

УДК 663.44

Физико-химические свойства экстрактов ягод клюквы**М.В. Суменков**, sumenkov@avtодук.ruООО «Автоцентр Дюк и К»
650024, Россия, Кемерово, ул. Баумана, 55Канд. техн. наук **А.Ф. Сорокопуд** (научный руководитель)Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)
650056, Россия, Кемерово, б-р Строителей, 47

Приведены результаты экспериментальных исследований физико-химических свойств водных экстрактов ягод клюквы (плотность, вязкость, поверхностное натяжение). Исследования выполнены с использованием методик, получивших широкое распространение в экспериментальной практике: плотность – с применением пикнометров, вязкость – капиллярными вискозиметрами, поверхностное натяжение с использованием прибора Ребендера. Диапазоны варьирования исследуемых параметров приняты из практических соображений. Содержание сухих водорастворимых веществ (5...32% масс.) исходя из отсутствия необходимости глубокого концентрирования экстрактов, поскольку предполагается их быстрое использование. Температура (20...50°C) экстрактов связана с присутствием в них термолабильных компонентов. Содержание сухих водорастворимых веществ определялось рефракметрическим методом.

Для получения экстрактов (модельных систем) использовалась ягода клюквы урожая 2007 года, собранная в Томской области. Экстракт получали методом традиционного настаивания, затем фильтровали под вакуумом и упаривали при температуре 45°C под вакуумом на лабораторной выпарной установке до содержания сухих веществ 32% масс. Этот концентрат хранился в холодильнике и при необходимости разводился дистиллированной водой до необходимой концентрации.

Шаг изменения параметров составлял: $\Delta t = 5^\circ\text{C}$; $\Delta C = 7\%$ масс. Количество повторов измерений составляло 3–7 раз. Обработка полученных данных на ЭВМ с использованием программ статистической обработки позволила получить экспериментально статистические модели, пригодные для инженерной практики при определении физико-химических свойств водных экстрактов клюквы.

Ключевые слова: экстракт клюквы; плотность; вязкость; поверхностное натяжение; температура; сухие водорастворимые вещества.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-1-118-125

Physico-chemical properties of cranberry extract**Maxim V. Sumenkov**, sumenkov@avtодук.ru"Autocenter Duke" LLC
650024, Russia, Kemerovo, Bauman str., 55Ph.D. **Alexander F. Sorokopud** (research supervisor)Kemerovo Institute of Food Science and Technology
650056, Russia, Kemerovo, Stroiteley blvd., 47

The results of experimental studies of cranberry water extract physico-chemical properties (density, viscosity, surface tension) are shown. The studies were performed by well-known experimental techniques: density was fixed by pycnometer, viscosity – by capillary viscometers, surface tension – by Rebindex device.

The ranges of variation of the investigated parameters was chosen for practical reasons. The content of dry soluble substances (5...32 % mass) was based on the fact that there is no need to concentrate the extracts deeply due to their rapid use. Temperature of the extracts (20...50°C) is determined by the presence of thermolabile components. The content of dry soluble substances was determined by reparametrization method.

To obtain the extracts (model systems) cranberry harvested in 2007 in Tomsk region was used. The extract was obtained by conventional maceration filtered under vacuum and evaporated at the temperature of 45°C under vacuum at laboratory evaporation plant up to solid content of 32% mass. This concentrate was stored refrigerated and, when necessary, was diluted with distilled water to a desired concentration.

The measurement interval for the parameters was $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$; $\Delta C = 7\%$ mass. The number of measurement repetitions was 3–7 times. Computer processing of the experimental data using statistical software allowed obtaining experimental–statistic models suitable for engineering practice in determining the physic-chemical properties of cranberry water extracts.

Keywords: cranberry extract; density; viscosity; surface tension; temperature; dry water-soluble substances.

Введение

Применение экстрактов из сырья природного происхождения приобретает все большую актуальность при производстве продуктов питания [1, 2]. Эта тенденция наблюдается во многих странах мира, а также в России. Экстрагирование природного растительного сырья с целью выделения полезных веществ, содержащихся в нем, является одним из наиболее распространенных способов переработки. Он позволяет успешно решать целый ряд технологических вопросов: хранение, транспортировка, дозирование экстракта в продукт и т.п. В этой связи актуален процесс концентрирования экстрактов. Для осуществления перечисленных и ряда других операций при производстве концентрированных экстрактов необходимы сведения об их физико-химических свойствах [2, 3] как для определения наиболее рациональных режимов процесса и размеров оборудования, так и выбора наименьших энергозатрат на процесс. Все это неизбежно отразится на себестоимости продукта, капитальных и текущих затратах производства.

В статье приведены результаты исследования физико-химических свойств экстрактов ягод клюквы в зависимости от содержания сухих веществ и температуры, полученные с использованием наиболее распространенных методов исследования в экспериментальной практике: плотность – пикнометрическим [4], вязкость – капиллярными вискозиметрами [5], поверхностное натяжение – методом Ребиндера [6]. Полученные результаты представлены в виде уравнений множественной регрессии в широком диапазоне изменения температур и содержания сухих веществ, что позволяет формулировать необходимые предпосылки к условиям промышленной переработки ягод клюквы в качестве источника витаминов и биологически активных веществ [7].

Проблемы, связанные с созданием и совершенствованием технологии и аппаратного оформления процессов переработки плодово-ягодного сырья, не могут быть успешно решены без соответствующей базы пищевой информатики, связанной с определением физико-химических, тепло-физических, структурно-механических и других свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции [2]. При этом необходимо создание информационно-поисковых систем либо банка данных по этим свойствам. Отсутствие таких данных объясняется известным консерватизмом в перерабатывающих отраслях агропромышленного комплекса, зависимостью свойств плодово-ягодного сырья от почвенно-климатических условий, условий созревания и многих других факторов, что в известной степени усложняет получение обобщенных данных [1].

Тем не менее, создание и развитие информационной базы по свойствам нетрадиционных видов плодово-ягодного сырья является актуальной задачей в условиях жесткой конкуренции различных видов продукции пищевого назначения на потребительском рынке [8–11].

Особую значимость приобретают сведения о физико-химических свойствах (плотность – ρ ; вязкость – μ ; поверхностное натяжение – σ), поскольку они характеризуют параметры продукта переработки вблизи точек фазовых переходов и в значительной мере определяют габаритные размеры создаваемого оборудования. Это в первую очередь относится к тепло-массообменному оборудованию

[3, 5], поскольку получение качественных экстрактов, их концентратов и продуктов на их основе существенно зависит от условий экстрагирования, концентрирования, термообработки и т.д.

Особый интерес при производстве экстрактов вызывают плоды и ягоды, издавна известные своими целебными свойствами [7, 12, 13]. Большую значимость при этом плодово-ягодному сырью придает широкая доступность на территории России, в частности, Западной Сибири. Это позволяет существенно сократить затраты на транспортировку и хранение. Клюква достаточно широко распространена на территории России, растет на болотах и заболоченных местах. Плоды содержат до 250 мг% Р-активных соединений, до 30 мг% аскорбиновой кислоты, а также витамины группы В, микроэлементы (калий, натрий, кальций, магний, фосфор, железо), органические кислоты, пектиновые вещества. Клюква содержит бензойную кислоту, которая обладает сильным противомикробным свойством. Это ягода оказывает тонизирующее действие на организм человека и повышает умственную деятельность и физическую трудоспособность [12, 13].

Целесообразность концентрирования экстрактов объясняется тем, что с повышением концентрации сухих веществ дольше сохраняются полезные свойства. Экстракты отличаются простотой дозирования и внесения в продукт. Получение концентрированных экстрактов позволяет увеличить содержание полезных веществ на единицу объема, в связи с чем сокращаются расходы на транспортировку и хранение.

Полезные вещества, содержащиеся в клюкве, в большинстве термолабильны, что накладывает ограничение на условия концентрирования, особенно при упаривании, которое зачастую проводят под вакуумом. В этой связи большую значимость приобретают сведения о физико-химических свойствах экстрактов клюквы, характеризующие параметры раствора в процессе переработки, что во многом определяет габаритные размеры технологического оборудования (выпарного аппарата, подогревателей, пастеризационно-охладительной установки и т.д.).

Целью настоящей работы, которая проводилась в Кемеровском техническом институте пищевой промышленности, является изучение физико-химических свойств водных экстрактов клюквы.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись водные экстракты ягод клюквы, собранных в Томской области.

Ягода замораживалась в бытовой морозильной камере при температуре минус 18°C и хранилась не более восьми месяцев. Экстракты (модельные растворы) готовили следующим образом. Полученные на вибрационном аппарате водные суспензии фильтровались на вакуум-фильтрационной установке для отделения остатков ягод клюквы. Осветленный экстракт упаривался на лабораторной вакуум – выпарной установке при температуре не выше 48°C до содержания сухих веществ $C_c = 32\%$ масс. Содержание сухих веществ в экстракте определялось рефрактометрическим методом [14]. Предел допустимой погрешности измерения по шкале сухих веществ по сахарозе не превышал $\pm 0,01\%$.

Получение экстрактов (модельных растворов) с необходимым содержанием сухих веществ осуществлялось путем разбавления концентрата (32% масс.) дистиллированной водой. Интервал изменения содержания сухих веществ 5...32% масс., шаг варьирования $\Delta C = 7\%$ масс. Границы изменения температуры $t = 20 \dots 50^\circ\text{C}$, шаг варьирования $\Delta t = 5^\circ\text{C}$.

Плотность ρ (кг/м³) является важным физико-химическим параметром при расчете режимов течения и взаимодействия экстрактов. Высококачественным методом измерения относительной плотности является широко известный пикнометрический метод. Погрешность данного метода не превышает 0,1% [4].

Вязкость является весомым физико-химическим параметром при расчете режимов течения экстрактов, взаимодействия контактирующих фаз, при подборе технологического оборудования. Вязкость определяется величиной трения, возникающей между слоями жидкости, движущимися с различной скоростью относительно друг друга. Таким образом, вязкость влияет на режимы течения

жидкости, а следовательно, и на условия проведения процессов тепло- и массообмена. Для измерения динамической вязкости μ (Па·с) использовали вискозиметры ВПЖ-2 и ВПЖ-4 с диаметром капилляра 0,92 и 1,93 мм соответственно. Относительная погрешность измерения вязкости с помощью указанных вискозиметров при 3–5 кратном повторении замеров не превышала $\pm 4,6\%$ [3, 14].

Поверхностное натяжение σ (Н/м) оказывает определяющее влияние на процесс парообразования. Это связано с тем, что на поверхности молекул жидкости, неуравновешенных межмолекулярными силами, создается в поверхностном слое свободная поверхностная энергия, которая стремится уменьшиться. На поверхности жидкости образуется пленка, обладающая определенным поверхностным натяжением. Для его преодоления необходимо затратить определенное количество работы. Поэтому при кипении жидкости из ее верхнего слоя может вырваться только та молекула, которая в состоянии преодолеть силы сцепления между молекулами в самой жидкости. Поверхностное натяжение определяли по методу Ребиндера [6], получившему широкое применение в экспериментальных исследованиях. Относительная погрешность измерения по этой методике при 5–7 кратном повторении, не превышает 1% [3].

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований физико-химических свойств водных экстрактов клюквы были обработаны в среде программ статистической обработки данных Statistica 10 и Excel. Это позволило получить графические зависимости (рисунки 1–3).

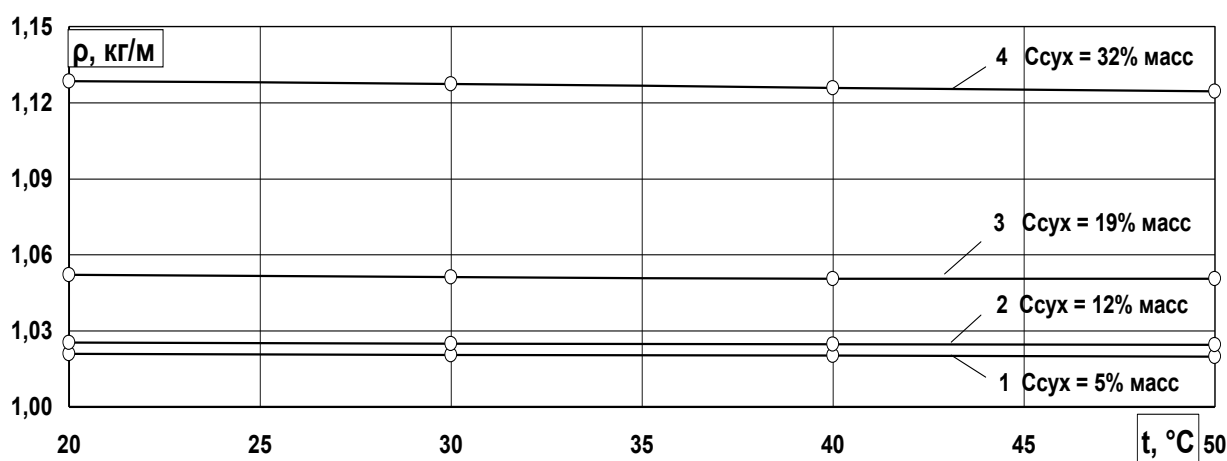


Рисунок 1 – Зависимость плотности экстракта клюквы от температуры

Из представленных на рисунке 1 данных видно, что плотность экстракта клюквы снижается с повышением температуры. Поскольку плотность сухих водорастворимых веществ значительно больше плотности воды, то при увеличении содержания сухих веществ возрастает и плотность экстрактов.

Повышение температуры приводит к снижению вязкости экстрактов (рисунок 2) поскольку текучесть жидкости обусловлена, главным образом, молекулярным взаимодействием. Повышение температуры придает молекулам экстракта большую подвижность, поскольку для перемещения молекул в жидкости необходимым является условие возникновения в соседнем слое молекул полости, на образование которой расходуется энергия активации вязкого течения. Эта энергия снижается с повышением температуры. Экстракты содержат различные высокомолекулярные соединения, тепловые колебания которых, при одинаковой температуре ниже, чем у молекул воды, поэтому с увеличением содержания сухих веществ вязкость возрастает.

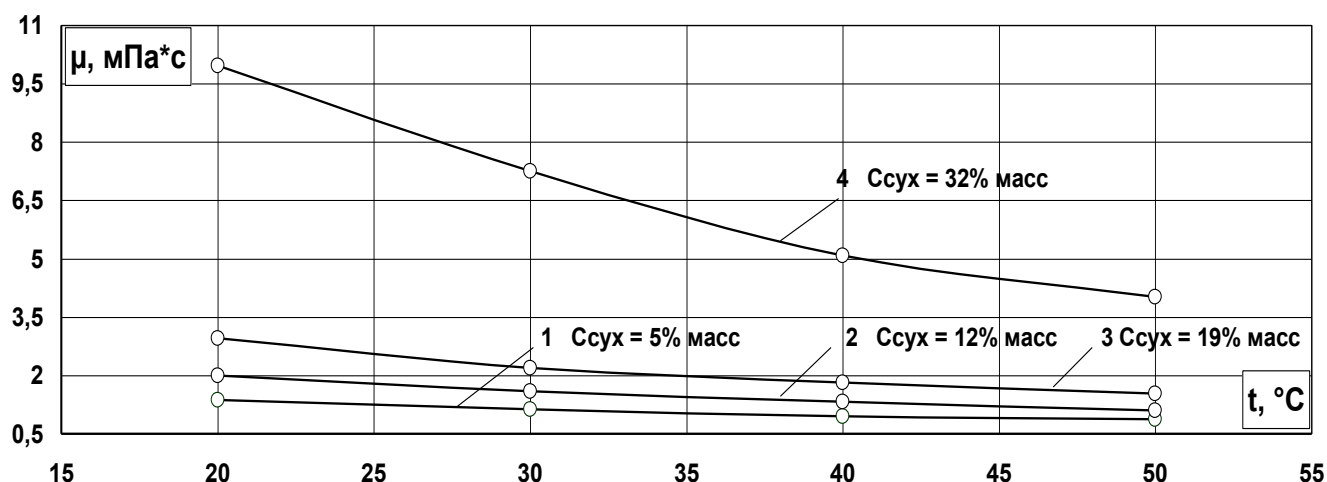


Рисунок 2 – Зависимость вязкости экстракта клюквы от температуры

Снижение поверхностного натяжения с увеличением содержания сухих веществ и температуры связано с тем, что с возрастанием температуры объясняется тем, что возрастание температуры снижает интенсивность межмолекулярного взаимодействия, поэтому и снижается поверхностное натяжение жидкостей на границе с воздухом или с собственным паром (рисунок 3).

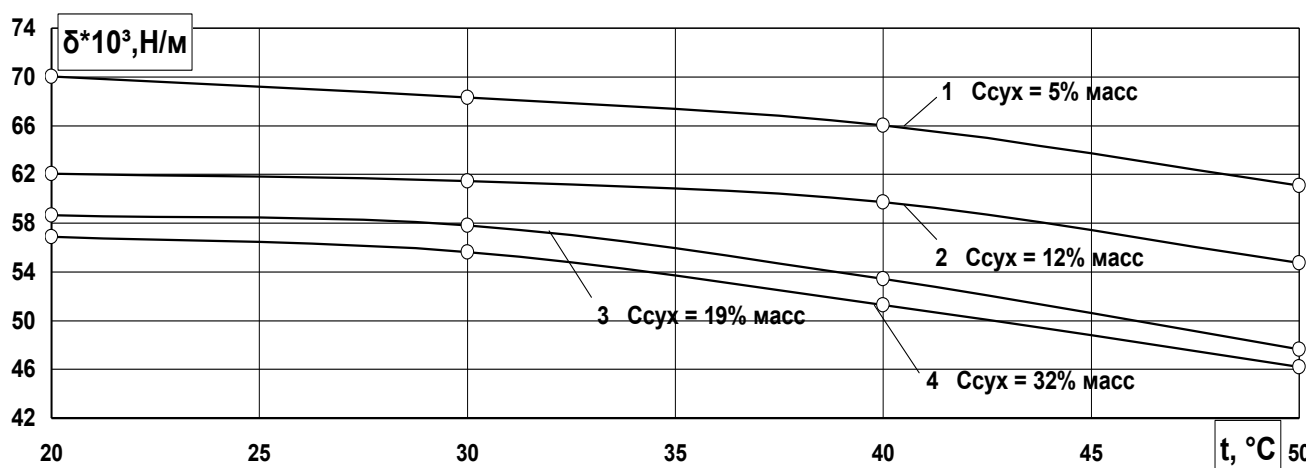


Рисунок 3 – Зависимость поверхностного натяжения экстракта клюквы от температуры

Обработка экспериментальных данных в среде статического пакета Statistica 8.0 позволила получить статистические модели, описывающие физико-химические свойства экстрактов клюквы:

$$\text{для плотности} \quad \rho = 0,988245 + 0,0041 \cdot C_c - 0,000063 \cdot t; \quad R = 0,96 \quad (1)$$

$$\text{для вязкости} \quad \mu = \exp(0,9339) \cdot C_c^{0,8844} \cdot t^{(-0,71655)}; \quad R = 0,92 \quad (2)$$

$$\text{для поверхностного натяжения} \quad \sigma = (\exp(5,017955) \cdot C_c^{(-0,13273)} \cdot t^{(-0,174959)}) \cdot 10^{-3}, \quad R = 96 \%. \quad (3)$$

Полученные статистические модели справедливы в диапазонах $t = 20 \dots 50^\circ\text{C}$; $C = 5 \dots 32\%$ масс.

Из анализа коэффициентов в уравнениях (1–3) можно установить влияние отдельных параметров на выходную величину.

Уравнения (1–3) были использованы для оценки физико-химических свойств экстрактов клюквы, получаемых в аппарате с вибрационной тарелкой по способу [15]. Особенность состоит в том, что переработке подвергаются с температурой минус 18°C , а экстрагент (вода) имеет температуру $18 \dots 20^\circ\text{C}$. В результате в рабочем объеме аппарата образуется экстракт с температурой $2 \dots 10^\circ\text{C}$, содержание

сухих водорастворимых веществ при однократном экстрагировании составляет 2...3,5% масс. Для таких условий уравнения (1–3) были экстраполированы. Результаты приведены в таблице.

Из представленных данных очевидно существенное повышение вязкости и поверхностного натяжения экстрактов по мере снижения их температуры. Это, безусловно, окажет влияние на энергозатраты при получении экстрактов в аппарате с вибрационной тарелкой.

Таблица – Физико-химические свойства экстракта клюквы

№ п/п	C_{CB}	t	ρ	μ	$\sigma \cdot 10^3$
	%масс	°С	кг/м ³	мПа·с	Н/м
1	5	20	1,0208	1,3722	70,02
2	5	30	1,0205	1,1308	68,29
3	5	40	1,02028	0,9452	66,03
4	5	50	1,0198	0,8707	61,07
5	12	20	1,0253	1,9984	62,06
6	12	30	1,0249	1,5949	61,45
7	12	40	1,0247	1,3272	59,73
8	12	50	1,0245	1,098	54,73
9	19	20	1,0519	2,9561	58,65
10	19	30	1,0513	2,2019	57,79
11	19	40	1,0506	1,8226	53,43
12	19	50	1,05057	1,533	47,64
13	32	20	1,1284	9,962	56,9
14	32	30	1,1273	7,2491	55,6
15	32	40	1,1258	5,0753	51,3
16	32	50	1,1245	4,024	46,2

Выводы

В ходе исследования температуры и содержания сухих веществ на плотность, вязкость и поверхностное натяжение водных экстрактов ягод клюквы получены экспериментально-статистические зависимости (1, 2, 3) для определения физико-химических свойств экстрактов клюквы. Они справедливы в диапазонах $t = 20...50^\circ\text{C}$, $C = 5...32\%$ масс. При этом надо иметь в виду, что снижение температуры экстракта при его получении увеличит энергозатраты, что связано с повышением вязкости и поверхностного натяжения (таблица).

Литература

1. ГОСТ 29030-91. Продукты переработки плодов и овощей. Пикнометрический метод определения относительной плотности и содержания растворимых сухих веществ. Введ. 01.07.1992. М.: Стандартинформ, 2010. 8 с.
2. Губанов И.А. Энциклопедия природы России. Пищевые растения. Справочное издание. М.: АБФ, 1996. 556 с.
3. Сорокопуд А.Ф., Плотников И.Б. Физико-химические свойства водных и водно-спиртовых экстрактов голубики // Пиво и напитки. 2010. № 6. С. 38–40.
4. Лавренков В.К., Лавренкова В.Г. Энциклопедия лекарственных растений. М.: ОЛМА–пресс. 1997. 736 с.
5. Минаева В.Г. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск: Наука, 1991. 431с.

6. Сорокопуд А.Ф., Суменков М.В. Способ получения экстрактов: пат. 2341979 Российская Федерация. 2008. Бюл. № 36. 4 с.
7. Попов А.М. Ресурсная оценка дикоросов Кемеровской области и проблемы их переработки // Материалы региональной выставки-ярмарки новых разработок и технологий в области пищевой и перерабатывающей промышленности, услуг в торговле и общественном питании. Кемерово. 2005. С. 54–61.
8. Практикум по физической и коллоидной химии: учебное пособие / под ред. С.В. Горбачева. М.: Высшая школа, 1979. 256 с.
9. Сорокопуд В.В., Плотников И.Б., Плотникова Л.В. Теплофизическая характеристика водных и водно-спиртовых экстрактов ягод клюквы и голубики // Химия растительного сырья. 2014. № 3. С. 28–31.
10. Григорьев В.А., Зорин В.М. (ред.) Тепло и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник. М.: Энергоиздат, 1982. 512 с.
11. Третьякова Н.Г. Совершенствование технологии производства пищевых продуктов с использованием роторного распылительного испарителя: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2002. 157 с.
12. ГОСТ 28562-90. Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. Введ. 01.07.1991. М.: Стандартиформ, 2010. 82 с.
13. Сорокопуд А.Ф., Иванов П.П. Исследования физико-химических свойств водных и водно-спиртовых экстрактов ирги и шиповника // Химия растительного сырья. 2002. № 12. С. 62–64.
14. Сорокопуд А.Ф., Иванов П.П. Плодово-ягодные экстракты Западной Сибири: теоретические и практические аспекты: монография. Кемерово, 2014. 136 с.
15. Сорокопуд А.Ф., Дубинина Н.В. Физико-химические свойства экстрактов плодов боярышника кроваво-красного и калины обыкновенной // Пиво и напитки. 2008. № 3. С. 30–31.

References

1. GOST 29030-91. *Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Piknometricheskii metod opredeleniya odnositel'noi plotnosti i sodержaniya rastvorimyykh sukhikh veshchestv* [State Standard 29030-91. Products of processing fruits and vegetables. Micrometrically method of determining the relative density and the content of soluble solids]. Moscow, Standartinform Publ., 2010, 8 p.
2. Gubanov I.A. *Entsiklopediya prirody Rossii. Pishchevye rasteniya* [The encyclopedia of nature of Russia. Food plants]. Reference book. Moscow, ABF Publ., 1996, 556 p.
3. Sorokopud A.F., Plotnikov I.B. Fiziko-khimicheskie svoistva vodnykh i vodno-spirovyykh ekstraktov golubiki [Physico-chemical properties of aqueous and hydroalcoholic extracts of blueberry]. *Beer and drinks*. 2010, no. 6, pp. 38–40.
4. Lavrenkov V.K., Lavrenkova V.G. *Entsiklopediya lekarstvennykh rastenii* [Encyclopedia of medicinal plants]. Moscow, OLMA-Press Publ., 1997, 736 p.
5. Minaeva V.G. *Lekarstvennye rasteniya Sibiri* [Medicinal plants of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, 431p.
6. Sorokopud A.F., Sumenkov M.V. *Sposob polucheniya ekstraktov* [The method of obtaining extracts]. Patent RF, no. 2341979. 2008.
7. Popov A.M. Resursnaya otsenka dikorosov Kemerovskoi oblasti i problemy ikh pererabotki [Resource assessment of wild plants of the Kemerovo region and problems of their processing]. *Proceedings of the regional fairs of new developments and technologies in the field of food processing industry and services in the trade and public catering*. Kemerovo, 2005, pp. 54–61.
8. *Praktikum po fizicheskoi kolloidnoi khimii* [Workshop on physical beer colloidal chemistry]. Textbook. In ed. S.V. Gorbacheva. Moscow, Higher school Publ., 1979, 256 p.
9. Sorokopud V.V., Plotnikov I.B., Plotnikova L.V. Teplofizicheskaya kharakteristika vodnykh i vodno-spirovyykh ekstraktov yagod klyukvy i golubiki [Thermophysical characterization of aqueous and hydroalcoholic extracts of cranberries and blueberries]. *Chemistry of vegetable raw materials*. 2014, no. 3, pp. 28–31.
10. Grigor'ev V.A., Zorin V.M. (red.) *Teplo i massoobmen. Teplotekhnicheskii eksperiment* [Heat and mass transfer. Thermal engineering experiment]. Handbook. Moscow, Energoizdat Publ., 1982, 512 p.
11. Tret'yakova N.G. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva pishchevykh produktov s ispol'zovaniem rotornogo raspylitel'nogo isparielya [Improvement of the production technology of foodstuff with use of rotor raspylitelny isparielya]. *Candidate's thesis*. Kemerovo, 2002, 157 p.
12. GOST 28562-90. *Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Refraktometricheskii metod opredeleniya rastvorimyykh sukhikh veshchestv* [State Standard 28562-90. Products of processing fruits and vegetables. Refractometric method for determination of soluble dry substances]. Moscow, Standartinform Publ., 2010, 82 p.

13. Sorokopud A.F., Ivanov P.P. Issledovaniya fiziko-khimicheskikh svoistv vodnykh i vodno-spirtovykh ekstraktov irgi i shipovnika [The study of physico-chemical properties of aqueous and hydroalcoholic extracts of amelanchier, and Rosa canina]. *Chemistry of vegetable raw materials*. 2002, no. 12, p. 62–64.
14. Sorokopud A.F., Ivanov P.P. *Plodovo-yagodnye ekstrakty Zapadnoi Sibiri: teoreticheskie i prakticheskie aspekty* [Fruit extracts in Western Siberia: theoretical and practical aspects]. Kemerovo, 2014, 136 p.
15. Sorokopud A.F., Dubinina N.V. *Fiziko-khimicheskoe svoistv ekstraktov plodov boyaryshnika krovavo-krasnogo i kaliny obyknovennoi* [Physico-chemical properties of extracts of fruits of hawthorn blood – red, and viburnum]. *Beer and drinks*. 2008, no. 3, pp. 30–31.

Статья поступила в редакцию 02.02.2016