

Научная статья

УДК 547.97.663.8.7.

DOI: 10.37102/0869-7698\_2022\_222\_02\_6

## Содержание, состав и термостабильность антоцианового красителя, полученного из ягодного сырья

А.Г. Чернобровина<sup>✉</sup>, Н.Е. Куликова, Н.Н. Роева,  
О.Ю. Попова, В.А. Васькина

*Антонина Григорьевна Чернобровина*

кандидат технических наук, профессор

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

ag\_61@list.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>

*Наталья Евгеньевна Куликова*

кандидат технических наук, профессор

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

nataliyakulikova67@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>

*Наталья Николаевна Роева*

доктор химических наук

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

goeva@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>

*Ольга Юрьевна Попова*

преподаватель

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

porovaou@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

*Валентина Андреевна Васькина*

доктор технических наук

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

v.a.vaskina@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5414-3291>

**Аннотация.** Представлены результаты исследований по наиболее полному извлечению природного комплекса красящих веществ, изучению их содержания, состава и выявлению термостабильности с целью применения в рецептурах продуктов питания. На начальном этапе исследований проводили ферментативный гидролиз измельченного ягодного сырья при оптимальных (установленных экспериментально) условиях с добавлением

ферментных препаратов в виде мультэкзимных композиций, соотношение и дозировка которых определена экспериментально. Применение биокатализаторов позволяет увеличить выход антоциановых веществ в ферментативную соковую фракцию для всех ягод по сравнению с соком (контролем), полученным при тех же условиях, но без обработки ягодного сырья ферментными препаратами.

На стадии получения соковой фракции проведен анализ антоцианов: определены их качественный состав и относительное содержание в ферментативной соковой фракции. Выявлен основной компонент антоцианового комплекса всех ягод – цианидин, при этом абсолютный состав красителей, присутствующих в перечисленных ягодах, достаточно разнообразен.

Для наиболее широкого применения ягодных соков в производстве продуктов питания их концентрировали до содержания с. в. 50–75 % и проводили изучение термической стабильности антоциановых красителей в концентратах ягод клюквы, красной смородины, брусники и малины, так как данная характеристика является важной оценкой концентратов с точки зрения их применения в рецептурах пищевых продуктов.

**Ключевые слова:** красящие вещества, термообработка, соковая фракция, ягоды брусники, малины, клюквы, красной смородины

**Для цитирования:** Чернобровина А.Г., Куликова Н.Е., Роева Н.Н., Попова О.Ю., Васькина В.А. Содержание, состав и термостабильность антоцианового красителя, полученного из ягодного сырья // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 72–85. [https://doi.org/10.37102/0869-7698\\_2022\\_222\\_02\\_6](https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_6).

Original article

## Content, composition and thermal stability of anthocyanin dye obtained from berry raw materials

A.G. Chernobrovina, N.E. Kulikova, N.N. Roeva,  
O.Yu. Popova, V.A. Vaskina

*Antonina G. Chernobrovina*

Candidate of Technical Sciences, associate professor  
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia  
[ag\\_61@list.ru](mailto:ag_61@list.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>

*Nataliya E. Kulikova*

Candidate of Technical Sciences, associate professor  
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia  
[nataliyakulikova67@mail.ru](mailto:nataliyakulikova67@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>

*Natal'ya N. Roeva*

Doctor of Science (Chemistry), Professor  
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia  
[roeva@mgupp.ru](mailto:roeva@mgupp.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>

*Olga Yu. Popova*

Teacher

Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

popovaoyu@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

*Valentina A. Vaskina*

Doctor of Science (Technical), Professor

Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

v.a.vaskina@inbox.ru

**Abstract.** In this work, studies were carried out on the most complete extraction of the natural complex of coloring substances, the study of their content, composition and the identification of thermal stability in order to use them in food formulations. At the initial stage of research, enzymatic hydrolysis of crushed berry raw materials was carried out under optimal (experimentally established) conditions with the addition of enzyme preparations in the form of multiexim compositions, the ratio and dosage of which was determined experimentally. The use of biocatalysts makes it possible to increase the yield of anthocyanin substances in the enzymatic juice fraction for all berries, in comparison with the juice (control) obtained under the same conditions, but without the processing of berry raw materials with enzyme preparations.

At the stage of obtaining the juice fraction, anthocyanins were analyzed: their qualitative composition and relative content in the enzymatic juice fraction were determined. The main component of the anthocyanin complex of all berries, cyanidin, was revealed, while the absolute composition of the dyes presented in the listed berries is quite diverse.

For the widest use of berry juices in food production, they were concentrated to dry matter content of *c.v.* 50-75% and studied the thermal stability of anthocyanin dyes in the concentrates of cranberries, red currants, cowberries and raspberries, since this characteristic is an important assessment of concentrates in terms of their use in food formulations.

**Keywords:** dyes, heat treatment, juice fraction, cowberry, raspberry, cranberry, red currant.

**For citation:** Chernobrovina A.G., Kulikova N.E., Roeva N.N., Popova O.Yu, Vaskina V.A. Content, composition, and thermal stability of anthocyanin dye obtained from berry raw materials. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022. No. 2. P. 72–85. [https://doi.org/10.37102/0869-7698\\_2022\\_222\\_02\\_6](https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_6).

## Введение

В России, как и во многих других странах, отмечается повышенный интерес к высококачественным, полноценным и безопасным продуктам питания, полученным на основе натурального сырья. Как правило, для сохранения, улучшения или придания продукту привлекательного внешнего вида в рецептурах предусмотрено введение красителей – синтетических и натуральных. Дискуссии о необходимости и целесообразности их применения ведутся как специалистами, так и потребителями. И какие бы аргументы ни приводились противниками окрашивания пищевых продуктов, в сознании человека вкус и цвет пищи связаны очень тесно. Приоритет использования натуральных пищевых красителей в технологии производства продуктов питания обусловлен стремлением производителей придать продукту статус «экопродукта». Известно, что наиболее востребованными на мировом рынке являются антоциановые красные красители. Антоциановые красители – широко распространенные водорастворимые красители, основным компонентом которых являются антоцианы, относящиеся к группе флавоноидных соединений. Схематическое строение молекулы антоциана представлено на рис. 1.

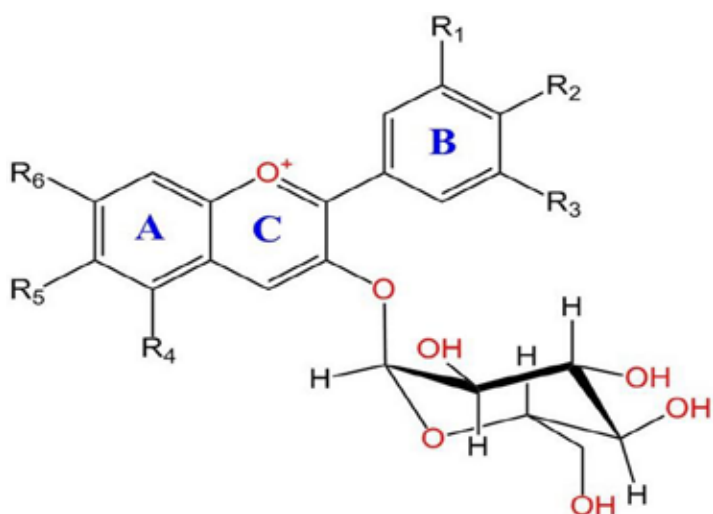


Рис. 1. Схема строения молекулы антоцианов: *A* и *B* – бензольные циклы, *C* – цикл, содержащий в качестве гетероатома кислород

В кислой среде антоцианины и антоцианидины находятся в виде катиона флавилия, придающего раствору ярко-красную окраску [1]. Источником для их получения служит растительное сырье, в том числе ягоды клюквы, малины, брусники, красной смородины и др.

Известными способами извлечения натуральных красящих веществ является экстракция растворителем и последующая очистка экстракта от соответствующих соединений. Эффективность экстрагирования во многом зависит от способа подготовки сырья и его предобработки, поэтому чаще всего для наиболее полного извлечения природных компонентов, в том числе красителей, применяют измельчение сырья и его биотехнологическую обработку с последующей экстракцией. Имеются исследования (напр., [2]), свидетельствующие об эффективном использовании ферментных препаратов для увеличения коэффициента внутренней диффузии, способствующей увеличению экстракции; также описаны факты использования биокатализаторов для увеличения выхода природных компонентов за счет частичной биодеградации структурных биополимеров клеточной стенки. В частности, при обработке мезги рябины ферментным препаратом пектолитического действия был получен сок, интенсивность окраски которого в 1,8 раз выше, чем сока, полученного без обработки ферментным препаратом [2]. Доказана эффективность предварительной ферментации Целлюлазой-100 ягод аронии для получения антоцианового красителя: выход антоцианов при последующей водно-спиртовой экстракции увеличился на 25 %, а качество и стойкость полученного в виде концентрата красителя соответствовали наилучшим показателям, что позволило использовать этот препарат в качестве красителя при производстве продуктов питания [2].

Натуральные пищевые красители безвредны для организма человека, однако их применение несколько ограничено, так как в технологическом процессе они проявляют лабильные свойства, легко окисляются под действием кислорода воздуха, солнечного света, высоких температур и при взаимодействии с металлами [1, 3]. Результаты многочисленных исследований [3, 4], полученные в разных странах за последние годы подтверждают, что натуральные красители, используемые

при производстве продуктов питания, частично или даже полностью утрачивают первоначальную цветовую палитру: яркие ягоды малины или клубники после термической обработки изменяют свою окраску до блекло-розовой. Большой интерес вызывают исследования по наиболее полному извлечению природного комплекса красящих веществ, изучению их содержания, состава и выявлению термостабильности с целью применения в рецептурах продуктов питания.

Цель исследований – изучение содержания и состава антоциановых красителей соковой фракции ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины, полученной в результате их комплексной ферментативной обработки, и выявление влияния температурной обработки на стабильность антоциановых красителей в концентратах соковых фракций указанных ягод.

## Материалы и методы

В работе использовали ягоды красной смородины, собранные в саду, и дикорастущие ягоды малины, брусники и клюквы, собранные в Московской области в 2021 г. В качестве ферментных препаратов пектолитического действия использовали Fructocim БЕ, Fructocim П6-Л, Fructocim-Color (производитель – фирма «Эрб Сле», Германия) и целлюлолитического действия – Ламинекс-С2К и Ламинекс-ВГ, полученные в результате ферментации штамма *Trichoderma reesei*, Ксибитен-цел (производитель Biovet, Болгария) и Целлолюкс-А (производитель Сиббиофарм, Россия). Дозировка ферментных препаратов и их состав зависят от комплекса активностей каждого из них и вида сырья. На основании ряда исследований определены оптимальные условия проведения ферментативного гидролиза и смоделированы МЭК (мультиэнзимные композиции) ферментных препаратов (состав и концентрации ферментных препаратов) для каждого вида ягод: МЭКб – для ягод брусники (ф.п. Fructocim-Color + ф.п. Ламинекс-ВГ), МЭКм – для ягод малины (ф.п. Ламинекс-С2К + ф.п. Fructocim-П6), МЭКк – для клюквы (ф.п. Fructocim-БЕ + Целлолюкс-А) и МЭКсм – для ягод красной смородины (ф.п. Фрутоцим-Колор + ф.п. Ксибитен-Цел) [5–7]. Суммарное содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом [8], основанным на специфическом для антоциановых красителей изменении поглощения в зависимости от значений pH раствора. Качественный состав антоцианов в ферментативных соковых фракциях ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины определяли с помощью высокоэффективной жидкостной обращенно-фазовой хроматографии (ВЭЖХ) с использованием спектрофотометрического детектора при оптимальной длине волны 510 нм [8].

## Результаты и обсуждение

На начальном этапе исследований проводили ферментативный гидролиз измельченного ягодного сырья при оптимальных (установленных экспериментально) условиях с добавлением ферментных препаратов в виде мультиэнзимных композиций, соотношение и дозировка которых разработана экспериментально с применением метода математического моделирования на основе униформ рототабельного планирования для каждого вида ягод [5–7]. Длительность обработки

составляла 1,5–2 ч при температуре 45 °С. В результате ферментативного гидролиза выход сока увеличивался на 20 % для малины и на 30 % – для красной смородины, брусники и клюквы по сравнению с контролем – соком, полученным без ферментативной обработки.

При этом изучали содержание красителей в соке, полученном после ферментативного гидролиза. Установлено увеличение выхода антоцианов – красящих веществ растений. Антоцианы локализируются в клеточном соке в растворенном виде, а при действии на мезгу ягод ферментных препаратов уменьшается количество и прочность связей пигмента с лигноуглеводным комплексом клетки, тем самым обеспечивается доступ к нему экстрагента, поэтому антоцианы легко переходят в сок. Данные по увеличению выхода красящих веществ в ферментативную соковую фракцию для каждого вида ягод представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Содержание красящих веществ в ферментативных соковых фракциях ягод брусники, малины, клюквы и красной смородины и в соке (контроль)**

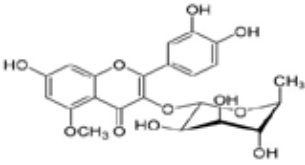
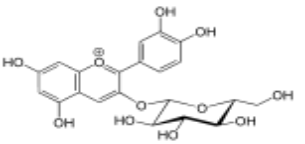
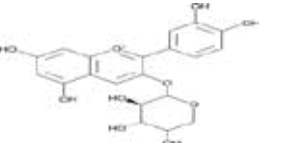
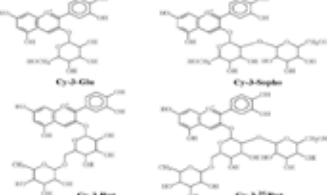
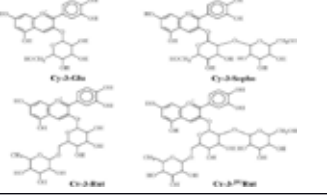
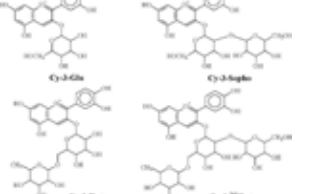
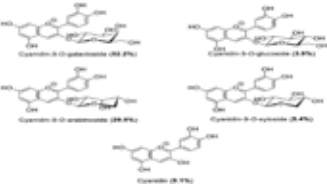
Показатель	Содержание антоцианов в ферментативной соковой фракции (фсф) и соке ягод							
	клюкwa		брусника		красная смородина		малина	
	сок	фсф	сок	фсф	сок	фсф	сок	фсф
Антоцианы, мг/л	195	325	294,40	523,70	197,6	235,6	106,20	146,40
В том числе лейкоантоцианы	50,40	115	103,40	159,20	49,12	62,10	37,00	55,00

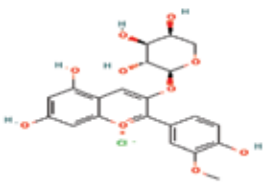
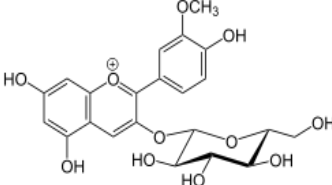
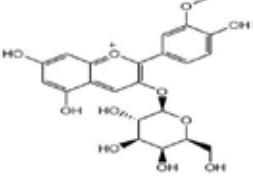
Из данных табл. 1 видно, что выход антоциановых веществ в ферментативную соковую фракцию увеличился для всех ягод по сравнению с соком (контролем), полученным при тех же условиях, но без обработки ягодного сырья ферментными препаратами: в 1,2 раза – для сока из красной смородины, в 1,4 раза – для сока из ягод малины, в 1,7 раза – для сока клюквы и до 1,8 раза – для сока брусники. Таким образом, установлено, что проведение комплексной ферментно-тепловой обработки с применением МЭК для каждого вида ягод способствует более полной экстракции и переводу в растворимую часть ферментативной соковой фракции ценных физиологически функциональных ингредиентов ягод (антоцианов). Повышение выхода антоцианов и максимальное их сохранение в процессе переработки имеют большое значение для физиологии питания, так как, согласно взглядам академика И.П. Павлова, в процессе эволюции у человека создались крепкие интуитивные связи между зрительным восприятием и процессом пищеварения. На стадии получения соковой фракции был проведен анализ антоцианов: определен их качественный состав и относительное содержание в ферментативной соковой фракции, полученной прессованием обработанного ферментными препаратами измельченного ягодного сырья. Данные исследований представлены в табл. 2.

В растительном мире наиболее распространены так называемые неметилированные антоцианидины, т.е. не содержащие в боковом кольце своих молекул (кольце Б) группу  $\text{CH}_3$  [9]. Первое место в этом отношении занимает цианидин [9, 10], который и обуславливает идентичную цветовую пигментацию сока, экстрагированного из ягод брусники, малины, клюквы и красной смородины, так как его относительное содержание по сравнению с другими антоцианидинами, присутствующими во всех исследуемых объектах, наибольшее. В то же время данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что все четыре соковые

Таблица 2

**Состав и относительное содержание компонентов антоцианового красителя  
в ферментативной соковой фракции ягод**

Компонент антоцианового красителя	Относительное содержание и состав антоцианового красителя в ферментативной фракции ягод, %			
	брусника	малина	клюква	смородина
 <p><b>Cy-3- gal</b></p>	80,8	–	25,4	–
 <p><b>Cy-3- glu</b></p>	4,3	48,5	4,5	–
 <p><b>Cy-3- arab</b></p>	14,9	–	15,4	–
 <p><b>Cy-3-Glu</b>      <b>Cy-3-Mal</b> <b>Cy-3-Rut</b>      <b>Cy-3-P-Rut</b></p>	–	4,3	–	60,7
 <p><b>Cy-3-Glu</b>      <b>Cy-3-Mal</b> <b>Cy-3-Rut</b>      <b>Cy-3-P-Rut</b></p>	–	38,4	–	4,2
 <p><b>Cy-3-Glu</b>      <b>Cy-3-Mal</b> <b>Cy-3-Rut</b>      <b>Cy-3-P-Rut</b></p>	–	8,8	–	8,6
 <p><b>Cyanidin-3-O-glucuronide (88,4%)</b>      <b>Cyanidin-3-O-malonic acid (2,4%)</b> <b>Cyanidin-3-O-rutonic acid (28,4%)</b>      <b>Cyanidin-3-O-syringic acid (2,4%)</b> <b>Cyanidin (2,4%)</b></p> <p><b>Cy-3- xyl</b></p>	–	–	–	26,6

Компонент антоцианового красителя	Относительное содержание и состав антоцианового красителя в ферментативной фракции ягод, %			
	брусника	малина	клюква	смородина
 <p><b>Peo-3-arab</b></p>	–	–	18,4	–
 <p><b>Peo-3-glu</b></p>	–	–	5,8	–
 <p><b>Peo-3-gal</b></p>	–	–	30,5	–

Примечание. Прочерк – компонент отсутствует.

фракции, полученные из ягод, содержат различный, абсолютно не совпадающий по составу, набор антоцианов. Многообразие оттенков пигментации ягод обусловлено большим количеством комбинаций гликозилирования и ацилирования [10]. Чаще всего один или несколько фрагментов сахаров присоединяются через гликозидную связь в 3-, 5- и 7-положения. Замена одного вида сахара на другой также влияет на воспринимаемый цвет пигментов антоциана. Антоцианидин – 3-гликозиды окрашены интенсивнее, чем соответствующие 3,5- и 5-гликозиды [9]. В качестве структурных элементов красителя большая доля в количественном отношении приходится в ягодах брусники – на моносахарид галактозы цианидин-3-галактозид (около 80 %), малины – на моносахарид глюкозы цианидин 3-гликозид (около 50 %), красной смородины – на дисахарид глюкорутинозид: цианидин-3-глюкорутинозид (60 %) , а в клюкве практически в равных долях содержатся антоцианидины (пеонидин и ционидин), содержащие один и тот же моносахарид – галактозу: пеонидин-3-галактозид (30 %) и ционидин-3-галактозид (25 %) (табл. 2).

Для наиболее широкого применения ягодных соков в производстве продуктов питания их чаще всего концентрируют до 50–75%-го содержания сухих веществ. Поэтому следующий шаг в наших исследованиях – концентрирование ферментативной соковой фракции ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины, которое вели под вакуумом при температуре 60–70 °С. В процессе получения



концентраты увеличивают химическую и микробиологическую стабильность и могут в течение длительного времени быть использованы в качестве натуральных красителей. Технологии получения многих пищевых продуктов включают термическую обработку, в результате которой происходит частичная или даже полная утрата первоначальной окраски красителей. Это обусловлено наличием в гетероциклическом кольце антоцианов кислорода, который обладает высокой реакционной способностью за счет электронной недостаточности. Вследствие этого антоцианы легко окисляются, образуют соли, вступают в реакции с различными органическими соединениями (полисахаридами, белками, танинами, образуя бесцветные комплексные соединения) и претерпевают изменения, что понижает пищевую и биологическую ценность продукта: ухудшается его цвет, а следовательно, и качество [10, 11]. На рис. 2 показаны предлагаемые пути термической деструкции антоцианов.

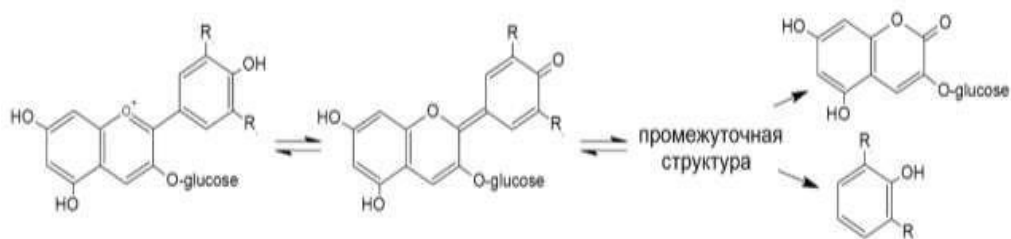


Рис. 2. Деградация моноглокозида антоциана при термическом воздействии в кислой среде (pH = 3,7)

В целом те же структурные факторы, которые обуславливают стабильность pH антоцианов, могут повышать или стабилизировать антоциановые красители при термической обработке [9, 12]. Первый этап термической деструкции антоцианов сопровождается образованием халкона [10–12]. Итогом термической дегградации красителей является образование коричневых продуктов, особенно в присутствии кислорода [10–12]. Термическая дегградация антоцианов следует кинетике первого порядка [3, 4]. Высокая температура наряду с высоким pH может вызывать частичную или полную дегградацию антоцианов. Поэтому изучение и оценка термической стабильности антоциановых красителей в концентратах ягод клюквы, красной смородины, брусники и малины – важная составляющая с точки зрения их применения в рецептурах пищевых продуктов.

Изучение термостабильности антоциановых красителей в концентратах ягод проводили по следующей методике. На часовое стекло наносили концентраты (по 6 образцов каждого концентрата ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины) с точной массой (5 г) и термостатировали при температуре 80 °C, при этом через определенные промежутки времени (0,5; 1; 2; 3; 4 и 5 ч) определяли оптическую плотность и рассчитывали содержание антоциановых красителей в исследуемых объектах. После термостатирования определение проводили следующим образом: концентрат растворяли в 4%-м растворе соляной кислоты в колбе объемом 100 мл, добавляли туда же 12,5 мл подкисленного этилового спирта (pH = 1,2). После этого раствор центрифугировали в течение 10 мин и определяли оптическую плотность при  $\lambda = 540$  нм и  $l = 1$  мм на спектрофотометре КФК-3. Затем образцы концентратов термостатировали при более высоких температурах

(90 и 100 °С) и по такой же методике определяли оптическую плотность и содержание антоциановых красителей. Данные по изучению оптической плотности представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Влияние температуры и времени обработки на величину оптической плотности красителей в исследуемых растворах концентратов ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины**

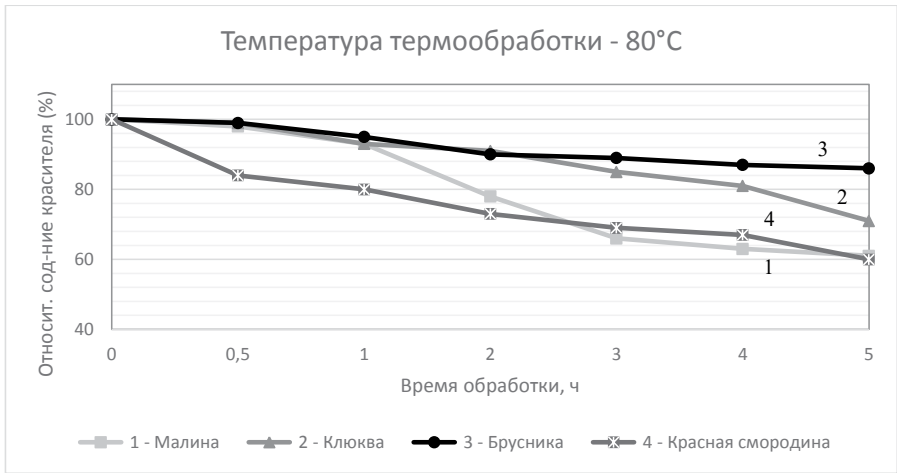
Температура термостагирования, °С	Время обработки, ч							
		0	0,5	1	2	3	4	5
80	Концентрат из ягод	Среднее значение оптической плотности концентратов ягод после термообработки при различных температурах						
	малины	0,514	0,504	0,478	0,401	0,339	0,324	0,314
	брусники	0,785	0,785	0,73	0,705	0,700	0,680	0,670
	клюквы	0,560	0,554	0,520	0,510	0,476	0,454	0,398
	смородины	0,380	0,320	0,304	0,277	0,262	0,255	0,228
90	малины	0,514	0,457	0,416	0,370	0,324	0,262	0,216
	брусники	0,785	0,765	0,700	0,660	0,625	0,605	0,520
	клюквы	0,560	0,543	0,487	0,460	0,448	0,431	0,392
	смородины	0,380	0,312	0,280	0,231	0,214	0,190	0,182
100	малины	0,514	0,427	0,315	0,288	0,221	0,175	0,154
	брусники	0,785	0,675	0,655	0,615	0,591	0,575	0,510
	клюквы	0,560	0,521	0,465	0,420	0,403	0,336	0,286
	смородины	0,380	0,296	0,280	0,137	0,122	0,009	0,630

На основе полученных данных строили график зависимости уменьшения антоциановых красителей (в %) в концентратах ягод от времени термической обработки при соответствующих температурах воздействия; контролем служил концентрат, не подвергавшийся термообработке. Данные исследований представлены на рис. 3.

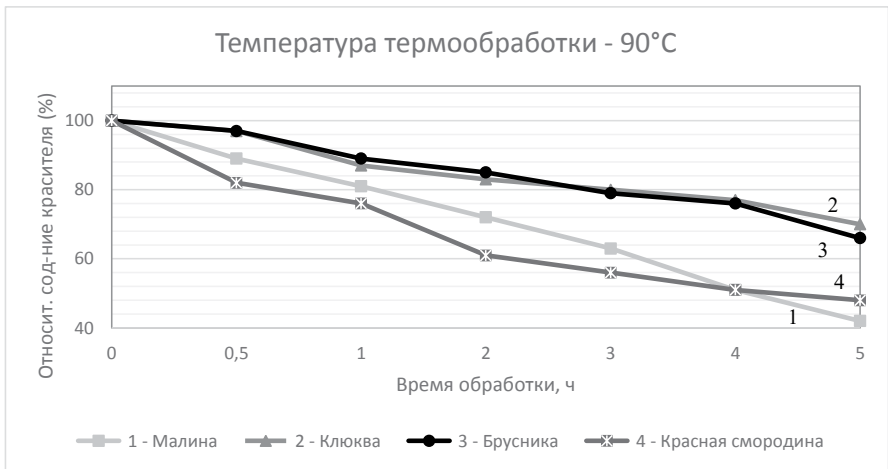
На графиках зависимости видно, что содержание антоциановых красителей в концентратах ягод уменьшается под действием температуры. Даже при кратковременном температурном воздействии происходит деградация красящих веществ, что вызвано увеличением скорости окисления и поликонденсацией полифенольных фрагментов [13]. Увеличение времени термостагирования приводит к постепенному уменьшению оптической плотности, а значит, и содержания антоциановых красителей. Повышение температуры от 80 до 100 °С при значениях рН = 2–4 (характерных для концентратов ягод клюквы, малины, брусники и красной смородины) вызывает потерю гликозильных фрагментов антоцианов путем гидролиза гликозидной связи [10]. Это провоцирует изменение антоциановой окраски.

Сравнивая представленные данные по изменению оптической плотности исследуемых концентратов ягод, можно видеть, что незначительное уменьшение оптической плотности наблюдается у концентрата ягод брусники при различном температурном воздействии, что говорит о наименьшей потери красящих веществ в концентратах этих ягод. Следует отметить, что при температуре 80 °С содержание красителей в концентратах ягод брусники и клюквы сохраняется до 80 % при

*a*



*б*



*в*

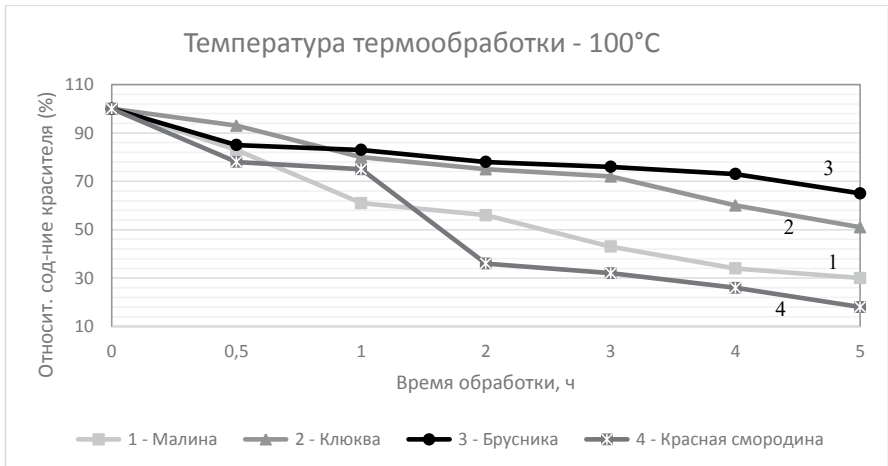


Рис. 3. График зависимости уменьшения антоциановых красителей (% от исходного значения) в концентратах ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины от времени термической обработки и температуры: *a* – 80, *б* – 90, *в* – 100 °С

термостатировании в течение 4 ч. При температуре 100 °С количество красящих веществ через 5 ч уменьшается почти в 2 раза в концентрате клюквы, в 1,4 раза – в концентрате брусники. В концентратах малины и красной смородины потери антоциановых красителей даже при низкой температуре составляют 40 %, а при более высокой (100 °С) – соответственно 70 и 82 %. Таким образом, комплекс красителей концентратов брусники и клюквы более устойчив к действию высоких температур, т.е. обладает способностью к более значительной термоустойчивости и стабильности, чем антоцианы концентрата малины и красной смородины. В то же время следует отметить, что антоциановые красители малины при кратковременном (1 ч) воздействии при температуре 80 °С остаются достаточно стабильными. Поскольку пастеризацию напитков проводят именно при 80 °С, при получении соков из ягод малины следует ожидать интенсивно окрашенный напиток, цвет которого характерен для этих ягод.

### Заклучение

Комплексная ферментативно-тепловая обработка ягодного сырья способствует более глубокой биоконверсии и наиболее полному извлечению природного комплекса красящих веществ. В процессе исследований установлен более высокий выход и содержание антоциановых красителей в соковых фракциях из ягод брусники и клюквы по сравнению с содержанием красителей в соке из ягод малины и красной смородины.

Кроме того, определен компонентный состав антоциановых красителей в соковых фракциях из ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины, который во многом определяет их термостабильность: в состав антоцианового красителя ягод брусники и клюквы входит цианидин – арабинозид, который более устойчив при термической обработке, чем соответствующие галактозиды [10, 13]. Действительно, данные, полученные при изучении термической деструкции четырех антоциановых красителей в концентратах из различных ягод, свидетельствуют о том, что в результате их термостатирования в течение 5 ч наименьшая потеря окраски при максимальной температуре 100 °С наблюдалась в концентратах ягод брусники и клюквы (произошла потеря 35 и 50 % красящих веществ соответственно). Наименьшая стабильность при тех же условиях обработки выявлена у антоцианов малины и красной смородины.

Таким образом, можно рекомендовать использование всех концентратов ягодного сырья для окрашивания продуктов питания, технология получения которых предусматривает термическую обработку, однако приоритет следует отдать концентрату из ягод брусники.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Танчев С.С. Антоцианы в плодах и овощах. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 256 с.
2. Тимофеева В.Н., Саманкова Н.В., Азаренко Ю.П. Исследование влияния тепловой и ферментативной обработки плодов аронии черноплодной на выход сока и содержание в нем антоцианов // Вестн. МГУП. 2008. № 2. С. 57–60.
3. Rhim J. Kinetics of thermal degradation of anthocyanin pigment solutions driven from red flower cabbage // Food Science and Biotechnology. 2002. Vol. 11. P. 361–364.
4. Ahmed J. Thermal degradation kinetics of anthocyanin and visual colour of plum puree // European Food Research and Technology. 2004. Vol. 218. P. 525–528.

5. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю., Зайцев Д. Применение методов математического моделирования для оптимизации условий и интенсификации переработки ягодного сырья: Сб. ст. по материалам II Всерос. науч.-практ. конф. Им. акад. РАН Ю.А. Израэля. 2017. С. 182–186.
6. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Выбор состава мультэкзимальной композиции для обработки многокомпонентного дикорастущего сырья : Сб. ст. по материалам II Всерос. науч.-практ. конф. им. акад. Ю.А. Израэля. 2017. С. 198–200.
7. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Куликова Н.Е., Попова О.Ю. Ферментативная соковая фракция дикорастущих ягод: получение, аналитическое изучение ингредиентного состава и перспективы его применения // Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино. 2020. № 2. С. 34–39.
8. Эллер К.И. и др. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М.: Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 240 с.
9. Кульченко Я.Ю., Дейнека Л.А. Влияние состава антоцианового комплекса на окраску экстрактов при повышенных значениях pH // Региональные геосистемы. 2017. Т. 39, № 11 (260). С. 79–83.
10. Cabrita L., Petrov V., Pina F. On the thermal degradation of anthocyanidins: cyanidin // Roy. Soc. Chem. 2013 RSC Advances. 2013. N 9. P. 1–6.
11. Furtado P. Photochemical and thermal degradation of anthocyanidins // Journal of Photochemistry and Photobiology A. 1993. Vol. 75, N 2. P. 113–118.
12. Colorants / J.H. Elbe [et. al.] // Food Chemistry. N.Y.: Marcel Dekker Inc., 1996. P. 651–723.
13. Степанова Н.Ю. Исследование свойств и применение растительных пигментов // Изв. Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 41. С. 56–64.

#### REFERENCES

1. Tanchev S.S. Antociany v plodah i ovoshchah = [Anthocyanins in fruits and vegetables]. М.: Pishhevaya promyshlennost, 1980. 256 p. (In Russ.).
2. Timofeeva V.N., Samankova N.V., Azarenko Yu.P. Issledovanie vliyaniya teplovoi i fermentativnoi obrabotki plodov aronii chernoplodnoi na vykhod soka i sodержanie v nem antotsianov = [Study of the effect of thermal and enzymatic treatment of aronia chokeberry fruits on juice yield and anthocyanin content]. *Vestnik MGUP*. 2008;(2):57-60. (In Russ.).
3. Rhim J. Kinetics of thermal degradation of anthocyanin pigment solutions driven from red flower cabbage. *Food Science and Biotechnology*. 2002;(11):361-364.
4. Ahmed J. Thermal degradation kinetics of anthocyanin and visual color of plum puree. *European Food Research and Technology*. 2004;(218):525-528.
5. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю., Зайцев Д. Применение методов математического моделирования для оптимизации условий и интенсификации переработки ягодного сырья = [Application of mathematical modeling methods to optimize conditions and intensify the processing of berry raw materials]. In: *Sbornik statej po materialam II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii imeni Akad. RAN Yu.A. Izraelya*, 2017;182-186 (In Russ.).
6. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Vy`bor sostava mul`te`kzimnoi kompozitsii dlya obrabotki mnogokomponentnogo dikorastushhego syr`ya = [The choice of the composition of the multi-exim composition for the processing of multi-component wild-growing raw materials ]. In: *Sbornik statej po materialam II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii im. Akad. RAN Yu.A. Izraelya*. 2017;198-200 (In Russ.).
7. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Куликова Н.Е., Попова О.Ю. Fermentativnaya sokovaya fraktsiya dikorastushchih yagod: poluchenie, analiticheskoe izuchenie ingredientnogo sostava i perspektivy`ego primeneniya = [Enzymatic juice fraction of wild berries: obtaining, analytical study of the ingredient composition and prospects for its application]. *Pivo i napitki: bezalkogol`nye, alkogol`nye soki, vino*. 2020;(2):34-39. (In Russ.).
8. Eller K.I. i dr. Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheskii aktivnykh dobavok k pishche = [Guidance on methods of quality control and safety of biologically active additives to food.]. М.: Federal`nyj centr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii. 2004;240. (In Russ.).
9. Kul`chenko Ya.Yu., Dejneka L.A. Vliyanie sostava antotsianovogo kompleksa na okrasku ekstraktov pri povyshennykh znacheniyakh rN = [Influence of the composition of the anthocyanin complex on the color of extracts at elevated pH values]. *Regional`nye geosistemy*. 2017;(39):11(260):79-83. (In Russ.).
10. Cabrita L., Petrov V., Pina F. On the thermal degradation of anthocyanidins: cyaniding. *The Royal Society of Chemistry 2013 RSC Advances*. 2013;(9):1–6.

11. Furtado P. Photochemical and thermal degradation of anthocyanidins. *Journal of Photochemistry and Photobiology A*. 1993;(75(2)):113-118.
12. Von Elbe J.H. Colorants. *Food Chemistry*. Fennema O.R. (ed.). 3rd ed. 1996:651–723.
13. Stepanova N. Yu. Issledovanie svoystv i primeneniye rastitel'nykh pigmentov = [Study of properties and application of plant pigments]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;(41):56-64. (In Russ.).