

УДК 615.322:547.913(571)

## ПОЛУЧЕНИЕ МАСЛА ИЗ ЯГОД МОРОШКИ ЭКСТРАКЦИЕЙ СВЕРХКРИТИЧЕСКИМ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

© *А.Д. Ивахнов<sup>1,2\*</sup>, К.С. Садкова<sup>1</sup>, А.С. Собашникова<sup>1</sup>, Т.Э. Скребец<sup>1</sup>, М.В. Богданов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, Архангельск, 163002 (Россия), e-mail: ivahnov-tema@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, наб. Северной Двины, 23, Архангельск, 163002 (Россия)*

Выполнены сопоставительные исследования способов выделения масла из отработанных плодов морошки (*Rubus chamaemorus*) с применением в качестве растворителей гексана и сверхкритического диоксида углерода. Проведена оптимизация и определены оптимальные условия сверхкритической флюидной экстракции масла с использованием ротатбельного композиционного равномерного плана 2-го порядка. Оптимальными условиями проведения процесса являются давление диоксида углерода 350 атм, температура 85 °С, продолжительность экстракции 80 мин. Выход масла составляет 9.0%. Определены основные показатели качества получаемого масла и его жирнокислотный состав. Отличие масла, полученного методом СКФЭ-СО<sub>2</sub>, от масла, получаемого экстракцией гексаном, заключается в улучшении органолептических свойств, повышенной доле связанных жирных кислот при уменьшении доли свободных кислот и большим содержанием ненасыщенных жирных кислот. Показано, что сверхкритический диоксид углерода может являться альтернативой традиционно используемому для этих целей углеводородом.

*Ключевые слова:* морошка, масло, ликероводочное производство, сверхкритическая флюидная экстракция, диоксид углерода, состав.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-44-292002 р\_мк с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета.*

### **Введение**

Плоды морошки являются сырьем для ликероводочной промышленности (производство бальзамов, наливок, сладких и горьких настоек, винных напитков). Для изготовления 10000 л десертного напитка «Морошка» крепостью 16% используют до 4000 кг ягод натуральной влажности, или до 1000 кг сырья в пересчете на сухие ягоды [1]. В качестве отхода производства остается жмых, который содержит в своем составе биологически активные вещества и, следовательно, пригоден для вторичной переработки. Среди БАВ, содержащихся в жмыхе, до 12% составляют липиды.

*Ивахнов Артём Дмитриевич* – кандидат химических наук, старший научный сотрудник,

e-mail: ivahnov-tema@yandex.ru

*Садкова Кристина Сергеевна* – студентка,

e-mail: sadkova.k@yandex.ru

*Собашникова Алина Сергеевна* – студентка,

e-mail: sobashnickova.alina@yandex.ru

*Скребец Татьяна Эдуардовна* – кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии, e-mail: t.skrebets@agtu.ru

*Богданов Михаил Владиславович* – кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии, e-mail: bmvnmicha@mail.ru

Основное количество липидов сосредоточено в семенах морошки и колеблется в пределах 4.1–12.4%. Наибольшее их содержание отмечено в морошке, произрастающей в северных регионах. В жирнокислотном составе липидов преобладают олеиновая (18:1), линолевая (18:2) и линоленовая (18:3) кислоты. На долю данных кислот приходится 92–93% масс от всех жирных кислот, содержащихся в липидах. Из насыщенных жирных кислот только количество пальмитиновой кислоты доходит до 2% [2].

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Разработка эффективных технологий переработки жмыха является актуальной проблемой для ликероводочной промышленности.

Сверхкритический диоксид углерода, являясь неполярным растворителем, преимущественно экстрагирует из сырья липофильные компоненты и, прежде всего, липиды. Ягоды морошки, подвергнутые настаиванию в водном растворе этилового спирта, сохраняют в своем составе масла практически полностью [3].

Традиционный способ оптимизации технологического процесса (OVAT), подразумевает одновременное изменение величины только одного из влияющих факторов и его оценку на изменение оптимизируемой сложной системы в целом. Данный подход требует проведения большого числа экспериментов для получения математической модели, адекватно описывающей исследуемый процесс. Кроме того, данный метод не учитывает взаимное влияние факторов и обычно приводит к неправильным оптимальным условиям. В связи с этим в настоящее время особое внимание уделяется применению методов активного планированного многофакторного эксперимента (CCD). Методы основаны на общих подходах в получении и анализе поверхностей отклика (RSM) [4].

Kassama et al. [5] использовали этот метод для оптимизации процесса сверхкритической экстракции диоксидом углерода ликопина из кожуры томатов, являющейся отходом пищевых производств. Аналогичный подход использован для оптимизации экстракции отходов переработки винограда [6], граната [7], выделения фосфолипидов из пальмового волокна [8]. Как правило, в подобных работах используются методы построения униформ-планов второго порядка, позволяющие получить квадратичную регрессионную модель в виде полинома второй степени, учитывающую влияние на процесс не менее трёх факторов [9]. Полученная регрессионная модель исследуется обычными методами исследования функций.

Таким образом, цель данной работы – оптимизация условий сверхкритической флюидной экстракции жмыха плодов морошки методом полного факторного эксперимента. Основным оптимизируемым параметром являлся выход масла при проведении эксперимента в технологически приемлемых условиях.

### **Объект и методы исследования**

В качестве образца использован жмых ягод морошки, предоставленный ООО «Архангельский ликероводочный завод». Образец был высушен при 105 °С до влажности 5%. Сухое сырье подвергали размолу в лабораторной мельнице, для исследования отобрана фракция 2.0–0.2 мм, составляющая 80% от размолотого образца.

Сверхкритическая флюидная экстракция выполнена на установке MV-10ASFE (Waters, США), описание которой представлено в одной из наших предыдущих работ [10].

Навеску сырья (2 г) помещали в автоклав объемом 10 мл и обрабатывали диоксидом углерода при заданных параметрах при скорости потока CO<sub>2</sub> 2 мл/мин (температура теплообменника, охлаждающего насос и измеритель потока, 2 °С). В ходе эксперимента температуру, давление и продолжительность варьировали в соответствии с заданными по плану эксперимента. Экстракт принимали в стеклянные виалы. Выход экстракта определяли гравиметрически по массе экстракта.

Для определения жирнокислотного состава полученных масел использовали метод газожидкостной хроматографии по ГОСТ 30418-96 с предварительным щелочным гидролизом и получением метиловых эфиров жирных кислот [11]. Количественное определение метиловых эфиров жирных кислот проводили, используя хроматограф Agilent Technologies 7820A GC System Maestro: колонка капиллярная: ZB-FFAP, 50 m × 0.32 mm × 0.50 μm, газ-носитель – азот, детектор пламенно-ионизационный.

Антиоксидантная активность определена методом улавливания свободных радикалов DPPH (2,2'-дифенил-1-пикрилгидразила) относительно стандартного раствора аскорбиновой кислоты [12].

Определение физических (плотность, показатель преломления) и химических (кислотное, йодное, эфирное число, число омыления, перекисное число, содержание серы) показателей масла проводили по стандартным методикам [13].

Определение массовой доли масла в сырье проводили по стандартной методике [14], основанной на экстракции сырья гексаном в аппарате Сокслета и последующей отгонке растворителя в вакууме. Полученный образец использован в качестве образца сравнения. Классическим методом (экстракция гексаном) было установлено содержание масла 5.4% в расчете на массу абсолютно сухого сырья.

### Результаты и обсуждения

Для получения математического описания процесса сверхкритической флюидной экстракции масла из жмыха морозники в зависимости от выбранных переменных и определения оптимальных параметров проведения процесса был поставлен и реализован планированный эксперимент с построением рототабельного композиционного равномерного плана второго порядка [15]. При построении плана в качестве основного уровня давления (X), температуры опыта (Y) и продолжительности (Z) выбраны соответственно: 250 атм, 60 °С и 55 мин. Интервалы варьирования составили 60 атм, 15 °С и 15 мин. Звездное плечо плана ( $\alpha$ ) 1.682. Матрица планирования в натуральном виде и полученные результаты представлены в таблице 1.

Всего в процессе реализации эксперимента проведено 20 опытов, 6 из которых в центре плана. В опытах отмечено варьирование выхода масла от 3.0 до 8.0%. Максимальный выход (8.0%) достигнут при увеличении продолжительности экстракции до 80 мин и нулевом уровне факторов давления и температуры. Анализ опытов центра плана показал высокую сходимость результатов экстракции, дисперсия (S) не превысила 1.9. Относительная ошибка опыта, включающая в себя ошибку определения выхода экстрактов и сумму ошибок проведения процесса экстракции, определенная при анализе результатов центра плана по методу t-статистики, составила 4%.

В результате математической обработки экспериментальных данных с помощью пакета MS Excel получено уравнение регрессии (1), адекватно описывающее процесс экстракции. Величина критерия Фишера составила 2.89 при пороговом значении 4.62, коэффициент множественной корреляции 0.87 при средней относительной ошибке аппроксимации экспериментальных данных 11.14%.

$$W = 3.50 + 0.49x + 0.16y + 0.62z + 0.62x^2 + 0.58z^2, \quad (1)$$

где  $x = (X-250)/60$ ;  $y = (Y-60)/15$ ;  $z = (Z-55)/15$ .

При анализе полученного уравнения регрессии определены оптимальные значения факторов процесса, соответствующих максимально возможному выходу масла из жмыха морозники  $9.1 \pm 0.4\%$ . Давление, температура и продолжительность в оптимальном эксперименте составляют 350 атм, 85 °С и 80 мин соответственно. При проведении подтверждающего эксперимента получен образец масла с выходом 9.0%. Относительная ошибка модели составила 1%.

Увеличение выхода масла при экстракции сверхкритическим диоксидом углерода, по сравнению с экстракцией гексаном, может быть объяснено высокой проникающей способностью сверхкритического флюида. Данная особенность обусловлена низкой вязкостью флюида (ниже вязкости идеального газа) и высокими коэффициентами диффузии, что способствует интенсификации процессов массообмена [16].

Показатели качества масла морозники, выделенного методом СКФЭ в оптимальных условиях, и масла, полученного экстракцией гексаном, приведены в таблице 2.

В отличие от масла, полученного методом экстракции гексаном, масло морозники, полученное методом сверхкритической флюидной экстракции, обладает характерным насыщенным запахом, присущим ягодам, и привлекательным ярко-оранжевым цветом, что, несомненно, является положительным качеством продукта при использовании его в косметическом производстве. Полученное методом СКФЭ морозниковое масло характеризуется значительно более низким кислотным числом, что указывает на меньшее содержание в нем свободных жирных кислот и более полное извлечение связанных жирных кислот, о чем также свидетельствует повышенное эфирное число. Повышенное значение числа омыления масла, полученного методом СКФЭ, также объясняется более высокой растворимостью эфиров алифатических кислот в сверхкритическом диоксиде углерода по сравнению с растворимостью соответствующих кислот [18].

Различие йодных чисел на 7 г I<sub>2</sub>/100г масла указывает на большую долю ненасыщенных жирных кислот в составе масла, полученного методом СКФЭ, что подтверждается данными количественного определения жирнокислотного состава масла (табл. 3). Низкая величина перекисного числа в масле, полученном экстракцией с помощью сверхкритического CO<sub>2</sub>, вполне закономерна. Технология экстракции исключает контакт нагретого сырья или выделенного масла с кислородом окружающей среды. При экстракции с помощью аппарата Сокслета данное взаимодействие имеет место, что и приводит к увеличению перекисного числа до 1.62 ½O ммоль/кг. Влажность и летучесть двух образцов масел оказалась на одинаковом уровне. Масло, полученное методом сверхкритической флюидной экстракции, как и масло, полученное методом экстракции

гексаном, характеризуется низкой АОА. Данный факт может быть объяснен тем, что основные антиоксиданты содержащиеся в плодах морозики, прежде всего представители класса антоцианов, являются гидрофильными соединениями и практически полностью извлекаются при изготовлении ликероводочной продукции [19], кроме того, гидрофильные соединения плохо растворимы в сверхкритическом  $\text{CO}_2$  [20].

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента в натуральном виде

№ опыта	Величина фактора			Выход масла (W), %
	X, атм	Y, °C	Z, мин	
1	190	45	40	4.0
2	310	45	40	4.6
3	190	75	40	4.1
4	310	75	40	5.1
5	190	45	70	4.3
6	310	45	70	4.3
7	190	75	70	4.4
8	310	75	70	5.0
9	149	60	55	4.3
10	351	60	55	7.0
11	250	35	55	3.8
12	250	85	55	4.3
13	250	60	30	3.1
14	250	60	80	8.0
15	250	60	55	3.0
16	250	60	55	3.8
17	250	60	55	3.4
18	250	60	55	3.6
19	250	60	55	3.4
20	250	60	55	3.7

Таблица 2. Органолептические и физико-химические показатели масла морозики

Наименование показателя	Характеристика масла		Литературные данные [17]
	Экстракция гексаном	Экстракция диоксидом углерода	
Прозрачность	мутное	прозрачно	–
Консистенция	вязкая маслянистая жидкость		вязкая, маслянистая жидкость
Цвет	светло-желтый	ярко-оранжевый	ярко-оранжевый
Запах	характерный, слабо-выраженный	характерный, насыщенный	характерный
Вкус	Приятный, не горький		–
Плотность, г/дм <sup>3</sup>	919±1	919±1	916–922
Показатель преломления	1.474±0.005	1.475±0.005	1.472–1.477
Кислотное число, мг NaOH/г	4.6±0.1	2.6±0.1	Не более 5
Число омыления, мг NaOH/г	172±2	196±2	170–185
Эфирное число, мг NaOH/г	167±2	193±2	–
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100 г	118±2	125±2	120–127
Перекисное число, ½O ммоль/кг	1.6±0.4	0.4±0.4	–
Влага и летучие вещества, %	0.2±0.1	0.2±0.1	–
АОА, мг а.к./г	2.68±0.05	4.25±0.05	–

Таблица 3. Жирнокислотный состав масла морозики

№	Жирные кислоты	Содержание в масле морозики, %		
		Экстракция гексаном	Экстракция диоксидом углерода	Литературные данные [11]
1	2	3	4	5
1	Каприловая (10:0)	0.65	0.93	
2	Лауриновая (12:0)	0.06	0.08	
3	Миристиновая (14:0)	1.20	1.30	
4	Миристолеиновая (14:1n9c)	0.30	0.25	
5	Пентадекановая (15:0)	0.10	0.17	
6	Пальмитиновая (16:0)	6.40	0.95	до 2

Окончание таблицы 3.

1	2	3	4	5
7	Пальмитолеиновая (16:1n9c)	1.20	1.40	
8	Гептадекановая (17:0)	0.10	0.10	
9	Стеариновая (18:0)	2.20	1.98	
10	Элаидиновая (18:1n9t)	0.82	0.39	
11	Олеиновая (18:1n9c)	13.5	14.95	13.7–16.7
12	Линолевая (18:2n6c)	45.26	47.73	43.7–48.7
13	Арахидиновая (20:0)	0.50	0.40	
14	Линоленовая (18:3n3c)	27.12	28.74	27.9–35.5
15	Не идентифицировано	0.59	0.30	

Жирнокислотный состав (табл. 3) полученных масел близок, однако масло, полученное методом СКФЭ-СО<sub>2</sub>, характеризуется значительно более низким содержанием пальмитиновой кислоты, а также несколько повышенным содержанием пальмитолеиновой, линолевой и олеиновой кислот, являющимися не-предельными жирными кислотами, ценными с диетической точки зрения. В масле, полученном методом СКФЭ, в два раза снижено содержание элаидиновой кислоты, которая является компонентом трансжиров.

### Выводы

1. Методом активного планированного эксперимента определены оптимальные параметры сверхкритической флюидной экстракции диоксидом углерода масла из жмыха ягод морошки, являющихся отходом ликероводочного производства.

2. Оптимальными условиями проведения процесса экстракции масла из жмыха ягод морошки сверхкритическим диоксидом углерода являются: давление диоксида углерода 350 атм; температура 85 °С; продолжительность экстракции 80 мин. Выход масла достигает 9.0%

3. Основные отличия масла, полученного методом СКФЭ-СО<sub>2</sub>, от масла, получаемого экстракцией гексаном, состоят в улучшении органолептических свойств, повышенной доле связанных жирных кислот при уменьшении доли свободных кислот и большим содержанием ненасыщенных жирных кислот.

### Список литературы

1. Рецептуры ликероводочных изделий и водок. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 146 с.
2. Johanson A.K., Kuusisto P.H., Laakasto P.H. Geographical variation in seed oil from *Rubus chamaemorus* and *Empetrum Nigrum* // *Phytochemistry*. 1997. Vol. 44. Pp. 1421–1427.
3. Касьянов Г.И. Технологические основы СО<sub>2</sub>-обработки растительного сырья. М., 1994. 132 с.
4. Kokosa J.M., Przyjazny A., Jeannot M. Solvent Microextraction: Theory and Practice. New York, 2009. 344 p.
5. Kassama L.S., Shi J.N., Mittal G.S. Optimization of supercritical fluid extraction of lycopene from tomato skin with central composite rotatable design model // *Separation and Purification Technology*. 2008. Vol. 60. Pp. 278–284.
6. Ghafoor K., Choi Y.H., Jeon J.Y., Jo I.H. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from grape (*Vitis vinifera*) seeds // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009. Vol. 57. Pp. 4988–4994.
7. Amyrgialaki E., Makris D.P., Mauromoustakos A., Kefalas P. Optimisation of the extraction of pomegranate (*Punica granatum*) husk phenolics using water/ethanol solvent systems and response surface methodology // *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol. 59. Pp. 216–222.
8. Chua S.C., Tan C.P., Mirhosseini H., Lai O.M. Optimization of ultrasound extraction condition of phospholipids from palm-pressed fiber // *Journal of Food Engineering*. 2009. Vol. 92. Pp. 403–409.
9. Savic I.M., Stojiljkovic S.T., Stojanovic S.B., Moder K. Modeling and optimization of Fe (III) adsorption from water using bentonite clay: comparison of central composite design and artificial neural network // *Chemical Engineering and Technology*. 2012. Vol. 35. Pp. 2007–2014.
10. Ивахнов А.Д., Скребец Т.Э., Богданов М.В., Боголицын К.Г. Получение рапсового масла экстракцией сверхкритическим диоксидом углерода // *Химия растительного сырья*. 2013. №3. С. 137–141.
11. ГОСТ 30418-96. Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава. Минск, 1996. 7 с.
12. Хасанов В.В., Рыжова Г.В., Мальцева Е.В. Методы исследования антиоксидантов // *Химия растительного сырья*. 2004. №3. С. 63–75.
13. Артюнян Н.С., Корнена Е.П., Мартовщук Е.В. Лабораторный практикум по химии жиров. СПб., 2004. 264 с.
14. ГОСТ 13496.15-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира. М., 2011. 12 с.
15. Назаров Н.Г. Измерение: планирование и обработка результатов. М., 2000. 304 с.

16. Гумеров Ф.М., Сабирзянов А.Н., Гумерова Г.И. Суб- и сверхкритические флюиды в процессах переработки полимеров. Казань, 2007. 336 с.
17. Тютюнников Б.Н. Химия жиров. М., 1974. 260 с.
18. Gupta R., Shim J-J. Solubility in supercritical carbon dioxide. New York, 2007. 960 p.
19. Polak J., Bartoszek M. The study of antioxidant capacity of varieties of nalewka, a traditional Polish fruit liqueur, using EPR, NMR and UV-vis spectroscopy // Journal of Food Composition and Analysis. 2015. Vol. 40. Pp. 114–119.
20. Paula J.T., Paviani L.C., Foglio M.A., Sousa I.M.O., Cabral F.A. Extraction of anthocyanins from *Arrabidaea chica* in fixed bed using CO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>/ethanol/water mixtures as solvents // The Journal of Supercritical Fluids. 2013. Vol. 81. Pp. 33–41.

*Поступила в редакцию 25 октября 2018 г.*

*После переработки 14 ноября 2018 г.*

*Принята к публикации 22 ноября 2018 г.*

**Для цитирования:** Ивахнов А.Д., Садкова К.С., Собашникова А.С., Скребец Т.Э., Богданов М.В. Получение масла из ягод морошки экстракцией сверхкритическим диоксидом углерода // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 91–97. DOI: 10.14258/jсrpm.2019024555.

*Ivakhnov A.D.*<sup>1,2\*</sup>, *Sadkova K.S.*<sup>1</sup>, *Sobashnikova A.S.*<sup>1</sup>, *Skrebets T.E.*<sup>1</sup>, *Bogdanov M.V.*<sup>1</sup> RECEIVING OIL FROM CLOUDBERRIES FRUITS BY SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE EXTRACTION

<sup>1</sup> Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Northern Dvina Emb., 17, Arkhangelsk, 163002 (Russia), e-mail: *Ivakhnov-tema@yandex.ru*

<sup>2</sup> Federal Center for Integrated Arctic Research of RAS, Northern Dvina Emb., 23, Arkhangelsk, 163060 (Russia)

Comparative researches of ways of oil extraction from the fulfilled fruits of cloudberries (*Rubus chamaemorus*) with application of hexane and supercritical carbon dioxide as solvents are executed. Optimization is performed and optimum conditions of supercritical fluid extraction of oil are defined with use of central composite design of 2nd order. Pressure of carbon dioxide of 350 atm, temperature 85 °C, duration of extraction of 80 min are the optimum conditions of carrying out of the process. The yield of oil is 9.0%. Quality key indicators of the received oil were defined. The difference between the oil received by the SKF-CO<sub>2</sub> method and the oil received by hexane extraction consists in improvement of organoleptic properties, the raised share of the combined fatty acids at decrease of a share of the free acids and high content of unsaturated fatty acids. It is shown that supercritical carbon dioxide can be an alternative to the hydrocarbons which are traditionally used for these purposes.

**Keywords:** cloudberries, oil, alcoholic beverage production waste, supercritical fluid extraction, carbon dioxide, structure.

### References

1. *Retseptury likerovodochnykh izdeliy i vodok*. [Distillery and vodka recipes]. Moscow, 1981, 146 p. (in Russ.).
2. Johanson A.K., Kuusisto P.H., Laakasto P.H. *Phytochemistry*, 1997, vol. 44, pp. 1421–1427.
3. Kas'yanov G.I. *Tekhnologicheskiye osnovy CO<sub>2</sub>-obrabotki rastitel'nogo syr'ya*. [Technological basis of CO<sub>2</sub>-processing plant materials]. Moscow, 1994, 132 p. (in Russ.).
4. Kokosa J.M., Przyjazny A., Jeannot M. *Solvent Microextraction: Theory and Practice*, New York, 2009, 344 p.
5. Kassama L.S., Shi J.N., Mittal G.S. *Separation and Purification Technology*, 2008, vol. 60, pp. 278–284.
6. Ghafoor K., Choi Y.H., Jeon J.Y., Jo I.H. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, vol. 57, pp. 4988–4994.
7. Amyrgialaki E., Makris D.P., Mauromoustakos A., Kefalas P. *Industrial Crops and Products*, 2014, vol. 59, pp. 216–222.
8. Chua S.C., Tan C.P., Mirhosseini H., Lai O.M. *Journal of Food Engineering*, 2009, vol. 92, pp. 403–409.
9. Savic I.M., Stojiljkovic S.T., Stojanovic S.B., Moder K. *Chemical Engineering and Technology*. 2012. vol. 35, pp. 2007–2014.
10. Ivakhnov A.D., Skrebets T.E., Bogdanov M.V., Bogolitsyn K.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 3, pp. 137–141. (in Russ.).
11. *GOST 30418-96. Masla rastitel'nyye. Metod opredeleniya zhirnokislotochnogo sostava*. [GOST 30418-96. Vegetable oils. Method for determination of fatty acid composition]. Minsk, 1996, 7 p. (in Russ.).
12. Khasanov V.V., Ryzhova G.V., Mal'tseva Ye.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2004, no. 3, pp. 63–75. (in Russ.).
13. Artyunyan N.S., Kornena Ye.P., Martovshchuk Ye.V. *Laboratornyy praktikum po khimii zhirov*. [Laboratory workshop on the chemistry of fats]. St. Petersburg, 2004, 264 p. (in Russ.).
14. *GOST 13496.15-97. Korma, kombikorma, kombikormovoye syr'ye. Metody opredeleniya sodержaniya syrogo zhira*. [GOST 13496.15-97. Feed, feed, feed raw materials. Methods for determining the content of raw fat]. Moscow, 2011, 12 p. (in Russ.).
15. Nazarov N.G. *Izmereniye: planirovaniye i obrabotka rezul'tatov*. [Measurement: planning and processing of results]. Moscow, 2000, 304 p. (in Russ.).
16. Gumerov F.M., Sabirzyanov A.N., Gumerova G.I. *Sub- i sverkhkriticheskiye flyuidy v protsessakh pererabotki polimerov*. [Sub- and supercritical fluids in polymer processing]. Kazan', 2007, 336 p. (in Russ.).
17. Tyutyunnikov B.N. *Khimiya zhirov*. [Chemistry of fats]. Moscow, 1974, 260 p. (in Russ.).
18. Gupta R., Shim J-J. *Solubility in supercritical carbon dioxide*, New York, 2007, 960 p.
19. Polak J., Bartoszek M. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015, vol. 40, pp. 114–119.
20. Paula J.T., Paviani L.C., Foglio M.A., Sousa I.M.O., Cabral F.A. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2013, vol. 81, pp. 33–41.

Received October 25, 2018

Revised November 14, 2018

Accepted November 22, 2018

**For citing:** Ivakhnov A.D., Sadkova K.S., Sobashnikova A.S., Skrebets T.E., Bogdanov M.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 91–97. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019024555.

\* Corresponding author.

