

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯБЛОК И ГРУШ, ВЫРАЩЕННЫХ В ЮЖНЫХ РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА

¹А.У. ШИНГИСОВ*^{ORCID}, ¹Р.С. АЛИБЕКОВ^{ORCID}, ¹С.У. ЕРКЕБАЕВА^{ORCID},
¹Э.У. МАЙЛЫБАЕВА^{ORCID}, ¹У.У. ТАСТЕМИРОВА^{ORCID}

¹(«Южно-Казахстанский университет» им. М.Ауэзова, Казахстан, 160000
г.Шымкент, пр. Тауке-хана 5)

Электронная почта автора корреспондента: azret_utebai@mail.ru*

Исследованиями установлено, что в процессе сушки наблюдаются различные периоды сушки: например, для сортов яблок первый период времени сушки составляет 5,45...6,10 часов, а для сортов груш 6,12...6,25 часов. Продолжительность второго периода сушки для сортов яблок составляет 4,15...3,50 часов, а для сортов груши 4,35...4,48 часов. Анализ кривой сушки показал, что границей между периодами постоянной и падающей скорости сушки, т.е. критическая влажность для сортов яблок составляет в среднем $27 \pm 2,1\%$, а для груши $30,1 \pm 2,5\%$. Анализ кинетики испарения влаги показывает, что в яблоках в первые четыре часа сушки в среднем испаряется 2,71 г, в последующие два часа времени она монотонно снижается до 2,31 г. Такая же картинка динамики испарения влаги наблюдается и для груш: первые четыре часа в среднем испаряется 3,41 г, а последующие два часа динамика испарения уменьшается до 2,78 г. Исследованиями установлено, что коэффициент сопротивления испарения для сортов яблок: Байтерек, Саркыт и Сая составляет $\mu = 2,03 \pm 0,07$, для сортов груш: Сыйлык, Жаздық и Нагима составляет $\mu = 2,3 \pm 0,05$.

Ключевые слова: вакуумная сушка, яблоки, груша, показатель активности воды.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК АЙМАҚТАРЫНДА ӨСІРІЛГЕН АЛМА МЕН АЛМҰРТТЫҢ ӘР ТҮРЛІ СҰРТТАРЫНЫҢДАҒЫ ЫЛҒАЛДЫҢ БУЛАНУЫНА ӘСЕР ЕТЕТІН КЕДЕРГІ КОЭФФИЦИЕНТІН ЗЕРТТЕУ

¹А.У. ШИНГИСОВ*, ¹Р.С. АЛИБЕКОВ, ¹С.У. ЕРКЕБАЕВА,
¹Э.У. МАЙЛЫБАЕВА, ¹У.У. ТАСТЕМИРОВА

¹(«М.Әуезов, Оңтүстік Қазақстан университеті», Қазақстан, 160000
Шымкент, Тәуке хан даңғылы 5)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: azret_utebai@mail.ru*

Зерттеулер кептіру процесінде әртүрлі кептіру кезеңдері байқалатынын анықтады: мысалы, алма сорттары үшін бірінші кептіру кезеңі 5,45 ... 6,10 сағат, ал алмұрт сорттары үшін 6,12 ... 6,25 сағат. Екінші кептіру кезеңінің ұзақтығы алма сорттары үшін 4,15...3,50 сағат, ал алмұрт сорттары үшін 4,35...4,48 сағат. Кептіру қисықсызығын талдау көрсеткендей кептірудің тұрақты және бәсеңдеу периодтарының арасындағы шекара алма сорттары үшін орташа ылғалдылық $27 \pm 2,1\%$, ал алмұрт үшін $30,1 \pm 2,5\%$ болатынын анықталды. Ылғалдың булану кинетикасын талдау көрсеткендей алмада кептірудің алғашқы төрт сағатында орта есеппен 2,71 г буланса, келесі екі сағатта монотонды түрде 2,31 г дейін төмендейтінін көрсетеді. Ылғалдың булану динамикасының дәл осындай заңдылығы алмұрт үшін де байқалады: алғашқы төрт сағатта орта есеппен 3,41 г буланса, ал келесі екі сағатта булану динамикасы 2,78 г дейін төмендейді. Алманың Байтерек, Саркыт және Сая сорттары үшін булануға әсер ететін кедергілік коэффициенті $\mu = 2,03 \pm 0,07$ болатынын, алмұрт: Сыйлык, Жаздық және Нагима сорттары үшін $\mu = 2,3 \pm 0,05$ жететіні зерттеулерде анықталды.

Негізгі сөздер: вакуумда кептіру, алма, алмұрт, судың белсенділік көрсеткішісі.

STUDY OF THE COEFFICIENT EVAPORATION RESISTANCE OF VARIOUS APPLES AND PEARS VARIETIES GROWING IN THE SOUTHERN REGIONS OF KAZAKHSTAN

¹A.U. SHINGISOV*, ¹R.S. ALIBEKOV, ¹S.U. YERKEBAYEVA,
¹E.U. MAILYBAYEVA, ¹U.U. TASTEMIROVA

¹(«M.Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 5 Tauke-khan Ave., Kazakhstan 160000)
Corresponding author e-mail: azret_utebai@mail.ru*

Studies have established that various drying periods are observed during the drying process: for example, for apple varieties, the first drying period is 5.45...6.10 hours, and for pear varieties 6.12 ...6.25 hours. The duration of the second drying period for apple varieties is 4.15...3.50 hours, and for pear varieties 4.35...4.48 hours. The analysis of the drying curve showed that the boundary between the periods of constant and falling land velocity, i.e. the critical humidity for apple varieties is on average $27 \pm 2.1\%$, and for pear $30.1 \pm 2.5\%$. An analysis of the kinetics of moisture evaporation shows that in an apple during the first four hours of drying, on average, 2.71 g evaporates, and for the next two hours it decreases monotonically to 2.31 g. The same picture of moisture evaporation dynamics is also observed for pears: for the first four hours, on average, 3.41 g evaporates, and for the next two hours, the evaporation dynamics decreases to 2.78 g. Studies have established that the coefficient of evaporation resistance for apple varieties: Baiterek, Sarkyt and Saya is $\mu = 2.03 \pm 0.07$, for pear varieties: Sylyk, Zhazyk and Nagima is $\mu = 2.3 \pm 0.05$.

Keywords: vacuum drying, apples, pear, water activity indicator.

Введение

За последние десятилетия, как у нас, так и за рубежом, из-за ухудшения экологических условий окружающей среды значительно изменились составы сырья для производства пищевых продуктов [1,2]. Поэтому многие ученые и ведущие специалисты, занимающиеся созданием технологии производства новых видов пищевых продуктов, рекомендуют обогащать их составы биологически активными добавками, что позволяет придавать этим пищевым продуктам различную функциональную направленность [3,4].

Одним из перспективных видов сырья для производства биологически активных добавок растительного происхождения являются фрукты и ягоды, которые при систематическом употреблении положительно влияют на обмен веществ, пищеварение, повышение умственной и физической работоспособности, а также активируют внутренние ресурсы организма, что приводит его к естественному здоровому состоянию [5,6].

В Республике Казахстан в результате поддержки малого и среднего бизнеса увеличилось количество крестьянских хозяйств, занимающихся выращиванием фруктов и ягод.

Как известно фрукты и ягоды являются сезонным и относятся к скоропортящимся продуктам. Поэтому для равномерного, в течение года, обеспечения потребности пищевой промышленности и населения, многие крестьянские хозяйства выращенные фрукты и

ягоды хранят в холодильнике. К сожалению, в процессе их хранения из-за сушки в конце срока хранения качество снижается.

Одним из способов сохранения исходного качества сырья является сушка.

В настоящее время в пищевой промышленности используются различные виды сушки [7,8,9]. Каждый метод имеет свои особенности и преимущества. С точки зрения максимального сохранения питательных веществ и витаминов в продукте оптимальным является вакуум-сублимационная сушка [10]. Этот метод считается самым совершенным, но и довольно дорогостоящим, хотя его можно применять для сушки абсолютно любых пищевых продуктов.

В последние годы инфракрасная сушка нашла широкое применение для сушки пищевых продуктов [11]. Однако высокая температура и длительность сушки значительно снижают витаминный состав и вкусовые качества продукта. По нашему мнению, с точки зрения максимального сохранения исходного качества сырья, следующим после вакуум-сублимационной сушки является сушка продуктов в вакууме при температуре не выше 40°C. Преимуществом этого способа сушки по сравнению с традиционными конвективными сушками является то, что герметичность сушильной камеры дает гарантию против загрязнения продукта пылью из окружающего воздуха и окисления его кислородом воздуха. Кроме того, при сушке продуктов в вакууме

при пониженной температуре не так нарушается его витаминный состав.

Для определения оптимального режима сушки в вакууме при температуре не выше 40°C необходимо располагать закономерностью испарения влаги с поверхности исследуемого продукта.

Известно, что поверхность продукта не всегда покрыта пленкой чистой воды, и при его сушки в испарении участвует лишь некоторая ее часть. Кроме того, в процессе сушки продукта поверхность испарения влаги непрерывно перемещается в глубину, образуя в высушенном слое трещины, щели, каналы и капилляры, по которым молекулы пара оторвавшейся от поверхности испарения, совершают сложный путь, преодолевая сопротивление сухого слоя и дополнительное гидравлическое сопротивление [12].

В настоящее время влияние сопротивления сухого слоя на динамику испарения влаги в процессе сушки учитывается с помощью коэффициента сопротивления испарению.

Анализ научно-технической литературы показывает, что в настоящее время изучению коэффициента сопротивления испарению посвящены незначительные количества исследований, и они в основном определены для сырья и готовой продукции животного происхождения [13,14,15], а для сырья растительного происхождения, например, для фруктов и ягод, выращенных в условиях Казахстана, не установлены.

Данная работа посвящена изучению коэффициента сопротивления испарению различных сортов яблок и груши при их вакуумной сушке при температуре не выше 40°C.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования служили сорта яблок: Байтерек (№1), Саркыт (№2) и Сая (№3) и сорта груши: Сыйлык (№1), Жаздык (№2) и Нагима (№3) свежесобранные в 2021 году, зимнего созревания.

Активность воды определяли с помощью анализатора активности воды - AQUALAB 4TE.

$$W_n = \frac{G_n - (G_n - G_n)}{G_n} 100\%, \quad (1)$$

где: W_n – влажность в момент замера, %;
 G_n – начальная масса высушиваемого продукта, г;

G_n – масса высушиваемого продукта в момент замера, г;

Относительная влажность воздуха в камере измерялась с помощью прибора для измерения температуры и влажности TESTO 635-2.

Для измерения массы продукта в процессе сушки использовали лабораторные электронные весы марки - CAS MWP-300H.

Методика определения коэффициента сопротивления испарению – μ и активности воды - a_w . Перед сушкой каждый противень с высушиваемым продуктом взвешивается, и показание электронного веса заносится журнал, затем из этого продукта производится забор некоторой части для определения показателя активности воды. Для изучения закономерности динамики испарения влаги с поверхности продукта в процессе сушки, время от времени, останавливая установку, вынимаются противни с продуктом и взвешиваются. Полученные данные изменения массы продукта записываются в журнал. Далее из этого продукта также производят забор некоторой части для определения активности воды соответствующей к этому моменту времени сушки. Эксперименты по взвешиванию противней с продуктом и определения показателя активности воды продолжают до тех пор, пока разница массы противня с продуктом между предыдущим взвешиванием не достигнет постоянной массы или разница должна быть не более сотой доли.

Далее, зная опытные данные динамики испарения влаги с поверхности продукта и закономерности изменения показателя активности воды по уравнению предложенному в работе [16] академиком НАН РК Чомановым У.Ч. и доцентом Шигисовым А.У., определяются числовые значения коэффициента сопротивления испарению.

Методика определения влажности продукта в процессе сушки. Влажность продукта в текущий момент времени рассчитывают по выражению:

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования динамики испарения влаги с поверхности продуктов представлены на рисунке 1.

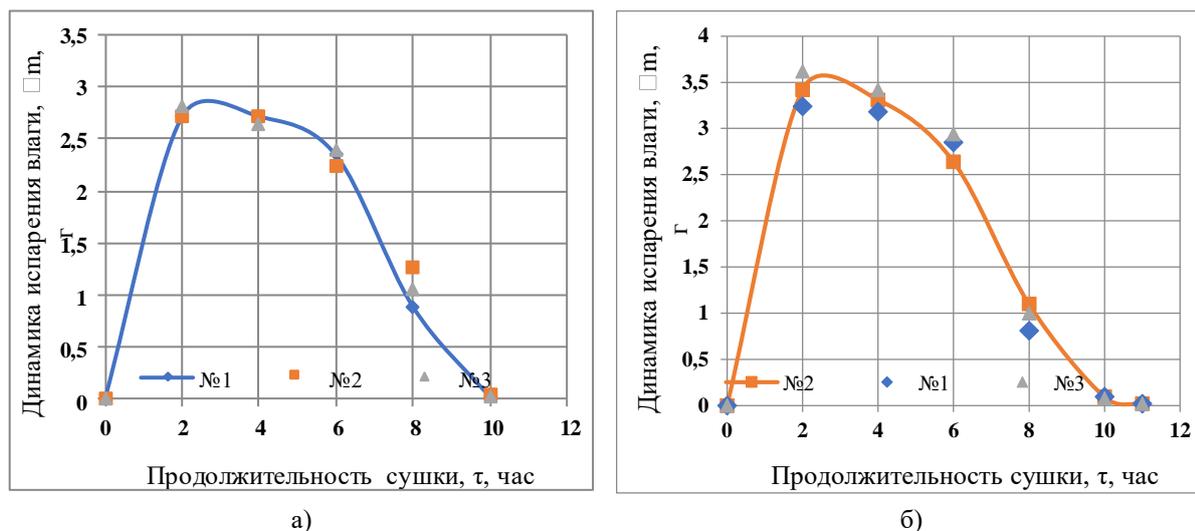


Рисунок 1- Динамика испарения влаги с поверхности сортов: яблоки (а) и груши (б)

Анализ рисунка 1 показывает, что динамика испарения влаги с поверхности продукта неодинакова: на начальном этапе имеет максимальное значение, а затем в отрезке времени между 2,0...6,0 ч испаряется в среднем с незначительной разницей одинаковое количество влаги. Далее в отрезке между 6,0...11,0 ч. темп испарения монотонно снижается.

Как видно из рисунка 1, для яблок в первый четыре часа сушки динамика испарения влаги с поверхности продукта в среднем составляет 2,71 г, а в последующие два часа времени она монотонно снижается до 2,31г. Такая же картинка динамики испарения влаги наблюдается и для груш. Например, первый четыре часа сушки динамика испарения влаги в среднем составляет 3,41 г,

в последующие два часа времени сушки динамика испарения уменьшается до 2,78г. Такая разница динамики испарения влаги в продуктах объясняется структурным строением и формой связи влаги в продукте. После достижения 6,0 часов времени сушки динамика испарения влаги в обоих исследованных продуктах имеет монотонно снижающий характер.

Результаты исследования изменения влажности в процессе сушки (кривая сушки)

На основе экспериментальных данных динамики испарения влаги были построены зависимости между средней влажностью материала и продолжительностью сушки (иными словами кривая сушки). Результаты исследования характера приведены на рисунке .2

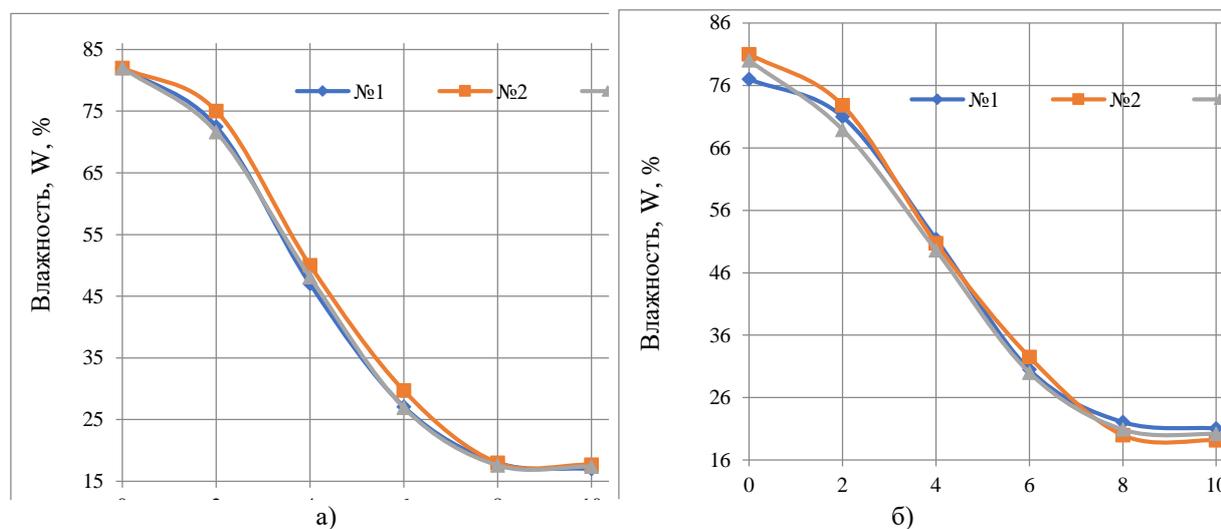


Рисунок 2- Кривая сушки сортов: яблоки (а) и груши (б)

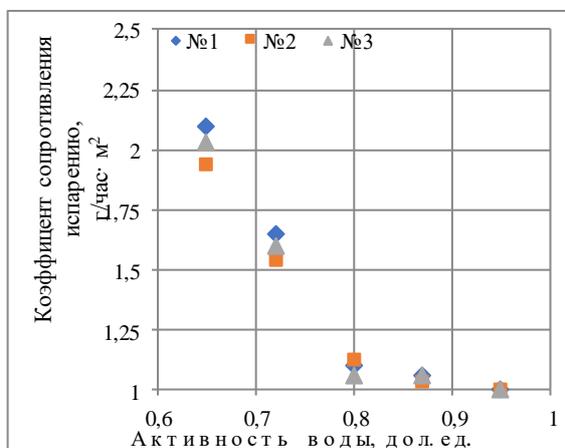
Анализ рисунка 2 показывает, что при вакуумной сушке как яблок, так и груш наблюдается общеизвестная в теории сушки пищевых продуктов закономерность: т.е. сушка состоит из двух периодов. В первом периоде сушки за равные промежутки времени испаряется одинаковое количество влаги, т.е. период постоянной скорости сушки (влажность в конце периоде составлял для сортов яблок в среднем $27,1 \pm 2,1$ %, а для груш $30,1 \pm 2,5$). После достижения гигроскопической влажности $W_{кр}$ (для сортов яблок составил $27,1\%$, а для груш $30,0\%$) продукта характер испарения влаги меняется. Для сортов яблок первый период сушки составляет $5,45 \dots 6,10$ часов, а для груши $6,12 \dots 6,25$ часов. Продолжительность второго периода сушки для сортов яблок составляет $4,15 \dots 3,50$ часов, а для груш $4,35 \dots 4,48$ часов.

Результаты исследования коэффициента сопротивления испарению. Располагая опытными данными динамики испарения влаги с поверхности продукта и закономерностями изменения показателя активности воды были определены значения коэффициента сопротивления испарению влаги в про-

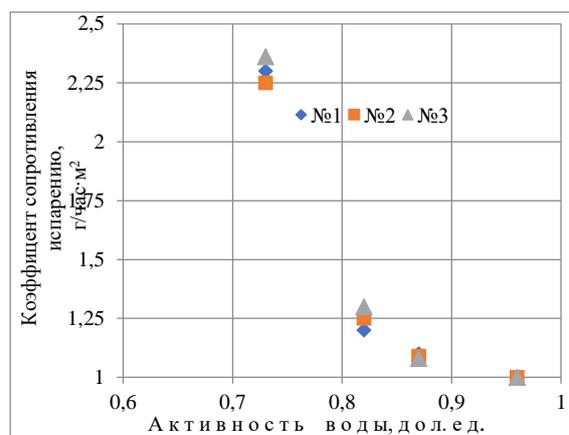
цессе сушки сортов яблок и груши. Результаты представлены на рисунке 3.

Анализ рисунка 3 показывает, что в первом периоде сушки как в яблоках, так и в грушах в результате перемещения зоны испарения влаги в толщу продукта коэффициент сопротивления испарению монотонно повышается. По достижении критической влажности $W_{кр}$ в высушиваемом слое продукта характер кривой коэффициента сопротивления испарению изменяется. Например, если, в интервале изменения удельной влажности от 1,0 до 0,8 коэффициент сопротивления испарению увеличивается на 7%, то в отрезке изменения удельной влажности от 0,8 до 0,7 коэффициент сопротивления испарению повышается 14,68%, а в интервале удельной влажности от 0,7 до 0,6 коэффициент сопротивления испарению увеличивается 39,84%.

Как видно из рисунка 3, резкое увеличение коэффициента сопротивления испарению происходит во втором периоде сушки продукта и в конце процесса сушки его значение достигается для яблок в среднем 2,10, а для груш 2,30.



а)



б)

Рисунок 3 –Зависимость коэффициента сопротивления испарению от активности воды: для сортов яблок (а) и для сортов груш (б).

Результаты математической обработки экспериментальных данных с применением программы "Excel-2003" позволили описать зависи-

мость коэффициента сопротивления испарению от активности воды уравнением следующего вида:

$$\mu = 0,924 / a_{wm} \quad (2)$$

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что заметное увели-

чение значений коэффициента сопротивления испарению происходит после первого

периода сушки, т.е. после удаления свободной воды в продукте. Это вывод доказывает о существовании в высушенном слое трещин, щелей, каналов и капилляров, которые препятствуют свободному движению молекул пара оторвавшихся от поверхности испарения вызывающие повышение значения коэффициента сопротивления испарения.

Заключение, выводы

На основании проведенных исследований можно сделать выводы о том, что при сушки, как сортов яблок, так и груш наблюдаются известные в теории сушки закономерности, т.е. периоды сушки. Например, для сортов яблок первый период сушки составляет 5,45...6,10 часов, а для сортов груш 6,12...6,25 часов. Продолжительность второго периода сушки для сортов яблок составляет 4,15...3,50 часов, а для сортов груш 4,35...4,48 часов. Граница между периодами постоянной и падающей скорости сушки, т.е. критическая влажность для сортов яблок составляет $27 \pm 2,1\%$, а для груш $30,1 \pm 2,5\%$. Результаты исследования показали, что коэффициент сопротивления испарения для сортов яблок: Байтерек, Саркыт и Сая составляет $\mu = 2,03 \pm 0,07$, для сортов груш: Сыйлык, Жаздык и Нагима составляет $\mu = 2,3 \pm 0,05$.

Благодарность, конфликт интересов (финансирование)

Авторы выражают признательность за финансовую поддержку проекта «Разработка технологии переработки перспективных сортов плодовых, ягодных культур и винограда отечественной селекции с целью получения биологически активных веществ и плодово-ягодных порошков для использования в пищевой промышленности» в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан (BR10764977).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшева А.А., Преснякова О.П. Охрана окружающей среды и продовольственная безопасность // Пищевая промышленность России, 2012.- № 8. С.8-14.
2. Ибраева Л. К. Влияние экологических факторов окружающей среды на развитие заболеваний у населения (обзор литературы) // Медицина труда и промышленная экология, 2014.- № 8 С. 38-42.

3. Коденцова В. М. Об обогащении пищевых продуктов витаминами // Вопросы питания том 84, 2016.- №4. С.87-90.

4. Спиричев В.Б, Шатнюк Л.Н. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами: научные принципы и практические решения///Пищевая промышленность России, 2018.- № 4. С.20-24.

5. Горшукова К.М., Иванов С.В., Бояркина В.А. Влияние употребления экзотических фруктов в рационе человека // Актуальные научные исследования в современном мире.- 2021, № 1-3.- С. 16-18.

6. Бондаренко, Е. М. Влияние питания на здоровье человека / Е. М. Бондаренко, Т. В. Минюк // Юный ученый. — 2021. — № 3.1 (44.1). — С. 7-9.

7. Киселева Т.Ф. Технология сушки // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2007 -117 с

8. Турсунов С.Т., Гуломов Ш. Изучение способов сушки овощей // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2021. 4(85). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11547>.

9. Цапенко Л.А. , Казанцева Е.С. Способы сушки плодов и овощей // МОЛОДЕЖЬ И НАУКА, 2019.- № 1.- С. 48-53.

10. Семенов Г.В., Краснова И.С. Сублимационная сушка М.: ДеЛи, 2021г - 326 с

11. <https://www.t-klio.dp.ua/stati/35-infrakrasnaya-sushka-fruktov-i-ovoshchej-bytovaya-infrakrasnaya-sushilka-dachnik-4>

12. Shingisov A.U, Alibekov R.S. Heat and Mass Transfer, May 2017, Volume 53, Issue 5, pp 1571–1578. <http://link.springer.com/article/10.1007/s00231-016-1920-4>

13. Дондокова С.А., Битуева Э.Б., Антипов А.В. Использование сублимационной сушки в производстве мясных продуктов: // «Научное обозрение. Технические науки» Выпуск 2016.- №4. С. 37-48.

14. Кременевская М. И. Научные основы технологий глубокой переработки коллагенсодержащего сырья для получения продуктов с заданными свойствами, Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. д. т.н., М, 2019.- 34 с.

15. Мыркалыков Б.С. Разработка методики технологического аудита производства сухого порошка из овечьего молока. Диссертация на соискание степени доктора философии PhD, Алматы, 2017г.- 172 с.

16. Чоменов У.Ч., Шингисов А.У. Совершенствование технологии вакуум-сублимационной сушки кумыса и шубата Монография/ Алматы: ТОО «378», 2016 г. -272с.

REFERENCES

1. Kudryasheva A.A., Presnyakova O.P. Okhrana okruzhayushchei sredy i prodovol'stvennaya bezopasnost' // Pishchevaya promyshlennost' Rossii, 2012, № 8, str.8-14.

2. Ibraeva L. K. Vliyanie ehkologicheskikh faktorov okruzhayushchei sredy na razvitie zabolovaniy u naseleniya (obzorliteratury) // Meditsinatruda i promyshlennayaehkologiya, 2014, № 8 str. 38-42.
3. Kodentsova V. M. Ob obogashchenii pishchevykh produktov vitaminami // Voprosy pitaniya tom 84, 2016, №4, str.87-90
4. Spirichev V.B, Shatnyuk L.N. Obogashchenie pishchevykh produktov mikronutrientami: nauchnye printsipy prakticheskie resheniya///Pishcheyaya promyshlennost' Rossii, 2018, № 4, str.20-24.
- 5 Gorshukova K.M., Ivanov S.V., Boyarkina V.A. Vliyanie upotrebleniya ehkzoticheskikh fruktov v ratsionе cheloveka // Aktual'nye nauchnye issledovaniyavsovremennom mire 2021, № 1-3, str. 16-18
6. Bondarenko, E. M. Vliyanie pitaniya nazdorov'e cheloveka / E. M. Bondarenko, T. V. Minyuk // Yunyuchenyi. — 2021. — № 3.1 (44.1). — S. 7-9.
7. Kiseleva T.F. Tekhnologiyasushki //Kemerovskii tekhnologicheskii institute pishchevoi promyshlennosti. – Kemerovo 2007g -117 s
8. Tursunov S.T., Gulomov SH. Izucheniyesposobovsushkiovoshchei // Universum: tekhnicheskienauki :ehlektron. nauchn. zhurn. 2021. 4(85). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11547>
9. Tsapenko L.A. ,Kazantseva E.S. Sposoby sushki plodov i ovoshchei // molodezh' inauka, 2019 g № 1, str. 48-53
10. Semenov G.V., Krasnova I.S. Sublimatsionnaya sushka M.: DELi, 2021g - 326 s
11. <https://www.t-klio.dp.ua/stati/35-infrakrasnaya-sushka-fruktov-i-ovoshchej-bytovaya-infrakrasnaya-sushilka-dachnik-4>
12. Shingisov A.U, Alibekov R.S. Heat and Mass Transfer, May 2017, Volume53, Issue 5, pp 1571–1578. <http://link.springer.com/article/10.1007/s00231-016-1920-4>
13. Dondokova S.A., Bitueva E.H.B., Antipov A.V. Ispol'zovaniyesublimatsionnoi sushki v proizvodstve myasnykh produktov: Nauchnyi zhurnal «Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki» Vypusk zhurnala 2016 g, №4, str. 37-48
14. Kremenevskaya M.I. Nauchnye osnovy tekhnologii glubokoi pererabotki kollagensoderzhashchego syr'ya dlya polucheniya produktov s zadannymi svoistvami, Avtoreferat diss. nasoiisk. uch. st. d. t.n., Moskva 2019 34 s.
15. Myrkalykov B.S. Razrabotka metodiki tekhnologicheskogo audita proizvodstva sukhogo poroshka iz ovech'egomoloka Dissertatsiya nasoiiskanie stepeni doktora filosofii PhD, Almaty, 2017g., 172 s.
16. Chomenov U.CH., Shingisov A.U. Sovershenstvovaniya tekhnologii vakuumsblimatsionnoi sushki kumysa i shubata Monografiya/ Almaty: TOO «378», 2016 g. -272s.