

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕМЯН ТЫКВЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИХ К ИЗВЛЕЧЕНИЮ МАСЛА

Резюме. Исследованы основные физико-механические характеристики семян тыквы сорта Лагмони с обобщением ранее полученных результатов для сортов Мускатная и Кормовая: линейных размеров, массы тысячи семян, углов трения и коэффициентов трения скольжения. Получены вариационные кривые линейных размеров семян тыквы сорта Лагмони по длине, ширине и толщине, что соответствует нормальному закону распределения. При повышении влажности семян тыквы от 7,41 до 18,32% возрастают угол трения и коэффициент трения скольжения, что отмечено и для семян сортов Мускатная и Кормовая. Установлено влияние влажности от 6,63 до 23,3% семян тыквы сорта Лагмони на среднюю удельную работу их разрушения. Получено уравнение для расчета средней удельной работы разрушения заводской смеси семян тыквы сорта Лагмони, из которого следует, что при влажности 12,2% данный показатель достигает максимума 477,4 Дж / кг. Результаты исследования могут быть использованы в конструктивных и энергетических расчетах оборудования для очистки, сушки и переработки семян тыквы, а также транспортирующих конвейеров сырьевого и подготовительного отделений.

Ключевые слова: линейные размеры семян тыквы, масса семян, коэффициент трения скольжения, удельная работа разрушения.

THE INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PUMPKIN SEEDS DURING PREPARATION FOR OIL EXTRACTION

Abstract. The main physical and mechanical characteristics of the seeds of the Lagmoni variety of pumpkin have been studied, with a generalization of the results obtained earlier for the Muskatnaya and Kormovaya varieties: linear dimensions, weight of one thousand achenes, friction angles, and coefficients of sliding friction. Variation curves of linear sizes of pumpkin seeds of the Lagmoni variety in length, width and thickness, which corresponds to the normal distribution law, are obtained. With an increase in the moisture content of pumpkin seeds from 7.41 to 18.32%, the angle of friction and the coefficient of sliding friction increase, which is also noted for seeds of Nutmeg and Fodder varieties. The effect of moisture content from 6.63 to 23.3% of pumpkin seeds of the Lagmon variety on the average specific work of their destruction has been established. An equation has been derived to calculate the average specific work of destruction for the factory-produced mixture of Lagmoni pumpkin seeds, which shows that at a moisture content of 12.2 %, this value reaches a maximum of 477.4 J / kg. The research results can be used in structural and energy calculations for equipment used to clean, dry, and process pumpkin seeds, as well as for conveyors in the raw material and preparation departments.

Key words: linear dimensions of pumpkin seeds, seed mass, coefficient of sliding friction, specific fracture energy.

УДК 635.621:631.5

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2026-10-2-288

**ГУЛМАХМАД ХОЛОВИЧ
МИРЗОЗОДА (МИРЗОЕВ)¹,**

кандидат технических наук, доцент

ORCID: 0009-0007-8198-2913

E-mail: gulmahmad-x@mail.ru

**ВАЛЕНТИН ВИТАЛЬЕВИЧ
ДЕРЕВЕНКО²,**

доктор технических наук, профессор

ORCID: 0009-0002-9546-6198

E-mail: ekotp@ekotp.ru

**МАКСИМ АЛЕКСЕЕВИЧ
МАЙМЕСКУЛОВ²,**

аспирант

ORCID: 0009-0005-6438-4108

E-mail: m.a.maymeskulov@mail.ru

¹Технологический университет
Таджикистана

Таджикистан, г. Душанбе,
ул. Негмата Карабаева, д. 63/3

²ФГБОУ ВПО Кубанский государственный
технологический университет (КубГТУ)

350072, Россия, Краснодарский край,
г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

Поступила в редакцию: 18.08.2026

Одобрена после рецензирования:
09.09.2026

Принята в публикацию: 10.09.2026

UDC 635.621:631.5

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2026-10-2-288

**GULMAKHMAD KH.
MIRZUZODA (MIRZOEV)¹,**

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor

ORCID: 0009-0007-8198-2913

E-mail: gulmahmad-x@mail.ru

**VALENTIN V.
DEREVENKO²,**

Doctor of Technical Sciences, Professor

ORCID: 0009-0002-9546-6198

E-mail: ekotp@ekotp.ru

**MAXIM A.
MAYMESKULOV²,**

Postgraduate Student

ORCID: 0009-0005-6438-4108

E-mail: m.a.maymeskulov@mail.ru

¹Technological University of Tajikistan

Tajikistan, Dushanbe,
Negmata Karabaeva st., 63/3

²Kuban State Technological University

350072, Russia, Krasnodar region,
Krasnodar, St. Moskovskaya, 2

Received by editor office: 08.18.2026

Approved in revised: 09.09.2026

Accepted for publication: 09.10.2026

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная переработка вторичных сырьевых ресурсов, получаемых при обработке сельскохозяйственного сырья на отраслевых предприятиях, является важным направлением комплексного развития пищевой промышленности Республики Таджикистан. Такой подход позволяет получать из семян бахчевых культур дополнительную продукцию, включая растительные масла, расширяющие их ассортимент, а также ценные кормовые продукты — жмыхи и шроты. На предприятиях агропромышленного комплекса переработка ягод бахчевых культур направлена в основном на производство продуктов в консервированном виде, джемов и цукатов, многообразных пищевых добавок, в том числе для детского питания [1–3]. Плоды тыквы сортов Мускатная, Кормовая и Лагмони, широко распространенных в Таджикистане, в среднем содержат до 5% семян от их массы и представляют собой ценное вторичное сырье для производства деликатесного растительного масла, а также кормового и пищевого жмыха, содержание сырого протеина в котором зависит от эффективности подготовки семян к извлечению масла.

Извлечение растительного масла из семян тыквы, как и из другого масличного сырья, обычно проводят с помощью шнековых машин с одним или двумя валами, на которых установлены попеременно шнеки и кулачки [4, 5], обеспечивающие соответственно сжатие и измельчение материала, что повышает эффективность отжима. Если из семян тыквы перед отжимом на прессах отделить часть плодовой оболочки, то производимый жмых и масло будут иметь лучшее качество, чем без отделения оболочек. Это объясняется тем, что тыквенное масло, отжатое из ядровой фракции, содержит меньше продуктов окисления и других сопутствующих веществ, ухудшающих его качество, а жмых — больше сырого протеина и может применяться как ценная кормовая и пищевая добавка [1–3].

Реализация этих процессов требует соответствующего аппаратного оформления. Необходимо высокоэффективное оборудование для обрушивания, что обеспечивает однократный удар перерабатываемого материала о деку и, соответственно, минимальное замасливание плодовой оболочки [4]. Кроме того, требуется оборудование для разделения полученной рушанки на ситах и для сепарирования воздушным потоком за счет различных скоростей витания частиц [6, 7], а также для систем очистки от сорных примесей, калибровки по линейным размерам и сушки теплым воздухом [1]. В связи с этим достоверные знания физических и прочностных параметров объекта переработки являются важной составляющей проектирования перечисленного выше основного и вспомогательного технологического оборудования, а также обоснования эффективной схемы получения масла и высокопротеинового жмыха из семян тыквы.

Семена тыквы в качестве объекта исследования физических и механических параметров представлены в

малочисленных публикациях [8–11]. В этих работах изучались линейные размеры и объемная плотность семян, ядер и плодовых оболочек преимущественно для сорта *Cucurbita moschata*. Показано, что повышение содержания влаги сопровождается увеличением линейных размеров и объемной плотности семян тыквы. Одновременно установлено, что при росте влажности уменьшается усилие, необходимое для разрушения плодовой оболочки семян данного сорта, что следует учитывать при транспортировании. В работе [12] исследовано разрушение семян тыквы и их ядер сорта *Cucurbita maxima* при различной влажности и разных направлениях приложения нагрузки. Сходные исследования физических свойств семян тыквы сортов Риз, Чини и Гушти, выращенных в Иране, выявили заметные различия параметров как между этими сортами, так и по сравнению с ранее опубликованными данными. Различия свойств семян тыквы определялись не только сортом, но также зоной и годом выращивания [13].

Известны публикации, посвященные свойствам семян бахчевых культур [14–17], в том числе тыквы сортов Мускатная и Кормовая, выращенных в Таджикистане [17]. Изучены основные физико-механические показатели: линейные размеры, диапазон и характер их изменения, а также объемная масса семян тыквы. Установлено влияние влажности на изменение угла трения по следующим поверхностям: железу и оцинкованным ситам, которые имеют круглые отверстия диаметром 4 и 7 мм. Получены линейные зависимости для расчета коэффициента трения скольжения семян тыквы различной влажности по испытываемым поверхностям. С увеличением влажности семян тыквы возрастает как угол трения, так и коэффициент трения скольжения [17]. Вместе с тем информации, опубликованной в доступной научно-технической литературе, о физико-механических свойствах семян тыквы сорта Лагмони, выращенной в Таджикистане, не выявлено.

Цель работы — экспериментально изучить основные физико-механические характеристики семян тыквы сорта Лагмони: линейные размеры и характер изменения этих параметров, объемную массу, массу 1000 семян, а также установить влияние влажности объекта исследования на изменение угла трения покоя и коэффициента трения скольжения по испытываемым поверхностям из различных материалов и на среднюю удельную работу разрушения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

На основании статистического метода были изучены физико-механические свойства семян тыквы сорта Лагмони с применением соответствующего лабораторного оборудования [18–20]. Использовались семена урожая 2019 г., выращенные в южной части Республики Таджикистан.



Линейные размеры в трех осях семян в количестве 200 шт. проводили электронным штангенциркулем Энкор с точностью до 0,01 мм; объемную массу и массу 1000 семян выполняли по методике [19]. Влияние влажности семян тыквы от 7,41 до 18,32% на изменение угла трения и коэффициента трения скольжения по испытываемым поверхностям изучали по рекомендациям [19]. Среднюю удельную работу разрушения заводской смеси семян тыквы при влажности от 6,63 до 23,3% выполняли по методике, хорошо зарекомендовавшей себя при исследовании прочностных свойств семян дыни и арбуза [4, 20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты измерения объекта исследования в трех осях — по длине, ширине и толщине (рис. 1), которые имеют заметные различия, их можно причислить к удлинённому типу семян. Сравнение этих данных с вариационными кривыми семян тыквы сортов Мускатная и Кормовая, выращенных в Таджикистане [17], показывает, что диапазон и характер изменения средних линейных размеров исследованных семян существенно отличаются от сорта Мускатная и ближе к размерным характеристикам сорта Кормовая. Определены объемная масса и масса 1000 семян тыквы сорта Лагмони (табл. 1), которые отличаются от соответствующих показателей для двух других сортов, прежде всего от семян тыквы сорта Кормовая, что, очевидно, зависит от их сортовых особенностей.

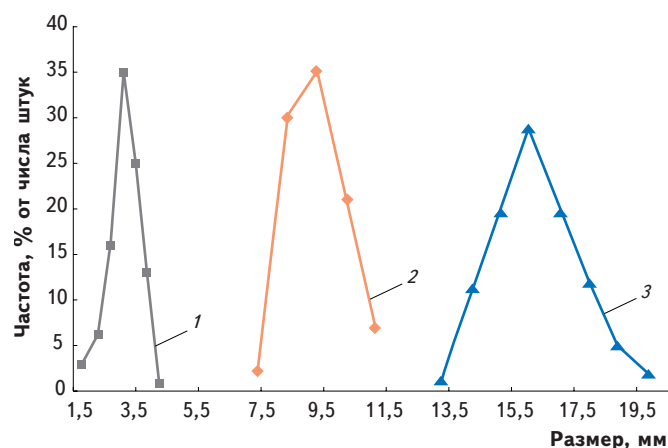


Рис. 1. Вариационные кривые распределения линейных размеров семян тыквы сорта Лагмони:
1 — по толщине; 2 — по ширине; 3 — по длине

Таблица 1. Основные физические параметры семян тыквы различных сортов

Показатель	Лагмони	Мускатная	Кормовая
Влажность, %	7,4	5,7	6,3
Объемная масса, кг/м³	385	320	560
Масса 1000 семян, г	210,3	482,3	172,7

Изучено влияние влажности на изменение угла трения покоя семян тыквы сорта Лагмони в пределах от 7,4 до 18,3%. В таблице 2 приведены экспериментальные и полученные ранее данные об изменении угла трения семян тыквы, зависящем от их влажности, по поверхностям использованных материалов. Очевидно, что степень шероховатости применяемой плоскости материала и плодовой оболочки семян обуславливают выявленные различия в численных значениях угла трения. Следует отметить, что аналогичные различия наблюдались и у семян подсолнечника [19].

Таблица 2. Значения углов трения покоя семян тыквы различных сортов

Поверхность трения	Лагмони (W = 7,4–18,3%)	Мускатная (W = 5,7–36,9%)	Кормовая (W = 6,3–40,1%)
Стекло	17,5–29,3	—	—
Оцинкованное железо	21,3–31,9	—	—
Фанера	25,8–36,5	—	—
Железо	—	26,6–47,5	26,5–51,8
Сито с отверстиями Ø 7 мм	—	29,4–54,5	28,3–54,5
Сито с отверстиями Ø 4 мм	—	28,9–51,6	27,6–52,2

Полученные экспериментальные значения коэффициента трения скольжения семян тыквы с влажностью (W) от 7,4 до 18,3% по стеклу, оцинкованному железу и фанере хорошо описываются линейным уравнением общего вида:

$$f_{\text{тр}} = A + B \times W \quad (1).$$

В таблице 3 приведены значения коэффициентов A и B для расчета уравнения (1) в зависимости от испытываемой поверхности, соответствующие следующим пунктам: семена тыквы сортов Лагмони (1–3), Мускатная (4–6) и Кормовая (7–9). Погрешность аппроксимации уравнения (1), рассчитанного с учетом приведенных в таблице 1 коэффициентов, составляет не более ±5,8% для семян сорта Лагмони, для семян Мускатная и Кормовая — не более ±6,5% [17].

Таблица 3. Коэффициенты A и B для расчета уравнения (1)

Пункт	Поверхность	Коэффициент	
		A	B
1	Стекло	0,173	0,0205
2	Оцинкованное железо	0,2077	0,0212
3	Фанера	0,2982	0,0228
4	Железо	0,423	0,01
5	Сито с отверстиями Ø 7 мм	0,531	0,01
6	Сито с отверстиями Ø 4 мм	0,527	0,01
7	Железо	0,421	0,01
8	Сито с отверстиями Ø 7 мм	0,512	0,02
9	Сито с отверстиями Ø 4 мм	0,436	0,019

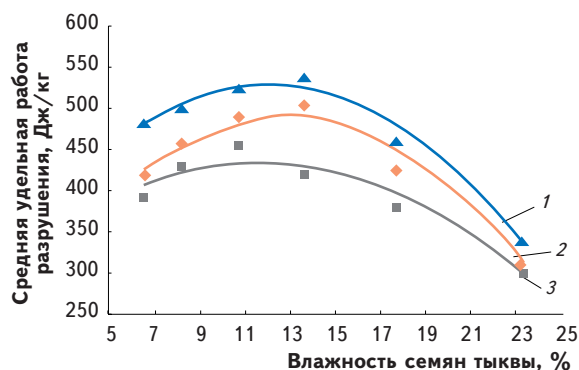


Рис. 2. Зависимость средней удельной работы разрушения семян тыквы сорта Лагмони от влажности при направлении разрушающего усилия в положении:
1 — плашмя; 2 — на ребро; 3 — вдоль длинной оси

Как видно, коэффициент трения скольжения для всех приведенных сортов семян тыквы возрастает с ростом их влажности, что отмечено и для других масличных семян [19], а также для семян дыни и арбуза [4]. При перемещении семян тыквы по поверхности фанеры коэффициент трения скольжения заметно больше, чем при движении их вниз по стеклу. Такие различия связаны, очевидно, с состоянием взаимодействующих поверхностей, а также с характером их физического взаимодействия при перемещении [18, 19].

Эффективность разрушения семян тыквы, как и других масличных семян, заключенных в плодовую оболочку, обуславливается степенью их прочности [19]. Для конструктивного и энергетического расчета оборудования, в котором разрушение объекта переработки осуществляется ударом, обычно используют зависимость средней удельной работы разрушения заводской смеси от влажности для определения результирующей скорости семян, вылетающих из каналов роторного устройства с достаточной кинетической энергией, необходимой для раскалывания их оболочки при ударе о неподвижную поверхность деки [19, 20]. Установлено, что для семян тыквы, как и для семян арбуза и дыни [20], а также для семян подсолнечника [19], наименьшая работа разрушения достигается при направлении раскалывающего удара вдоль наибольшей оси, а наибольшая работа разрушения — когда семянка расположена плашмя (рис. 2). Именно наличие волокнистых клеток плодовой оболочки [1], расположенных вдоль наибольшей оси семян, обуславливает данную особенность.

На рисунке 3 представлено влияние влажности (W) заводской смеси семян тыквы сорта Лагмони на их среднюю удельную работу разрушения, значение которой определялось исходя из результатов трех параллельных опытов, проведенных при соответствующих направлениях раскалывающего воздействия. Результаты аппроксимированы следующим уравнением с погрешностью не более 4,1%:

$$A_{уд} = 271,15 + 33,739W - 1,3794W_2 \quad (2).$$

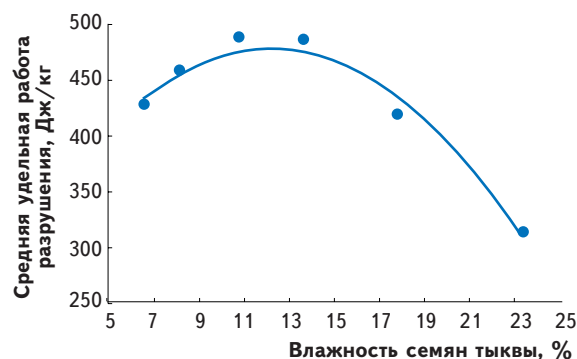


Рис. 3. Зависимость средней удельной работы разрушения заводской смеси от влажности семян тыквы сорта Лагмони

Из уравнения (2) определили, что влажность 12,2% семян тыквы соответствует значению удельной работы разрушения 477 Дж/кг, являющейся максимальной $A_{уд}$. Экстремальные значения $A_{уд}$ отмечены при соответствующей влажности для семян арбуза и дыни [20], что связано, очевидно, с влиянием распределения влаги в плодовой оболочке и ее клеточного строения на прочностные свойства [19, 20].

Анализ коэффициентов корреляции R (по Пирсону) показал, что связь между длиной, шириной, толщиной семян тыквы и их массой является слабой (R от 0,2 до 0,3) либо очень слабой (R менее 0,19). Сходный характер зависимости отмечен для семян голоосеменной тыквы [16]. Связь средней удельной работы разрушения с длиной семян очень слабая ($R = 0,031$), с шириной — слабая ($R = 0,25$), с толщиной — умеренная ($R = 0,363$). Корреляция между массой семян и направлением приложения разрушающего усилия вдоль длинной оси, плашмя и на ребро также остается слабой (R от 0,2 до 0,3).

ВЫВОДЫ

Экспериментально изучено влияние влажности на основные физические и прочностные свойства семян тыквы сорта Лагмони, а также обобщены известные данные для семян тыквы, выращенной в Таджикистане: линейные размеры, объемная масса, масса 1000 семян, угол трения, коэффициент трения скольжения. Установлены слабая и умеренная корреляционные связи между изученными параметрами, что необходимо учитывать при принятии соответствующих решений. Выявлены особенности изменения удельной работы разрушения заводской смеси семян тыквы сорта Лагмони от направления ударного разрушающего воздействия и их влажности, что следует учитывать в инженерной практике расчетов при проектировании и модернизации соответствующего оборудования для подготовительных операций. В разработке машин для разрушения семян тыквы при подготовке их к извлечению масла следует обеспечивать направление удара семечки о деку вдоль их длинной оси. ➡

Литература/Literature

1. Касьянов, Г. И. Технология переработки плодов и семян бахчевых культур / Касьянов Г. И., Деревенко В. В., Франко Е. П. // Краснодар: Экоинвест. — 2010. — 148 с.
2. High technologies of processing of gourd seeds / V. V. Derovenko, G. I. Kasyanov, M. P. Bakhmet, O. V. Kosenko, A. M. Magomedov // International scientific and practical conference «AgroSMART — Smart solutions for agriculture». — 2018. — С. 915-918.
3. Осадченко, И. М. Химический состав и биологическая ценность отходов переработки бахчевых культур / Осадченко И. М., Скачков Д. А., Серебрякова Т. Г. // Химический Масложировая промышленность. — 2005. — №3. — С.16–17.
4. Мирзоев, Г. Х. Разработка технологии получения растительного масла и высокопротеинового жмыха из семян дыни: специальность 05.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов»: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук / Мирзоев Г. Х. // Краснодар. — 2015. — 22 с.
5. Патент на полезную модель РФ № 18711, МПК C11B 1/10. Двухчервячный пресс-экструдер для отжима масла из масличного материала / В. В. Деревенко // БИПМ.10.07.2001.
6. Патент на полезную модель 78794 РФ, МПК C11B 1/10. Пневмосепаратор / Деревенко В. В., Глущенко Г. А. // БИПМ. 10.12.2008.
7. Патент № 2397027 РФ, МПК C11B 1/10. Пневмосепаратор для отделения аэроносимых частиц / Деревенко В. В., Г. А. Глущенко // БИПМ. 20.08.2010.
8. Joshi D.C., Das S.K., and Mukherjee R.K., 1993. Physical properties of pumpkin seeds. J. Agric. Eng. Res., 54(3), 219–229.
9. Paksoy M. and Aydin C., 2004. Some physical properties of edible squash seeds. J. Food Eng., 65(2), 225–231.
10. Teotia M.S. and Ramakrishna P., 1989. Densities of melon seeds, kernels and hulls. J. Food Eng., 9, 231–236.
11. Pollack S., 1996. Squash and Pumpkins: An Economic Assessment of the Feasibility of Providing Multiple-Peril Crop Insurance. www.rma.usda.gov/pilots/feasible/PDF.
12. Mansour E. H., Dworschak E., Lugasi A., Barna E., and Gergely A., 1993. Nutritive value of pumpkin (Cucurbita pepo, Kakai 35) seed products. J. Sci. Food Agric., 61, 73–76.
13. Milani, Elnaz & Razavi, Seyed & Koocheki, Alireza & Nikzadeh, V. & Vahedi, N. & Moeenfarid, Marzieh & Gholamhosseinpour, A.. (2007). Moisture dependent physical properties of cucurbit seeds. International Agrophysics. 21. — 157–168.
14. Деревенко, В. В. Основные физико-механические свойства семян дыни, выращенной в Таджикистане [Текст] / В. В. Деревенко, Г. Х. Мирзоев, А. А. Лобанов, Е. А. Калиенко // Известия вузов. Пищевая технология. — 2013. — №1. — С. 120–121.
15. Деревенко, В. В. Физико-механические характеристики семян дыни сорта «Амири» [Текст] / В. В. Деревенко, Г. Х. Мирзоев, Е. А. Калиенко // Известия вузов. Пищевая технология. — 2013. — №5–6. — С. 112–113.
16. Деревенко, В. В. Физико-механические и аэродинамические характеристики семян тыквы / Деревенко В. В., Коробченко А. С., Аленкина И. Н // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2010. — №1.
17. Деревенко, В. В. Основные физико-механические свойства семян тыквы, выращенной в Таджикистане [Текст] / В. В. Деревенко, Г. Х. Мирзоев, А. А. Лобанов, О. В. Дикова, А. Д. Климова // Известия вузов. Пищевая технология. — 2012. — №4. — С. 120–121.
18. Арет, В. А. Реология и физико-механические свойства пищевых продуктов [Текст]: учебное пособие / В. А. Арет, С. Д. Руднев // СПб.: ИЦ Интермедия. — 2014. — 246 с.
19. Подготовительные процессы переработки масличных семян [Текст] / Белобородов В. В., Мацук Ю. П., Киреевский Б. Н., Кузнецов А. Т. // М.: Пищевая промышленность. — 1974. — 356 с.
20. Деревенко, В. В. Прочность плодовой оболочки семян арбуза и дыни / Деревенко В. В., Мирзоев Г. Х., Калиенко Е. А. // Масложировая промышленность. — 2013. — №4. — С. 20–22. ■

