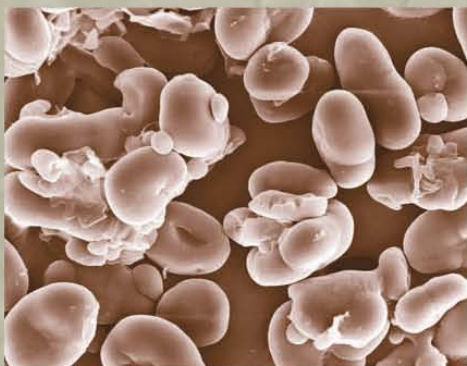
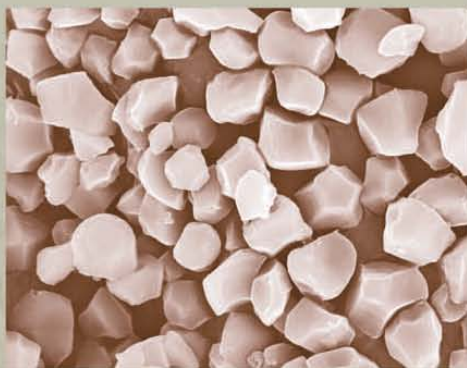
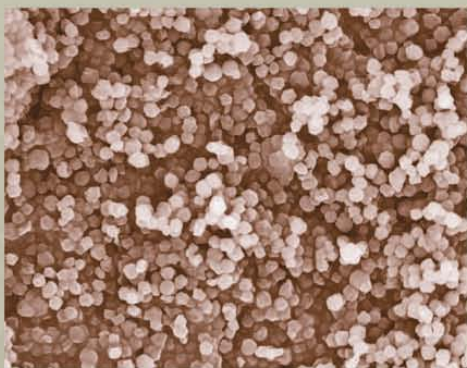




# АТЛАС

## МОРФОЛОГИЯ КРАХМАЛА И КРАХМАЛОПРОДУКТОВ



УДК 664.2:633-152(084.42)

**Атлас. Морфология крахмала и крахмалопродуктов / В. В. Литвяк [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 217 с.  
ISBN 978-985-08-1521-7.**

В атласе приведены данные о морфологической характеристике нативных крахмалов: картофельного (полученного из 20 сортов, из которых 10: «Атлант», «Лазурит», «Ласунак», «Лілея», «Маг», «Скарб», «Сузор'е», «Явар», «Уладар», «Веснянка» – белорусской; 4: «Лазарь», «Диво», «Вестник», «Эффект» – российской; 2: «Дзвін», «Лелека» – украинской; 4: «Albatros», «Kormoran», «Kranich», «Sonata» – немецкой селекции, и из 9 гибридов), кукурузного, тапиокового, ржаного, пшеничного, тритикалевого, рисового, горохового, амарантового, ячменного, соргового, овсяного, а также модифицированных крахмалов (экструзионных, предварительно клестеризованных, саго крахмального кукурузного, катионных и карбоксикрахмалов, мальтодекстрина), крахмалосодержащих реагентов для бурения («Фито РК» и «Амилор») и крахмалосодержащих биоконпозитов (ржаной обдирной и сеяной муки, пшеничной, пшенной, чумизной, овсяной, гречневой, фасоловой, бобовой, чечевичной, банановой муки, полуфабрикатов картофелепродуктов «Хворост» и «Оригинальный», сухого картофельного пюре в виде хлопьев), крахмальной (картофельной и кукурузной) мезги, камедей (ксантановой и гуаровой), целлюлозы (коллоидной, хлопковой), вискозы (волокну), выделенных из картофельного сока белоксодержащих препаратов с примесью крахмала.

Данная книга может представлять интерес для студентов, аспирантов и специалистов в области химии высокомолекулярных соединений, биохимии, биологии, преподавателей химии и биологии профессионально-технических училищ, гимназий, колледжей, средних общеобразовательных школ, а также широкого круга читателей, интересующихся технологией и химией крахмала.

Табл. 5. Ил. 202.

**А в т о р ы:**

В. В. Литвяк, Н. К. Юркштович, С. М. Бутрим, В. В. Москва

**Р е ц е н з е н т ы:**

академик НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор Ф. Н. Капуцкий,  
член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор А. В. Бильдюкевич

**ISBN 978-985-08-1521-7**

© Оформление. РУП «Издательский дом  
«Беларуская навука», 2013

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Крахмал и крахмалопродукты играют важную роль в народном хозяйстве. Они широко используются во многих отраслях пищевой промышленности: кондитерской, хлебопекарной, консервной, пищевых концентратной, молочной, мясной, а также в текстильной, бумажной, кожевенной, полиграфической, фармацевтической промышленности, в металлургии, в быту. Кроме того, крахмал и его производные применяют в химической промышленности при производстве этанола, сорбита, молочной кислоты, глицерина, ацетона, бутанола, лаков, различных пленок и т. д.

Значительное влияние на разработку научно-технологических основ создания крахмалосодержащих модифицированных продуктов оказали работы Р. В. Керра, М. Рихтера, А. И. Жушмана, Н. Н. Трегубова, Н. Р. Андреева, Н. Д. Лукина, Н. Г. Гулкжа, В. Г. Карпова, Т. А. Ладур, В. Г. Костенко и др.

Ассортимент продукции крахмало-паточного производства разнообразен и составляет несколько сот наименований. В качестве основного сырья при получении крахмала и крахмалопродуктов используют картофель, кукурузу, пшеницу, рожь, ячмень, рис, гречиху, тапиоку и др. Кроме нативного крахмала, вырабатываются патоки различного углеводного состава (низкоосахаренная, карамельная, высокоосахаренная, мальтозная, декстрин-мальтозная), мальтоза, мальтин, кристаллическая глюкоза, а также глюкозные, глюкозо-фруктозные и фруктозные сиропы. В мире выпускается широкая гамма модифицированных крахмалов и декстринов.

Мировое производство крахмала и крахмалопродуктов за последнее десятилетие увеличилось в два раза и в настоящее время составляет около 60 млн т, причем на долю США приходится 36 млн т, стран Евросоюза – 9 млн т. Основной объем всех видов продукции вырабатывается из кукурузы, на долю которой приходится 45 млн т, следом идет тапиока и пшеница (соответственно 5 и 4 млн т), картофель (около 2,5 млн т). Основными производителями крахмала и продуктов его переработки являются США, Канада, Япония, Таиланд, Германия, Франция, Дания и Голландия.

В Республике Беларусь основным сырьем при производстве крахмала и крахмалопродуктов является, прежде всего, картофель, и успешное развитие крахмало-паточной отрасли напрямую зависит от урожая и крахмалистости культуры. В настоящее время в Беларуси переработкой картофеля на крахмал занимаются 14 предприятий, и одно находится в стадии строитель-

ства. Производственные мощности картофелекрахмальных предприятий позволяют произвести около 25 тыс т крахмала в год. Большинство предприятий перерабатывают картофель на крахмал. Кукурузный крахмал выпускают на ОАО «Гольшанский крахмальный завод» (мощность – 100 т в месяц) и РУПП «Экзон Глюкоза» (мощность – 24 т в сутки). Производимые в Республике Беларусь крахмал и крахмалопродукты поставляются на внутренний и внешний рынки. На внешнем рынке потребителями белорусского крахмала и крахмалопродуктов являются преимущественно страны СНГ: Россия, Украина, Казахстан, Молдова, Азербайджан.

Как отмечалось на I съезде ученых Республики Беларусь, для устойчивого развития отечественной промышленности, в том числе и крахмало-паточной, «стратегическим приоритетным направлением должна стать интенсификация производства на основе внедрения достижений научно-технического прогресса, инновационной деятельности».

При разработке современных технологий нативных и модифицированных крахмалов важным аспектом является изучение морфологической структуры, так как размер, форма, характер поверхности гранул и распределение гранул по размерам могут в значительной степени определять качество (потребительские свойства) крахмала и влиять на протекание его физической и химической модификации. Такая важная характеристика крахмала, как температура клейстеризации также зависит от размеров крахмальных гранул. Так, известно, что чем больше размер крахмальных гранул, тем ниже температура их клейстеризации.

В представленном атласе имеются сведения о морфологической характеристике нативных крахмалов: картофельного, кукурузного, тапиокового, ржаного, пшеничного, тритикалевого, рисового, горохового, амарантового, ячменного, соргового, а также модифицированных крахмалов (экструзионных, предварительно клейстеризованных, саго крахмального кукурузного, катионных и карбоксикрахмалов, мальтодекстрина), крахмалосодержащих реагентов для бурения: «Фито РК» и «Амилор», и крахмал содержащих биокomпозитов (ржаной обдирной и сеяной муки, пшеничной, пшонной, овсяной, гречневой, фасолевой, бобовой, банановой муки, полуфабрикатов картофелепродуктов «Хворост» и «Оригинальный», сухого картофельного пюре в виде хлопьев), крахмальной (картофельной и кукурузной) мезги, белоксодержащих препаратов, выделенных из картофельного сока.

Следует отметить, что научный материал получен при помощи сканирующей электронной микроскопии и статистически обработан. Предлагаемый материал достаточно логично структурирован. Материал атласа изложен грамотно и корректно, с учетом рекомендаций ИЮПАК в области химической терминологии и номенклатуры.

*Директор ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси», академик НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор Н. П. Крутько*

## ВВЕДЕНИЕ

Измеряй измеримое и делай неизмеримое  
измеримым.

*Галилео Галилей*

Вследствие особенностей химического строения крахмал играет решающую роль в формировании структуры и потребительских свойств многих продуктов. Только пищевое применение крахмала охватывает свыше 7000 различных продуктов. Общеизвестно широкое использование крахмала в целлюлозно-бумажной и фармацевтической промышленности, а также в металлургии. Экологическим прорывом является разработка и освоение производства биоразлагаемых упаковочных материалов и одноразовой посуды на основе смесей нативного крахмала с синтетическими полимерами. Традиционные крахмалопродукты, используемые в кондитерской, хлебопекарной, мясной отраслях по-прежнему важны. Вместе с тем стремительно растет доля инновационных пищевых продуктов с использованием физически и химически модифицированных крахмалов. В настоящее время высокий темп инноваций в сфере производства крахмалопродуктов основан, прежде всего, на различных технологиях модификации нативного крахмала, т. е. целенаправленного физико-химического воздействия, позволяющего придавать крахмалу новые ценные свойства, что крайне важно для его использования в пищевой и других отраслях промышленности.

При разработке современных технологий нативных и модифицированных крахмалов важным аспектом является изучение морфологической структуры, так как размер, форма, характер поверхности гранул и распределение гранул по размерам могут в значительной степени определять качество (потребительские свойства) крахмала и влиять на протекание его физической и химической модификации. Такая важная характеристика крахмала как температура клейстеризации также зависит от размеров крахмальных гранул. Известно, что чем больше размер крахмальных гранул, тем ниже температура их клейстеризации.

В настоящее время морфологические характеристики исследуют с использованием современных высокоэффективных методов сканирующей электронной и световой микроскопии.

Цель работы – исследование морфологической структуры крахмалов и крахмалопродуктов.

Авторский коллектив (*В. В. Литвяк, Н. К. Юрkitович, С. М. Бутрим, В. В. Москва*) выражает глубокую признательность:

**Ф. Н. Капуцкому** – заведующему лабораторией физической химии и модификации целлюлозы УБГУ «Научно-исследовательский институт физико-

химических проблем», академику НАН Беларуси, доктору химических наук, профессору;

**А. В. Бильдюкевичу** – директору ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси», член-корреспонденту НАН Беларуси, доктору химических наук, профессору;

**Н. П. Крутько** – директору ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси», академику НАН Беларуси, доктору химических наук, профессору за помощь в подготовке данного атласа к печати.

В соответствии с высказанными замечаниями и пожеланиями первоначальный вариант атласа был переработан и дополнен. Так, были дополнительно внесены разделы:

«Морфологическая структура целлюлозы и вискозы»;

«Морфологическая структура камедей (ксантановой и гуаровой)».

Существенно переработан и дополнен раздел «Объекты и методы исследования». В раздел «Морфологическая структура нативного картофельного крахмала, полученного из различных сортов картофеля» дополнительно добавлены сканирующие электронные микрофотографии зерен картофельного крахмала сортов «Диво», «Вестник» и «Эффект».

Авторский коллектив также благодарит сотрудников РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А. Г. Лорха» и ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов» за предоставленные для исследования образцы крахмала.



**Объекты исследования.** Объектами исследований являлись нативные крахмалы: кукурузный, картофельный (выработанный из 20 сортов и 9 гибридов картофеля (табл. 1), из которых 10: «Атлант», «Лазурит», «Ласунак», «Лілея», «Маг», «Скарб», «Сузор'е», «Явар», «Уладар», «Веснянка» – белорусской; 4: «Лазарь», «Диво», «Вестник», «Эффект» – российской; 2: «Дзвін», «Лелека» – украинской; 4: «Albatros», «Kormoran», «Kranich», «Sonata» – немецкой селекции), тапиоковый, пшеничный, рисовый, ржаной, гороховый, амарантовый, ячменный, сорговый, тритикалевый и крахмалопродукты, выработанные из кукурузного, картофельного и тапиокового крахмала, а также кукурузная мезга, физически модифицированные крахмалы: экструзионный, набухающий или предварительно клейстеризованный, а также саго крахмальное кукурузное и химически модифицированные крахмалы: катионный и карбоксикрахмал.

Объектами исследования кроме того служили сухой картофель и сухое картофельное пюре. Сравнительному анализу подвергнуты:

– обогащенное пюре марки «Роллтон», изготовленное на ЗАО «ДИ ЭЧ ВИ – С» (Россия), а также пюре, обогащенное тапиамбуром, морковью и молочной сывороткой, полученное на ЗАО «Погарская картофельная фабрика» (Россия);

– экспериментальные образцы пюре, изготовленные путем двукратной (паровая очистка → варка) и трехкратной (паровая очистка → бланшировка → охлаждение → варка) гидротермообработок, включающих варку картофеля, полученные на ОАО «Машпищепрод» (Беларусь) и ЗАО «Погарская фабрика картофелепродуктов» (Россия).

Кроме этого объектами являлись полуфабрикаты картофельные «Хворост» и «Оригинальный», а также ржаная обдирная и сеяная хлебопекарная мука и мука ржаная обдирная экструзионная, пшеничная, пшонная, чумизная, овсяная, гречневая, фасолевая, бобовая, чечевичная, банановая мука.

Также проведено исследование морфологической структуры двух белоксодержащих препаратов, выделенных из картофельного сока белорусскими учеными ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси» и ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси»:

1) «Туберит» (картофельный белок – ингибитор протеаз, молекулярная масса (М. м.) > 1000 Да);

2) «Тубелак» (сумма свободных аминокислот, макро- и микроэлементов, витаминов, углеводов и прочих низкомолекулярных веществ – биостимулятор роста растений, М.м. < 1000 Да).

Таблица 1. Характеристика растительного сырья

Крахмалосодержащее сырье различного ботанического происхождения			
Наименование культурных растений			
на русском языке		на латинском языке	
Рожь		<i>Secale cereale</i> L.	
Пшеница		<i>Triticum</i>	
Тритикале (гибрид: рожь × пшеница)		<i>Tritikale</i>	
Ячмень		<i>Hordeum vulgare</i> L.	
Овес посевной		<i>Avena sativa</i> L.	
Кукуруза		<i>Zea mays</i> L.	
Рис		<i>Oryza sativa</i> L.	
Пшено (просо обыкновенное или культурное)		<i>Panicum miliaceum</i> L.	
Чумиза или итальянское просо		<i>Setaria italica maxima</i> L.	
Сорго двухцветное		<i>Sorghum bicolori</i> L.	
Гречиха съедобная		<i>Fagopyrum esculentum</i> L. или <i>F. sadittatum</i> L.	
Картофель		<i>Solanum tuberosum</i> L.	
Маниока		<i>Manihot utilissima</i> L. и <i>Manihot palmate</i> L.	
Горох посевной		<i>Pisum sativum</i> L.	
Нут культурный		<i>Cicer arietinum</i> L.	
Фасоль обыкновенная		<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	
Боб обыкновенный или русский		<i>Vicia faba</i> L. или <i>Faba vulgaris</i> L.	
Чечевица пищевая или культурная		<i>Lens culinaris</i> L.	
Щирица или амарант		<i>Amaranthus caudatus</i> L.	
Банан райский		<i>Musa paradisiaca</i> L.	
Сорта картофеля			
Сорт	Группа спелости	Среднее содержание крахмала, %	Оригинатор
<i>Лазурит</i> (77559-65 × 2х.76.9 N)	ранний	14,7	РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству» (Беларусь)
<i>Ліляя</i> (891457-79 × 1501-9 N)	ранний	14,1	
<i>Уладар</i> (Коля × Живица)	ранний	14,7	
<i>Явар</i> (Гранола × Селена)	среднеранний	11,4	
<i>Ласунак</i> (Комсомолец 20 × 71019-7)	среднепоздний	18,5	
<i>Маг</i> (Спеси × 3925-15)	среднепоздний	19,0	
<i>Скарб</i> (315-17 × 1.7828)	среднепелый	14,5	
<i>Атлант</i> (018-80 × 4952-20)	поздний	18,5	
<i>Сузор'е</i> ({ <i>Ronda</i> × <i>Ясень</i> } × <i>Спадчына</i> )	поздний	19,1	
<i>Веснянка</i> (Лавина × 5384-7)	поздний	18,3	
<i>Albatros</i>	среднепелый	17,2	Фирма «NORIKA» (Германия)
<i>Kranich</i>	среднепелый	16,7	
<i>Kormoran</i>	среднепелый-среднепоздний	23,0	
<i>Sonata</i>	среднепелый-среднепоздний	16,9	Сибирский НИИСХ (Россия)
<i>Лазарь</i>	среднепелый	20,4	



Сорт	Группа спелости	Среднее содержание крахмала, %	Оригинатор
<i>Диво</i> (Весна × Сотка)	среднеспелый	16,8	ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А. Г. Лорха» (Россия)
<i>Вестник</i> (147-5 × Сотка)	среднеспелый	14,6	
<i>Эффект</i> (Раменский × 128-6)	среднеранний	18	
<i>Дзвін</i> (Омега × Зарево)	среднеранний	18,0	Институт сельского хозяйства Полесья (Украина)
<i>Лелека</i> (7953461 × Білоруська 3)	среднепоздний	18,5	Институт картофелеводства Украинской академии аграрных наук (Украина)
<b>Гибриды картофеля</b>			
Гибрид	Группа спелости	Среднее содержание крахмала, %	Оригинатор
Гибрид 1513-4 (Сатурна × Конкорд)	среднеранний-среднеспелый	14,8	ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А. Г. Лорха» (Россия)
Гибрид 1598-14 (Лина × 1275-5)	среднеспелый	13,8	
Гибрид 1600-4 (128-6 × Сибириянин)	среднеспелый	18,6	
Гибрид 1600-7 (128-6 × Сибириянин)	среднеспелый	17,5	
Гибрид 1600-12 (128-6 × Сибириянин)	среднеспелый	19,0	
Гибрид 1603-15 (Ароза × Наяда)	среднеранний-среднеспелый	18,4	
Гибрид 1607-3 (96.5-7 × Гусяр)	среднеранний	18,0	
Гибрид 1608-5 (2323-26 × Наяда)	среднеспелый	17,4	
Гибрид 1608-10 (2323-26 × Наяда)	среднеспелый	16,8	

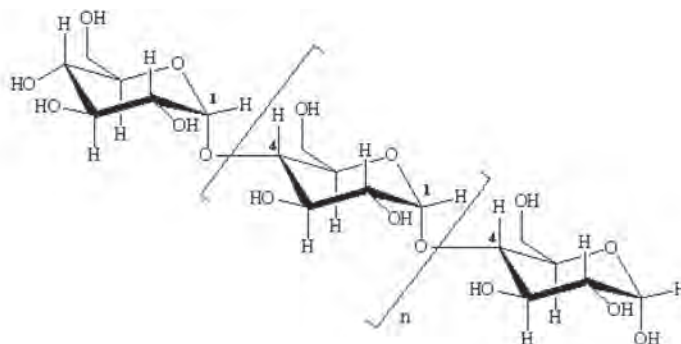
Изучена морфология камедей (ксантановой и гуаровой), а также целлюлозы (коллоидной, хлопковой) и вискозы (волокно).

**Нативный крахмал** – природный полимер  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , в котором мономеры (остатки  $\alpha$ -D-глюкопиранозы) связаны  $\alpha$ -(1→4)- и  $\alpha$ -(1→6)-глюкозидными связями, образуя амилозу (полисахарид линейного строения) и амилопектин (полисахарид разветвленного строения (табл. 2)). В зависимости от вида растения молекулярная масса амилозы колеблется от 150 тыс. Да (кукурузный, рисовый крахмал) до 500 тыс. Да (картофельный крахмал). Молекулярная масса амилопектина может достигать  $10^6$ – $10^9$  Да. Крахмал, являясь главным резервным полисахаридом растений, накапливается в виде зерен в клетках семян, клубней, луковиц, а также в листьях и стеблях. Крахмал – белое аморфное вещество, не растворяется в холодной воде, хлороформе, этаноле, диэтиловом эфире, в горячей воде образует коллоидный раствор (клейстер). В зернах крахмала содержатся 98–99,5% полисахаридов и 0,5–2% неуглеводных компонентов (липиды, белки, минеральные вещества). Соотношение амилозы и амилопектина в крахмале зависит от вида растения и стадии его развития. В среднем

крахмал содержит 15–25% амилозы и 75–85% амилопектина. В результате селекции выведены сорта растений, крахмал которых обогащен одним из полисахаридов (амилопектиновый и высокоамилозный крахмал).

Таблица 2. Свойства амилозы и амилопектина

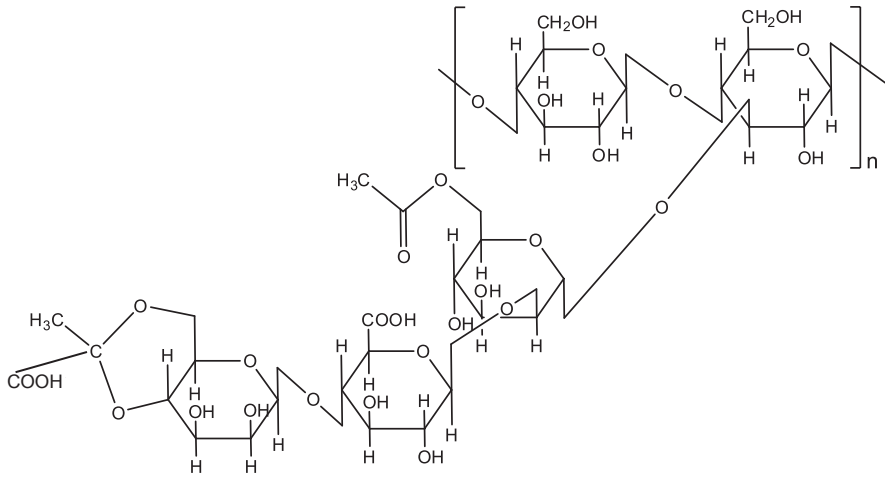
Свойства или признак	Крахмальные фракции	
	Амилоза	Амилопектин
Растворимость при обработке зерен крахмала водой ниже 100 °С	Растворима	Не растворима
Стабильность раствора при хранении	Легко ретроградирует	Остается стабильным
Окраска йодного комплекса	Синяя	Фиолетовая
Способность связывать йод, %	18–20	0–1,3
Число нередуцирующих концевых групп на молекулу	1	Несколько сот
Растворимость при обработке крахмала 30% натрий-салициловой кислотой	Растворима	Не растворима
Отношение раствора к высшим спиртам	Выпадает в осадок в виде комплексного соединения	Остается в растворе
Отношение к целлюлозе	Адсорбируется	Не адсорбируется
Отношение к $Al_2O_3$	Не адсорбируется	Адсорбируется
Действие $\beta$ -амилазы	Расщепляется полностью	Расщепляется примерно на 50%
Пленкообразующая способность фракций и их производных	Эластичные пленки	Хрупкие пленки



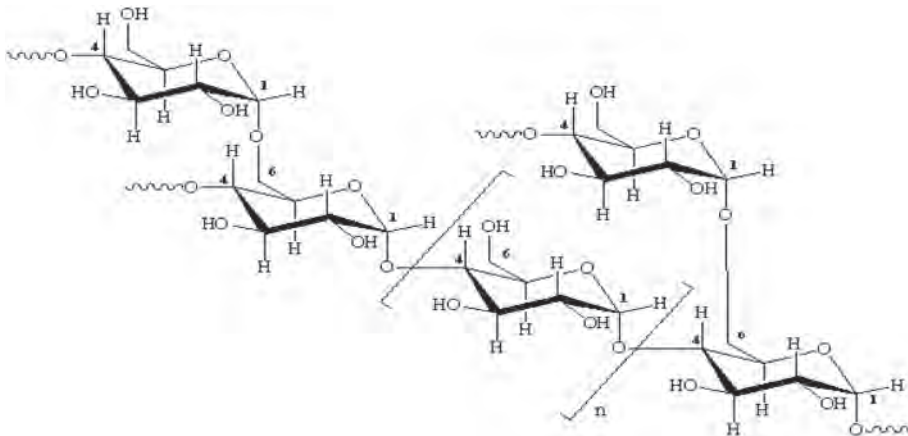
Амилоза (мономер –  $\alpha$ -D-глюкопираноза в конформации «кресло»)

Крахмальные фракции (амилоза и амилопектин) компактно упакованы в крахмальные зерна (гранулы).

**Ксантановая камедь (ксантан)** – природное химическое соединение ( $C_{35}H_{49}O_{29}$ )<sub>n</sub>, пищевая добавка E415, относится к группе стабилизаторов. По химической природе ксантановая камедь представляет собой полисахарид, полученный путем ферментации с использованием бактерии *Xanthomonas campestris*:



*Ксантановая камедь (ксантан)*

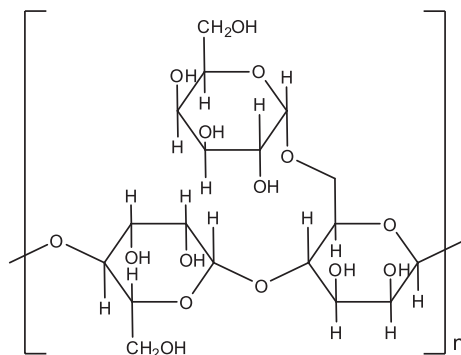


*Амилопектин (мономер –  $\alpha$ -D-глюкопираноза в конформации «кресло»)*

В жизненном цикле бактерий служит им защитой от вирусов и пересыхания, поэтому может использоваться в косметических средствах для увлажнения кожи. Производство ксантана основано на аэробном брожении в водном растворе углеводов, источника азота и др., после чего среду пастеризуют и осаждают спиртом или очищают методом микрофилтрации. Свойства ксантана регулируют, изменяя условия жизни бактерий. Главная цепь полимера идентична молекуле целлюлозы. Ответвления представляют собой остатки молекул глюкозы, маннозы, глюкуроновой кислоты, а также пировинограднокислые (пируватные) и ацетильные группы. Число пируватных групп определяет вязкость водных растворов ксантана. Для пищевых целей кислотные группы нейтрализуют, переводя ксантан в калиевые, натриевые или кальциевые соли.

Гуаровая камедь (гуар) – натуральный растительный нейтральный полисахарид галактоманнан ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, пищевая добавка E412, состоит из 64–67%

*D*-маннозы и 33–36% *D*-галактозы. Неразветвленная главная цепь гуаровой камеди состоит из мономеров маннозы, связанных  $\beta$ -(1→4)-гликозидной связью, примерно каждая вторая манноза связана с одной или более галактозой  $\alpha$ -(1→6)-связью:



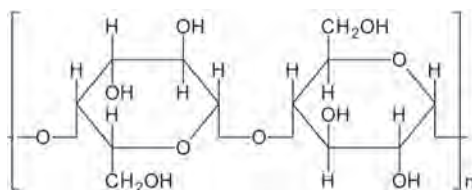
Гуаровая камедь (гуар)

Гуаровая камедь – порошок от белого до желтовато-серого цвета со слабым характерным запахом, хорошо растворимый в холодной и горячей воде, мало растворимый в органических растворителях.

Высокая степень разветвления макромолекулы гуара обеспечивает хорошую растворимость даже в холодной воде. 1%-ный раствор гуаровой камеди обладает псевдопластичными и тиксотропными свойствами, его вязкость составляет 3000–7000 сП и почти не изменяется при добавлении солей и кислот. Гуар проявляет хорошую стойкость в процессах замораживания и оттаивания.

Гуаровая камедь используется для загущения и стабилизации соусов, майонезов, кетчупов, мороженого в количестве до 1,0%; может использоваться для сохранения свежести хлебобулочных изделий в количестве 0,2–0,5%.

Целлюлоза (клетчатка, от лат. *cellula* – клетка) природный полисахарид  $(C_6H_{10}O_5)_n$  с молекулярной массой  $1 \cdot 10^5$ – $2 \cdot 10^6$  Да строго линейного строения, состоящий из остатков глюкозы, связанных  $\beta$ -(1→4)-гликозидными связями:



Целлюлоза (клетчатка)

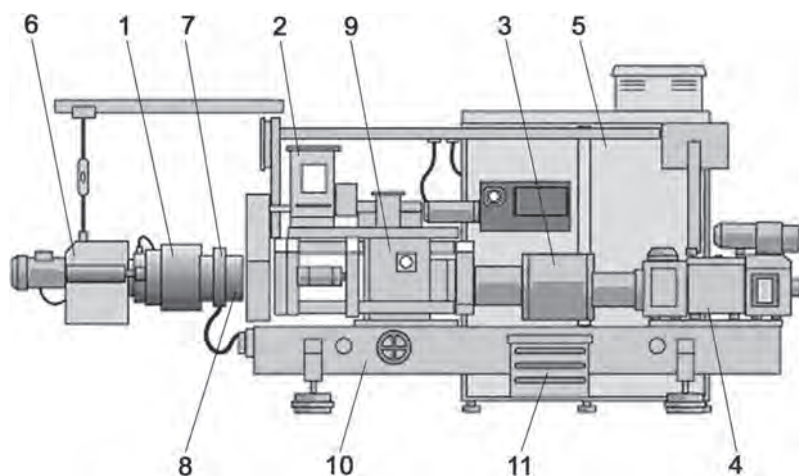
**Методы исследования.** Содержание крахмала определялось по удельному весу клубней. Статистическая обработка результатов проведена с использованием современных компьютерных средств в соответствии с общепринятыми методиками.

**Технология физической модификации крахмала.** Физическая модификация на двухшнековом пищевом экструдере РЗ-КЭД-88. Модификацию нативного картофельного и кукурузного крахмалов, смеси картофельного и кукурузного крахмалов при массовом соотношении 1:1, а также муки ржаной хле-

бопекарной проводили на двухшнековом экструдере РЗ-КЭД-88 (рис. 1) при следующих технологических параметрах: рабочая температура – 140–200 °С; частота вращения шнека дозатора – 90–92 мин<sup>-1</sup>; частота вращения рабочих шнеков – 90–94 мин<sup>-1</sup>; частота вращения режущего устройства 80–84 мин<sup>-1</sup>; диаметр используемой фильеры – 4 мм. Дополнительная подача воды в экструдер не проводилась.



*а*



*б*

Рис. 1. Технологическое оборудование для физической модификации крахмалов: *а* – общий вид двухшнекового экструдера РЗ-КЭД-88 на ОАО «Машпищепрод»; *б* – схема двухшнекового экструдера РЗ-КЭД-88: 1 – индивидуальный нагнетатель; 2 – дозатор сухих компонентов; 3 – редуктор привода шнеков; 4 – электродвигатель; 5 – шкаф управления; 6 – режущее устройство; 7 – узел экструзии; 8 – выдвижная балка; 9 – распределительная коробка; 10 – станина; 11 – бак питьевой воды

После экструзии полученный продукт подавался при помощи пневматического транспорта в накопительный бункер и далее на измельчение. Измельчение экструдата проводилось в дробилке молоткового типа КХЧ-5. Экструдат просеивался через бурат с отверстиями сита 0,67 мм, а крупные фракции поступали на повторное измельчение. Магнитная очистка проводилась постоянными магнитами, толщина слоя 6–8 мм, скорость не более 0,5 м/с. Измельченный экструдат поступал в бункер хранения и затем на взвешивание и упаковку.

*Физическая модификация на вальцово-сушилке.* Набухающий (или предварительно клейстеризованный) картофельный крахмал получали в результате контактной сушки 30–40% суспензии картофельного крахмала на одновальцевой сушилке Ш12-КПХ/1 при давлении пара в сушилке 6–7 атм. (130–140 °С) (рис. 2).

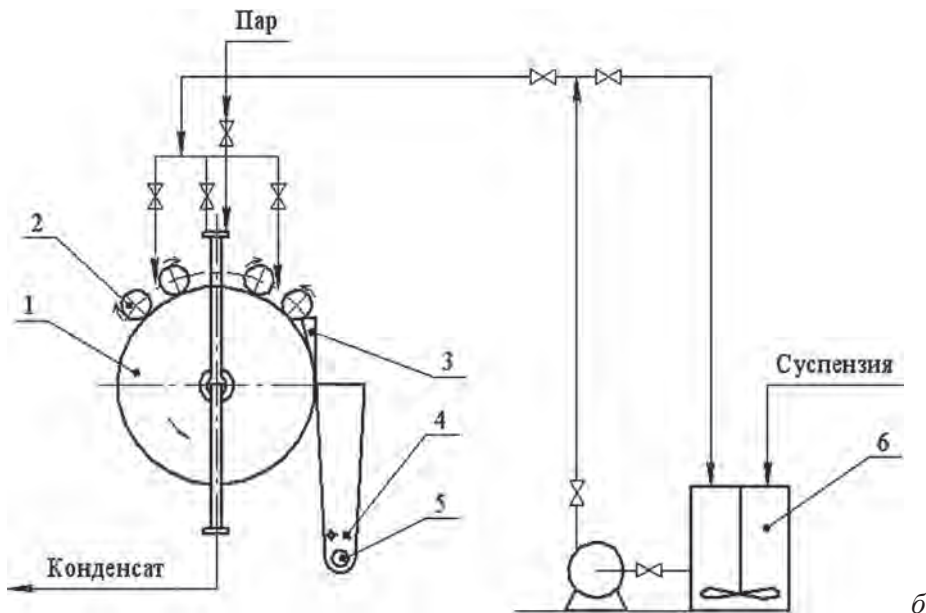
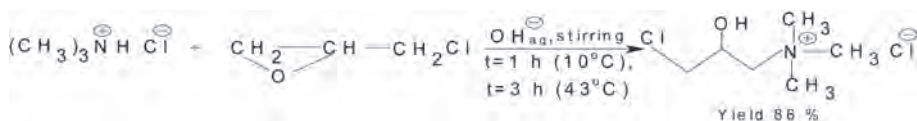


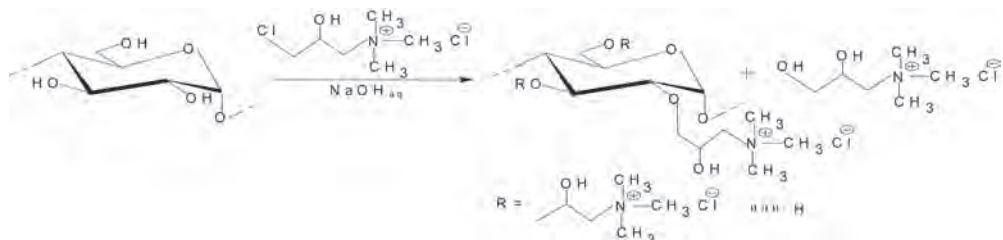
Рис. 2. Технологическое оборудование для физической модификации крахмалов: *а* – общий вид одновальцевой сушилки на ОАО «Машпищепрод»; *б* – схема одновальцевой сушилки: 1 – большой барабан, 2 – маленький барабан, 3 – нож, 4 – дробилка бильного типа, 5 – шнек, 6 – мерник



**Технология химической модификации крахмала.** Получение катионного крахмала. Катионный крахмал был получен с использованием в качестве катионизирующего реагента N-(3-хлоро-2-гидроксипропил)-N,N,N-триметил-аммоний хлорида. Катионный реагент синтезировали согласно схеме:



Катионизация картофельного и кукурузного крахмалов проводилась в щелочной среде при температурах 25, 35, 45 и 55 °С согласно общей схеме (время реакции 4–24 ч, pH 11–12):



**Получение карбоксикрахмала.** Карбоксикрахмал получали путем окисления крахмала растворами  $\text{N}_2\text{O}_4$  в тетрахлорметане различной концентрации при следующих условиях:  $t_{\text{окисл.}} = 6$  ч,  $T = 18$  °С, мольное соотношение ГПЗ<sub>кр.</sub>:  $\text{N}_2\text{O}_4 = 1 : 10$ .

**Получение окисленного крахмала.** Окисленный крахмал является пищевой добавкой E1404. Окисление картофельного и кукурузного крахмалов проводили в гетерогенных условиях водными растворами пероксида водорода в присутствии катализаторов ( $\text{FeSO}_4$ ) в температурном диапазоне 30–50 °С и различном мольном соотношении ГПЗ<sub>кр.</sub>:  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Реакция окисления осуществлялась следующим образом: навеску крахмала диспергировали в определенном объеме воды (концентрация суспензии крахмала – 38%), в которой предварительно был растворен катализатор, затем при постоянном перемешивании подогревали раствор до нужной температуры, после чего добавляли необходимое количество 36% раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$ , затем термостатировали при фиксированной температуре необходимое время, после чего окисленный крахмал отделяли от раствора на фильтре, промывали водой до нейтральной среды и сушили в сушильном шкафу при температуре 50–60 °С.

**Технология получения сухого картофельного пюре в виде хлопьев.** Сухое картофельное пюре в виде хлопьев получено в производственных условиях ОАО «Машпищепрод» (Беларусь, г. Марьина Горка).

Технология получения сухого картофельного пюре с *трехкратной гидро-термообработкой* включает следующие последовательно осуществляемые технологические операции (рис. 3): мойка, очистка (механическая, пароводотермическая, водопаровая, паровая, обугливанием поверхности клубней, щелочная,

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	5
Объекты и методы исследования .....	7
Морфологическая структура нативных крахмалов различного ботанического происхождения .....	23
Морфологическая структура нативного картофельного крахмала, полученного из различных сортов и гибридов картофеля.....	51
Морфологическая структура модифицированных картофельного, кукурузного и тапиокового крахмалов.....	98
Морфологическая структура крахмалосодержащих биокomпозитов.....	123
Морфологическая структура побочных продуктов крахмального производства: сухой крахмальной мезги (картофельной и кукурузной) и белоксодержащих препаратов из картофельного (клеточного) сока .....	176
Морфологическая структура целлюлозы и вискозы .....	185
Морфологическая структура камедей (ксантановой и гуаровой).....	190
Приложение.....	195

Научное издание

**Литвяк** Владимир Владимирович  
**Юркштович** Николай Константинович  
**Бутрим** Сергей Михайлович  
**Москва** Валентина Владимировна

**АТЛАС  
МОРФОЛОГИЯ КРАХМАЛА  
И КРАХМАЛОПРОДУКТОВ**

Редактор *Н. В. Яковенко*  
Художественный редактор *Т. Д. Царева*  
Технический редактор *О. А. Толстая*  
Компьютерная верстка *Л. И. Кудерко*

Подписано в печать 14.02.2013. Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 17,71. Уч.-изд. л. 14,3. Тираж 120 экз. Заказ 37.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».  
ЛИ № 02330/0494405 от 27.03.2009. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск.