

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2438>
<https://elibrary.ru/VCQEQM>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Исследование процесса выпаривания для получения концентратов из растительного сырья



Н. Е. Куликова*^{ORCID}, А. Г. Чернобровина^{ORCID},
Н. Н. Роева^{ORCID}, О. Ю. Попова^{ORCID}

Российский биотехнологический университет^{ORCID}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 14.06.2022
Принята после рецензирования: 26.10.2022
Принята к публикации: 08.11.2022

*Н. Е. Куликова: nataliyakulikova67@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>
А. Г. Чернобровина: <https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>
Н. Н. Роева: <https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>
О. Ю. Попова: <https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

© Н. Е. Куликова, А. Г. Чернобровина, Н. Н. Роева,
О. Ю. Попова, 2023



Аннотация.

Выпаривание в специальных вакуум-выпарных аппаратах в условиях пониженного давления является эффективным способом получения сухих концентратов. Однако существуют факторы, влияющие на эффективность и скорость упаривания. Цель исследования заключалась в изучении влияния технологических факторов на процесс упаривания в ротационном испарителе, а также в подборе оптимального режима и его применении для получения концентратов и экстрактов из растительного сырья.

Экспериментальные исследования выполнили на лабораторном ротационном испарителе BUCHI Rotavapor (BUCHI, Швейцария). Упариванию подвергали водно-спиртовой экстракт ягод черники лесной и ферментативный гидролизат зернового сорго, полученный путем биотехнологической обработки амилотических ферментными препаратами. В работе применяли стандартные методы исследований.

В результате проведенных исследований выявили основные закономерности и определили оптимальные значения эффективного режима упаривания с использованием ротационного испарителя: объем испарительной колбы – 1 л, толщина стенок колбы – 1,8 мм, угол наклона – 25°, скорость вращения – 280 об/мин, температура нагревательной бани – 50–60 °С, температура пара в испарителе – 30–40 °С (для его конденсации температура хладагента в конденсаторе составила 10–20 °С). Получили концентрат ягод черники лесной насыщенного сине-фиолетового цвета с содержанием сухих веществ 70–72 % и повышенным содержанием полифенольных соединений (в 1,86 раз) и антоцианов (1,4 раза) по сравнению с исходным водно-спиртовым экстрактом. Из ферментативного гидролизата зернового сорго получили гущенный сахарный сироп с содержанием сухих веществ 78–80 % и редуцирующих сахаров в пересчете на глюкозный эквивалент 91–92 %.

Подобраны оптимальные режимы упаривания экстрактов и ферментативных гидролизатов из растительного сырья с использованием ротационного испарителя. Получили растительные концентраты с высоким содержанием сухих веществ и сохранением органолептических характеристик исходного продукта.

Ключевые слова. Ротационный испаритель, упаривание, ферментативный гидролизат, водно-спиртовой экстракт, концентрат, растительное сырье

Для цитирования: Исследование процесса выпаривания для получения концентратов из растительного сырья / Н. Е. Куликова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 335–346. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2438>

Evaporation as a Method for Obtaining Plant Concentrates



Nataliya E. Kulikova*^{ORCID}, Antonina G. Chernobrovina^{ORCID},
Natalia N. Roeva^{ORCID}, Olga Yu. Popova^{ORCID}

Russian Biotechnological University^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 14.06.2022
Revised: 26.10.2022
Accepted: 08.11.2022

Nataliya E. Kulikova: nataliyakulikova67@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>
Antonina G. Chernobrovina: <https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>
Natalia N. Roeva: <https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>
Olga Yu. Popova: <https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

© N.E. Kulikova, A.G. Chernobrovina, N.N. Roeva,
O.Yu. Popova, 2023



Abstract.

Low-pressure vacuum evaporation is an effective way to obtain dry concentrates. However, some factors may affect its efficiency and speed. This article introduces the effect of technological factors on the evaporation process in a rotary evaporator. The research objective was to select the optimal mode to obtain concentrates and extracts from plant materials.

The experimental studies involved standard research methods and a BUCHI Rotavapor laboratory rotary evaporator (BUCHI, Switzerland). The research featured a water-alcohol extract of wild blueberries and an enzymatic hydrolysate of grain sorghum (durra), obtained by biotechnological treatment with amylolytic enzyme preparations.

The optimal evaporation mode included the following values: the volume of the evaporation flask was 1 L; the wall thickness of the flask was 1.8 mm; the angle of inclination was 25°; the rotation speed was 280 rpm; the temperature heating bath was 50–60°C; the steam temperature in the evaporator was 30–40°C. For condensation, the temperature of the refrigerant in the condenser was 10–20°C. The experiment yielded a concentrate of blue-violet blueberries with 70–72% solids. The content of polyphenolic compounds was 1.86 times as high as in the original water-alcohol extract while that of anthocyanins was 1.4 times as high. The enzymatic hydrolysate of grain sorghum yielded a condensed sugar syrup with 78–80% solids and 91–92% reducing sugars in terms of glucose equivalent.

The research provided optimal modes of evaporation for extracts and enzymatic hydrolysates from plant raw materials in a rotary evaporator. The plant concentrates had a high content of solids and maintained the sensory properties of the raw material.

Keywords. Rotary evaporator, evaporation, enzymatic hydrolysate, extract, concentrate, vegetable raw materials

For citation: Kulikova NE, Chernobrovina AG, Roeva NN, Popova OYu. Evaporation as a Method for Obtaining Plant Concentrates. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):335–346. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2438>

Введение

Пищевая промышленность является частью агропромышленного комплекса, которая ориентирована на производство различных видов продуктов питания в требуемых объемах и необходимом ассортименте, качество и безопасность которых связаны с сохранением исходного сырья и готовой продукции [1–3]. Вопрос долговременного сохранения продуктов питания в пригодном для употребления виде всегда волновал человечество и до сих пор остается актуальным. Для сохранения продуктов или выделения отдельных компонентов часто прибегают к процессу концентрирования – удалению части влаги с повышением концентрации сухих веществ. Концентрация замедляет нежелательные биохимические и микробиологические процессы, тем

самым увеличивая срок хранения, и уменьшает объем жидкости, что снижает затраты на транспортировку и хранение [2–4]. Основными способами удаления влаги являются выпаривание, мембранные методы разделения и криоконцентрирование. Преимущественно используемым способом получения сухих концентратов является способ выпаривания, осуществляемый в специальных вакуум-выпарных аппаратах в условиях пониженного давления. Температура концентрируемого вещества составляет примерно 50–80 °С, что позволяет ограничить нежелательные изменения в продукте [5, 6].

При выделении многих биологически активных веществ в качестве экстрагента используют ацетон, спирты и другие органические растворители, которые необходимо удалять после их действия из

получаемого продукта. Поэтому выпаривание остается актуальным способом в данном процессе производства. Например, извлечение красителей природного происхождения (хлорофилла) не обходится без экстракции органическим растворителем [7]. Производить концентрированный виноградный сок или виноградный мед, исключая термоокислительную трансформацию полифенолов, обеспечивающих их сохранность, а также других биологически активных компонентов, повышающих устойчивость организма к действию ионизирующих излучений, необходимо проводить на установках с низким температурным режимом, которое возможно создать за счет понижения давления [8, 9]. Таким образом, концентрирование является одним из основных процессов при производстве пищевых продуктов, особенно при получении сгущенных плодовых и овощных соков, томатной пасты, варенья, повидла и т. п. [10–12].

Наряду с концентрированием одним из перспективных способов обеспечения населения продуктами питания является производство консервированной продукции, получаемой путем выпаривания. Консервирование плодово-ягодного сырья включает стадию экстрагирования водно-спиртовым растворителем с последующей деалкоголизацией и удалением лишней влаги. Однако этот процесс связан с необходимостью повышения температуры, что может ухудшить пищевую ценность продукта. Поэтому для проведения этих операций необходимо подобрать оптимальный температурно-временной режим. Наиболее рациональным и экономически выгодным способом деалкоголизации и концентрирования жидких пищевых смесей остается выпаривание под вакуумом. Получаемые продукты практически не меняют свои органолептические характеристики и содержат большое количество полезных веществ, сохраняя неизменный состав длительное время [13–15].

Для достижения данных целей в аналитических лабораториях наиболее часто используется ротационный испаритель. Благодаря новейшим технологиям современные ротационные испарители просты в эксплуатации, позволяют максимально автоматизировать процессы и проводить упаривание без наблюдения оператора. Несмотря на это, существуют факторы, влияющие на эффективность и скорость упаривания [11, 12, 16, 17].

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния таких факторов, как толщина слоя стенок и размер испарительной колбы, скорость вращения и угол наклона колбы, а также разница температур бани, паров и охлаждения на процесс упаривания и применение полученных оптимальных режимов ротационного испарителя для получения концентратов и экстрактов из растительного сырья.

Объекты и методы исследования

Экспериментальные исследования выполнены на лабораторном ротационном испарителе BUCHI Rotavapor (BUCHI, Швейцария), функционирующим по принципу перегонки вакуумного типа. Процедура выпаривания осуществлялась в специальных колбах, изготовленных из термостойких закаленных материалов, вращающихся под действием электромотора.

Объекты исследования – водно-спиртовой экстракт ягод черники лесной и ферментативный гидролизат зернового сорго, полученный путем биотехнологической обработки амилотическими ферментными препаратами амилосубтилин Г10Х и глюкаваморин Г20Х («Сиббиофарм», Россия).

Для получения экстракта ягоды черники лесной измельчали, заливали 38–40 % водно-спиртовой раствор в соотношении 1:1 (одна часть мезги к одной части водно-спиртового раствора) и настаивали при периодическом перемешивании, контролируя содержание сухих веществ с помощью рефрактометра РЛ-2. Для увеличения выхода сока и предотвращения помутнения, вызванного наличием солей органического характера как сложной коллоидной системы, в измельченную ягодную массу добавляли ферментный препарат пектолитического действия Фруктоцим БЕ в концентрациях, рекомендованных фирмой-производителем (0,01 % к массе сырья). Ввели обработку при оптимальной температуре 45 °С в течение 2-х ч [18]. После стабилизации сухих веществ в экстракте (2 суток) первый настой отфильтровывали, а второй заливали водой из расчета 1 л на 1 кг первоначальной массы ягод и оставляли еще на сутки. Первый экстракт имел концентрацию сухих веществ 9,6 %, концентрацию спирта $C_{\text{сп}} = 30,1$ % об., второй – 3,5 % и 5,16 % об. соответственно. Содержание спирта определяли пикнометрическим методом [18]. Второй экстракт поступал в пресс, где осуществляется фильтрование и отжим шрота, и смешивался с первым экстрактом (концентрация сухих веществ 8,4 %) [15, 19].

Вторым объектом исследования был выбран ферментативный гидролизат крахмала зернового сорго. Технология его получения была ранее разработана Н. Е. Куликовой с соавторами и включает следующие стадии: клейстеризацию и разжижение 33 % крахмальной суспензии под действием термостабильного ферментного препарата амилосубтилин Г10Х при температуре 80 °С, рН 6,3–6,5 и дозировке 1,0 ед. АС/г субстрата при двухступенчатом внесении препарата (70 и 30 %) в течение 3,5 ч [20]. Содержание редуцирующих сахаров в пересчете на глюкозный эквивалент составляет 25–26 %. Дальнейшее осахаривание проводили в присутствии глюкаваморин Г20Х при температуре 55–56 °С, рН 4,7–5,0 и дозировке 2,5 ед. ГлА/г субстрата в течение 48 ч. Содержание редуцирующих сахаров в пересчете на

глюкозный эквивалент составило 91–92 %. Затем полученный гидролизат нагревали до 85–90 °С для инактивации фермента и стерилизации.

Суммарное содержание фенольных соединений определяли методом Фолина-Чокальтеу, антоцианиновые пигменты – методом дифференциальной спектроскопии, витамин С – йодометрическим методом обратного титрования, редуцирующие сахара – ускоренным йодометрическим методом, основанным на определении количества окисленной меди до и после восстановления щелочного раствора меди сахаром [15, 18]. Определяли железо с железистосинеродистым калием по [8, 9]. Углеводный состав сахаросодержащего продукта определяли хроматографическим методом – высокоэффективной гель-хроматографией в системе Спектрофизикс.

Результаты и их обсуждение

Выбор оптимальных условий эффективного упаривания. Толщина испарительной колбы. Испарительные колбы, которые использовались раньше, имели более тонкие стенки по сравнению с современными аналогами. Благодаря годам исследований, современным технологиям и автоматизации процессов производства конструкция колбы усовершенствована и оптимальна для достижения максимальной эффективности упаривания. Требования к стеклу высоки: оно должно быть стойким к механическим воздействиям и выдерживать такие условия, как высокую температуру или ее резкую смену при низком давлении. Поэтому определение оптимальной толщины стенок при выборе испарительной колбы имеет большое значение, в том числе в вопросах безопасности.

Эффективность упаривания зависит от количества тепловой энергии, которое передается образцу внутри испарительной колбы [16, 19, 21, 22]. Более толстый (стеклянный) барьер препятствует передаче теплоты.

Анализ влияния толщины стенки испарительной колбы на скорость упаривания образца при одностадийной дистилляции проводили путем упаривания ацетона в пяти однолитровых колбах с различной толщиной стенок (от 1,6 до 3,0 мм), а затем воды с применением трех различных колб (толщиной от 1,5 до 3,0 мм) (табл. 1).

Результаты эксперимента представлены на графике на рисунке 1. Как видно из данных, представленных на графике, чем тоньше стенка испарительной колбы, тем выше эффективность упаривания. Очевидно различие в эксперименте с использованием ацетона. Например, испарительная колба с толщиной стенок 1,6 мм достигает на 54 % более высокой скорости упаривания по сравнению со стенками толщиной 3,0 мм.

Эксперимент показывает, что толщина стенок колбы влияет на скорость упаривания. С более тон-

кими стенками теплопередача от нагревателя бани к образцу внутри испарительной колбы (1,5 и 1,8 мм) выше, что уменьшает время упаривания. Чем толще стекло (2,5 и 3,0 мм), тем дольше процесс передачи тепла, что приводит к снижению скорости упаривания.

Существует разница в использовании колб с тонкими и толстыми стенками. Например, при использовании более тонкого стекла (1,5 мм) возрастает риск его повреждения, но более толстое стекло (3,0 мм) снижает эффективность упаривания. Испарительная колба должна быть максимально тонкой, но выдерживать низкое давление и такие воздействия, как высокая температура и ее резкие изменения. Поэтому оптимальная толщина стекла стандартной испарительной колбы 1 л составляет около 1,8 мм. Такое исполнение сможет обеспечить полную величину теплопередачи и высокий уровень безопасности при использовании.

Размер испарительной колбы. Важным фактором увеличения эффективности упаривания является правильный выбор размера испарительной колбы как одной из главных составляющих ротационной

Таблица 1. Основные параметры эксперимента

Table 1. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон и вода
Температура нагревательной бани	60 °С
Температура охлаждения	10 °С
Давление	556 мбар (ацетон) 72 мбар (вода)
Размер колбы	1 л
Наполнение	500 мл
Глубина погружения колбы	Уровень заполнения колбы
Скорость вращения	280 об/мин

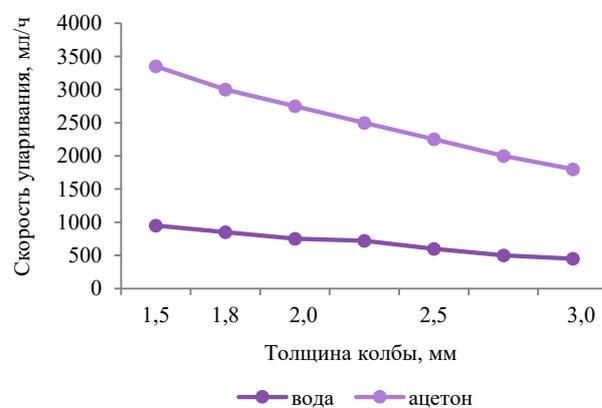


Рисунок 1. Влияние толщины колбы на эффективность упаривания

Figure 1. Effect of flask thickness on evaporation efficiency

установки. Если сравнить колбы двух размеров, то можно сделать вывод о том, что теплоперенос внутри большей колбы проходит активнее из-за большей площади поверхности теплообмена.

В связи с этим изучили влияние размера испарительной колбы на скорость испарения растворителя в одностадийном упаривании. Для эксперимента были выбраны испарительные колбы объемом от 250 мл до 4 л. Для колб объемом до 1 л объем образца составил 200 мл, для колб объемом 1 л и более – 750 мл. Данные основных параметров представлены в таблице 2.

Как показано на графике на рисунке 2, скорость упаривания увеличивается с ростом объема колбы. Если принять эффективность упаривания из колбы на 1 л за 100 %, то колба 2 л имеет показатель 147 %, а колба 4 л – 209 %. Колба на 250 мл обладает эффективностью всего на 38 % по сравнению с колбой на 1 л (рис. 2).

Эксперимент показал, что чем больше размер колбы, тем выше скорость упаривания. Например, скорость упаривания из колбы 4 л выше, чем из колбы 1 л (рис. 2). Это происходит благодаря прямой связи между площадью поверхности колбы и повышением эффективности упаривания. За счет

Таблица 2. Основные параметры эксперимента

Table 2. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон
Температура нагревательной бани	60 °С
Температура охлаждения	10 °С
Давление	556 мбар
Размер колбы	От 250 мл до 4 л
Наполнение	От 200 до 750 мл
Глубина погружения	Уровень заполнения колбы

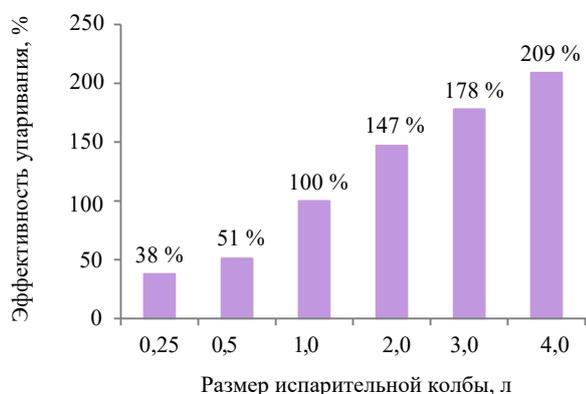


Рисунок 2. Влияние размера испарительной колбы на эффективность упаривания

Figure 2. Effect of evaporation flask size on evaporation efficiency

большего диаметра колбы ее линейная скорость вращения выше, что обеспечивает лучшее перемешивание образца. Из-за большей площади поверхности контакта тепловой поток от нагревательной бани через колбу к образцу увеличивается. К достоинствам колбы большего размера можно отнести способность к предотвращению вспенивания и негативных последствий неравномерного кипения и пробросов. Колбы меньшего размера больше подходят для количественного сбора сухого остатка после упаривания, а также предоставляют возможность работать с большим диапазоном изменения угла наклона.

Размер испарительной колбы должен быть максимальным из возможных для данного применения. Более крупная испарительная колба обладает большей поверхностью для увеличенной эффективности упаривания. Однако если остаток должен быть количественно собран для дальнейшего анализа, то колба должна иметь небольшой объем, чтобы избежать риска потери образца. Таким образом, оптимальный размер колбы обусловлен объемом образца и применением: объем должен вдвое превышать начальный объем образца.

Угол наклона испарительной колбы. До недавнего времени производители ротационных испарителей предпочитали располагать испарительную колбу под небольшим углом к поверхности, т. е. практически горизонтально. Более того, выбор колб разного размера был небольшим, возможности регулировки ограничены, а нагревательная баня представляла собой не связанный с ротационным испарителем отдельный модуль. В современных ротационных испарителях нагревательная баня располагается на общей платформе с основным прибором. Для них предполагается большой выбор испарительных колб разного размера и имеется несколько комплектов стеклянных элементов (холодильников, приемников, испарительных колб), обеспечивающих разнообразную конфигурацию ротационных испарителей для широкого спектра применений.

В современных ротационных испарителях угол наклона колбы может регулироваться [22]. Влияние угла наклона колбы влияет на режимы упаривания. При вертикальном расположении оси вращения содержимое колбы практически не перемешивается, поэтому теплопередача ограничена площадью погружения колбы. Кроме того, в нагревательной бане почти отсутствует турбулентность. Как следствие, тепло от бани передается небольшому объему упариваемой жидкости, погруженному в теплоноситель.

Уменьшение угла наклона приводит к лучшему перемешиванию содержимого колбы. Большая площадь поверхности вращающейся испарительной колбы контактирует с нагретым в бане теплоносителем. Это способствует более эффективному

теплопереносу и повышению интенсивности испарения и препятствует возникновению локального перегрева.

В случае малого угла наклона колбы относительно горизонтальной оси еще большая часть ее поверхности ее смачивается теплоносителем бани. Благодаря вращению тонкая пленка теплоносителя нагревательной бани покрывает почти всю поверхность вращающейся испарительной колбы. Более того, за счет вращения колбы сам теплоноситель перемешивается сильнее, что приводит к более равномерному распределению теплоты. Однако малый угол наклона создает риск перелива растворителя из испарительной колбы в приемную.

К недостаткам систем с малым углом наклона относится невозможность глубокого погружения испарительной колбы в нагревательную баню, что характерно для колб малого объема. Более того, упаривание образцов в колбах малого объема часто сопровождается вспениванием и неравномерным кипением с перебросом содержимого колбы в приемник.

Если сравнивать влияние угла наклона колбы на эффективность упаривания с другими параметрами, то ясно, что оно велико. Поэтому представлялось целесообразным проанализировать эффективность упаривания при различных значениях угла наклона. Эксперимент был направлен на выявление зависимости между углом наклона оси вращения испарительной колбы и скорости испарения растворителя в ходе одностадийного упаривания. В ходе эксперимента была измерена скорость упаривания ацетона при углах наклона колбы 10°, 25° и 35° и скорости вращения 50, 150 и 250 об/мин (табл. 3).

В результате исследований установлено (рис. 3), что угол наклона от 35° до 10° приводит к повышению скорости упаривания с 88 % (при скорости вращения 50 об/мин) до 210 % (при 250 об/мин).

Уменьшение угла наклона с 25° до 10° приводит к повышению скорости упаривания на 10–11 % (при 250 об/мин). Наибольшая эффективность испарения достигается при снижении угла наклона с 35° до 25°. Для всех трех углов максимальное различие в значениях было достигнуто при более высокой скорости вращения.

Эксперимент показал, что испытания с углом наклона 10° и 25° (почти горизонтальная и стандартная позиция) обеспечивают большую скорость упаривания, чем при расположении колбы под углом 35° (высокий угол). Это объясняется тем фактом, что из-за почти горизонтального расположения колбы площадь активной поверхности внутри нее увеличивается, что повышает скорость упаривания. Разница в эффективности процесса при значениях угла наклона 10° и 25° выражена не так сильно.

В качестве рекомендаций можно отметить, что угол наклона оси вращения испарительной колбы должен быть минимальным для создания макси-

мальной турбулентности внутри нее. Более того, для повышения эффективности упаривания испарительную колбу следует погрузить в баню таким образом, чтобы уровень растворителя в колбе был не выше уровня теплоносителя в бане. Представленное исследование показало, что угол погружения 25° обеспечивает наиболее эффективное упаривание без риска потери образца.

Скорость вращения испарительной колбы. Упаривание и перегонка – одни из наиболее часто используемых методов разделения. Однако существуют сложности в подборе оптимальной скорости вращения испарительной колбы.

Существует несколько факторов, связанных с вращением и влияющих на эффективность испарения: благодаря вращению теплоноситель внутри бани лучше перемешивается по причине дополнительной турбулентности, что приводит к росту коэффициента теплопереноса и увеличению теплопереноса от бани к колбе и от колбы к растворителю; при вращении испарительной колбы увеличивается площадь активной поверхности жидкости, участвующей в процессе испарения. По мере прогрева испарителя происходит его распределение по теп-

Таблица 3. Основные параметры эксперимента

Table 3. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон
Температура нагревательной бани	60 °С
Температура охлаждения	10 °С
Давление	556 мбар
Размер колбы	1 л
Наполнение	500 мл
Глубина погружения колбы	Уровень заполнения колбы

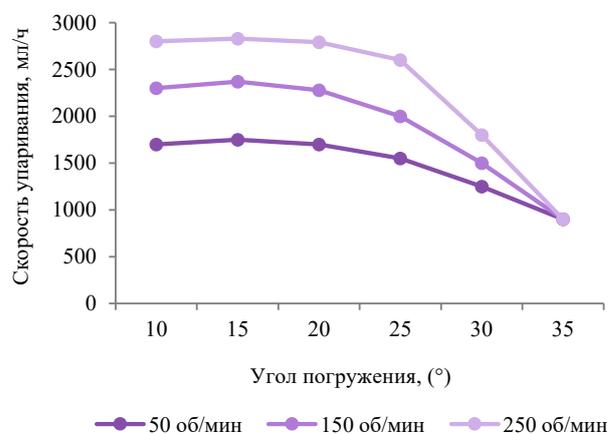


Рисунок 3. Влияния угла погружения на скорость упаривания

Figure 3. Effect of immersion angle on evaporation rate

лой внутренней поверхности колбы в виде тонкой пленки. Эта пленка частично испаряется, приводя к повышению скорости упаривания. Жидкость находится на стенке колбы в конкретной точке только на протяжении небольшого промежутка времени. Происходит постоянная гомогенизация образца, предотвращающая локальный перегрев и образование корки растворенного вещества. Сила трения и центробежная сила между стенкой вращающейся колбы и испаряющейся жидкостью приводят к образованию тонкой пленки теплого растворителя, покрывающей внутреннюю поверхность колбы.

Дополнительным положительным эффектом от силы, создаваемой вращением колбы, будет подавление неравномерного кипения, вспенивания и перегрева жидкости. Однако чем выше скорость вращения, тем больше вероятность механических неполадок ротационного испарителя и сильнее его вибрационный износ.

При вращении испарительной колбы скорость упаривания возрастает. Но остается неясным то, насколько скорость вращения влияет на скорость упаривания. Чтобы это понять, необходимо экспериментально определить зависимость эффективности упаривания от скорости вращения.

Исследования проводили в два этапа. Первоначально для улучшения общего представления о влиянии скорости вращения была измерена эффективность упаривания ацетона при девяти различных скоростях вращения (от 50 до 500 об/мин) (табл. 4). Затем была измерена скорость упаривания воды в статическом положении и при шести значениях скорости вращения в пределах нормального диапазона работы прибора, т. е. до 280 об/мин.

Как видно из данных графика, представленного на рисунке 4, увеличение скорости вращения до 300 об/мин приводит к росту эффективности упаривания, но при скорости выше 400 об/мин (ацетона) начинает снижаться. Серия экспериментов с водой показала, что дистилляция была заметна при низких скоростях вращения и снижалась при скоростях выше 280 об/мин.

Исследования показали, что максимальная эффективность упаривания достигается при скорости вращения 300 об/мин. Это связано с тем, что по мере увеличения скорости вращения может быть достигнута такая точка, при которой содержимое колбы будет прижиматься центробежной силой к стенкам и вращаться вместе с ней. В этом случае турбулентное перемещение жидкости практически прекратится, что повлечет снижение скорости упаривания. Условия режима с оптимальной турбулентностью зависят от размера колбы, консистенции образца и его объема.

Скорость вращения ротора должна быть подобрана таким образом, чтобы турбулентность как в

испарительной колбе, так и в нагревательной бани была высокой. Это позволит достичь максимальной эффективности упаривания. Однако слишком высокие скорости вращения уменьшают срок службы ротационного испарителя. В связи этим рекомендуемая оптимальная скорость вращения колбы составляет от 250 до 280 об/мин.

Разница температур. Эффективность ротационного испарителя на входе ограничена количеством тепла, поступающего от нагревательной бани, а на выходе – теплом, отведенным от холодильника-конденсатора. Большая часть энергии, поглощаемая растворителем, необходима для его перевода в газообразное состояние, в то время как при конденсации то же количество энергии должно быть отведено от системы.

До недавнего времени только функция подогрева бани легко регулировалась. Температуру хладагента в конденсаторе изменять было сложнее, поскольку обычно для этих целей применялась водопроводная вода. Точность регулировки вакуума также оставалась желать лучшего.

Таблица 4. Основные параметры эксперимента

Table 4. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон и вода
Температура нагревательной бани	60 °С
Температура охлаждения	10 °С
Давление	556 мбар (ацетон) 72 мбар (вода)
Размер колбы	1 л
Наполнение	500 мл
Глубина погружения колбы	Уровень заполнения колбы

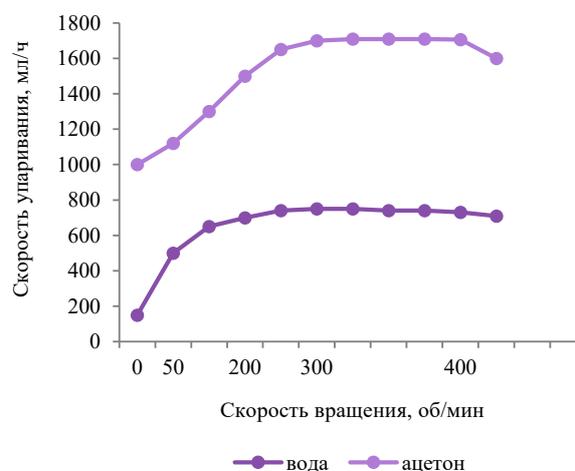


Рисунок 4. Влияние скорости вращения на эффективность упаривания

Figure 4. Effect of rotation speed on evaporation efficiency

Вакуум можно легко контролировать и поддерживать автоматически на заданном уровне, а возможности современных криостатов позволяют точно регулировать температуру охлаждения, обычно в диапазоне от -10 до 25 °С. Таким образом, холодильник, подключенный к криостату, будет работать эффективнее, чем системы охлаждения с проточной водопроводной водой. Уменьшение температуры конденсации снижает температуру подогрева испарительной колбы, позволяя проводить дистилляцию при более низких температурах.

Выбор режима упаривания – подбор температуры нагревательной бани, вакуум и температура охлаждения – осуществляется исходя из пропускной способности холодильника. Считается, что холодильник работает в оптимальном режиме, если конденсатором покрыто две трети его площади, а оставшаяся незаполненной верхняя треть холодильника служит барьером безопасности, препятствующим уносу паров легколетучих растворителей и позволяющим сглаживать колебания давления в системе [19, 22]. Если в холодильнике наблюдаются нисходящие потоки конденсата или для поддержания требуемого давления вакуумный насос вынужден работать без остановки, то мощности установленного холодильника недостаточно для выбранного режима упаривания. Скорости упаривания и конденсации должны быть уравновешены друг с другом для поддержания установленного динамического давления. При работе с термочувствительными образцами температуру в бани необходимо устанавливать невысокой, чтобы избежать их разложения. Кроме того, с баней, нагретой до небольшой температуры, гораздо удобнее работать. Например, при температуре бани 60 °С смена испарительной колбы происходит безопасно, без риска получения ожогов. При высоких температурах теплоноситель в бани испаряется быстрее и должен чаще пополняться. Это приводит к дополнительному расходу энергии на нагрев добавленного теплоносителя.

Факторы нагрева и охлаждения важны при оптимизации времени упаривания. Поэтому представлялось интересным исследовать то, до какой степени различные температуры нагревательной бани влияют на эффективность упаривания.

Целью предлагаемого эксперимента было выявление зависимости между количеством тепловой энергии, подводимой к системе, и скоростью испарения растворителя в ходе одностадийного упаривания (табл. 5).

Эксперимент проводили при пяти различных температурах бани (от 40 до 80 °С). Результаты, представленные на рисунке 5, свидетельствуют о том, что увеличение температуры теплоносителя в бани приводит к росту эффективности упаривания. Наблюдается практически линейная зависимость.

Например, при температуре бани 80 °С эффективность упаривания примерно в четыре раза выше, чем при 40 °С.

Данные исследования показали, что по мере увеличения температуры бани эффективность упаривания возрастает. Однако энергопотребление бани и криостата также увеличивается. При установке температуры бани 80 °С испаряющийся растворитель будет обладать большой энергией, для отвода которой потребуется более производительный конденсатор или более низкая температура хладагента, чем для конденсации пара, нагретого до меньшей температуры (например, 60 °С).

Поэтому необходимо правильно подобрать температуру нагревательной бани и вакуум для того, чтобы режим работы холодильника-конденсатора был близок к оптимальному и работал без перегрузки. Для установки нормального режима конденсатора температура охлаждения должна быть на 20 °С ниже, чем температура паров [4].

На основании полученных данных можно сформулировать простое правило « $\Delta 20$ °С»: при установке температуры бани на уровне 60 °С температура пара в испарителе будет равной 40 °С и для его конденсации будет достаточно температуры

Таблица 5. Основные параметры эксперимента

Table 5. Experimental parameters

Растворитель	Ацетон
Давление	44 мбар
Температура паров	30 °С
Температура охлаждения	7 °С
Размер колбы	1 л
Содержимое	500 мл
Глубина погружения колбы	Уровень заполнения колбы

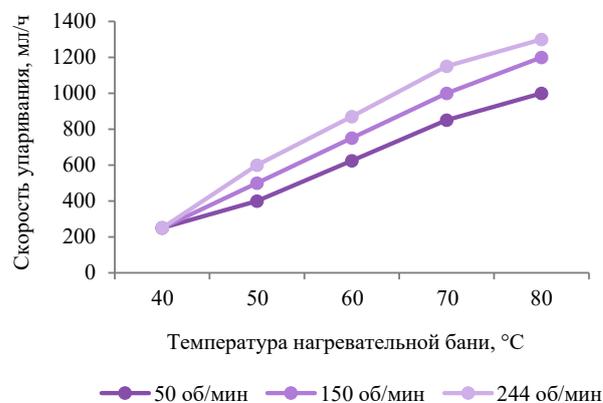


Рисунок 5. Влияние температуры бани на эффективность упаривания

Figure 5. Effect of bath temperature on evaporation efficiency

Таблица 6. Химический состав экстракта и концентрата ягод черники

Table 6. Chemical composition: blueberry extract vs. concentrate

Показатели	Экстракт черники	Концентрат черники
Масса сухих веществ, %	8,40 ± 0,10	70,00 ± 0,20
Полифенольные соединения, мг/л	1445,00 ± 0,25	2692,00 ± 0,25
Антоцианы, мл/л	235,00 ± 0,10	322,00 ± 0,10
Железо, мл/л	0,70 ± 0,01	2,40 ± 0,01
Витамин С, мг/100 г	10,00 ± 1,00	9,60 ± 1,00
Общее содержание сахаров, г/100 мл	9,26 ± 0,20	12,80 ± 0,15

хладагента в конденсаторе 20 °С. Это правило также применимо при подборе температуры бани для упаривания легкокипящих растворителей или термочувствительных веществ. Например, можно выбрать следующие значения: хладагент 0 °С, пары 20 °С, баня 40 °С. Чтобы растворитель гарантированно кипел при 40 °С, необходимо понизить давление в системе с помощью вакуумного насоса.

Баня с температурой 60 °С опасна в обращении и может стать причиной несчастных случаев. Кроме того, экологические и экономические аспекты также следует принимать во внимание. Правило «Δ 20 °С» позволяет удалять растворитель легко и эффективно.

Подводя итоги, можно сказать, что правило «Δ 20 °С» представляет собой компромисс между эффективностью упаривания и снижением потребления энергии. Оптимальные значения нагрева и охлаждения зависят от выбранного применения и могут быть настроены индивидуально для каждого образца

Применение эффективного упаривания для получения концентратов из растительного сырья.

Одним из способов консервирования является экстракция – это извлечение растворимых веществ с помощью растворителя [8–13]. Поэтому первым объектом исследования был выбран экстракт из ягод черники лесной. Уникальность данной ягоды и ее сока состоит в том, что она практически не вызывает аллергических реакций и не имеет противопоказаний к применению, обладает высоким содержанием витаминов, богата антиоксидантами, которые разрушаются при высоких температурах, и содержит антоцианиновые красящиеся вещества, разлагающиеся при высоких температурах [12–15]. В связи с этим особенный интерес представляло использование ротационного испарителя для низкотемпературного концентрирования получаемых экстрактов.

Концентрация и деалкоголизация полученного экстракта проводится в ротационном испарителе при ранее выбранных условиях до содержания сухих веществ 70 %: объем испарительной колбы – 1 л, толщина стенок колбы – 1,8 мм, угол наклона – 25°, скорость вращения – 280 об/мин, давление вакуума в испарителе $p = 870 \pm 1$ мбар, температура нагрева-

тельной бани – 50 °С, пара – 30 °С, охладителя – 10 °С. Полученный концентрат фильтровали и охлаждали до 20 °С. Дальнейшие исследования были направлены на сравнение химического состава спиртового ферментативного экстракта и конечного продукта – концентрата из ягод черники лесной (табл. 6).

Из данных таблицы 6 видно, что проведение процесса концентрирования на вакуумной установке при низкой температуре нагрева 50 °С и оптимальных параметрах процесса упаривания приводит к увеличению биологически активных веществ: полифенольных соединений – в 1,86 раз, антоцианов – в 1,4 раза. Содержание этих веществ оказывает благоприятное влияние на состояние сетчатки глаза [24, 25].

Подводя итоги, можно сделать заключение о том, что мягкие условия упаривания являются целесообразными и позволяют увеличить не только содержание ценных физиологически функциональных ингредиентов в продукте, но и сохранить насыщенно сине-фиолетовый цвет, свойственный натуральным ягодам. Следовательно, полученный концентрат ягод может быть использован в качестве натурального красителя или полифункциональной добавки при производстве натуральных и экологически чистых продуктов питания [10, 25–28].

Второй объект исследования – ферментативный гидролизат крахмала зернового сорго с содержанием сухих веществ 24–26 %.

Упаривание двух литров полученного жидкого гидролизата проводили в ротационном испарителе при ранее выбранных условиях до содержания сухих веществ 78–80 %: объем испарительной колбы – 4 л, толщина стенок колбы – 1,8 мм, угол наклона – 25°, скорость вращения – 280 об/мин, давление вакуума в испарителе $p = 875 \pm 1$ мбар, температура нагревательной бани – 60 °С, пара – 40 °С, охладителя – 20 °С, атмосферное давление при температуре 95 °С. Концентрат фильтровали и охлаждали до 20 °С.

Была проведена сравнительная оценка полученных двумя способами концентрирования сахарных сиропов из ферментативного гидролизата крахмала сорго с содержанием глюкозного эквивалента 91–92 % в перчете на сухое вещество. Данные представлены в таблице 7.

Таблица 7. Сравнительная характеристика сахарного сиропа различного способа концентрирования

Table 7. Sugar syrups of various concentration methods

Способ концентрирования	Атмосферное давление	Вакуумное выпаривание
Температура, °С	95	60
Время упаривания, мин	100–120	30–35
Цвет	От коричневого до темно-коричневого	От светло-бежево до золотистого
Запах	Не имеет	Не имеет
Вкус	Сладкий	Сладкий
Внешний вид	Вязкая, не прозрачная, средней однородности масса	Вязкая, прозрачная, однородная масса

Как видно из данных, представленных в таблице 7, упаривание в вакууме имеет ряд преимуществ по органолептическим показателям и позволяет сократить время получения сгущенного сахарного сиропа в 4 раза.

Углеводный состав сгущенного сахарного сиропа, полученного методом высокоэффективной гель-хроматографией:

- сахарный сироп – глюкозный эквивалент 91–92 %;
- глюкоза – 83–85 % к глюкозному эквиваленту;
- мальтоза – 7–8 % к глюкозному эквиваленту;
- декстрины – 8–9 % к глюкозному эквиваленту.

Выводы

Исследовали влияние на процесс упаривания таких факторов, как толщина слоя стенок и размер испарительной колбы, скорость вращения и угол наклона колбы, а также разница температур бани, паров и охлаждения. Выявили основные закономерности и экспериментально определили оптимальные значения эффективного режима упаривания с использованием ротационного испарителя: объем испарительной колбы – 1 л, толщина стенок колбы – 1,8 мм, угол наклона – 25°, скорость вращения – 280 об/мин, давление вакуума в испарителе $p = 770\text{--}775$ мбар, температура нагревательной бани – 50 °С, пара – 30 °С, охладителя – 10 °С.

Получили результаты экспериментальных исследований по практическому применению эффективного режима упаривания на примере получения концентратов с высоким содержанием сухих веществ из растительного сырья. Анализ химического состава сгущенного сахарного сиропа с содержанием редуцирующих сахаров в пересчете на глюкозный

эквивалент 91–92 % (глюкоза – 83–85 % к глюкозному эквиваленту, мальтоза – 7–8 % к глюкозному эквиваленту, декстрины 8–9 % к глюкозному эквиваленту) дает возможность рекомендовать данный сироп с содержанием сухих веществ 78–80 % в качестве самостоятельного десертного пищевого продукта.

Спиртовая экстракция, ферментативная обработка ягод черники и мягкие условия упаривания позволили получить концентрат ягод черники с содержанием полифенольных соединений 2692 мг/л и антоцианов 322 мг/л, который может быть использован в качестве натурального красителя или полифункциональной добавки при производстве натуральных и экологически чистых продуктов питания.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors participated in the research, data processing, and writing and are equally responsible for any potential plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Levchuk TV, Chesnokova NYu, Levochkina LV, Ganzyuk MA. Development of sugar confectionery using extracts of manchurian walnut pericarp. Food Processing: Techniques and Technology. 2017;45(2):48–54. (In Russ.). [Разработка сахаристых кондитерских изделий с использованием экстрактов околоплодника ореха маньчжурского / Т. В. Левчук [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 45. № 2. С. 48–54.]. <https://elibrary.ru/ZCOQFH>
2. Eremeeva NB, Makarova NV, Platonov IA. Antioxidant activity of chokeberry extracts obtained in supercritical conditions. Food Processing: Techniques and Technology. 2016;42(3):12–18. (In Russ.). [Еремеева Н. Б., Макарова Н. В., Платонов И. А. Антиоксидантная активность экстрактов черноплодной рябины, полученных в надкритических условиях // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 42. № 3. С. 12–18.]. <https://elibrary.ru/WMEMXL>

3. Gorlov IF, Fedotova GV, Lamzin RM, Vasilyeva MO. Assessment of the structure and quality of nutrition of the Russian Federation's population. *Agrarian-and-Food Innovations*. 2021;13(1):69–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-13-69-79>
4. Grishin NS, Gorshunova AN, Farkhutdinov AF, Malikov IR. Development of a laboratory concentrator-evaporator. *Bulletin of the Technological University*. 2017;20(8):36–40. (In Russ.). [Разработка концентратора-выпаривателя лабораторного образца / Н. С. Гришин [и др.] // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 8. С. 36–40.].
5. Bazhenova BA, Zhamsaranova SD, Zabalueva YuYu, Gerasimov AV, Zambulaeva ND. Effects of lingonberry extract on the antioxidant capacity of meat paste. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):250–258. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-250-258>
6. Khasanov VV, Makarycheva AI, Slizhov YuG. Determination of trace amounts of aliphatic acids in natural waters using liquid-liquid extraction. *Journal of Analytical Chemistry*. 2020;75(2):116–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0044450220020085>
7. Karimov DR, Makarov VV, Kruchin SO, Berezin DB, Smirnova NL, Berezin MB, *et al.* Optimization of extraction conditions of chlorophylls *A* and *B* from *Urtica dioica* L. and *Spirulina platensis*. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2014;(4):189–196. (In Russ.). [Оптимизация условий выделения хлорофиллов из крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) и спирулины (*Spirulina platensis*) / Д. Р. Каримов [и др.] // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 189–196.]. <https://elibrary.ru/TQBWUB>
8. Fidelis M, Granato D. Technological applications of phenolic-rich extracts for the development of non-dairy foods and beverages. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2021;98:101–123. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.006>
9. Azadova EF, Akhmedov ME, Demirova AF. Efficiency of microwave blanching and mild pasteurization in production of pear compote for infant food. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019;(4):71–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-4-71-77>
10. Maleeva AZ, Shcherbakova EV. The processing impact of grape marc Lallzyme EX-V enzyme preparation the quality and safety of food obtained enocianina. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2020;(62):100–112. (In Russ.). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-2-62-100-112>
11. Ascheulov AS. Investigation of the process of evaporation of chokeberry infusions. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;(126):131–140. (In Russ.). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-126-009>
12. Skorospelova EV, Mikhailova OYu, Shelkovskaya NK. Improvement technology of concentrated juices from fruits and berries of Altai selection. *Polzunovskiy Vestnik*. 2021;(2):7–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.001>
13. Nayak B, Liu RH, Tang J. Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015;55(7):887–918. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>
14. Oreopoulou A, Tsimogiannis D, Oreopoulou V. Extraction of polyphenols from aromatic and medicinal plants: An overview of the methods and the effect of extraction parameters. In: Watson RR, editor. *Polyphenols in plants. Isolation, purification and extract preparation*. Academic Press; 2019. pp. 243–259. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00025-6>
15. Büyükkormaz Ç, Küçükbay FZ. Kumquat fruit and leaves extracted with different solvents: phenolic content and antioxidant activity. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(1):51–66. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-51-66>
16. Tsareva AA, Shemyakin AYu, Grishin NS. Multi-module concentrator-evaporator vs. vacuum rotary evaporator. Vacuum technique and technology: Proceedings of the 10th Russian Student Scientific and Technical Conference; 2021; Kazan. Kazan: Kazan National Research Technological University; 2021. p. 149–150. (In Russ.). [Царева А. А., Шемякин А. Ю., Гришин Н. С. Сравнение конструкции многомодульного концентратора-выпаривателя с вакуумным ротационным испарителем // Вакуумная техника и технология: материалы Десятой Российской студенческой научно-технической конференции. Казань, 2021. С. 149–150.]. <https://elibrary.ru/VSRLVQ>
17. Abd Aziz NA, Hasham R, Sarmidi MR, Suhaimi SH, Idris MKH. A review on extraction techniques and therapeutic value of polar bioactives from Asian medicinal herbs: Case study on *Orthosiphon aristatus*, *Eurycoma longifolia* and *Andrographis paniculata*. *Saudi Pharmaceutical Journal*. 2021;29(2):143–165. <https://doi.org/10.1016/j.jpsps.2020.12.016>
18. Chernobrovina AG, Kulikova NE, Roeva NN, Popova OYu. The influence of red currant berries pretreatment on phytoingredients extraction and juice complexing properties. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2021;220(6):111–117. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2021_220_06_11
19. Gritsenko VV. Upgrade of equipment set up for producing liquid concentrated food stuffs by using a rotary spray evaporator. Rubtsovsk: Rubtsovsk Industrial Institute; 2014. 135 p. (In Russ.). [Гриценко В. В. Совершенствование машинно-аппаратурного оформления процессов производства жидких концентрированных пищевых продуктов с использованием роторного распылительного выпарного аппарата. Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2014. 135 с.]. <https://elibrary.ru/TIFSTF>
20. Kulikova NE, Chernobrovina AG, Roeva NN, Popova OYu. Studying the process of bioconversion of grain sorghum starch. *Polish Journal of Science*. 2020;(28–2):12–15. (In Russ.). [Изучение процесса биоконверсии крахмала зернового сорго / Н. Е. Куликова [и др.] // Polish Journal of Science. 2020. № 28–2. С. 12–15.]. <https://elibrary.ru/QXPDSH>

21. Koval AA, Krasnoselov VA. Use drum film evaporators for the solution of problems of processing of liquid radioactive waste. *Bulletin of the Dimitrovgrad Engineering and Technology Institute*. 2016;9(1):19–27. (In Russ.). [Коваль А. А., Красноселов В. А. Использование барабанных плёночных испарителей для решения проблем переработки жидких радиоактивных отходов // Вестник Димитровградского инженерно-технологического института. 2016. Т. 9. № 1. С. 19–27.]. <https://elibrary.ru/WEZLNT>
22. Shemyakin AYu, Tsareva AA. Processes and design of a concentrator-evaporator. *Relevant issues of modern science: theory, technology, methodology, and practice: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference; 2021; Ufa*. Ufa: Scientific and Publishing Center Herald of Science; 2021. p. 80–84. (In Russ.). [Шемякин А. Ю., Царева А. А. Исследование процессов и конструирование концентратора-выпаривателя // Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика: Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции. Уфа, 2021. С. 80–84.]. <https://elibrary.ru/UOEXYZ>
23. Omysheva DS. Methods for detecting falsification of goods on the example of cognac. *Methods for detecting falsification of goods on the example of cognac. Relevant issues of national economy: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference; 2021; Perm*. Perm: Perm State University; 2021. p. 271–278. (In Russ.). [Омышева Д. С. Методы обнаружения фальсификации товаров на примере коньяка // Актуальные вопросы развития национальной экономики: Материалы X Международной научно-практической конференции. Пермь, 2021. С. 271–278.]. <https://elibrary.ru/PCQUSN>
24. Ibragimova GE, Shustova TA. Eye safety and computers. *XXIII Vishnyakov's Readings. University science: conditions for the effectiveness of the socio-economic and cultural development of the region: Proceedings of the international scientific conference; 2020; Voksitogorsk*. St. Petersburg: Pushkin Leningrad State University; 2020. p. 278–282. (In Russ.). [Ибрагимова Г. Е., Шустова Т. А. Профилактика органов зрения при работе за компьютером // XXIII Вишняковские чтения. Вузовская наука: условия эффективности социально-экономического и культурного развития региона: Материалы международной научной конференции. СПб., 2020. С. 278–282.]. <https://elibrary.ru/UOPHAV>
25. Osorio-Macías DE, Vásquez P, Carrasco C, Bergenstahl B, Peñarrieta JM. Resveratrol, phenolic antioxidants, and saccharides in South American red wines. *International Journal of Wine Research*. 2018;10:1–11. <https://doi.org/10.2147/IJWR.S152026>
26. McAnulty LS, Collier SR, Hubner ML, Anoufrieu G, McAnulty SR. Chronic and acute effects of red wine versus red muscadine grape juice on body composition, blood lipids, vascular performance, inflammation, and antioxidant capacity in overweight adults. *International Journal of Wine Research*. 2019;11:13–22. <https://doi.org/10.2147/IJWR.S206401>
27. Aukhadieva MI, Dubkova NZ. Theoretical and experimental studies of obtaining BAFs from anthocyan-containing berries. *Food technologies and biotechnologies: Proceedings of the XVII All-Russian Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students with International Participation; 2021; Kazan*. Kazan: Kazan National Research Technological University; 2021. p. 123–127. (In Russ.). [Аухадиева М. И., Дубкова Н. З. Теоретические и экспериментальные исследования получения БАД из антоцианосодержащих ягод // Пищевые технологии и биотехнологии: Материалы XVII Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. Казань, 2021. С. 123–127.]. <https://elibrary.ru/HVUYSF>
28. Dubkova NZ, Kharkov VV, Vakhitov MR. Using Jerusalem artichoke powder in functional food production. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(1):69–78. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-69-78>