

УДК 664.5

## ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ И ИХ АКТИВНОСТИ В КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЭКСТРАКТАХ ИЗ ЯГОД КЛЮКВЫ (*VACCINIUM OXYCOCCUS*), ОБЛЕПИХИ (*HIPPORHAE RHAMNOIDES* L.), ЕЖЕВИКИ (*RUBUS FRUTICOSUS*), КАЛИНЫ (*VIBURNUM OPULUS* L.) И РЯБИНЫ (*SORBUS AUCUPARIA* L.)

© Н.Б. Еремеева<sup>1,2\*</sup>, Н.В. Макарова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Университет ИТМО, Кронверкский пр., 49а, Санкт-Петербург, 197101  
(Россия), e-mail: eremeeva.n@itmo.ru

<sup>2</sup> Самарский государственный технический университет,  
ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100 (Россия)

Экстракты и их концентраты можно рассматривать как источник биологически активных ингредиентов пищевых продуктов и как пищевые добавки для увеличения потребления полезных веществ ягод. Преимущества, полученные от их использования, приводят к разработке передовых технологий, которые могут позволить их извлекать из исходного сырья без значительного ущерба для биологической активности из исходного сырья. В данной работе проведено изучение содержания антиоксидантов и их активности в концентрированных экстрактах ягод клюквы (*Vaccinium Oxycoccus*), облепихи (*Hipporhae rhamnoides* L.), ежевики (*Rubus fruticosus*), калины (*Viburnum opulus* L.) и рябины (*Sorbus aucuparia* L.). Для всех экстрактов определено общее содержание фенольных соединений, флавоноидов и антоцианов, антиоксидантная активность по методу DPPH и железоредуцирующая антиоксидантная способность (FRAP). Концентрированные экстракты калины содержат в составе наибольшее среди исследуемых экстрактов количество фенольных соединений (9.3±0.3 моль ГК/л), флавоноидов (1.96±0.08 моль К/л) и антоцианов (0.26±0.02 моль ЦГ/л). Также наблюдается высокое общее содержание фенольных веществ и флавоноидов в экстрактах ежевики и рябины (5.7 моль ГК/л, 1.33 моль К/л и 4.7 моль ГК/л, 192 моль К/л, соответственно). Антиоксидантная активность экстракта ягод калины показала прямо пропорциональную зависимость от содержания в ней биологически активных соединений: DPPH-метод – 2.4 мг/мл; FRAP-метод – 39.99 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг. Также высокие показатели обнаружены в концентрированных экстрактах ягод ежевики, облепихи и рябины. Именно экстракты калины, ежевики и рябины рекомендуются использовать при производстве пищевых продуктов для обогащения их биологически активными веществами и придания им антиоксидантных свойств. Экстракты клюквы и облепихи можно использовать в комбинации с другими экстрактами.

*Ключевые слова:* экстракт, ягоды, фенольные соединения, флавоноиды, антиоксидантная активность.

### Введение

Ягоды являются богатыми источниками биологически активных вторичных метаболитов, полиненасыщенных жирных кислот и пищевых волокон. Большое количество исследований, описанных в последних обзорах [1], показало широкий спектр биологической активности и потенциальной пользы для здоровья самих ягод, а также полученных на их основе продуктов и выделенных определенных веществ и фракций.

Еремеева Наталья Борисовна – кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий, доцент кафедры технологии и организации общественного питания, e-mail: eremeeva.n@itmo.ru

Макарова Надежда Викторовна – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии и организации общественного питания, e-mail: makarovnv1969@yandex.ru

Большая часть существующей литературы основана на исследованиях *in vitro* и на животных.

Включение ягод и продуктов из ягод в рацион питания оказывает положительное влияние на постпрандиальный гликемический ответ, маркеры воспаления и антиоксидантную способность организма. Длительное употребление ягод и про-

\* Автор, с которым следует вести переписку.

дуктов из ягод может улучшить липидный профиль плазмы, снизить факторы риска метаболического синдрома и сердечно-сосудистых заболеваний [2]. Наблюдается тенденция по изучению потенциала ягодной диеты в борьбе со стрессом и поддержании здорового образа жизни.

Экстракты и концентраты следует рассматривать как источник биологически активных ингредиентов пищевых продуктов и как пищевые добавки для увеличения потребления ягод. Их получение из растительного сырья является перспективным направлением. Преимущества, полученные от их использования, и возросший исследовательский интерес привели к разработке нескольких передовых технологий, которые могут позволить их извлекать без значительного ущерба для биологической активности [3].

Клюква (*Vaccinium Oxycoccus*) является богатым источником углеводов, таких как клетчатка и монокарбонидраты, а также антиоксидантов, таких как флавоноиды и антоцианы, фенольные кислоты, каротиноиды и витамины, главным образом витамин С. Высокое содержание биологически активных соединений в клюкве обеспечивает пользу для здоровья, включая профилактику инфекций мочевыводящих путей и желудочно-кишечных заболеваний, улучшение сердечно-сосудистого и неврологического состояния, а также оказывает антивирусное, противоопухолевое и противовоспалительное действие [4, 5].

Благодаря пользе для здоровья экстракт плодов клюквы можно добавлять в различные пищевые продукты в качестве функционального ингредиента. Однако несмотря на широкий спектр преимуществ для здоровья человека, свежая клюква редко употребляется в пищу из-за своего кислого и терпкого вкуса. Кроме того, фенольные соединения в плодах очень чувствительны к теплу и теряются при хранении. Поэтому их необходимо перерабатывать в сладкие полуфабрикаты, которые в наше время становятся все более популярными [6]. Одним из таких вариантов является получение экстрактов из клюквы, которые хорошо сохраняют вкусовые свойства самих плодов.

Ягоды облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) богаты витаминами, фенольными соединениями, каротиноидами и другими биологически активными компонентами, обладающими фармакологическими эффектами [7].

Ценные вещества, присутствующие в масле *H. rhamnoides*, отвечают за здоровую и красивую кожу [8]. Сбалансированный состав жирных кислот и витаминов, присутствующих в этом масле, объясняет его частое использование для ухода за сухой, шелушащейся или быстро стареющей кожей. Кроме того, наличие в масле уникальных ненасыщенных жирных кислот, таких как  $\gamma$ -линоленовая кислота, пальмитиновая кислота, отвечает за регенерацию и восстановление кожи [9]. Благодаря этим характеристикам *H. rhamnoides* привлекает внимание к лекарственному применению [10].

Облепиха традиционно используется для лечения кашля, кожных заболеваний, желтухи, астмы, гипертонии, ревматизма и воспаления половых органов [11].

Ежевика (*Rubus fruticosus*) – это ягоды с привлекательным цветом и насыщенным сладким вкусом, богатые фенольными соединениями и обладающие высокой антиоксидантной способностью. Фенольные соединения ежевики включают в себя эллаговую кислоту, дубильные вещества, эллагитаннины, кверцетин, галловую кислоту, антоцианы и цианидины, которые проявляют потенциал в снижении риска хронических заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания и некоторые виды рака [12]. Однако короткая послеуборочная жизнь ежевики обусловлена ее высокой частотой дыхания и хрупкой структурой, что ограничивает ее потребление в свежем виде, поэтому ежевику перерабатывают различные пищевые продукты, включая пюре, соус, сок, варенье, консервирование и сушеную ежевику [13].

Плоды калины (*Viburnum opulus* L.), как правило, не предпочтительны для употребления в пищу из-за их кислого вкуса, нежелательного аромата и наличия некоторых неприятно пахнущих компонентов [14]. Однако благодаря целебным свойствам, продукты, приготовленные из фруктового сока калины, обладают растущим спросом с каждым годом [15].

Проведено большое количество исследований фармакологической активности плодов калины (*V. Opulus*). Антибактериальная и антиоксидантная активность ягод калины [16] были оценены в исследованиях *in vitro*.

Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) – широко распространенная листовая порода, которая обычно выращивается как декоративное растение. В странах Северной Европы ее ягоды также традиционно используются для переработки в джемы, кондитерские изделия, сиропы и ликеры. В народной медицине рябина используется для лечения желудочно-кишечных расстройств, бронхитов, а также проявляет мочегонные, противовоспалительные, сосудорасширяющие, антидиабетические свойства [17].

Рябина богата органическими кислотами, каротиноидами, микроэлементами, аскорбиновой кислотой и фенольными соединениями, особенно фенольными кислотами [18]. Многочисленные исследования показали, что ягоды рябины являются источником фенольных соединений, демонстрируют широкий спектр биологических свойств, таких как антидиабетическое, противоопухолевое, антиоксидантное, противовоспалительное [19].

Инициация и развитие рака связаны с окислительным стрессом, который может вызвать окислительное повреждение клеточных макромолекул, включая ДНК, РНК, белки и липиды. Экзогенные антиоксиданты, такие как фенольные соединения, которые могут взаимодействовать с активными формами кислорода (АФК), хелатировать металлы и регулировать ферментативные и неферментативные системы, рассматриваются как перспективные защитные и терапевтические средства для лечения патологий. Антиоксидантный эффект различных видов ягод был непосредственно связан с их противоопухолевым потенциалом [20].

Поэтому изучение химического состава и биологической активности рассмотренных видов ягод является перспективным направлением.

Цель работы – изучение содержания антиоксидантов и их активности в концентрированных экстрактах клюквы (*Vaccinium Oxycoccus*), облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.), ежевики (*Rubus fruticosus*), калины (*Viburnum opulus* L.) и рябины (*Sorbus aucuparia* L.).

### **Материалы и методы**

*Химические вещества и реагенты.* Этанол, дистиллированная вода, соляная кислота, хлорид калия, уксусная кислота, ацетат натрия, фосфат натрия, хлорид железа (II), хлорид железа (III), роданид аммония. Реактив Фолин-Чеколтеу, галловая кислота были приобретены у фирмы Fluka (Германия). DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил), нитрит натрия, хлорид алюминия, карбонат натрия, линолевая кислота были приобретены у фирмы Sigma-Aldrich Chem. 2,4,6-три(2-пиридил)-s-триазин (TPTZ) был приобретен у фирмы Fluka Chemicals (Spain).

Образцами для исследования послужили концентрированные экстракты, полученные из плодов клюквы, облепихи, ежевики, калины и рябины. Ранее [21] нами были подобраны условия получения концентрированных экстрактов для плодов и ягод. На основании экспериментальных данных выбраны технологические режимы процесса получения экстрактов: экстрагирование 50%-ным этиловым спиртом, при ультразвуковой обработке с частотой 35 кГц, температуре  $40 \pm 5$  °C в течение 120 мин, соотношении сырье/растворитель 1 : 10. Концентрирование происходит на циркуляционном вакуум-выпарном аппарате до содержания массовой доли растворимых сухих веществ 65 % и массовой доли этанола менее 1.0%.

*Общее содержание фенольных соединений.* Содержание общих фенолов в образцах оценивали с помощью модифицированной версии метода Фолин-Чеколтеу [22]. Галловую кислоту использовали в качестве стандарта, и водный раствор галловой кислоты (200 мг в 1000 мл) разбавляли дистиллированной водой, чтобы получить соответствующие концентрации для калибровочной кривой. Для анализа взяли 0.50 мл анализируемого объекта или стандарта галловой кислоты, 4.00 мл дистиллированной воды, 0.25 мл реактива Фолин-Чеколтеу и 0.25 мл насыщенного водного раствора карбоната натрия. Образцы встряхнули и выдержали в темноте 30 мин при комнатной температуре. Коэффициент поглощения определяли при 725 нм на спектрофотометре. Результаты выражали в моль эквивалента галловой кислоты в л экстракта (моль ГК/л). Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

*Общее содержание флавоноидов.* Содержание флавоноидов в объектах измеряли с использованием модифицированного метода [23]. Анализируемый объект или стандартный водный раствор катехина в объеме 0.50 мл добавляли в мерную пробирку объемом 10 мл. Затем добавляли 2.50 мл дистиллированной воды в нулевой момент времени, добавляли 0.15 мл 5%-ного раствора нитрата натрия, через 5 мин добавили 0.30 мл 10%-ного раствора хлорида алюминия и выдержали еще 5 мин. Коэффициент поглощения измеряли при 510 нм. Содержание флавоноидов выражали в моль эквивалентов катехина в л (моль К/л). Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

*Определение антоцианов.* Определение общего содержания антоцианов, присутствующих в анализируемом объекте, проводили путем измерения коэффициента поглощения при двух различных рН (1.0 и 4.5) при 515 и 700 нм [24]. Содержание антоцианов выражали в моль эквивалент цианидин-3-гликозида в л экстракта (моль ЦГ/л). Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

*Антиоксидантная активность по методу DPPH.* Методика основана на способности антиоксидантов исходного сырья связывать стабильный хромоген-радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) [25]. DPPH (4 мг) растворяли в 100 мл этанола. Аликвоты исследуемого объекта (0.05, 0.10, 0.40, 0.80, 1.00 и 5.00 мл) растворяли в 100 мл дистиллированной воды. Затем 0.2 мл каждого раствора добавляли к 2.0 мл раствора DPPH при 20 °С и выдерживали в темноте в течение 30 мин. Определяли коэффициент пропускания при 517 нм. Антирадикальную активность выражали в виде концентрации экстракта в мг/мл, при которой происходило связывание 50% радикалов. Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

*Метод FRAP.* Восстанавливающую силу исследуемого объекта определяли по методу FRAP [26]. Для анализа использовали свежеприготовленный водный раствор FRAP: смешивали 10 мл ацетатного буфера (рН 3.6), 1 мл 10%-ного раствора хлорида железа (III) и 1 мл раствора TPTZ (2,4,6-трипиридил-*s*-триазина) (10 ммоль/л TPTZ в 40 ммоль/1000 мл HCl) и выдерживали 10 мин при температуре 37 °С. К анализируемому образцу (0.1 мл) добавляли 3.0 мл дистиллированной воды и 1 мл раствора FRAP. Смесь выдержали в течение 4 мин при температуре 37 °С. Измеряли оптическую плотность при 593 нм. Восстанавливающую силу определяли по калибровочному графику и выражали в ммоль Fe<sup>2+</sup> / 1 кг экстракта. Эксперимент проводился в трехкратном повторении.

Физико-химические показатели определены по ГОСТ 34128-2017, ГОСТ 34127-2017. Эксперименты проводились в трехкратном повторении.

*Статистическая обработка данных.* Статистическая обработка данных производилась путем расчета среднего (*M*) и стандартного отклонения (*M*±*m*) с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

### **Результаты и их обсуждения**

Блок-схема получения концентрированных экстрактов представлена на рисунке 1.

Среди исследуемых нами образцов содержание фенольных соединений в экстракте ягод калины (9.3±0.3 моль ГК/л) превышает содержание фенольных соединений в других образцах более чем, в 1.5 раза. В экстрактах ягод ежевики также содержится значительное количество фенольных соединений (5.7±0.4 моль ГК/л) по сравнению с другими образцами. В экстрактах рябины, клюквы и облепихи их содержание примерно на одном уровне, что видно на рисунке 2.

Флавоноиды содержат углеродный скелет C6-C3-C6 с двумя фенольными кольцами и гетероциклическим кольцом, которые представляют собой широко распространенную группу фенольных соединений в плодах и ягодах. Флавоноиды подразделяются на три группы по расположению в зависимости от их строения, в том числе флавоноиды (2-фенил), изофлавоноиды (3-фенил), и неофлавоноиды. В исследуемых образцах общее содержание флавоноидов не имеет линейную зависимость от общего содержания фенольных веществ. Наибольшее количество флавоноидов содержится в экстрактах ягод калины и рябины (1.96±0.08 и 1.92±0.04 моль К/л), далее идет экстракт ежевики (1.33±0.06 моль К/л). В экстрактах ягод клюквы и облепихи общее содержание фенольных веществ среди исследуемых образцов минимальное – 0.62±0.04 и 0.55±0.06 моль К/л соответственно. Различия количественного и качественного компонентного состава фенольных соединений в экстрактах объясняется различным химическим составом ягод, условиями произрастания и их сортность.

Антоцианидины и антоцианы являются крупнейшими группами флавоноидов у окрашенных в красный, синий и фиолетовый цвет плодов и ягод, причем на сегодняшний день зарегистрировано 33 типа таких соединений. Антоцианы образуются из антоцианидинов путем гликозилирования и играют важную роль в определении цвета плодов. Аналогично показателям содержания фенолов и флавоноидов анализируемых образцов экстракт ягод калины содержит наибольшее количество антоцианов (0.26±0.02) моль ЦГ/л. Общее содержание антоцианов в экстракте ягод клюквы составляет (0.16±0.03) моль ЦГ/л, а в экстракте ежевики – (0.04±0.01) моль ЦГ/л. Экстракт ягод облепихи и рябины не содержат в своем составе антоцианов, а их окрас обусловлен содержанием других пигментов.

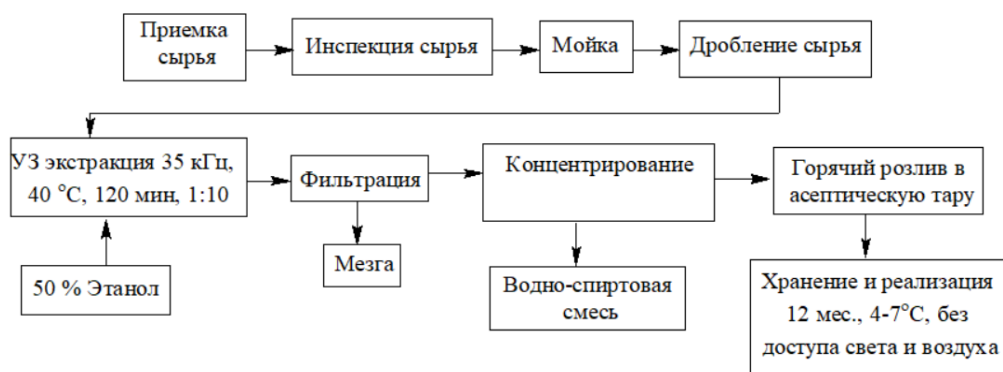


Рис. 1. Блок-схема получения концентрированного экстракта

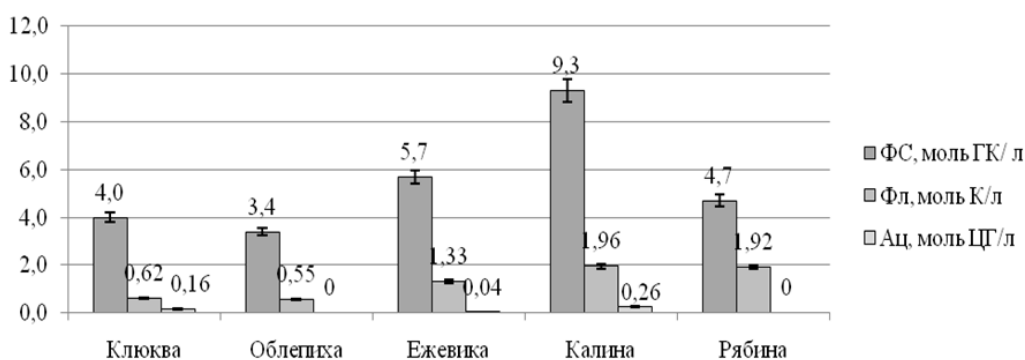


Рис. 2. Общее содержание антиоксидантов в экстрактах ягод (ФС – общее содержание фенольных соединений, Фл – общее содержание флавоноидов, Ац – общее содержание антоцианов)

Антиоксидантная активность по методу DPPH являются одними из наиболее часто используемых методов оценки активности в отношении свободных радикалов *in vitro*. Как правило, общее содержание фенольных веществ имеет положительную корреляцию со значениями антиоксидантной активности [27]. Различные фенольные соединения могут оказывать синергическое или антагонистическое действие, проявляя антирадикальную активность [28].

Наивысшей способностью замедлять действие свободных радикалов DPPH среди исследуемых образцов также обладает экстракт ягод калины (2.4 мг/мл). Также высокими показателями обладают концентрированные экстракты ягод ежевики и клюквы (3.2 и 5.6 мг/мл). В случае экстрактов ягод облепихи и рябины эти показатели имеют значения 9.1 и 10.0 мг/мл, соответственно.

FRAP-анализ концентрированных экстрактов показывает, что уровень восстанавливающей способности увеличивается в следующем порядке: клюква (12.92 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг), рябина и ежевика (23.79 и 24.12 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг), облепиха (27.27 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг), калина (39.99 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг), что можно наблюдать из рисунка 3.

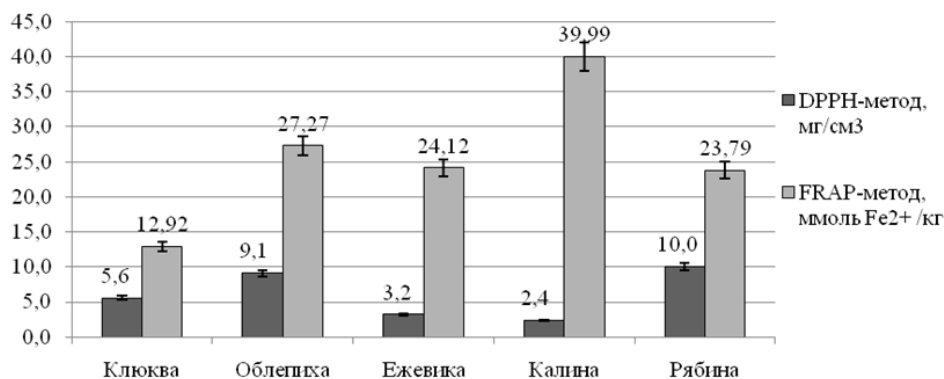


Рис. 3. Антиоксидантная активность экстрактов ягод по методу DPPH и FRAP

Для исследуемых экстрактов определено содержание сухих веществ рефрактометрическим методом и титруемая кислотность потенциометрическим методом. Результаты представлены в таблице 1.

Также изучены органолептические показатели концентрированных экстрактов. Все они имеют приятный вкус и запах, свойственный исходному сырью, поэтому их можно рекомендовать для использования в качестве ингредиента для пищевой промышленности, а также как компонент биологически активных добавок. Результаты органолептического анализа приведены в таблице 2.

Таблица 1. Физико-химические показатели концентрированных экстрактов

Экстракт концентрированный	Содержание растворимых сухих веществ, %	Титруемая кислотность, % (в пересчете на яблочную кислоту)
Клюква	54.0±0.1	20.00±0.02
Облепиха	44.0±0.1	6.00±0.02
Ежевика	57.0±0.1	6.00±0.02
Калина	57.0±0.1	13.00±0.02
Рябина	57.0±0.1	5.80±0.02

Таблица 2. Органолептические показатели концентрированных экстрактов

Экстракт концентрированный	Внешний вид	Вкус и запах	Цвет
Клюква	Прозрачная жидкость без осадка	Кислый, свойственный соку клюквы	Красный
Облепиха	Прозрачная жидкость без осадка	Горьковато-кислый, свойственный соку облепихи	Желто-оранжевый
Ежевика	Прозрачная жидкость без осадка	Кисловато-сладкий, свойственный соку ежевики	Темно-синий
Калина	Прозрачная жидкость без осадка	Кисло-сладкий с горчинкой, свойственный соку калины	Красный
Рябина	Непрозрачная жидкость без осадка	Кисло-сладкий, вяжущий, свойственный соку рябины	Оранжево-красный

### Выводы

Таким образом, по проделанной работе можно сделать следующие выводы:

1. Концентрированные экстракты калины содержат в составе наибольшее среди исследуемых экстрактов количество фенольных соединений (9.3±0.3 моль ГК/л), флавоноидов (1.96±0.08 моль К/л) и антоцианов (0.26±0.02 моль ЦГ/л). Также наблюдается высокое общее содержание фенольных веществ и флавоноидов в экстрах ежевики и рябины (5.7 моль ГК/л, 1.33 моль К/л и 4.7 моль ГК/л, 192 моль К/л соответственно).

2. Антиоксидантная активность экстракта калины показала прямую зависимость от содержания в ней биологически активных соединений: DPPH-метод – 2.4 мг/мл; FRAP-метод – 39.99 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг. Также высокие показатели проявились у концентрированных экстрактов ежевики, облепихи и рябины.

3. Экстракты калины, ежевики и рябины рекомендуется использовать при производстве пищевых продуктов для обогащения их биологически активными веществами и придания им антиоксидантных свойств.

4. Экстракты клюквы и облепихи можно использовать в комбинации с другими экстрактами.

### Список литературы

1. Yang B., Kortesiemi M. Clinical evidence on potential health benefits of berries // *Current Opinion in Food Science*. 2015. Vol. 2. Pp. 36–42. DOI: 10.1016/j.cofs.2015.01.002.
2. Rodriguez-Mateos A. et al. Berry (poly)phenols and cardiovascular health // *J. Agric. Food Chem.* 2014. Vol. 62(18). Pp. 3842–3851. DOI: 10.1021/jf403757g.
3. Sevenich R., Mathys A. Continuous versus discontinuous ultra-high-pressure systems for food sterilization with focus on ultra-high-pressure homogenization and high-pressure thermal sterilization: A review // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018. Vol. 1. Pp. 1–17. DOI: 10.1111/1541-4337.12348.
4. Skrovankova S. et al. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries // *International Journal of Molecular Sciences*. 2015. Vol. 16 (10). Pp. 24673–24706. DOI: 10.3390/ijms161024673.
5. Nowacka M. et al. Changes of mechanical and thermal properties of cranberries subjected to ultrasound treatment // *International Journal of Food Engineering*. 2017. Vol. 13. DOI: 10.1515/ijfe-2016-0306.

6. Nowacka M. et al. Effect of ultrasound treatment during osmotic dehydration on bioactive compounds of cranberries // *Ultrasonics*. 2018. Vol. 83. Pp. 18–25. DOI: 10.1016/j.ultras.2017.06.022.
7. Wei E. et al. Microwave-assisted extraction releases the antioxidant polysaccharides from seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 123. Pp. 280–290. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.074.
8. Zielinska A., Nowak I. Abundance of active ingredients in sea-buckthorn oil // *Lipids in Health and Disease*. 2017. Vol. 16 (1). Pp. 95–106. DOI: 10.1186/s12944-017-0469-7.
9. Marsinach M.S., Cuenca A.P. The impact of sea buckthorn oil fatty acids on human health // *Lipids in Health and Disease*. 2019. Vol. 18 (1). P. 145. DOI: 10.1186/s12944-019-1065-9.
10. Pundir S. et al. Ethnomedicinal uses, phytochemistry and dermatological effects of *Hippophae rhamnoides* L.: A review // *Journal of Ethnopharmacology*. 2021. Vol. 266. P. 113459. DOI: 10.1016/j.jep.2020.113459.
11. Ciesarová Z. et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review // *Food Research International*. 2020. Vol. 133. P. 109170. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109170.
12. Tomas M. et al. Effect of different soluble dietaryfibres on the phenolic profile of blackberrypuree subjected to in vitro gastrointestinal digestion and large intestinefermentation // *Food Research International*. 2020. Vol. 130. P. 1089542. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108954.
13. Ferreira Nogueira G. et al. Incorporation of spray dried and freeze dried blackberry particles in edible films: Morphology, stability to pH, sterilization and biodegradation // *Food Packaging and Shelf Life*. 2019. Vol. 20. P. 100313. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.100313.
14. Kraujalyte V. et al. Antioxidant properties and polyphenolic compositions of fruits from different European cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) genotypes // *Food Chemistry*. 2013. Vol. 141. Pp. 3695–3702. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.06.054.
15. Barak H. et al. Influence of in vitro human digestion on the bioavailability of phenolic content and antioxidant activity of *Viburnum opulus* L. (European cranberry) fruit extracts // *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 131. Pp. 62–69. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.01.037.
16. Ersoy N. et al. Evaluation of European Cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) genotypes for agro-morphological, biochemical and bioactive characteristics in Turkey // *Folia Horticulturae*. 2017. Vol. 29. Pp. 181–188. DOI: 10.1515/fhort-2017-0017.
17. Shikov A.N. et al. Medicinal plants of the Russian Pharmacopoeia; their history and applications // *Journal of Ethnopharmacology*. 2014. Vol. 154(3). Pp. 481–536. DOI: 10.1016/j.jep.2014.04.007.
18. Zymone K. et al. Phytochemical profiling of fruit powders of twenty *Sorbus* L. Cultivars // *Molecules*. 2018. Vol. 23(10). P. 2593. DOI: 10.3390/molecules23102593.
19. Bobinaité R. et al. Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of the extracts isolated from the pomace of rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.) // *Food Research International*. 2020. Vol. 136. P. 109310. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109310.
20. Baby B. et al. Antioxidant and anticancer properties of berries // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018. Vol. 58(15). Pp. 2491–2507. DOI: 10.1080/10408398.2017.1329198.
21. Eremeeva N.B. et al. Ultrasonic and microwave activation of raspberry extract: antioxidant and anti-carcinogenic properties // *Foods and Raw Materials*. 2019. Vol. 7(2). Pp. 264–273. DOI: 10.21603/2308-4057-2019-2-264-273.
22. Cai M. et al. Behavior and rejection mechanisms of fruit juice phenolic compounds in model solution during nanofiltration // *Journal of Food Engineering*. 2017. Vol. 195. Pp. 97–104. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.09.024.
23. Демидова А.В. и др. Влияние режимов бланшировки на физико-химические свойства и антиоксидантную активность фруктового сырья на примере вишни, сливы, черноплодной рябины и клубники // *Пищевая промышленность*. 2016. №2. С. 40–43.
24. Стрюкова А.Д. и др. Замороженные ягоды – эффективный антиоксидант в течение всего года // *Пищевая промышленность*. 2013. №3. С. 28–31.
25. Cheigh C.I. et al. Enhanced extraction of flavanones hesperidin and narirutin from *Citrus unshiu* peel using subcritical water // *International Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 110(3). Pp. 472–477. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.12.019
26. M'hirin. N. et al. Effect of different operating conditions on the extraction of phenolic compounds in orange peel // *Food and Bioproducts Processing*. 2015. Vol. 69. Pp. 161–170. DOI: 10.1016/j.fbp.2015.07.010.
27. Hajimehdipour H. et al. Investigating the synergistic antioxidant effects of some flavonoid and phenolic compounds // *Research Journal of Pharmacognosy*. 2014. Vol. 1(3). Pp. 35–40.

Поступила в редакцию 25 марта 2021 г.

После переработки 17 июня 2021 г.

Принята к публикации 4 августа 2021 г.

**Для цитирования:** Еремеева Н.Б., Макарова Н.В. Изучение содержания антиоксидантов и их активности в концентрированных экстрактах из ягод клюквы (*Vaccinium Oxycoccus*), облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.), ежевики (*Rubus fruticosus*), калины (*Viburnum opulus* L.) и рябины (*Sorbus aucuparia* L.) // *Химия растительного сырья*. 2021. №4. С. 157–164. DOI: 10.14258/jcprm.2021049365.

Eremeeva N.B.<sup>1,2\*</sup>, Makarova N.V.<sup>2</sup> STUDY OF THE CONTENT OF ANTIOXIDANTS AND THEIR ACTIVITY IN CONCENTRATED EXTRACTS OF CRANBERRY (*VACCINIUM OXYCOCCUS*), SEA BUCKTHORN (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES L.*), BLACKBERRY (*RUBUS FRUTICOSUS*), VIBURNUM (*VIBURNUM OPULUS L.*) AND MOUNTAIN ASH (*SORBUS AUCUPARIA L.*)

<sup>1</sup> ITMO University, Kronverksky pr., 49a, St. Petersburg, 191002 (Russia), e-mail: eremeeva.n@itmo.ru

<sup>2</sup> Samara State Technical University, ul. Molodogvardeyskaya, 244, Samara, 443100 (Russia)

Extracts and their concentrates can be considered as a source of biologically active ingredients of food products and as food additives to increase the consumption of useful substances of berries. The benefits gained from their use lead to the development of advanced technologies that can allow them to be extracted from the feedstock without significantly compromising the biological activity from the feedstock. In this paper, we studied the content of antioxidants and their activity in concentrated extracts of cranberry (*Vaccinium Oxycoccus*), sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides L.*), blackberry (*Rubus fruticosus*), viburnum (*Viburnum opulus L.*) and mountain ash (*Sorbus aucuparia L.*) berries. For all extracts, the total content of phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins, antioxidant activity according to the DPPH method and iron-reducing antioxidant activity (FRAP) were determined. Concentrated extracts of viburnum contain the largest amount of phenolic compounds (9.3±0.3 mol HA/l), flavonoids (1.96±0.08 mol K/l) and anthocyanins (0.26±0.02 mol CG/l) among the studied extracts. There is also a high total content of phenolic substances and flavonoids in blackberry and rowan extracts (5.7 mol HA/l, 1.33 mol K/l and 4.7 mol HA/l, 192 mol K / l, respectively). The antioxidant activity of the extract of viburnum berries showed a directly proportional dependence on the content of biologically active compounds in it: DPPH-method-2.4 mg / ml; FRAP-method-39.99 mmol Fe<sup>2+</sup> / kg. Also, high levels were found in concentrated extracts of blackberries, sea buckthorn and mountain ash. It is the extracts of viburnum, blackberry and mountain ash that are recommended to be used in the production of food products to enrich them with biologically active substances and give them antioxidant properties. Cranberry and sea buckthorn extracts can be used in combination with other extracts.

**Keywords:** extract, berries, phenolic compound, flavonoids, antioxidant activity.

### Referenses

1. Yang B., Kortnesniemi M. *Current Opinion in Food Science*, 2015, vol. 2, pp. 36–42. DOI: 10.1016/j.cofs.2015.01.002.
2. Rodriguez-Mateos A. et al. *J. Agric. Food Chem.*, 2014, vol. 62(18), pp. 3842–3851. DOI: 10.1021/jf403757g.
3. Sevenich R., Mathys A. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2018, vol. 1, pp. 1–17. DOI: 10.1111/1541-4337.12348.
4. Skrovankova S. et al. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, vol. 16 (10), pp. 24673–24706. DOI: 10.3390/ijms161024673.
5. Nowacka M. et al. *International Journal of Food Engineering*, 2017, vol. 13. DOI: 10.1515/ijfe-2016-0306.
6. Nowacka M. et al. *Ultrasonics*, 2018, vol. 83, pp. 18–25. DOI: 10.1016/j.ultras.2017.06.022.
7. Wei E. et al. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, vol. 123, pp. 280–290. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.074.
8. Zielinska A., Nowak I. *Lipids in Health and Disease*, 2017, vol. 16 (1), pp. 95–106. DOI: 10.1186/s12944-017-0469-7.
9. Marsinach M.S., Cuenca A.P. *Lipids in Health and Disease*, 2019, vol. 18 (1), p. 145. DOI: 10.1186/s12944-019-1065-9.
10. Pundir S. et al. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, vol. 266, p. 113459. DOI: 10.1016/j.jep.2020.113459.
11. Ciesarová Z. et al. *Food Research International*, 2020, vol. 133, p. 109170. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109170.
12. Tomas M. et al. *Food Research International*, 2020, vol. 130, p. 1089542. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108954.
13. Ferreira Nogueira G. et al. *Food Packaging and Shelf Life*, 2019, vol. 20, p. 100313. DOI: 10.1016/j.fpsl.2019.100313.
14. Kraujalyte V. et al. *Food Chemistry*, 2013, vol. 141, pp. 3695–3702. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.06.054.
15. Barak H. et al. *Industrial Crops and Products*, 2019, vol. 131, pp. 62–69. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.01.037.
16. Ersoy N. et al. *Folia Horticulturae*, 2017, vol. 29, pp. 181–188. DOI: 10.1515/fhort-2017-0017.
17. Shikov A.N. et al. *Journal of Ethnopharmacology*, 2014, vol. 154(3), pp. 481–536. DOI: 10.1016/j.jep.2014.04.007.
18. Zymone K. et al. *Molecules*, 2018, vol. 23(10), p. 2593. DOI: 10.3390/molecules23102593.
19. Bobinaite R. et al. *Food Research International*, 2020, vol. 136, p. 109310. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109310.
20. Baby B. et al. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, vol. 58(15), pp. 2491–2507. DOI: 10.1080/10408398.2017.1329198.
21. Eremeeva N.B. et al. *Foods and Raw Materials*, 2019, vol. 7(2), pp. 264–273. DOI: 10.21603/2308-4057-2019-2-264-273.
22. Cai M. et al. *Journal of Food Engineering*, 2017, vol. 195, pp. 97–104. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.09.024.
23. Demidova A.V. i dr. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2016, no. 2, pp. 40–43. (in Russ.).
24. Stryukova A.D. i dr. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2013, no. 3, pp. 28–31. (in Russ.).
25. Cheigh C.I. et al. *International Journal of Food Engineering*, 2012, vol. 110(3), pp. 472–477. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.12.019.
26. M'hirin. N. et al. *Food and Bioproducts Processing*, 2015, vol. 69, pp. 161–170. DOI: 10.1016/j.fbp.2015.07.010.
27. Hajimehdipour H. et al. *Research Journal of Pharmacognosy*, 2014, vol. 1(3), pp. 35–40.

Received March 25, 2021

Revised June 17, 2021

Accepted August 4, 2021

**For citing:** Eremeeva N.B., Makarova N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 157–164. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpr.2021049365.

\* Corresponding author.