110-121.
9. Korzhavykh V. Fitopreparaty na zarubezhnom farmatsevticheskom rynke. *Farmatsevticheskii mir.* 1997. № 2. pp. 41-43.
10. Lykov A.V. *Metody opredeleniya teploprovodnosti temperaturoprovodnosti.* M.: Energiya, 1973. 336 p.
11. Pavlov S.S., Kravchenko S.N. *Proizvodstvo obogashchennykh produktov s ispol'zovaniem ekstraktov i ikh tovarovednaya otsenka.* Kemerovo: Rossiiskie universitety, Kuzbassvuzizdat – ASTSh, 2006. 151 p.
12. Platinina Z.A. Razrabotka putei ispol'zovaniya krapivy konoplevoi kak biologicheskii aktivnogo komponenta v kolbasnykh izdeliyakh. *Candidate's thesis.* Ulan-Ude, 1995. pp. 172-185.
13. Popov I.P., Shpan'ko D.N., Cherkasova E.A. Nekotorye tovarovedcheskie pokazateli krapivy dvudomnoi i krapivy Konoplevoi. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv.* 2009. № 3. P. 57.
14. Sorokopud A.F., Dubinina N.V. *Ob ispol'zovanii rastitel'nykh resursov dlya obogashcheniya produktov pitaniya.* M., 2008. 10 p. Dep. v TsliTEIagroprom 18.02.08, № 3.
15. Sorokopud A.F. Razrabotka i sovershenstvovanie rotornykh raspylitel'nykh apparatov s tsel'yu intensivatsii protsessov v geterogennykh gazozhidkostnykh sistemakh. *Doctor's thesis.* Kemerovo, 1998. 529 p.
16. Trubnikov G.A., Zhuravlev Yu.I. Antioksidanty v kompleksnoi terapii bol'nykh khronicheskim bronkhitom. *Ros. med. zhurn.* 1998. № 2. pp. 38-41.