

Игорь Алексеевич Бакин<sup>1✉</sup>, Альберт Хамед-Харисович Нугманов<sup>2</sup>,  
Анна Сабирдзяновна Мустафина<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>1</sup>bakin@rgau-msha.ru

<sup>2</sup>nugmanov@rgau-msha.ru

<sup>3</sup>mustafina@rgau-msha.ru

## СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ СУБЛИМИРОВАННОГО ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ

Цель исследования – изучение процессов регидратации сублимированного плодово-ягодного сырья при определении его сорбционной способности в отношении свободной и связанной влаги. Для изучения способности к восстановлению сырья после сушки необходимо изучение сорбирующей способности и определение видов влаги, поглощаемых при регидратации. Для популярных на рынке объектов сушки (авокадо (*Persëa americana*), клубника садовая (*Fragaria ananassa* Duch. сорт Пегас), абрикос (*Prunus armeniaca*, сорта Водолей)) проведены опыты по их сублимационной дегидратации и определены условия и параметры восстановления. Сушка производилась в лиофильной сушилке Vikumer BFD-10 поэтапно: лиофилизация образцов до температуры 45 °С, при давлении в рабочей камере 200 Па, нагреве контактной поверхности полок до 20 °С; далее в течение 3 ч давление в рабочей камере понижалось до 100 Па при тех же параметрах; на завершающем этапе температура поверхности полок повышалась до 25 °С при поддержании давления в рабочей камере не выше 75 Па (абс.) продолжительностью 8 ч. Опытным путем изучена способность к восстановлению лиофилизированного сырья путем количественной оценки сорбционной способности в зависимости от температуры в интервале от 5 до 80 °С в течение 10 мин. Предложен оригинальный подход к определению сорбционной способности сырья, оцениваемый модифицированным коэффициентом эффективности регидратации, который показывает, какое количество свободной влаги может поглотить продукт. Показатель эффективности регидратации имеет нелинейный характер, самый высокий коэффициент получен для клубники – 86,15 % при температуре 5 °С, для абрикоса – (79,59 ± 94) % при 45 °С, для авокадо – (66,42 ± 80) % при 80 °С. Полученные эмпирические данные и рекомендации могут быть использованы на предприятиях кондитерской промышленности и конечными потребителями сублимированного сырья.

**Ключевые слова:** плодово-ягодное сырье, авокадо, клубника, абрикос, сублимация, регидратация, коэффициент эффективности регидратации

**Для цитирования:** Бакин И.А., Нугманов А.Х.-Х., Мустафина А.С. Сорбционная способность сублимированного плодово-ягодного сырья // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 217–225. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-217-225.

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по Программе стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Igor Alekseevich Bakin<sup>1✉</sup>, Albert Khamed-Kharisovich Nugmanov<sup>2</sup>,  
Anna Sabirdzyanovna Mustafina<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

<sup>1</sup>bakin@rgau-msha.ru

<sup>2</sup>nugmanov@rgau-msha.ru

<sup>3</sup>mustafina@rgau-msha.ru

## SORPTION CAPACITY OF SUBLIMATED FRUIT AND BERRY RAW MATERIALS

The aim of the study is to investigate the rehydration processes of sublimated fruit and berry raw materials when determining their sorption capacity with respect to free and bound moisture. To study the ability of raw materials to be restored after drying, it is necessary to study the sorption capacity and determine the types of moisture absorbed during rehydration. For popular market dried items (avocado (*Persëa americana*), garden strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. variety Pegasus), apricot (*Prunus armeniaca*, variety Vodolay)) experiments were conducted on their sublimation dehydration and the conditions and parameters of restoration were determined. Drying was carried out in a Vikumer BFD-10 freeze dryer in stages: lyophilization of samples to a temperature of 45 °C, at a pressure in the working chamber of 200 Pa, heating the contact surface of the shelves to 20 °C; then, over the course of three hours, the pressure in the working chamber was reduced to 100 Pa under the same parameters; At the final stage, the shelf surface temperature was increased to 25 °C while maintaining the pressure in the working chamber no higher than 75 Pa (abs.) for 8 hours. The ability to restore lyophilized raw materials was studied experimentally by quantitatively assessing the sorption capacity depending on the temperature in the range from 5 to 80 °C for 10 minutes. An original approach to determining the sorption capacity of raw materials is proposed, estimated by a modified rehydration efficiency coefficient, which shows how much free moisture the product can absorb. The rehydration efficiency index is nonlinear, the highest coefficient was obtained for strawberries – 86.15 % at a temperature of 5 °C, for apricots – (79.59 ± 94) % at 45 °C, for avocados – (66.42 ± 80) % at 80 °C. The obtained empirical data and recommendations can be used in confectionery industry enterprises and by end consumers of freeze-dried raw materials.

**Keywords:** fruit and berry raw materials, avocado, strawberry, apricot, sublimation, rehydration, rehydration efficiency coefficient

**For citation:** Bakin IA, Nugmanov AKh-Kh, Mustafina AS. Sorption capacity of sublimated fruit and berry raw materials. *Bulletin of KSAU*. 2025;(8):217-225. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-217-225.

**Financing:** the research was carried out with the financial support of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy under the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030".

**Введение.** Биохимические и микробиологические процессы влияют на безопасность и качество плодовой продукции во время ее хранения, поэтому для продления сроков годности прибегают к различным методам консервирования. Вода является доминирующим компонентом фруктов и овощей, и ее удаление замедляет и предотвращает опасные микробиологические и физико-химические реакции, что позволяет увеличить сроки хранения [1]. Удаление влаги реализуется различными методами, однако для наибольшей степени сохранности биоактивных свойств компонентов, ароматики, цвета и формы плодов, фруктов и ягод используется сублимационная сушка. При таком методе дегидратации предварительно замороженный продукт лиофилизируется в специальных сушильных камерах под низким давлением [2]. Сублимированные фрукты и ягоды сохраняют в себе практически все полезные вещества и используются в качестве дополнительных минорных ингредиентов питания для профилактики ряда заболеваний, в технологии кондитерского

производства и других отраслях. В то же время известно, что плодово-ягодное сырье содержит ряд известных антиоксидантных веществ, однако содержание большинства этих ингредиентов слишком низкое, чтобы обеспечить эффект защитного действия [3]. Использование лиофилизации позволяет повысить концентрацию активных веществ в 9–10 раз путем повышения общего содержания сухих веществ [4]. До настоящего времени практически не проводились количественные исследования эффективности регидратации в зависимости от гигроскопичности, или сорбционной способности, с установлением влияния вида связи влаги с материалом. Актуальной задачей становится выбор параметров восстановления лиофилизированных продуктов и сырья. Чтобы оценить совершенство операций сушки и последующую способность сырья к поглощению влаги, необходимо знать сорбционные способности высушенного объекта. В связи с этим возникает необходимость определения показателя степени регидратации,

который является основным параметром восстанавливаемости продукта [5].

Традиционно используемые для сушки плодово-ягодного сырья конвективные и терморадиационные способы значительно уступают по степени и характеристикам восстанавливаемости высушенного сырья в сравнении с сублимационными. Среди потребителей сублимированные фрукты и ягоды в форме снеков, чипсов и других изделий являются лидером среди продукции, готовой к употреблению. Связано это с тем, что лиофилизированный материал обладает наиболее высокими регидратационными свойствами, что дает преимущества при необходимости использования в технологической цепочке продуктов, по своим свойствам близких к нативным [6].

Для изучения способности к восстановлению сырья после сушки важным параметром становится изучение сорбирующей способности и определение видов влаги, поглощаемых в различных периодах регидратации. Установлено, что воздействие высоких температур на продукт приводит к ухудшению его характеристик. Одной из основных причин такой потери качества являются структурные изменения, вызванные усадкой продукта во время сушки [5]. В этом случае механизм восстановления продукта происходит в основном за счет сорбции свободной влаги, закономерности процесса и режимы при этом определяются эмпирическим путем [7]. Отличием сублимационного способа сушки является сохранность формы и структуры продукта, которая практически не меняется в сравнении с нативным продуктом. Также преимуществом этого способа становится увеличение после восстановления сырья химического, витаминного, минерального состава сырья на 1–10 % по сравнению с конвекционным [8].

Значительную долю рынка сублимированных фруктов и ягод занимают авокадо, клубника, абрикосы. Объемы выращивания этих групп сырья, согласно статистическим отчетам за 2022 г. «Statistical Yearbook World Food and Agriculture 2022» [9], составили до 92 млн т в год. Авокадо – излюбленный фрукт для тех, кто придерживается правильного питания. Для диеты данный продукт выбирают в связи с тем, что он содержит в себе легкоусвояемые мононенасыщенные жиры, ускоряющие метаболизм. Также авокадо обладает рядом полезных свойств, используется при лечении язвы желудка, атеро-

склероза, улучшает усвоение витамина А [10]. В состав клубники входят минеральные соли кальция, железа, магния, фосфора, калия. Употребление клубники полезно для многих систем организма человека [11]. Также ягода востребована большинством потребителей. Абрикос оказывает благотворное влияние на сердечно-сосудистую систему, желудочно-кишечный тракт. Фрукт содержит в себе большое количество минеральных солей, необходимых для развития костной структуры [12].

Ранее проведены исследования по изменению текстурных свойств клубники и манго при сублимационной сушке, получено, что высушенные образцы представляли взаимосвязанную структуру с открытыми порами, это позволяло лиофилизированному материалу демонстрировать лучший внешний вид и органолептические характеристики [13]. В работе по изучению параметров регидратационной способности ягодного сырья установлено, что удаление влаги вымораживанием можно представить как операцию замены связанной влаги в капиллярах исходного сырья воздухом, без какого-либо процесса усадки, что приводит к получению высушенного материала с высокой пористостью. Также выявлено, что твердое состояние воды во время сублимационной сушки защищает первичную структуру растительного сырья и сводит к минимуму изменения формы продукта с минимальной усадкой [14].

В связи с этим исследование сорбционных свойств лиофилизированных материалов и установление параметров восстановления являются актуальными, направлены на обеспечение сохранности активных компонентов сублимированных продуктов.

**Цель исследования** – изучение процессов регидратации сублимированного плодово-ягодного сырья при изменении сорбционной способности сырья в отношении свободной и связанной влаги.

**Объекты и методы.** В качестве объектов исследования изучены популярные на рынке плодово-ягодные сырьевые продукты: авокадо (*Persēa americāna*), клубника садовая (*Fragaria ananassa Duch.* сорт Пегас) и абрикос (*Prunus armeniaca*, сорт Водолей) (рис. 1). Свежее сырье приобреталось одной партией на стадии товарной зрелости у сельхозпроизводителей, вручную сортировалось для образцов одного размера и без повреждений. После тщательной

промывки из сырья удалялись сердцевина и косточки, съедобная часть равномерно нарезалась дольками толщиной 10 мм. Далее образец замораживался в криокамере при температуре –70 °С в течение 8 ч. Сушка производилась в лиофильной сушилке Vikumer VFD-10 (Пекин, Китай). Сырье загружалось на три полки площадью 0,94 м<sup>2</sup>, с расстоянием между полками 120 мм (рис. 2). Обогрев полок и сырья на них производился через пластины типа «сэндвич», которые обеспечивали циркуляцию хладоаген-

та, отводимого от первой ступени компрессора, для обогрева полок. Сушка производилась поэтапно: лиофилизация образцов до температуры –45 °С, при давлении в рабочей камере 200 Па, нагреве контактной поверхности полок до 20 °С; далее в течение 3 ч давление в рабочей камере понижалось до 100 Па при тех же параметрах; на завершающем этапе температура поверхности полок повышалась до 25 °С при поддержании давления в рабочей камере не выше 75 Па (абс.) продолжительностью 8 ч.



Рис. 1. Объекты исследования, высушенные методом сублимации  
Research objects dried by sublimation method



Рис. 2. Сублимационная сушилка и образцы клубники в процессе замораживания и укладки в камеру  
Freeze dryer and strawberry samples during freezing and placing in the chamber

Содержание влаги ( $M_{св}$ ) в исходных образцах определялось гравиметрически в трех повторностях путем конвекционной воздушной сушки до постоянного веса при  $(105 \pm 1)$  °С при взвешивании на весах OHAUS (model AX502). Масса сухих веществ в образцах высчитывалась по следующему соотношению:

$$M_{св} = M_{суб} - \frac{M_{суб} \cdot W_{суб}}{100}, \quad (1)$$

где  $W_{суб}$  – влажность высушенного образца, %;  $M_{суб}$  – масса высушенного образца, г.

Для проведения исследования процесса регидратации по 5 навесок клубники, авокадо и абрикоса взвешивались через определенный

промежуток времени до максимально возможного их восстановления. Регидратация проводилась в течение 10 мин [15] в колбах с дистиллированной водой в условиях постоянства температуры при следующих значениях: 5 °С; 25; 45; 65 и 80 °С. После восстановления все образцы помещались в эксикатор и взвешивались.

Коэффициент эффективности регидратации ( $RC$ , %) рассчитывался из следующего соотношения [13]:

$$RC = \frac{M_p - M_{суб}}{M_{уох} - M_{суб}} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $M_p$  – масса восстановленного образца, г;  $M_{уох}$  – масса свежего образца, г.

Для исследования гигроскопических свойств предварительно взвешенные образцы клубники, авокадо и абрикоса выдерживались в эксикаторе в условиях постоянства температуры при различных ее значениях в течение 2,5 ч. Далее определялась начальная влажность навесок каждого образца, а также их масса до и после эксперимента.

Для каждого образца вычислялась масса влаги  $M_{вл}$  по формуле

$$M_{вл} = \frac{M_H \cdot W_{суб}}{100}, \quad (3)$$

где  $M_H$  – начальная масса высушенного образца, г.

Масса сухого остатка  $M_{с.о}$ , г, определялась по формуле

$$M_{с.о} = M_H - M_{вл}. \quad (4)$$

Для каждого образца вычислялось количество свободной влаги  $W_{св}$ , %, по формуле

$$W_{св} = 100 - \frac{M_{с.о} \cdot 100}{M_k}, \quad (5)$$

где  $M_k$  – масса после регидратации образца, г.

В данном исследовании для количественной оценки сорбционной способности сублимированных образцов в отношении свободной и связанной влаги предложено ввести модифицированный коэффициент эффективности регидратации ( $RC_M$ , %). Обусловлено это тем, что количество связанной влаги в каждом образце различно, зависит от ряда параметров [14], поэтому для более объективной оценки эффективности регидратации необходимо учитывать сорбцию только свободной влаги. Таким показателем, учитывающим, в отличие от показателя (2), соотношение связанной и свободной влаги в каждый момент времени, является

$$RC_M = \frac{M_p - M_{уох} \cdot \frac{(100 - W_{уох}) + W_{св}}{100}}{M_{уох} - \frac{(100 - W_{уох}) + W_{св}}{100}}. \quad (6)$$

Для удобства расчетов в соотношении (6) дробь  $\frac{(100 - W_{уох}) + W_{св}}{100} \cdot M_{уох}$  принята за выражение  $F$ , и окончательное уравнение для нахождения модифицированного коэффициента эффективности регидратации  $RC_M$ , %, будет иметь следующий вид:

$$RC_M = \frac{M_p - F}{M_{уох} - F} \cdot 100. \quad (7)$$

Эксперимент проводился в трех повторностях, для полученных измерений рассчитывались средние значения, после чего с использованием теста Дункана проводилась оценка значимости при уровне  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Данные, полученные по определению коэффициента эффективности регидратации для исследуемого сырья, представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Значения показателя коэффициента эффективности регидратации  
Values of the rehydration efficiency coefficient**

Температура, °С	RC абрикоса	RC авокадо	RC клубники
5	72,76±50	27,98±62	88,29±60
25	56,11±02	34,91±84	67,63±20
45	84,89±51	45,90±48	64,68±90
65	75,30±48	55,83±79	73,79±15
80	63,62±64	70,11±11	65,49±93

Анализ полученных данных показал, что значение коэффициента эффективности регидратации для различных образцов значительно отличается в зависимости от температуры восстановления. Так, самое высокое значение коэффициента установлено для клубники –  $(88,29 \pm 60) \%$ , при температуре  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Нелинейный характер процесса регидратации, вероятно, связан с характером массообмена при различных температурах поглощаемой влаги, а также размерами пор, набуханием растительных клеток, физико-химическими характеристиками сырья. Так, в исследованиях свойств сублимированных кубиков яблок, клубники и манго получены данные, что температура стеклования и скорость восстановления в значительной степени зависят от содержания в высушенном сырье полисахаридов и растворимых моносахаридов [13].

Для сравнительного исследования сорбционной способности сублимированных образцов в зависимости от содержания свободной и связанной влаги при равновесных условиях проведено изучение взаимосвязи поглощаемой жидкости с объектом сорбции при нестабильной термодинамической обстановке. Данные по сорбции влаги с использованием коэффициента эффективности регидратации  $RC$  показывают зависимость от температуры и уровня максимального влагопоглощения всей массы влаги, часть из которой находится во взаимосвязи с сухим каркасом объекта восстановления, которая в силу достижения равновесного состояния с окружающей средой так или иначе будет продуктом сорбирована. Учитывая, что количество связанной влаги для каждого продукта индивидуально, интерес представляет, какое количество свободной влаги впитает исследуемое плодово-ягодное сырье при тех же условиях влагопоглощения. Для более объективной оценки эффективности регидратации предлагается

учитывать сорбцию только свободной влаги. Связанная влага находится внутри клеток и удерживается, как правило, химическими, адсорбционными, капиллярными и осмотическими силами [16, 17], и ее количество будет влиять на консистенцию и структурно-механические показатели продуктов, которые позволят поддерживать равновесное состояние системы «сублимированное сырье – окружающая вода». Очевидно, что связанная влага будет сорбирована продуктом для достижения термодинамического равновесного состояния, однако система «сублимированное сырье – окружающая вода» не является динамически стабильной, так как контактируемая жидкость непрерывно и разрушительно влияет на прочностные характеристики находящегося в ней обезвоженного материала, поэтому свободная влага в определенной доле беспрепятственно в него проникает. В связи с этим возникает необходимость количественного учета именно свободно сорбируемой влаги продуктом, так как его восстановление проводится при условии обязательного погружения в воду, вследствие чего продукт получит дополнительную порцию свободной влаги за счет постоянно меняющихся термодинамических условий проведения процесса регидратации. Что касается свободной влаги, сорбируемой продуктом, то она является средой для протекания множества реакций, в основном приводящих к порче продуктов, а образцы, которые обладают большим количеством свободной влаги, впоследствии будут испарять большее количество воды, из-за чего считаются легкоувядаемыми и быстропортящимися, в связи с этим в ходе эксперимента по регидратации образцов использовалась расчетная формула для определения модифицированного коэффициента регидратации  $RC_m$  (7). Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Значения  $RC_m$  для исследуемого плодово-ягодного сырья**  
**Values  $RC_m$  for the studied fruit and berry raw materials**

Температура, $^\circ\text{C}$	$RC_m$ абрикоса	$RC_m$ авокадо	$RC_m$ клубники
5	$66,61 \pm 38$	$20,24 \pm 51$	$86,15 \pm 00$
25	$41,37 \pm 00$	$24,60 \pm 70$	$58,48 \pm 29$
45	$79,59 \pm 94$	$37,17 \pm 85$	$55,64 \pm 09$
65	$65,98 \pm 05$	$48,79 \pm 21$	$67,32 \pm 74$
80	$52,71 \pm 67$	$66,42 \pm 80$	$56,03 \pm 14$

В ходе проводимого эксперимента было получено, что расчетные показатели коэффициентов эффективности регидратации  $RC$  и его модифицированного аналога  $RC_M$  имеют вполне объяснимые различия, так как предложенный нами вариант расчета эффективности процесса показывает, сколько свободной влаги может поглотить каждый образец. В итоге самый высокий коэффициент оказался для клубники – 86,15 % при температуре 5 °С, для абрикоса – (79,59 ± 94) % при 45 °С, а для авокадо – 66,42 ± 80) % при 80 °С.

Результаты исследования показывают, что сорбционная способность клубники достаточно высокая при значениях температур, свойственных параметрам хранения в холодильных камерах, поэтому при восстановлении данных образцов при таком температурном режиме максимально будут сохраняться витамины. В опытах по регидратации абрикоса установлено, что его способность к восстановлению находится в диапазоне температур от 5 до 65 °С, поэтому в зависимости от целей его дальнейшего использования, например в кондитерских изделиях или при приготовлении фруктовых пюре, регидратацию необходимо проводить либо в условиях холодильных камер, либо в термостатных установках. Анализ данных по восстановлению авокадо позволяет предположить, что высокое со-

держание моно-, дисахаридов, фруктозы и растворимых пектинов ухудшает условия сорбции влаги во всем диапазоне температур. Аналогичные результаты получены в предыдущих исследованиях гигроскопических характеристик сублимированных кубиков фруктов и овощей [18], где показано, что добавление моносахаридов приводит к уменьшению размера пор лиофилизированного сырья.

**Заключение.** Опытным путем изучена способность к восстановлению лиофилизированного сырья с помощью количественной оценки сорбционной способности в зависимости от температуры процесса и видов влаги, поглощаемых в различных периодах регидратации.

Предложен оригинальный подход к определению сорбционной способности сырья, оцениваемый модифицированным коэффициентом эффективности регидратации.

Для популярных на рынке объектов сушки (авокадо (*Persëa americana*), клубника садовая (*Fragaria ananassa* Duch. сорт Пегас), абрикос (*Prunus armeniaca*, сорт Водолей)) проведены опыты по их сублимационной дегидратации и определены условия и параметры восстановления. Полученные эмпирические данные и рекомендации могут быть использованы на предприятиях кондитерской промышленности и конечными потребителями сублимированного сырья.

#### Список источников

1. Ghellam M., Zannou O., Pashazadeh H., et al. Optimization of Osmotic Dehydration of Autumn Olive Berries Using Response Surface Methodology // *Foods*. 2021. Vol. 10, N 5. P. 1075. DOI: 10.3390/foods10051075. EDN: YLOXWA.
2. Бакин И. А., Шилов С. В., Мустафина А. С. Информационные системы контроля и управления процессов дегидратации плодово-ягодного сырья // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2023. № 1. С. 163–176. DOI: 10.36107/spfp.2023.277. EDN: BQPRBO.
3. Maytakov A.L., Yusupov Sh.T., Popov A.M., et al. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation // *Foods and Raw Materials*. 2018. Vol. 6, N 1. P. 172–181. DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-172-181. EDN: XQVNLN.
4. Sun Y., Zhang M., Mujumdar A. Berry drying: Mechanism, pretreatment, drying technology, nutrient preservation, and mathematical models // *Food Engineering Reviews*. 2019. Vol 11, N 2. P. 61–77. DOI: 10.1007/s12393-019-9188-3. EDN: EUGCRQ.
5. Prosapio V., Norton I. Simultaneous application of ultrasounds and firming agents to improve the quality properties of osmotic + freeze-dried foods // *Lwt*. 2018. Vol. 96. P. 402–410. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.05.068.
6. Гурских П.С., Янова М.А., Хижняк С.В. Сравнительная оценка методов сушки плодов черноплодной рябины // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 10 (163). С. 190–197. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-190-197. EDN: BQYMWB.
7. Остриков А.Н., Копылов М.В., Медведков Е.Б., и др. Исследование процесса активного вентилирования зерна в послеуборочный период // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 15, № 2. С. 28–38. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_2\_28–38. EDN: CQTXVJ.

8. Mahiuddin M., Khan M.H., Kumar C., et al. Shrinkage of Food Materials During Drying: Current Status and Challenges // *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2018. Vol. 17, № 5. P. 1113–1126. DOI: 10.1111/1541-4337.12375.
9. Statistical Yearbook World Food and Agriculture 2022. Available at: <https://fao.org/documents/card/ru/c/cc2211en>. Accessed: 15 Apr 2024.
10. Елисеева Т., Ямпольский А. Авокадо (лат. *Persēaamericana*) // Журнал здорового питания и диетологии. 2019. № 10. С. 63–74.
11. Безбородова М.В., Зорин А.С., Иванова И.В., и др. Производство шоколада с добавками растительных ингредиентов ЦЧР // Приоритетные направления развития садоводства. 2019. С. 287–290.
12. Ишонкулова Д.У., Равшанова А.Р. Полезные качества абрикоса // *European research.* 2019. № 1. С. 8–10. EDN: WWOYUS.
13. Feng S., Yi J., Wu X., et al. Effects of cell morphology on the textural attributes of fruit cubes in freeze-drying: Apples, strawberries, and mangoes as examples // *Journal of Texture Studies.* 2023. Vol. 54, N 5. P. 775–786. DOI: 10.1111/jtxs.12779. EDN: MUZRFI.
14. Nowak D., Jakubczyk E. The Freeze-Drying of Foods – The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials // *Foods.* 2020. 9 (10). P. 1488. DOI: 10.3390/foods9101488. EDN: UFHAMF.
15. Lopez-Quiroga E., Prosapio V., Fryer P.J., et al. Model discrimination for drying and rehydration kinetics of freeze dried tomatoes // *Journal of Food Process Engineering.* 2020. Vol. 43, N 5. P. e13192. DOI: 10.1111/jfpe.13192.
16. Данильченко А.С., Сиюхов Х.Р., Короткова Т.Г., и др. Определение содержания свободной и связанной влаги в пивной дробине // Новые технологии. 2020. Т. 15. № 4. С. 41–52. DOI: 10.47370/2072-0920-2020-15-4-41-52. EDN: ННДКTD.
17. Зимина К.С. Теоретические основы сушки трав. В сб.: Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России». Т. 1. Пенза, 2019. С. 90–93. EDN: GWUADH.
18. Feng S., Bi J., Yi J., et al. Cell wall polysaccharides and mono-/disaccharides as chemical determinants for the texture and hygroscopicity of freeze-dried fruit and vegetable cubes // *Food Chemistry.* 2022. Vol. 395. P. 133574. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133574. EDN: PUHTFU.

## References

1. Ghellam M, Zannou O, Pashazadeh H, et al. Optimization of Osmotic Dehydration of Autumn Olive Berries Using Response Surface Methodology. *Foods.* 2021;10(5):1075. DOI: 10.3390/foods10051075. EDN: YLOXWA.
2. Bakin IA, Shilov SV, Mustafina AS. Information Systems for Control and Management of Processes of Dehydration of Fruit and Berry Raw Materials. *Storage and Processing of Farm Products.* 2023;(1):163-176. (In Russ.). DOI: 10.36107/spfp.2023.277. EDN: BQPRBO.
3. Maytakov AL, Yusupov ShT, Popov AM, et al. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation. *Foods and Raw Materials.* 2018;6(1):172-181. DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-172-181. EDN: XQVNLN.
4. Sun Y, Zhang M, Mujumdar A. Berry drying: Mechanism, pretreatment, drying technology, nutrient preservation, and mathematical models. *Food Engineering Reviews.* 2019;11:61-77. DOI: 10.1007/s12393-019-9188-3. EDN: EUGCRQ.
5. Prosapio V, Norton I. Simultaneous application of ultrasounds and firming agents to improve the quality properties of osmotic + freeze-dried foods. *Lwt.* 2018;96:402-410. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.05.068.
6. Gurskih PS, Yanova MA, Hizhnyak SV. Comparative evaluation of the methods for drying the fruits of black mountain ash. *Bulletin of KSAU.* 2020;10:190-197. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-190-197. EDN: BQYMWB.
7. Ostrikov AN, Kopylov MV, Medvedkov EB, et al. Investigation of Postharvest Grain Aeration Process. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University.* 2022;15(2):28-38. (In Russ.). DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_2\_28. EDN: CQTXVJ.

8. Mahiuddin M, Khan MH, Kumar C, et al. Shrinkage of Food Materials During Drying: Current Status and Challenges. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2018;17(5):1113-1126. DOI:10.1111/1541-4337.12375.
9. Statistical Yearbook World Food and Agriculture 2022. Available at: <https://fao.org/documents/card/ru/c/cc2211en>. Accessed: 15 Apr 2024.
10. Eliseeva T, Yampol'skiy A. Avocado (lat. *Persēaamericana*). *Journal of Healthy Nutrition and Dietology.* 2019;10:63-74. (In Russ.).
11. Bezborodova MV, Zorin AS, Ivanova IV, et al. Production of chocolate with the addition of vegetable ingredients of the CCHR. *Priority directions for the development of horticulture* 2019:287-290. (In Russ.).
12. Ishonkulova DU, Ravshanova AR. Useful qualities of apricot. *European research.* 2019;1:8-10. (In Russ.). EDN: WWOYUS.
13. Feng S, Yi J, Wu X, et al. Effects of cell morphology on the textural attributes of fruit cubes in freeze-drying: Apples, strawberries, and mangoes as examples. *Journal of Texture Studies,* 2023;54(5):775-786. DOI: 10.1111/jtxs.12779. EDN: MUZRFI.
14. Nowak D, Jakubczyk E. The Freeze-Drying of Foods – The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. *Foods.* 2020;9(10):1488. DOI: 10.3390/foods9101488. EDN: UFHAMF.
15. Lopez-Quiroga E, Prosapio V, Fryer PJ, et al. Model discrimination for drying and rehydration kinetics of freeze dried tomatoes. *Journal of Food Process Engineering.* 2020;43(5):e13192. DOI: 10.1111/jfpe.13192.
16. Danil'chenko AS, Siyuhov HR, Korotkova TG, et al. Determination of the content of free and attached moisture in spent grain. *New technologies.* 2020;15(4):41-52. (In Russ.). DOI: 10.47370/2072-0920-2020-15-4-41-52. EDN: HHDKTD.
17. Zimina K.S. Teoreticheskie osnovy sushki trav. V sb.: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenyh «Innovacionnye idei molodyh issledovatelej dlya agropro-myshlennogo kompleksa Rossii»*. Т. 1. Penza; 2019. P. 90–93. (In Russ.). EDN: GWUADH.
18. Feng S, Bi J, Yi J, et al. Cell wall polysaccharides and mono-, disaccharides as chemical determinants for the texture and hygroscopicity of freeze-dried fruit and vegetable cubes. *Food Chemistry,* 2022;395:133574. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133574. EDN: PUHTFU.

Статья принята к публикации 12.05.2025 / The article accepted for publication 12.05.2025.

Информация об авторах:

**Игорь Алексеевич Бакин**<sup>1</sup>, заведующий кафедрой процессов и аппаратов перерабатывающих производств, доктор технических наук, профессор

**Альберт Хамед-Харисович Нугманов**<sup>2</sup>, и.о. заведующего кафедрой технологий хранения и переработки плодовоовощной и растениеводческой продукции, доктор технических наук, профессор

**Анна Сабирдзяновна Мустафина**<sup>3</sup>, доцент кафедры технологий хранения и переработки плодовоовощной и растениеводческой продукции, кандидат технических наук, доцент

Information about the authors:

**Igor Alekseevich Bakin**<sup>1</sup>, Head of the Department of Processes and Apparatus for Processing Industries, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Albert Khamed-Kharisovich Nugmanov**<sup>2</sup>, Acting Head of the Department of Technologies for Storage and Processing of Fruit and Vegetable and Plant Products, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Anna Sabirdzyanovna Mustafina**<sup>3</sup>, Associate Professor at the Department of Technologies for Storage and Processing of Fruit and Vegetable and Plant Products, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor