

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
Институт общей и неорганической химии

# АТЛАС

## МОРФОЛОГИЯ КРАХМАЛА И КРАХМАЛОПРОДУКТОВ



Минск  
«Беларуская навука»  
2013

**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 клстеризованных, саго крахмального кукурузного, катионных и карбоксикрахмалов, мальтодекстрина), крахмалосодержащих реагентов для бурения («Фито РК» и «Амилор») и крахмалосодержащих биокмполитов (ржаной обдирной и сеяной муки, пшеничной, пшениной, чумизной, овсяной, гречневой, фасолевой, 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 (волокна), 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

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Крахмал и крахмалопродукты играют важную роль в народном хозяйстве. Они широко используются во многих отраслях пищевой промышленности: кондитерской, хлебопекарной, консервной, пищевконцентратной, 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 биокомпозитов (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. Юркович, 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 И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

---

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

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 × Гусляр)	среднеранний	18,0	
Гибрид 1608-5 (2323-26 × Наяда)	среднеспелый	17,4	
Гибрид 1608-10 (2323-26 × Наяда)	среднеспелый	16,8	

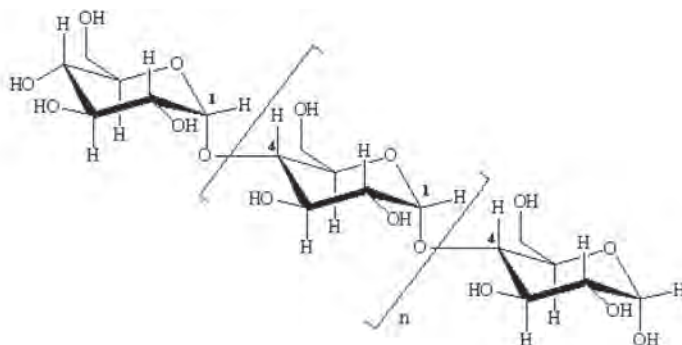
Изучена морфология камедей (ксантановой и гуаровой), а также целлюлозы (коллоидной, хлопковой) и вискозы (волокно).

**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

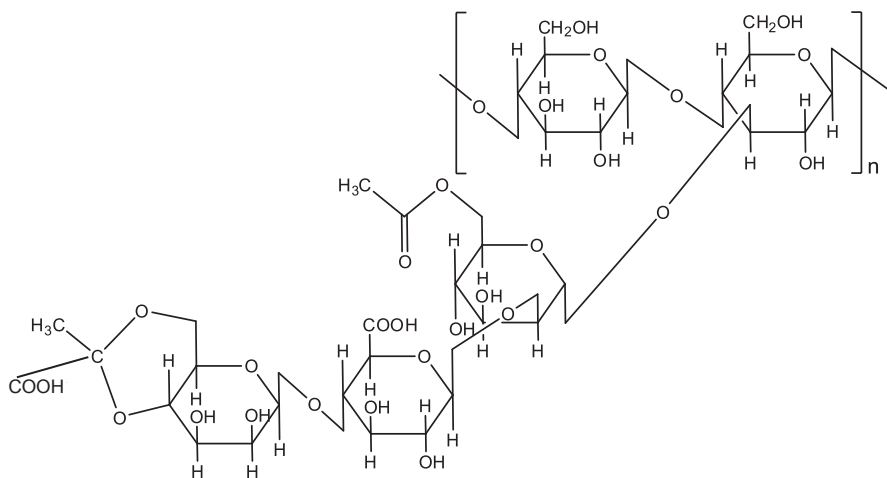
Свойства или признак	Крахмальные фракции	
	Амилоза	Амилопектин
Растворимость при обработке зерен крахмала водой ниже 100 °С	Растворима	Не растворима
Стабильность раствора при хранении	Легко ретроградирует	Остается стабильным
Окраска йодного комплекса	Синяя	Фиолетовая
Способность связывать йод, %	18–20	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



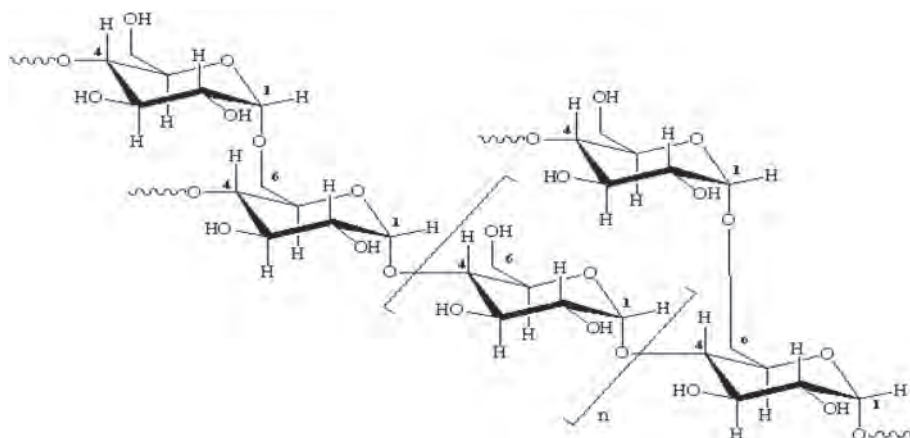
Амилоза (мономер –  $\alpha$ -D-глюкопираноза в конформации «кресло»)

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

Ксантановая камедь (ксантан) – природное химическое соединение  $(C_{35}H_{49}O_{29})_n$ , 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)*



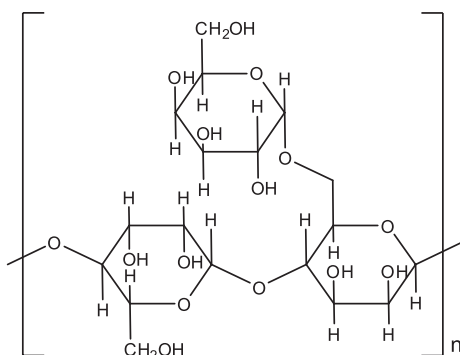
*Амилопектин (мономер –  $\alpha$ -D-глюкопираноза в конформации «кресло»)*

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:



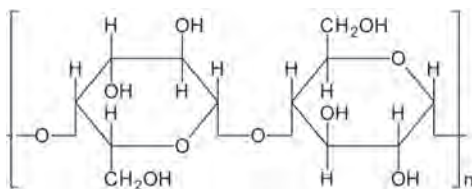
Гуаровая камедь (гуар)

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)

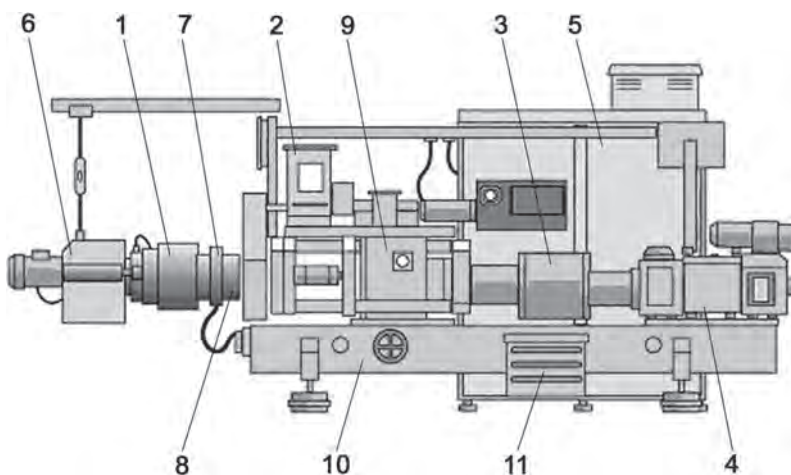
**Методы исследования.** Содержание крахмала определялось по удельному весу клубней. Статистическая обработка результатов проведена с использованием современных компьютерных средств в соответствии с общепринятыми методиками.

**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 вальцовой сушилке.* Набухающий (или предварительно клейстеризованный) картофельный крахмал получали в результате контактной сушки 30–40% суспензии картофельного крахмала на одновальцевой сушилке ШП2-КПХ/1 при давлении пара в сушилке 6–7 атм. (130–140 °С) (рис. 2).

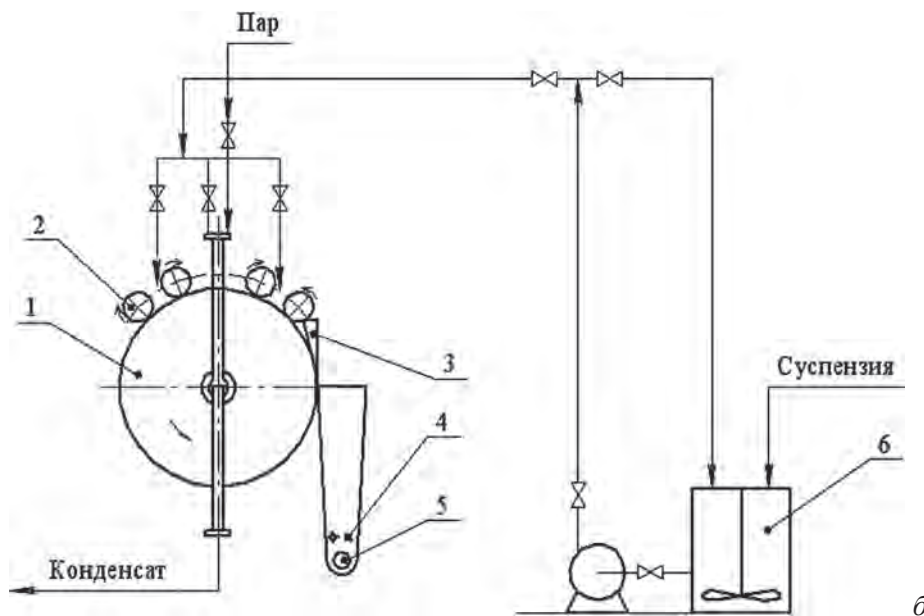
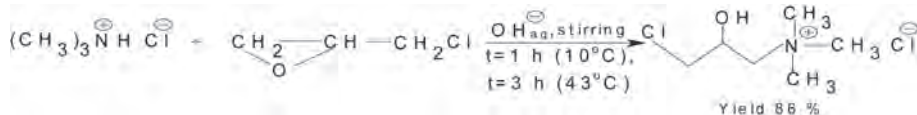
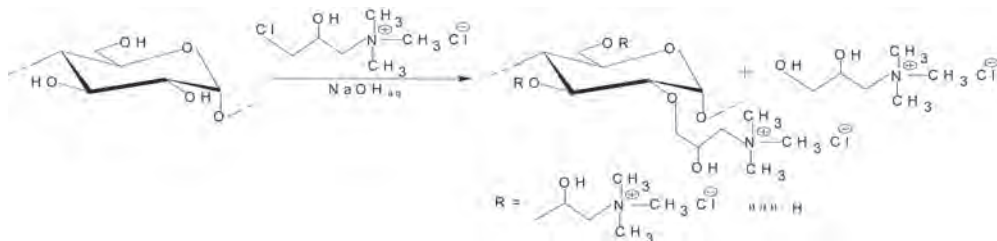


Рис. 2. Технологическое оборудование для физической модификации крахмалов: *а* – общий вид одновальцевой сушилки на ОАО «Машпицепрод»; *б* – схема одновальцевой сушилки: 1 – большой барабан, 2 – маленький барабан, 3 – нож, 4 – дробилка бильного типа, 5 – шнек, 6 – мерник

**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  $\text{ГПЗ}_{\text{кр.}} : \text{N}_2\text{O}_4 = 1 : 10$ .

**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  $\text{ГПЗ}_{\text{кр.}} : \text{H}_2\text{O}_2$ . 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,





*а*



*б*



*в*



*г*



*д*



*е*

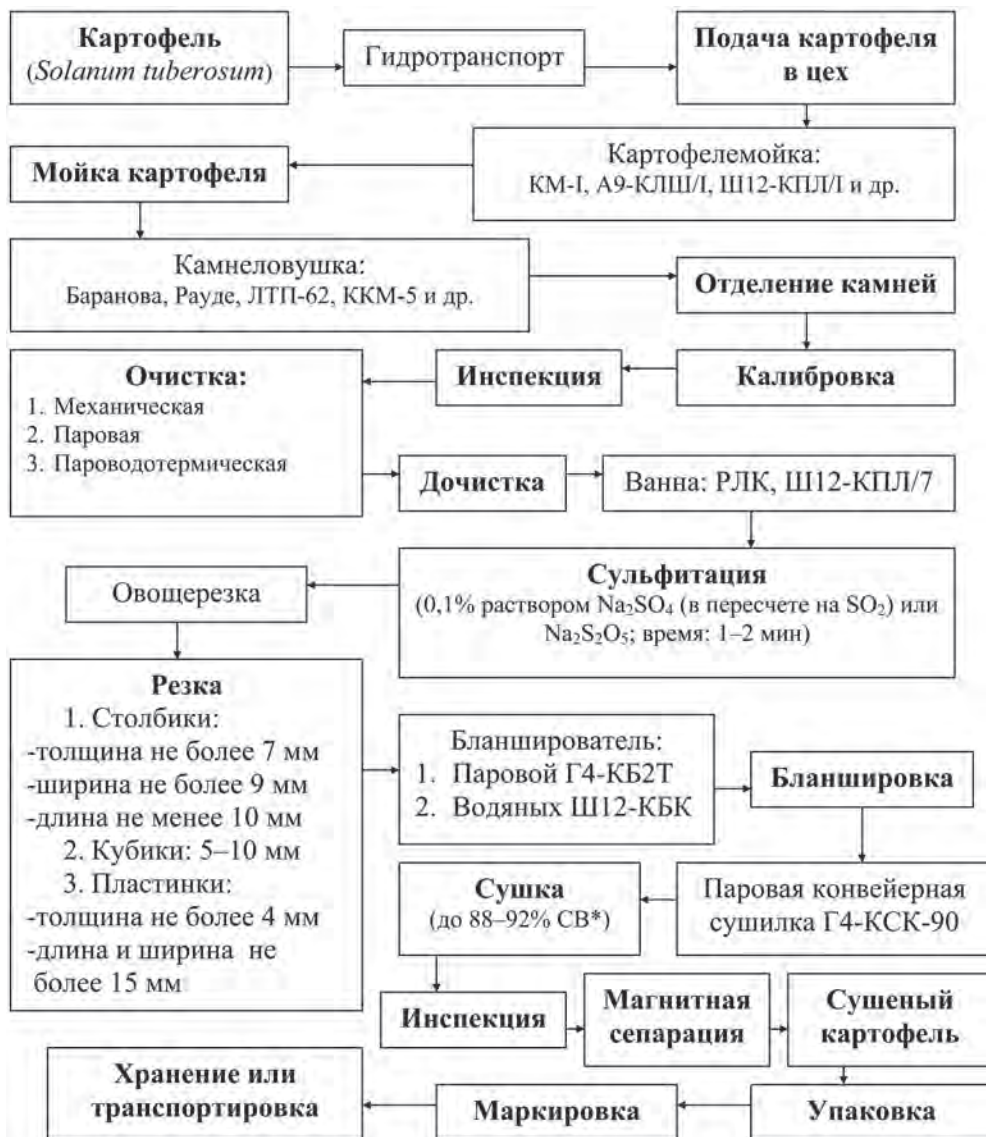


*ж*



*з*

Рис. 3. Современная технология производства сухого картофельного пюре (ОАО «Машпищепрод»): *а* – мойка; *б* – очистка; *в* – инспекция; *г* – транспортировка на конвейере и элеваторе резанного картофеля; *д* – бланшировка; *е* – охлаждение; *ж* – варка; *з* – картофелемялка и вальцовая сушилка



\* – сухие вещества



Картофель сушеный кубиками



Картофель сушеный соломкой

Рис. 4. Технологическая схема производства сушеного картофеля



Рис. 5. Технологическая схема производства полуфабриката картофелепродукта «Оригинальный»



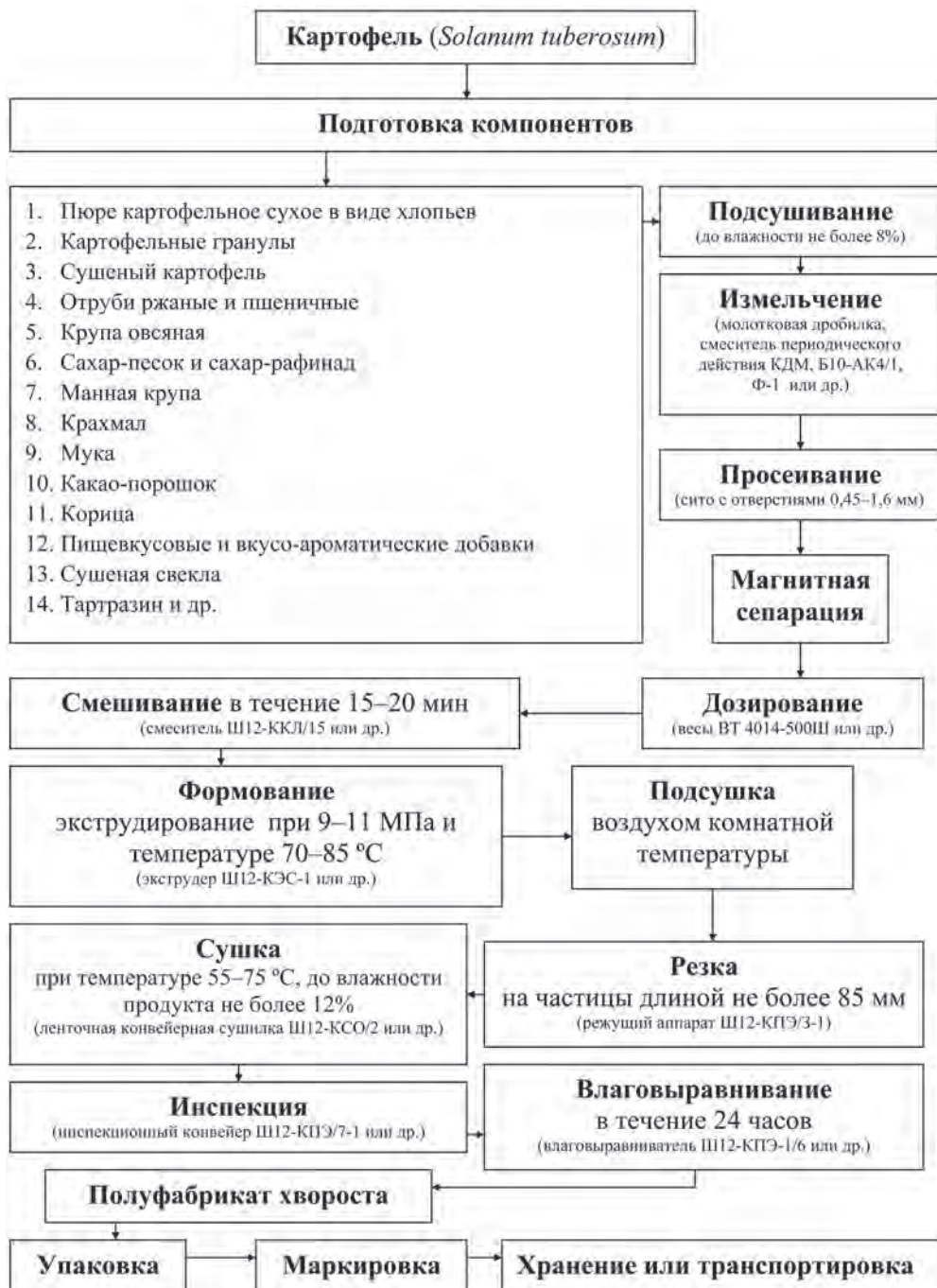


Рис. 6. Технологическая схема производства полуфабриката картофелепродукта «Хворост»



щелочно-паровая, масляная, солевая, экструзионная и т. д.), инспекция I, дочистка, резка, отделение мелочи и промывание, сульфитация, бланширование и охлаждение, инспекция II, варка, получение пюре, сушка, измельчение, магнитная сепарация и упаковка.

Технология получения сухого картофельного пюре с *двукратной гидро-термообработкой* включает следующие последовательно осуществляемые технологические операции: мойка, очистка (механическая, пароводотермическая, водопаровая, паровая, обугливанием поверхности клубней, щелочная, щелочно-паровая, масляная, солевая, экструзионная и т. д.), инспекция I, дочистка, резка, отделение мелочи и промывание, сульфитация, инспекция II, варка, получение пюре, сушка, измельчение, магнитная сепарация и упаковка.

**Технология получения сухого картофеля, полуфабрикатов картофелепродуктов «Хворост» и «Оригинальный».** Особенности технологии получения сухого картофеля, а также полуфабрикатов картофелепродуктов «Хворост» и «Оригинальный» представлены на рис. 4–6.

**Технология получения белоксодержащих препаратов.** Особенности технологии получения белоксодержащих препаратов «Туберит» и «Тубелак» представлены на рис. 7.

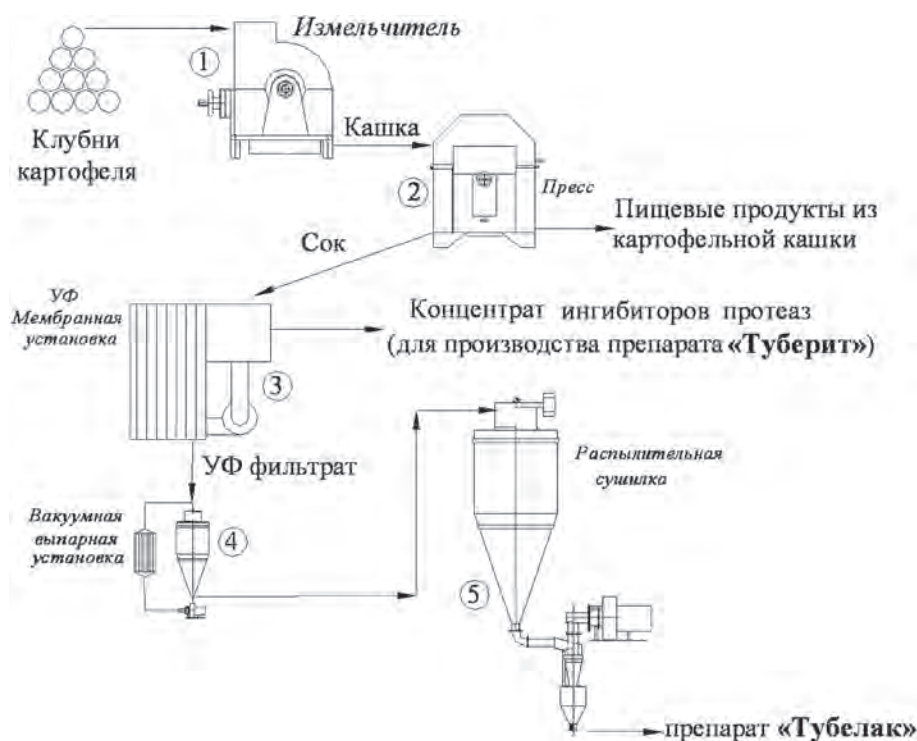


Рис. 7. Аппаратурно-технологическая схема производства биостимулятора и средства защиты растений из картофельного сока (ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси» группа модификации природных полимеров)

**Сканирующая электронная микроскопия.** Морфологическая структура полисахаридов изучена на сканирующем электронном микроскопе LEO 1420 (Germany) (рис. 8). Металлизация препаратов осуществлялась золотом в вакуумной установке EMITECH K 550X.

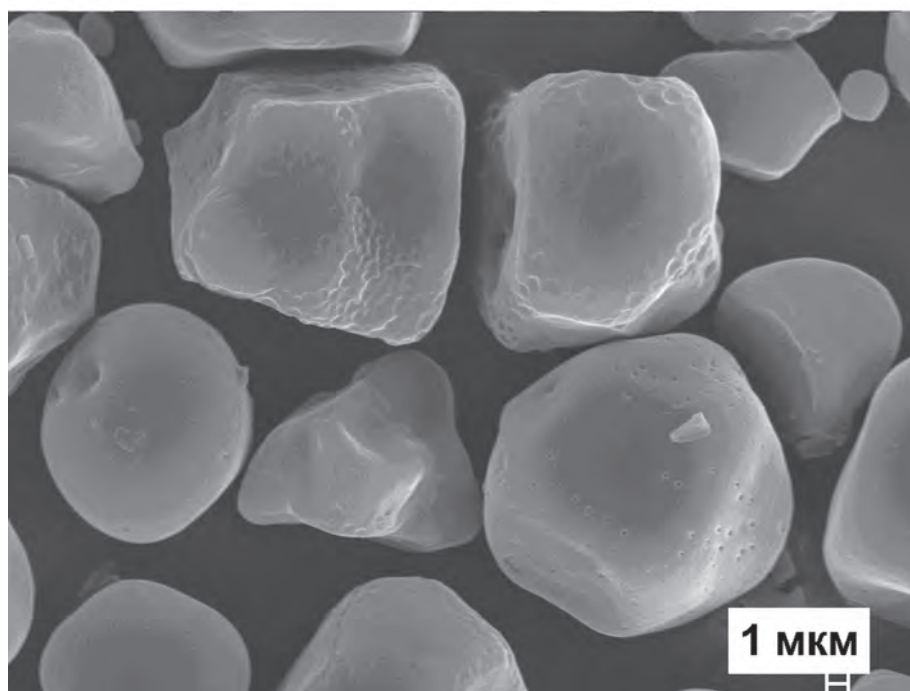
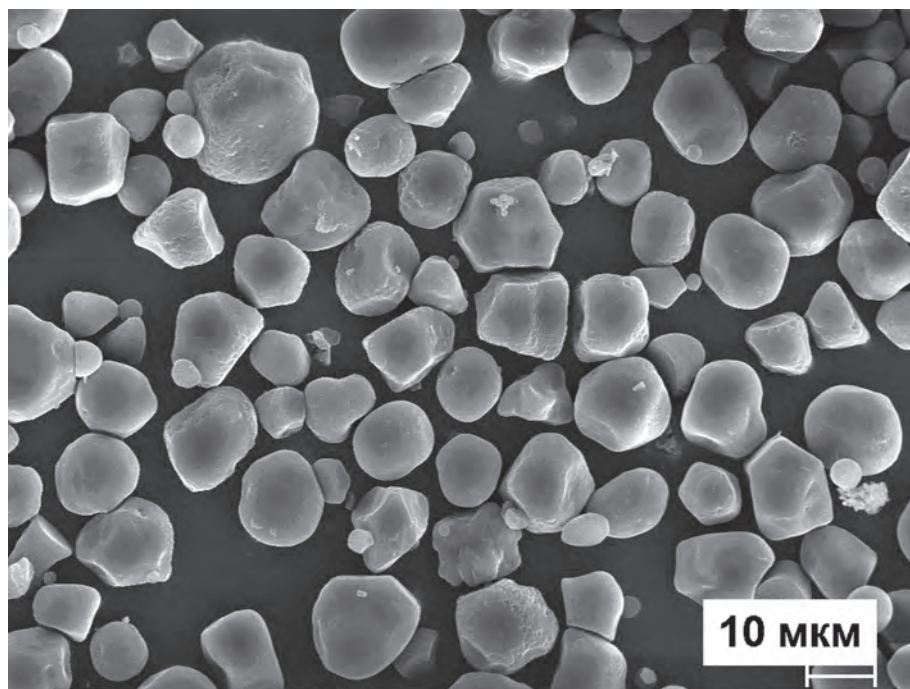
Гранулометрический анализ и статистическая обработка результатов проведены с использованием компьютерных средств по общепринятым методикам. С помощью MS Excel рассчитаны средние значения размеров крахмальных гранул и определены границы доверительного интервала, а также построены гистограммы распределения крахмальных гранул по размеру.



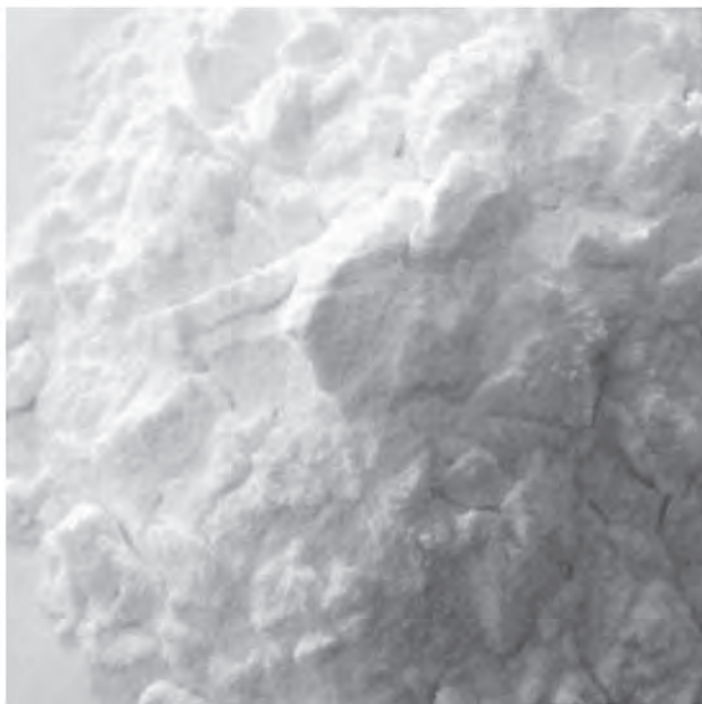
Рис. 8. Сканирующий электронный микроскоп LEO 1420 (Germany)

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА  
НАТИВНЫХ КРАХМАЛОВ  
РАЗЛИЧНОГО БОТАНИЧЕСКОГО  
ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

---

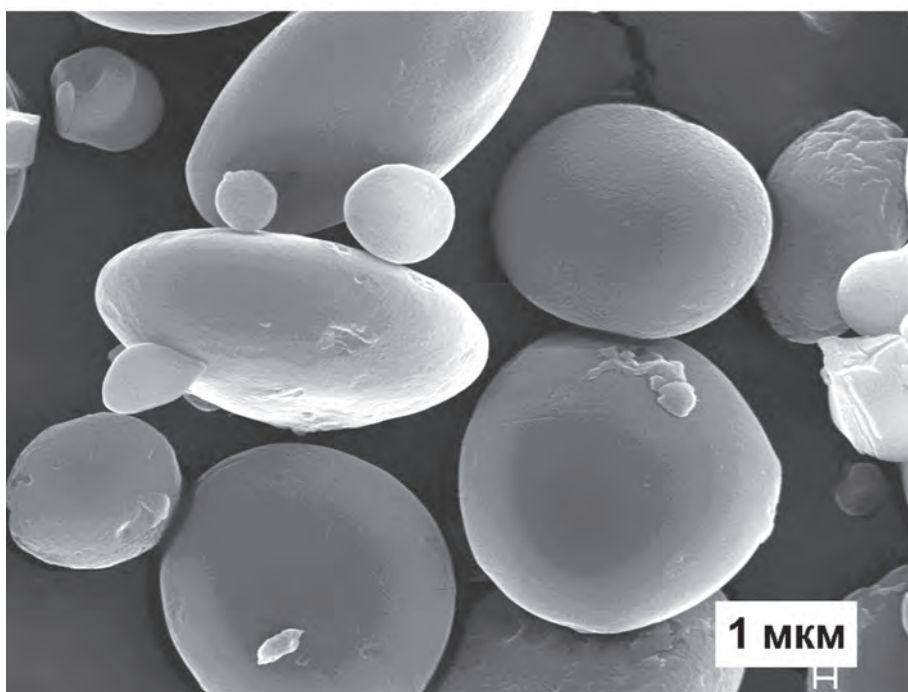
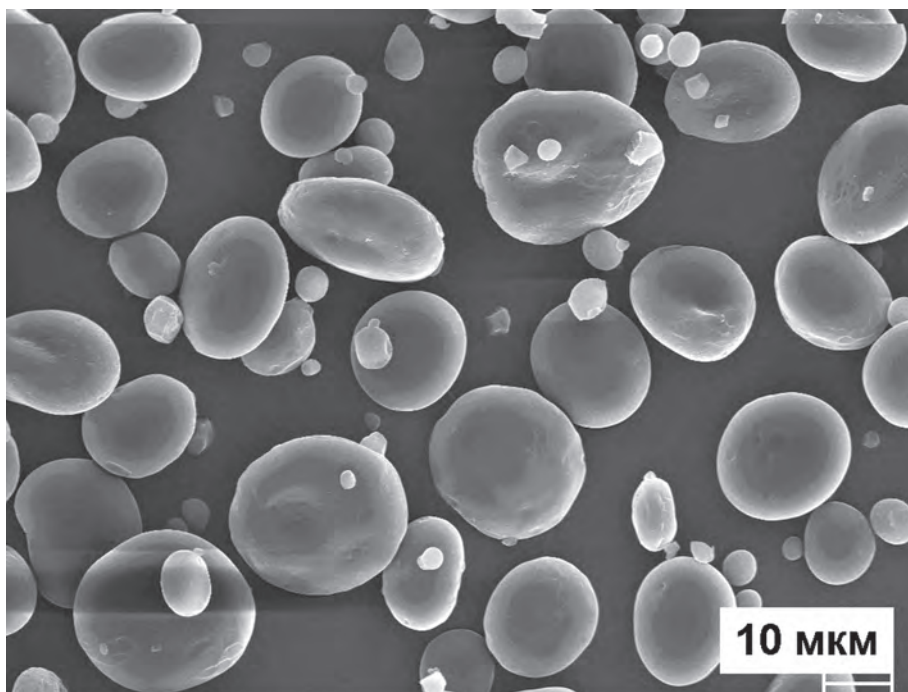


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного крахмала сорго

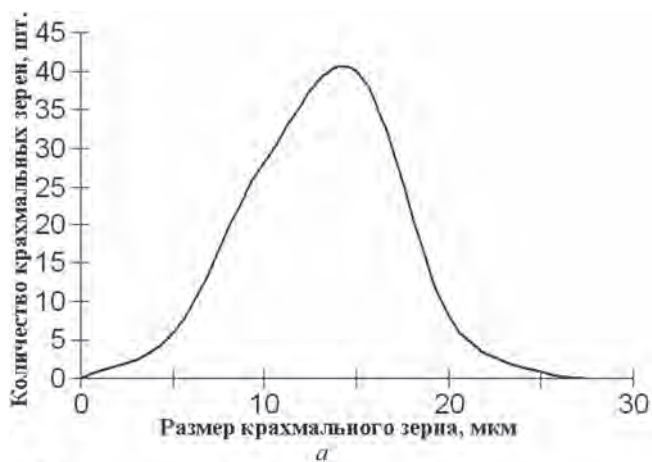


Фотографии пшеницы и пшеничного нативного крахмала

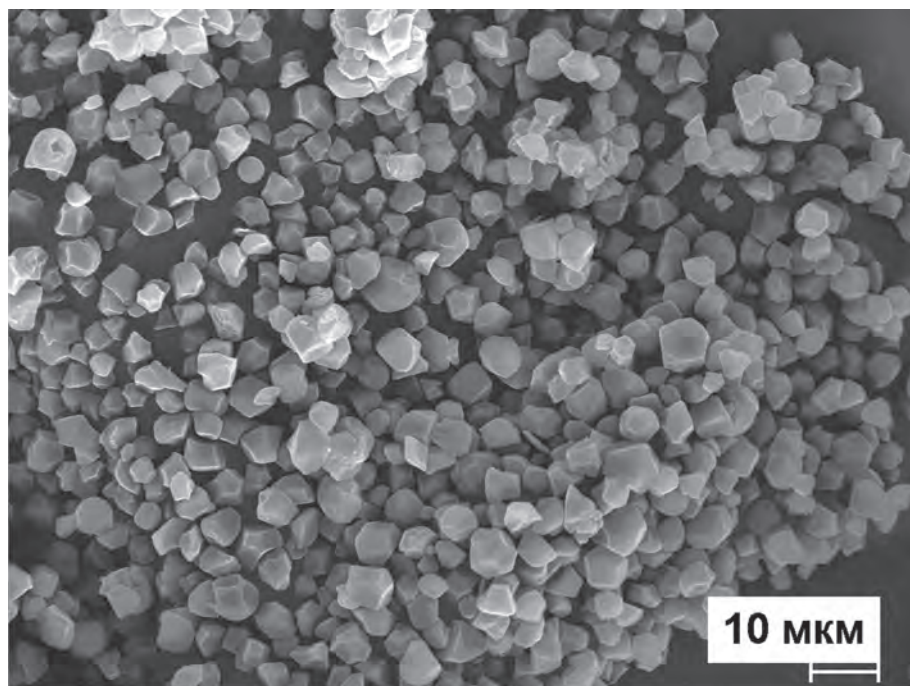




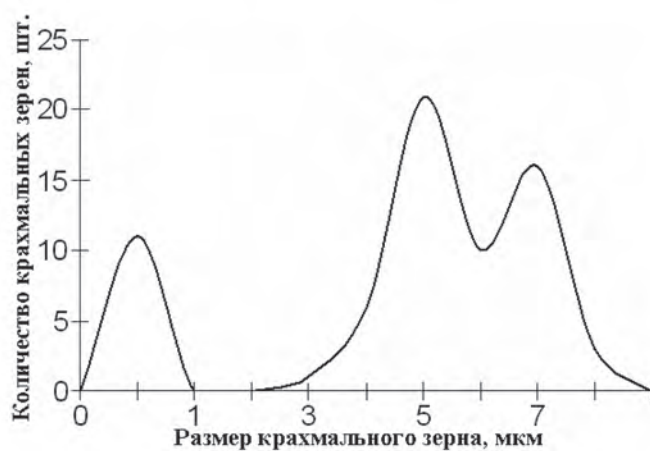
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного пшеничного крахмала



Гранулометрический анализ нативного крахмала:  
*a* – сорго; *б* – пшеницы



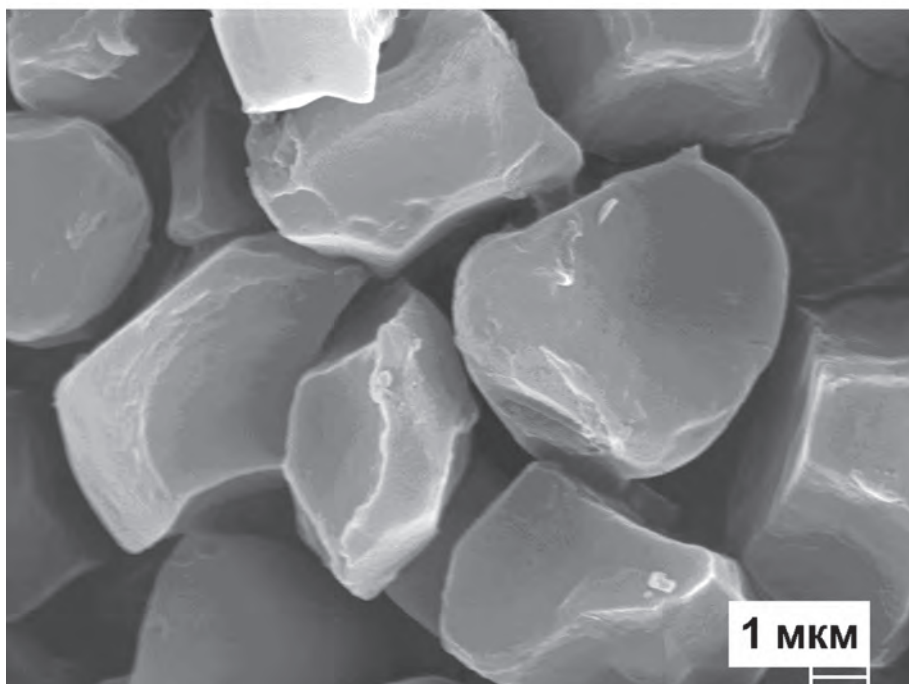
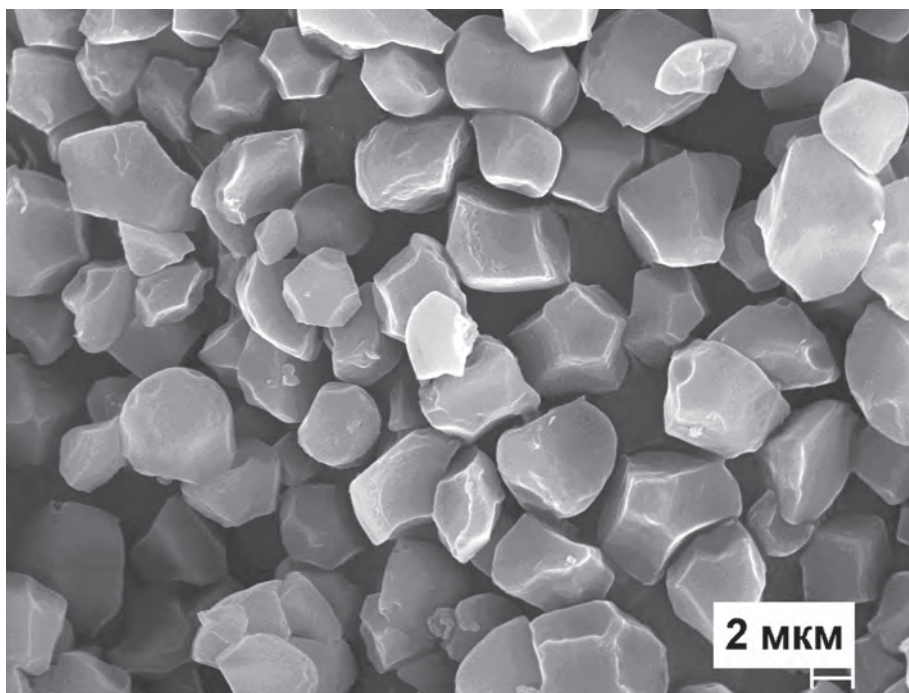
*a*



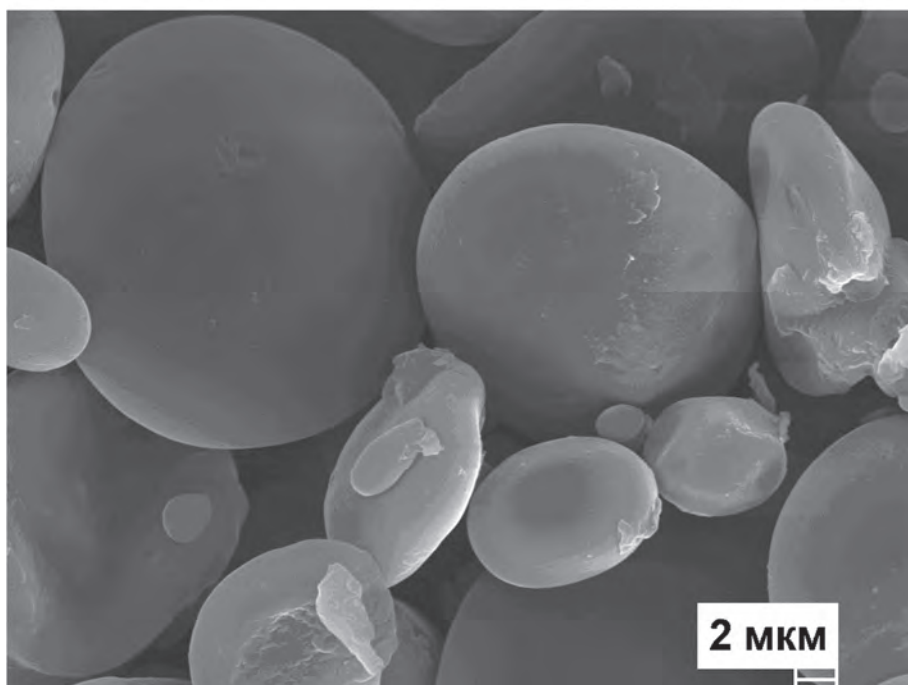
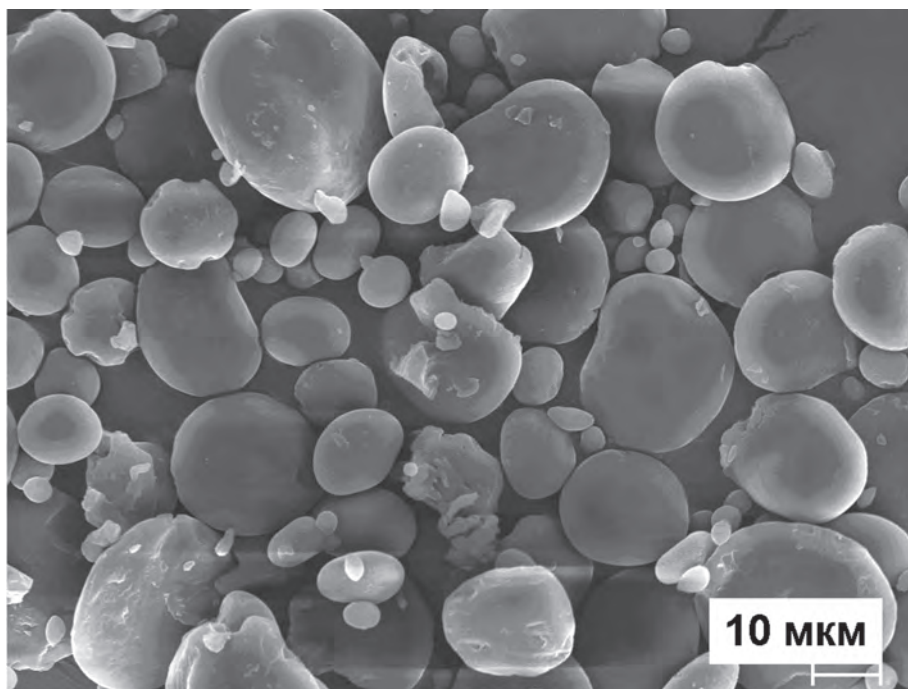
*б*

Зерна нативного рисового крахмала: *a* – панорамная сканирующая электронная микрофотография; *б* – гранулометрический анализ





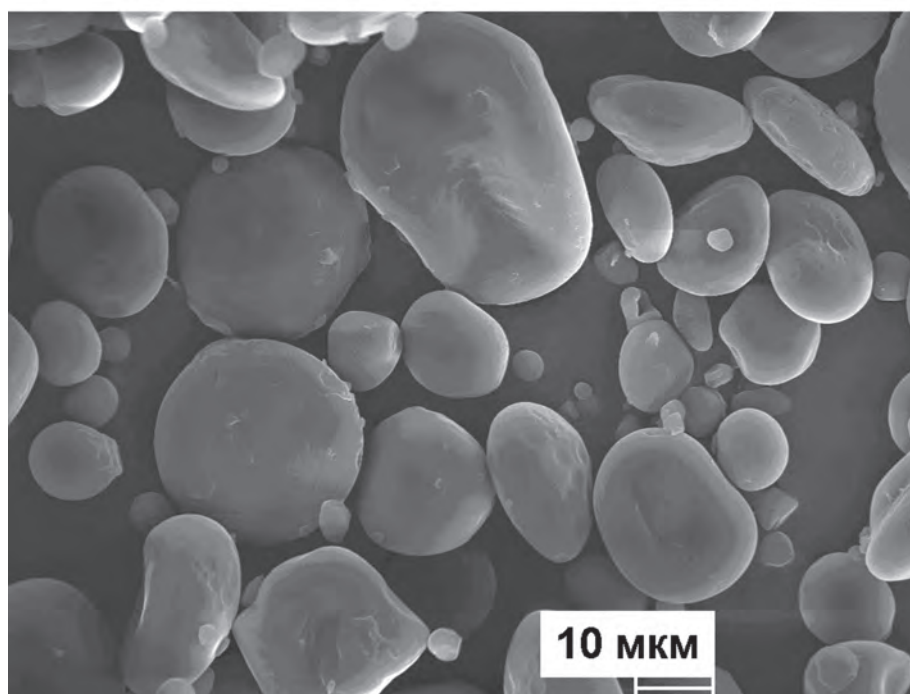
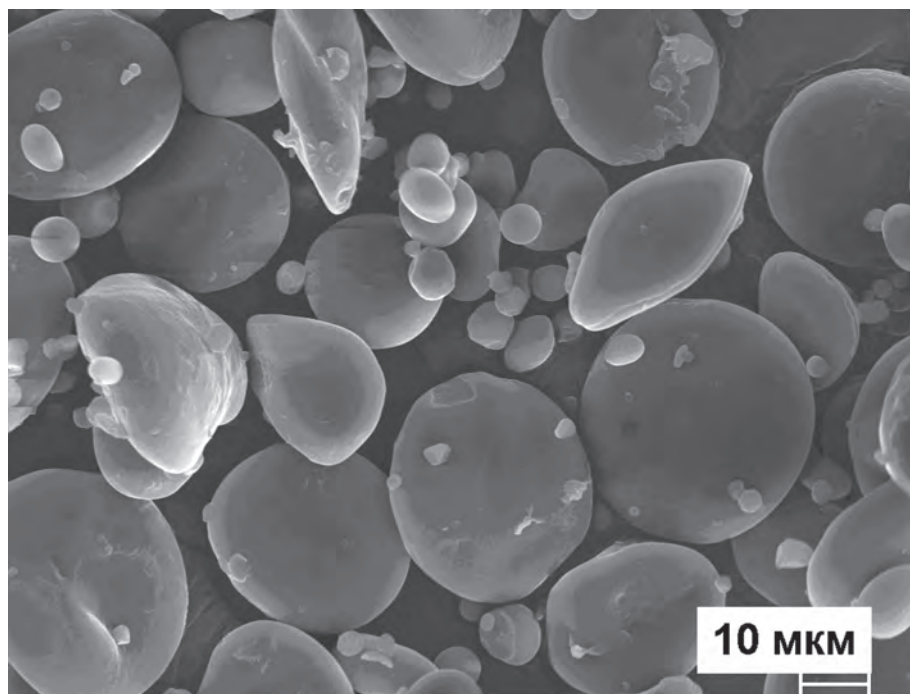
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного рисового крахмала



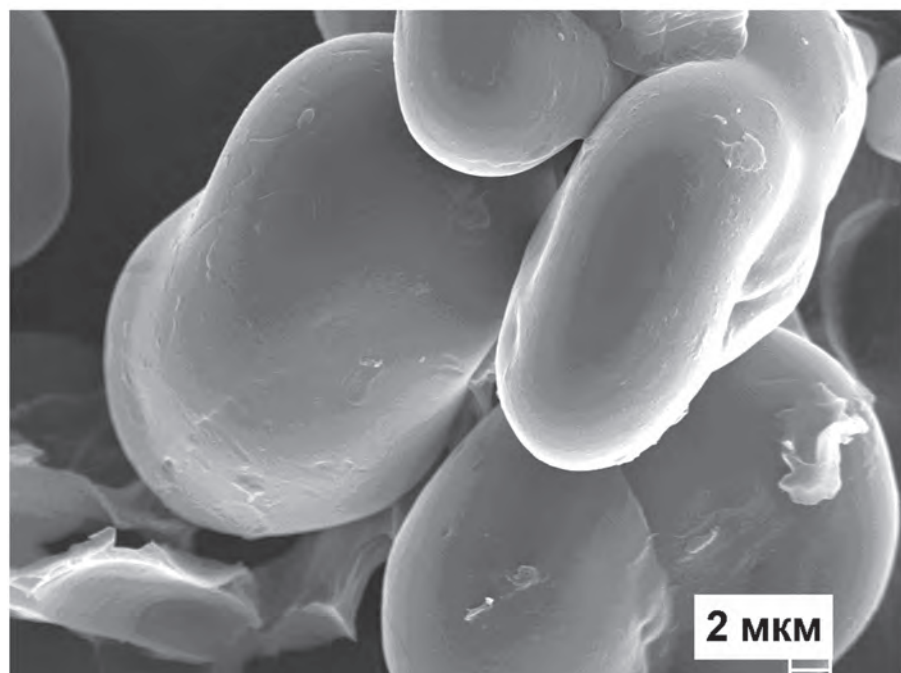
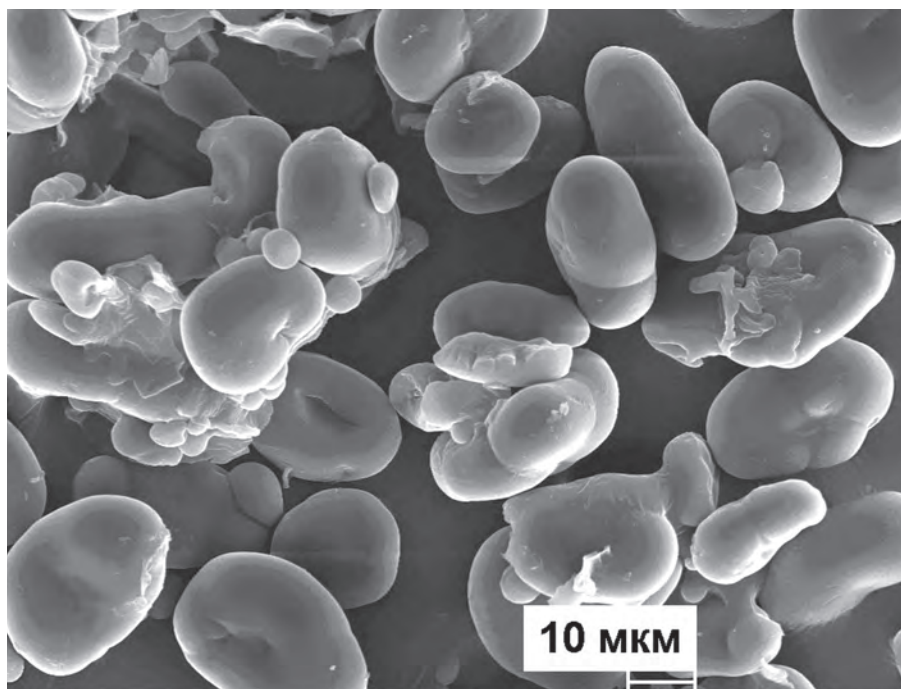
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного крахмала тритикале



Гранулометрический анализ нативного крахмала:  
*a* – тритикале; *б* – ржи



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного ржаного крахмала



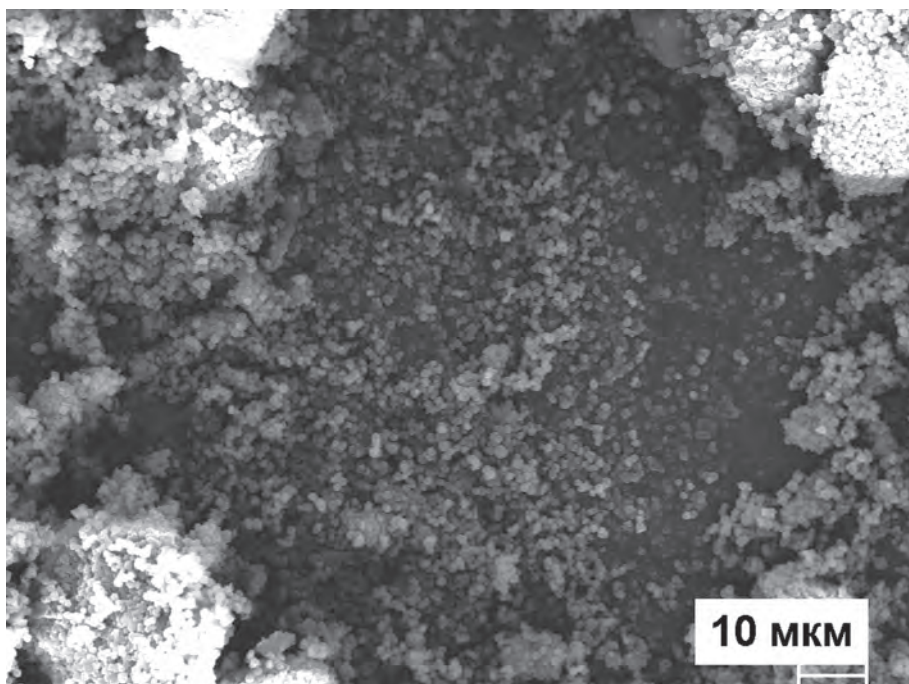
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного горохового крахмала



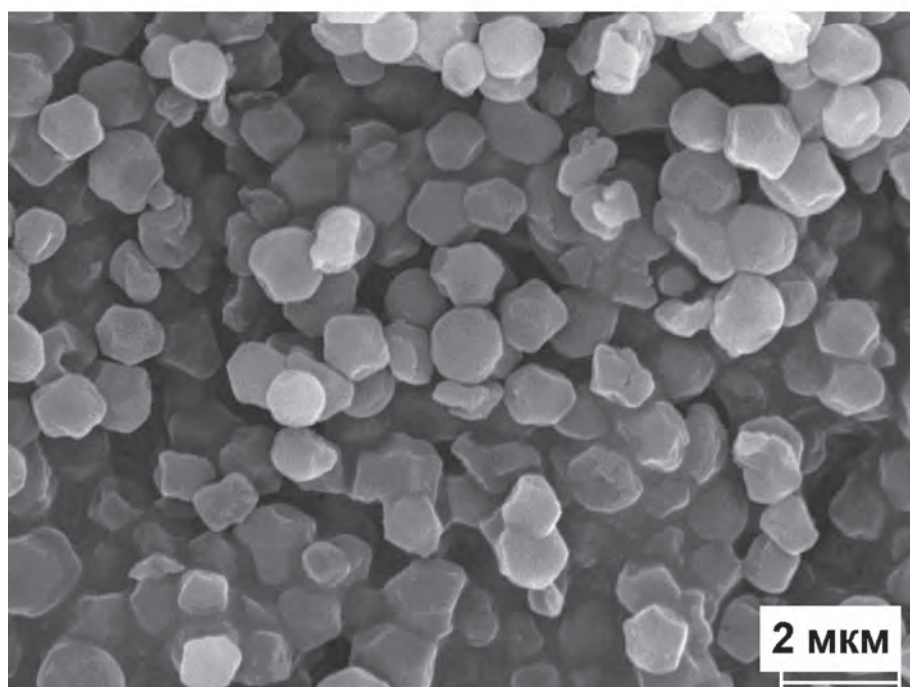
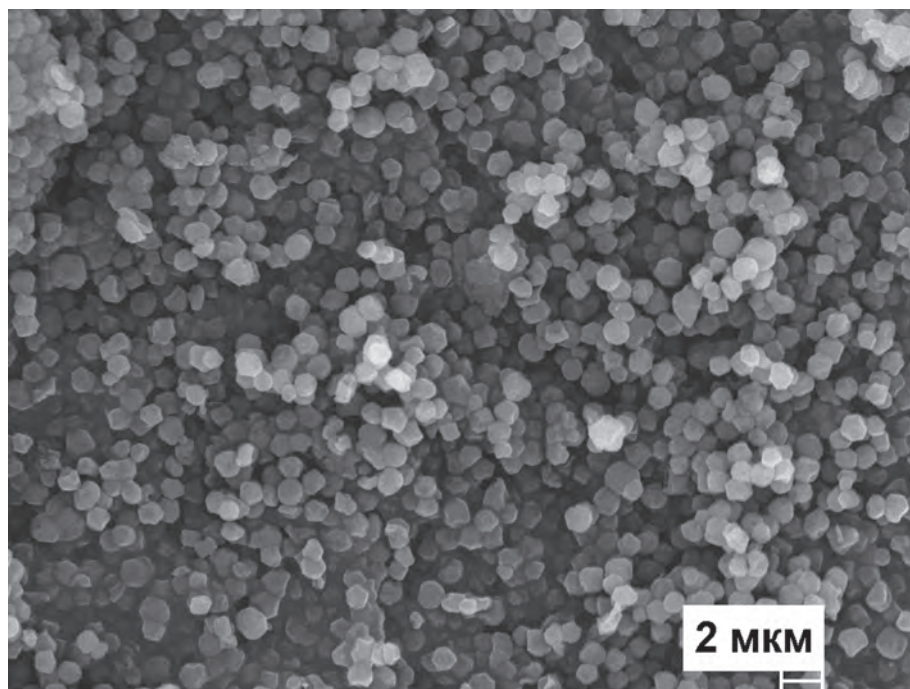


Гранулометрический анализ нативного крахмала:  
*a* – горохового; *б* – амарантового

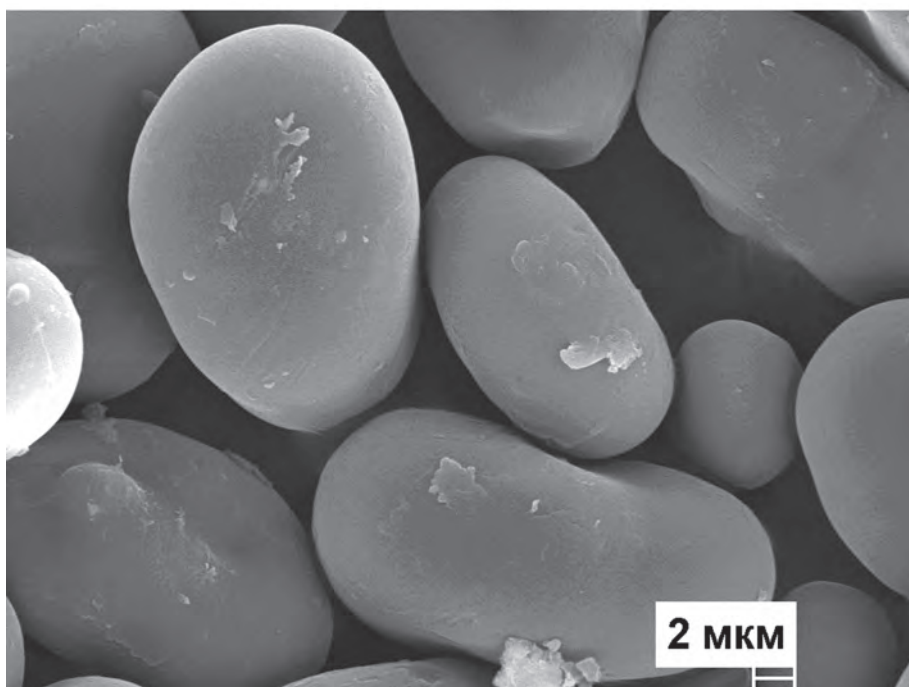
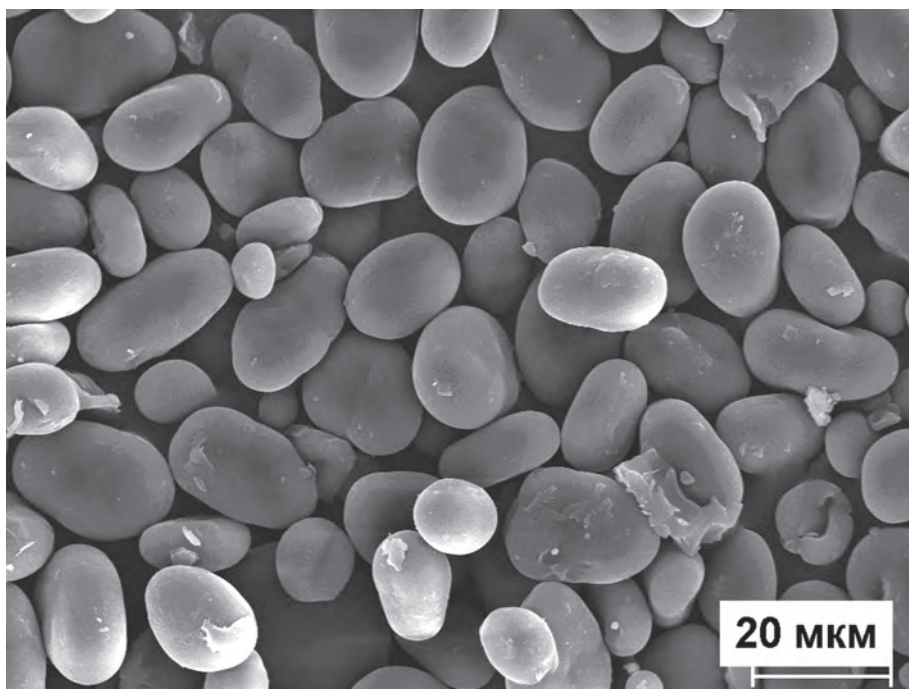




Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного  
амарантового крахмала



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного амарантового крахмала

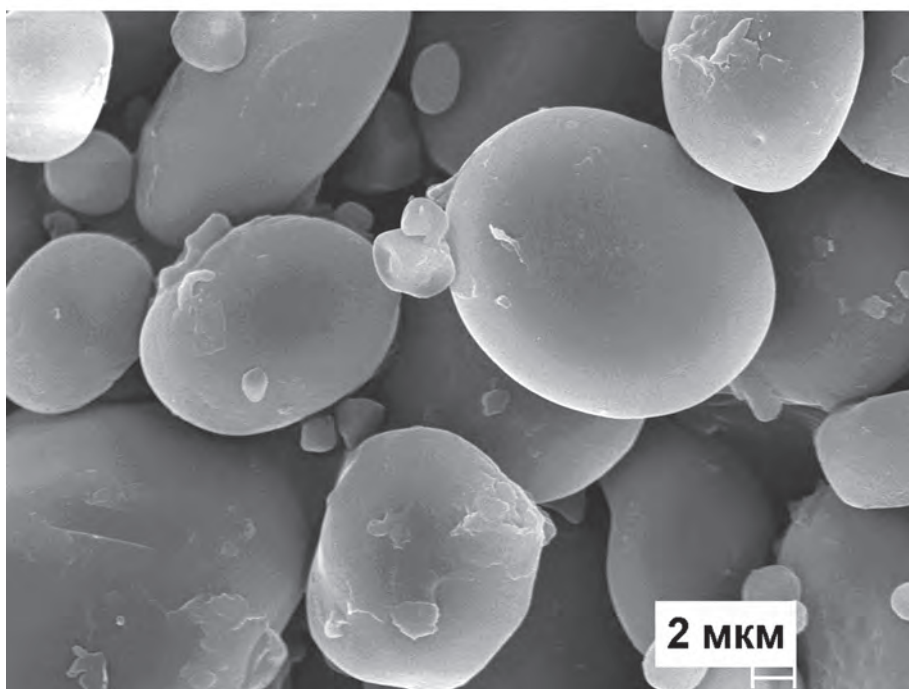
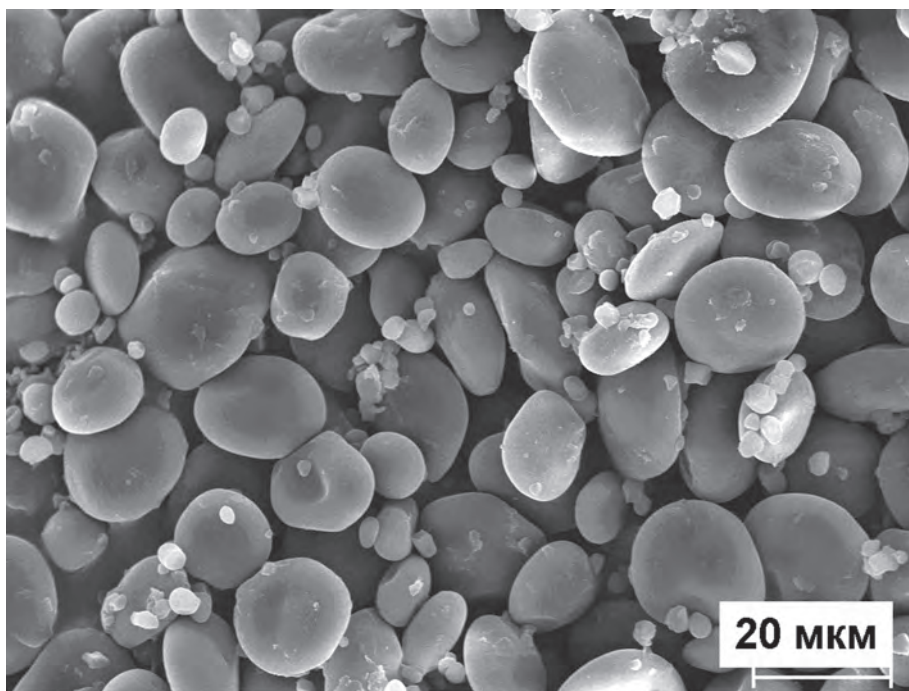


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного нутового крахмала

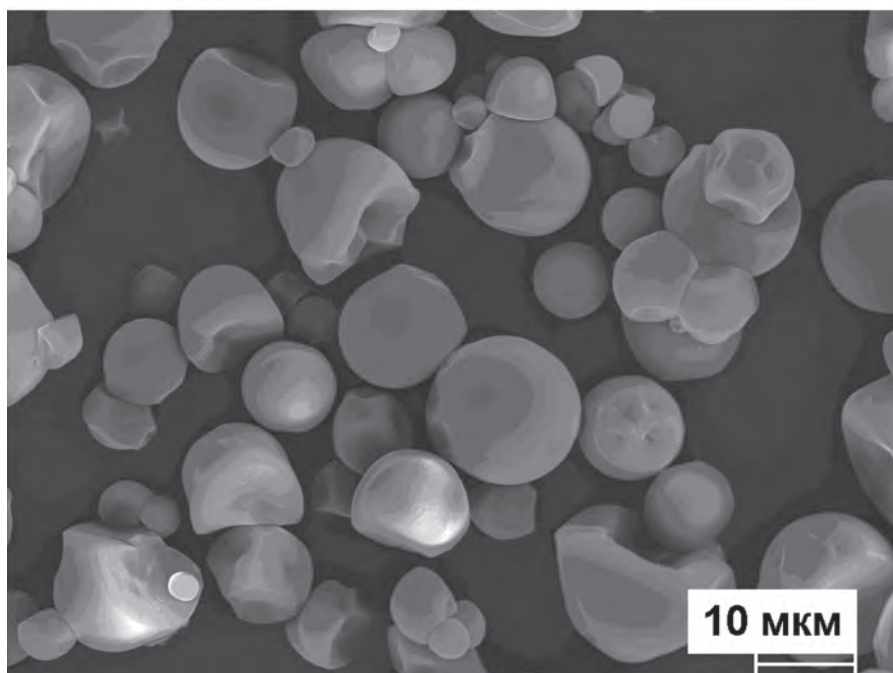
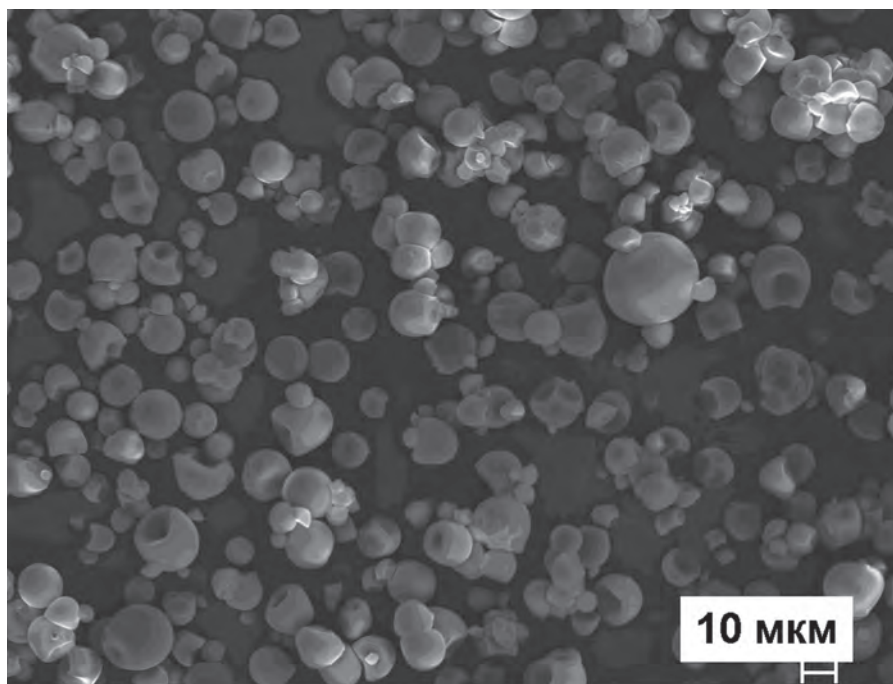


Гранулометрический анализ нативного крахмала: *a* – нутового; *б* – ячменного



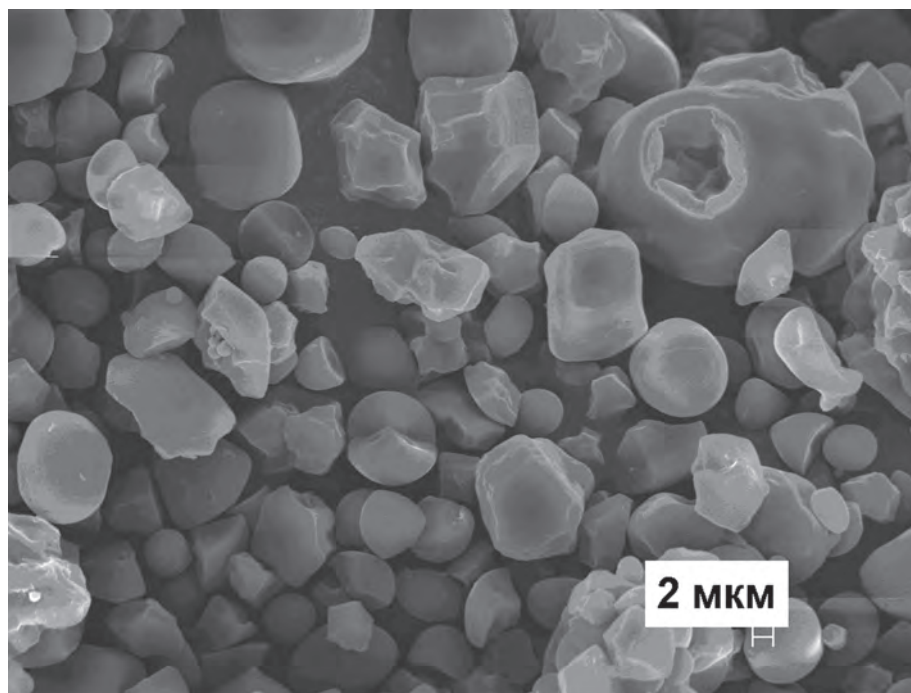


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного ячменного крахмала



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного тапиокового крахмала





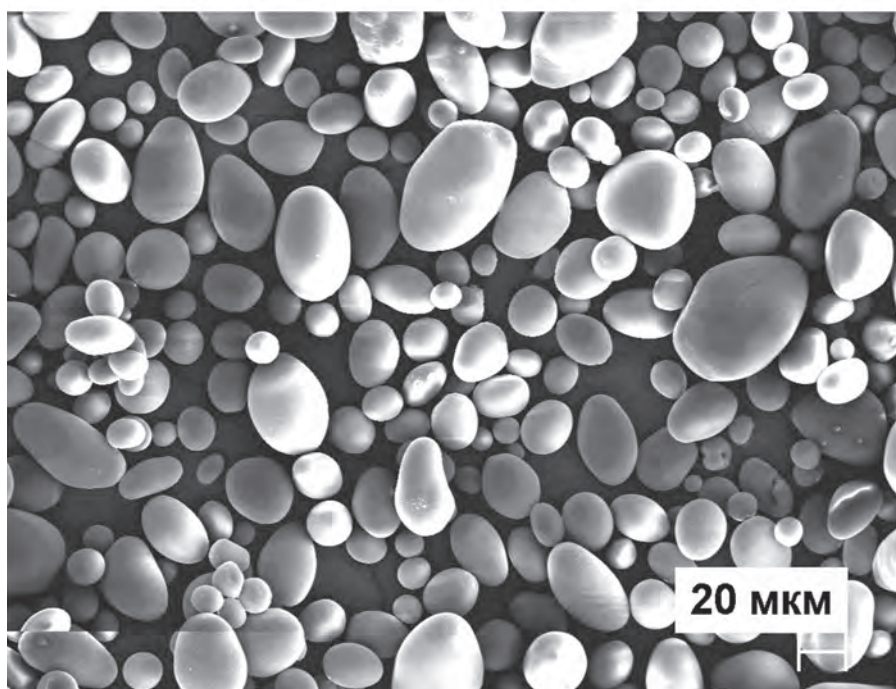
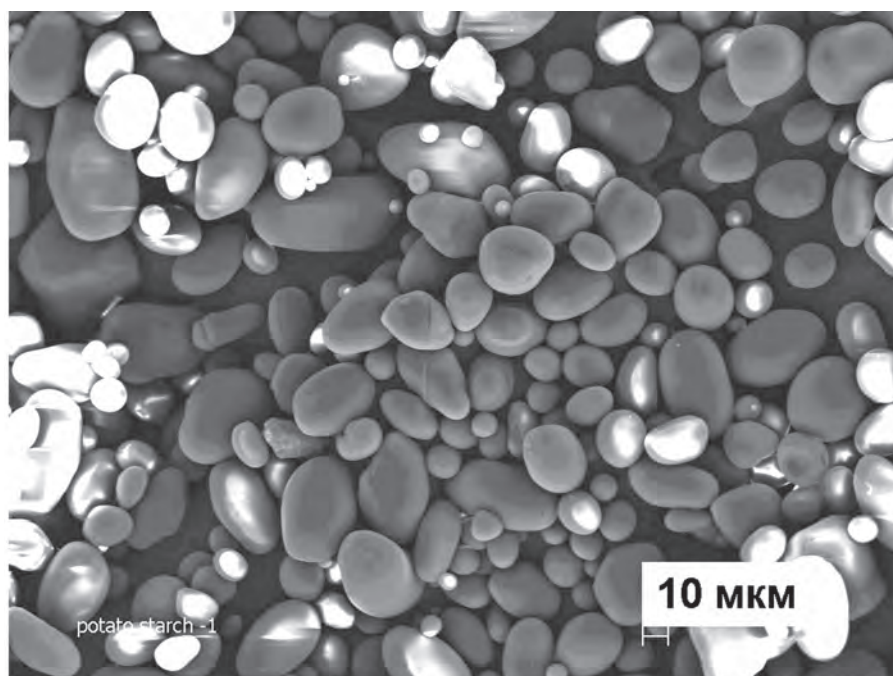
Сканирующая электронная микрофотография зерен нативного овсяного крахмала



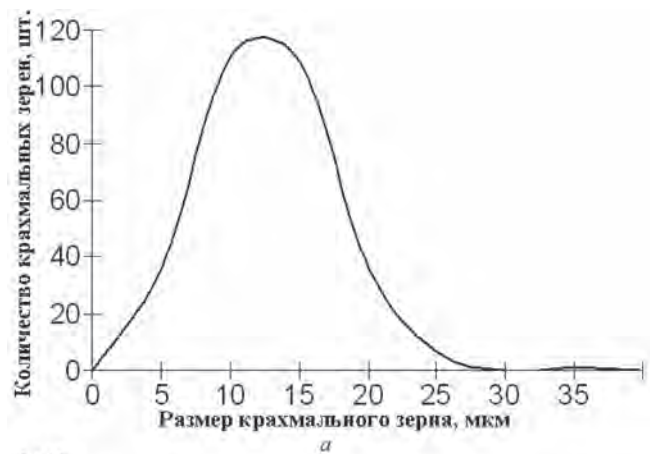
Гранулометрический анализ нативного овсяного крахмала



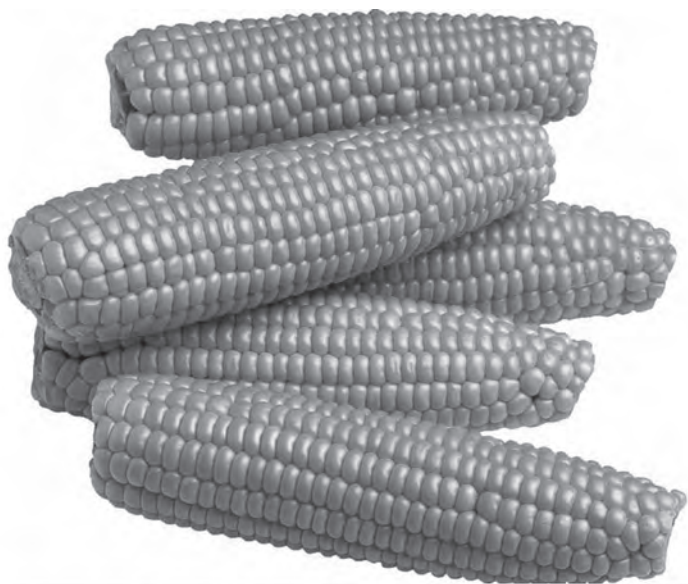
Фотографии картофеля и нативного картофельного крахмала



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала

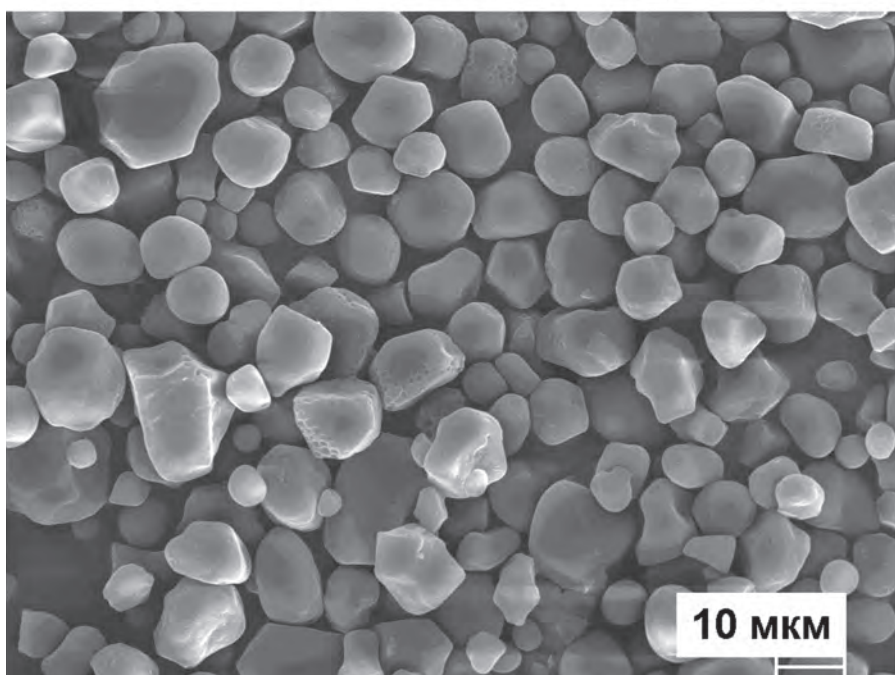
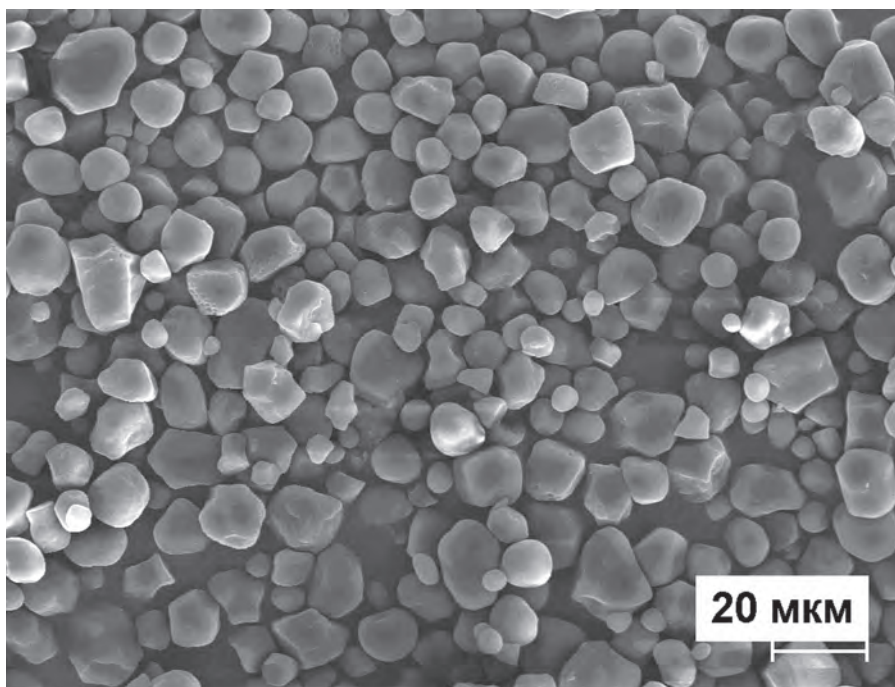


Гранулометрический анализ нативного крахмала: *a* – тапиокового;  
*б* – картофельного и кукурузного



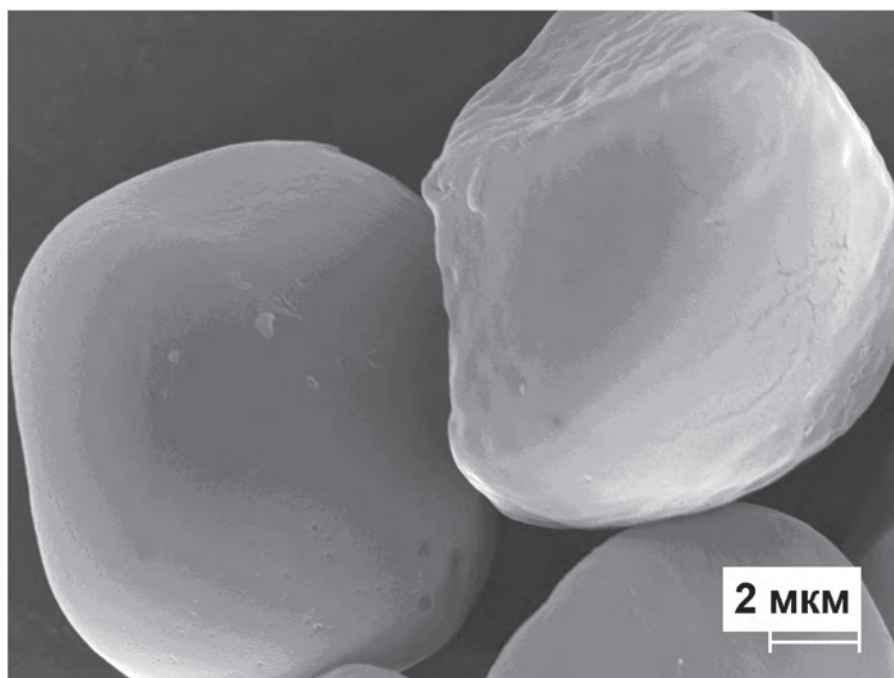
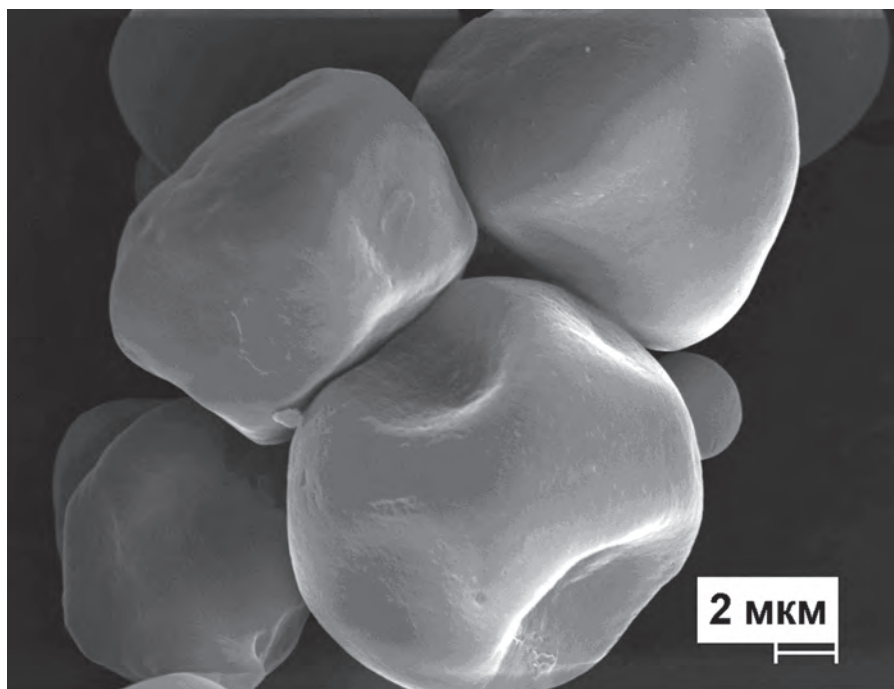
Фотографии кукурузы и нативного кукурузного крахмала



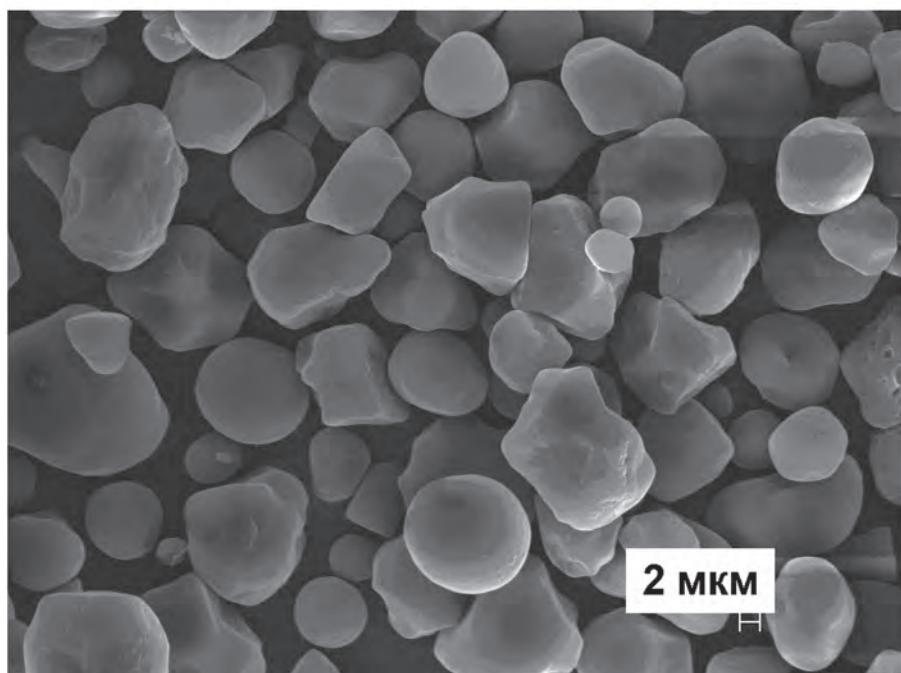
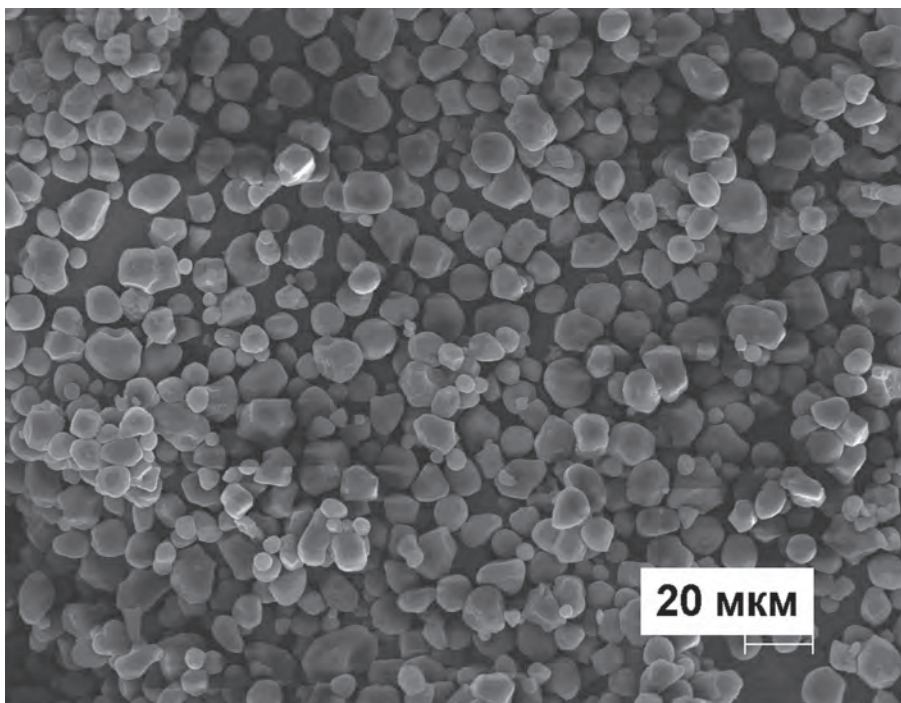


Панорамные сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного кукурузного крахмала

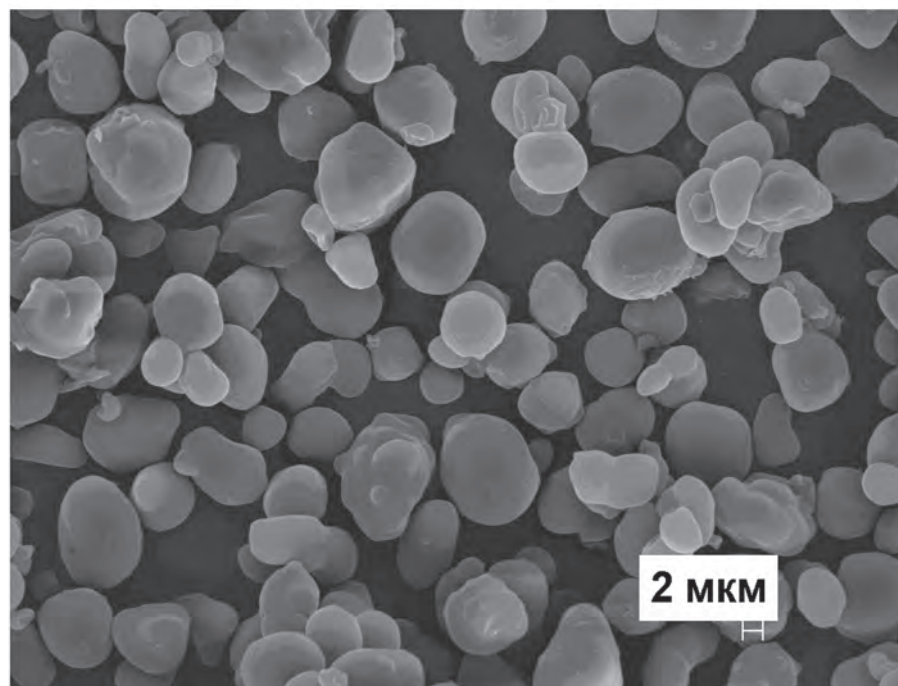
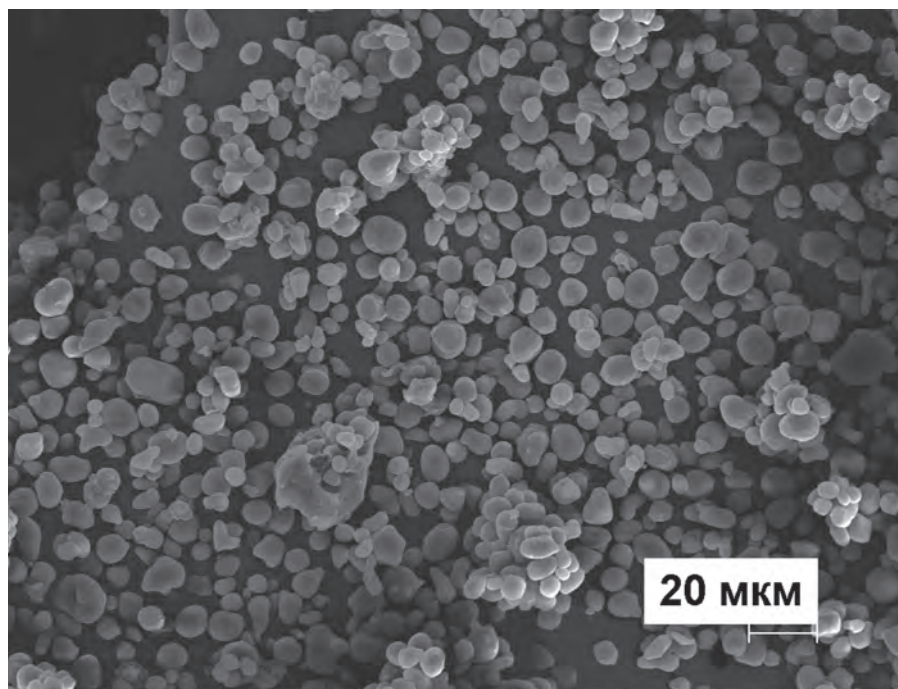




Сканирующие электронные микрофотографии отдельных зерен нативного кукурузного крахмала



Сканирующие электронные микрофотографии зерен крахмала восковидной кукурузы (амилопектиновый крахмал)



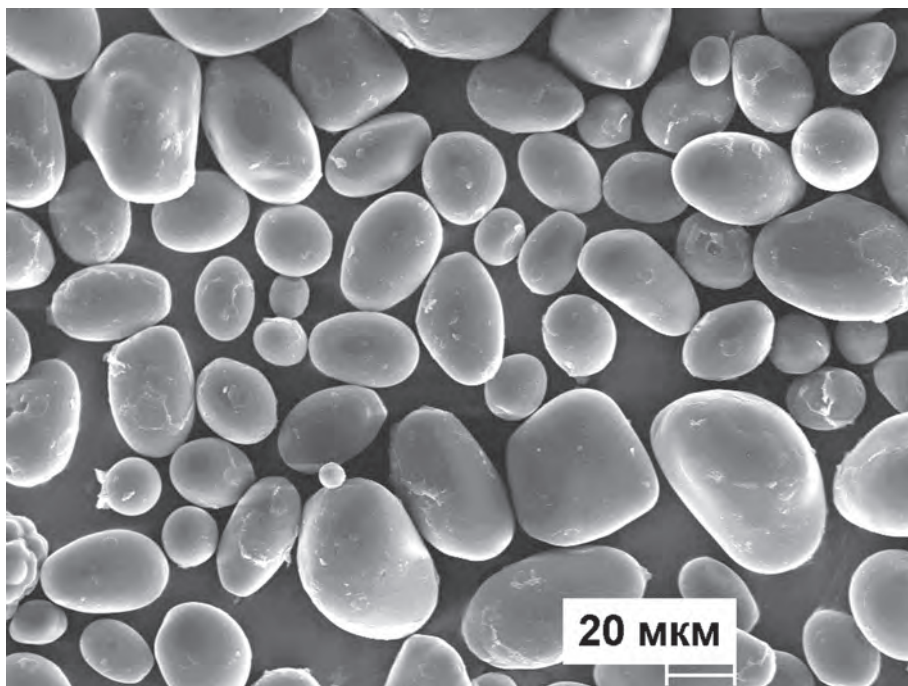
Сканирующие электронные микрофотографии зерен высокоамилозного кукурузного крахмала



Гранулометрический анализ нативного кукурузного крахмала:  
*a* – амилозного; *б* – амилопектинового

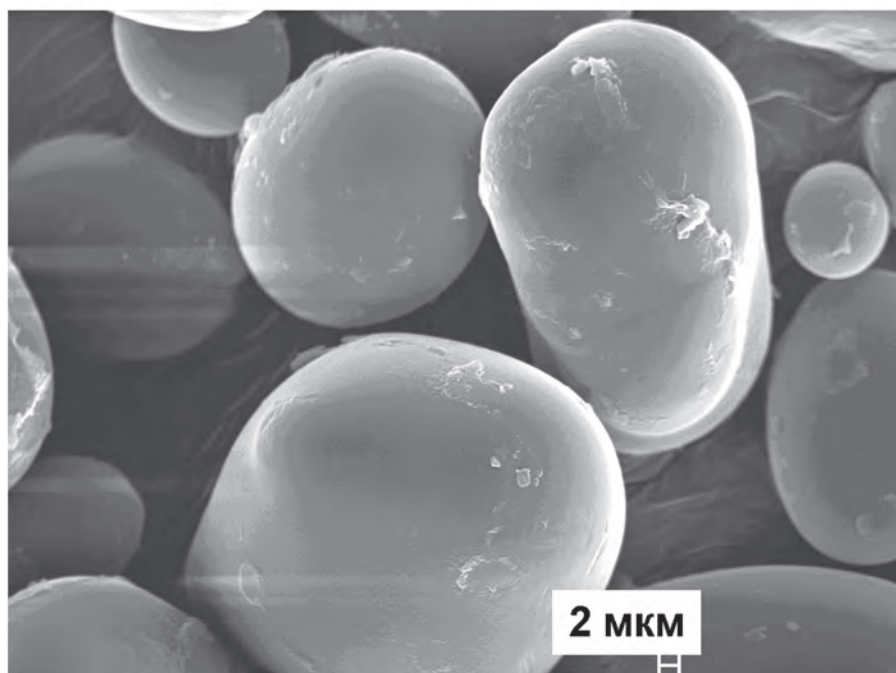
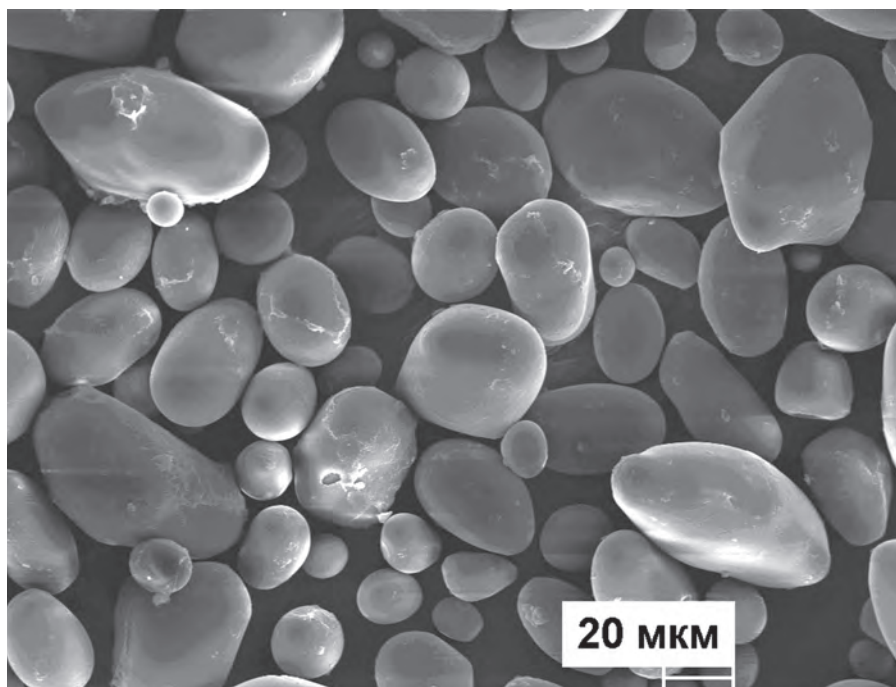
**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА  
НАТИВНОГО КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА,  
ПОЛУЧЕННОГО ИЗ РАЗНЫХ  
СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ**

---

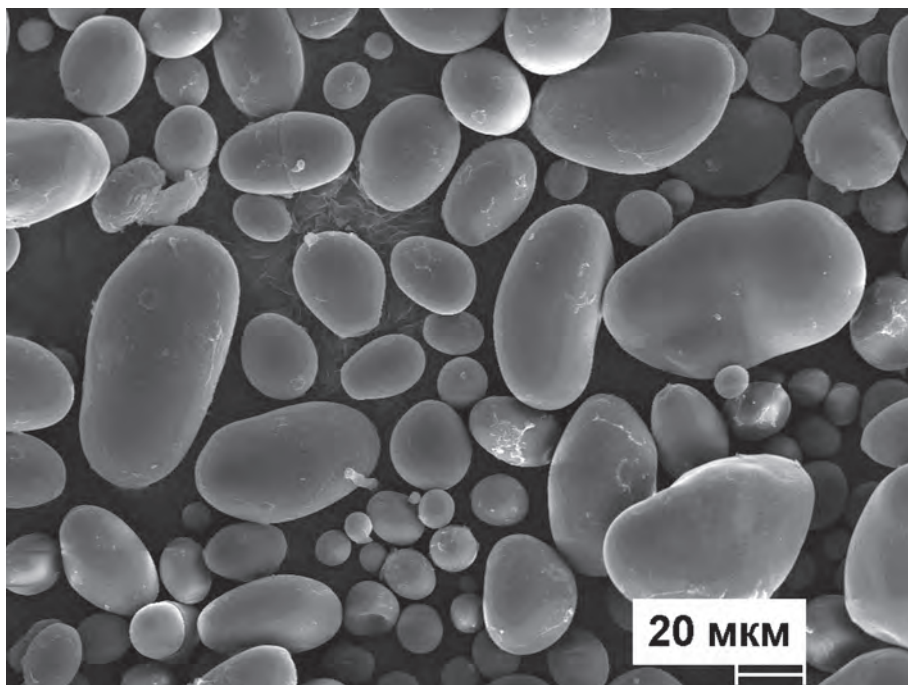


Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «*Атлант*»

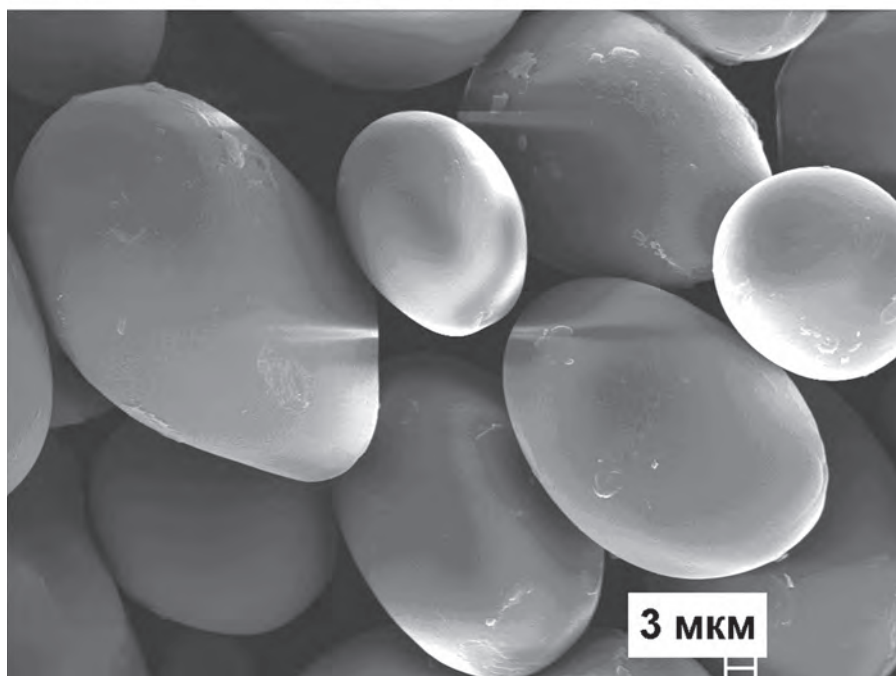
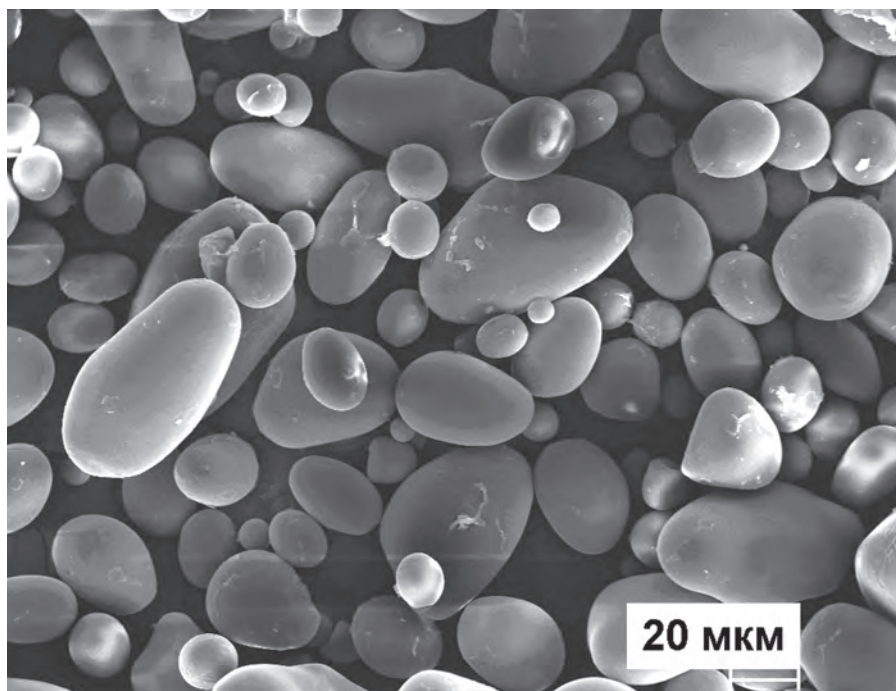




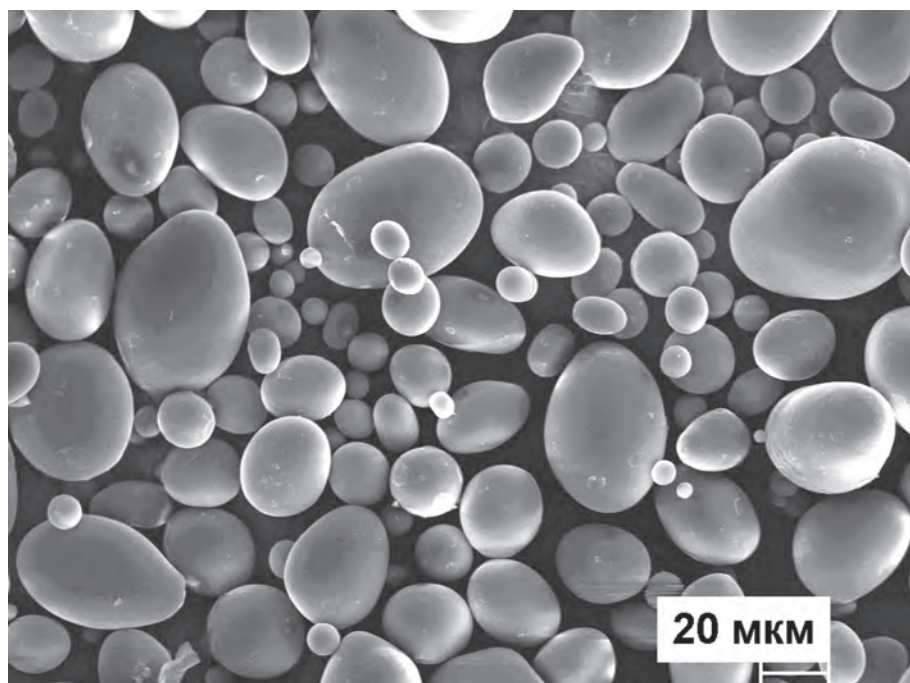
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Атлант»



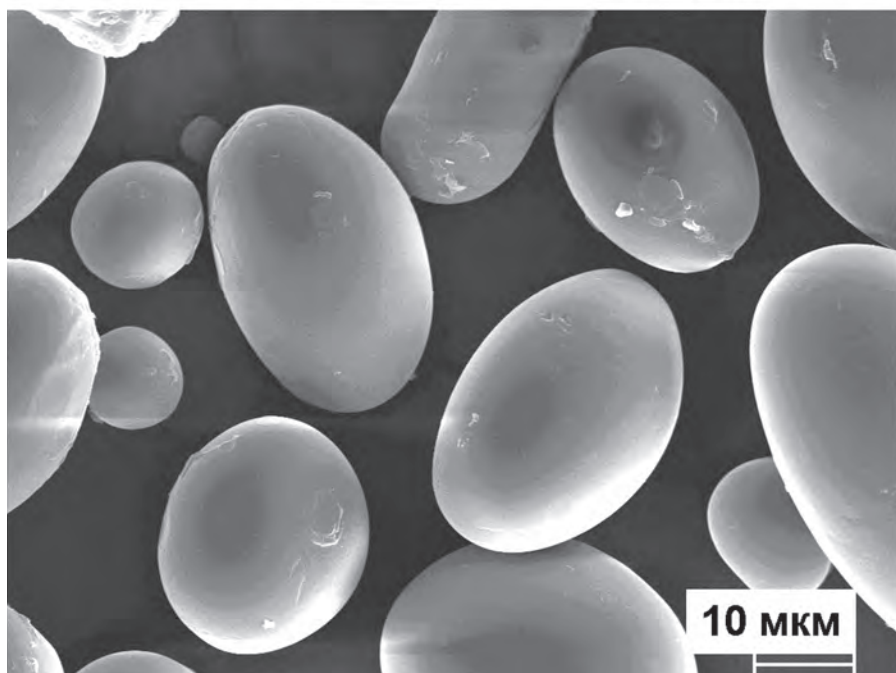
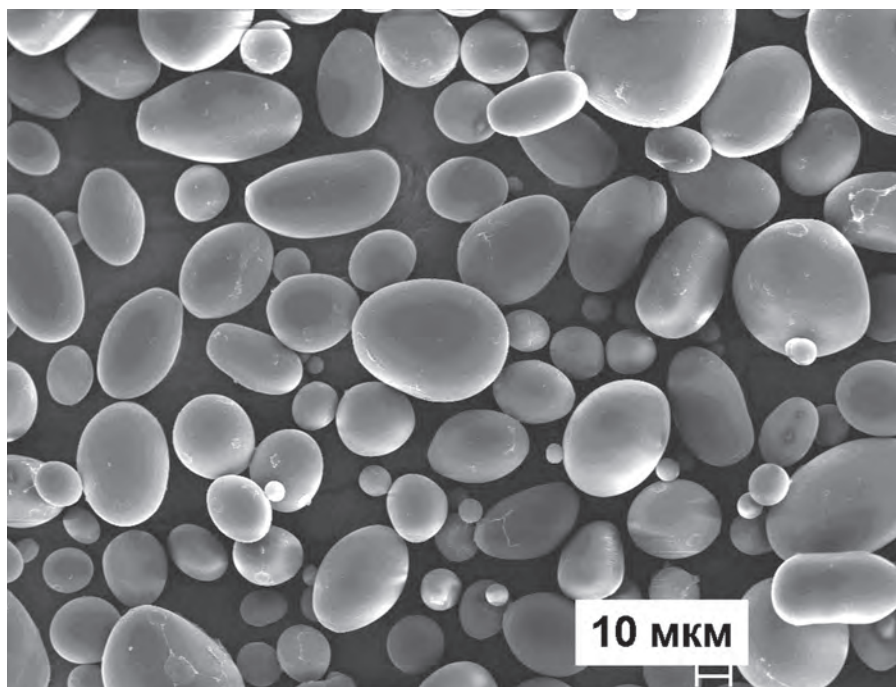
Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного  
картофельного крахмала сорта «Лазурит»



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Лазурит»

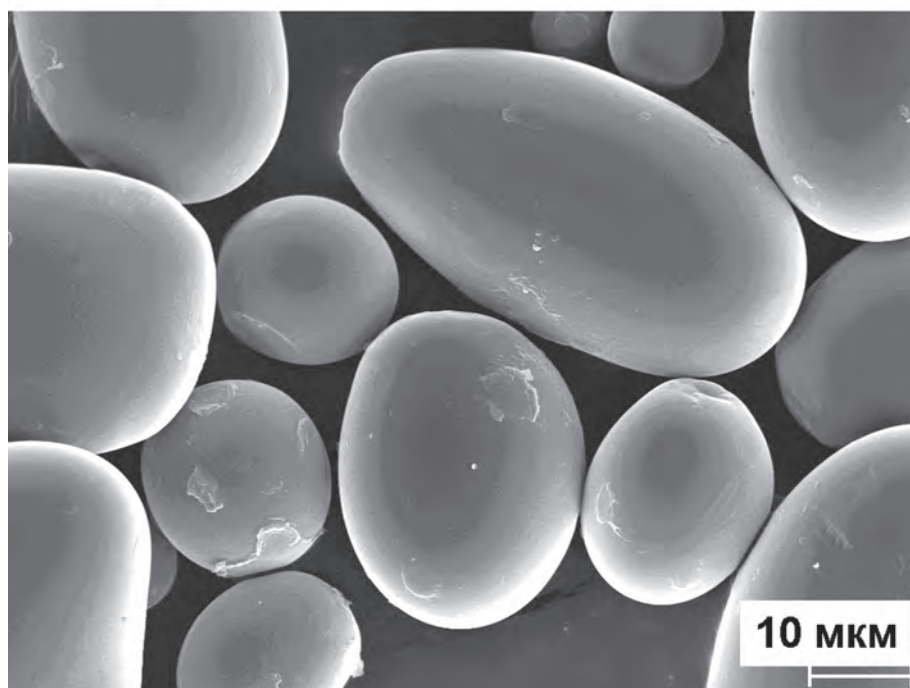
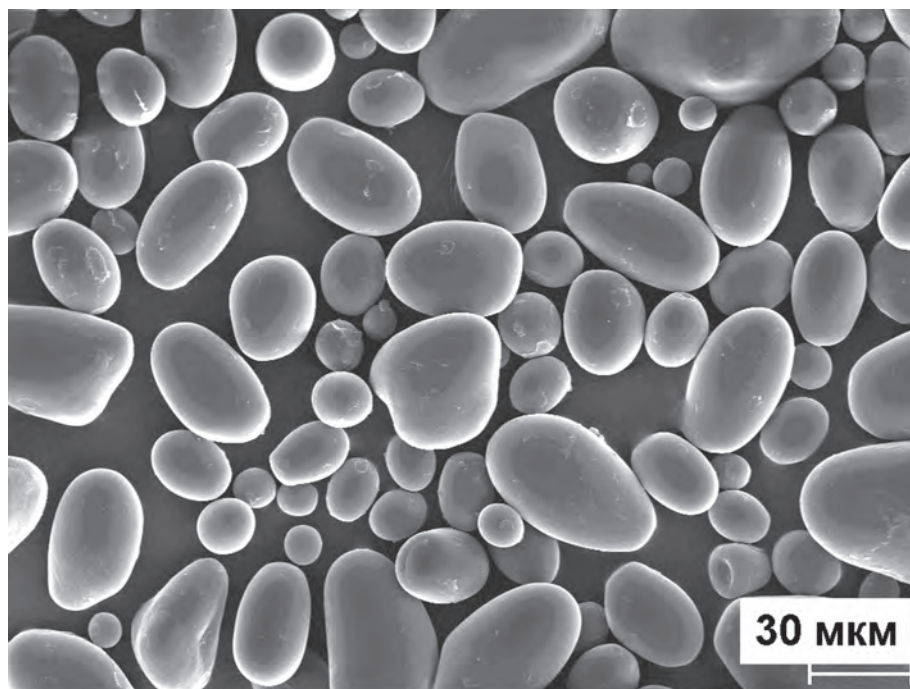


Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «Ласунак»



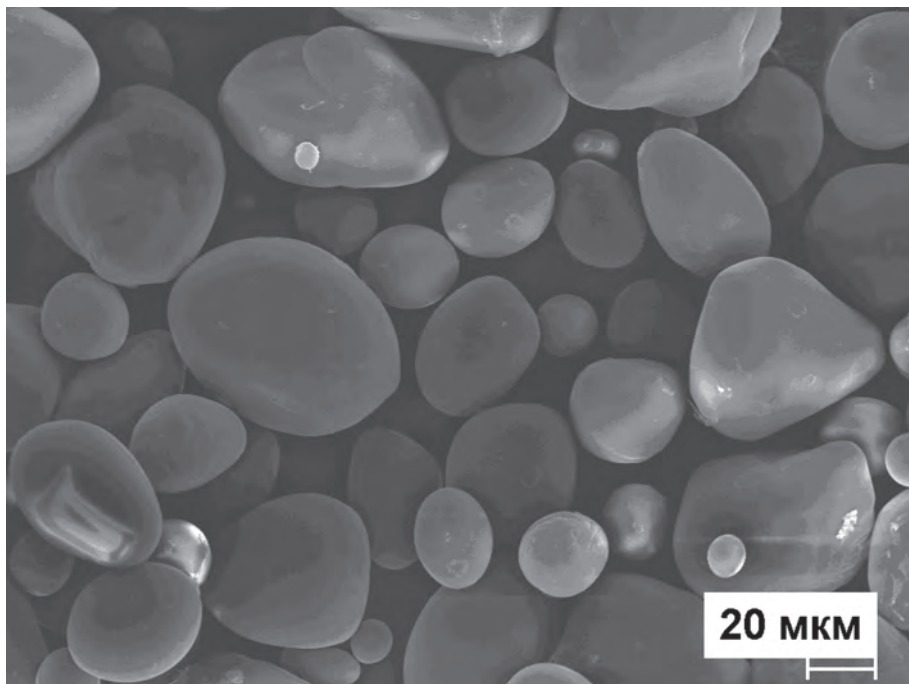
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Ласунак»



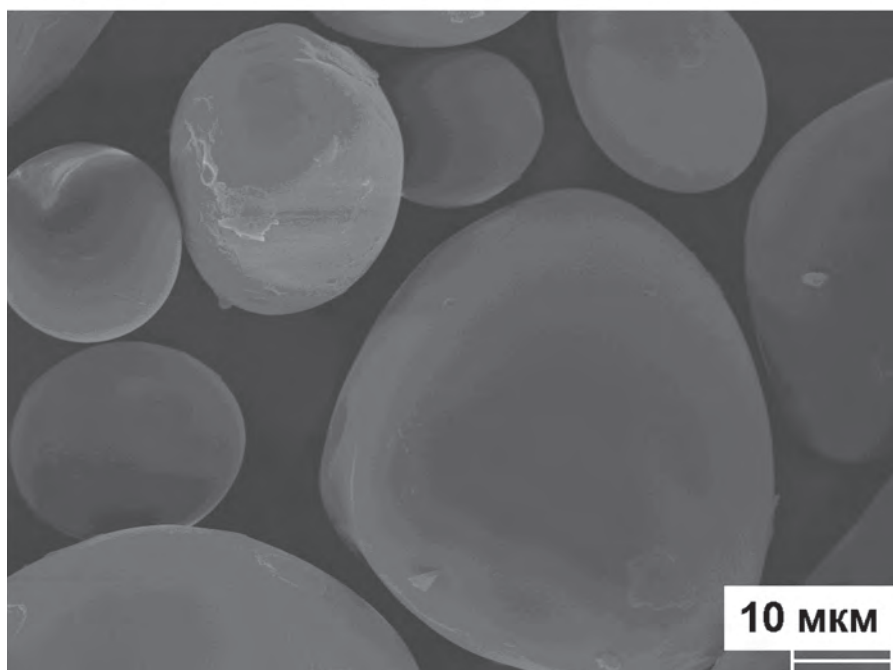
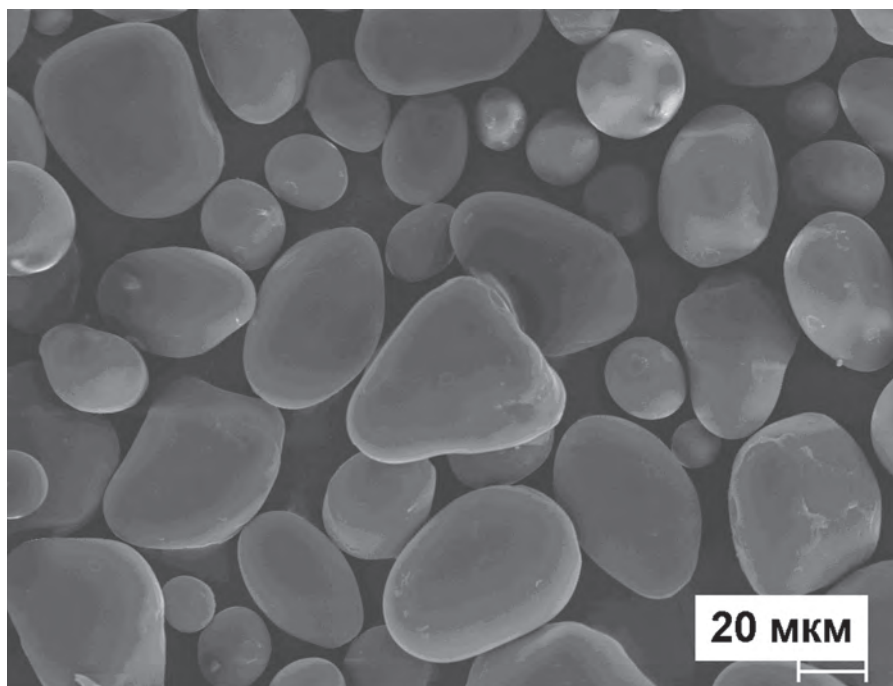


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Лілея»

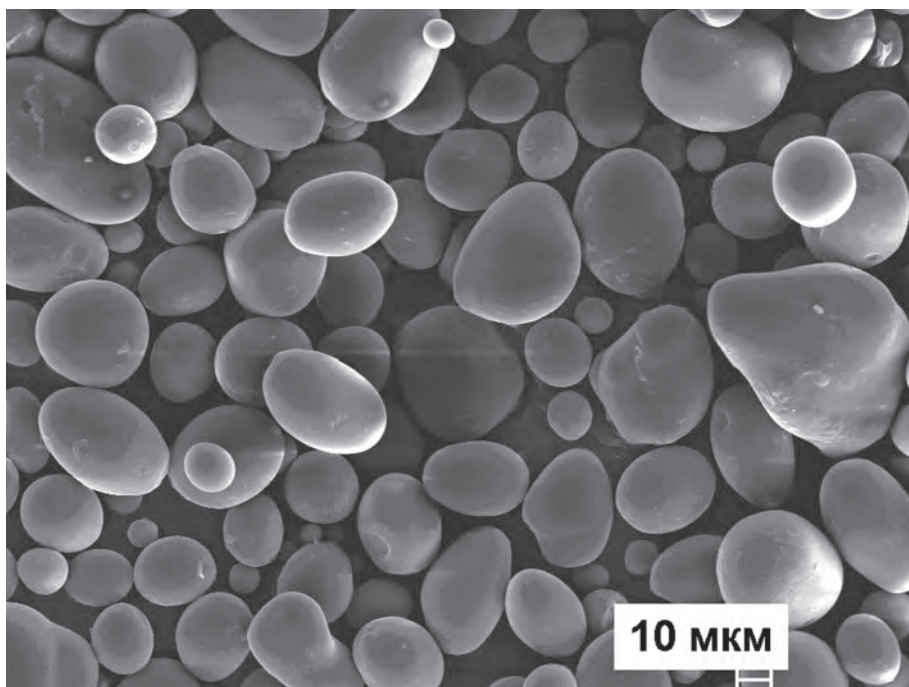




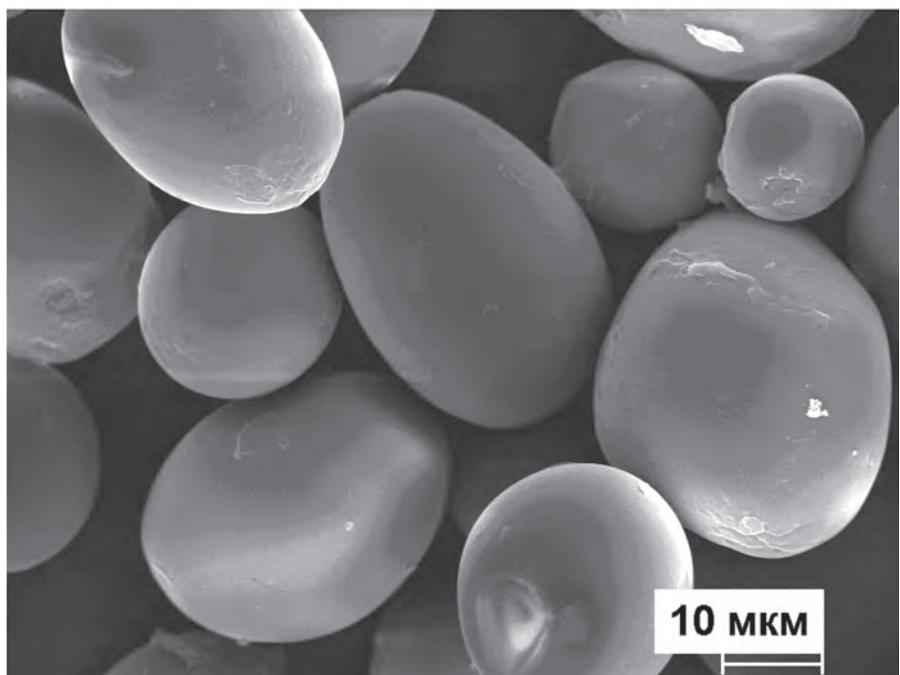
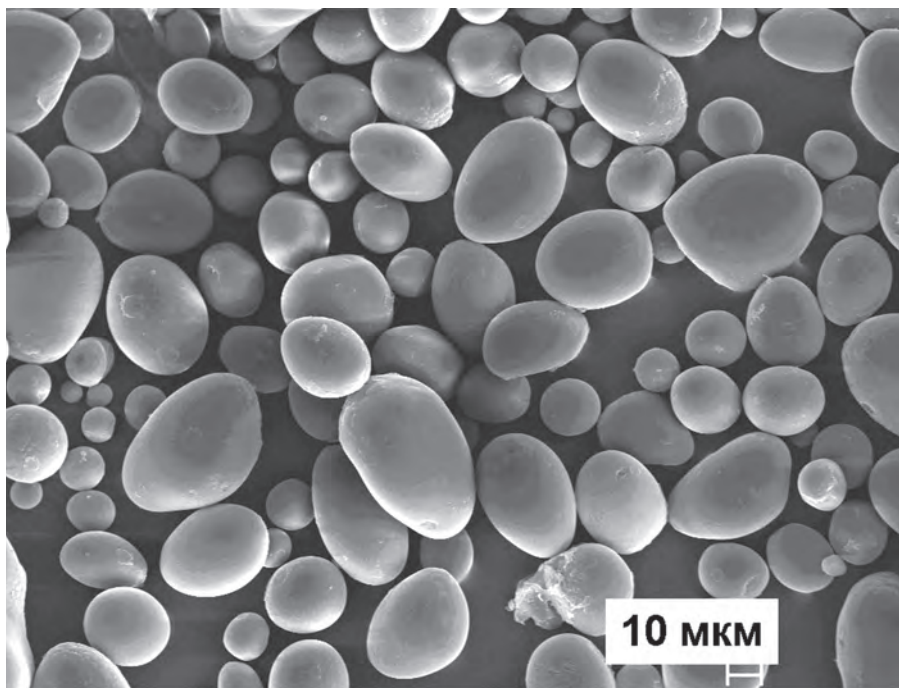
Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «*Mag*»



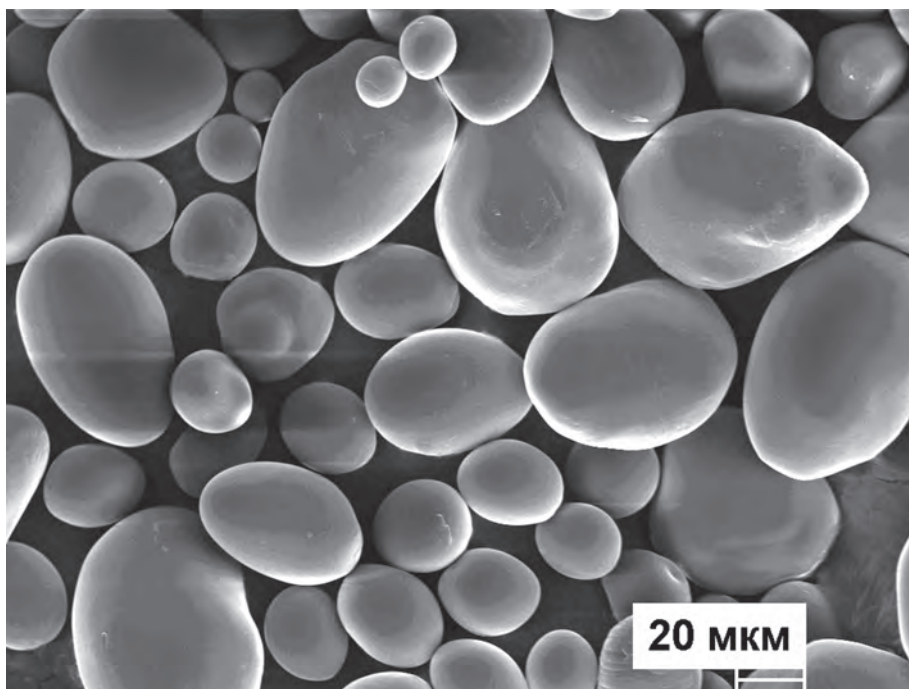
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Маг»



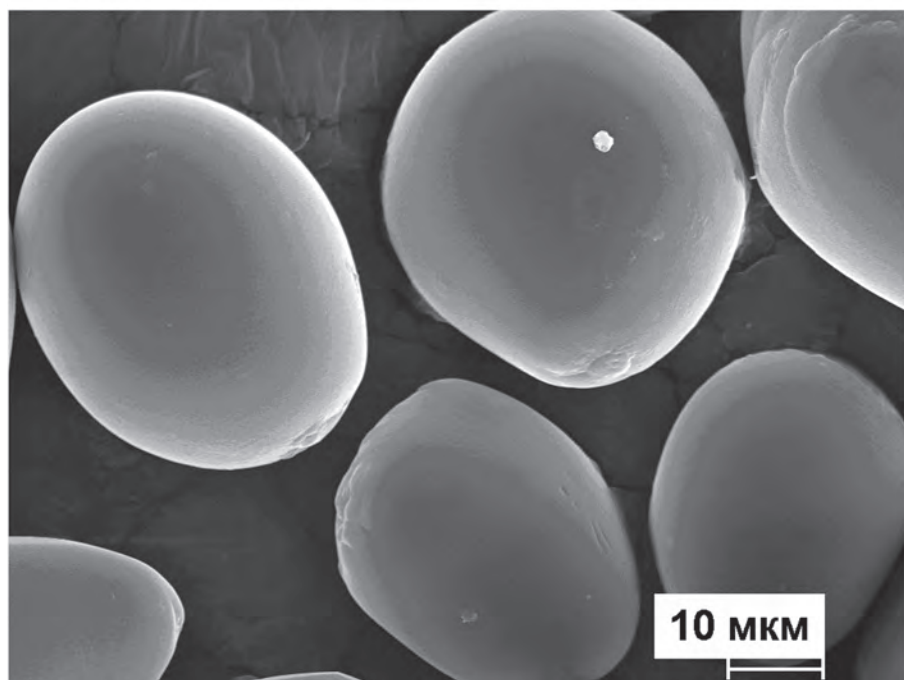
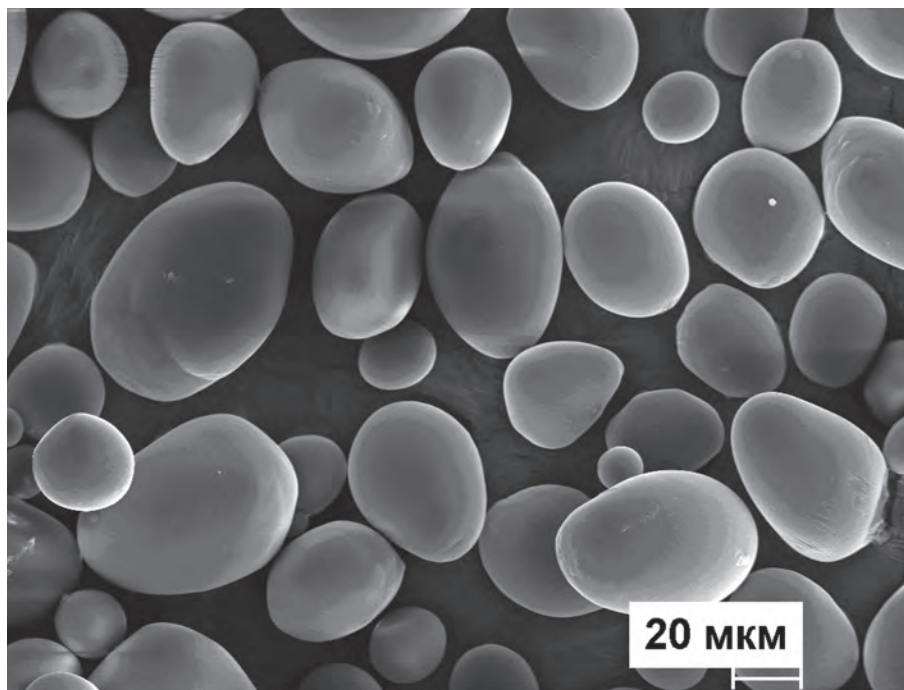
Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного  
картофельного крахмала сорта «Скарб»



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Скарб»

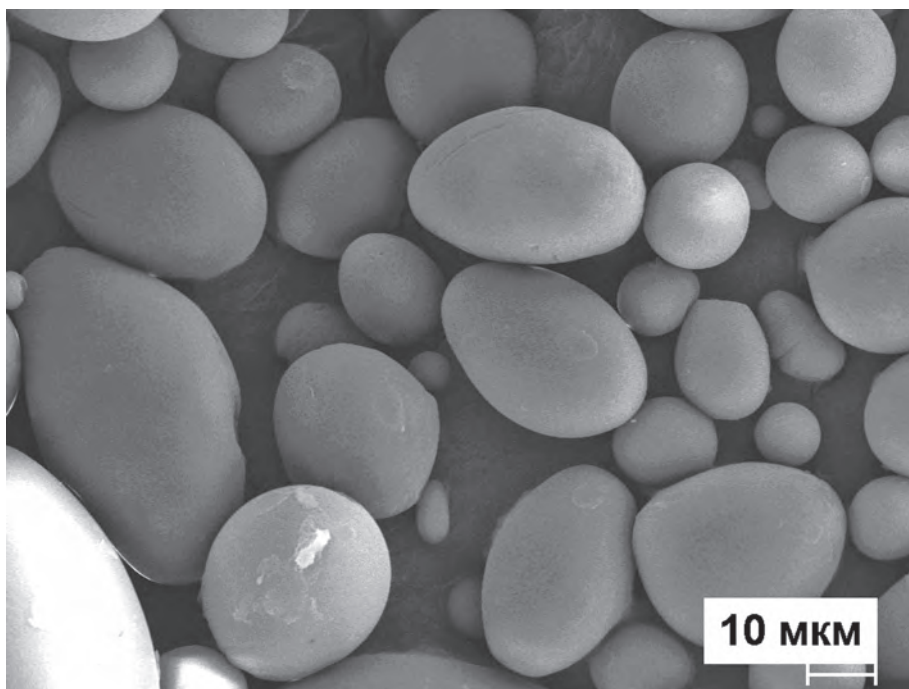


Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного  
картофельного крахмала сорта «Сюзор'е»

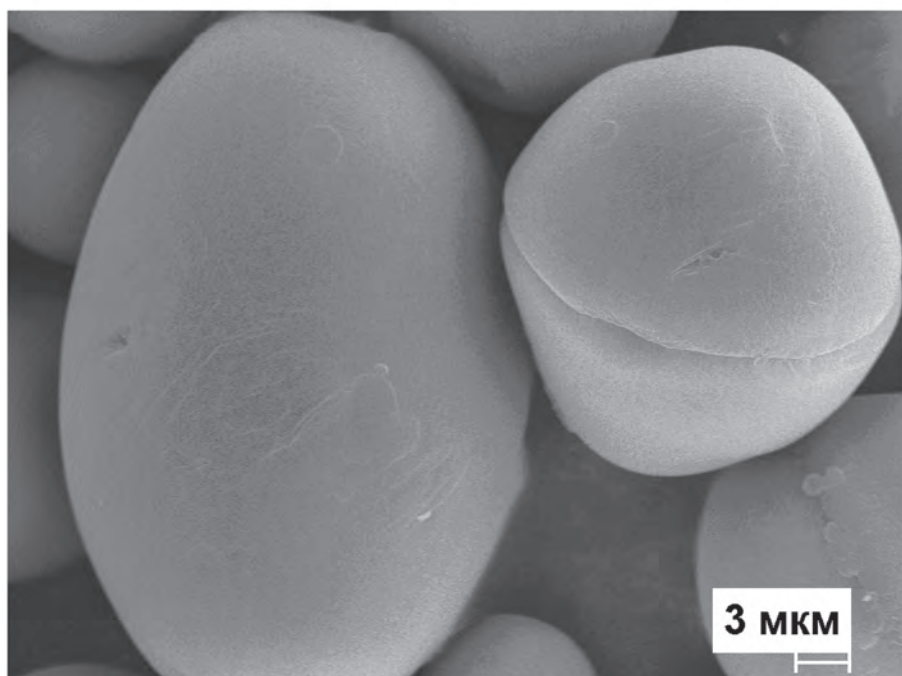
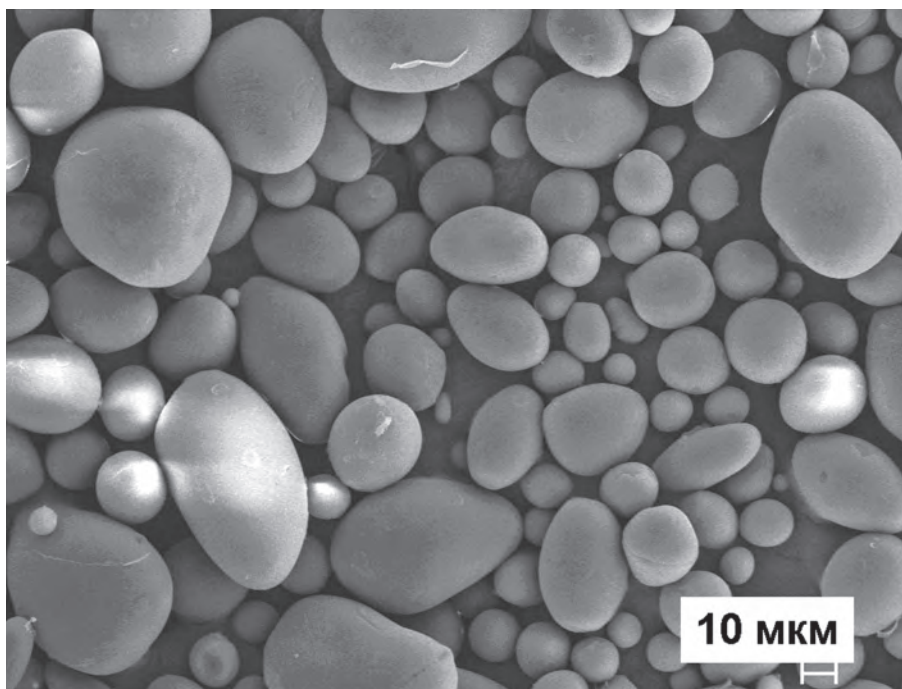


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Сюзор'е»

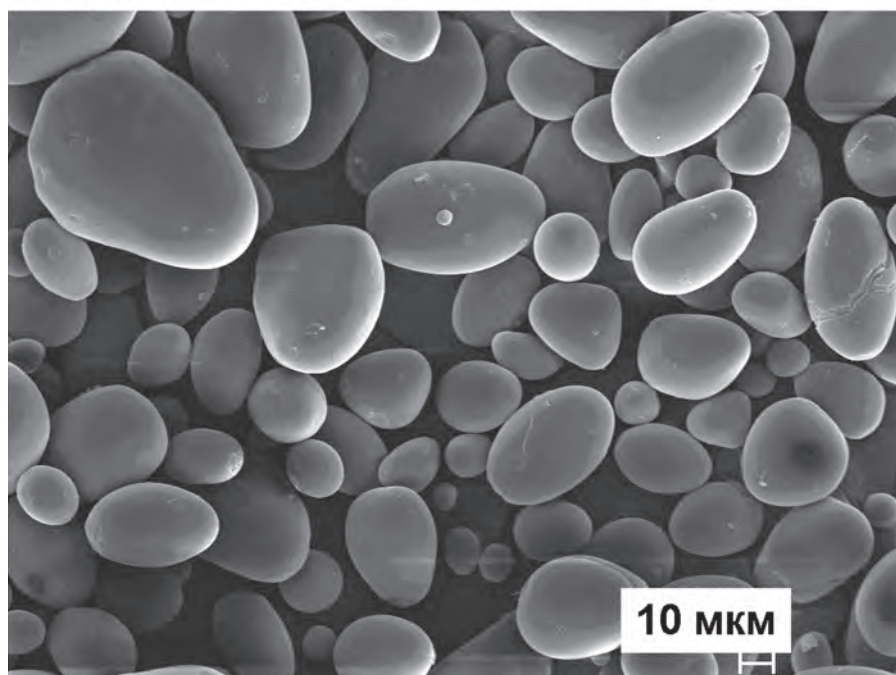
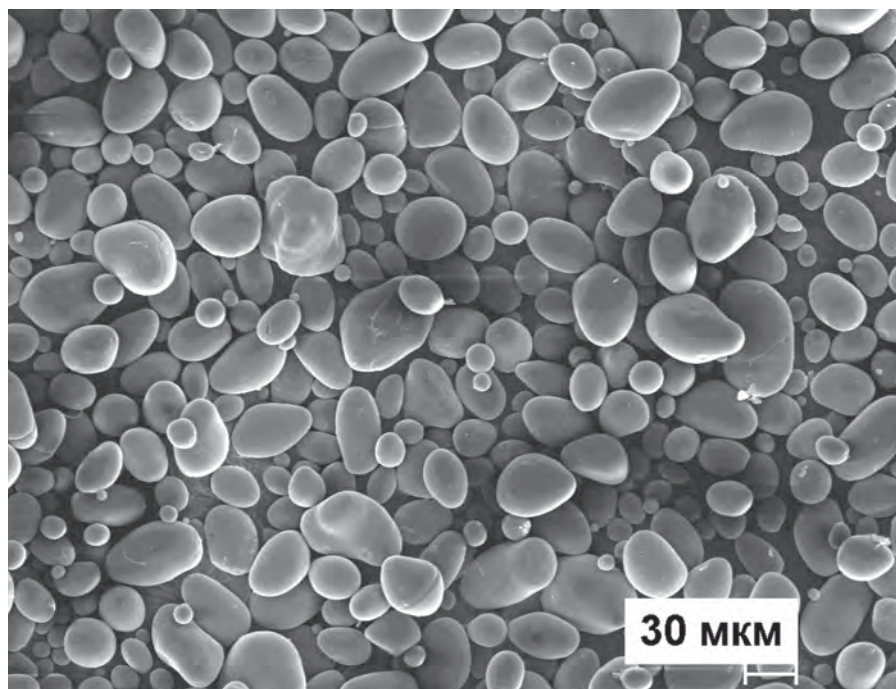




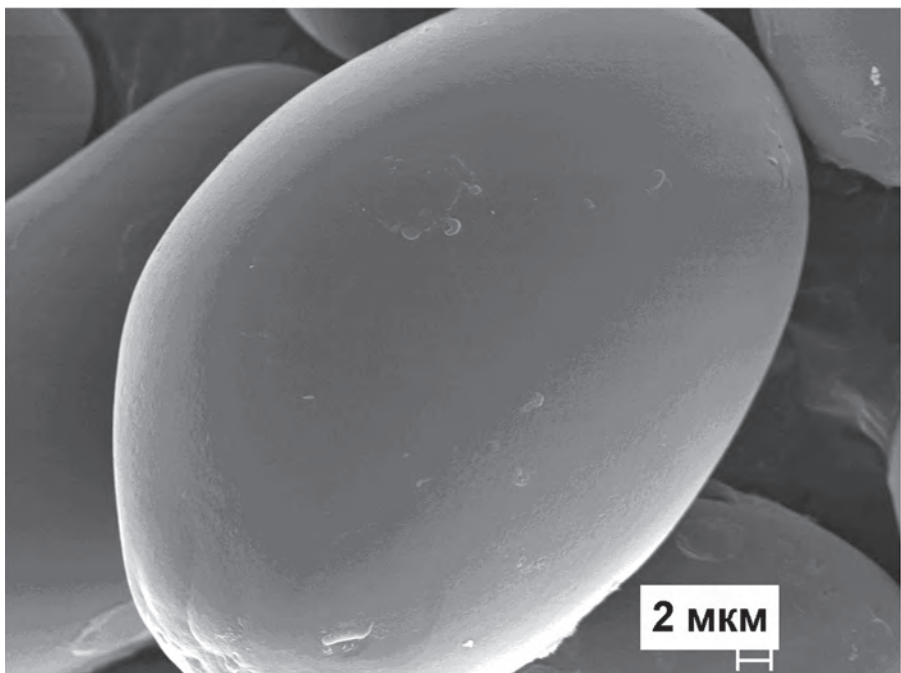
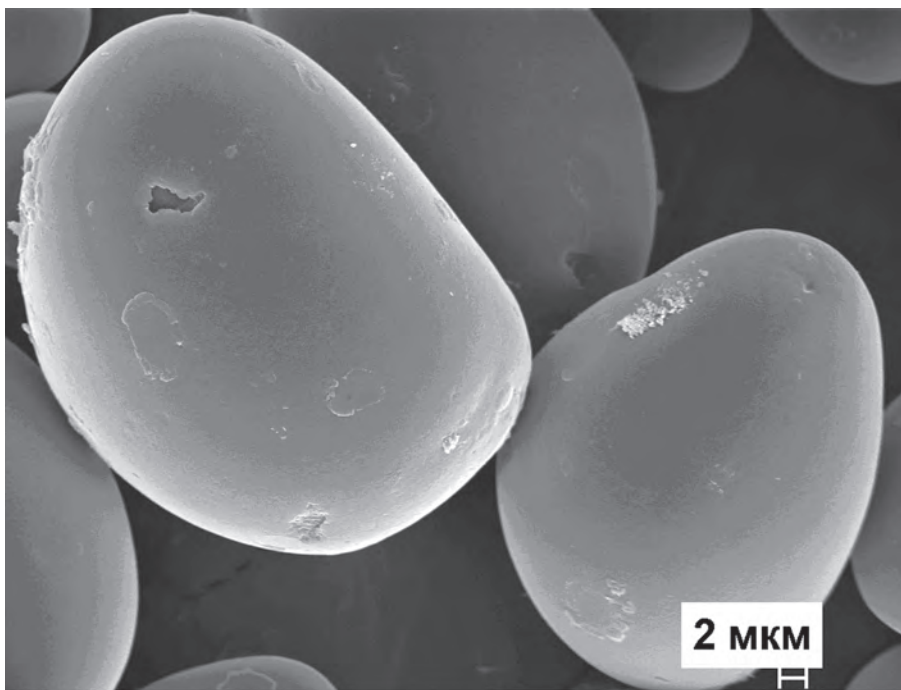
Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «Явар»



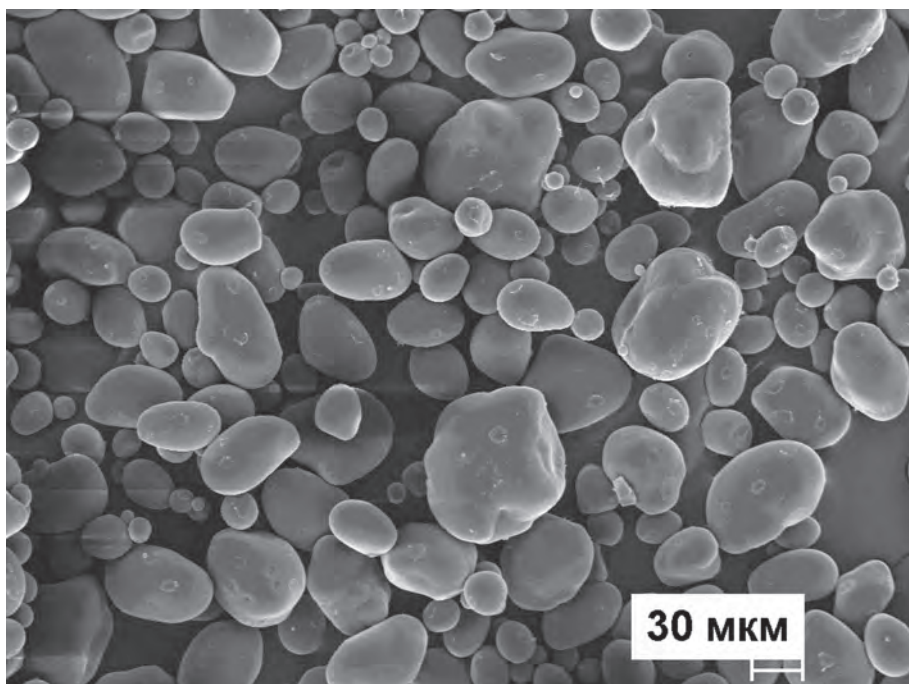
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Явар»



Панорамные сканирующие электронные микрофотографии зерен картофельного крахмала сорта «Уладар»

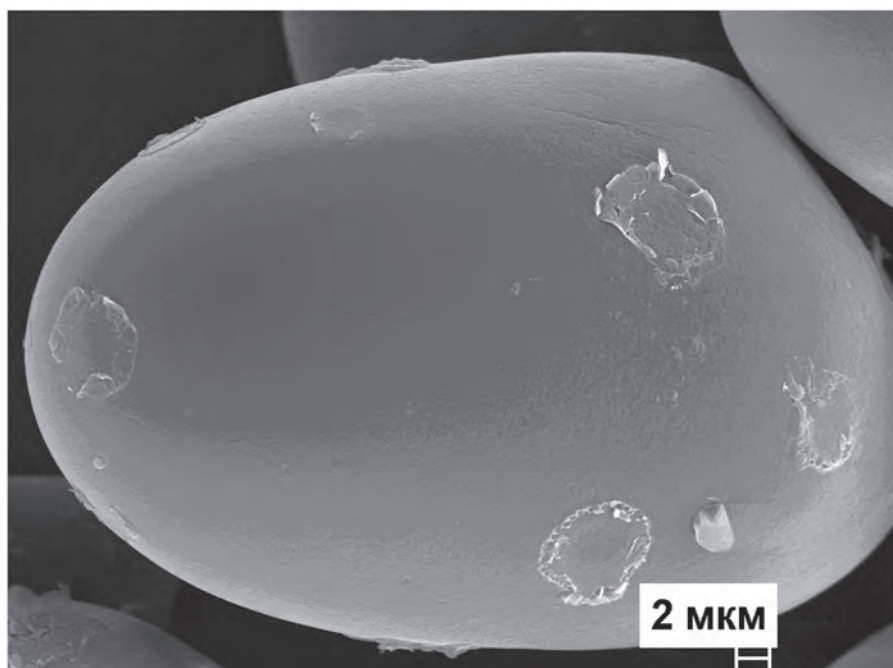
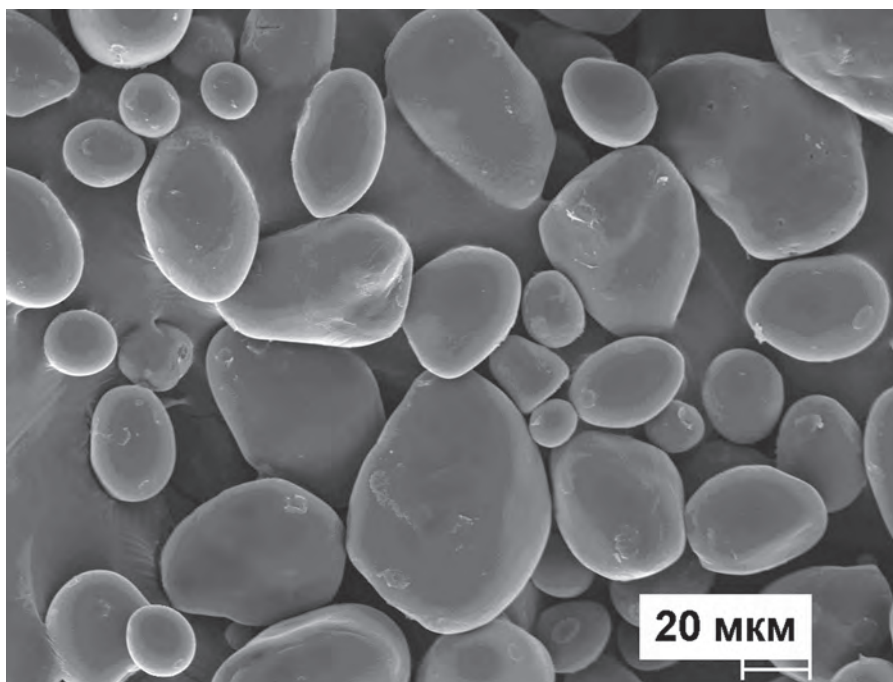


Сканирующие электронные микрофотографии зерен картофельного крахмала сорта «Уладар»

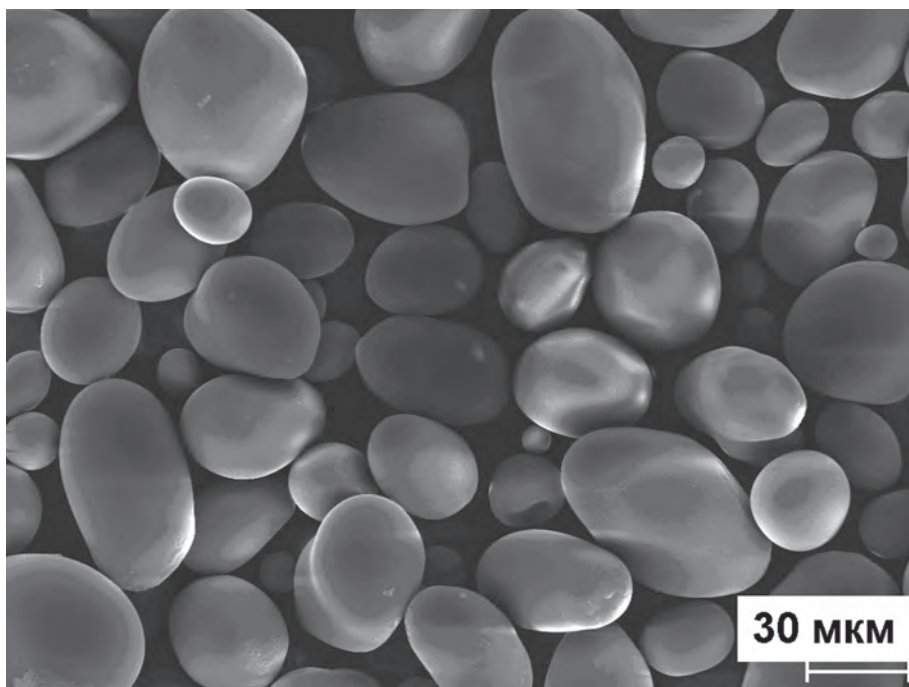


Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен картофельного крахмала сорта «Веснянка»

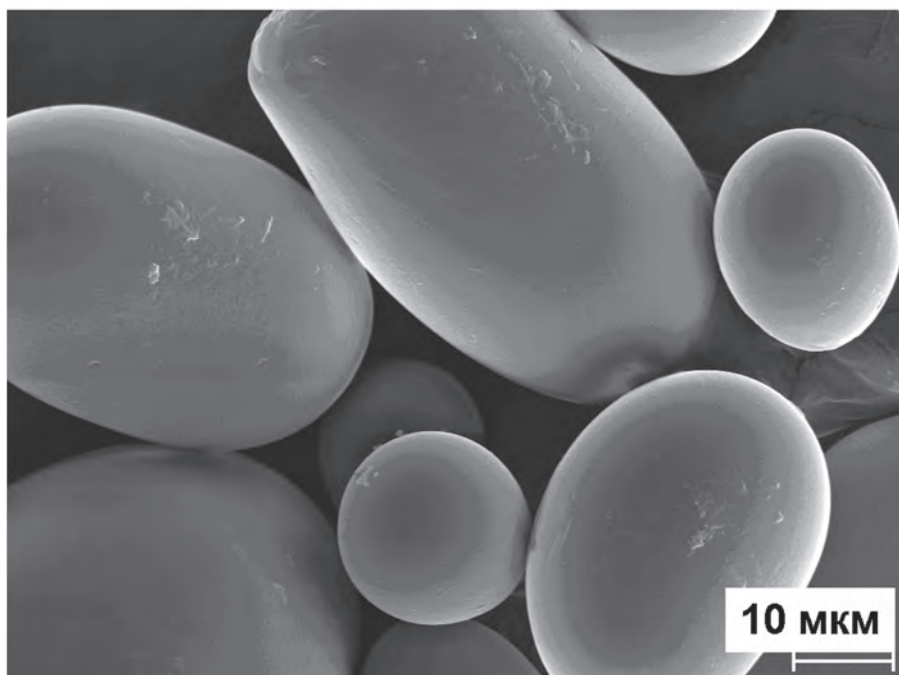
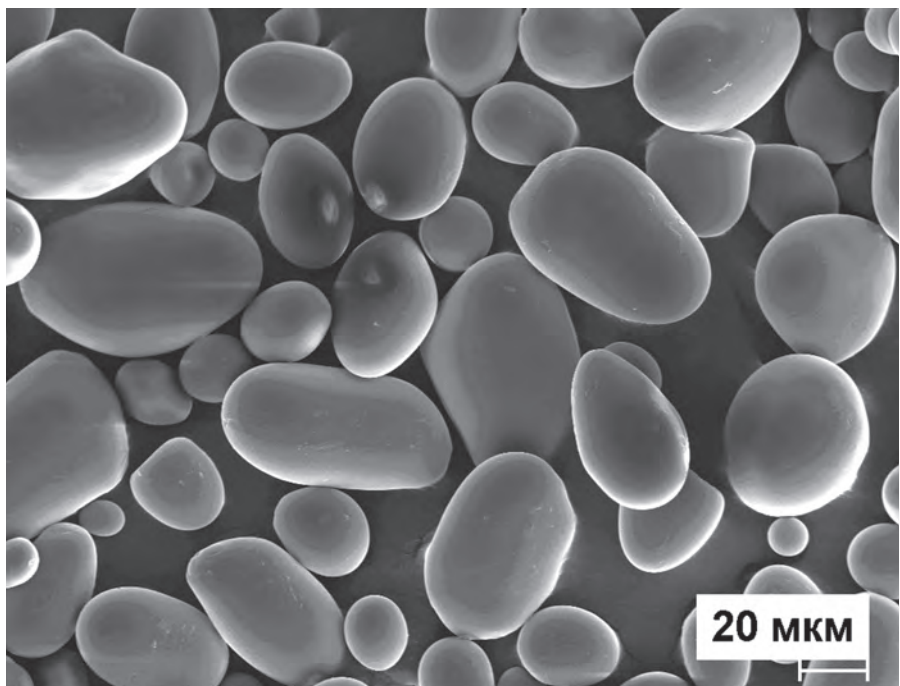




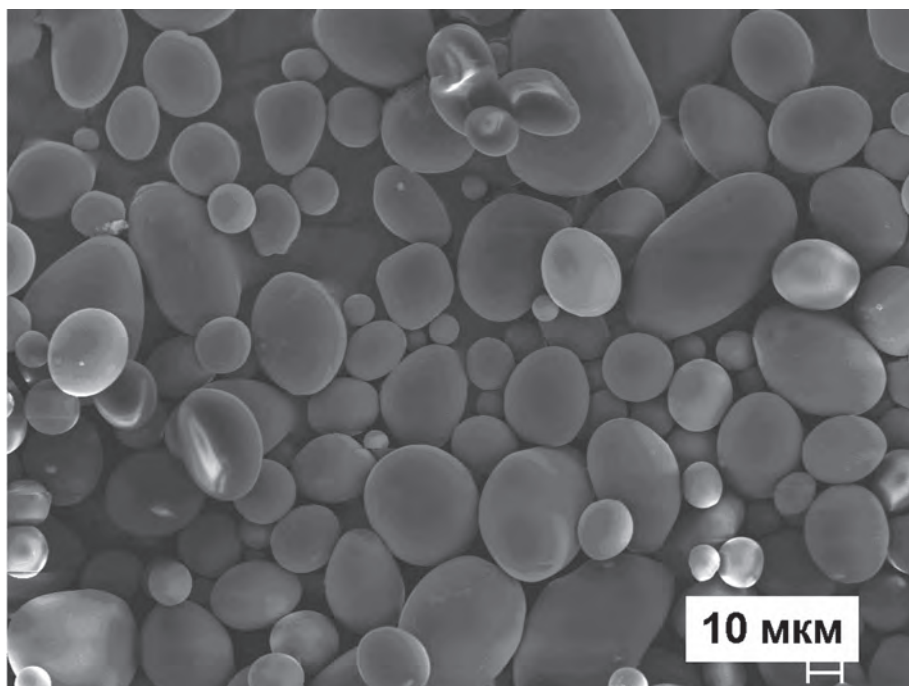
Сканирующие электронные микрофотографии зерен картофельного крахмала сорта «Веснянка»



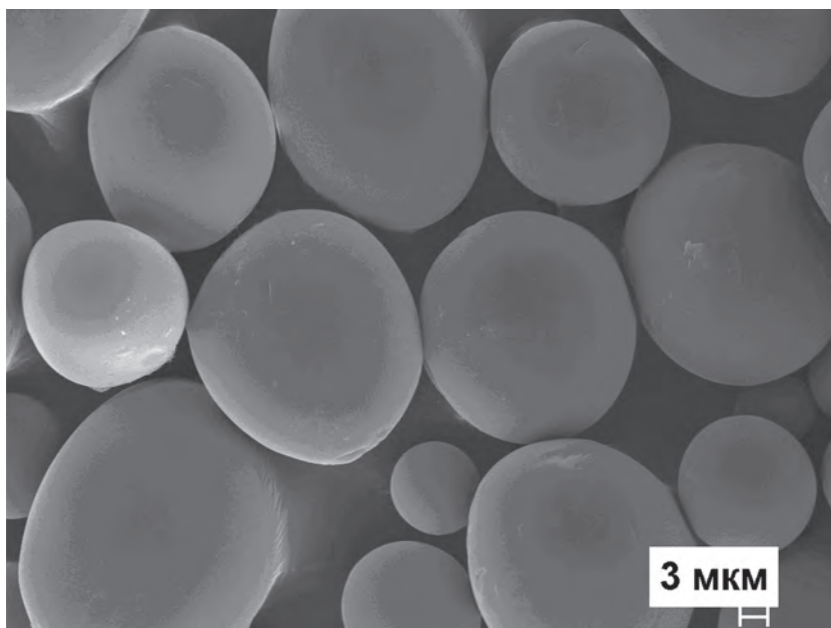
Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен картофельного крахмала сорта «*Albatros*»



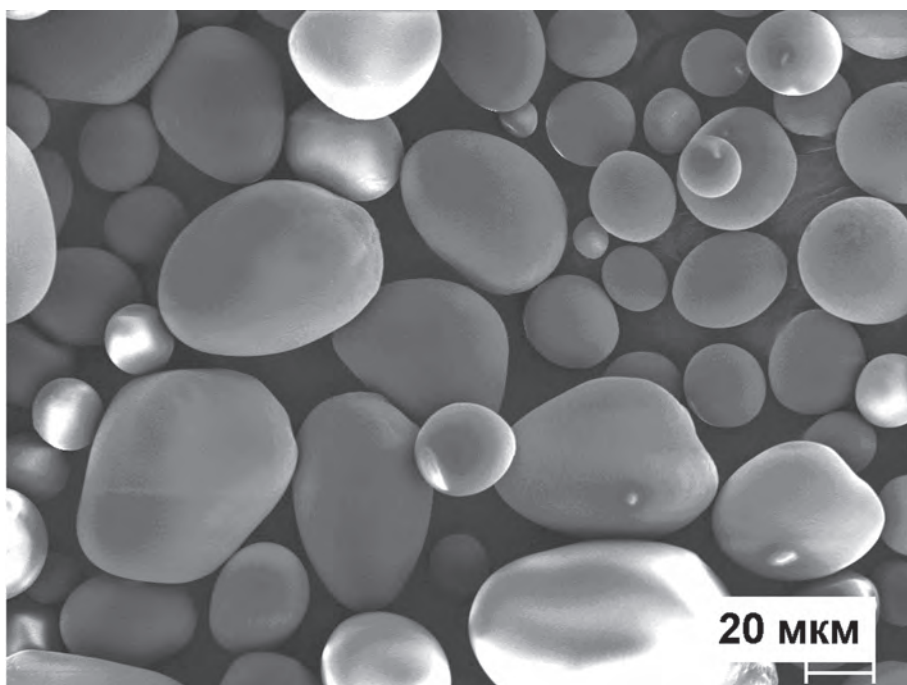
Сканирующие электронные микрофотографии зерен картофельного крахмала сорта «Albatros»



Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «*Kormoran*»

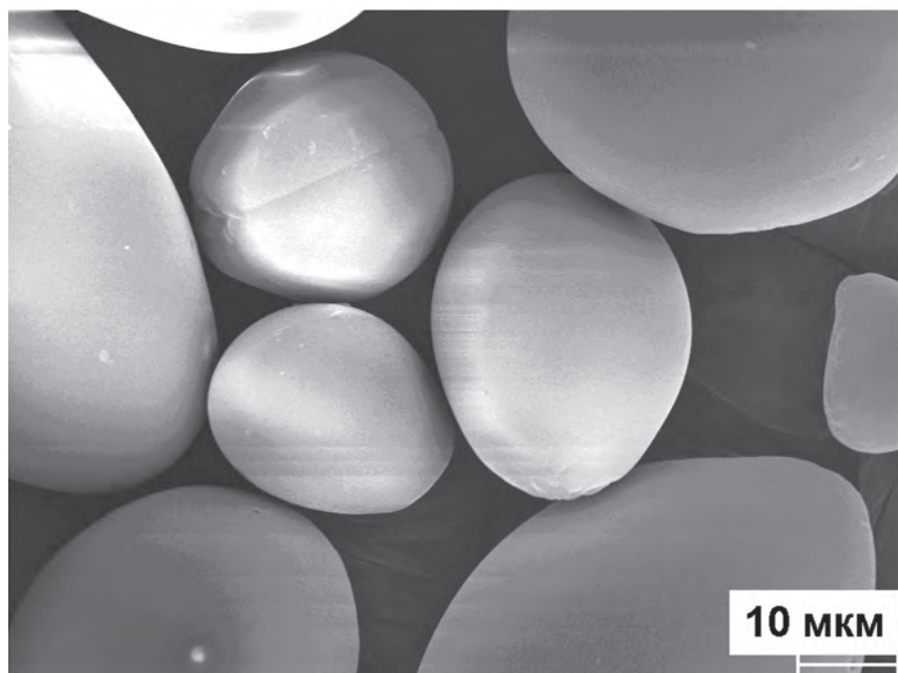
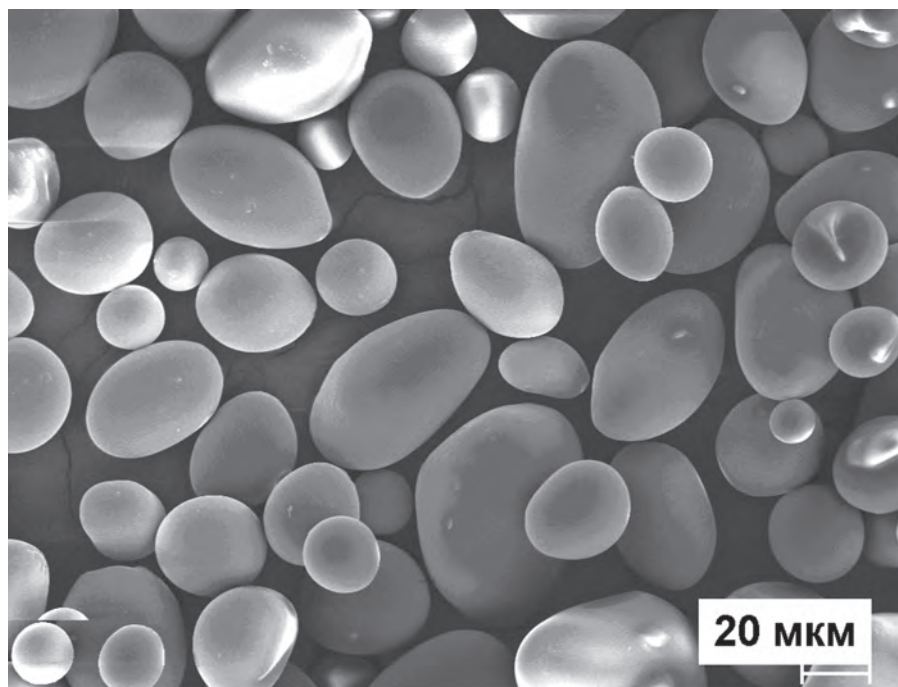


Сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «*Kormoran*»

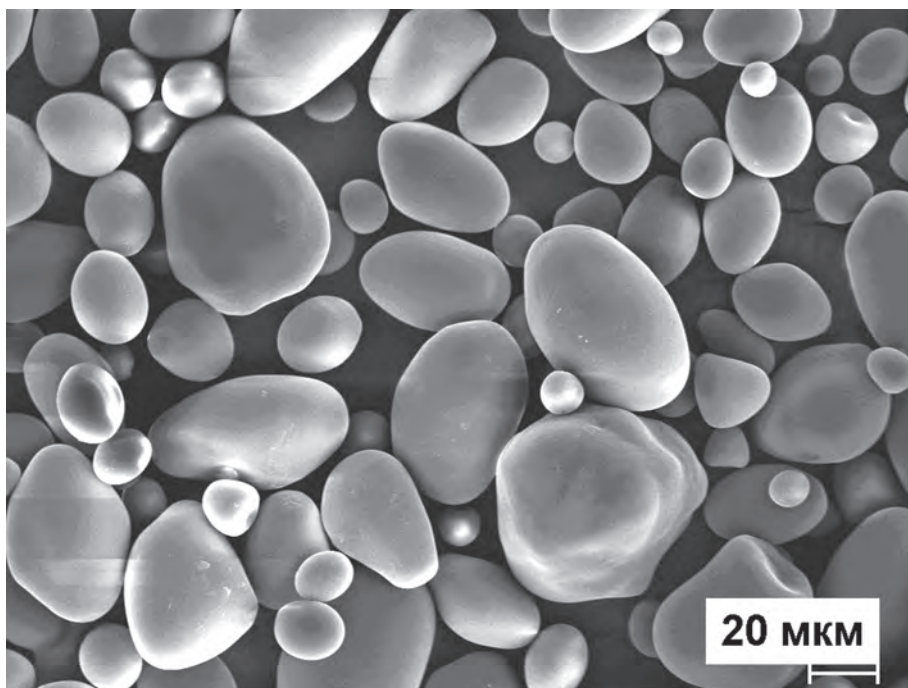


Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «*Kranich*»

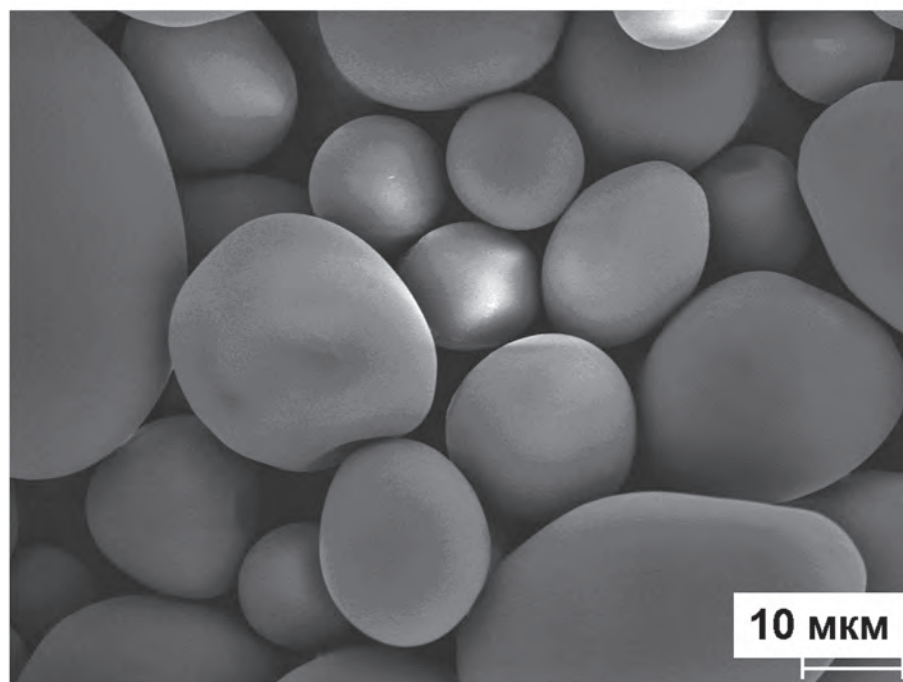
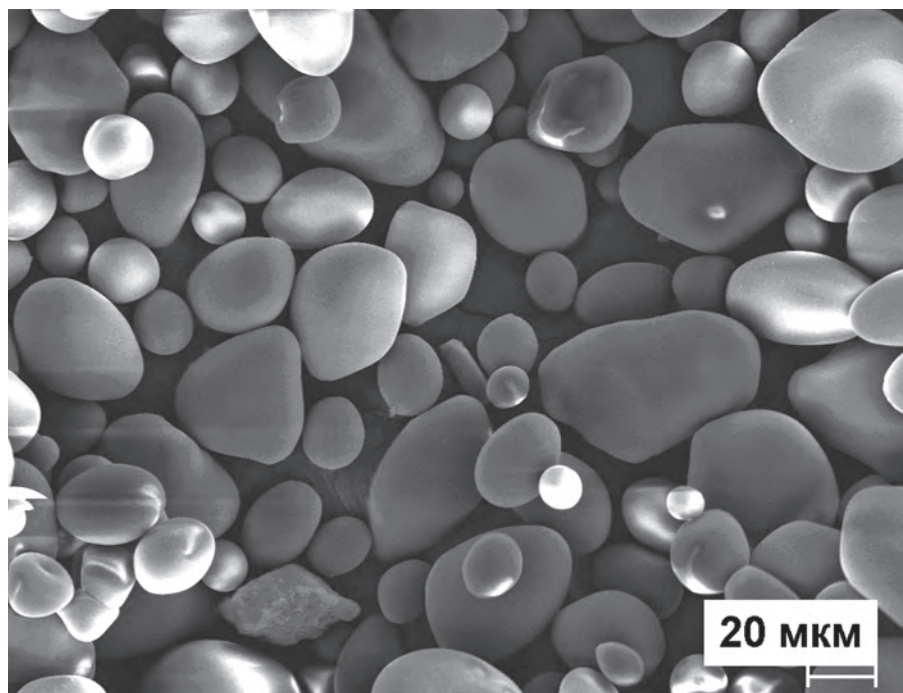




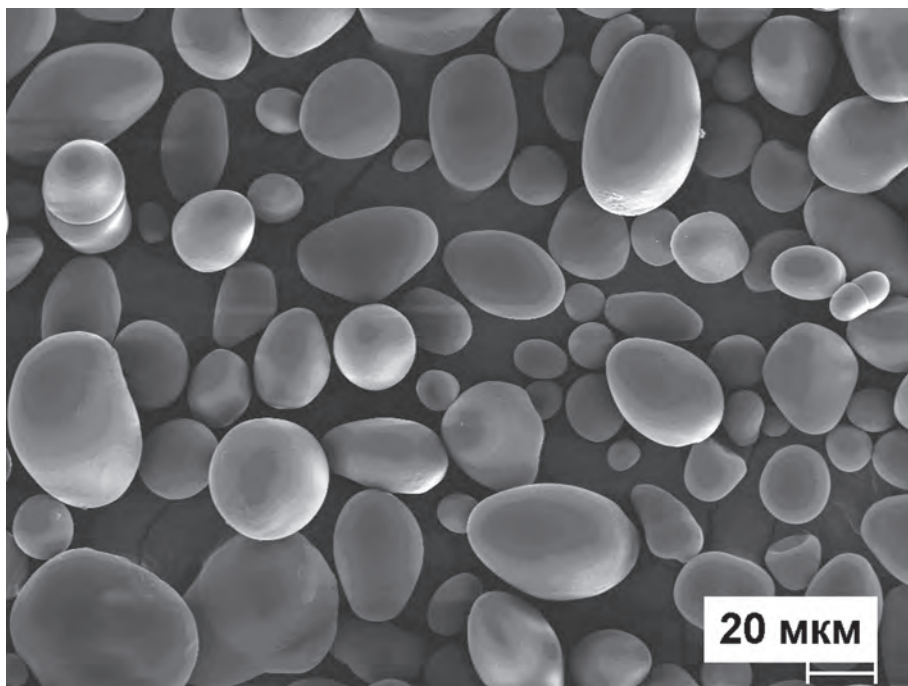
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «*Kranich*»



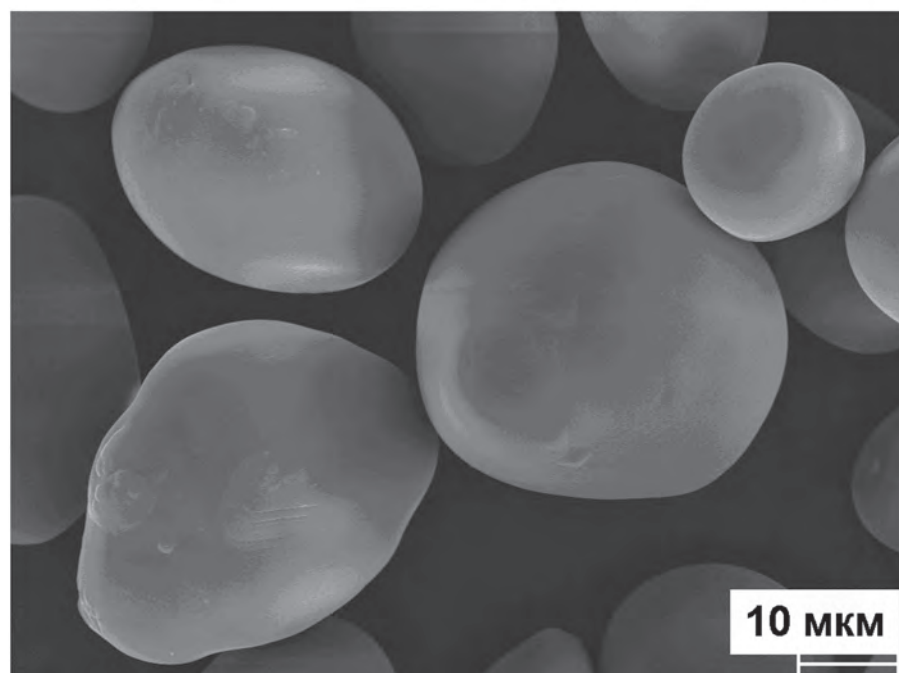
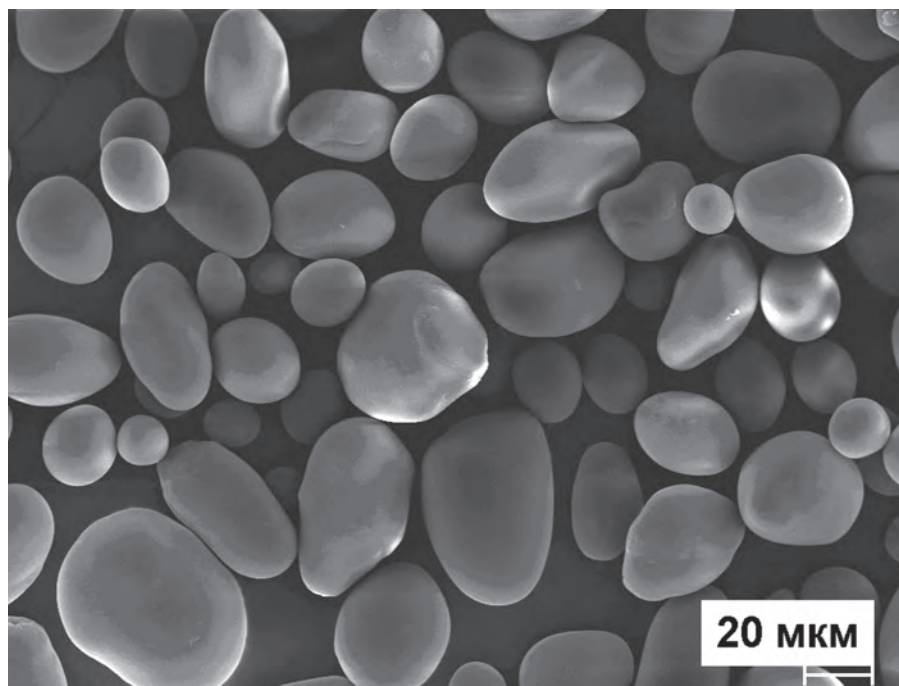
Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «*Sonata*»



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Sonata»

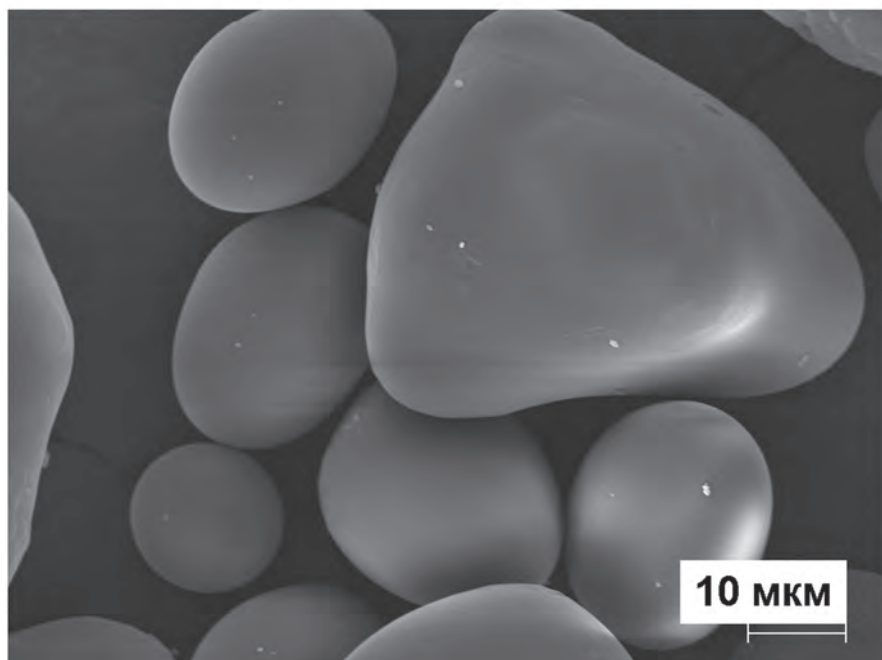
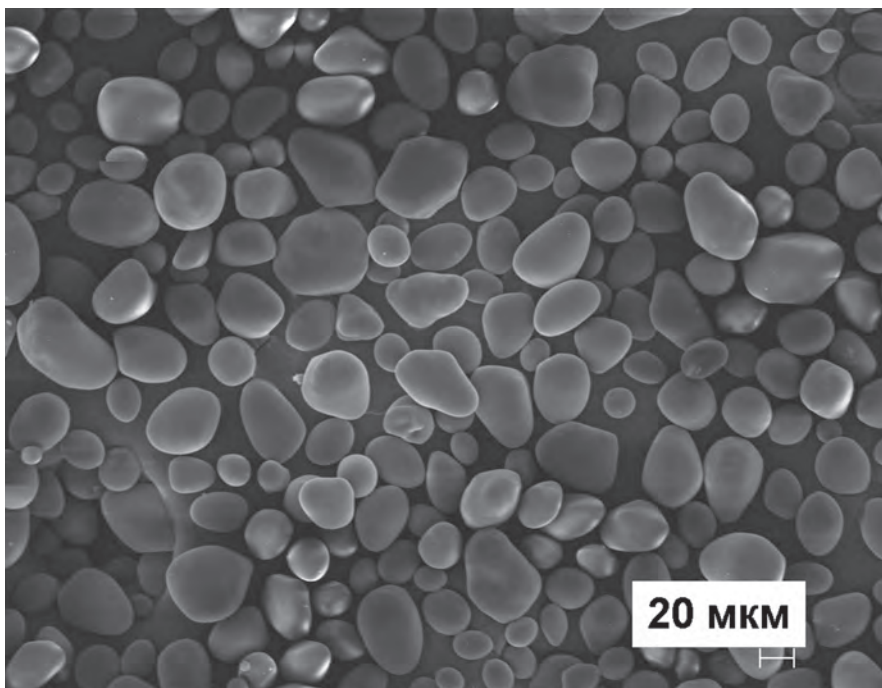


Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «Лазарь»

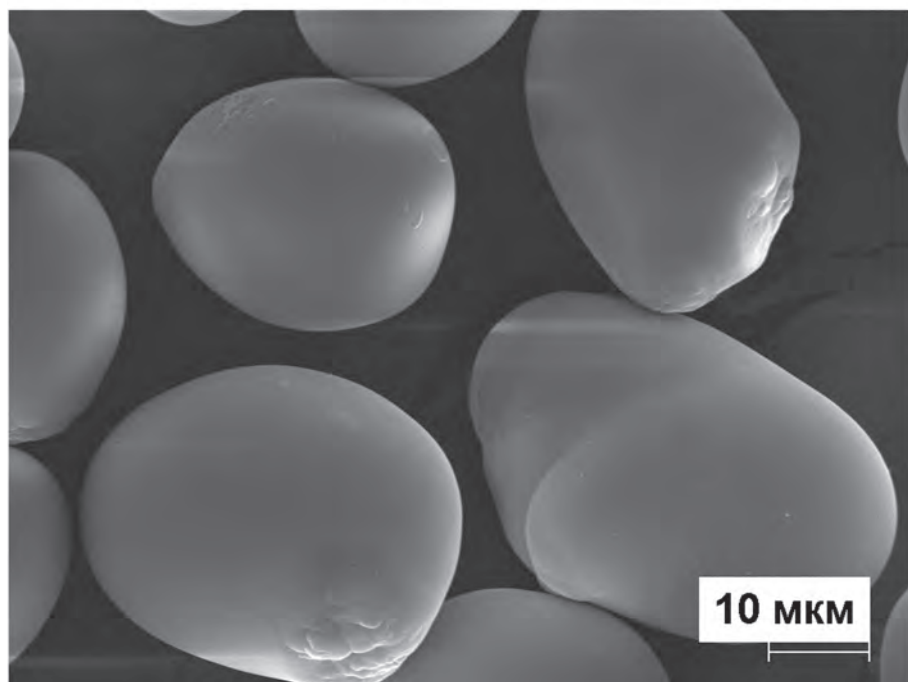
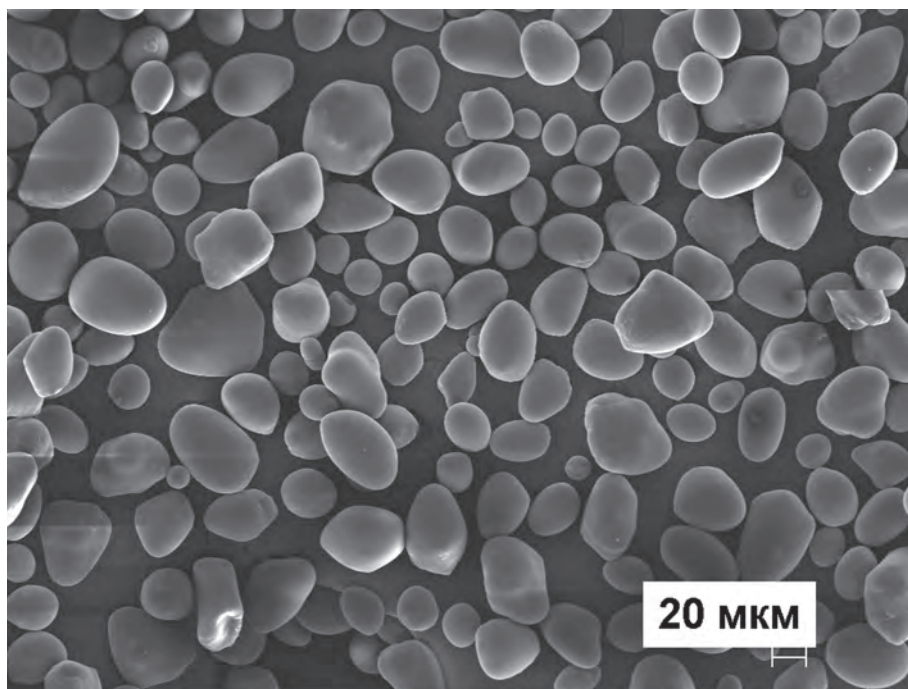


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Лазарь»

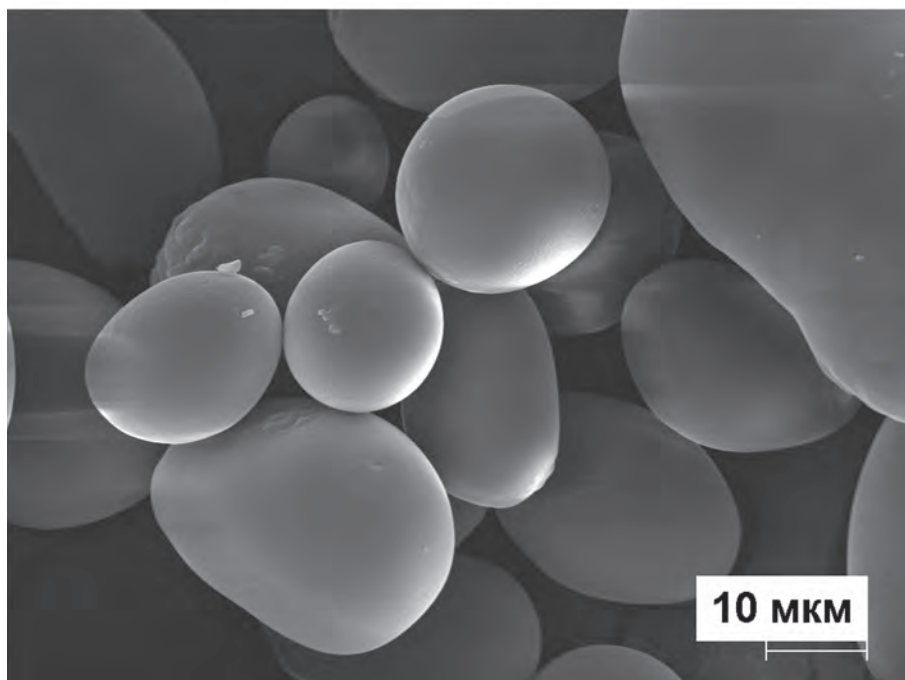
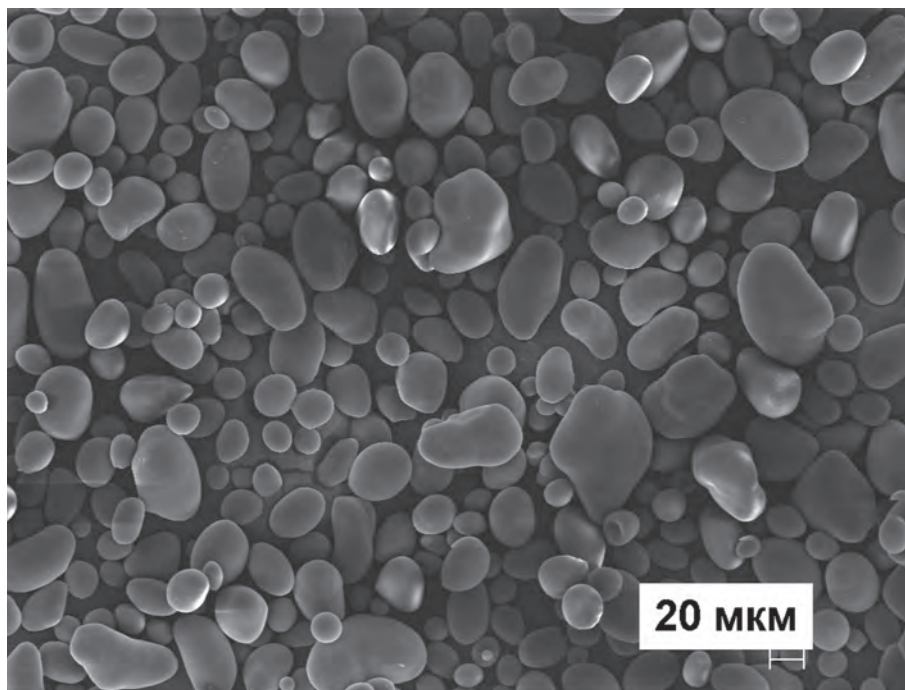




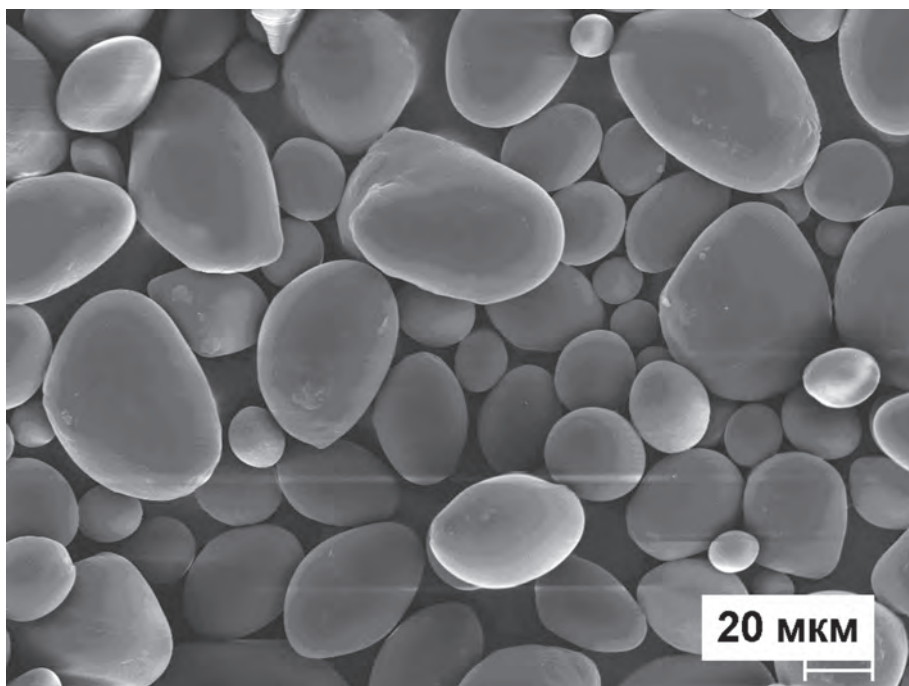
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Диво»



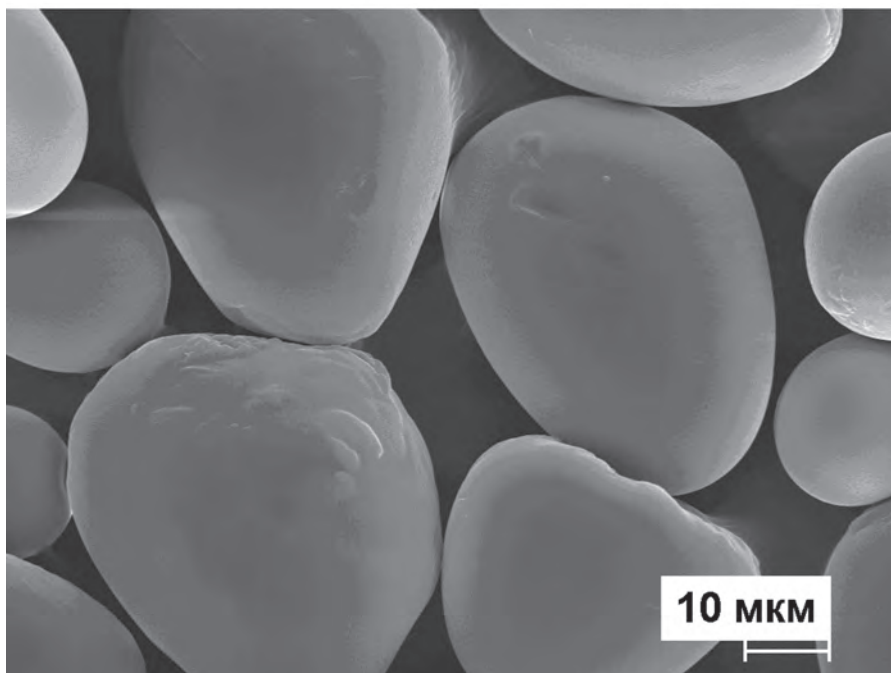
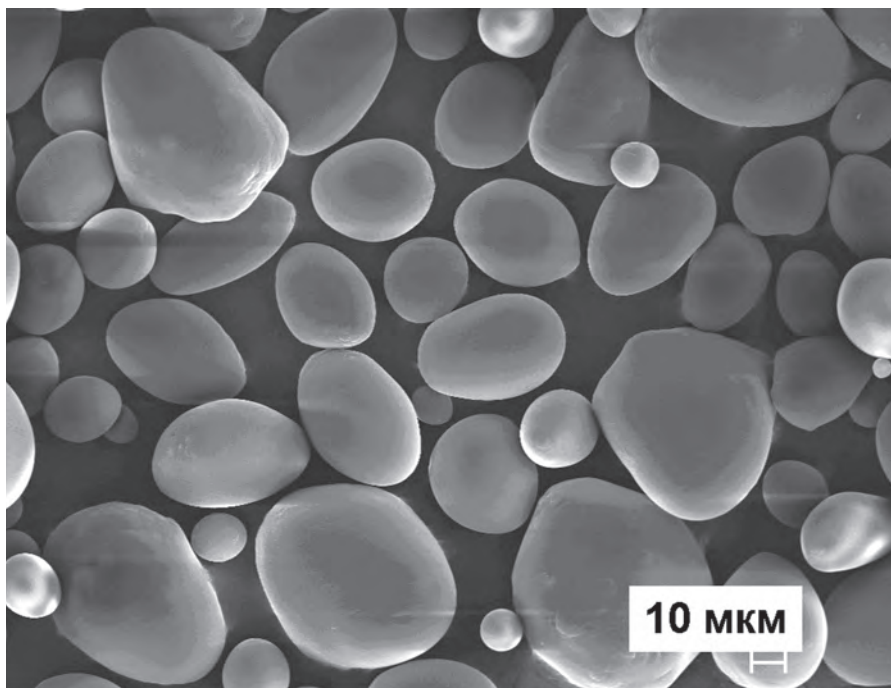
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Вестник»



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Эффект»

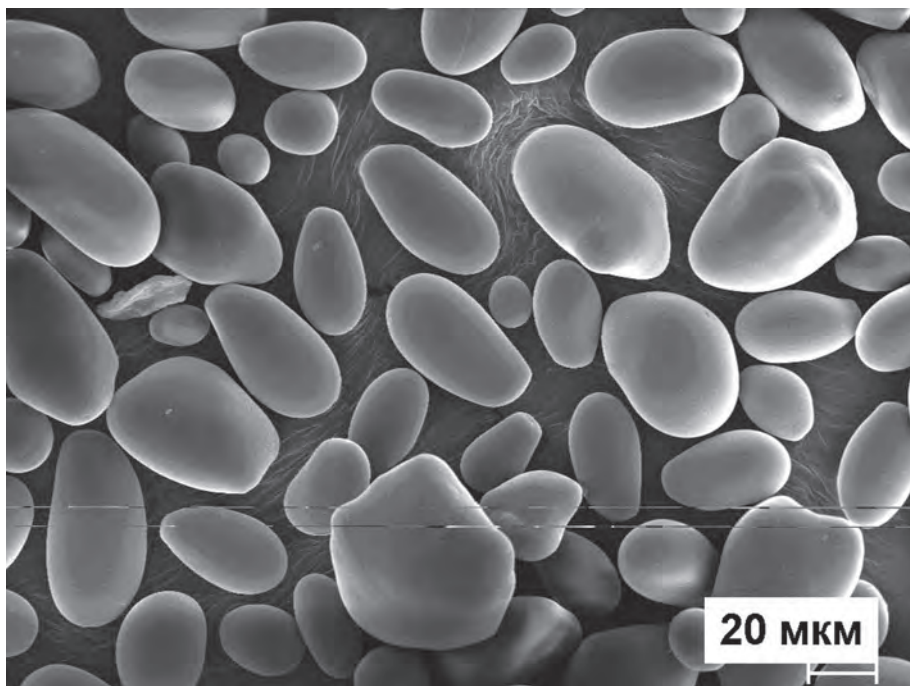


Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «Дзвін»

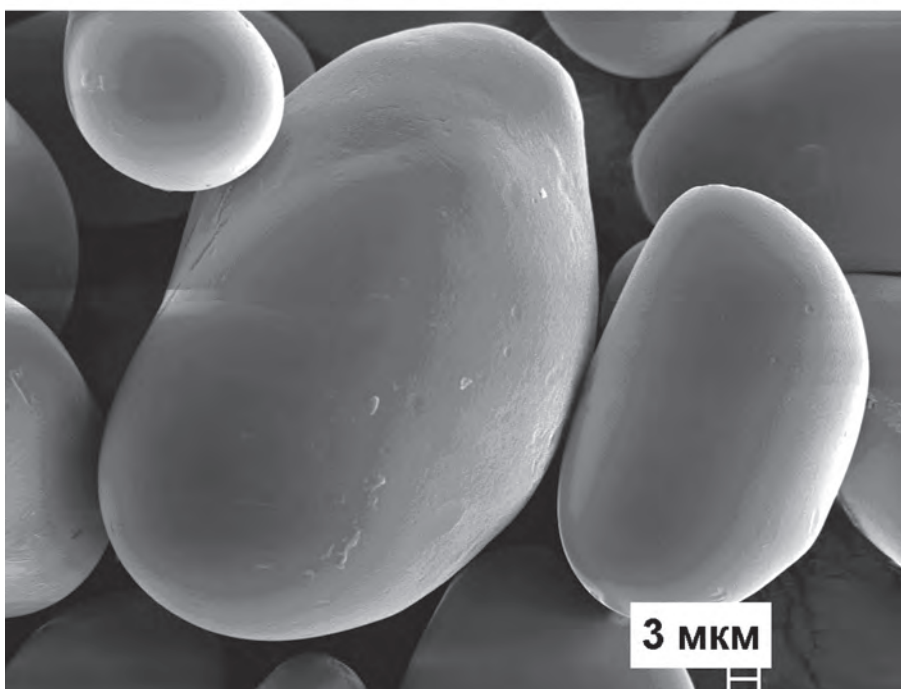
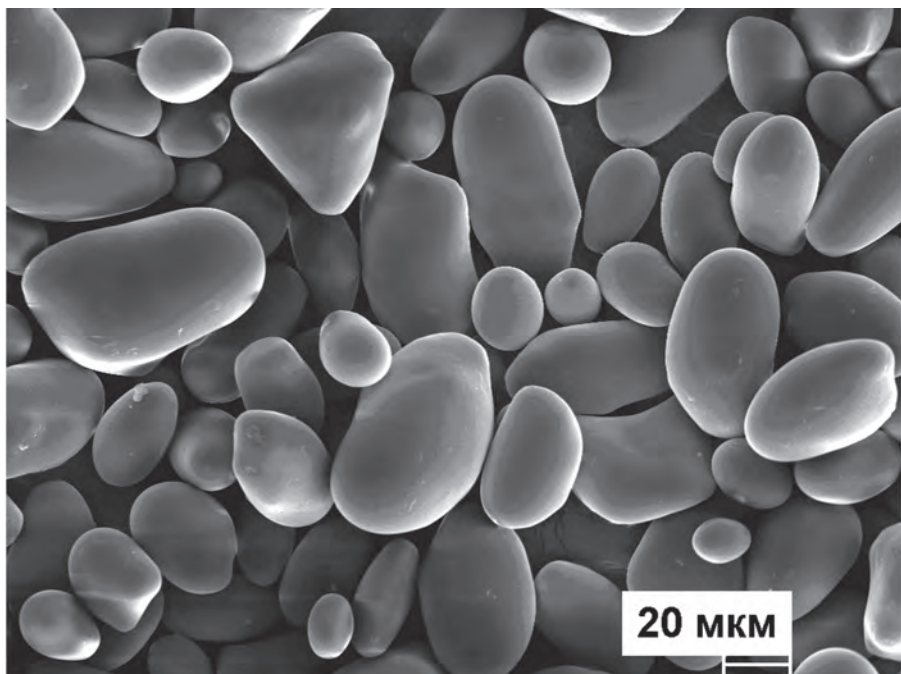


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Дзвін»





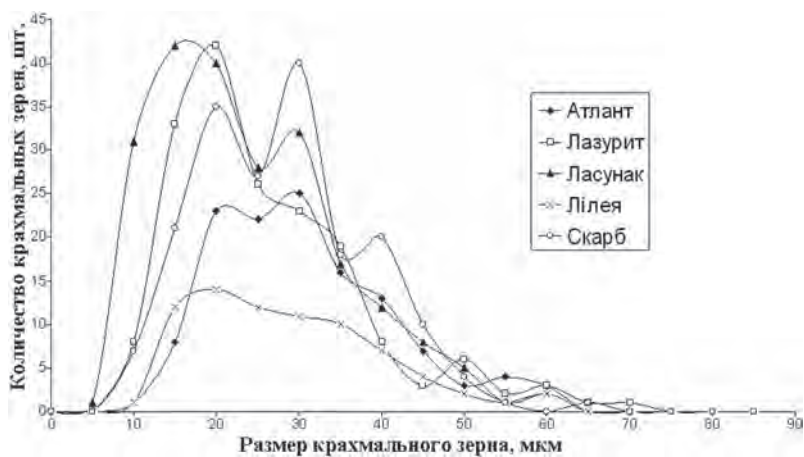
Панорамная сканирующая электронная микрофотография зерен нативного картофельного крахмала сорта «Пелека»



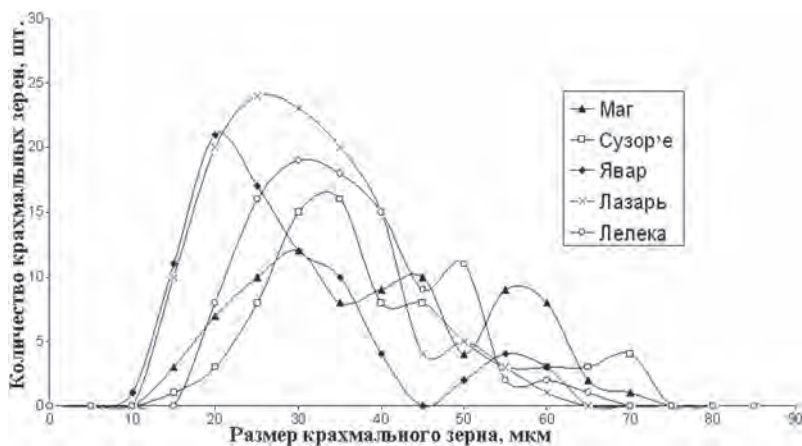
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала сорта «Лелека»



Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля



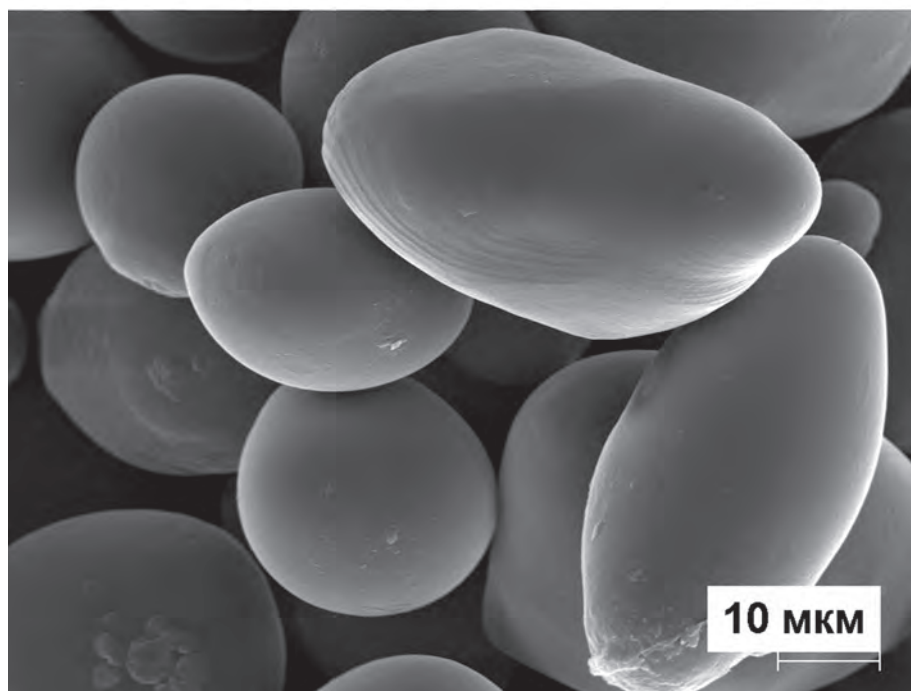
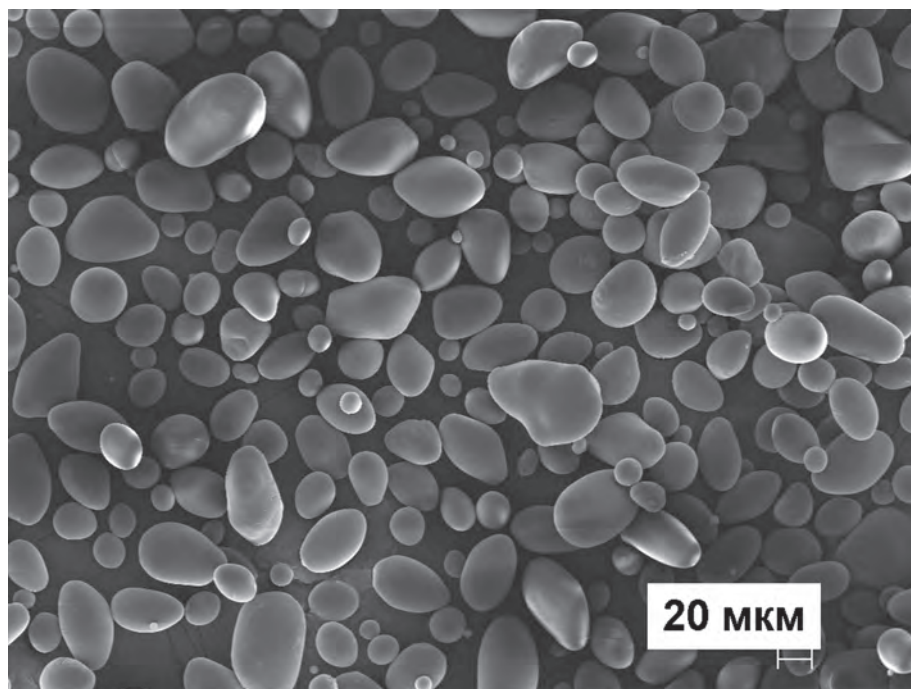
Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля



Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля

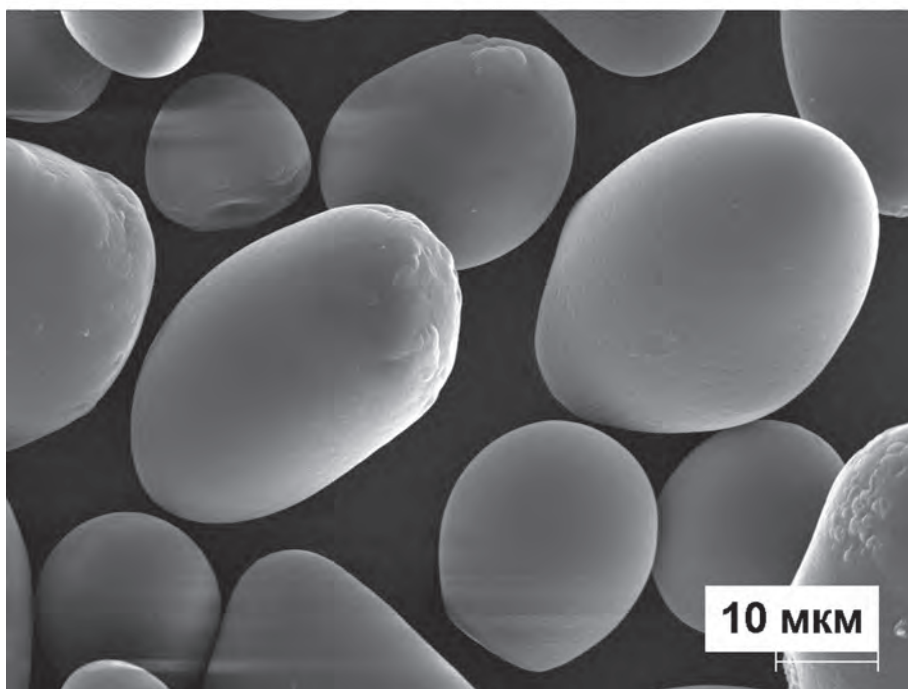
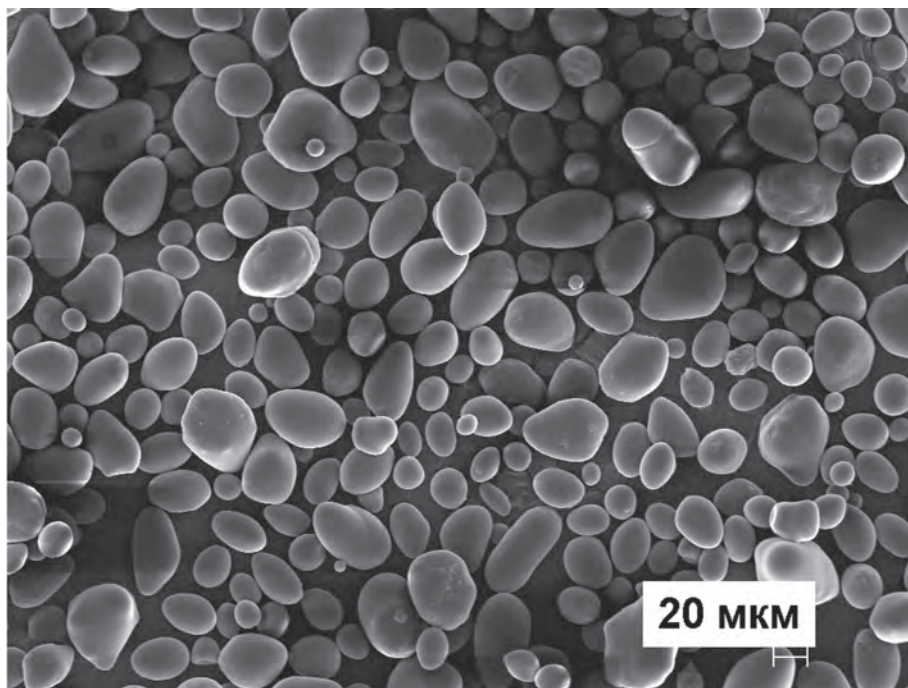


Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля

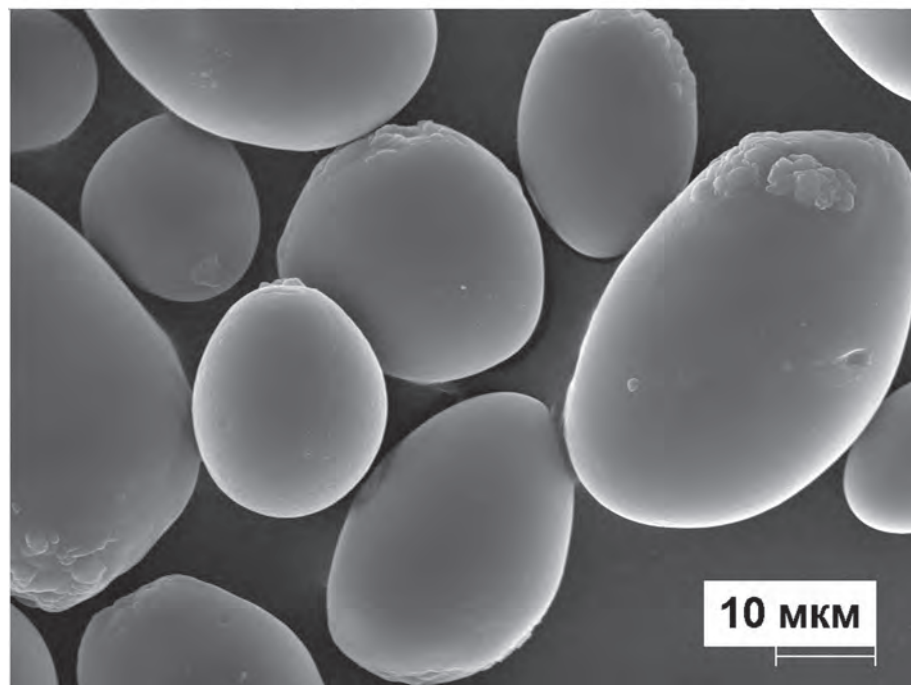
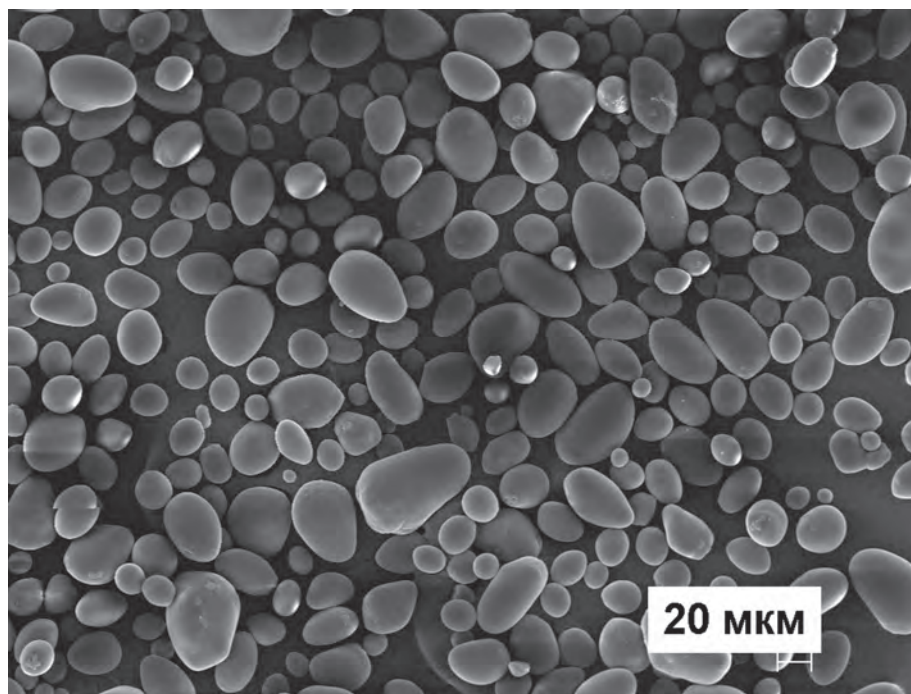


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1513-4

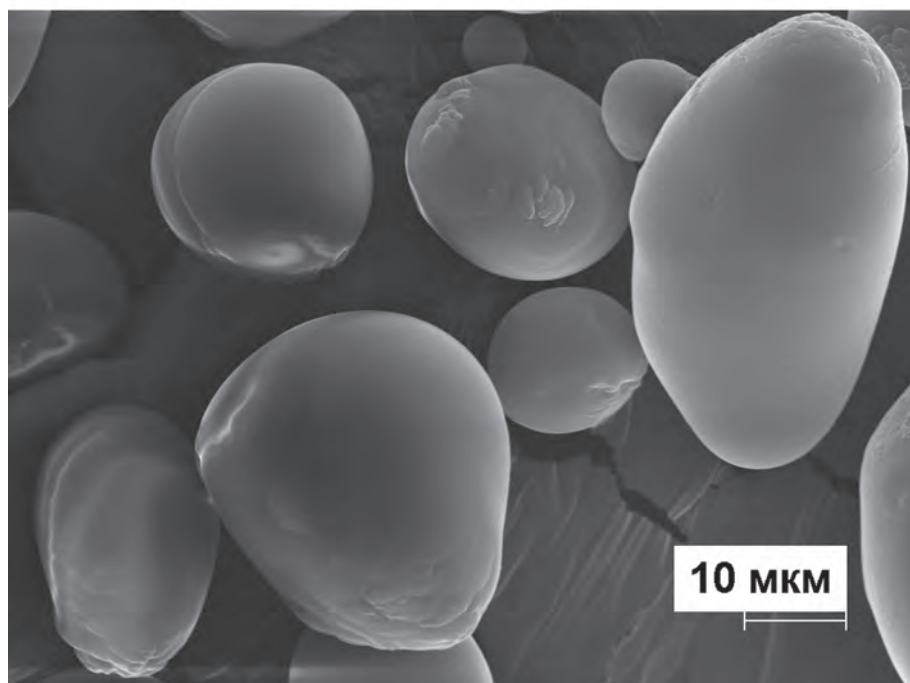
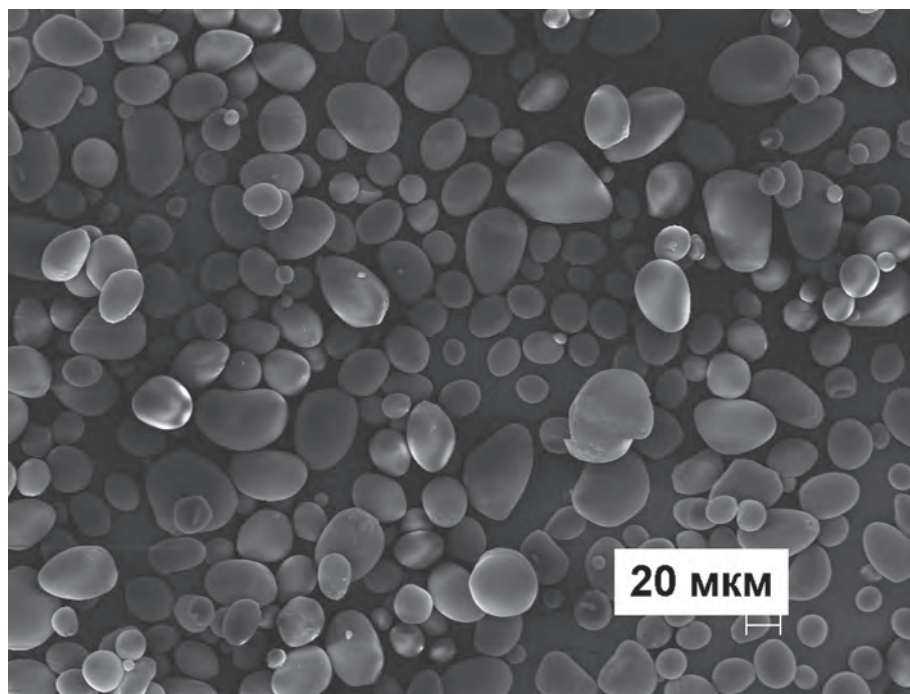




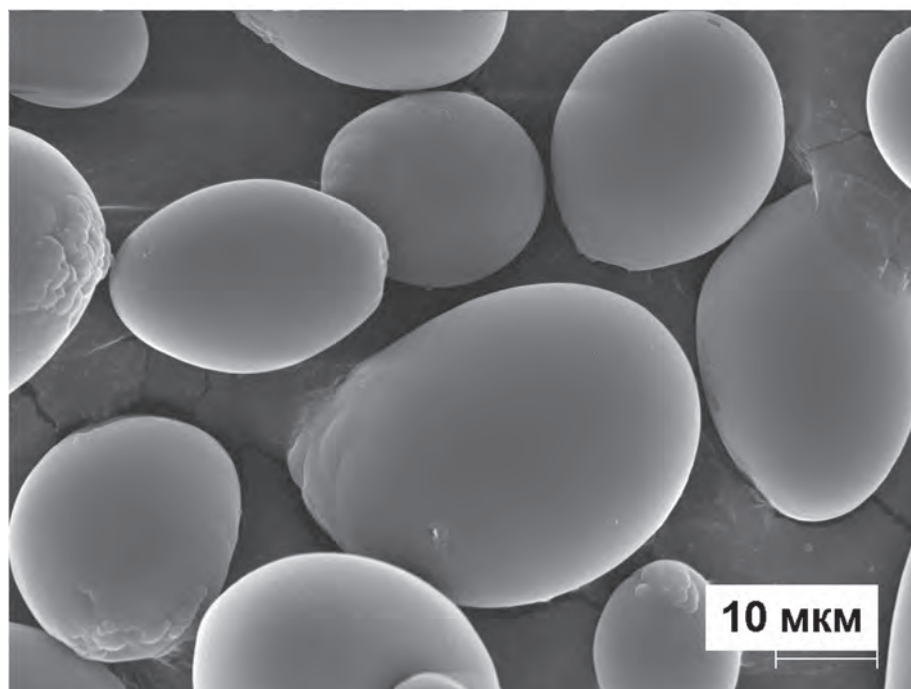
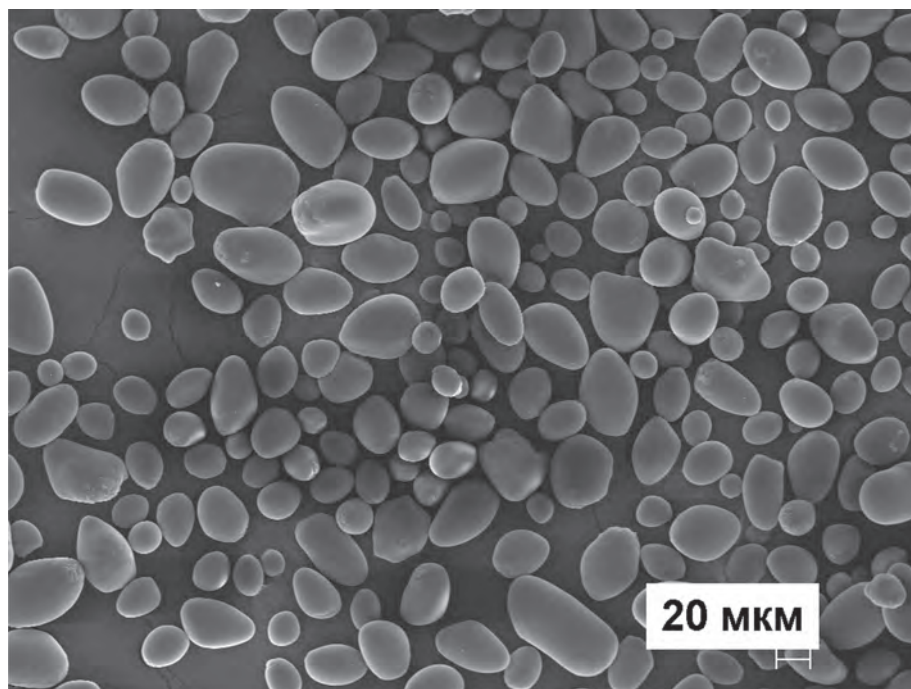
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1598-14



Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1600-4

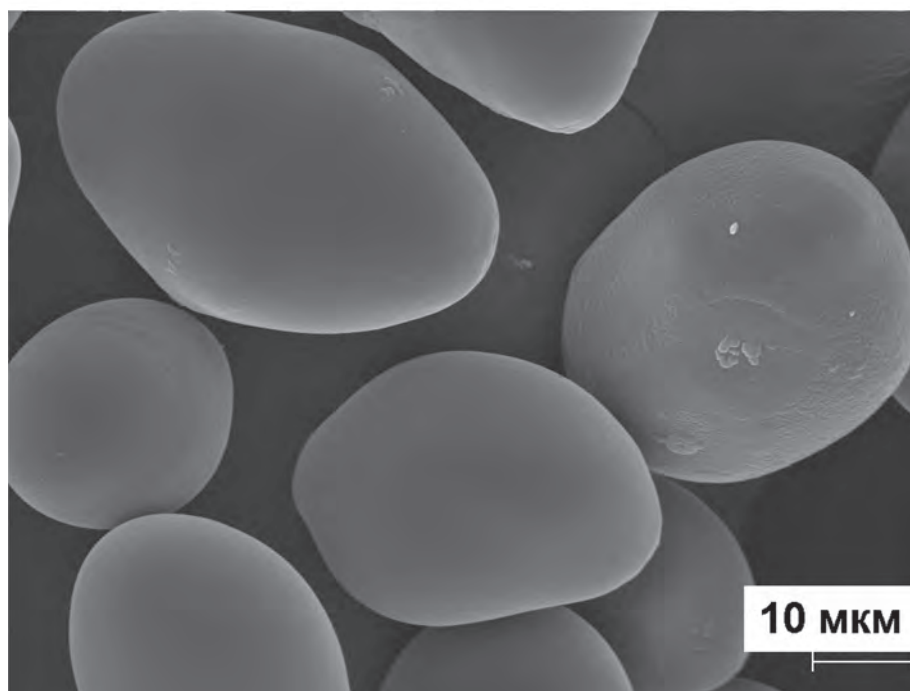
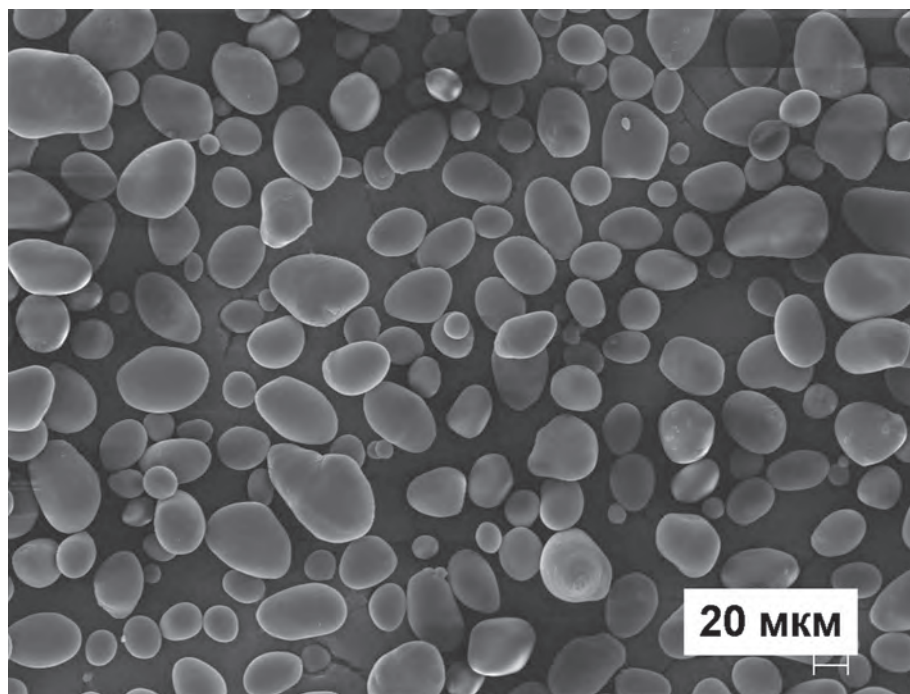


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1600-12



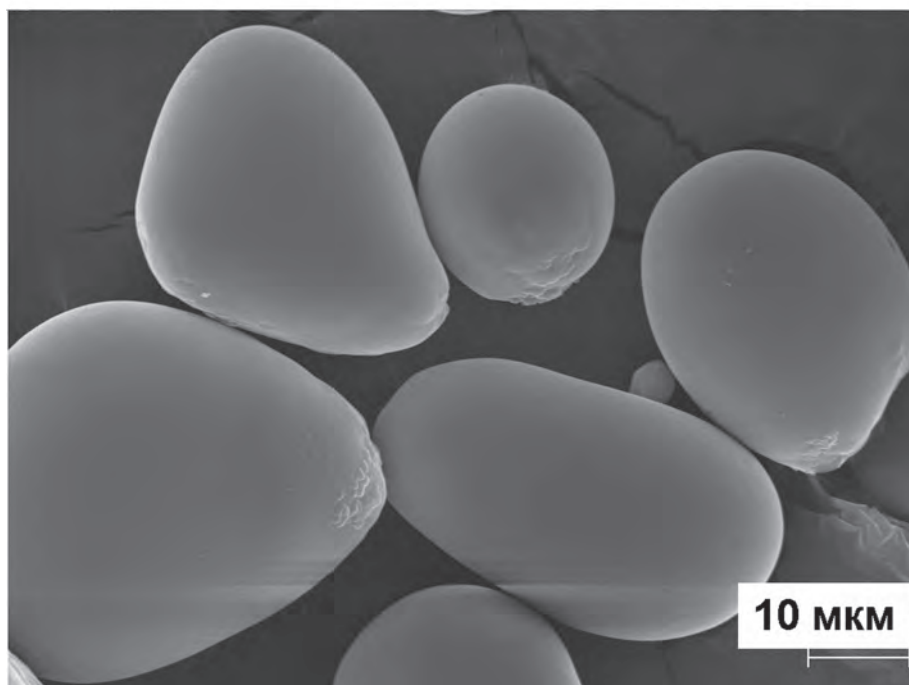
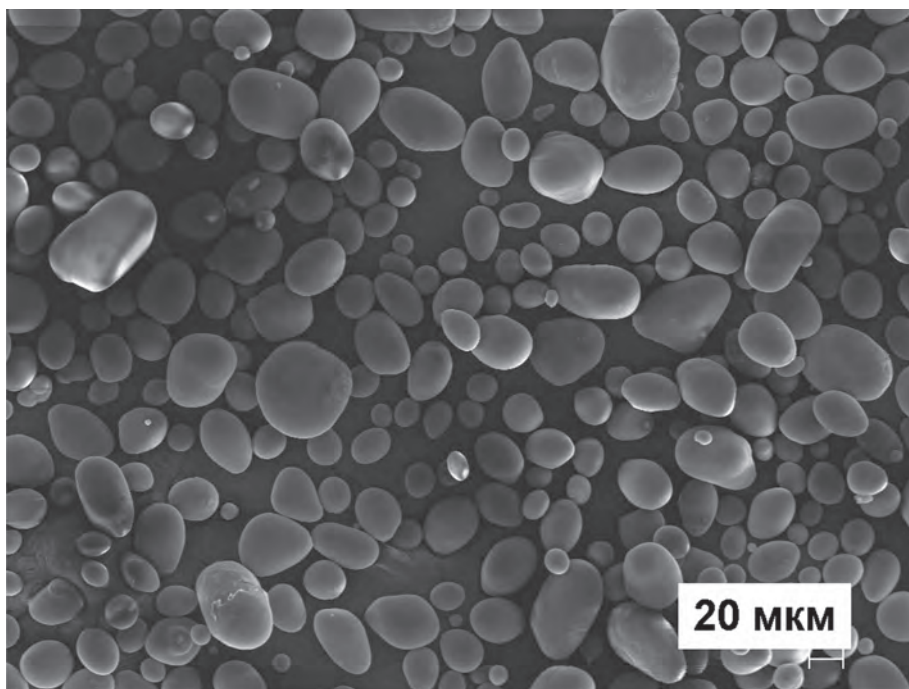
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1603-15



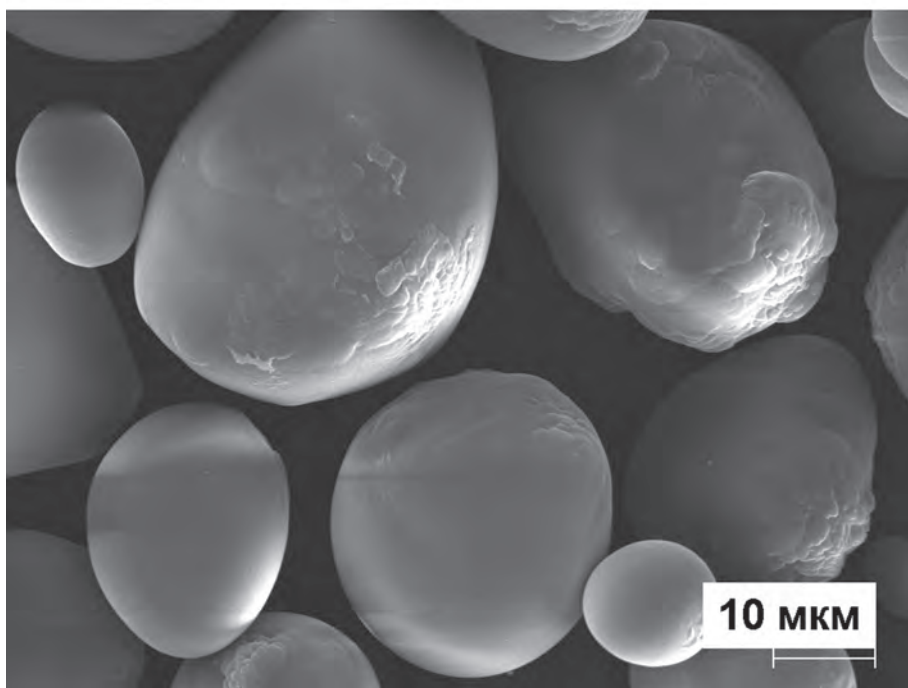
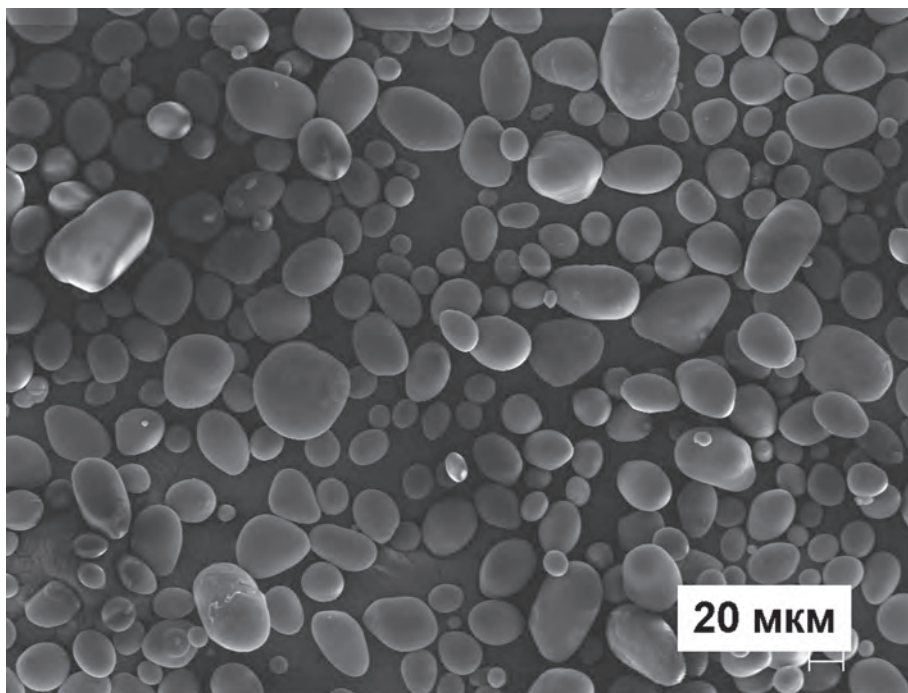


Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1607-3

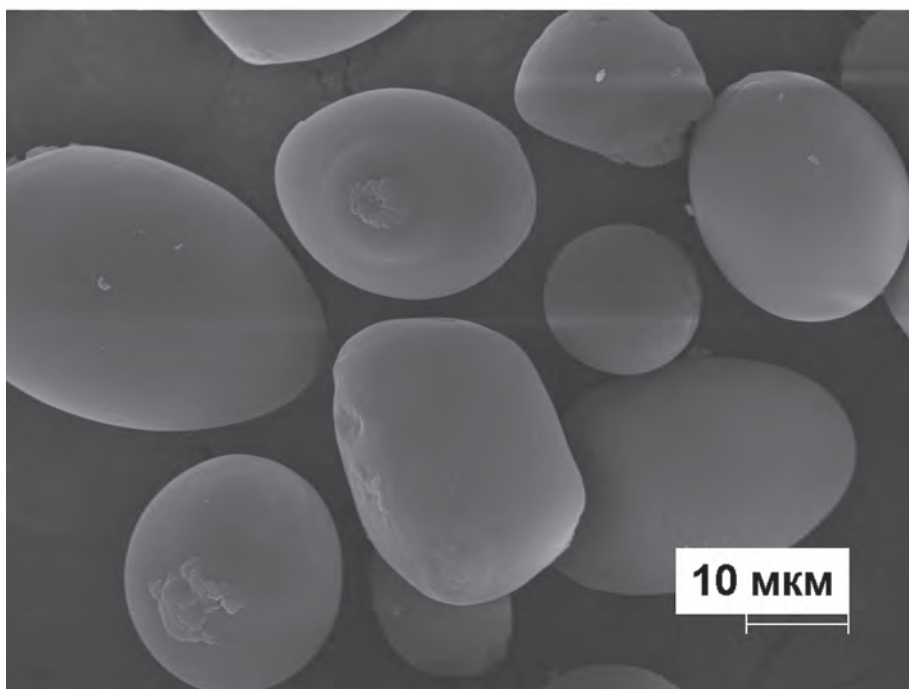
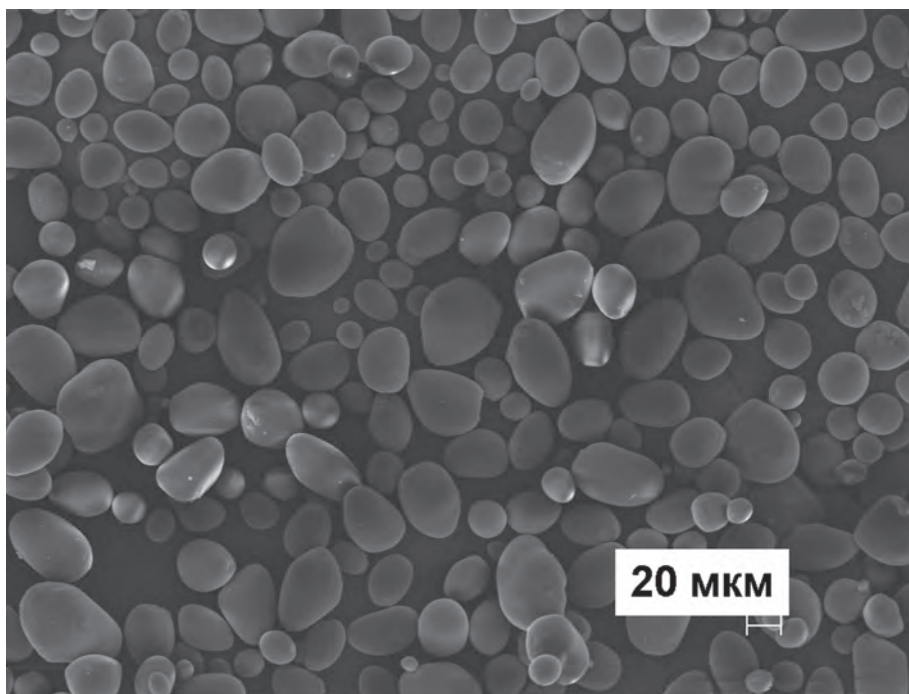




Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1600-7



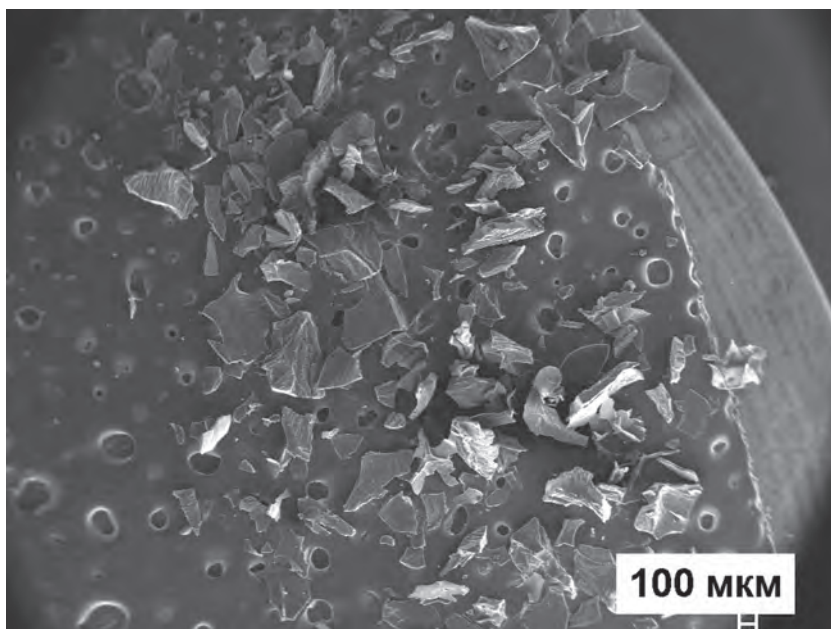
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1608-5



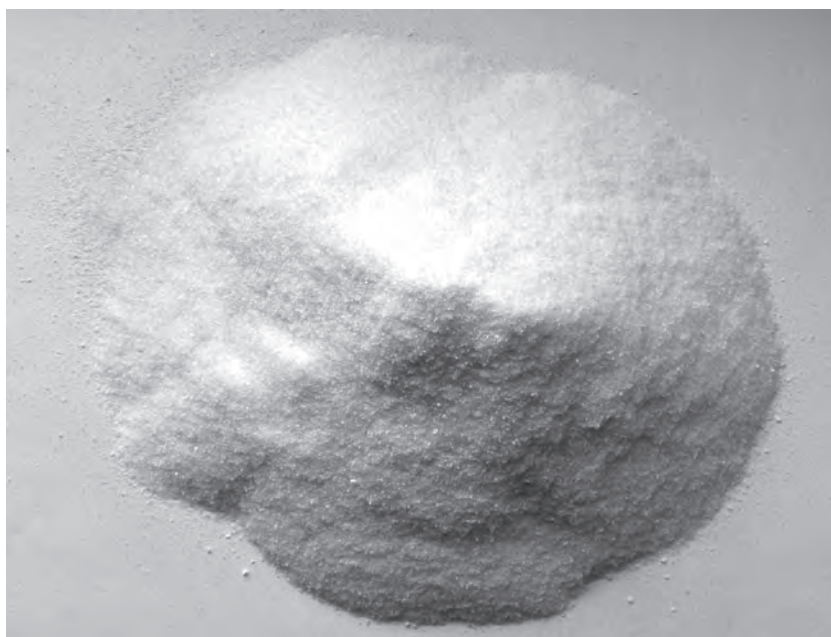
Сканирующие электронные микрофотографии зерен нативного картофельного крахмала гибрида 1608-10

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРТОФЕЛЬНОГО,  
КУКУРУЗНОГО И ТАПИОКОВОГО КРАХМАЛОВ**

---

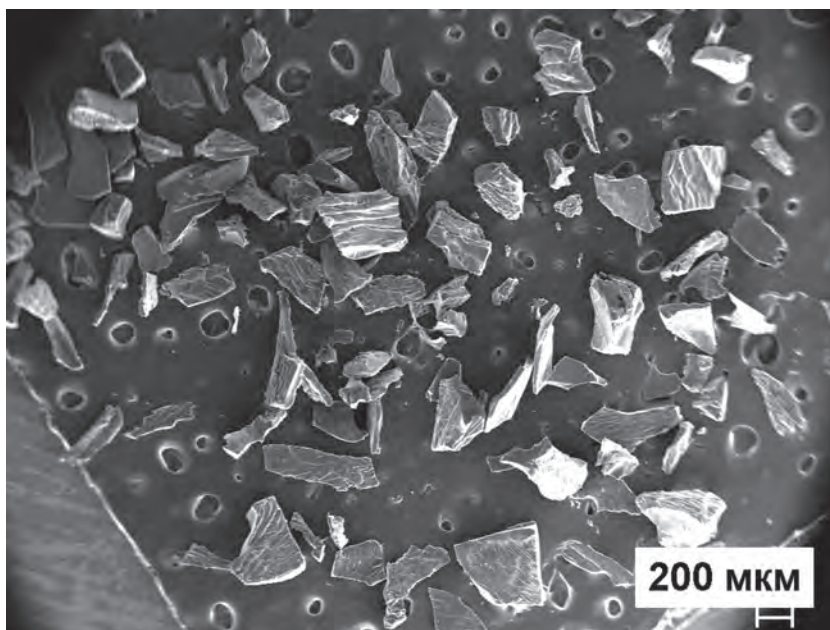


Панорамная сканирующая электронная микрофотография кукурузного крахмала, экструдированного при 140 °С

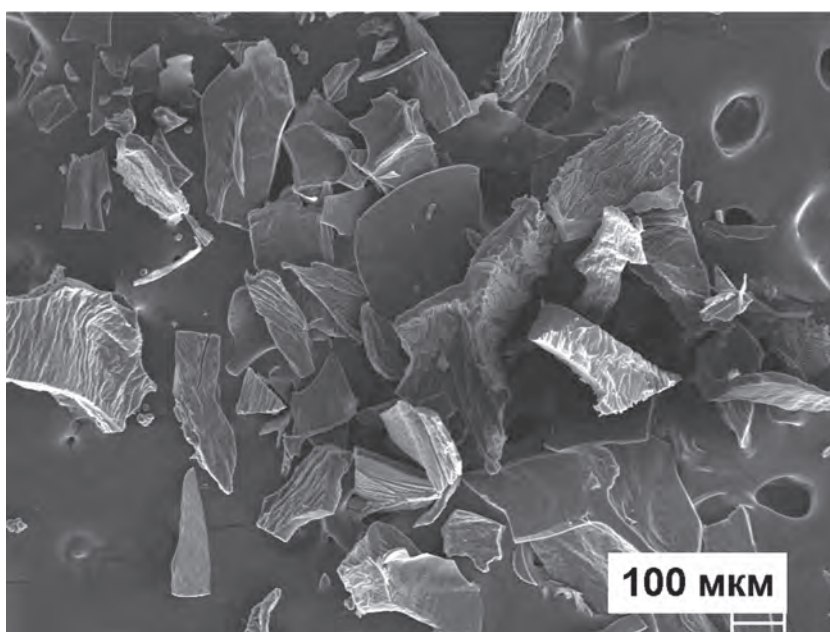


Фотография физически модифицированного картофельного крахмала, экструдированного при 140 °С

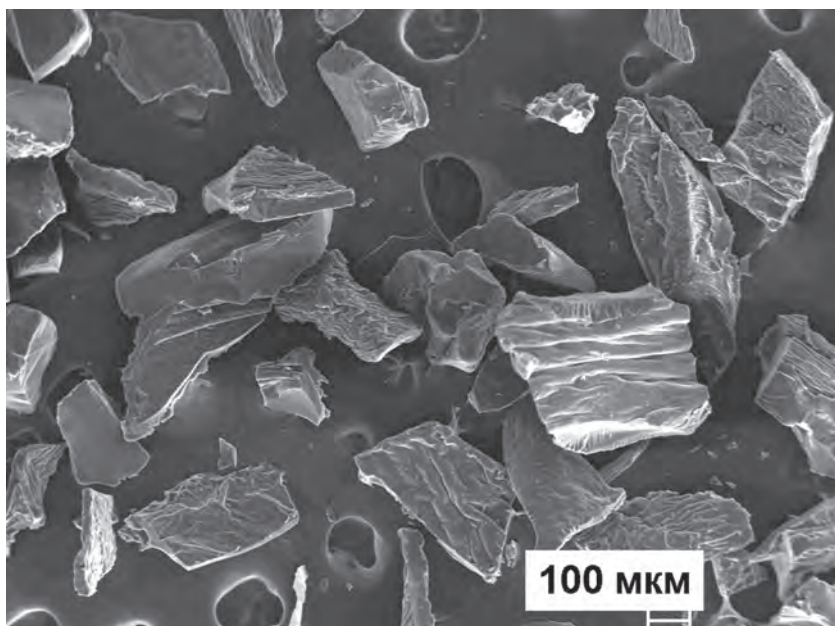




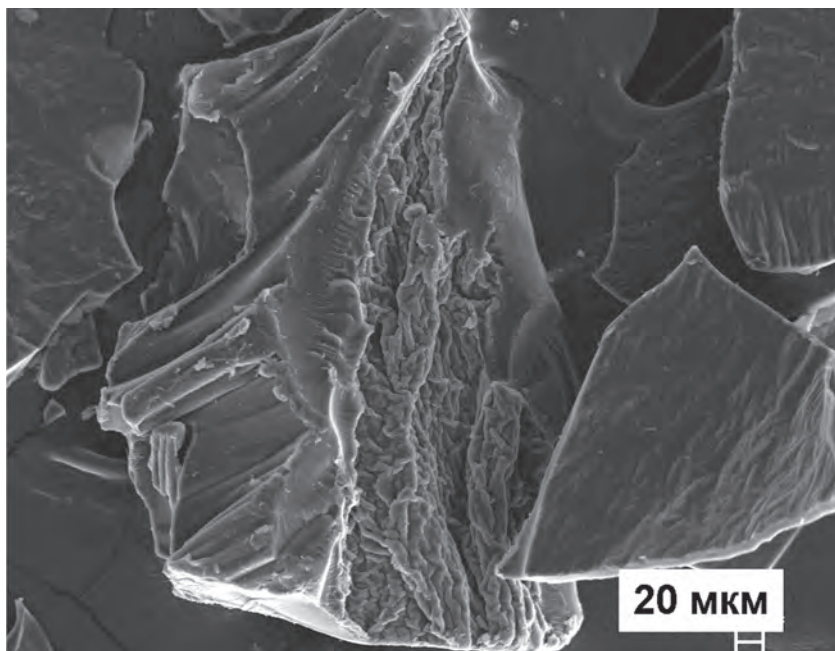
Панорамная сканирующая электронная микрофотография картофельного крахмала, экструдированного при 140 °С



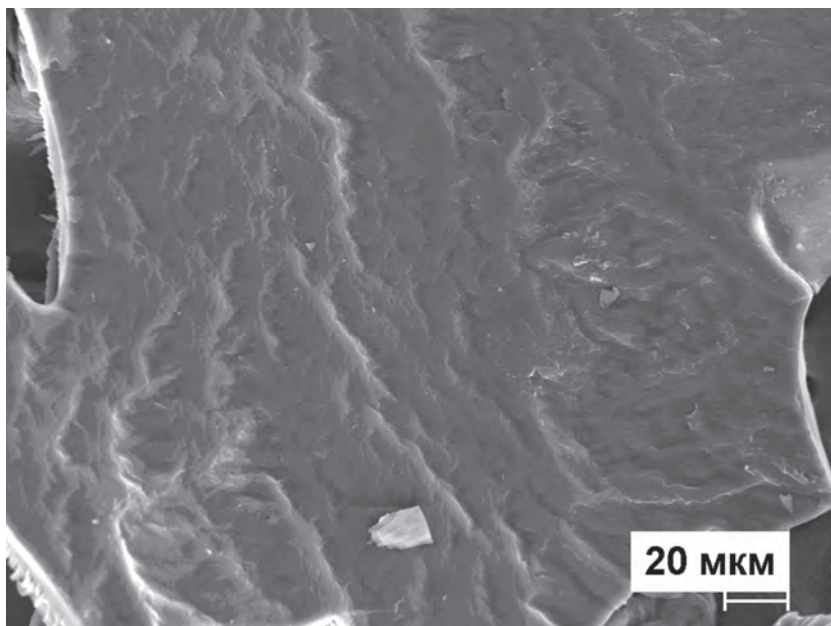
Сканирующая электронная микрофотография частиц кукурузного крахмала, экструдированного при 140 °С



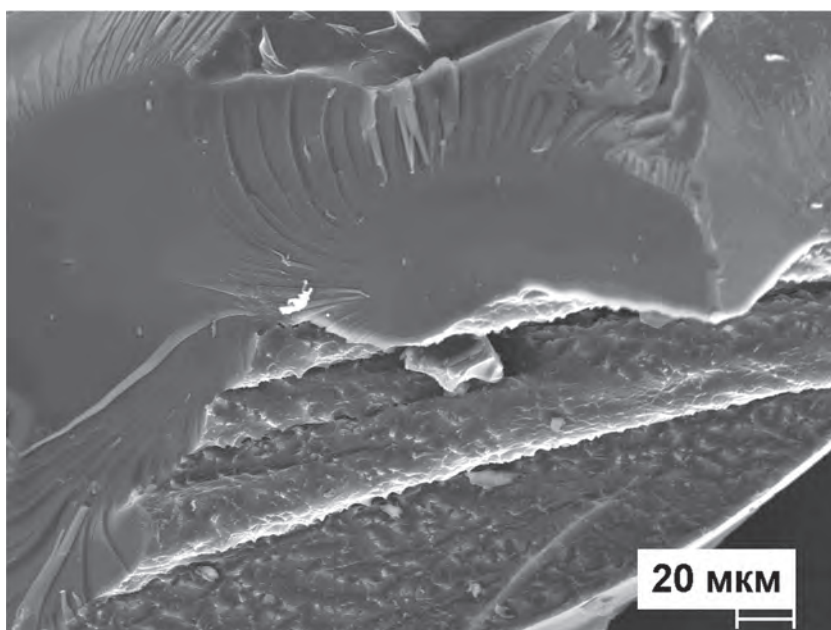
Сканирующая электронная микрофотография частиц картофельного крахмала, экструдированного при 140 °С



Сканирующая электронная микрофотография отдельных частиц кукурузного крахмала, экструдированного при 140 °С

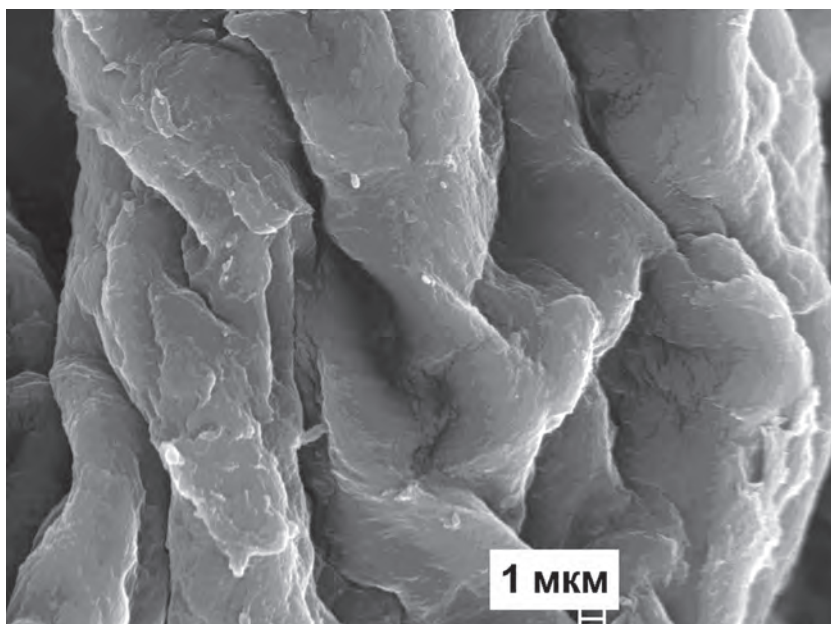


Сканирующая электронная микрофотография поверхности частиц кукурузного крахмала, экструдированного при 140 °С

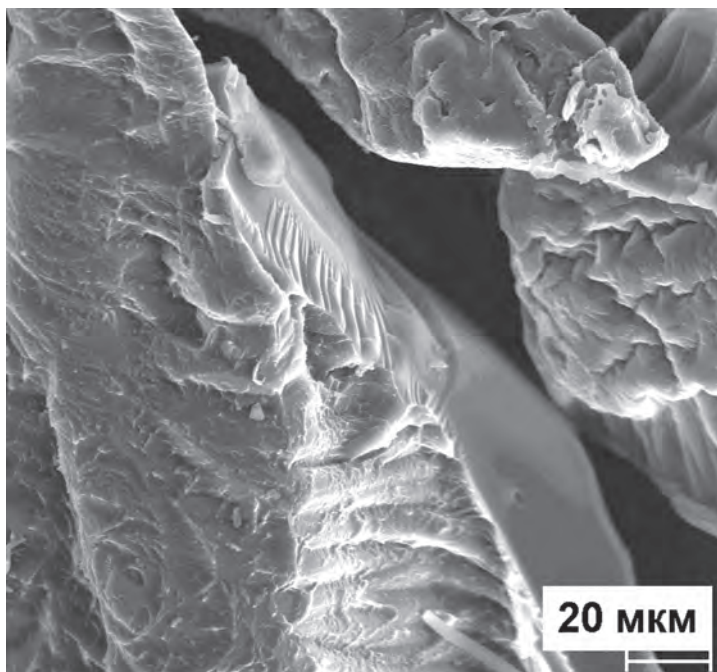


Сканирующая электронная микрофотография поверхности частиц картофельного крахмала, экструдированного при 140 °С

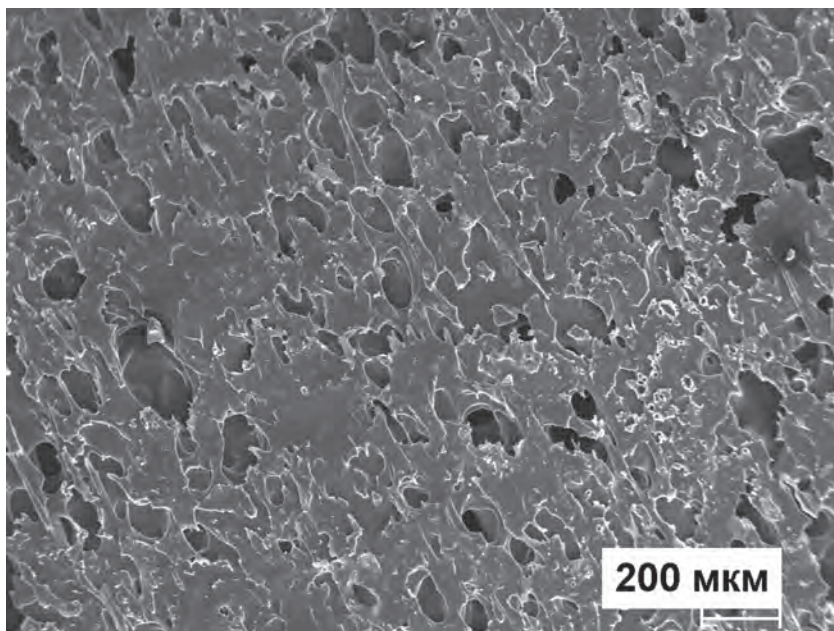




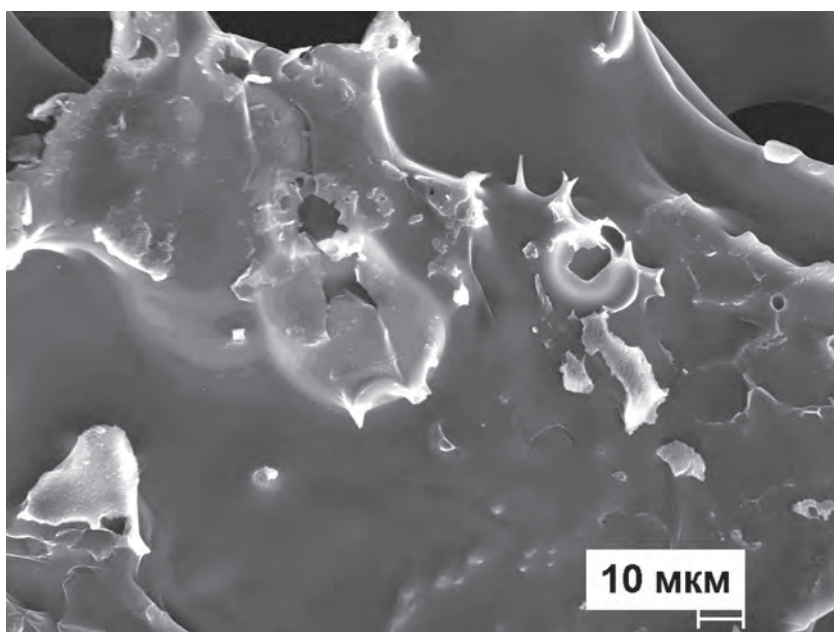
Сканирующая электронная микрофотография фрагмента поверхности кукурузного крахмала, экструдированного при 140 °С



Сканирующая электронная микрофотография фрагмента поверхности картофельного крахмала, экструдированного при 140 °С

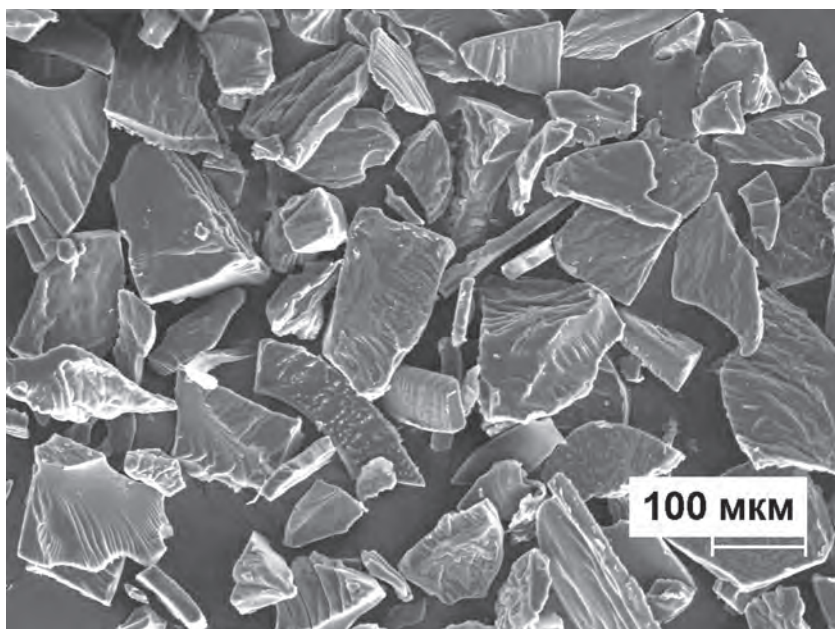


Панорамная сканирующая электронная микрофотография набухающего картофельного крахмала

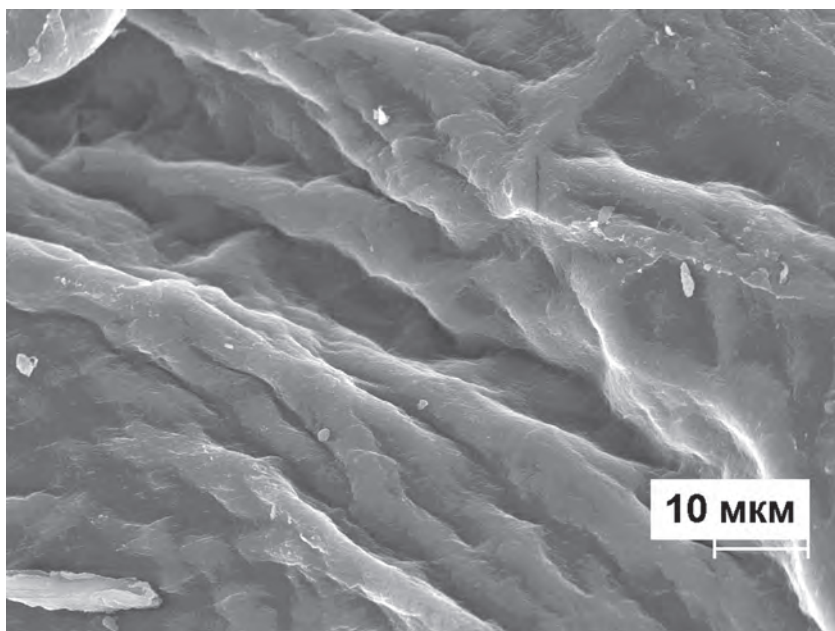


Сканирующая электронная микрофотография поверхности набухающего картофельного крахмала

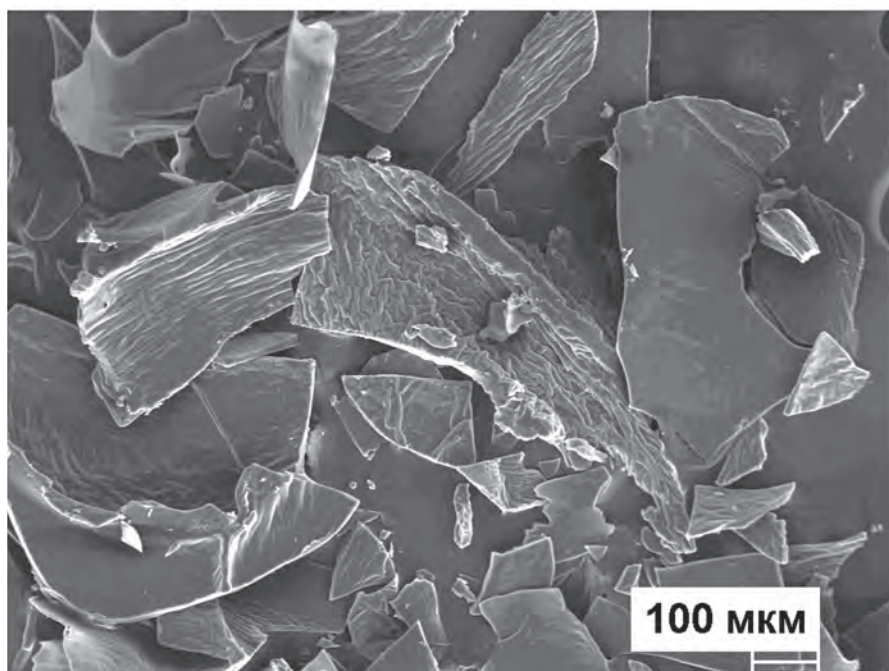
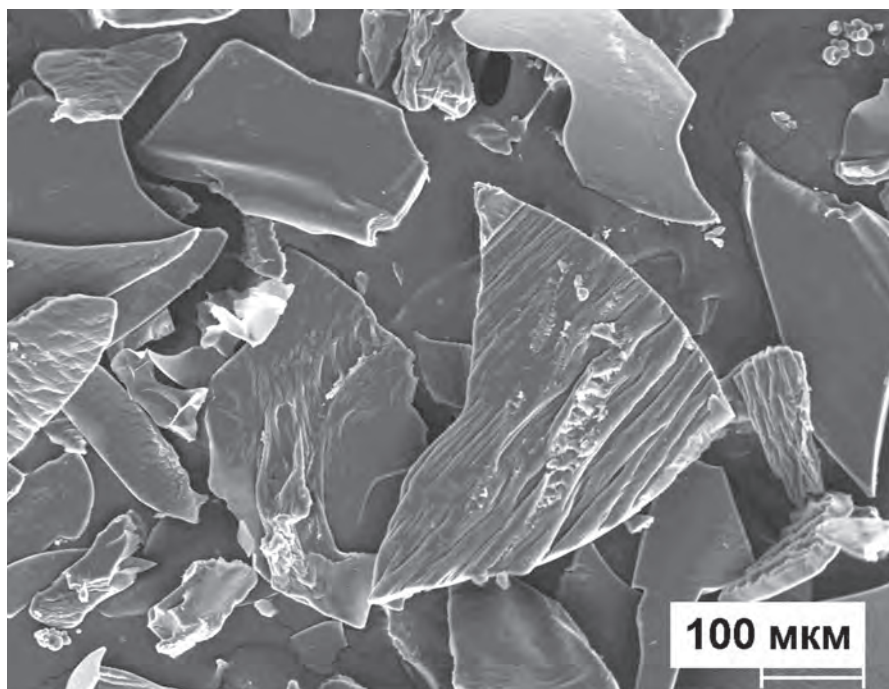




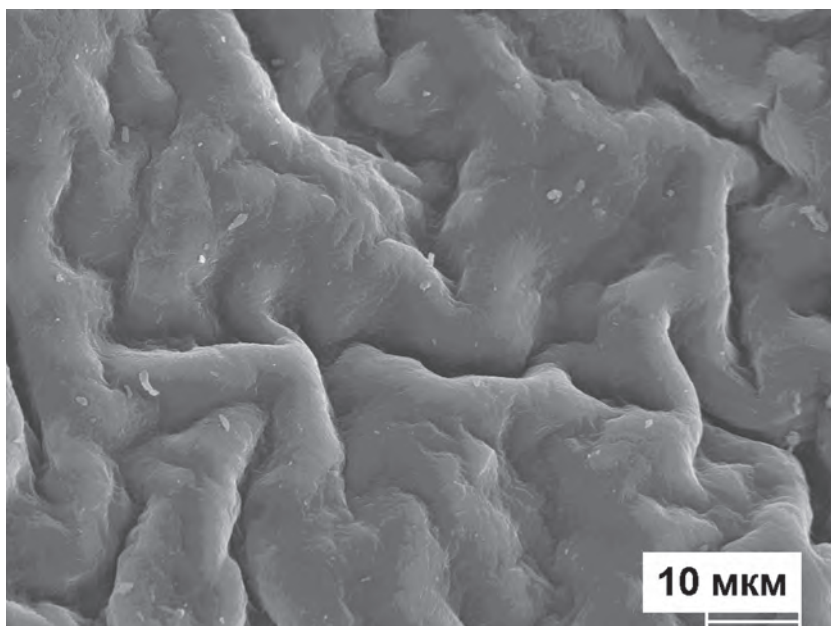
Сканирующая электронная микрофотография смеси экструзионных картофельного и кукурузного крахмалов (массовое соотношение 1:1, 140 °С)



Сканирующая электронная микрофотография фрагмента поверхности смеси экструзионных картофельного и кукурузного крахмалов (массовое соотношение 1:1, 140 °С)



Сканирующие электронные микрофотографии тапиокового крахмала, экструдированного при 140 °С

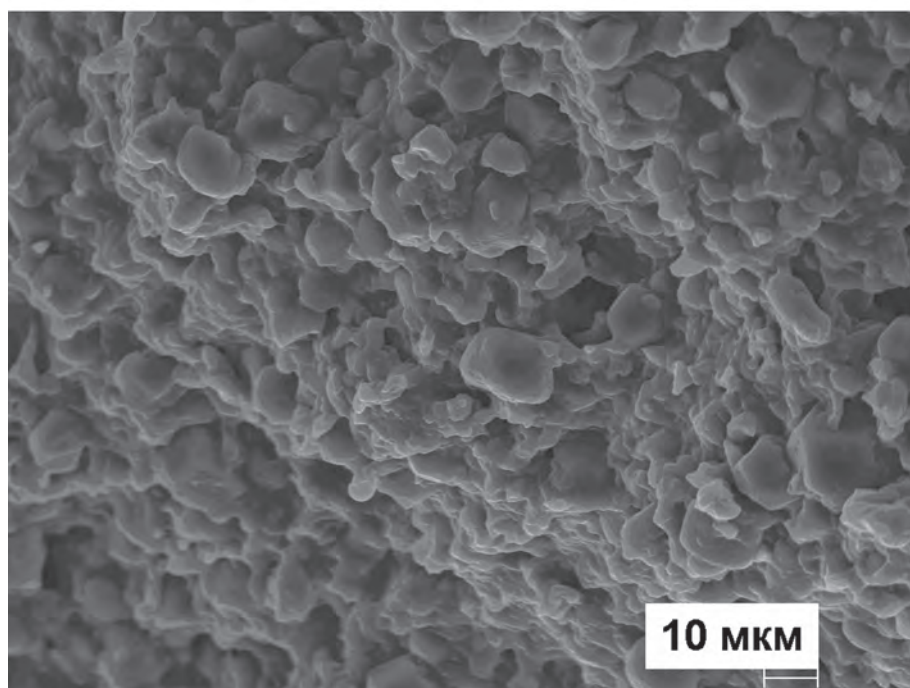
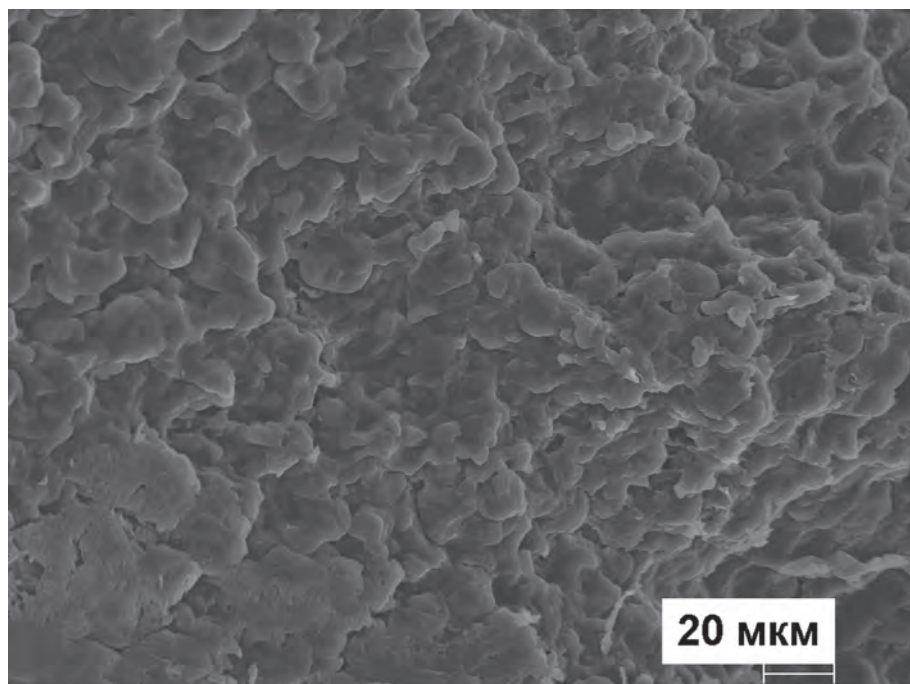


Сканирующая электронная микрофотография поверхности отдельной частицы тапиокового крахмала, экструдированного при 140 °С

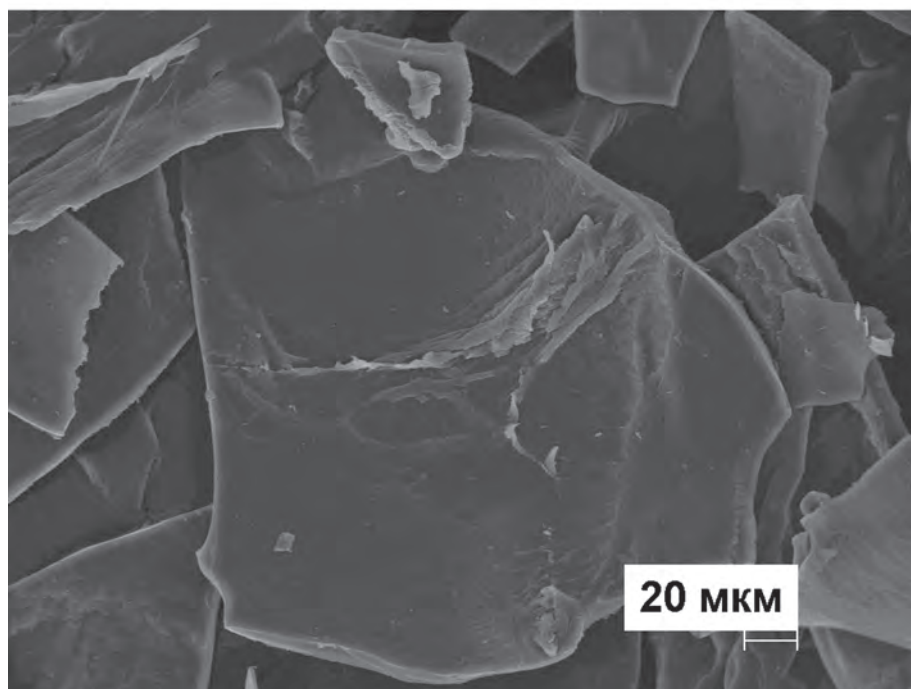
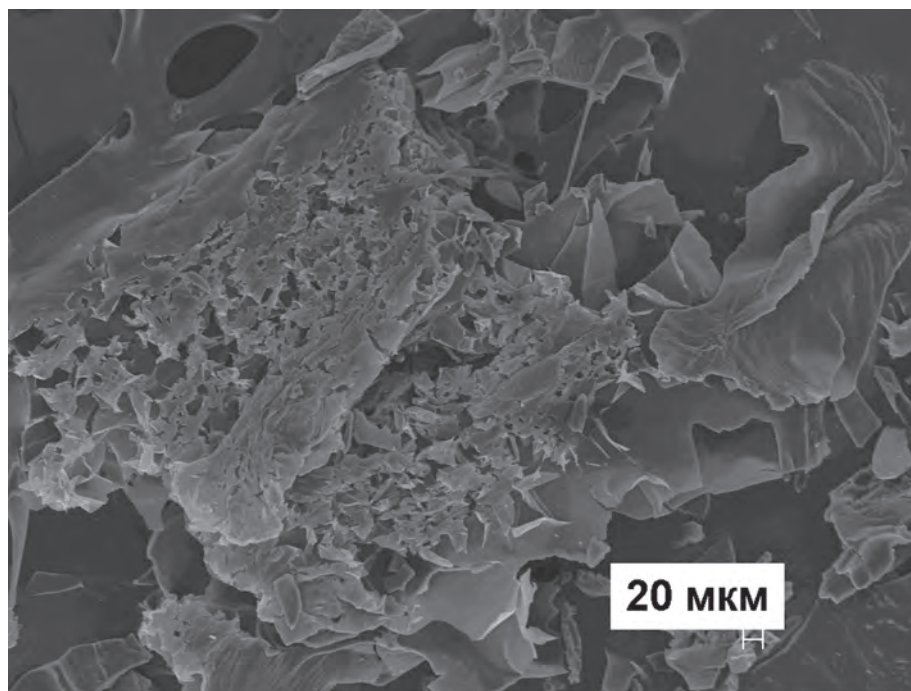


Фотография саго из кукурузного крахмала



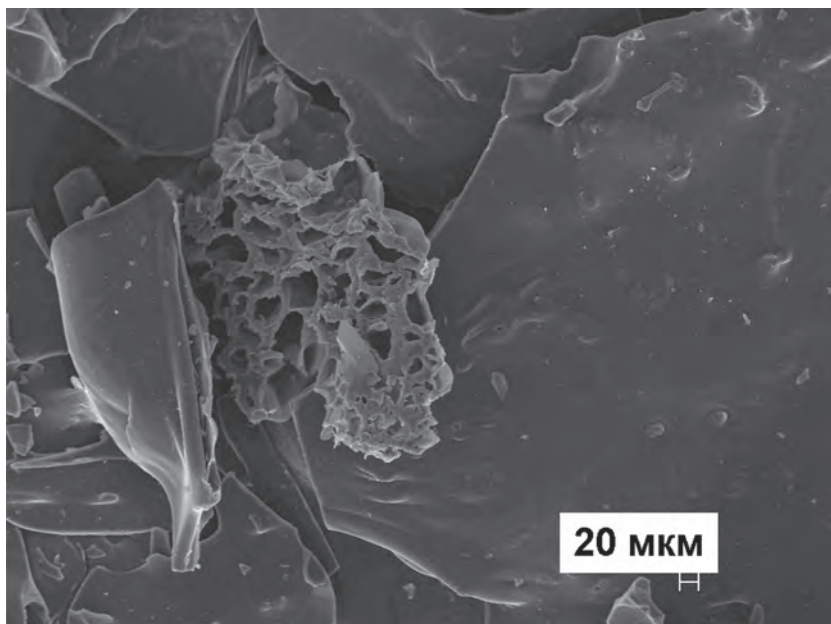


Сканирующие электронные микрофотографии саго из крахмала кукурузного

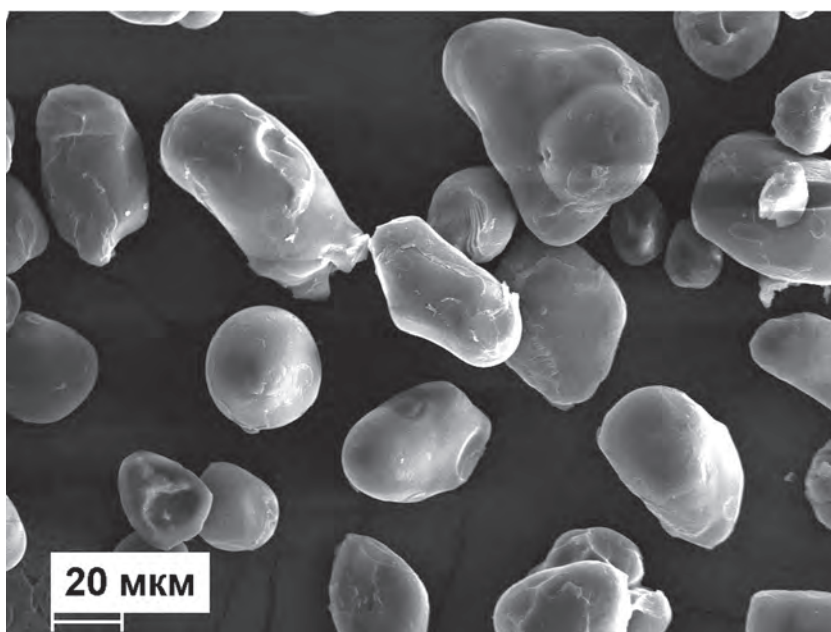


Сканирующие электронные микрофотографии крахмалосодержащего реагента для бурения «Фито РК»

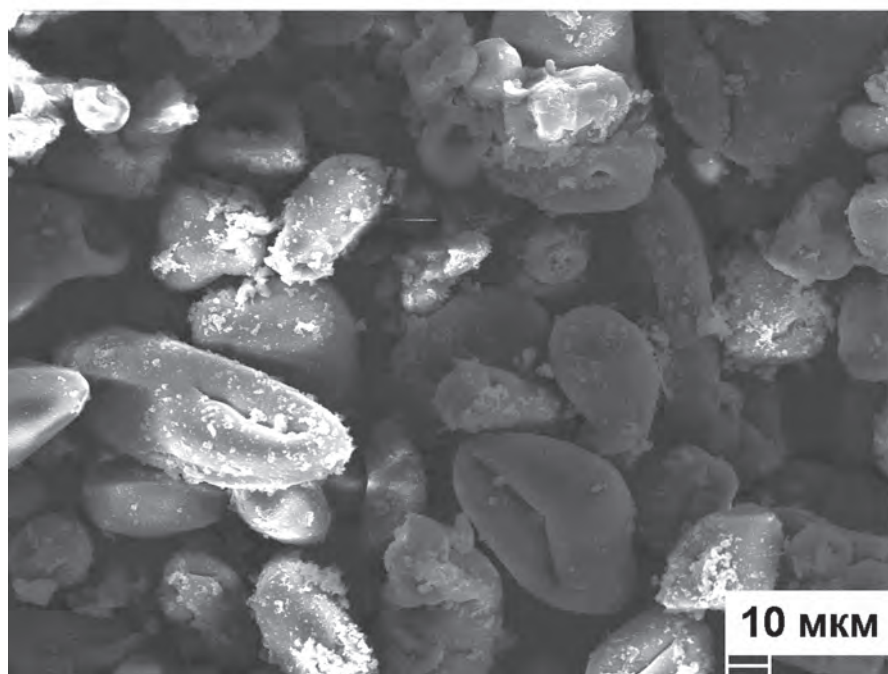
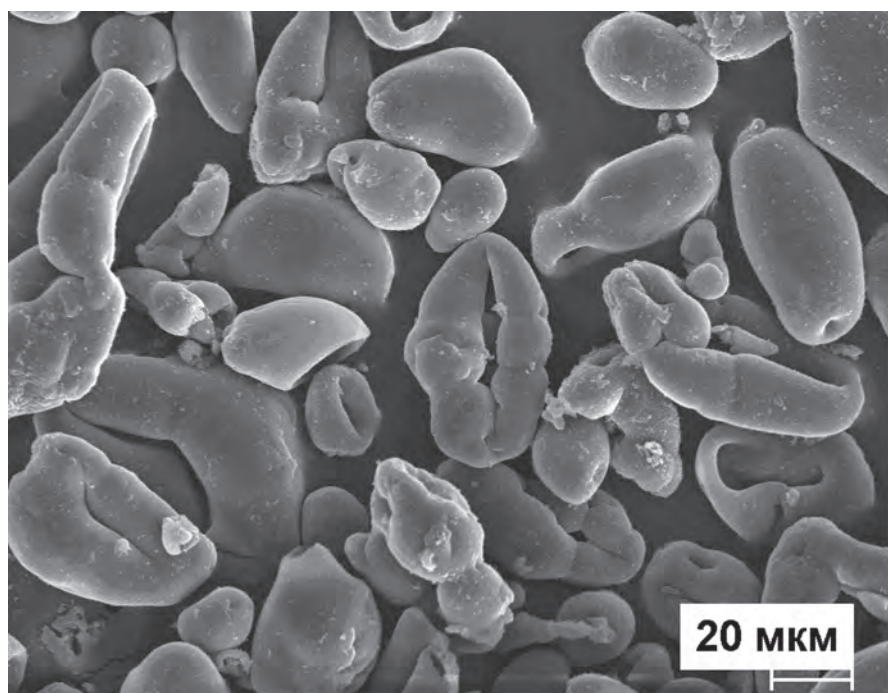




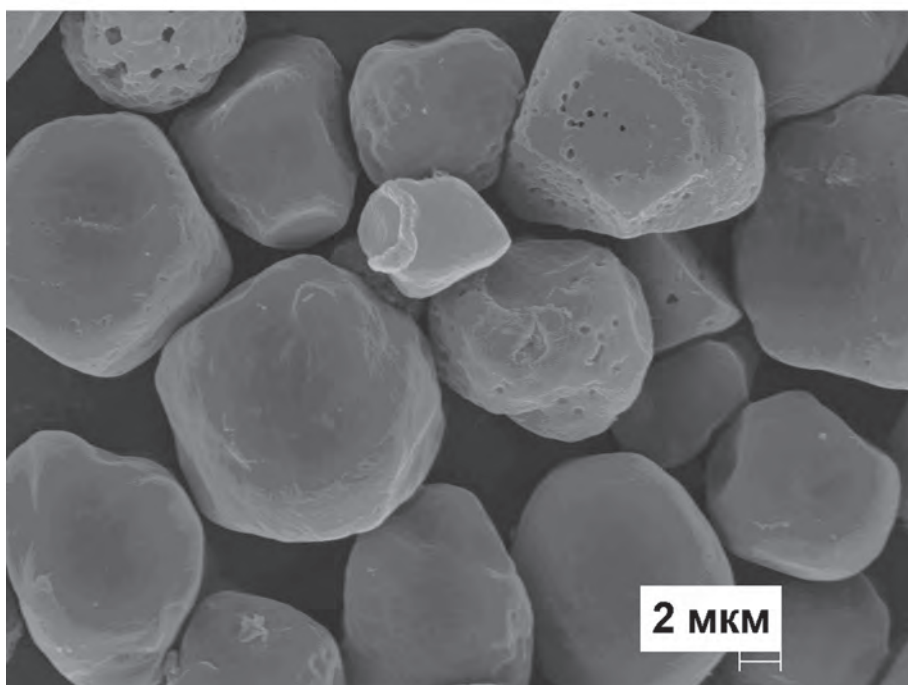
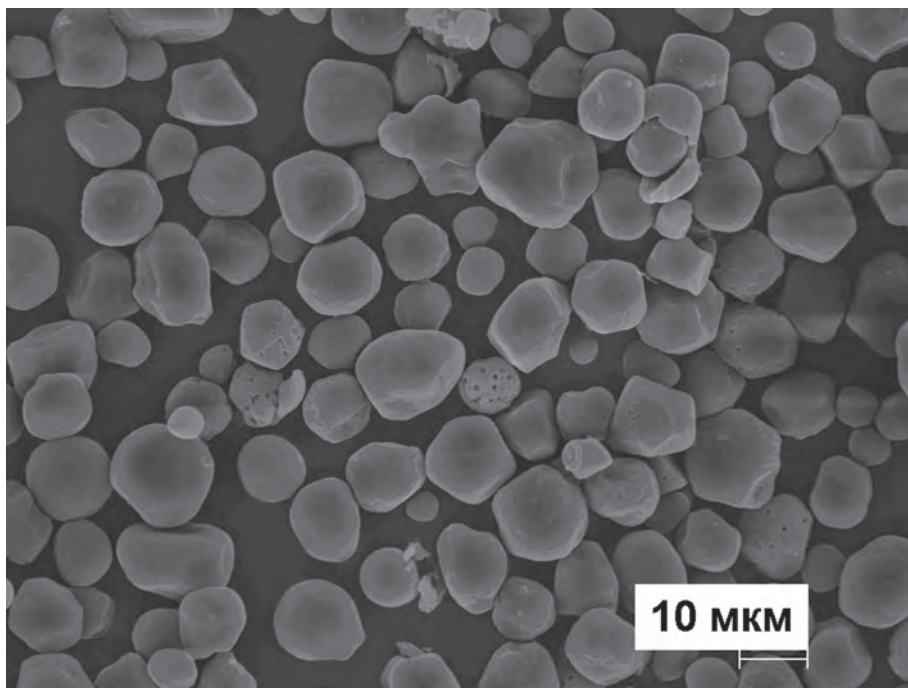
Сканирующая электронная микрофотография крахмалосодержащего реагента для бурения «Амилор»



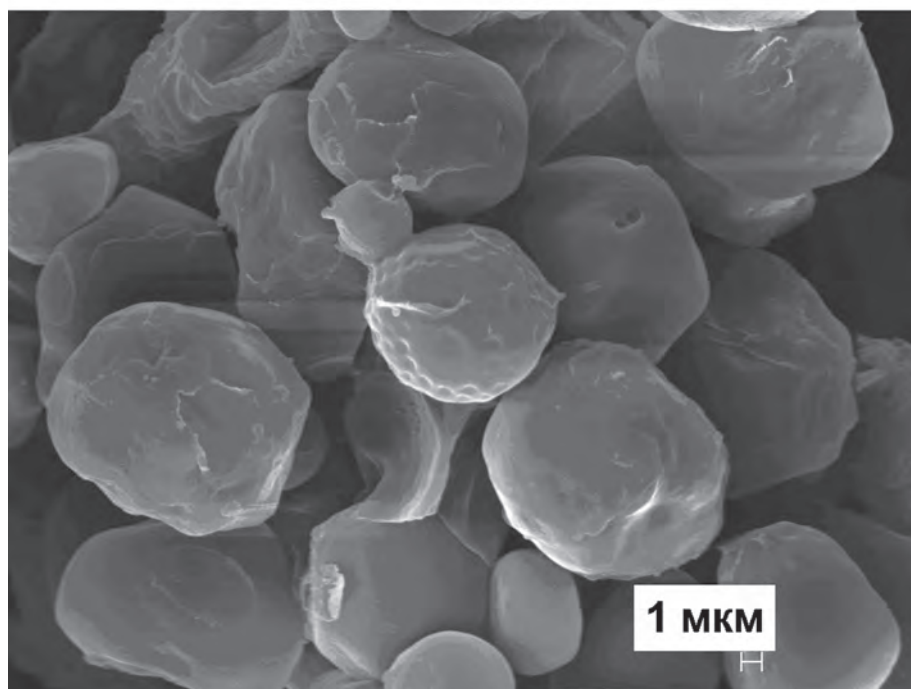
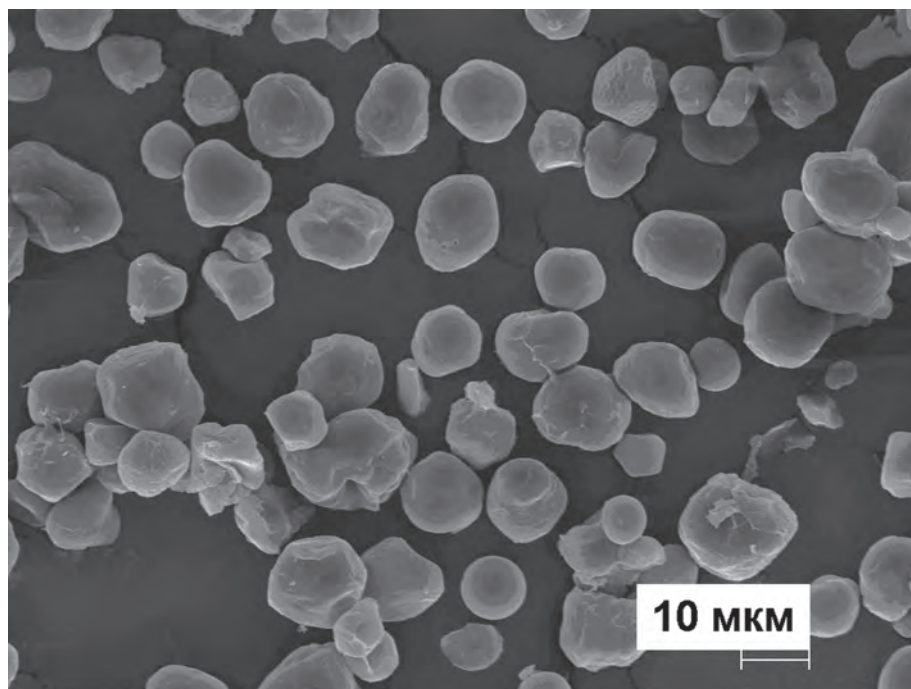
Сканирующая электронная микрофотография гранул катионного картофельного крахмала, полученного при 35 °С ( $C_{\text{кат.}} = 0,035$ )



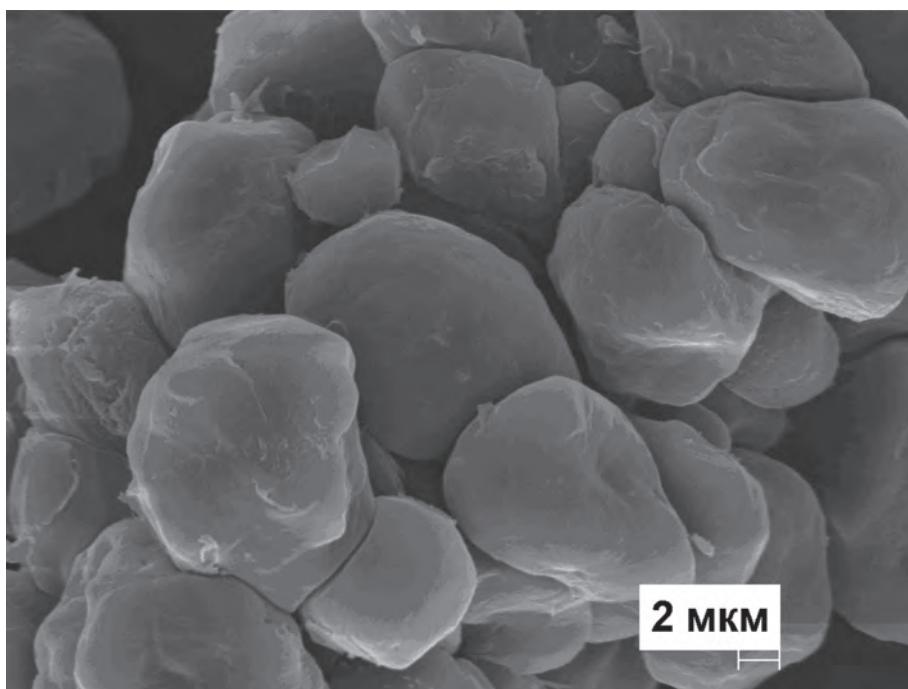
Сканирующие электронные микрофотографии гранул катионного картофельного крахмала, полученного при разных температурах: *a* – при 45 °C ( $C_{3_{\text{кат.}}} = 0,061$ ), *б* – при 55 °C ( $C_{3_{\text{кат.}}} = 0,045$ )



Сканирующие электронные микрофотографии гранул катионного кукурузного крахмала, полученного при 25 °С ( $C_{\text{кат.}} = 0,025$ )

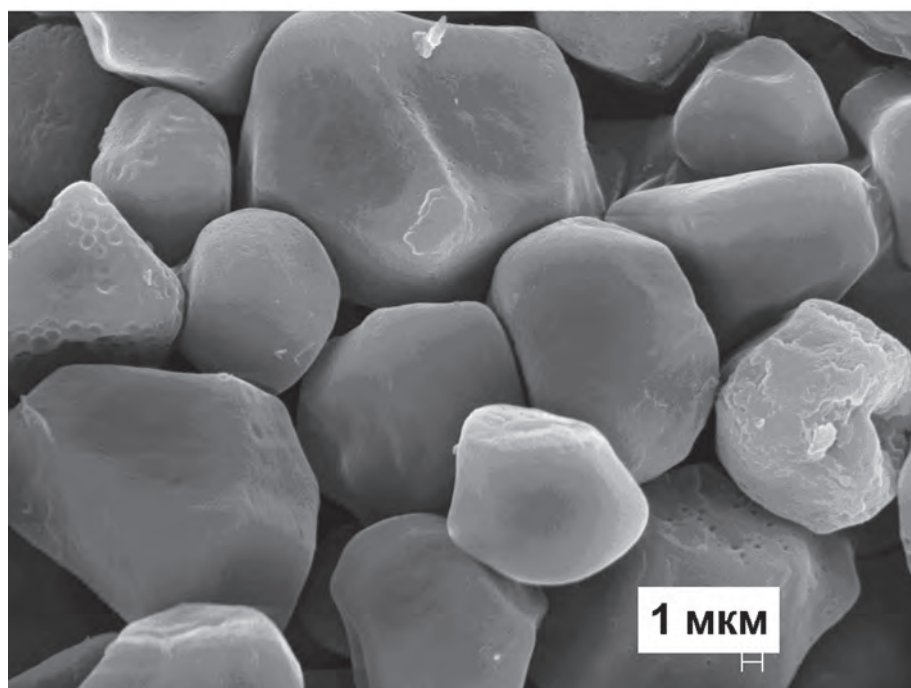
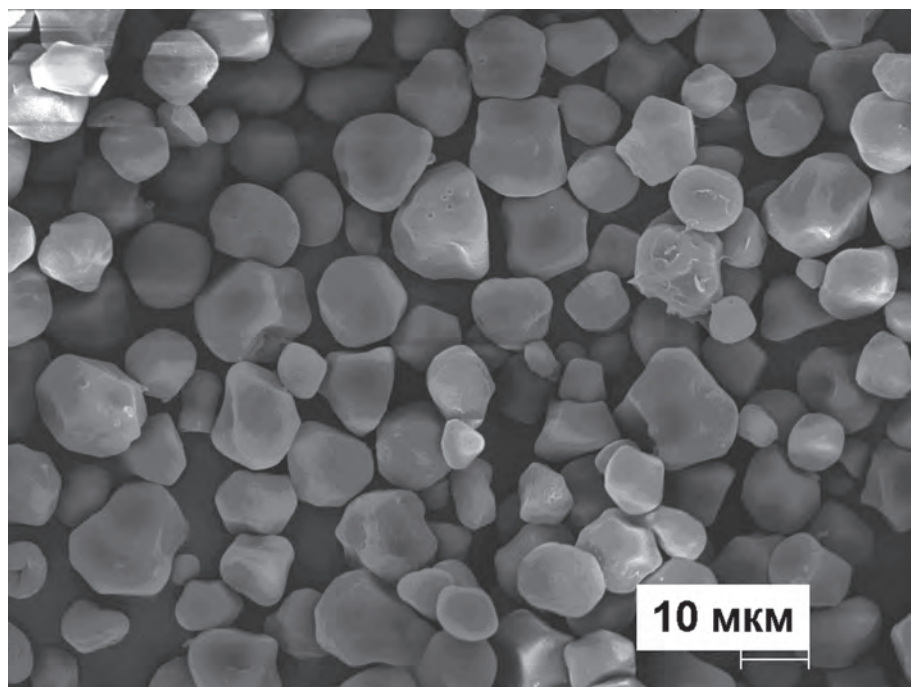


Сканирующие электронные микрофотографии гранул катионного кукурузного крахмала, полученного при 45 °C ( $C_{\text{кат.}} = 0,025$ )

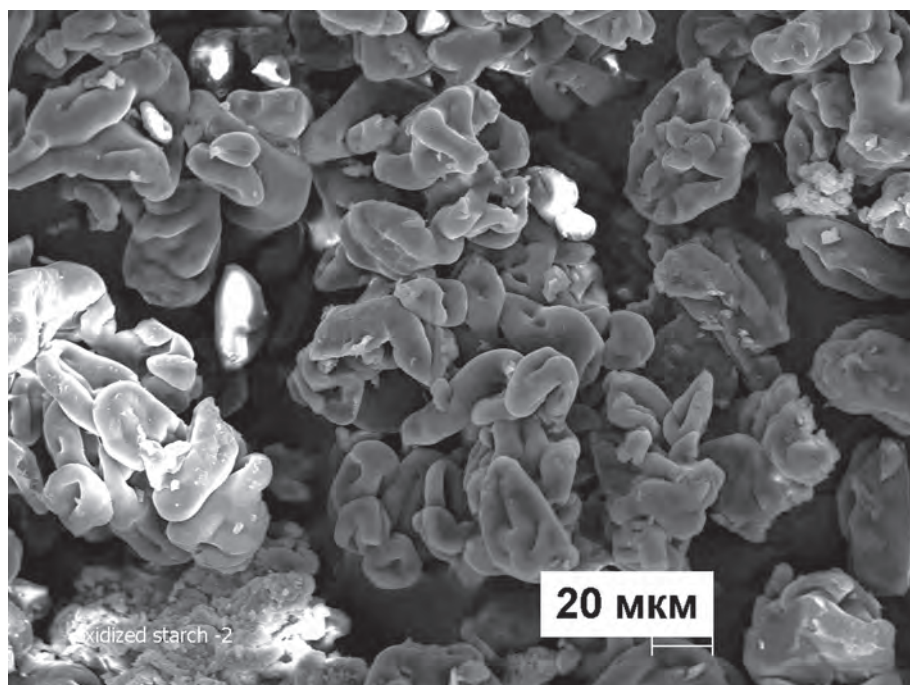


Сканирующая электронная микрофотография гранул катионного кукурузного крахмала, полученного при 45 °С ( $C_{\text{кат.}} = 0,025$ )

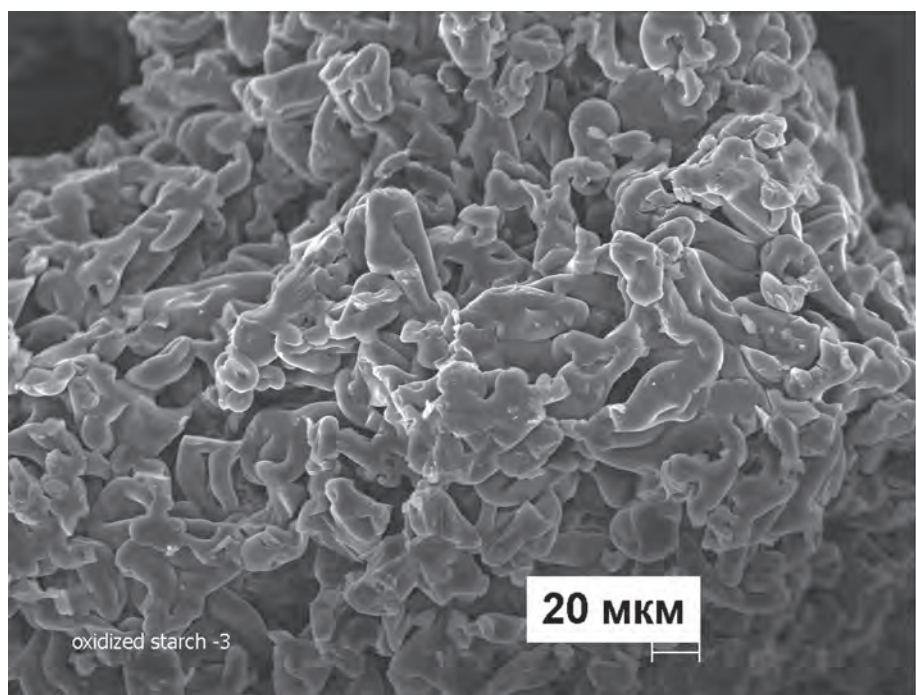




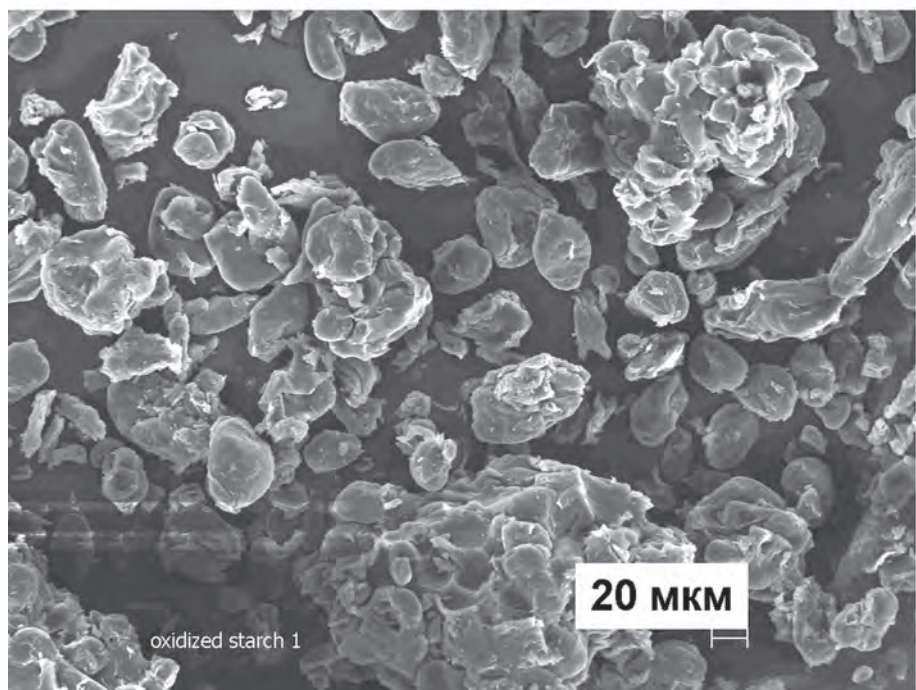
Сканирующие электронные микрофотографии гранул катионного кукурузного крахмала, полученного при 55 °C ( $C_{\text{кат.}} = 0,025$ )



Сканирующие электронные микрофотографии гранул картофельного карбоксикрахмала с содержанием COOH-групп 10,4 масс.% (5% раствор  $N_2O_4$  в  $CCl_4$ )

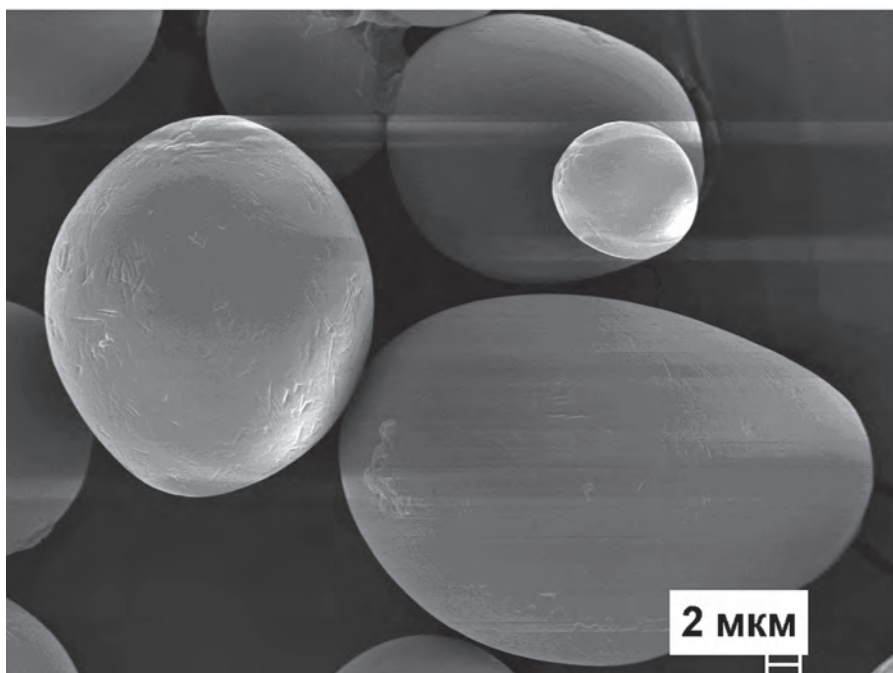
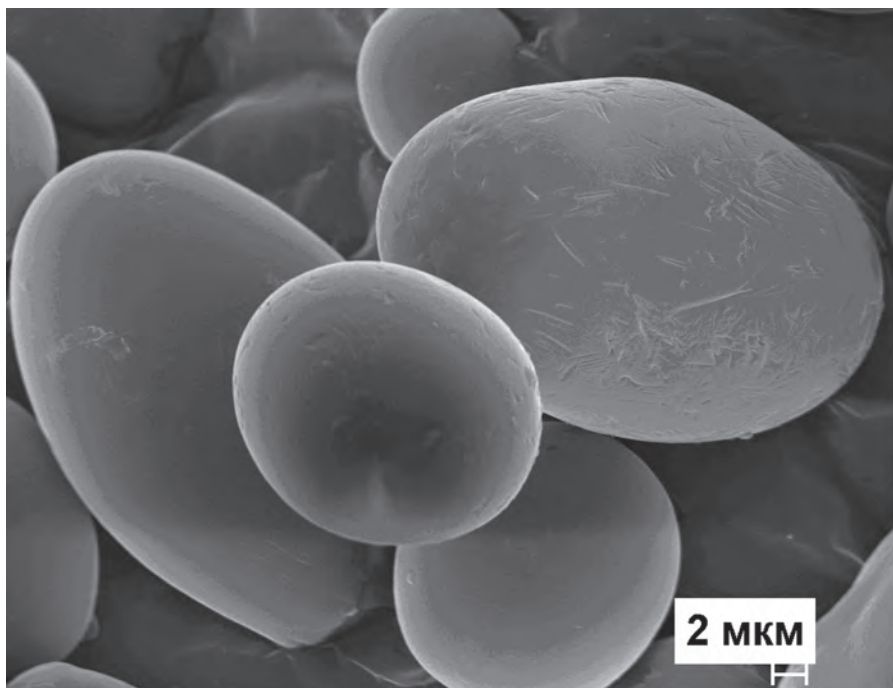


*a*



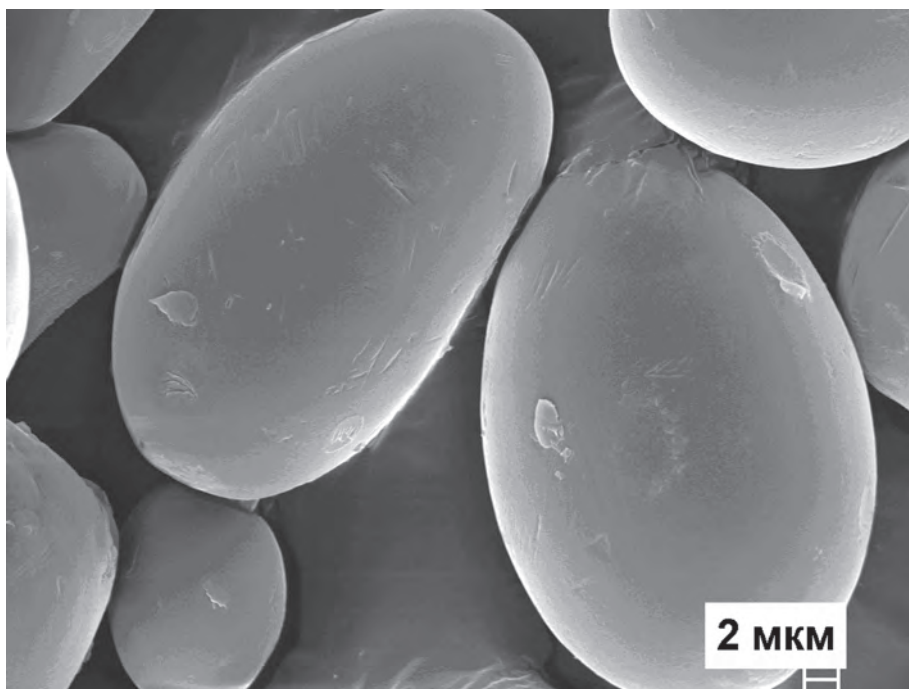
*б*

Сканирующие электронные микрофотографии гранул картофельного карбоксикрахмала с разным содержанием COOH-групп, мас. %: *a* – 15,9 (20% раствор  $N_2O_4$  в  $CCl_4$ ); *б* – 0,7 (20% раствор  $N_2O_4$  в  $CCl_4$ , крахмал перед окислением сушили до постоянной массы при 105 °С)



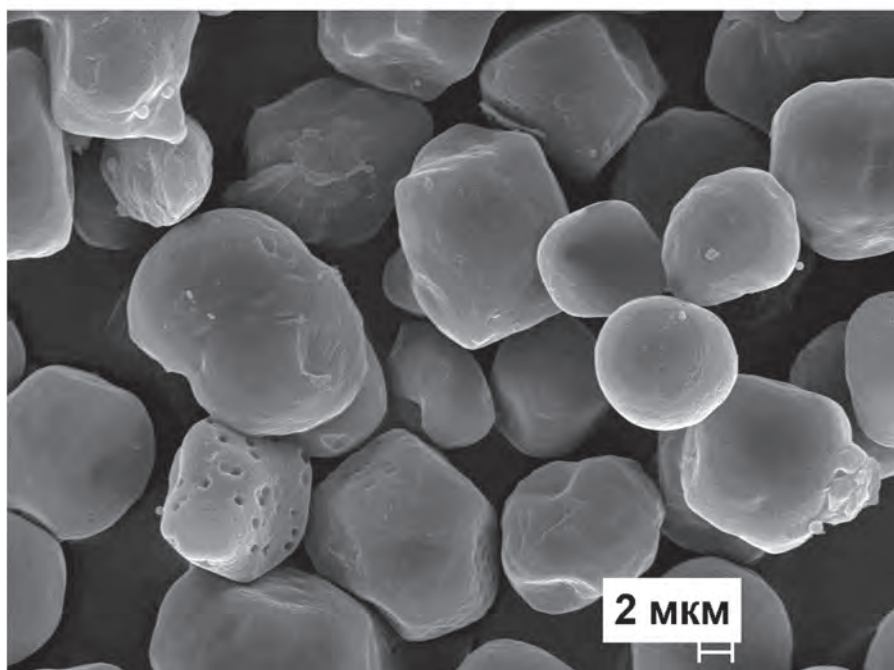
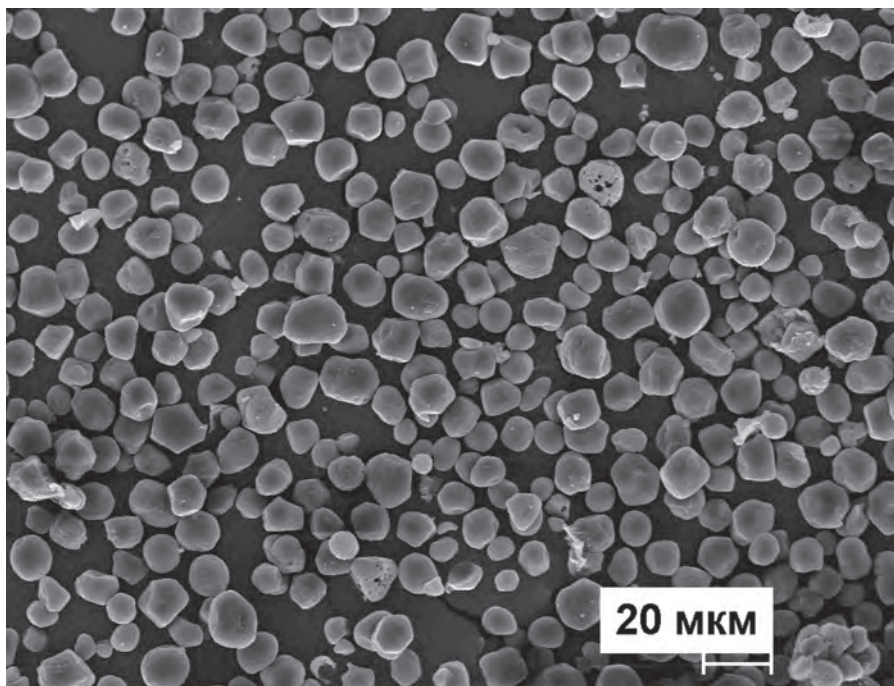
Сканирующие электронные микрофотографии гранул картофельного крахмала, окисленного  $\text{H}_2\text{O}_2$ : *а* –  $T = 45\text{ }^\circ\text{C}$ , 0,07%  $\text{FeSO}_4$  от массы СВ крахмала,  $t = 1\text{ ч}$ , 1%  $\text{H}_2\text{O}_2$  от массы СВ крахмала,  $\text{pH} = 2,2$ ; *б* –  $T = 45\text{ }^\circ\text{C}$ , 0,07%  $\text{FeSO}_4$  от массы СВ крахмала,  $t = 1\text{ ч}$ , 0,2%  $\text{H}_2\text{O}_2$  от массы СВ крахмала,  $\text{pH} = 2,2$



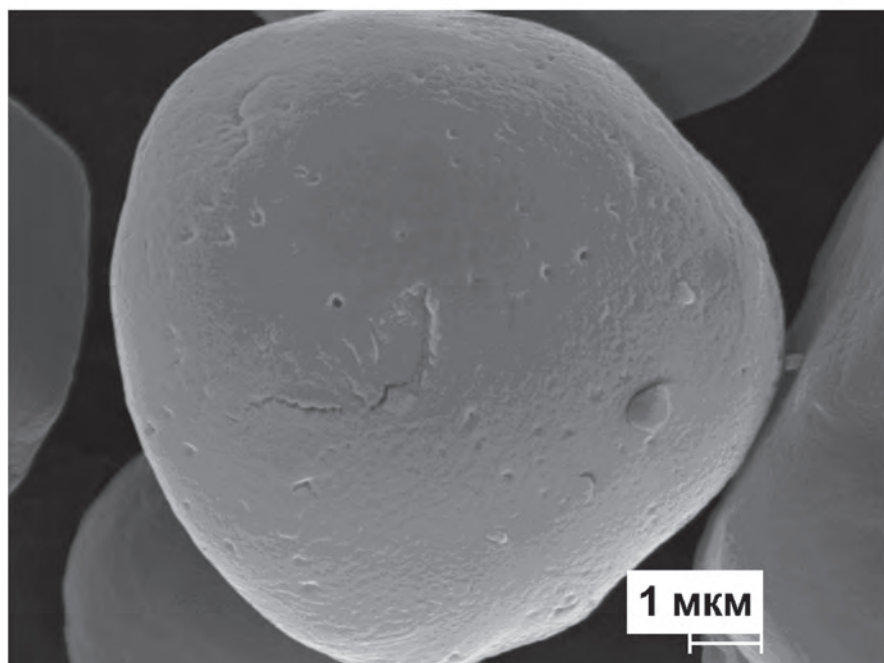
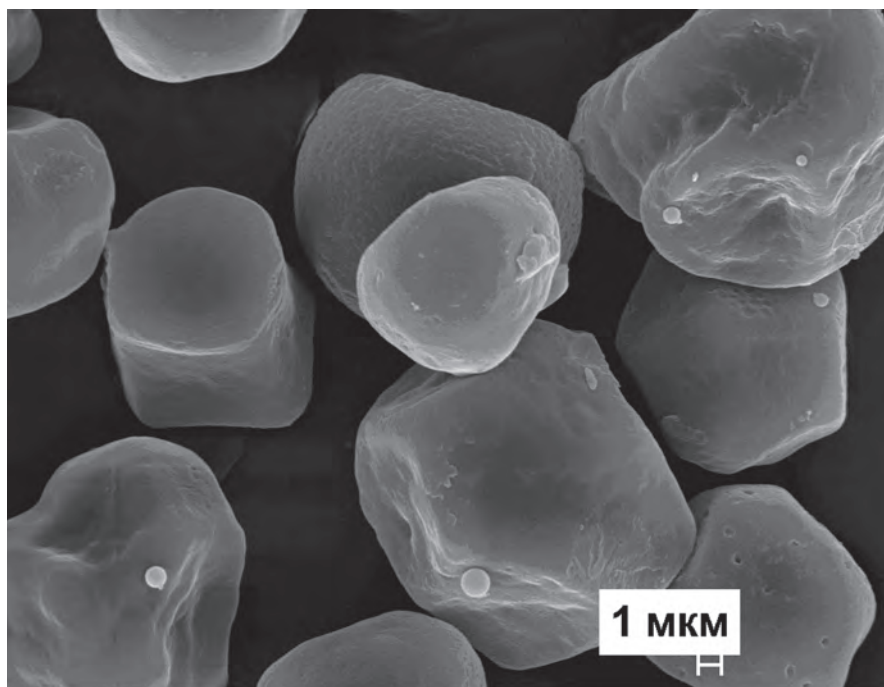


Сканирующая электронная микрофотография гранул картофельного крахмала, окисленного  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $T = 45^\circ\text{C}$ , 0,07%  $\text{FeSO}_4$  от массы СВ крахмала,  $t = 2$  ч, 0,2%  $\text{H}_2\text{O}_2$  от массы СВ крахмала,  $\text{pH} = 1,2$

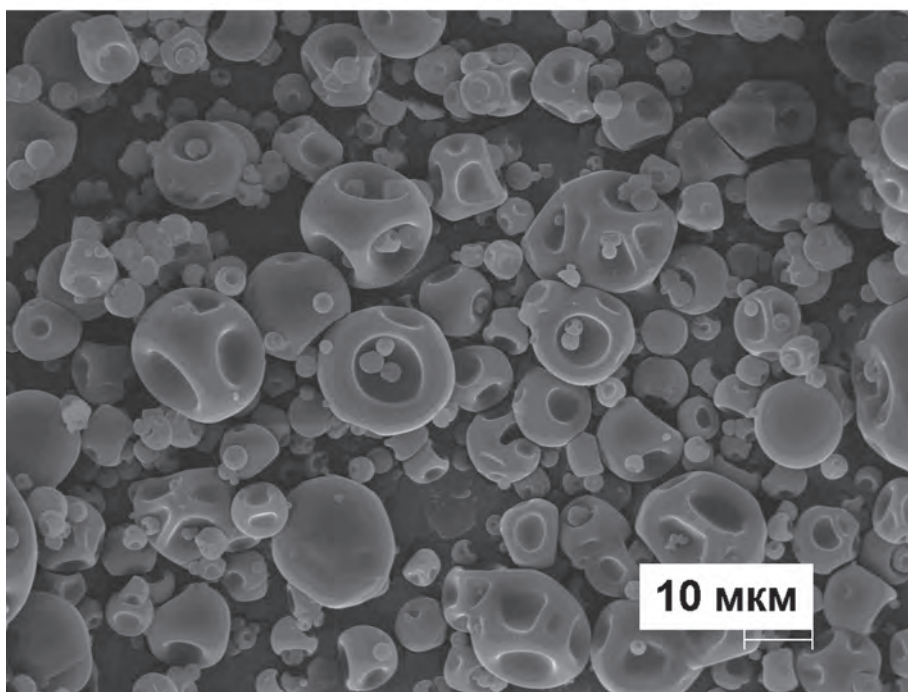
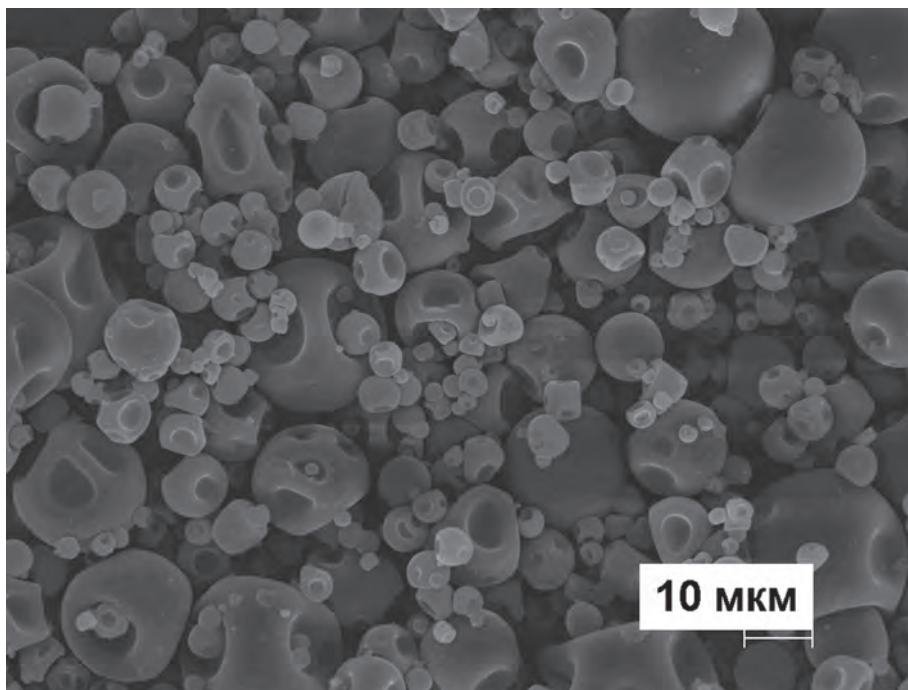




Панорамные сканирующие электронные микрофотографии гранул кукурузного крахмала, окисленного  $\text{H}_2\text{O}_2$



Сканирующие электронные микрофотографии гранул кукурузного крахмала, окисленного H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

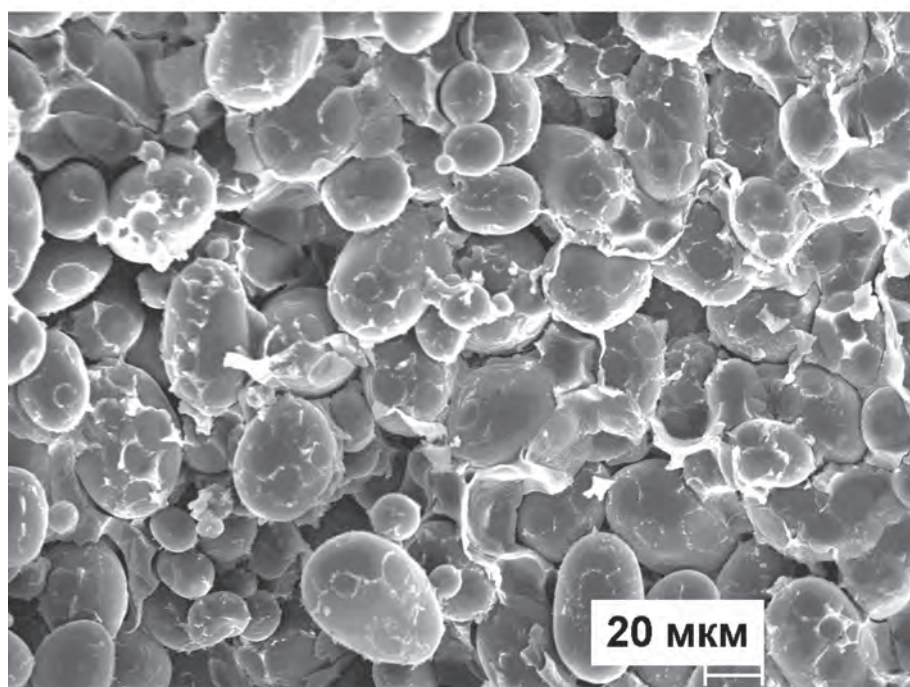
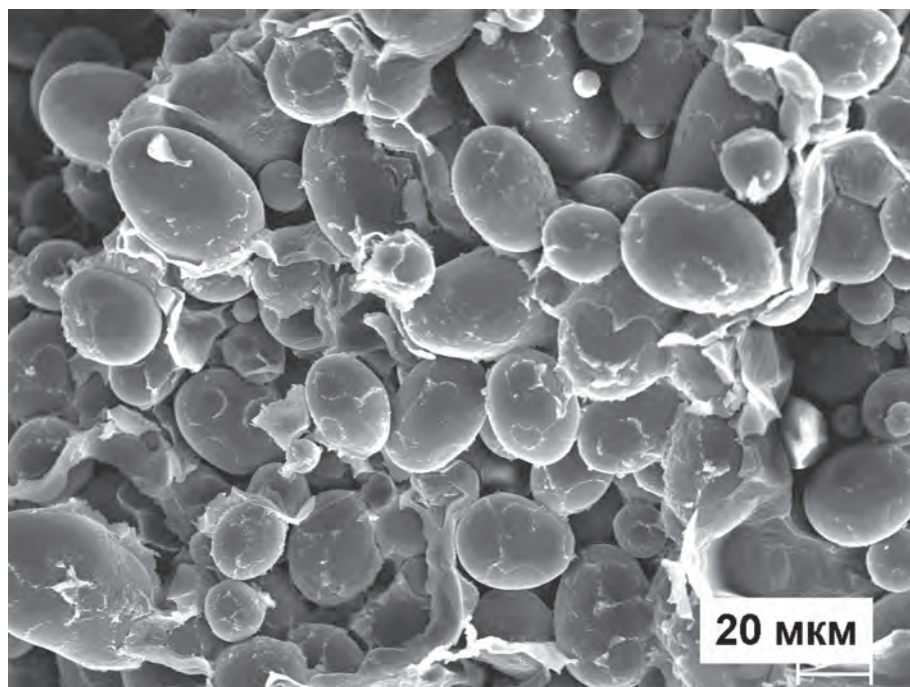


Сканирующие электронные микрофотографии мальтодекстрина,  
полученного из картофельного крахмала

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА  
КРАХМАЛОСОДЕРЖАЩИХ  
БИОКОМПОЗИТОВ**

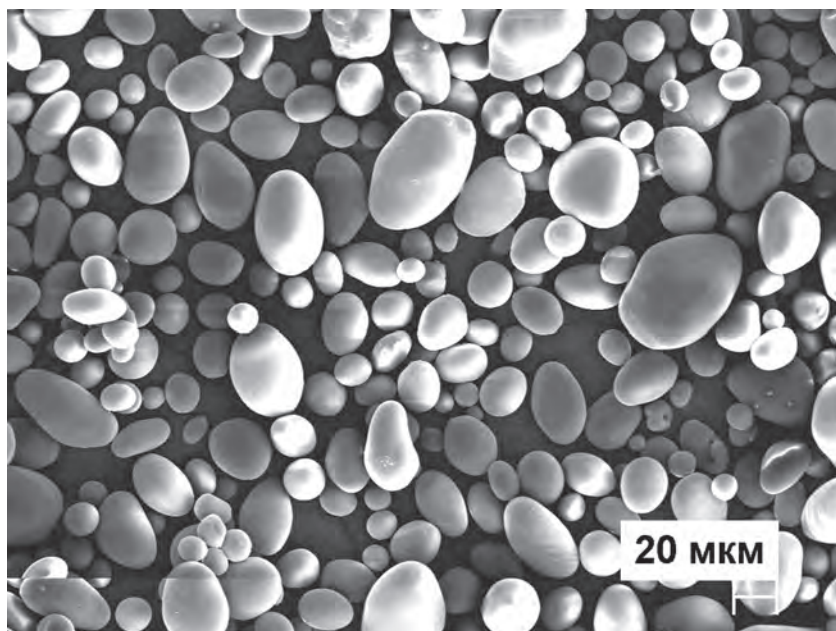
---



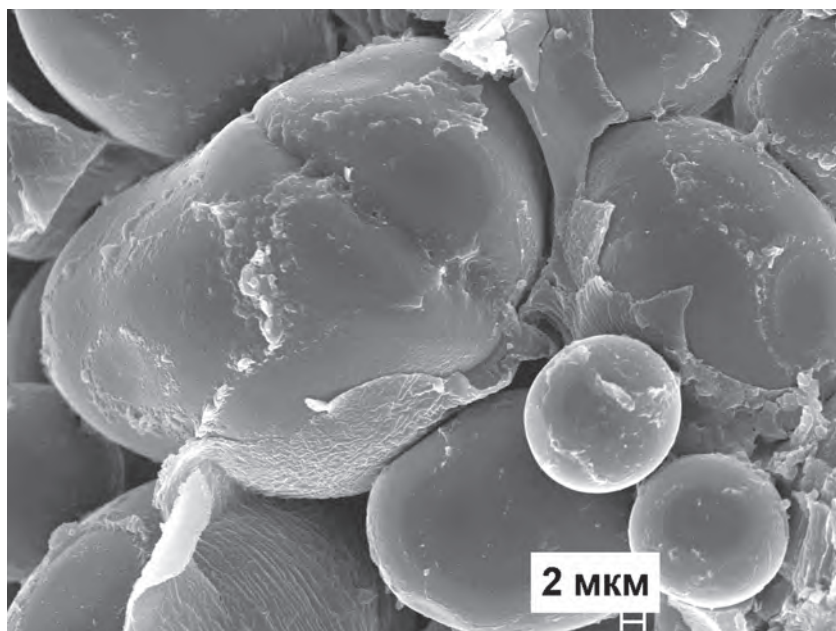


Сканирующие электронные микрофотографии сколов нативного картофеля

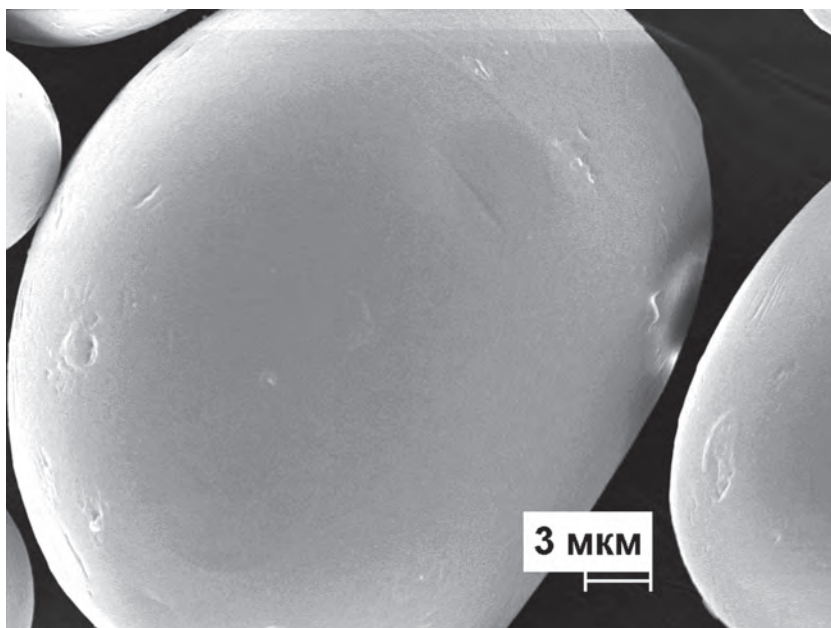




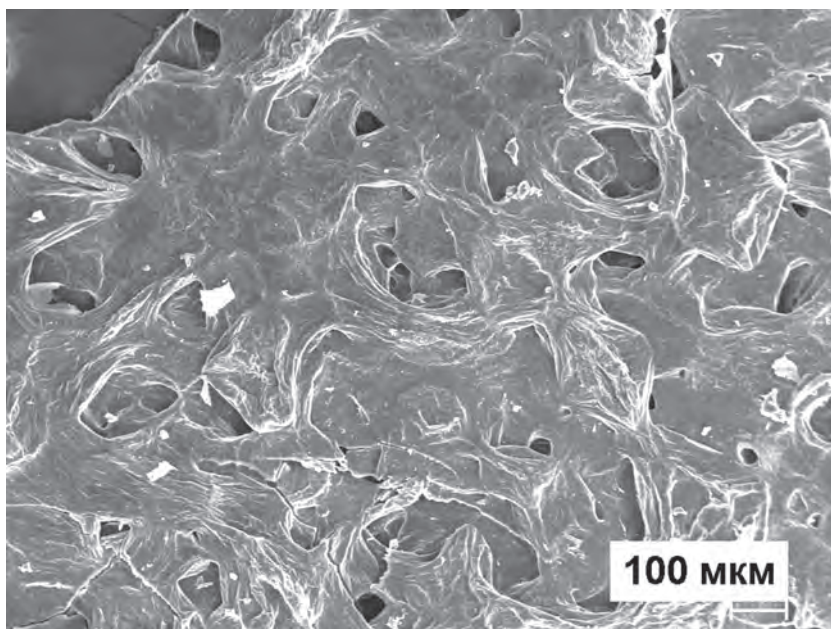
Сканирующая электронная микрофотография зерен картофельного крахмала



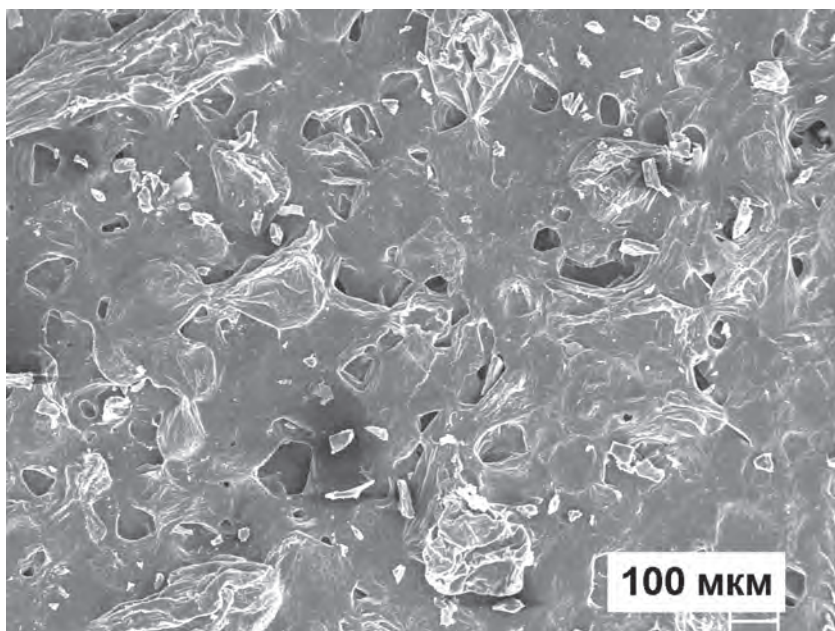
Сканирующая электронная микрофотография фрагмента скола картофеля



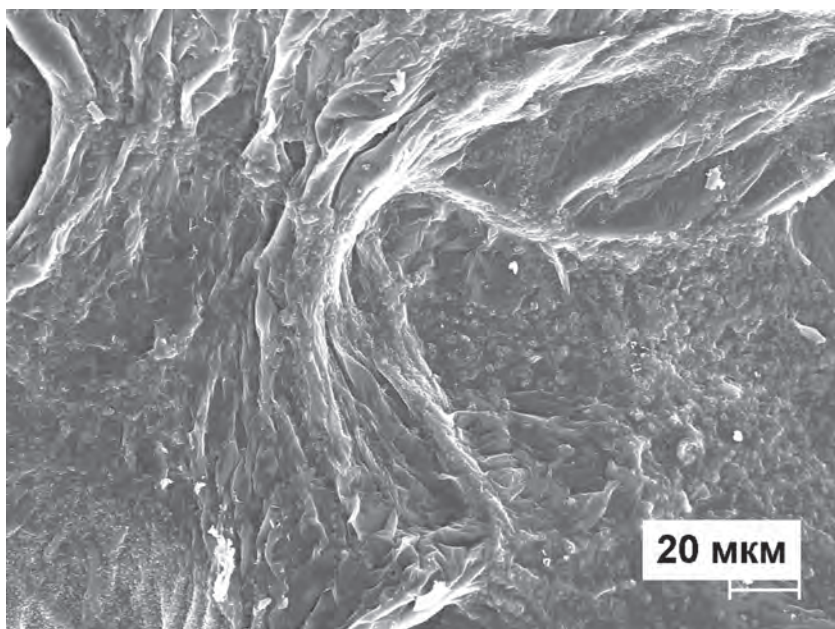
Сканирующая электронная микрофотография поверхности зерна картофельного крахмала



Сканирующая электронная микрофотография поверхности картофельного пюре, изготовленного на ОАО «Машпищепрод» двукратной термообработкой

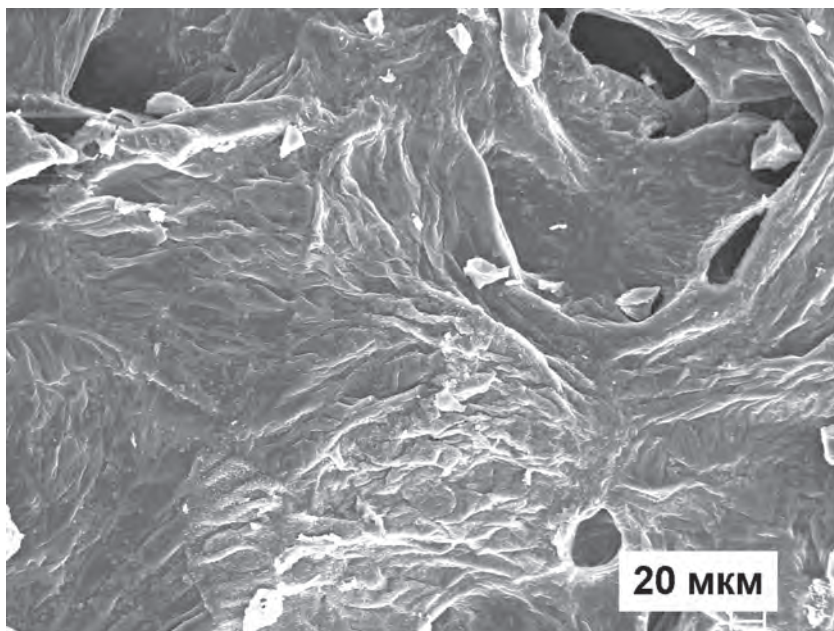


Сканирующая электронная микрофотография поверхности картофельного пюре, изготовленного на ОАО «Машпищепрод» трехкратной термообработкой

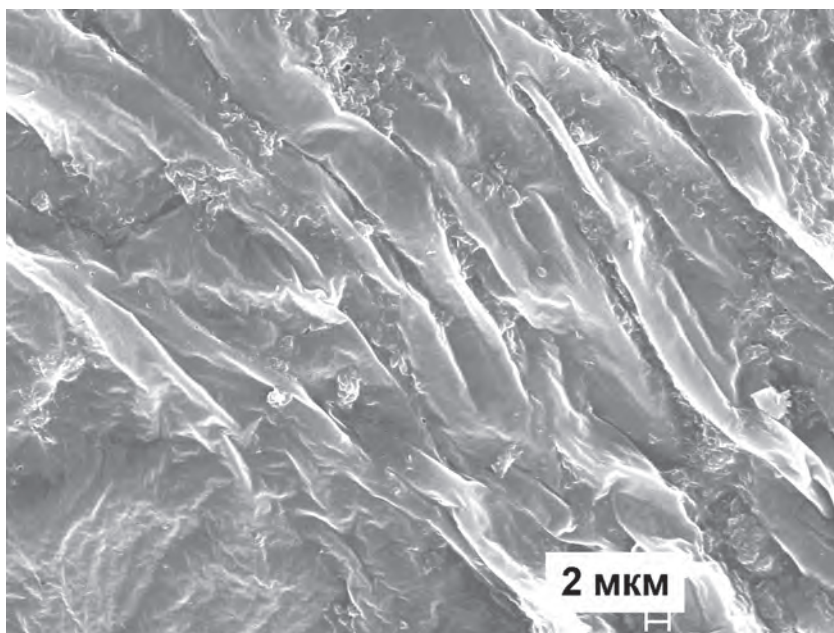


Сканирующая электронная микрофотография фрагмента поверхности пюре, изготовленного на ОАО «Машпищепрод» двукратной термообработкой

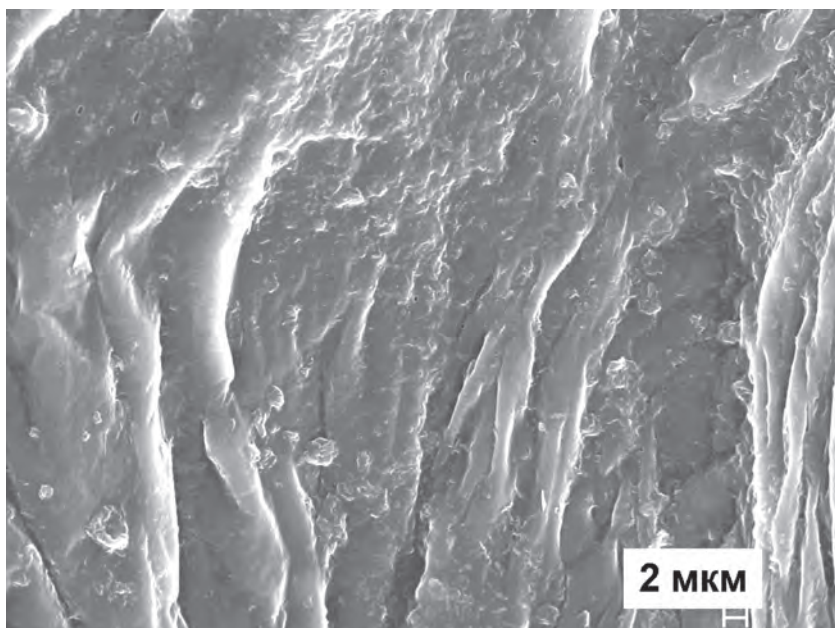




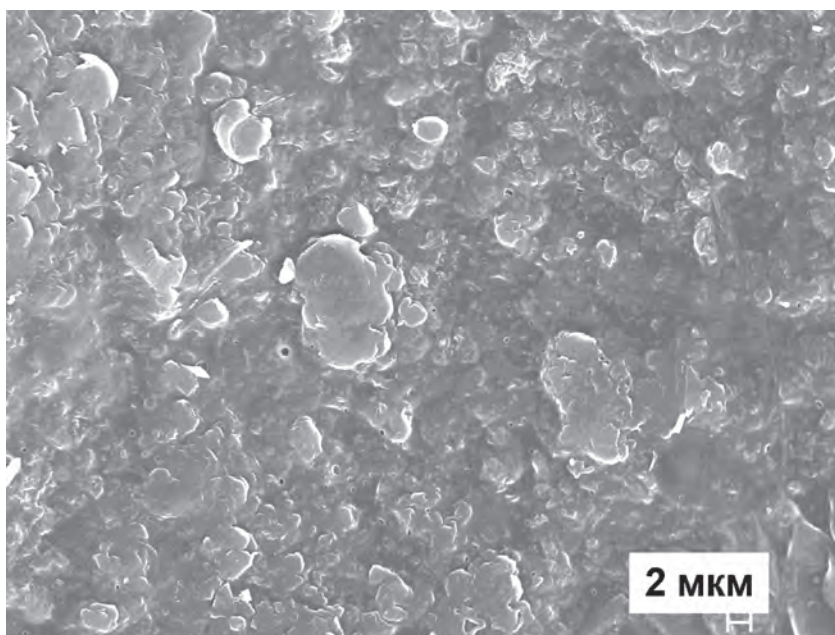
Сканирующая электронная микрофотография фрагмента поверхности пюре, изготовленного на ОАО «Машпищепрод» трехкратной термообработкой



Сканирующая электронная микрофотография складчатой поверхности пюре, изготовленного на ОАО «Машпищепрод» двукратной термообработкой

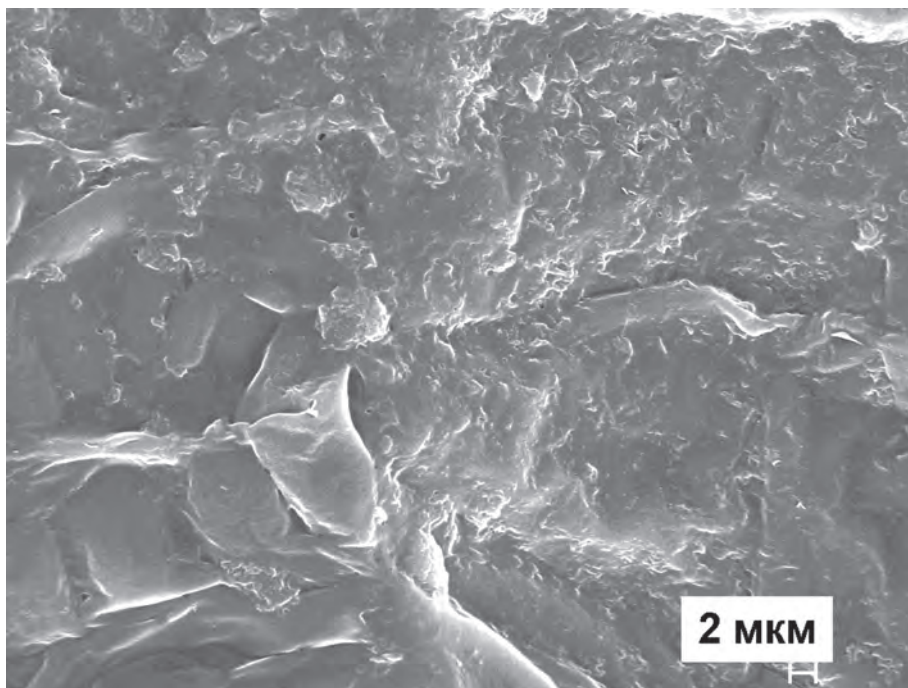


Сканирующая электронная микрофотография складчатой поверхности пюре, изготовленного на ОАО «Машпищепрод» трехкратной термообработкой

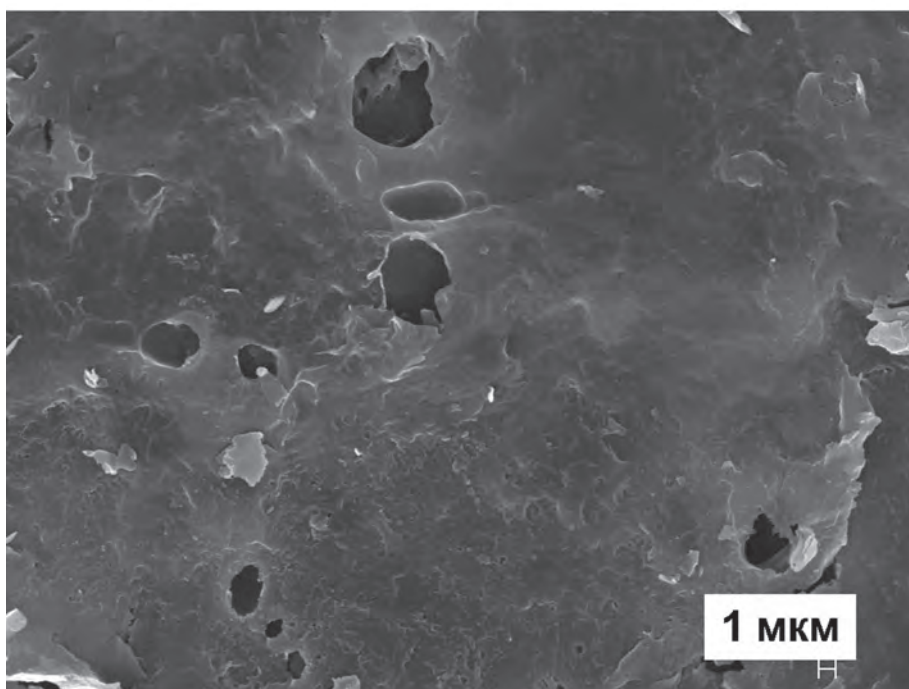
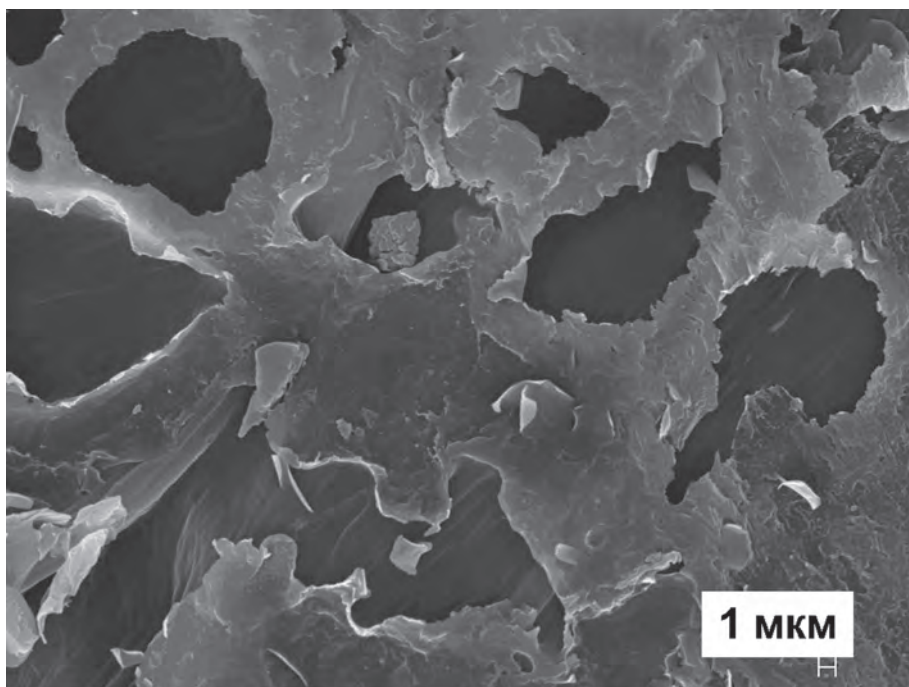


Сканирующая электронная микрофотография сглаженной поверхности пюре, изготовленного на ОАО «Машпищепрод» двукратной термообработкой

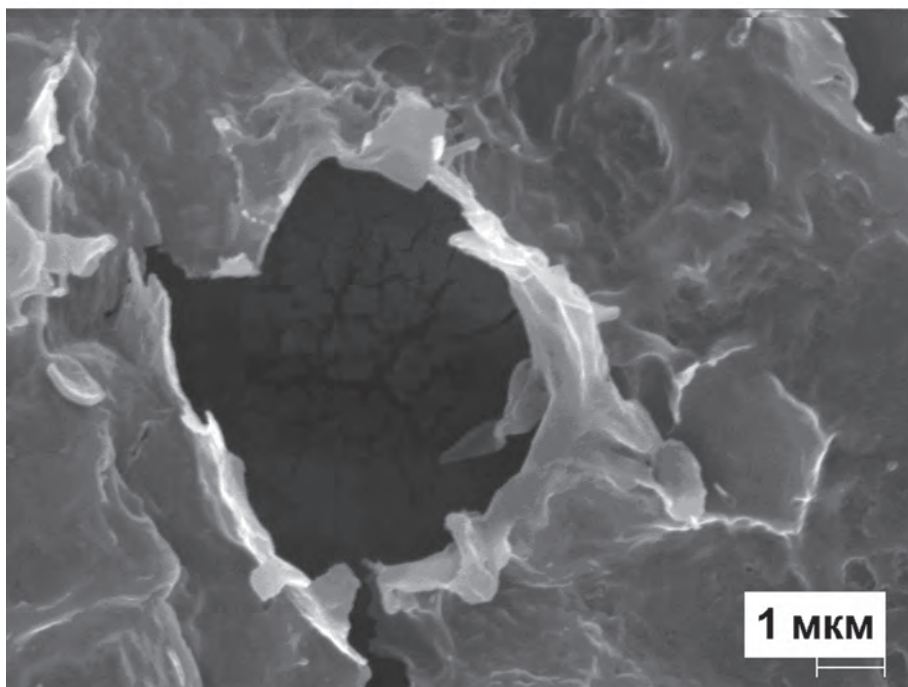
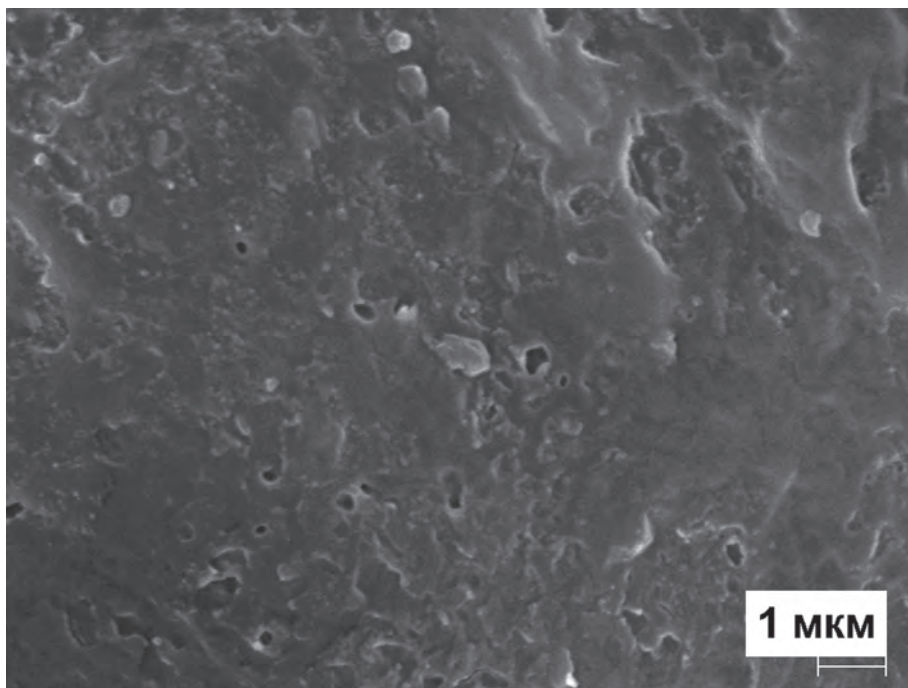




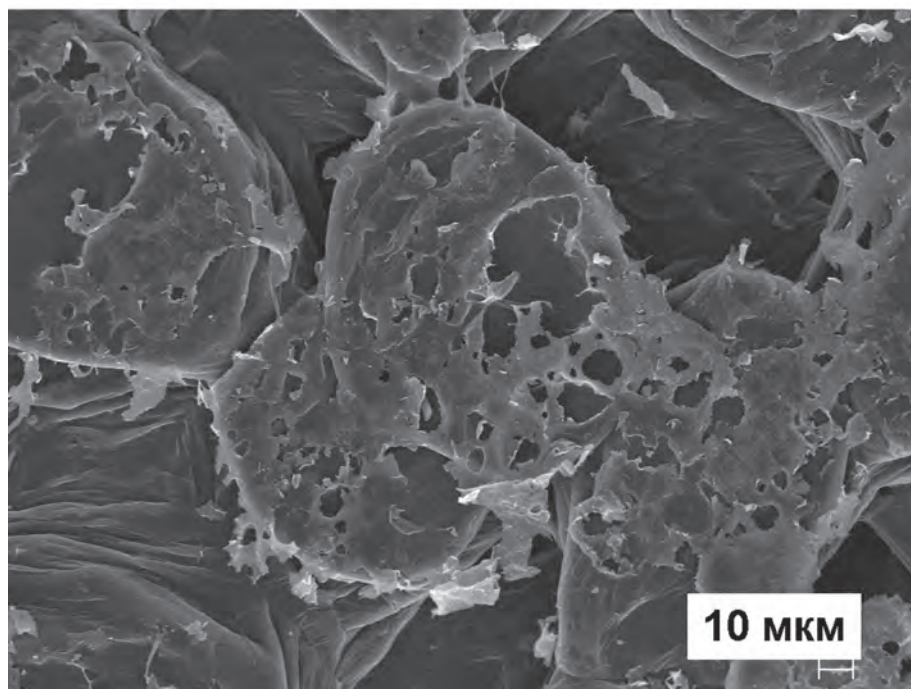
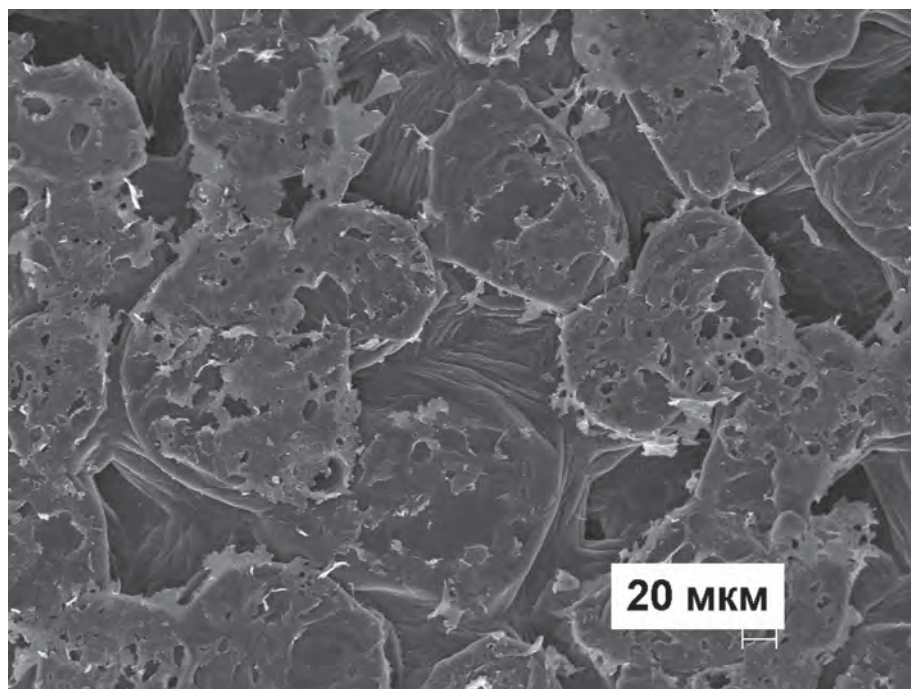
Сканирующая электронная микрофотография смешанной поверхности пюре, изготовленного на ОАО «Машпищепрод» трехкратной термообработкой



Сканирующие электронные микрофотографии поверхности картофельного пюре, изготовленного двукратной термообработкой (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)

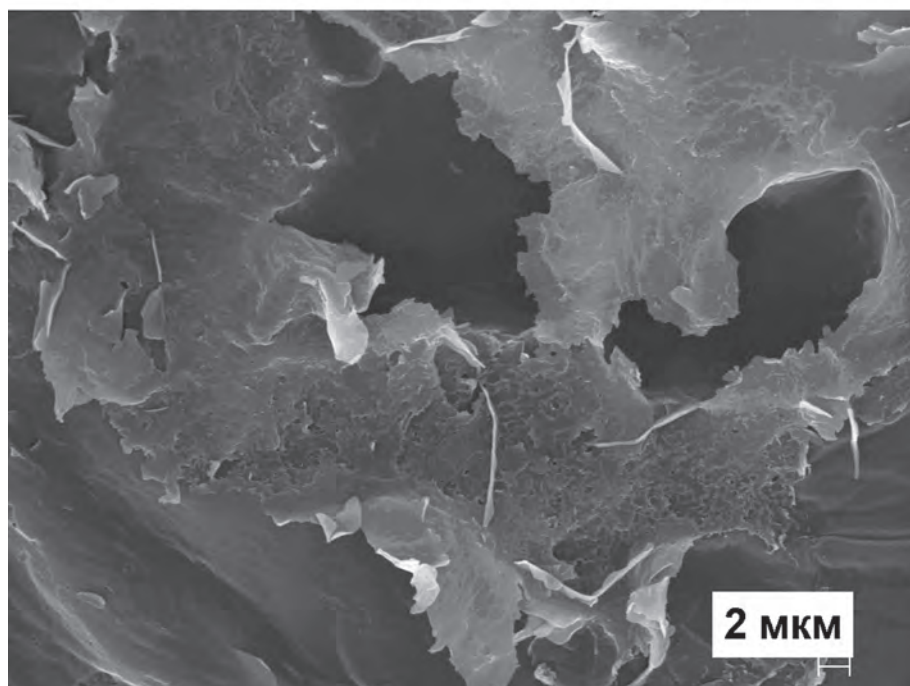
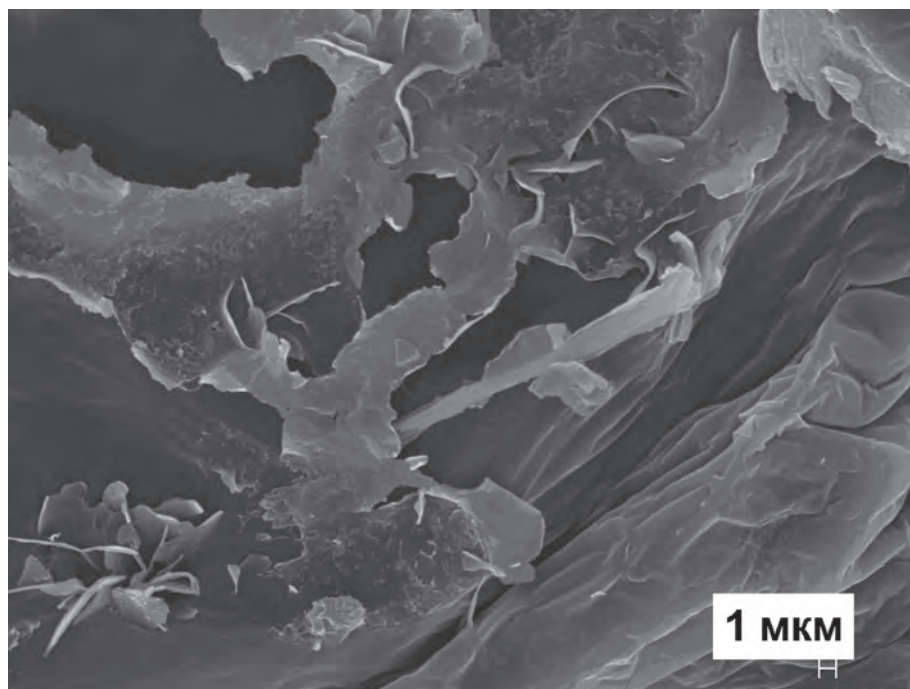


Сканирующие электронные микрофотографии поверхности картофельного пюре, изготовленного двукратной термообработкой (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)



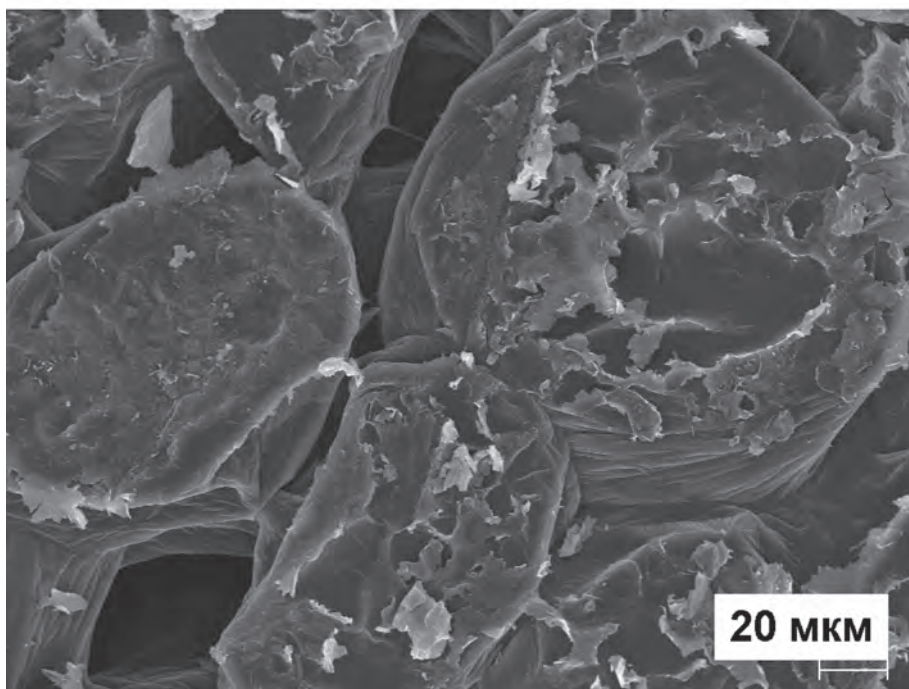
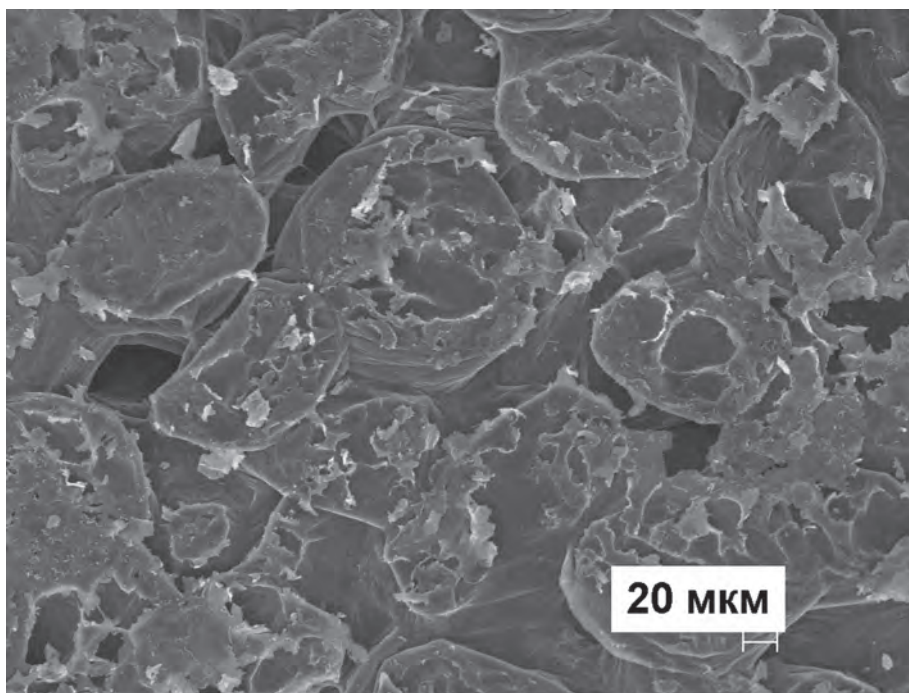
Сканирующие электронные микрофотографии поверхности картофельного пюре, изготовленного двукратной термообработкой (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)



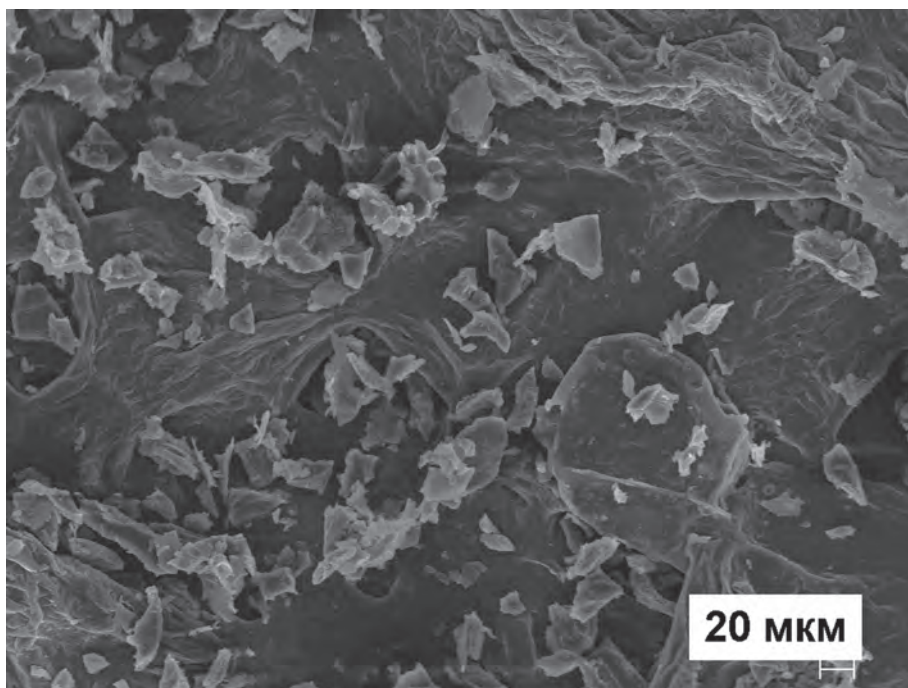


Сканирующие электронные микрофотографии поверхности картофельного пюре, изготовленного двукратной термообработкой (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)

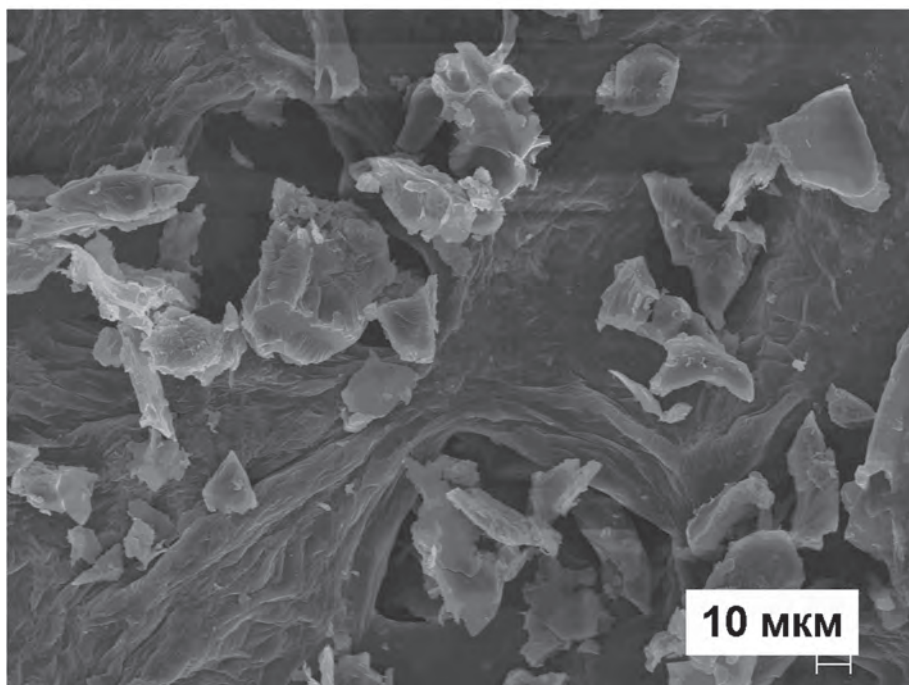
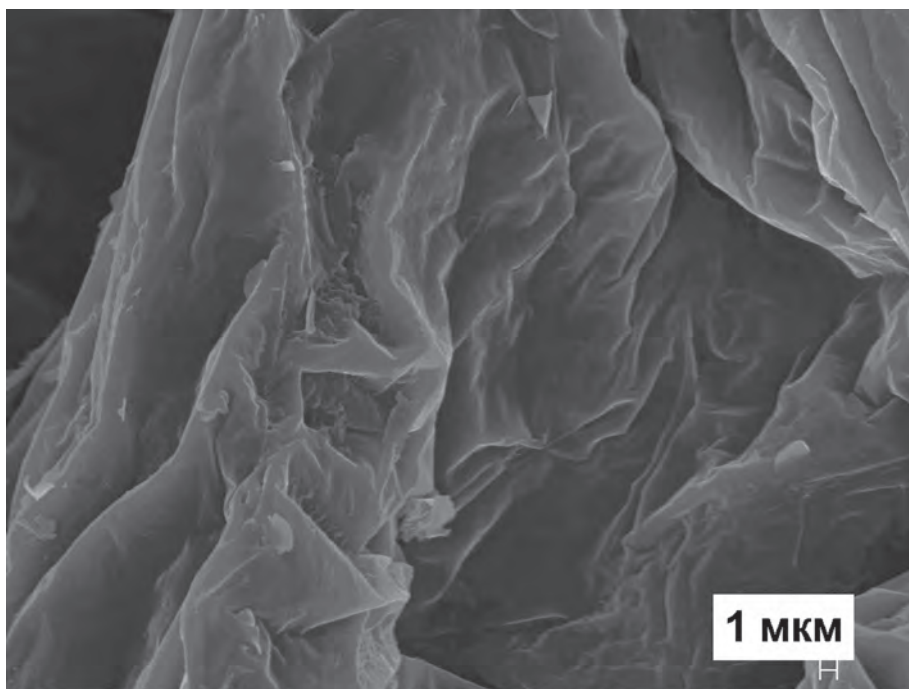




Сканирующие электронные микрофотографии поверхности картофельного пюре, изготовленного двукратной термообработкой (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)

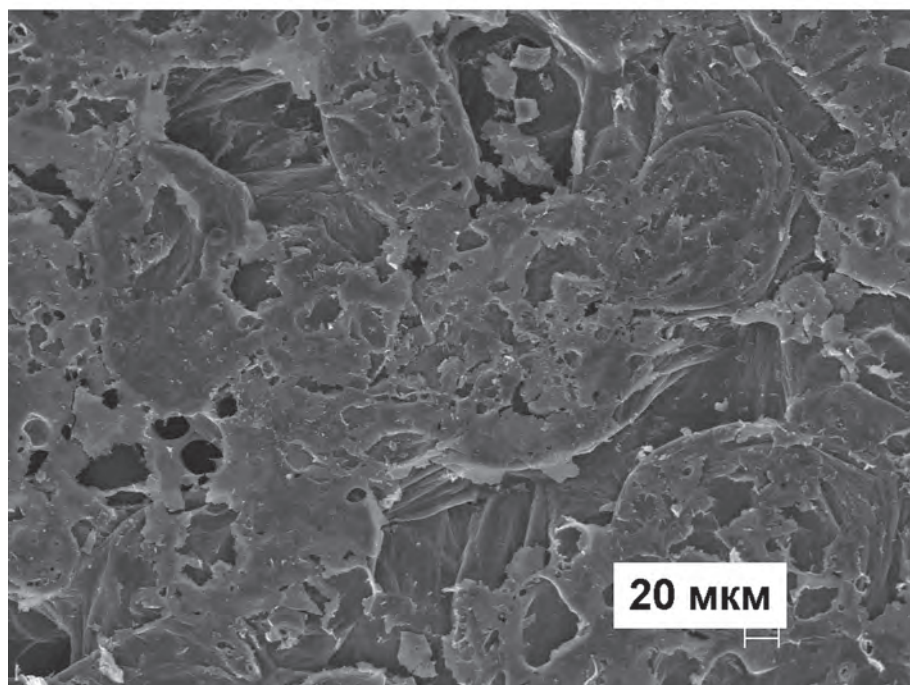
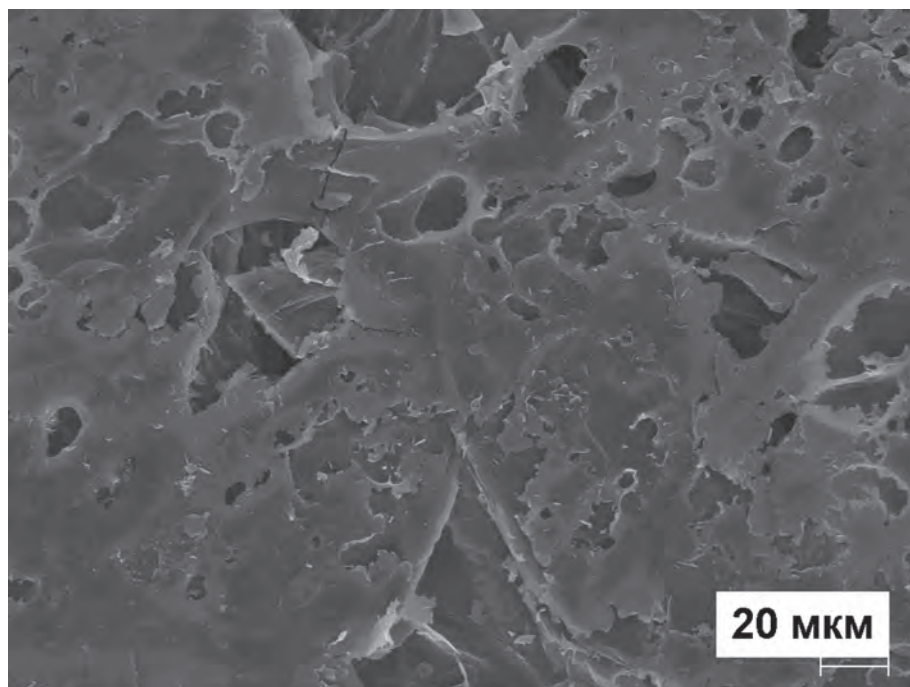


Сканирующая электронная микрофотография частиц сухого картофельного пюре, обогащенного тапинамбуром (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)

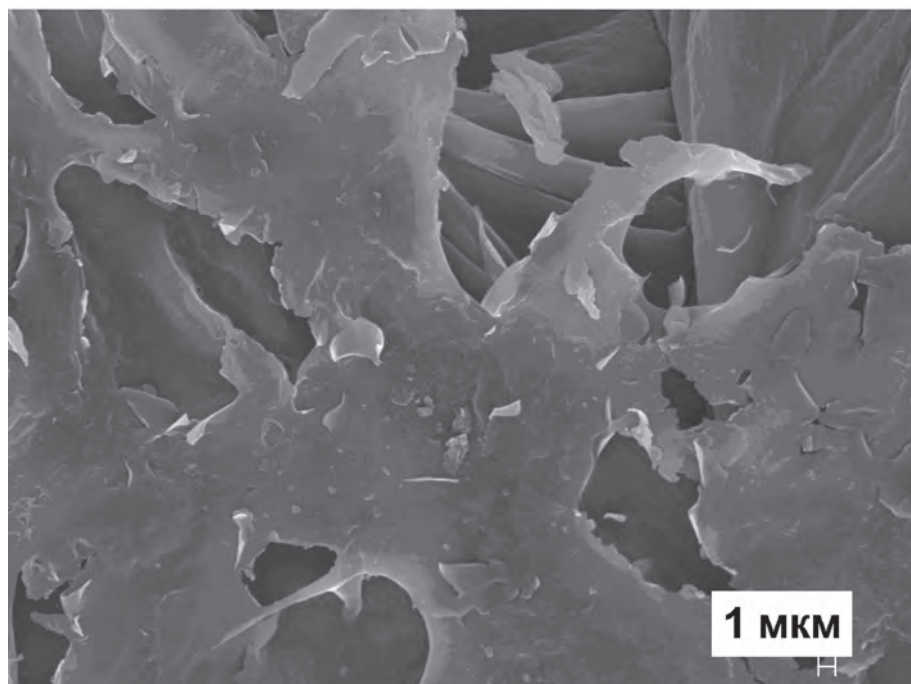
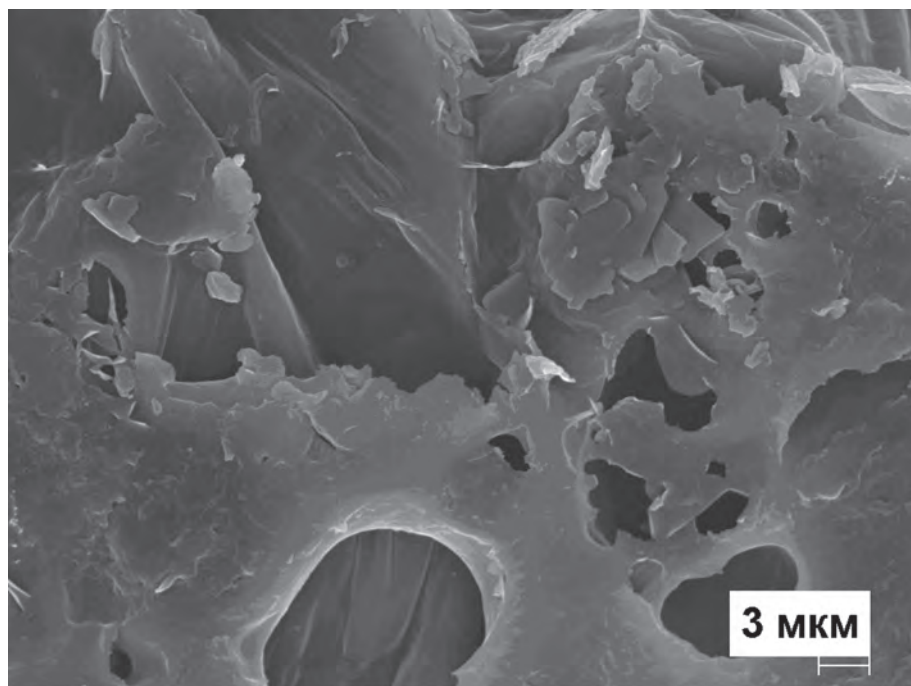


Сканирующие электронные микрофотографии частиц сухого картофельного поре, обогащенного тапинамбуром (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)



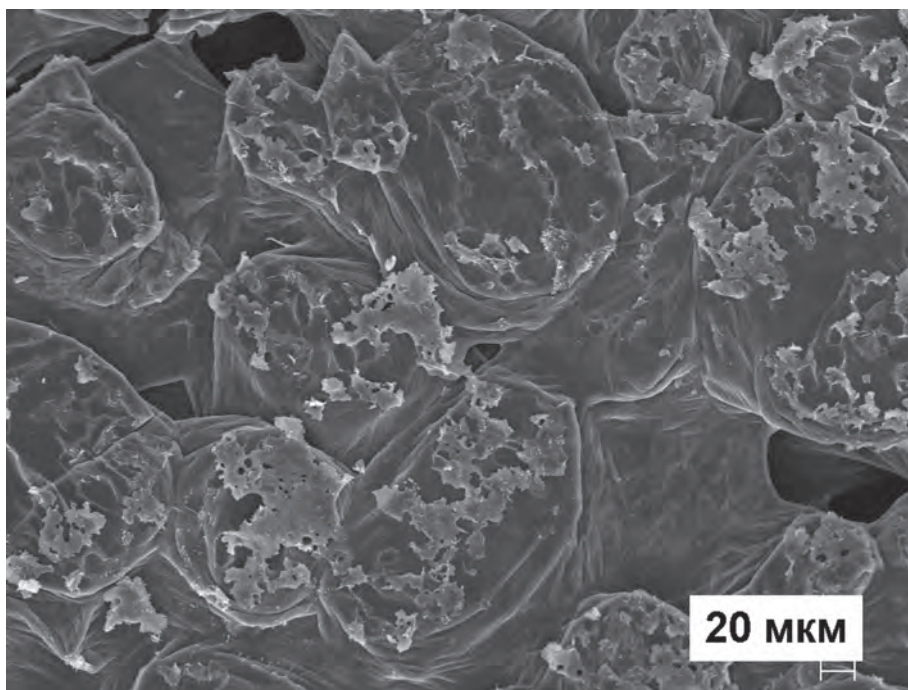


Сканирующие электронные микрофотографии частиц сухого картофельного пюре, обогащенного морковью (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)

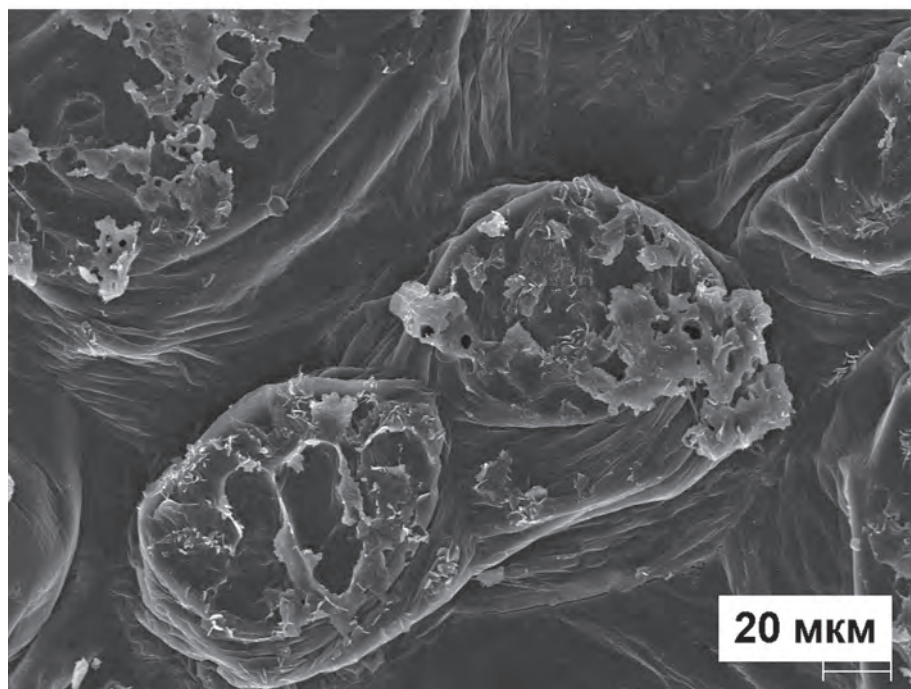
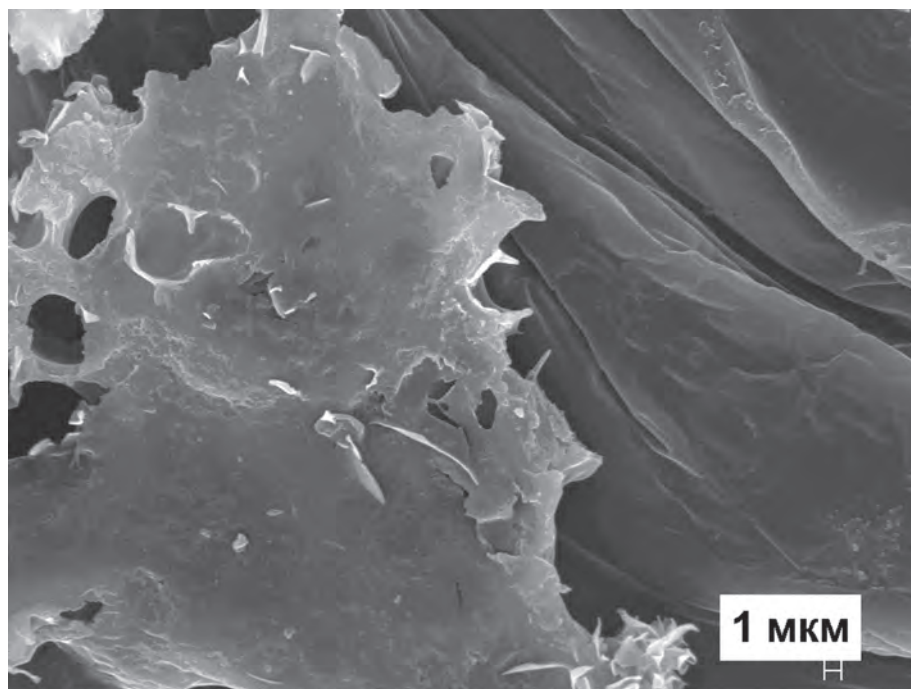


Сканирующие электронные микрофотографии частиц сухого картофельного порока, обогащенного морковью (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)

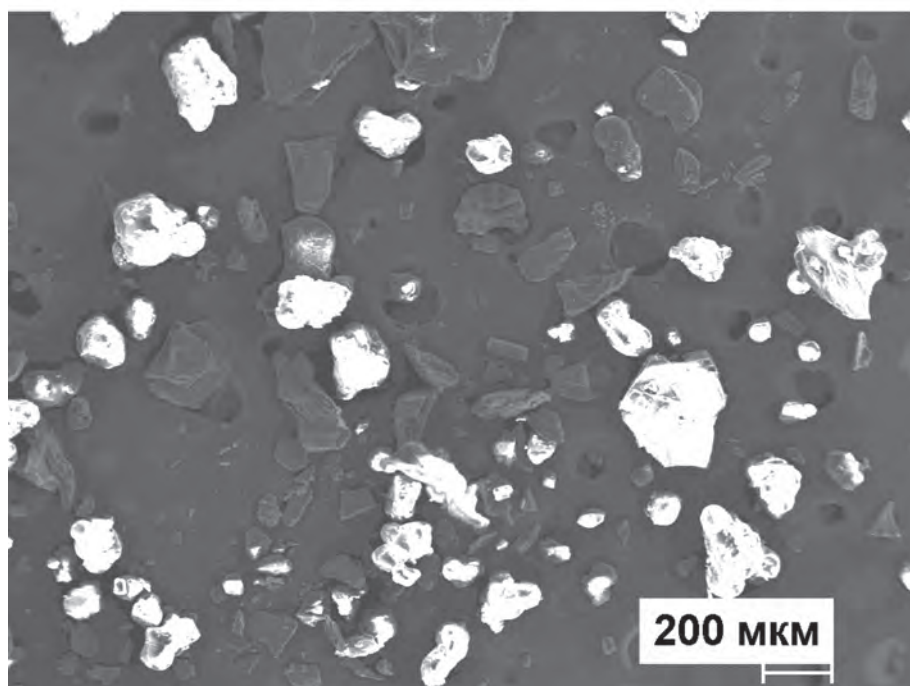
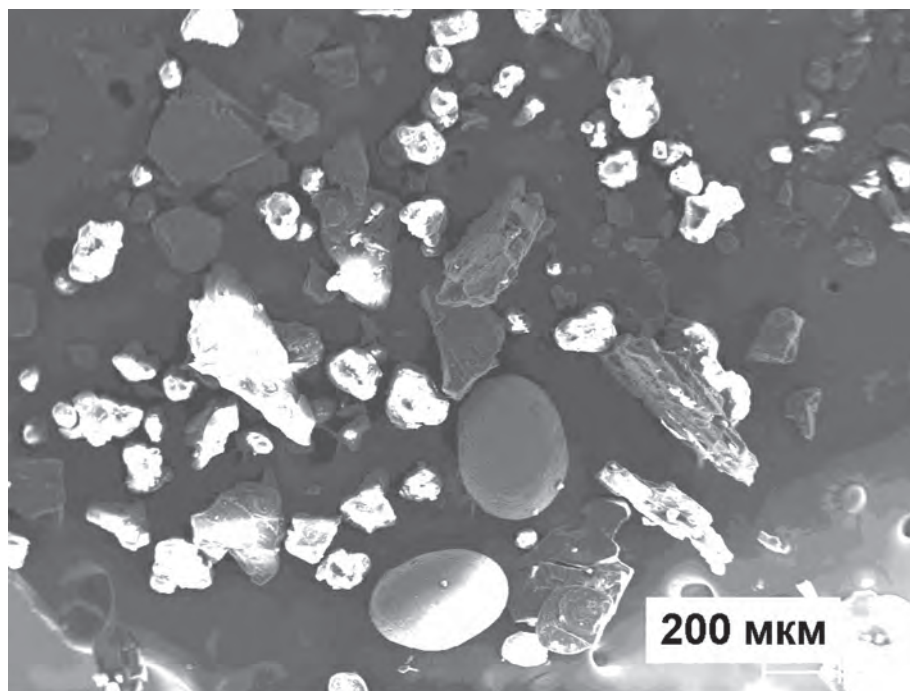




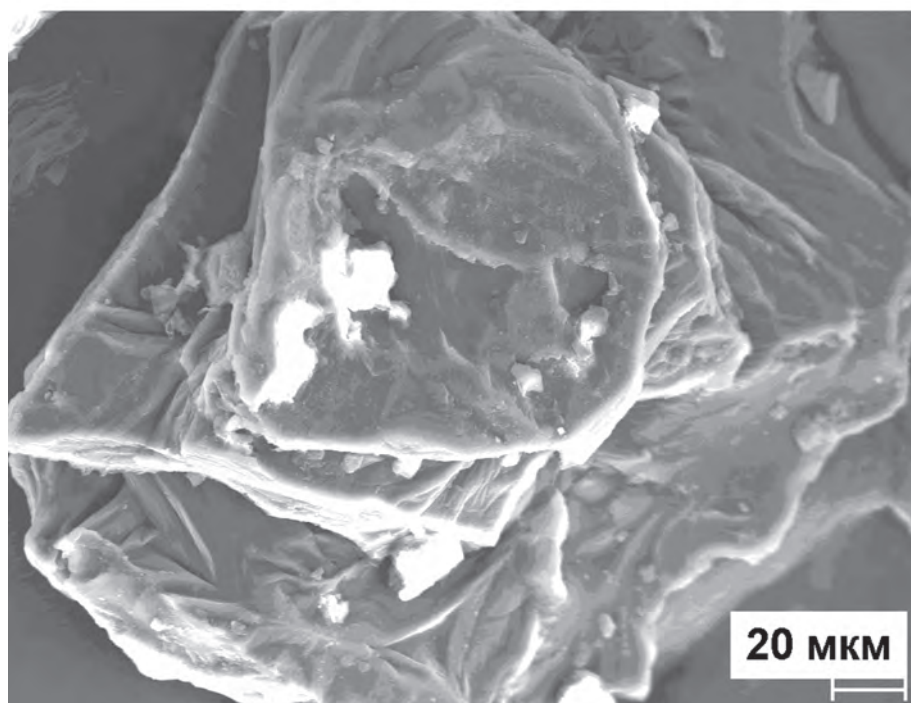
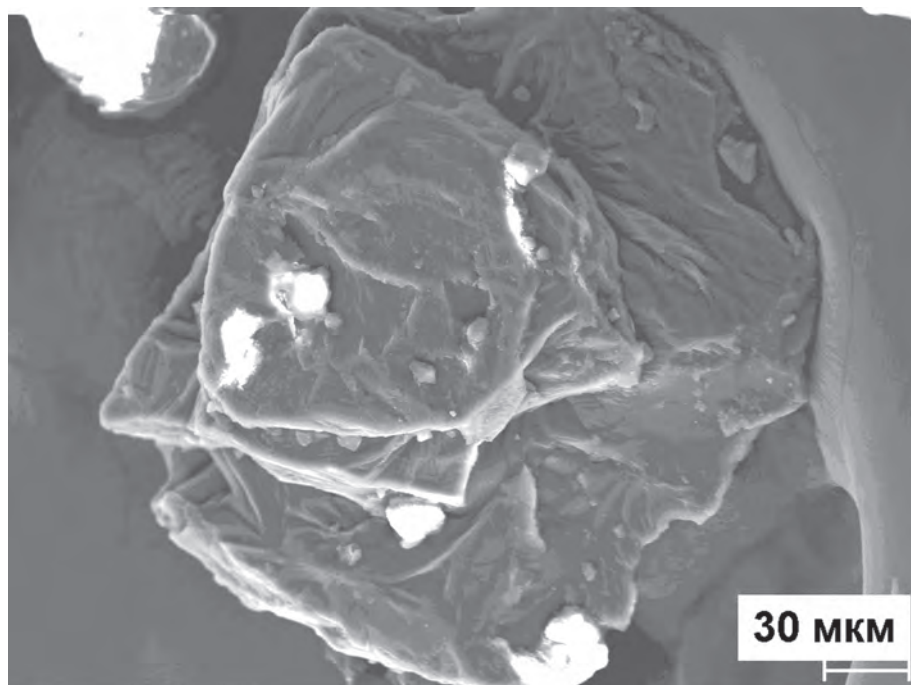
Сканирующая электронная микрофотография частиц сухого картофельного пюре, обогащенного молочной сывороткой (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)



Сканирующие электронные микрофотографии частиц сухого картофельного пюре, обогащенного молочной сывороткой (ЗАО «Погарская картофельная фабрика», Россия)

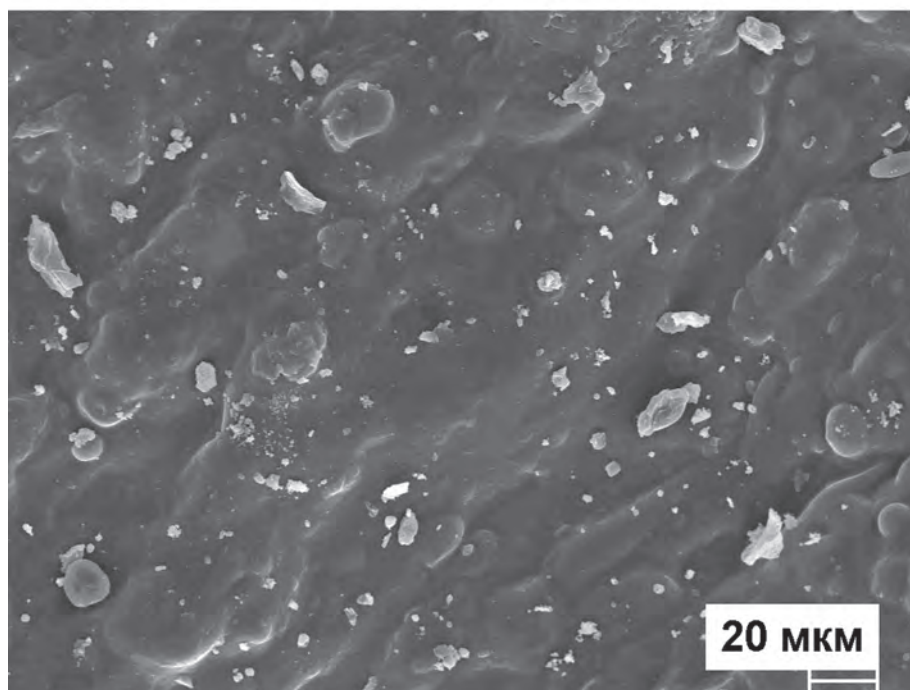
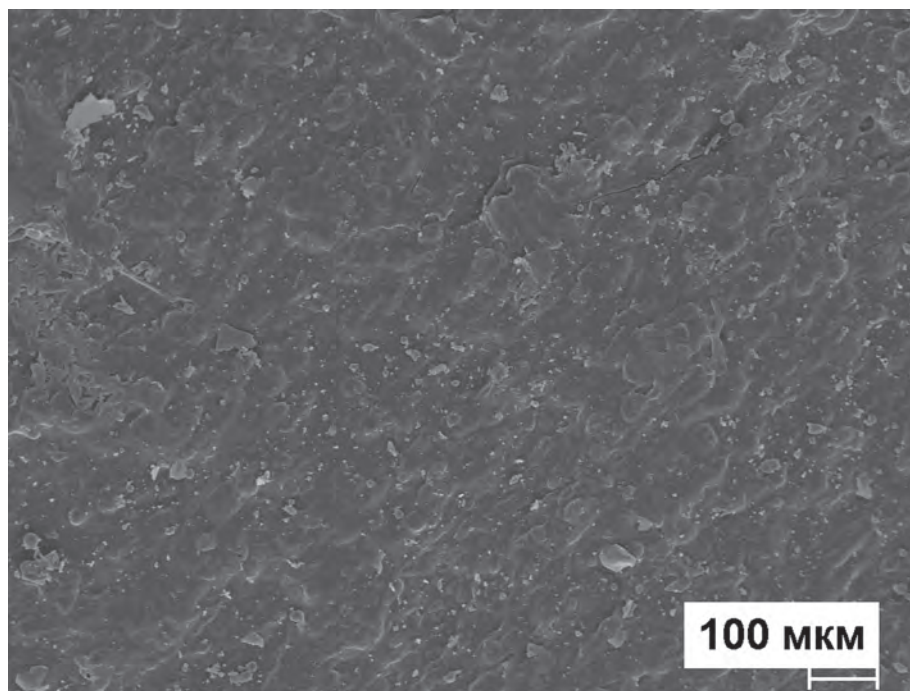


Сканирующие электронные микрофотографии картофельного пюре «Роллтон»



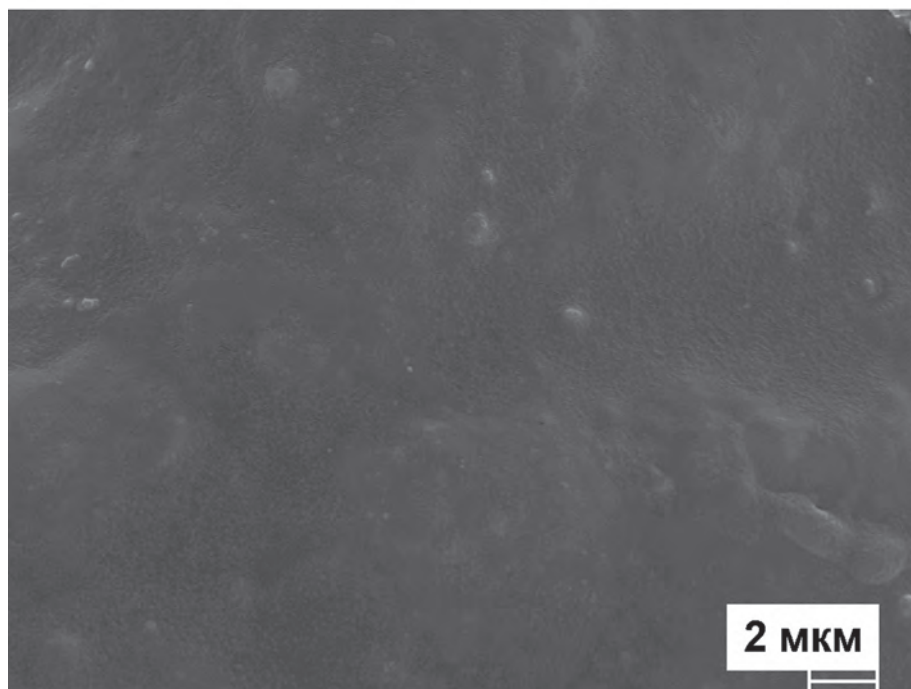
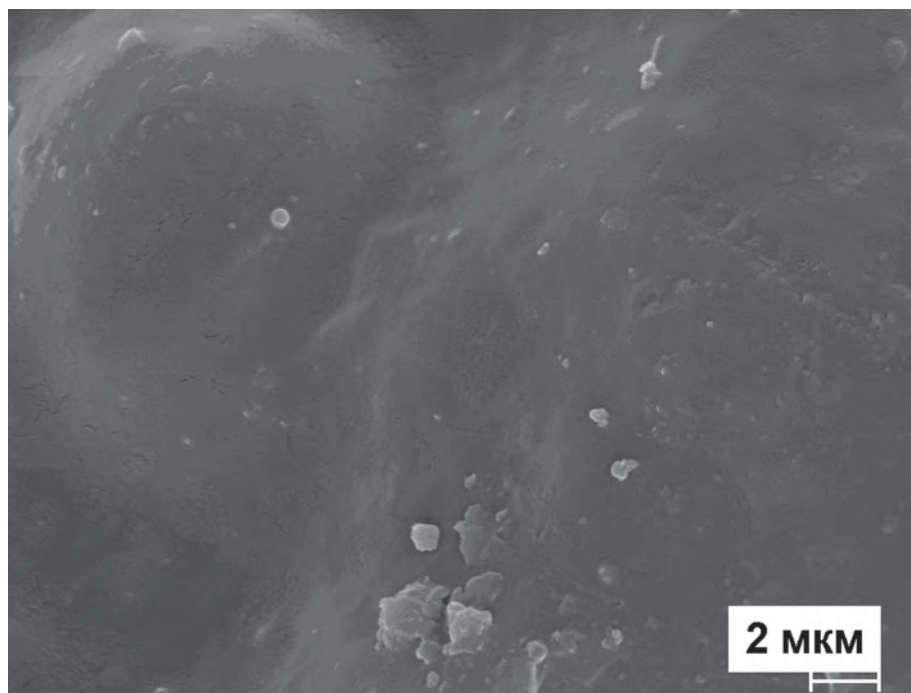
Сканирующие электронные микрофотографии фрагментов частиц  
картофельного пюре «Роллтон»



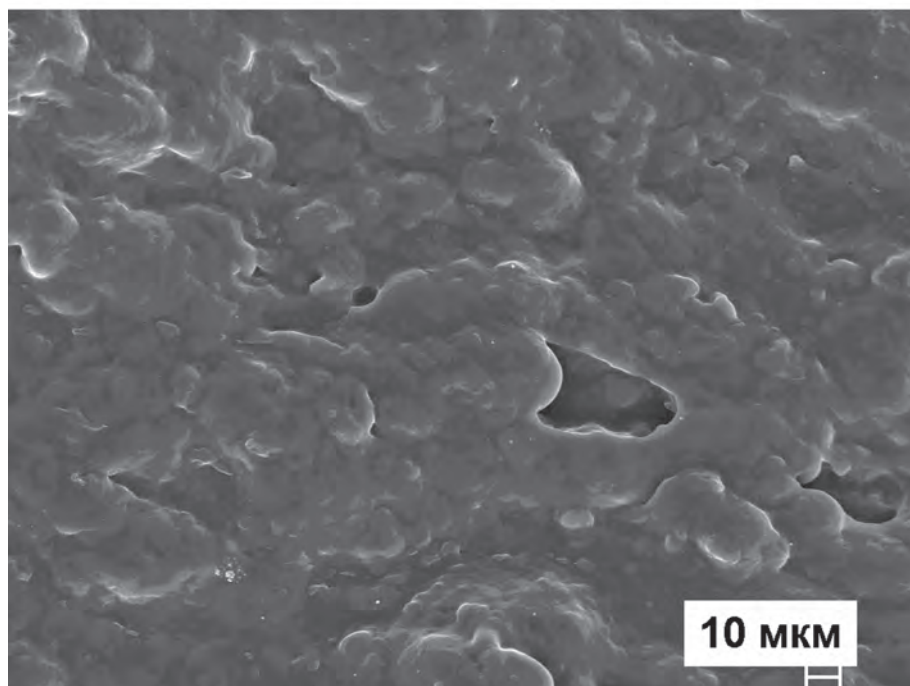
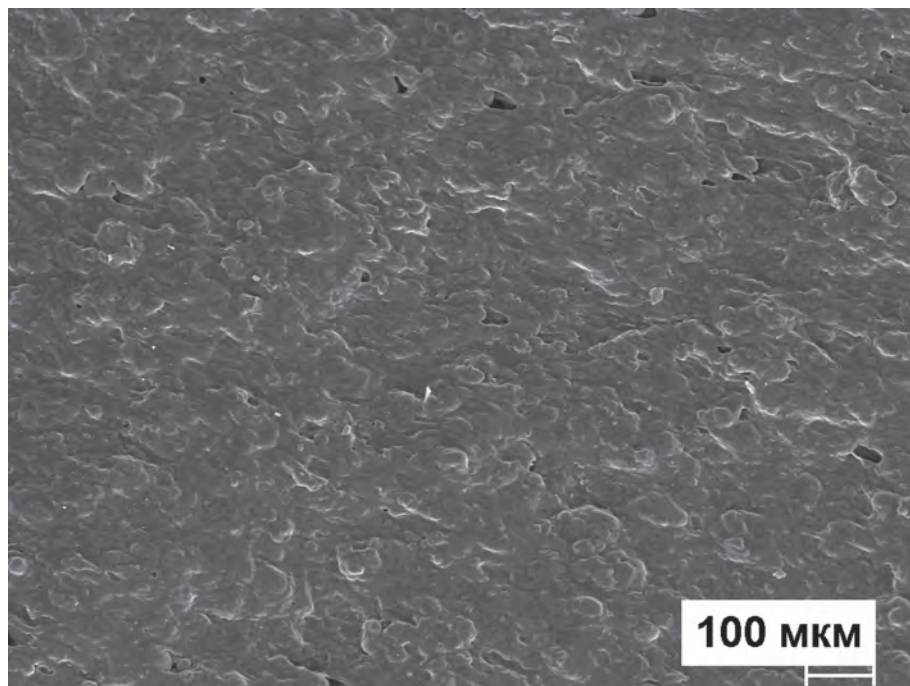


Панорамные сканирующие электронные микрофотографии полуфабриката  
картофелепродукта «Хворост»

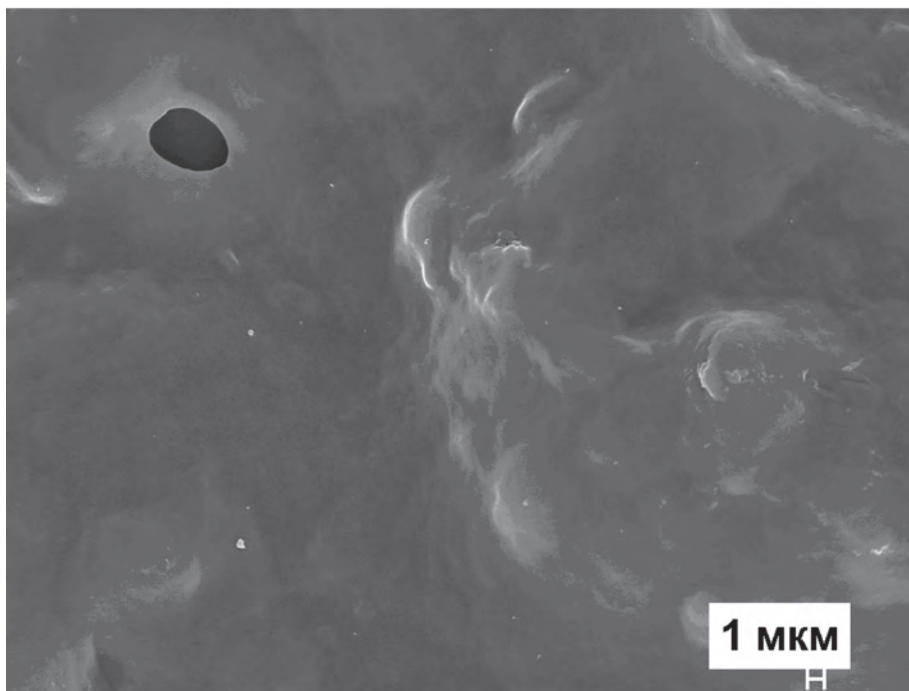
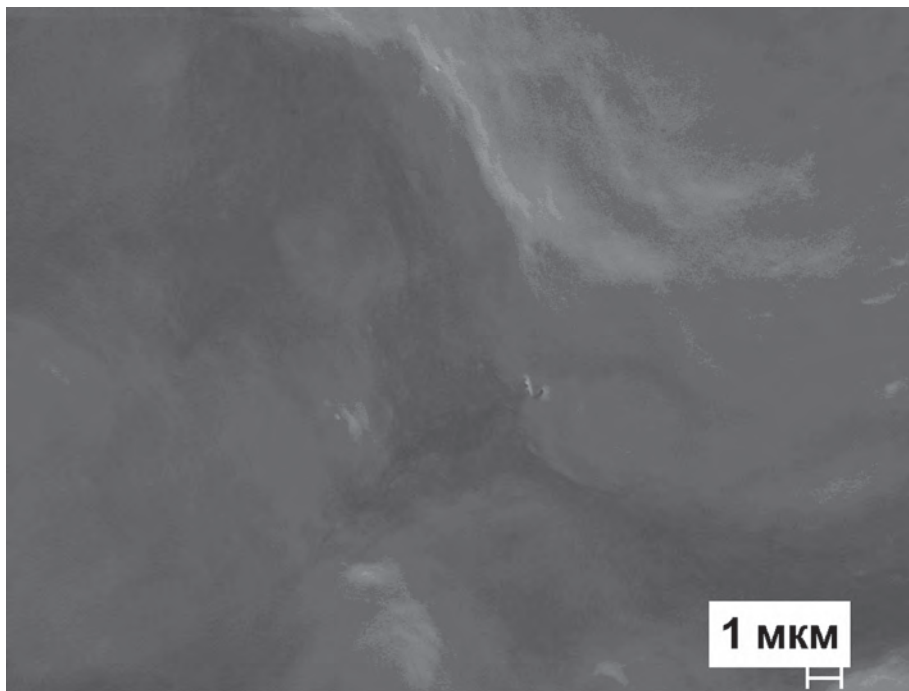




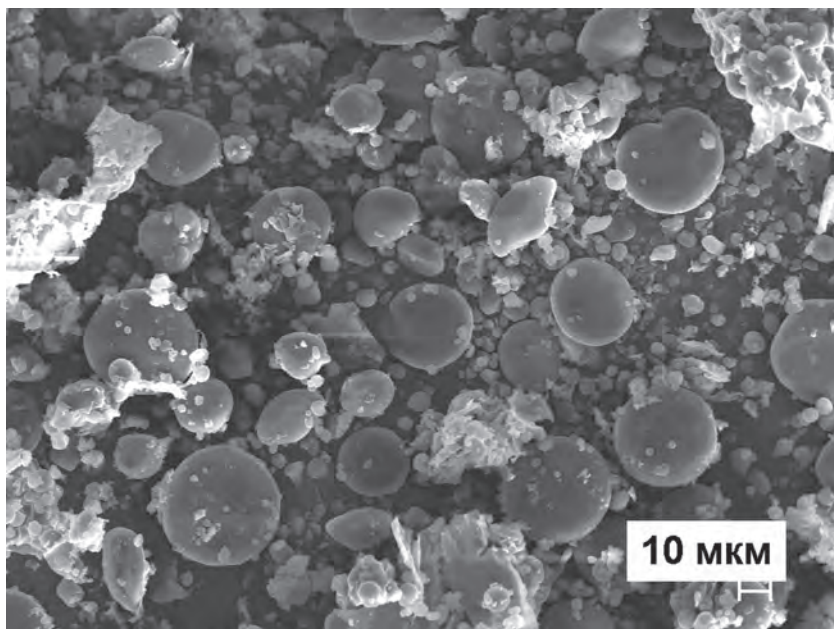
Сканирующие электронные микрофотографии поверхности полуфабриката  
картофелепродукта «Хворост»



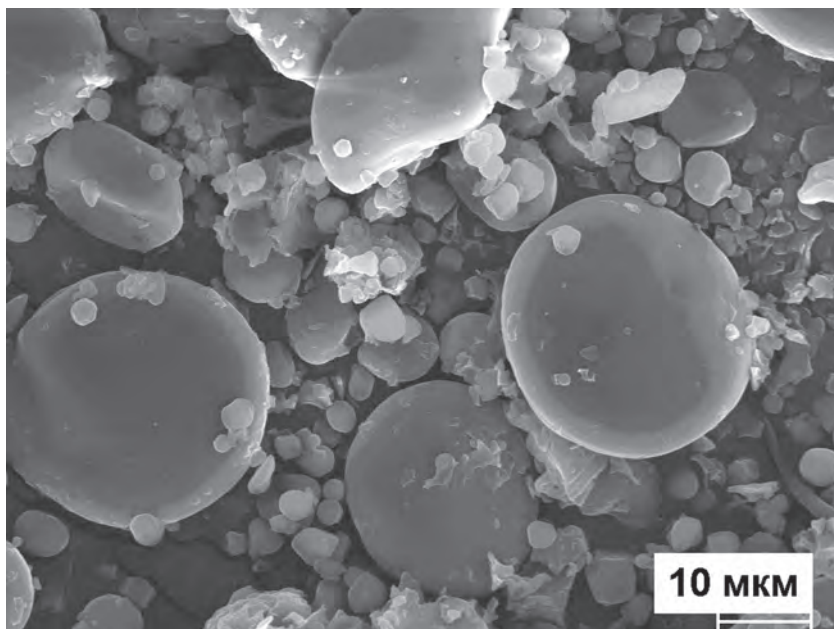
Панорамные сканирующие электронные микрофотографии полуфабриката  
картофелепродукта «Оригинальный»



Сканирующие электронные микрофотографии поверхности полуфабриката  
картофелепродукта «Оригинальный»

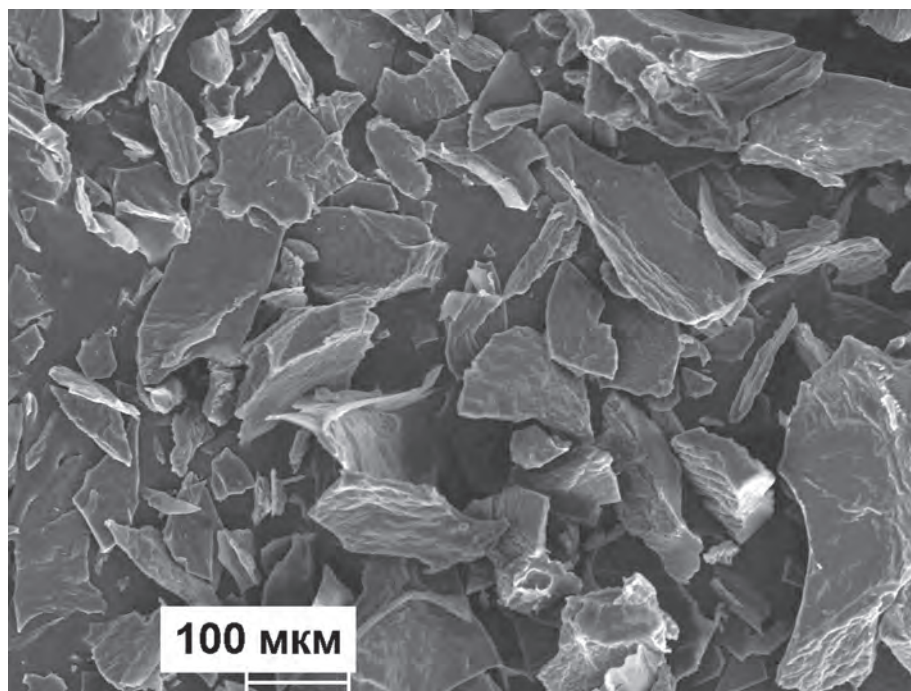


Панорамная сканирующая электронная микрофотография частиц муки ржаной обдирной



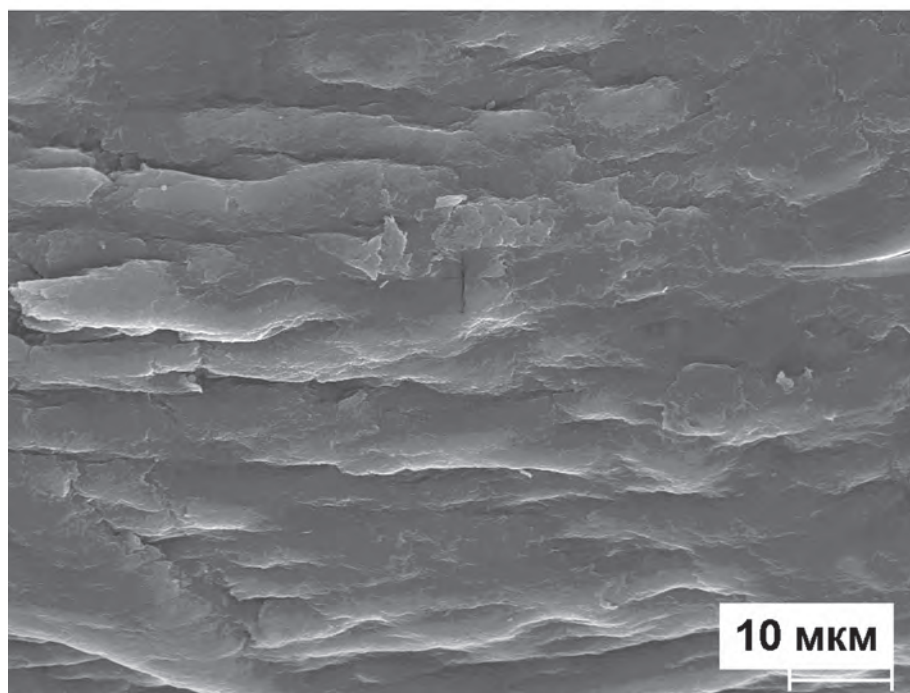
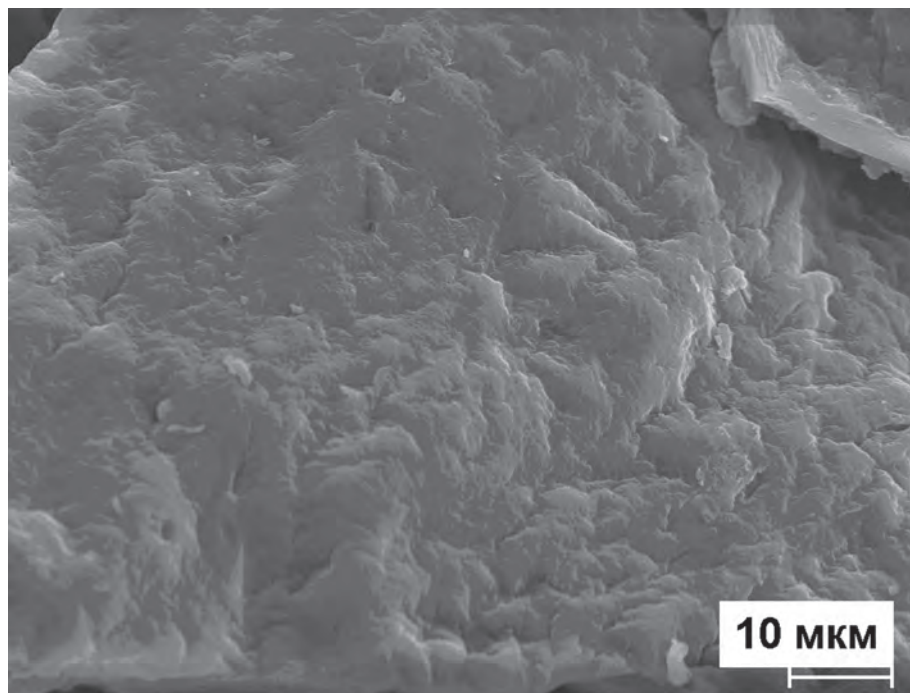
Сканирующая электронная микрофотография частиц муки ржаной обдирной



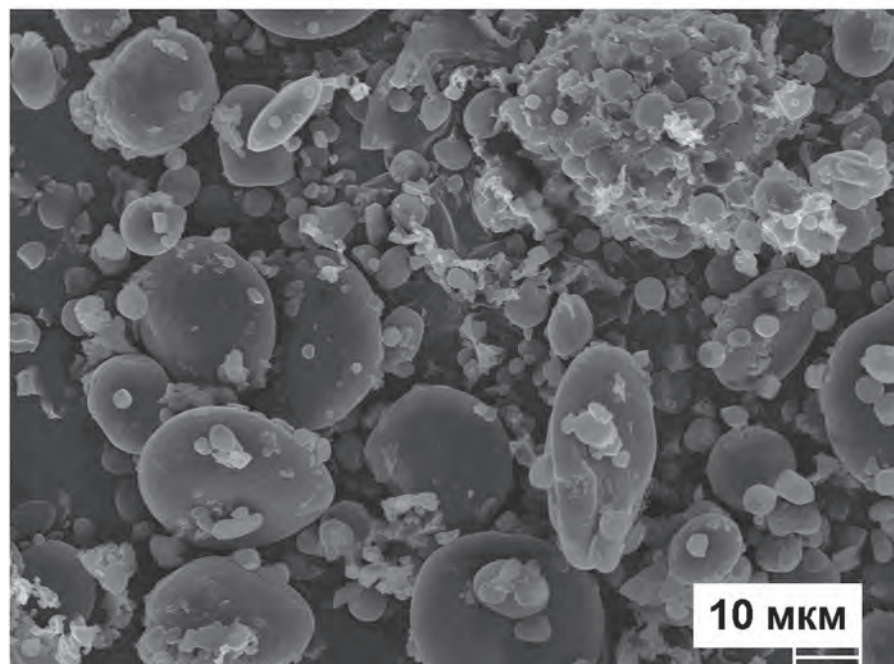
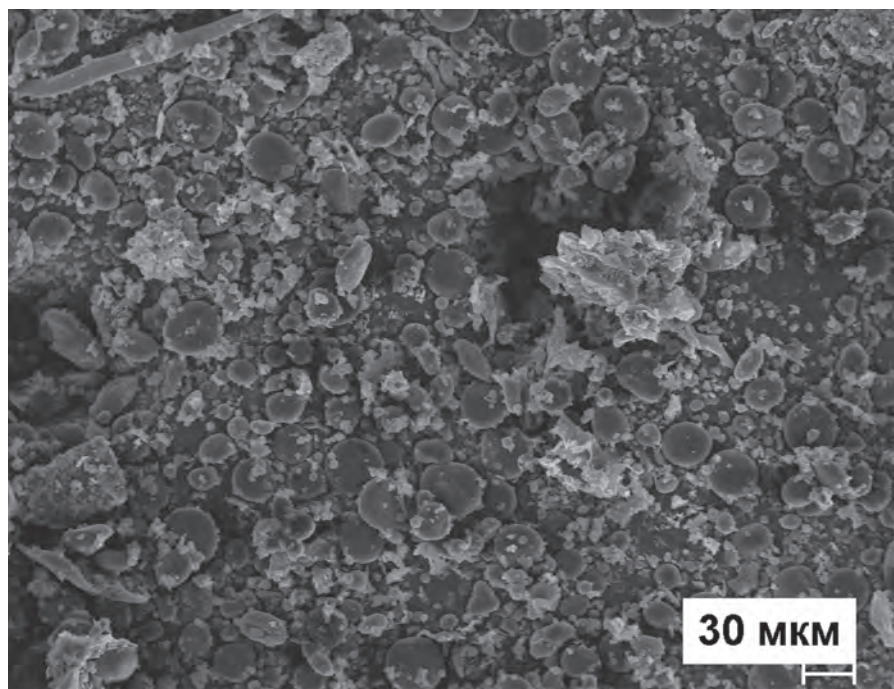


Сканирующая электронная микрофотография частиц муки ржаной обдирной, экструдированной при 140 °С

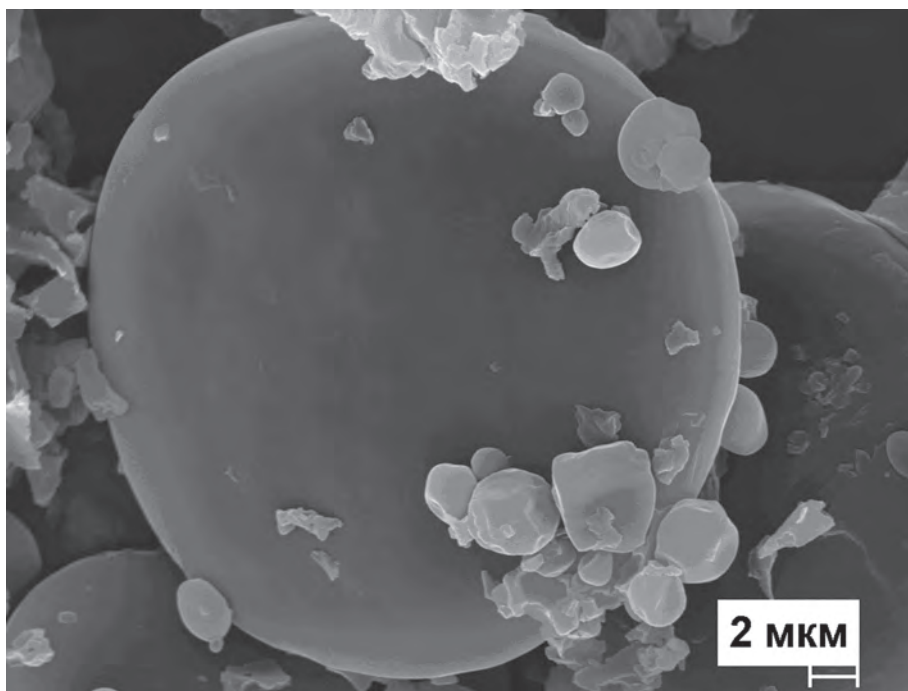




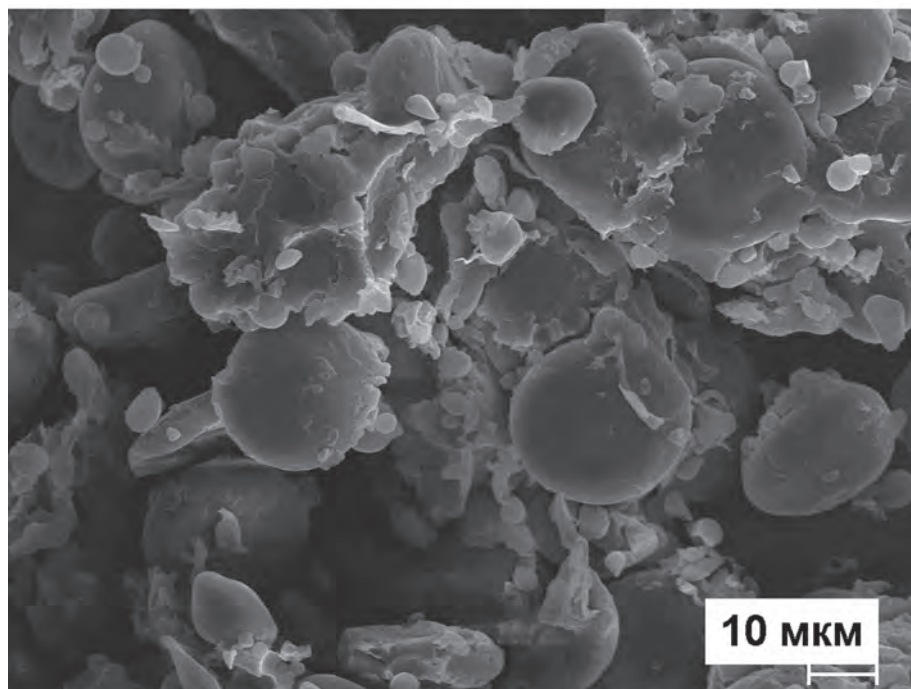
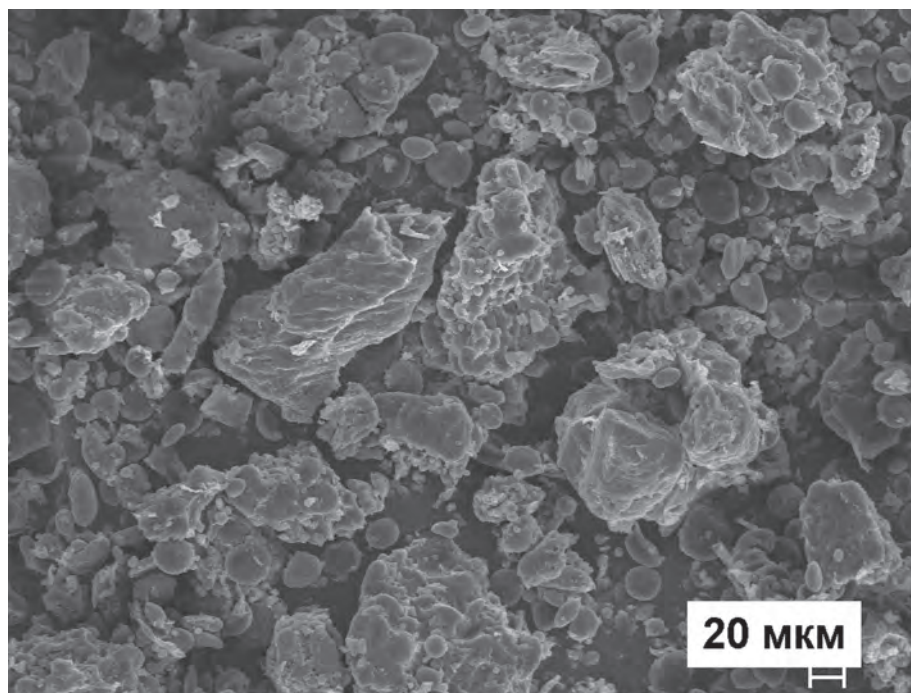
Сканирующие электронные микрофотографии поверхности отдельной частицы муки ржаной обдирной, экструдированной при 140 °С



Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки ржаной хлебопекарной сеяной («Столичная мельница») ОАО «Минский комбинат хлебопродуктов»

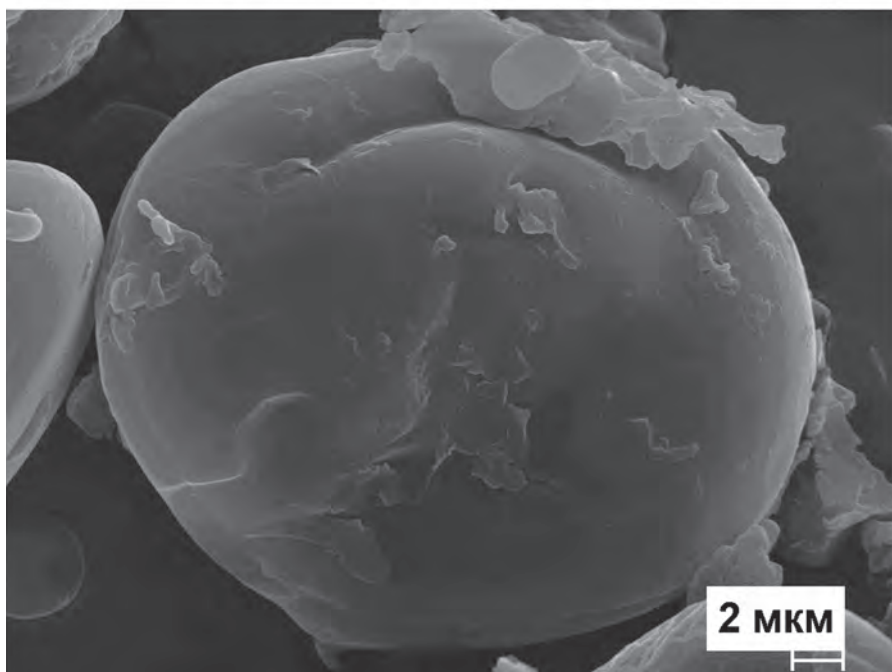
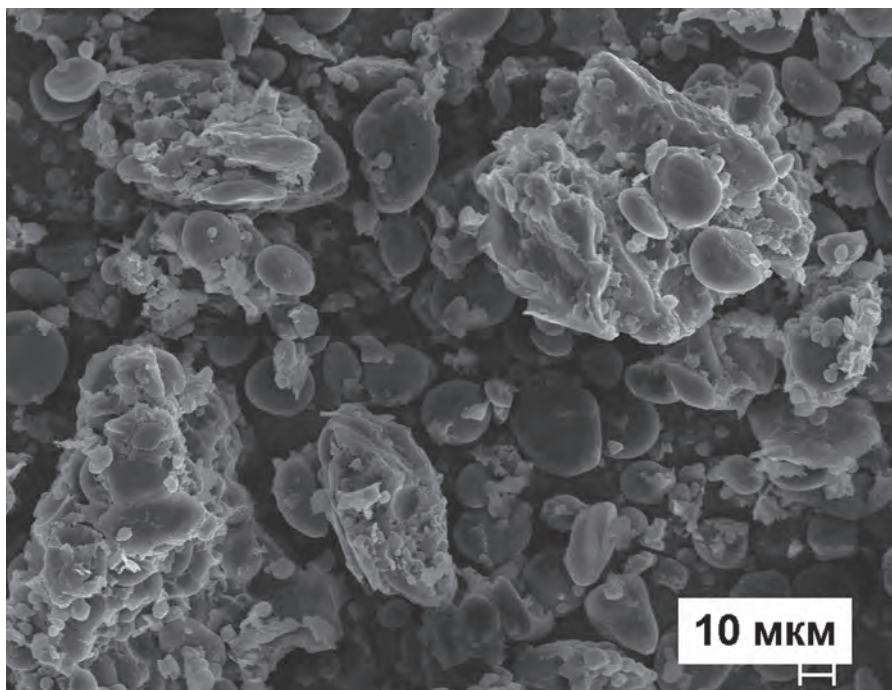


Сканирующая электронная микрофотография частиц муки ржаной хлебопекарной сеяной («Столичная мельница») ОАО «Минский комбинат хлебопродуктов»



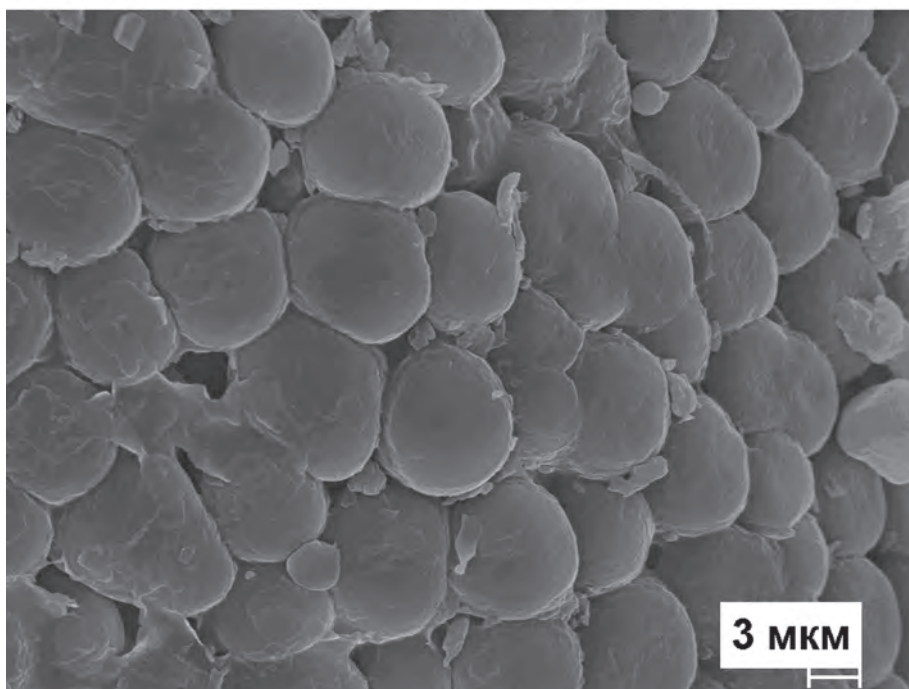
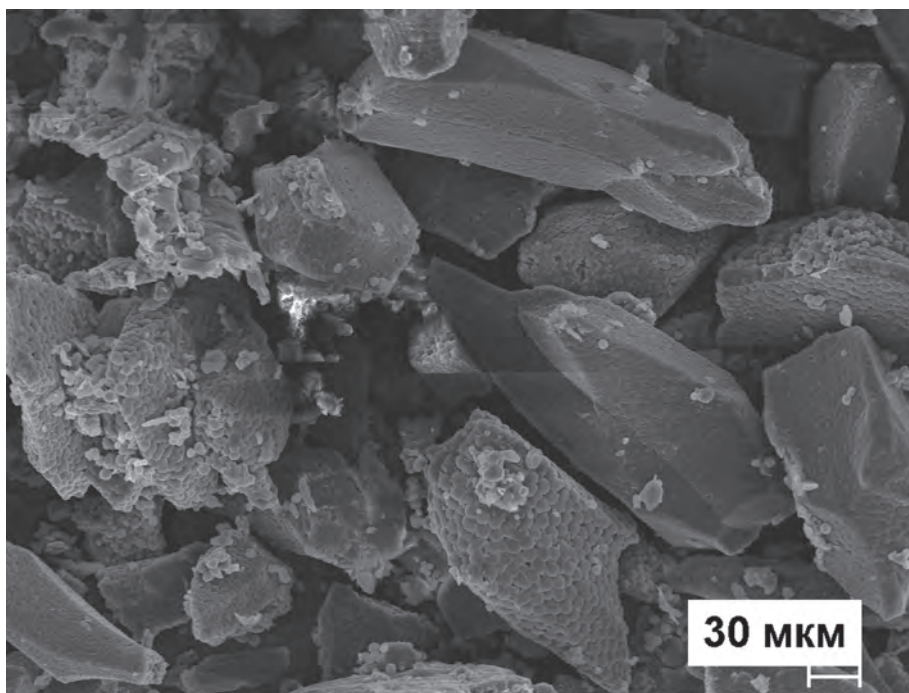
Сканирующие электронные микрофотографии частиц пшеничной муки высшего сорта марки М 54-28 (ОАО «Лидахлебопродукт»)



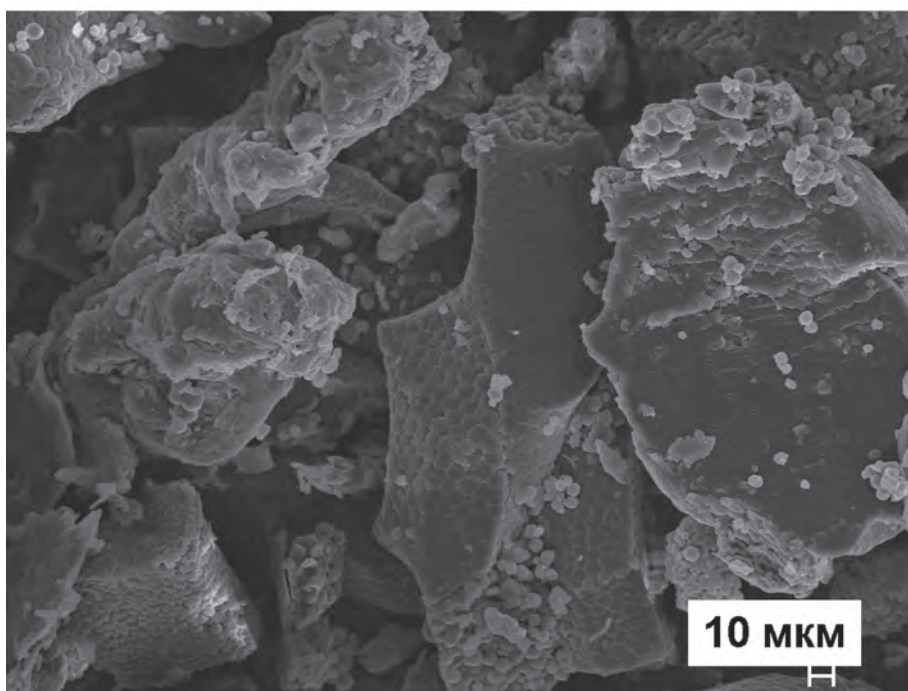
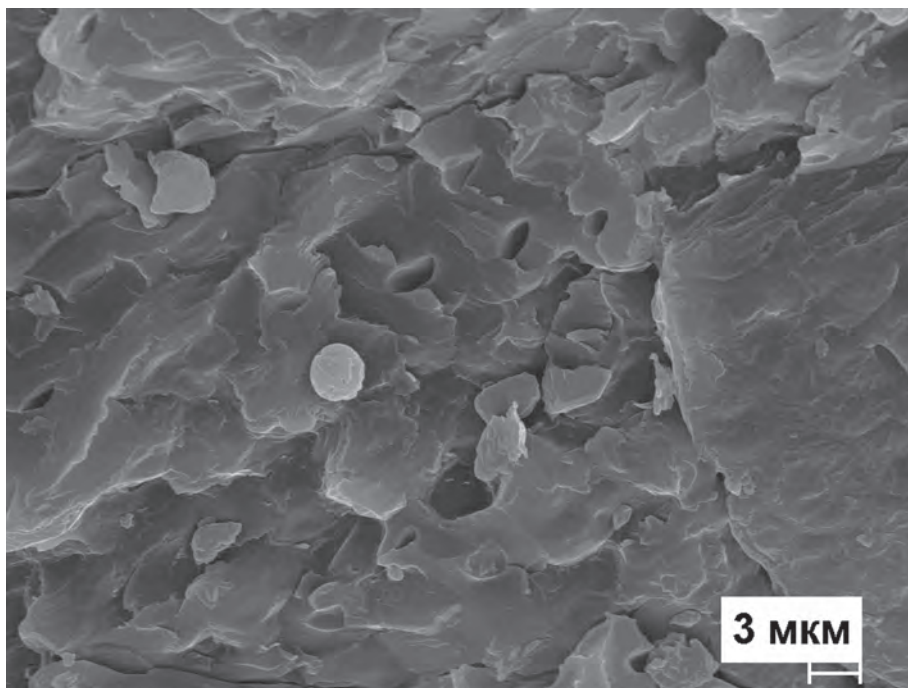


Сканирующие электронные микрофотографии частиц пшеничной муки высшего сорта марки М 54-28 (ОАО «Лидахлебопродукт»)

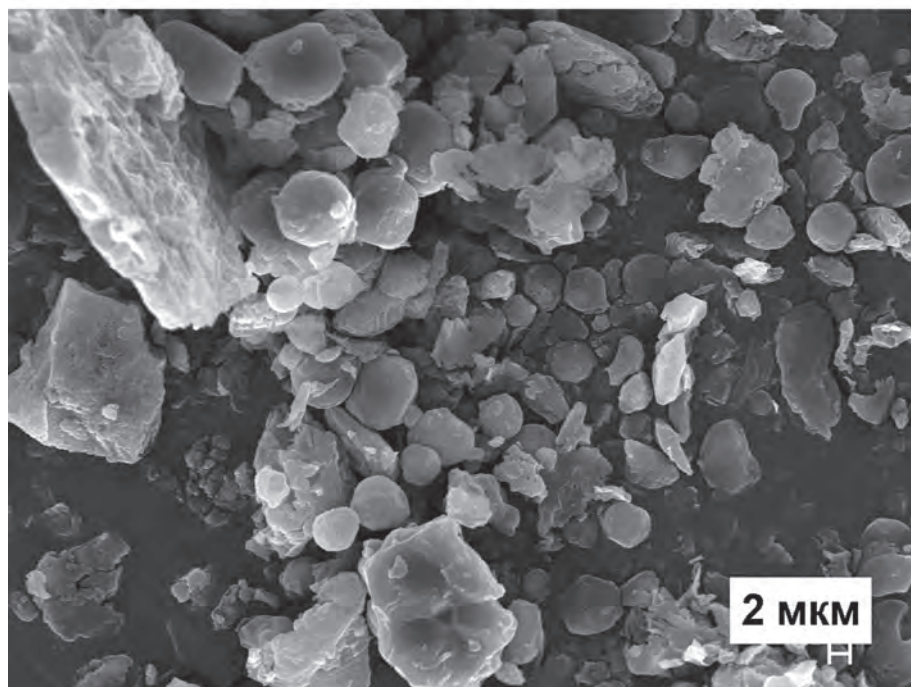
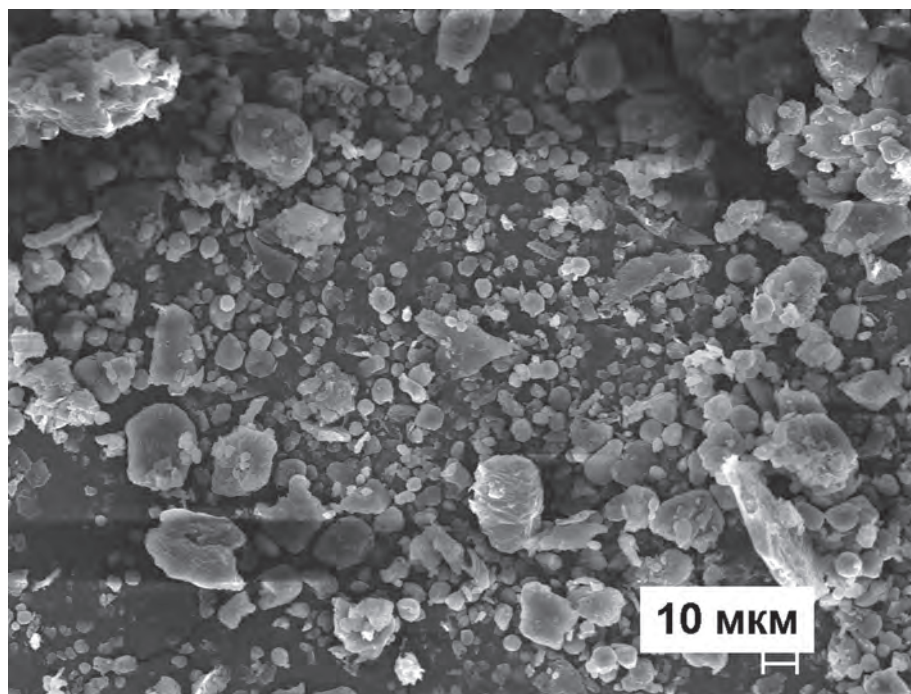




Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки гречневой «Старажытнай» («Панскі гатунак») ОАО «Гроднохлебодукт»

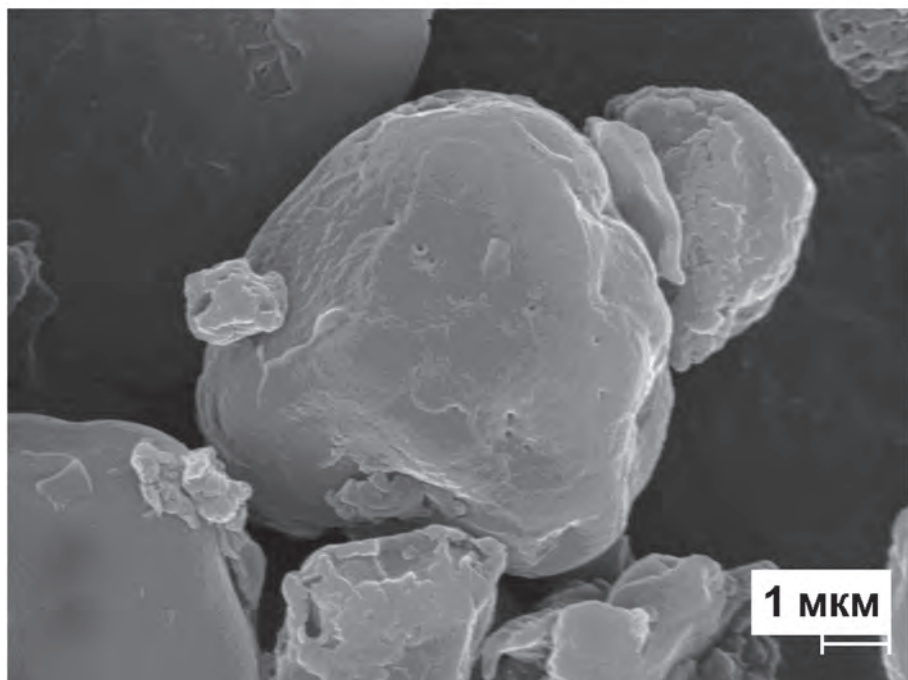
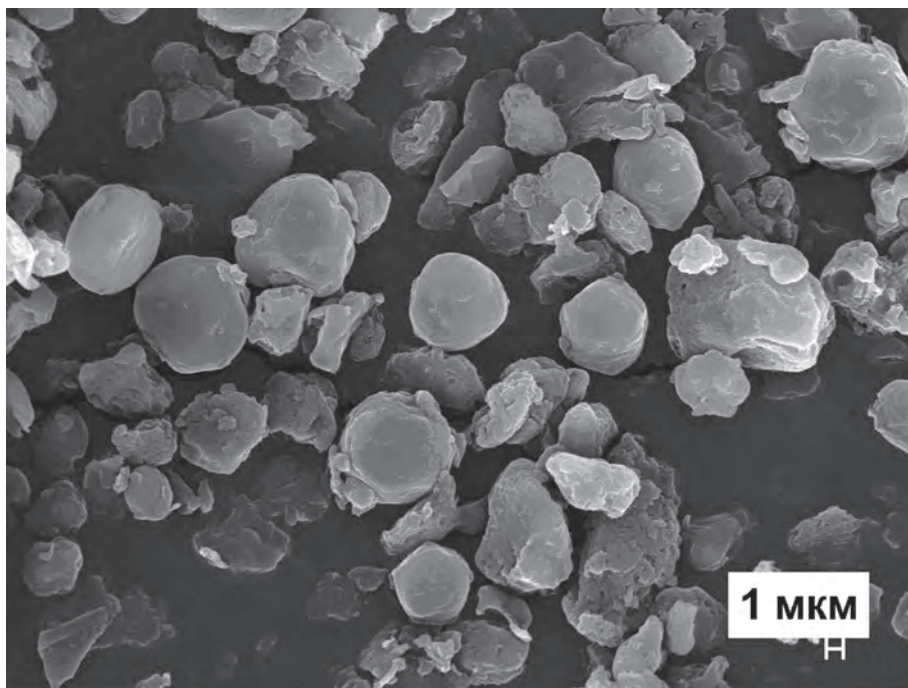


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки гречневой «Старажытнай» («Панскі гатунак») ОАО «Гроднохлебпродукт»

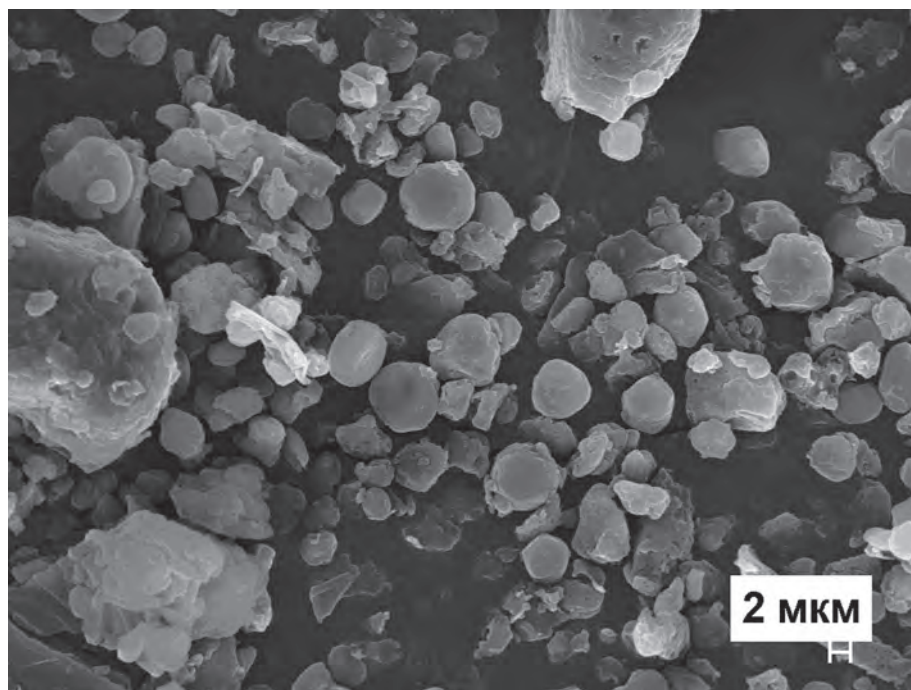


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки гречневой  
(домашнего производства)



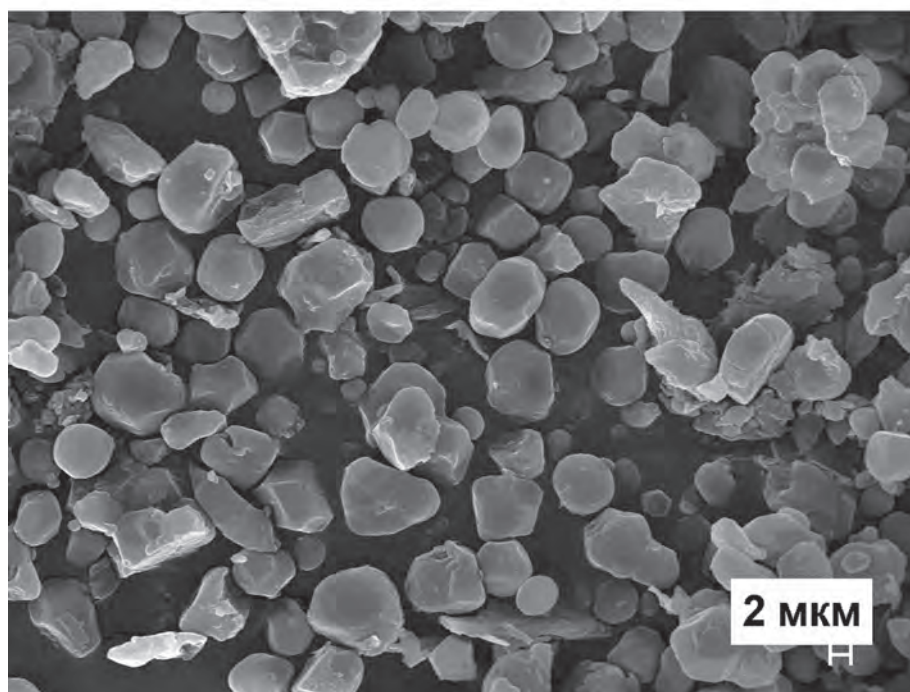
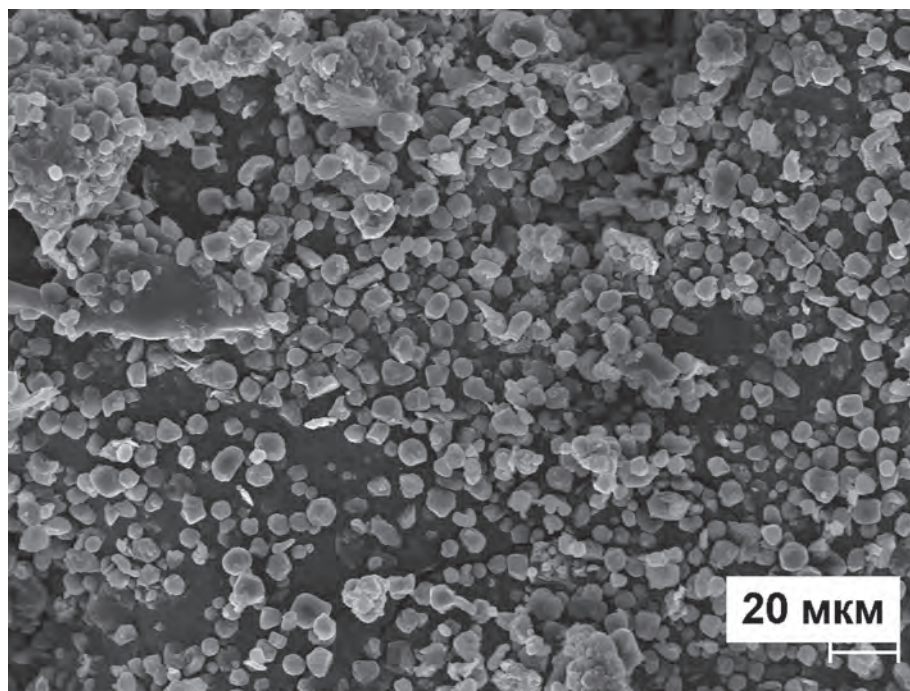


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки гречневой  
(домашнего производства)

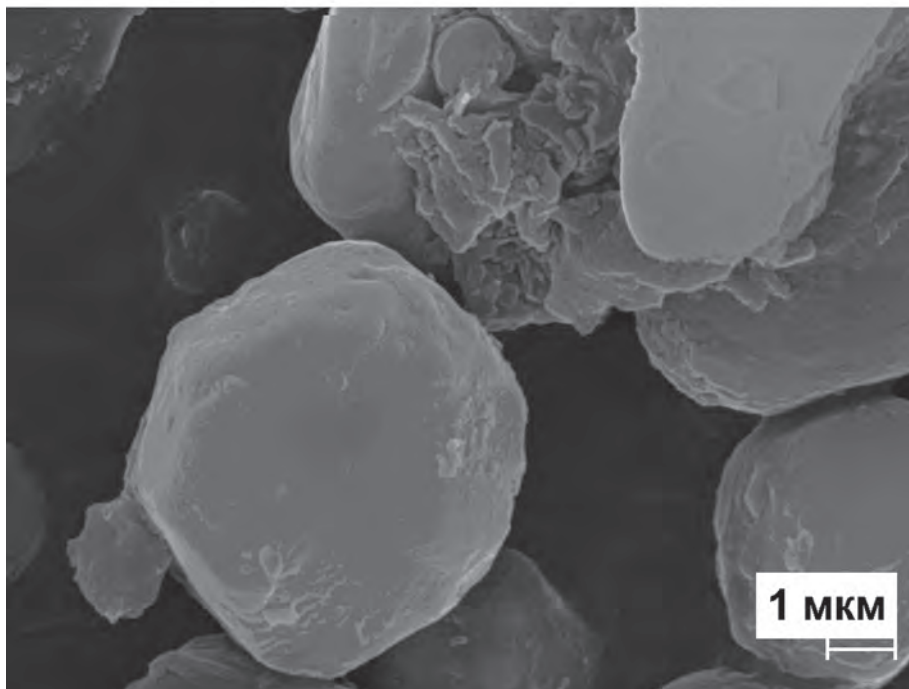
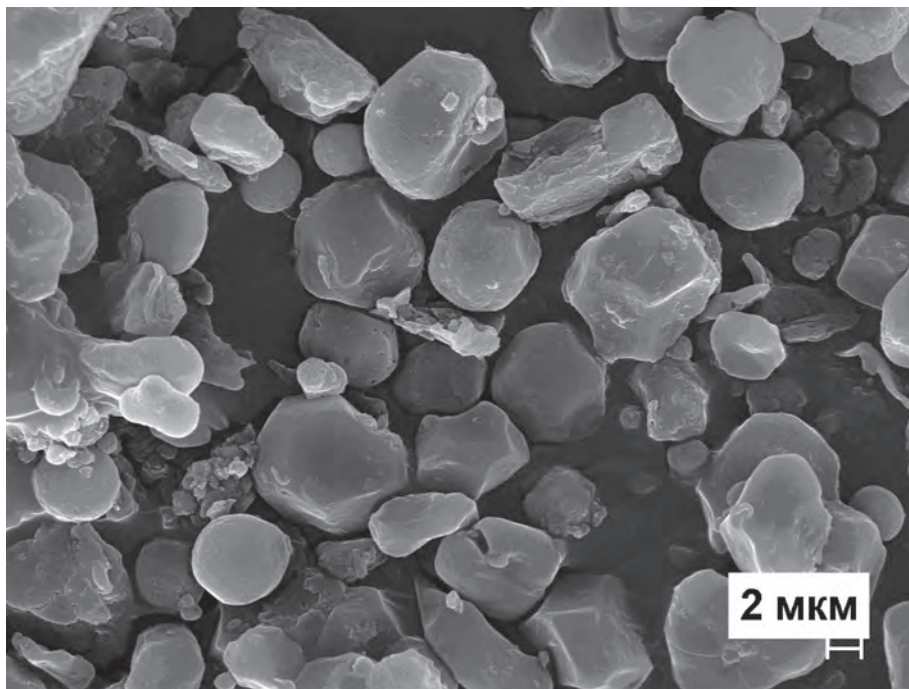


Сканирующая электронная микрофотография частиц муки гречневой  
(домашнего производства)

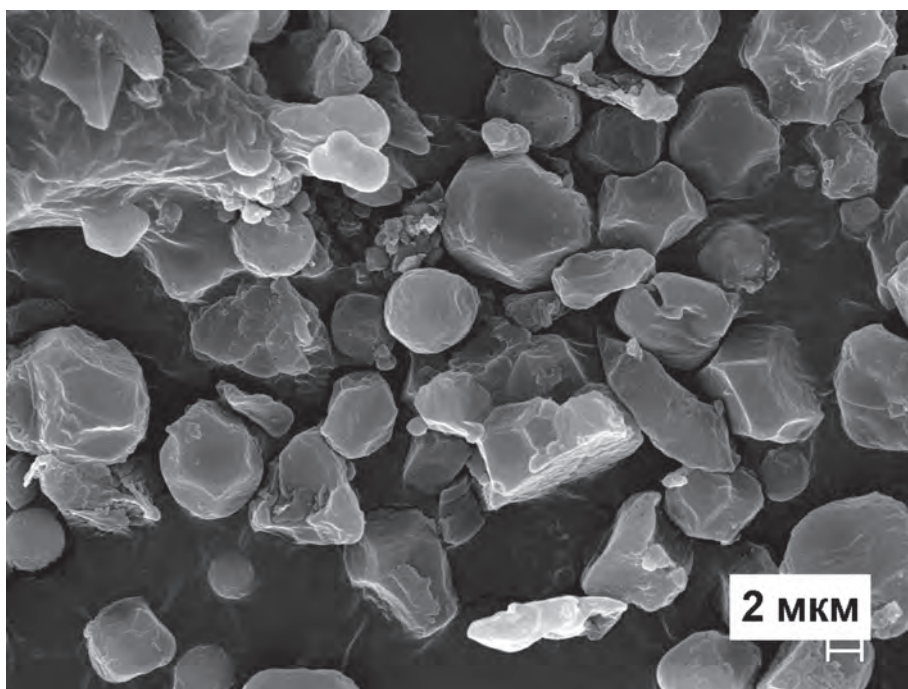




Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки пшонной  
(домашнего производства)

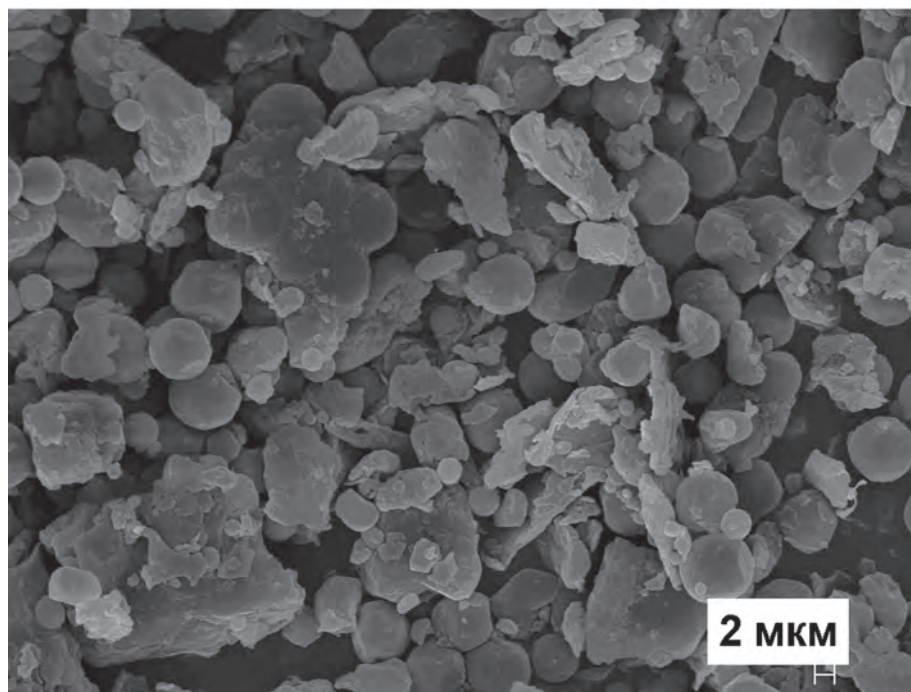
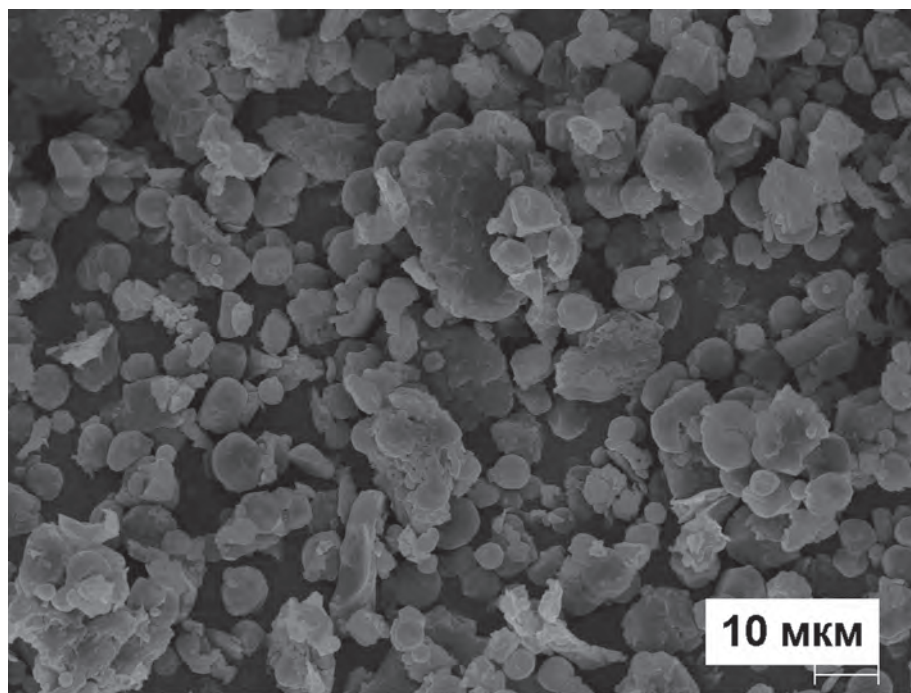


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки пшонной  
(домашнего производства)

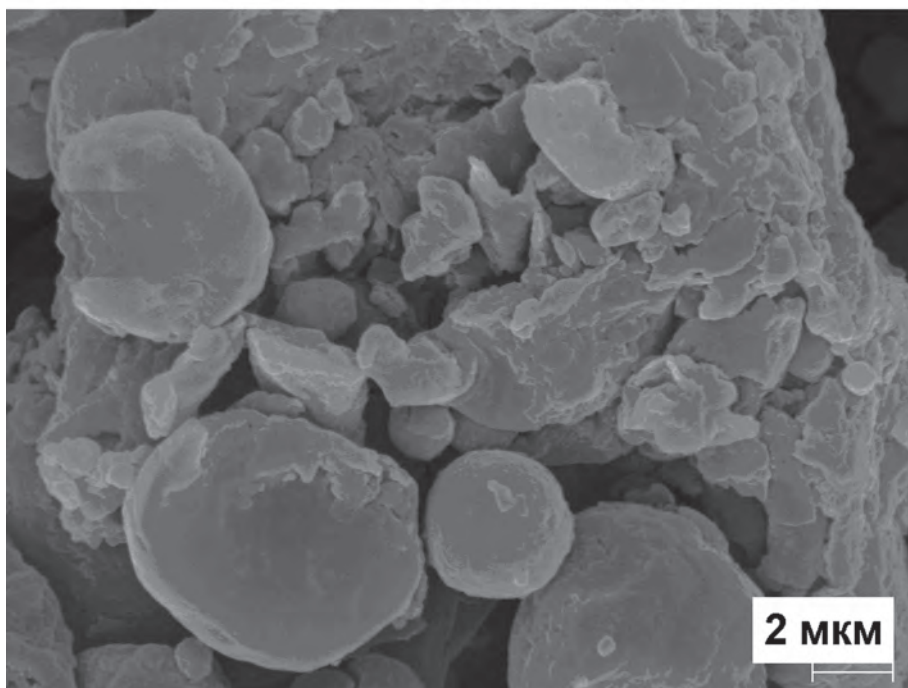
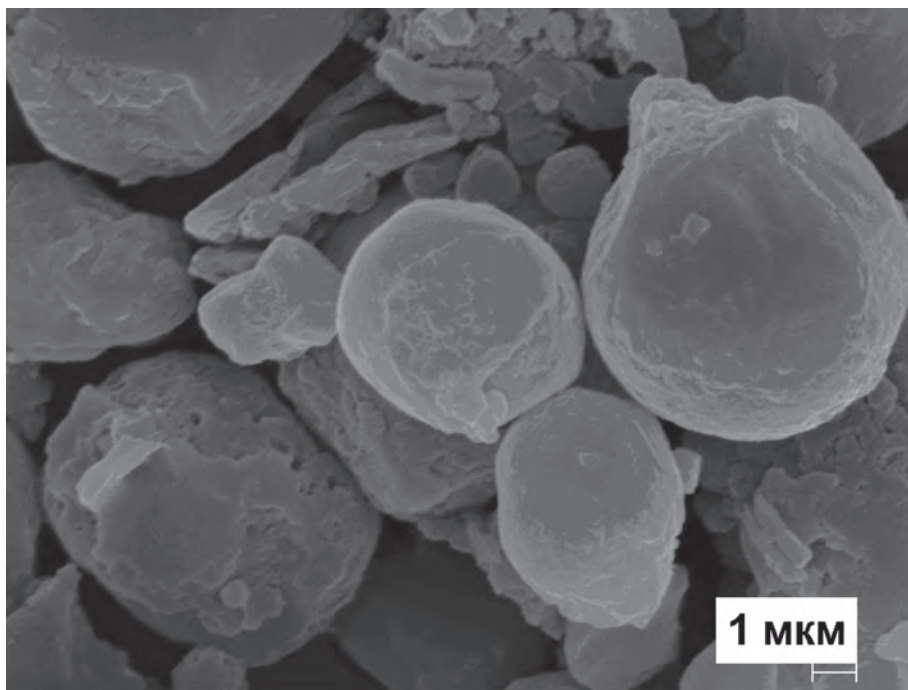


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки пшонной  
(домашнего производства)



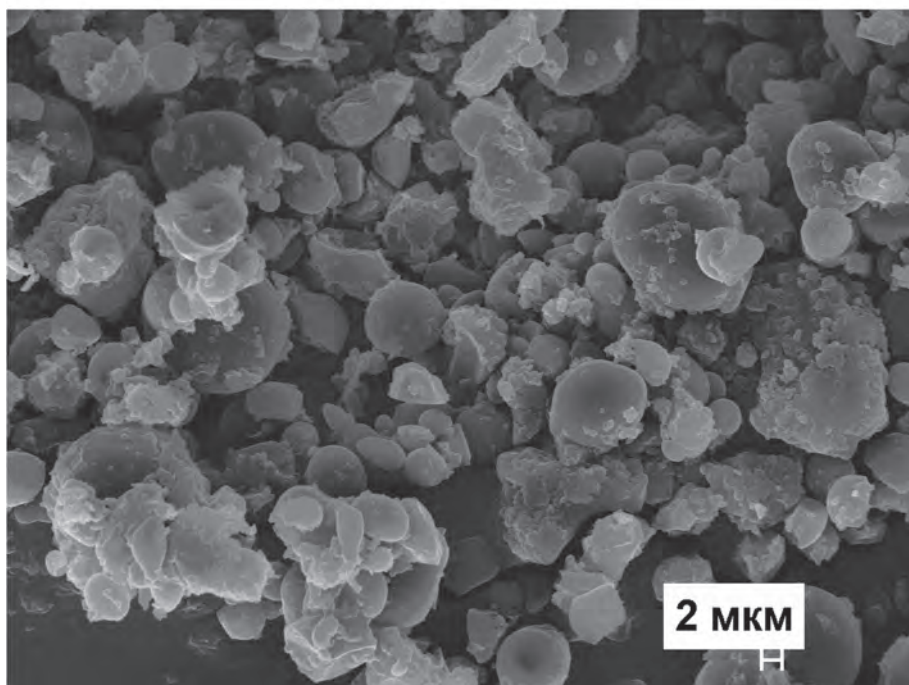
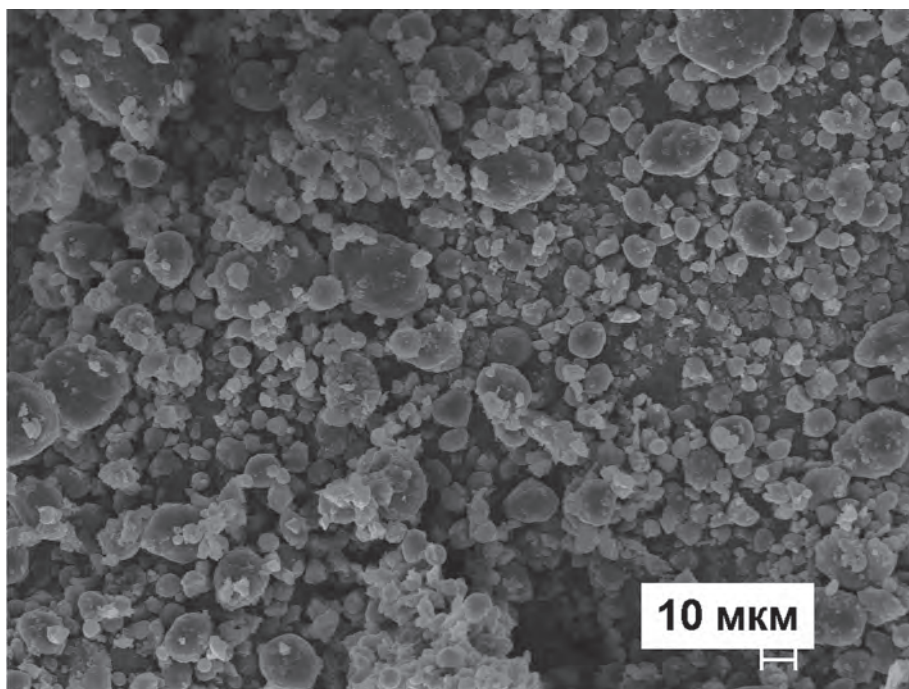


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки чумизной  
(домашнего производства)

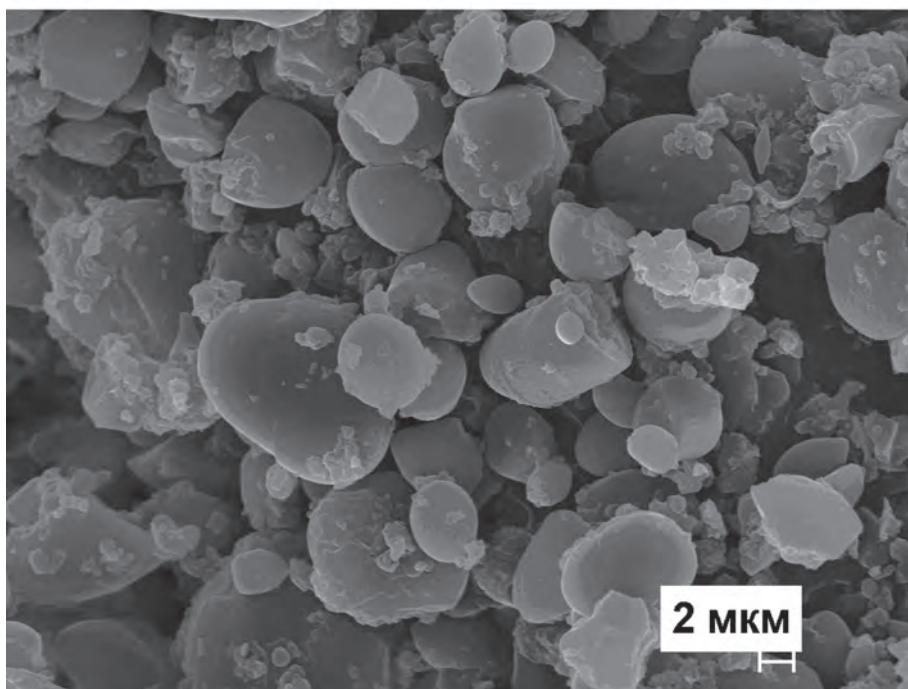
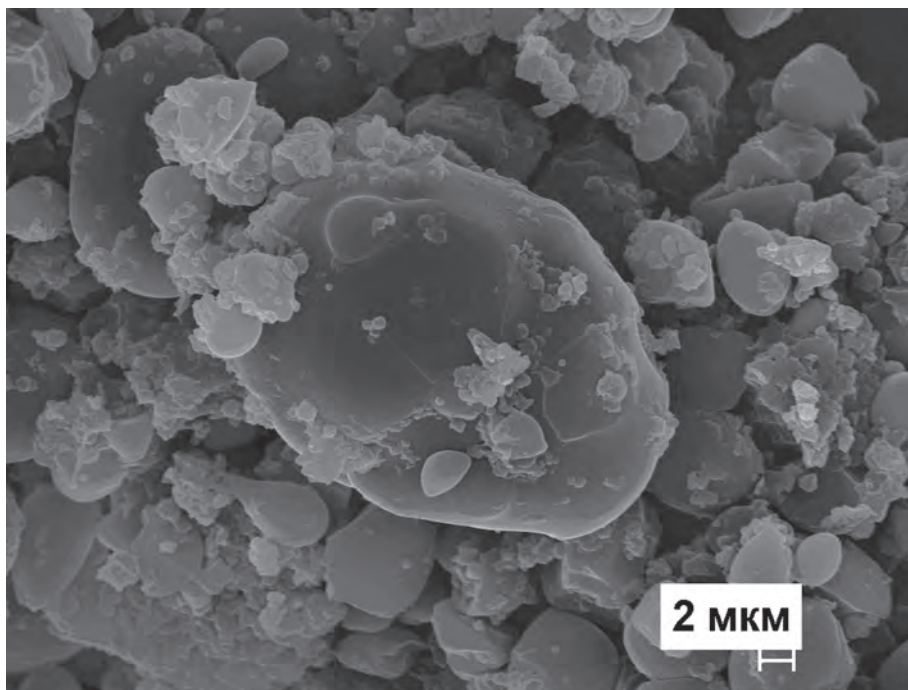


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки чумизной  
(домашнего производства)

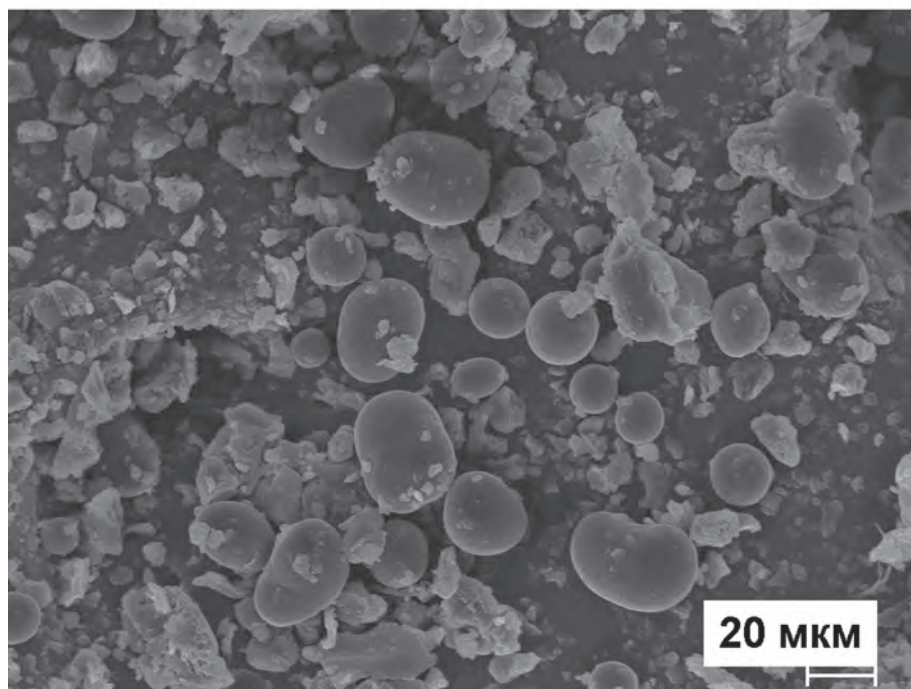
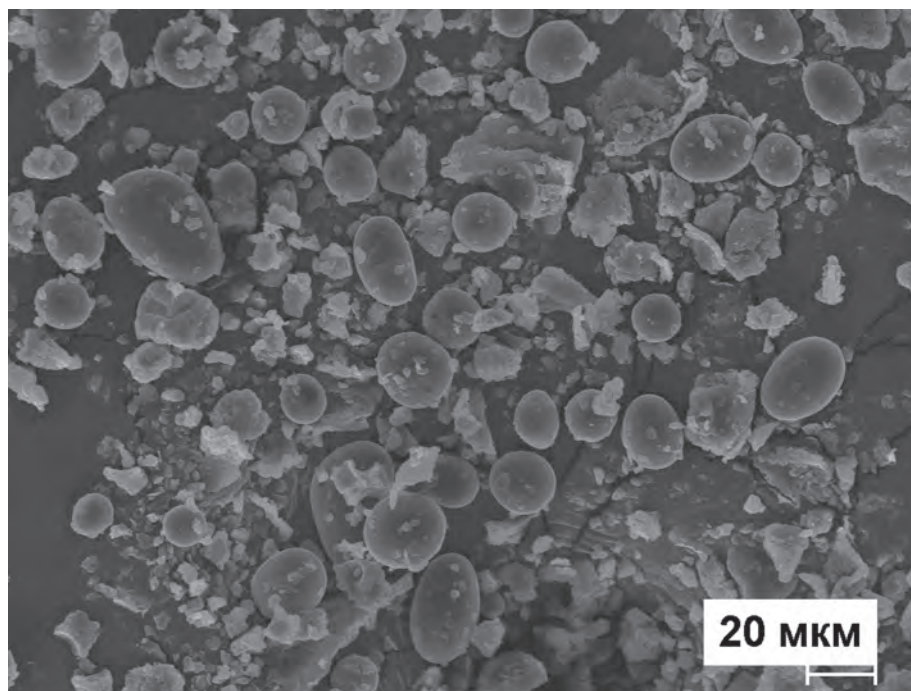




Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки овсяной  
(домашнего производства)

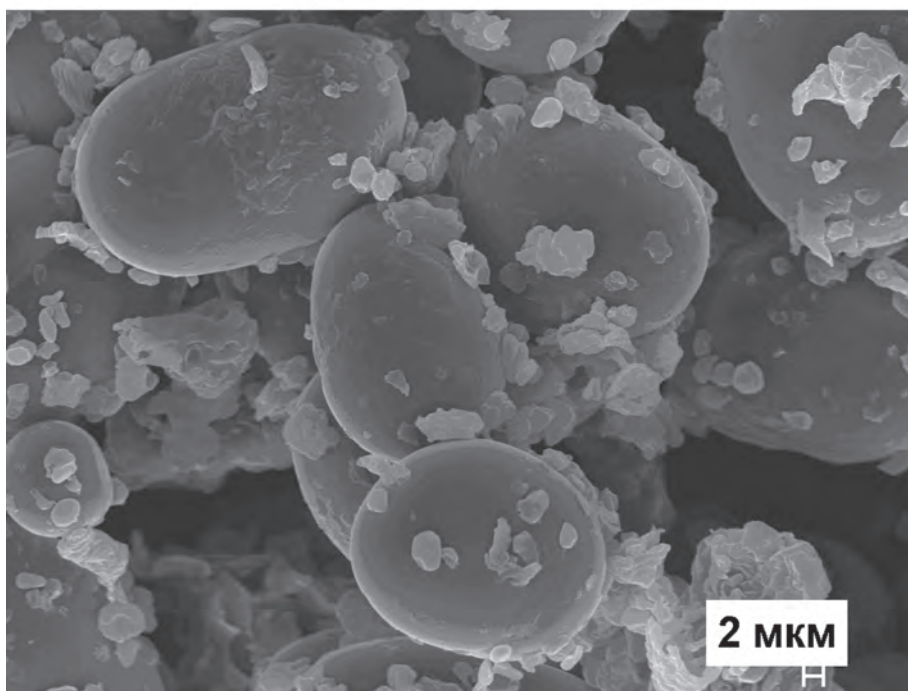
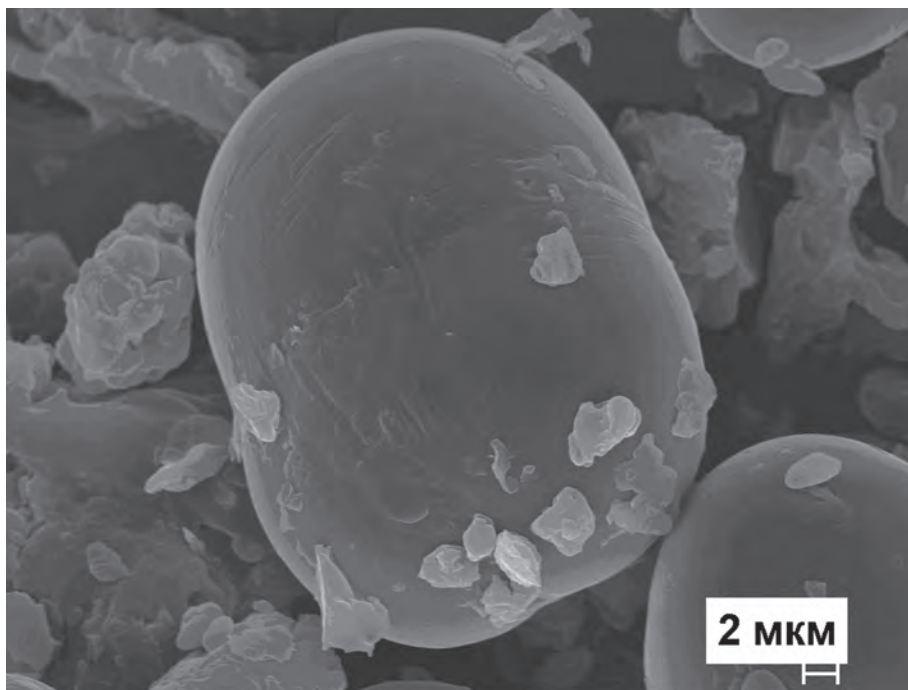


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки овсяной  
(домашнего производства)



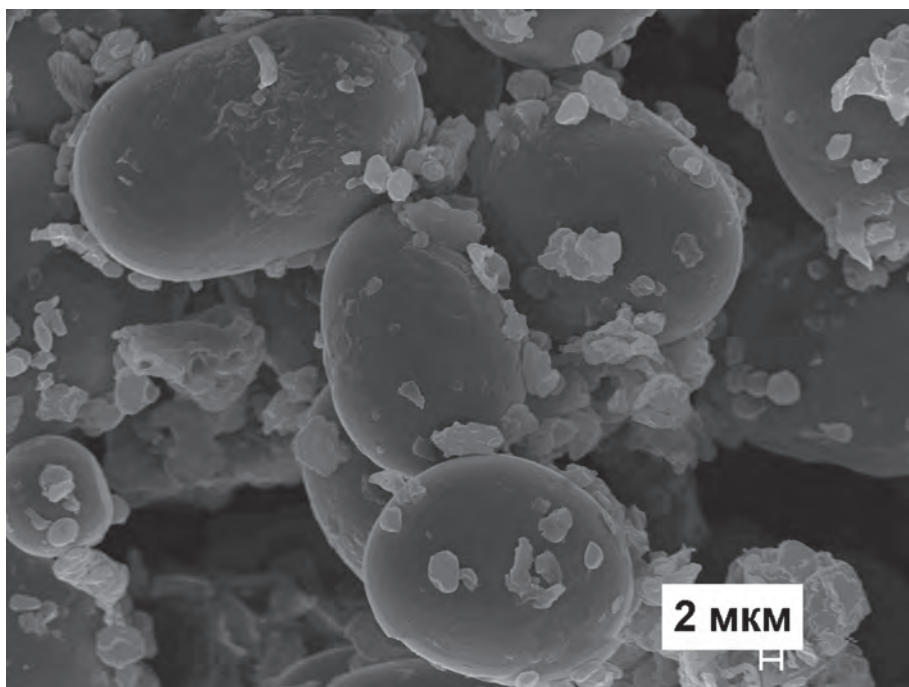
Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки фасолевой  
(домашнего производства)



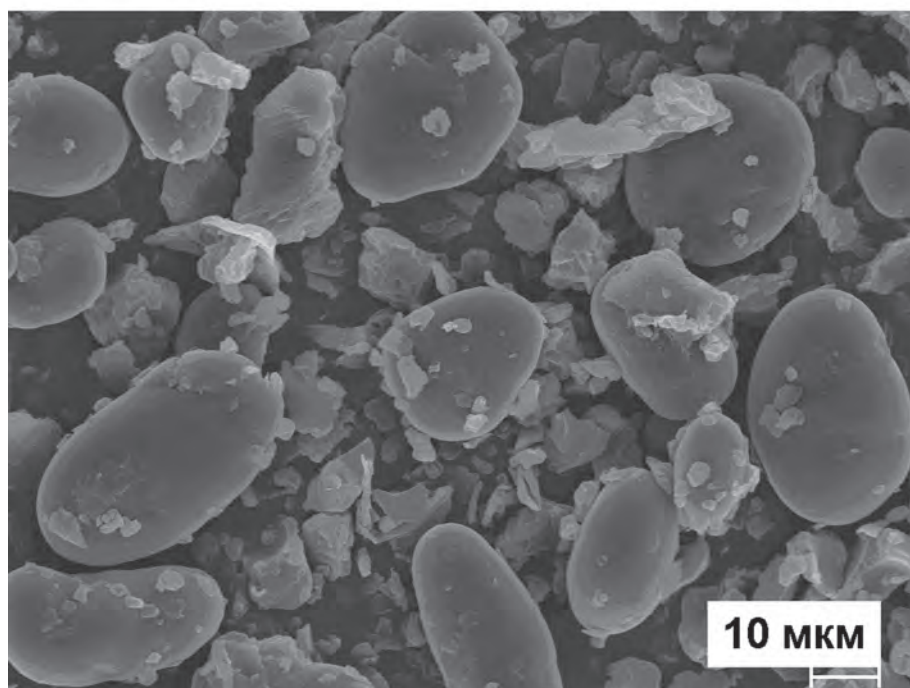
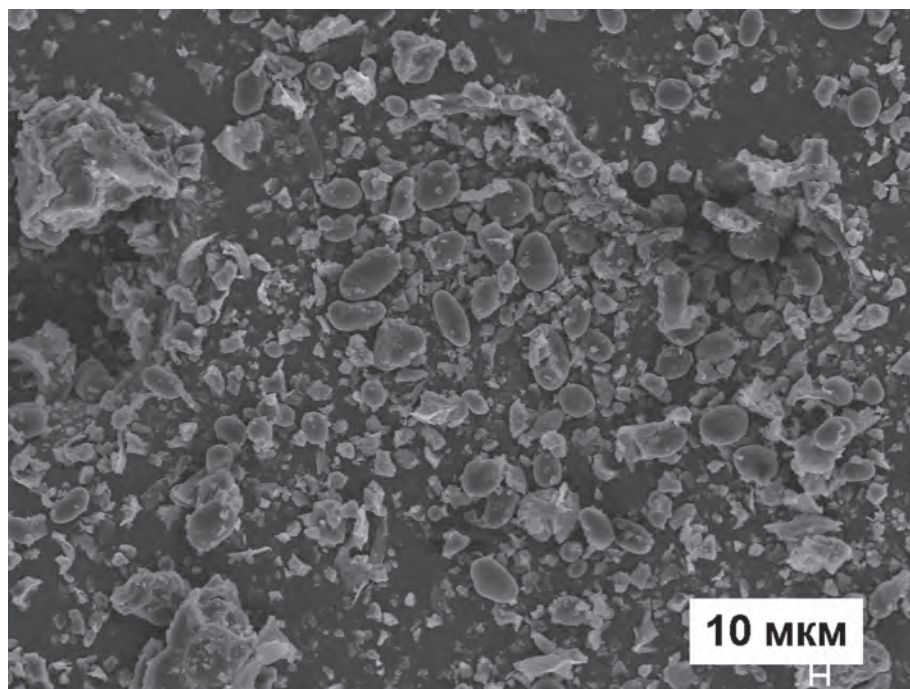


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки фасольевой  
(домашнего производства)

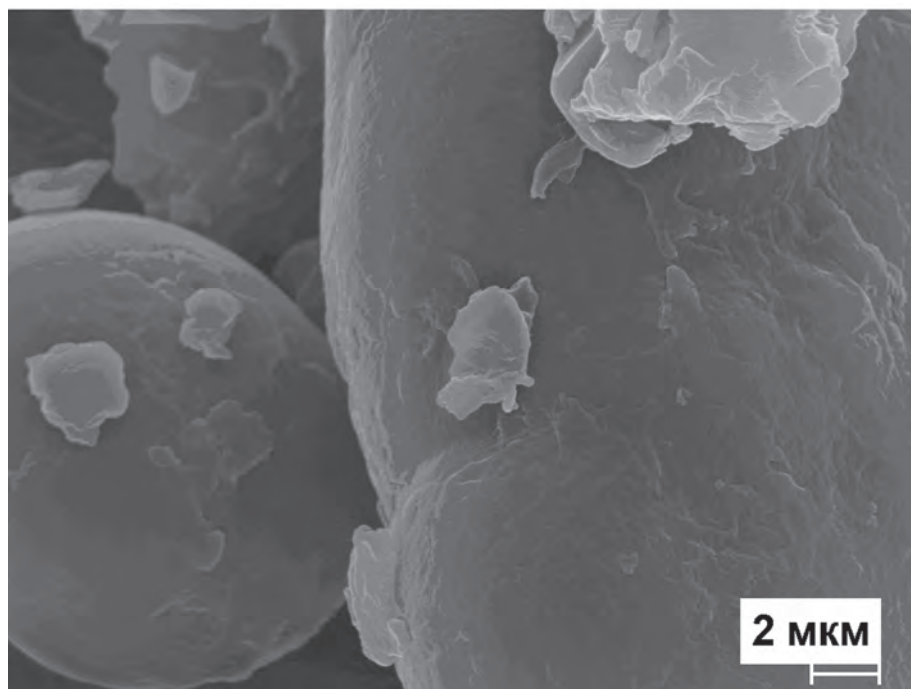
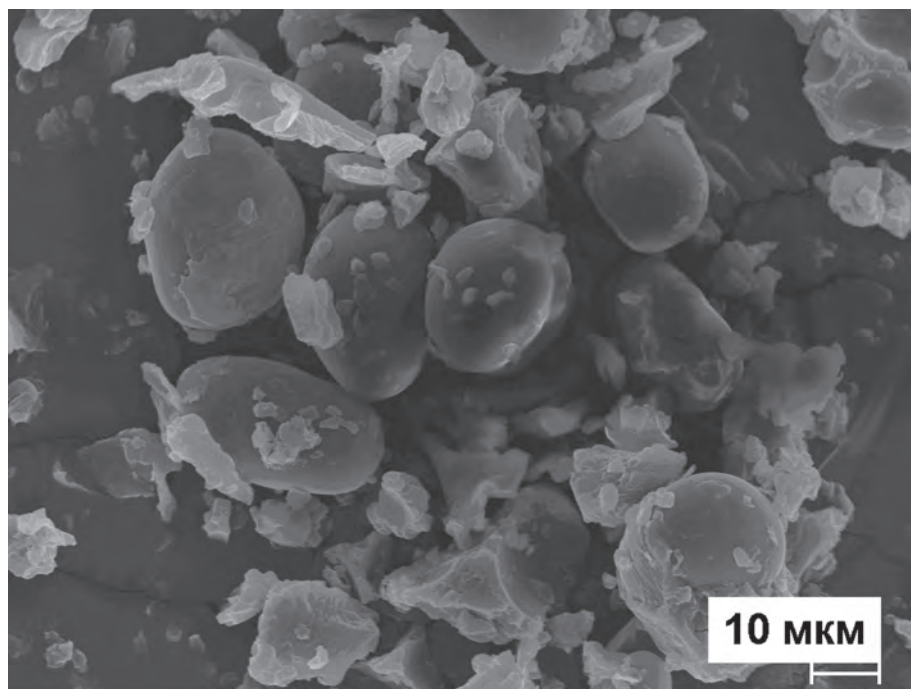




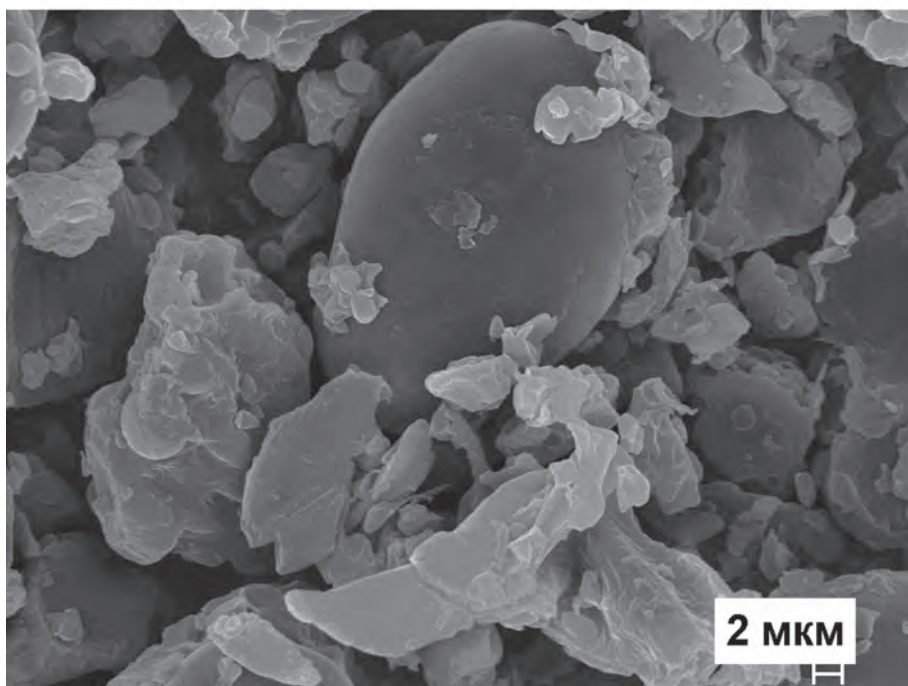
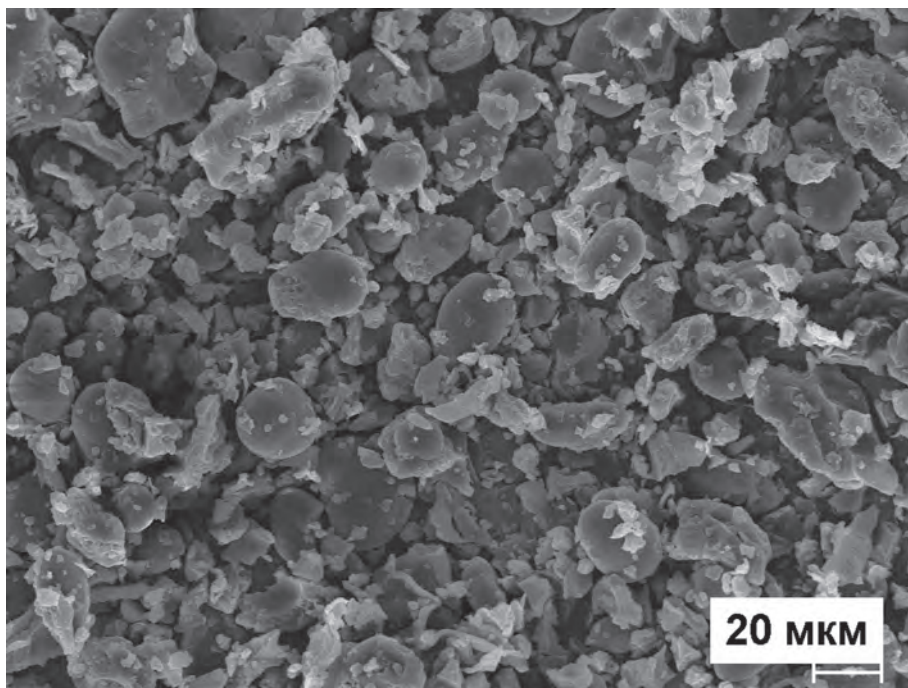
Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки фасолевой  
(домашнего производства)



Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки бобовой  
(домашнего производства)

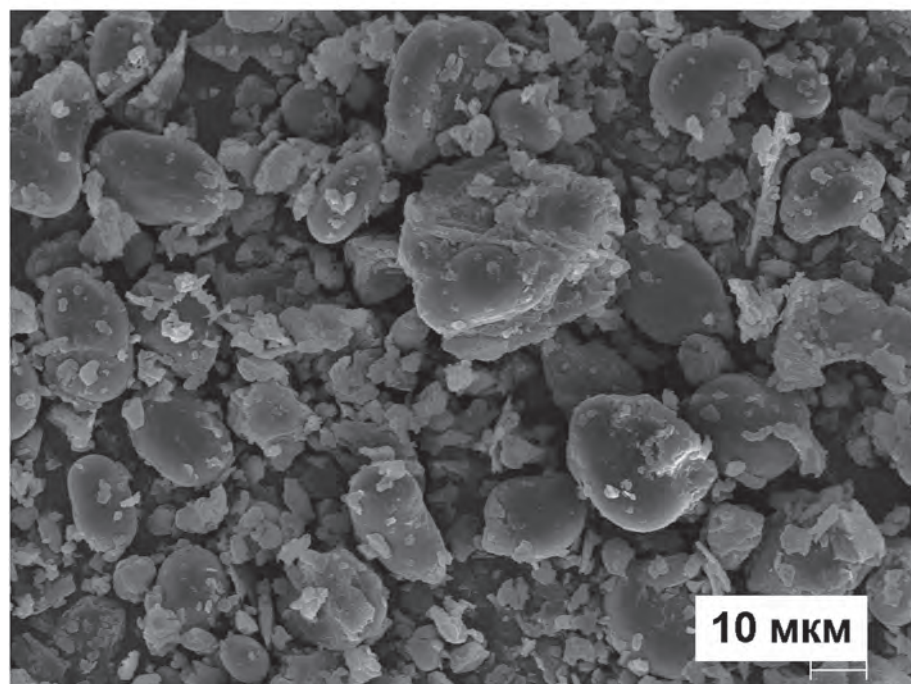
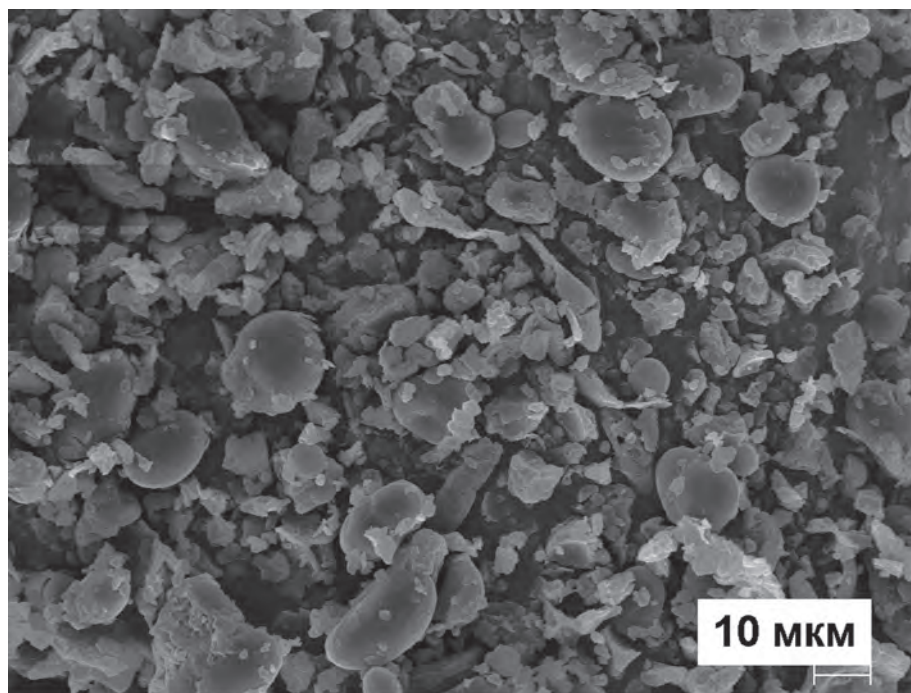


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки бобовой  
(домашнего производства)

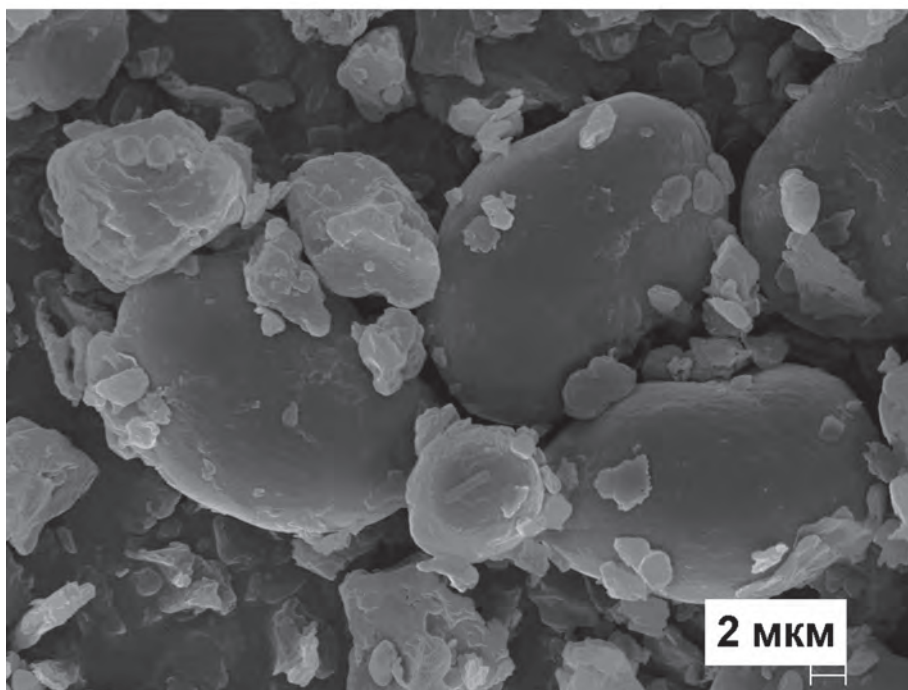
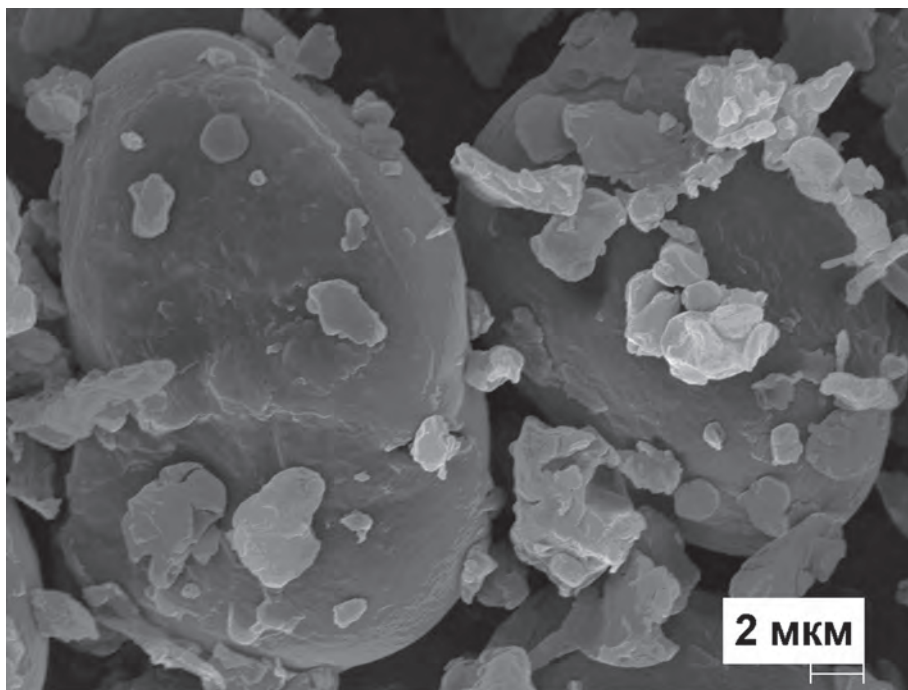


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки бобовой  
(домашнего производства)

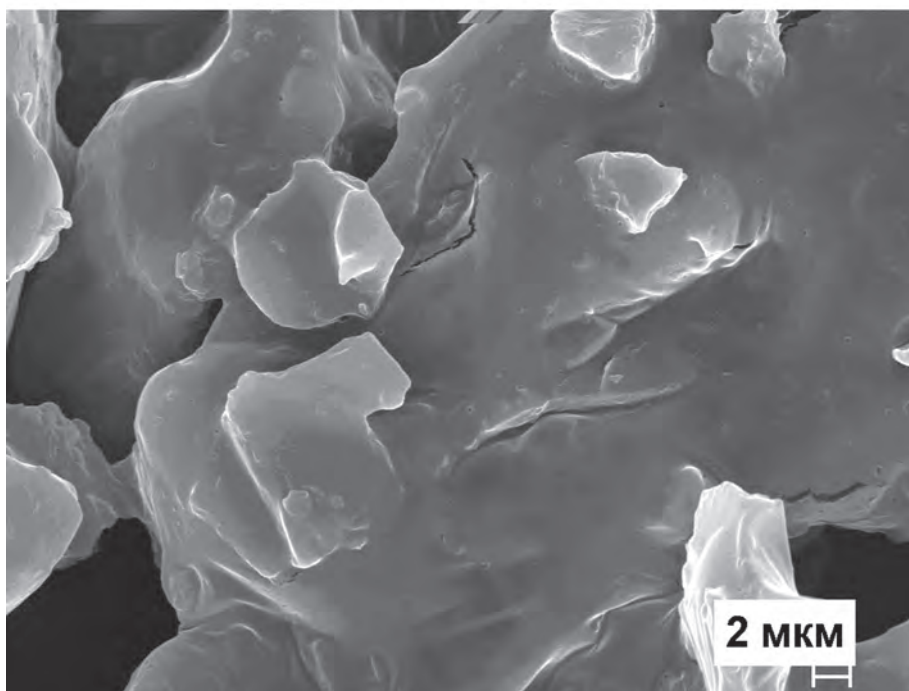
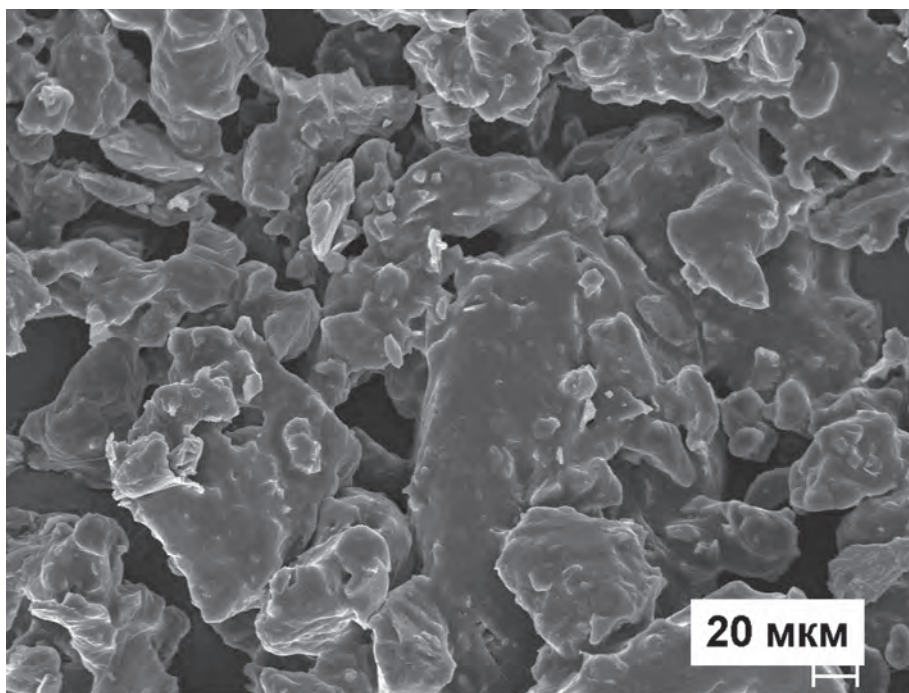




Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки чечевичной  
(домашнего производства)



Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки чечевичной  
(домашнего производства)

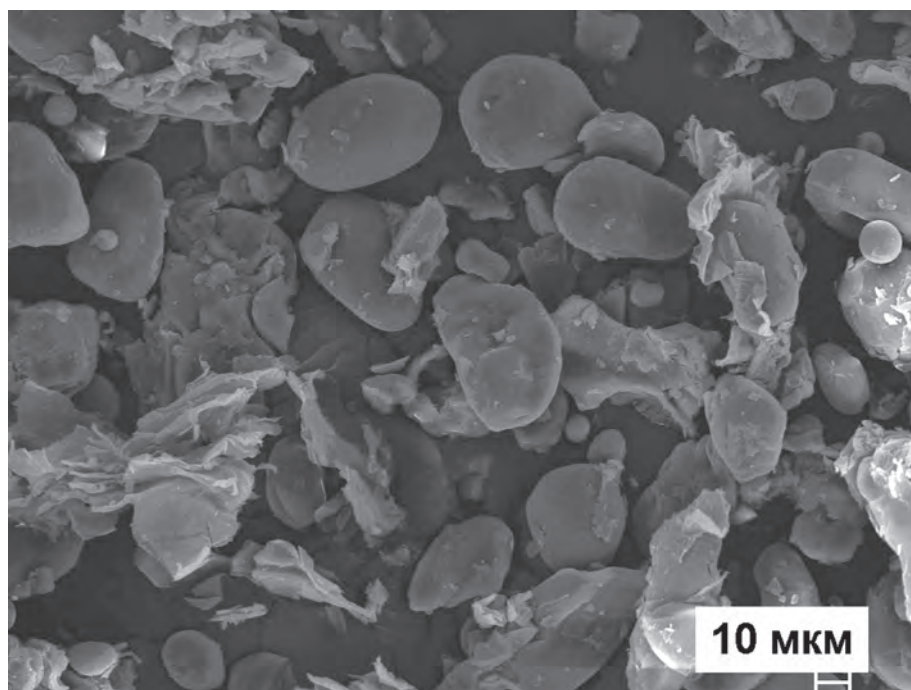


Сканирующие электронные микрофотографии частиц муки банановой  
(домашнего производства)

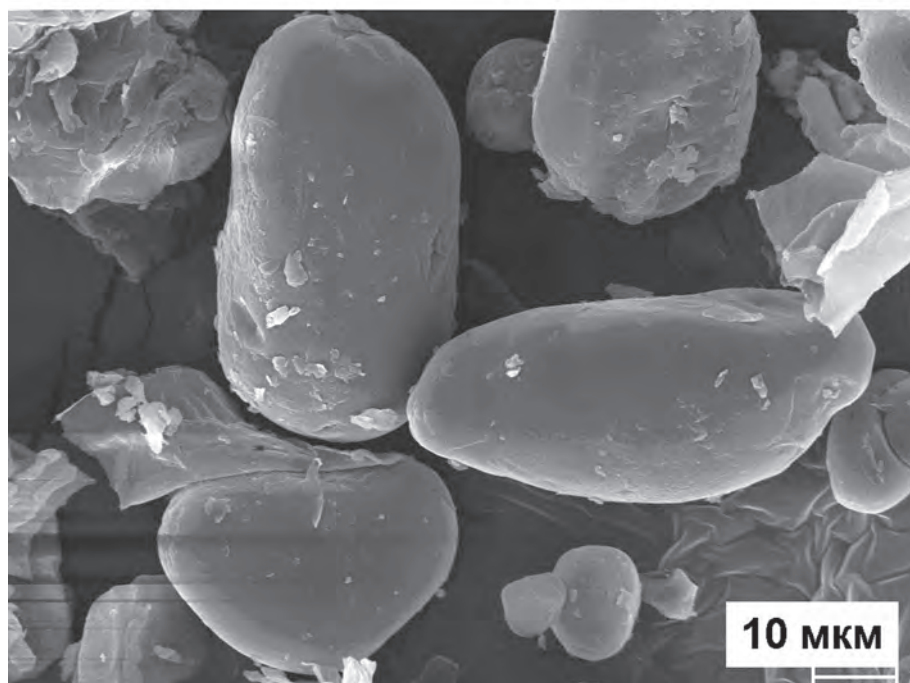
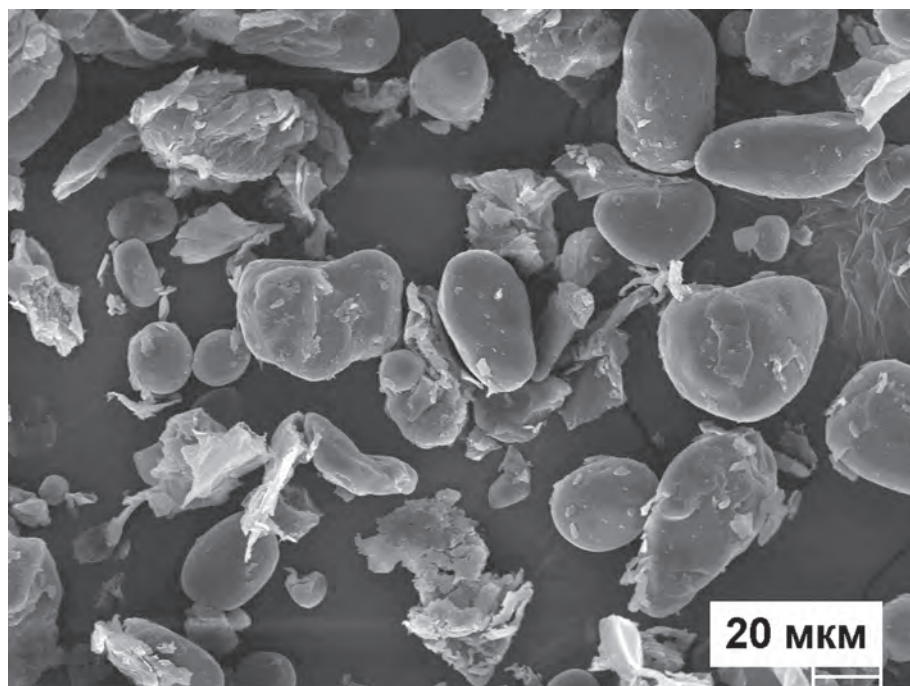
**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА  
ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ  
КРАХМАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА:  
сухой крахмальной мезги  
(картофельной и кукурузной)  
и белоксодержащих препаратов  
из картофельного (клеточного) сока**

---

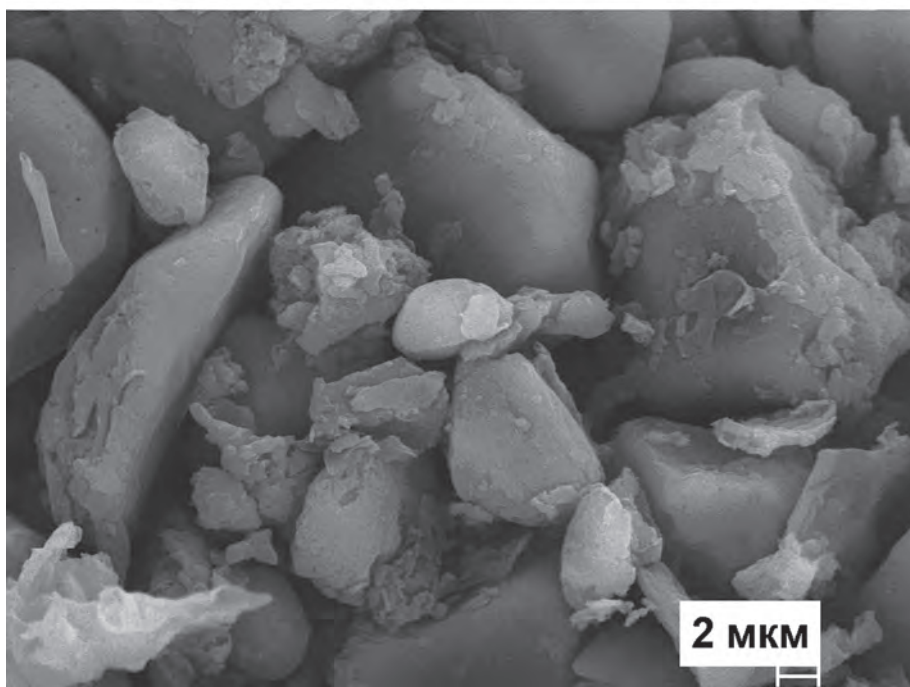
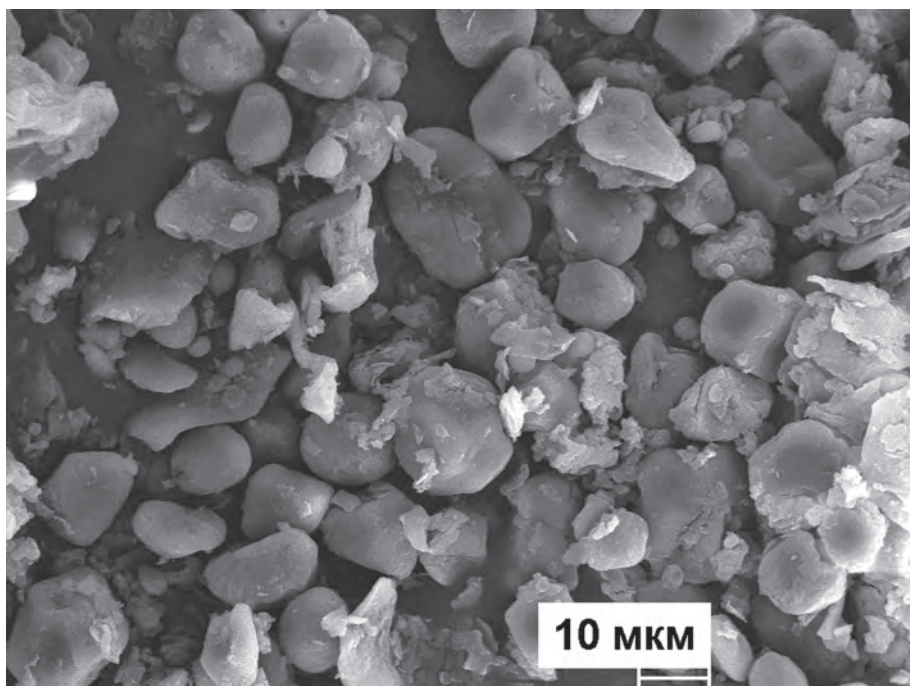




Сканирующая электронная микрофотография картофельной мезги

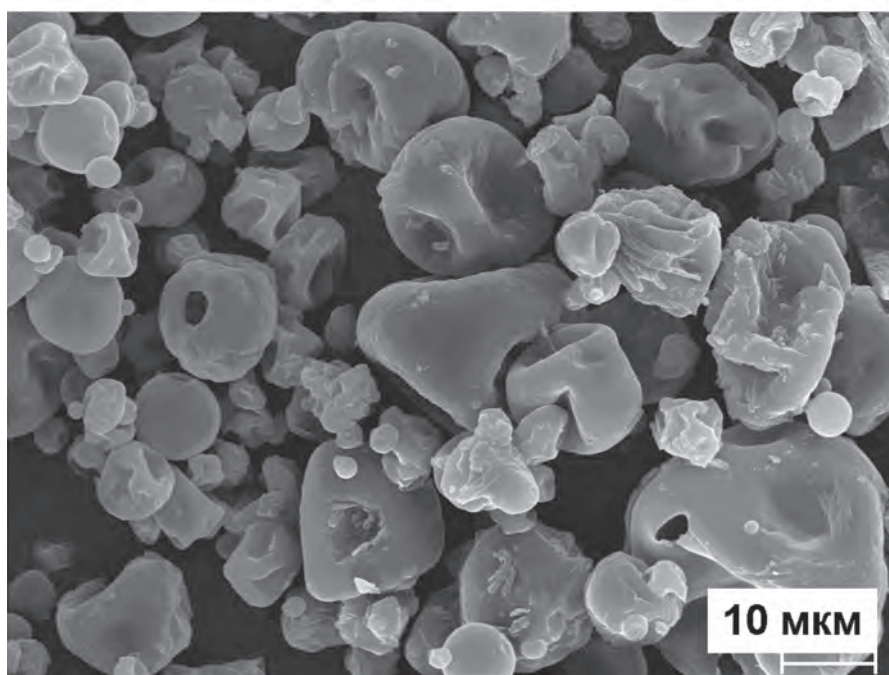
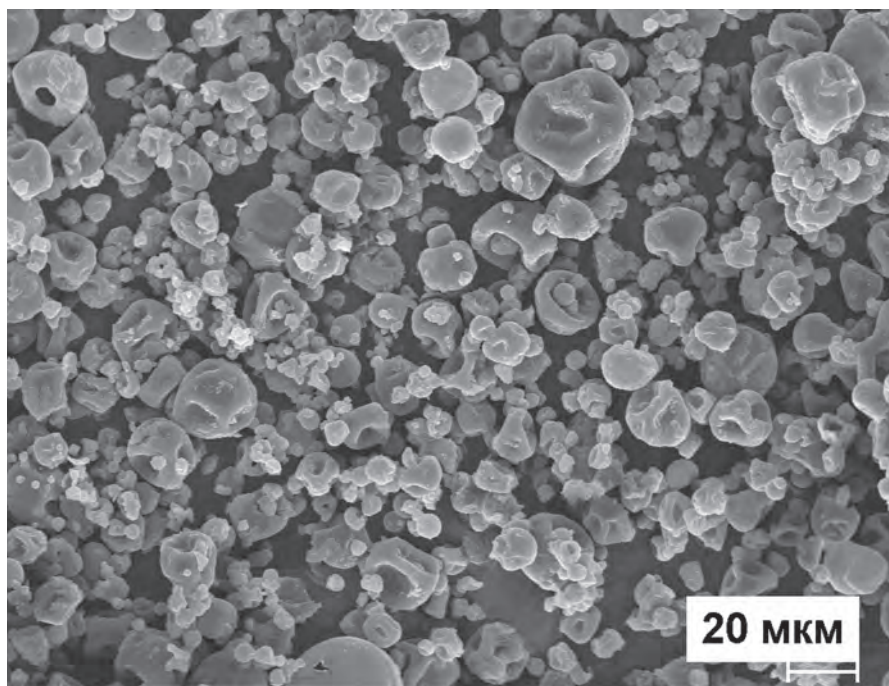


Сканирующая электронная микрофотография картофельной мезги



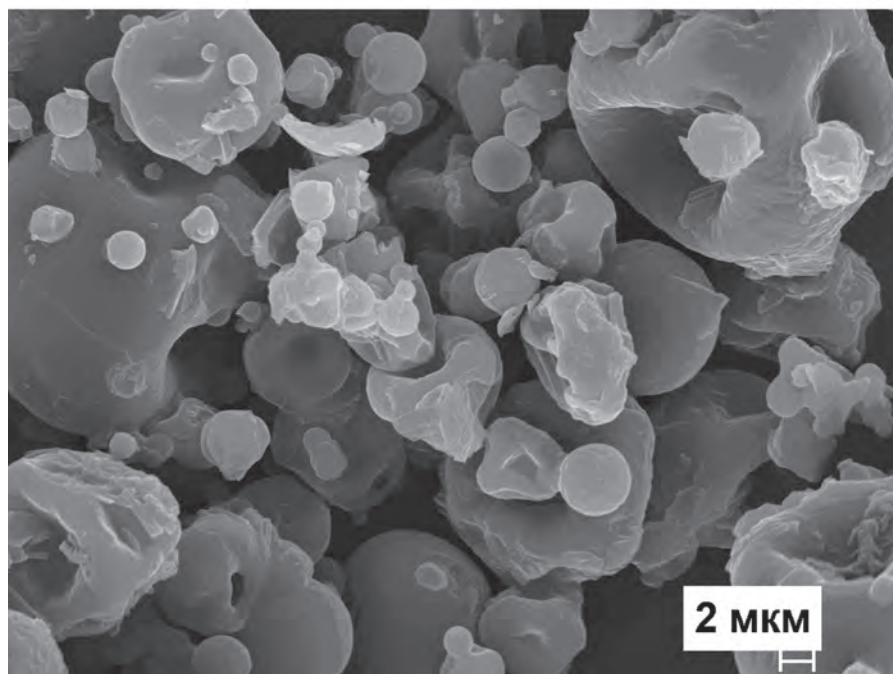
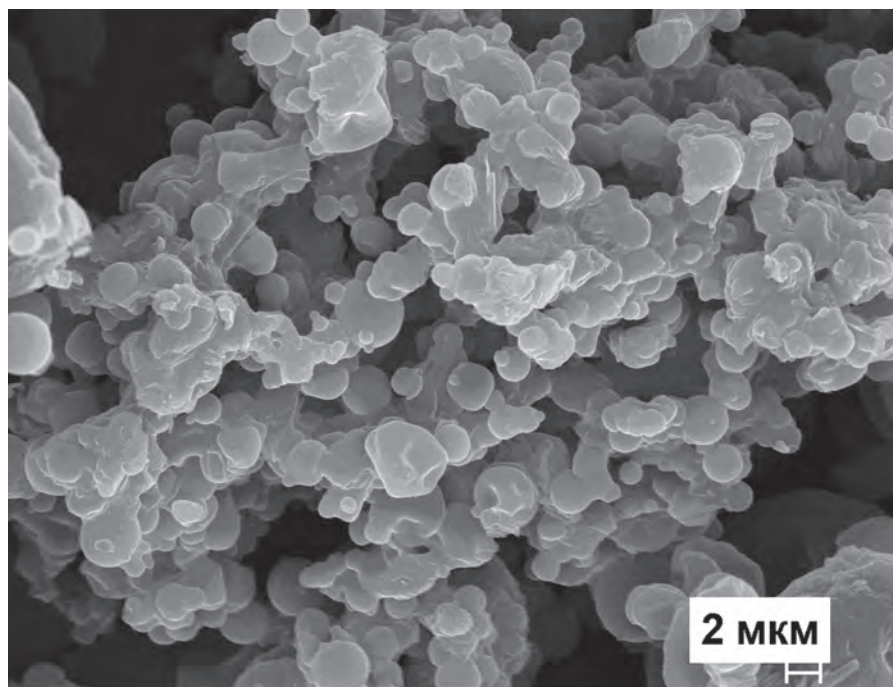
Сканирующая электронная микрофотография картофельной мезги



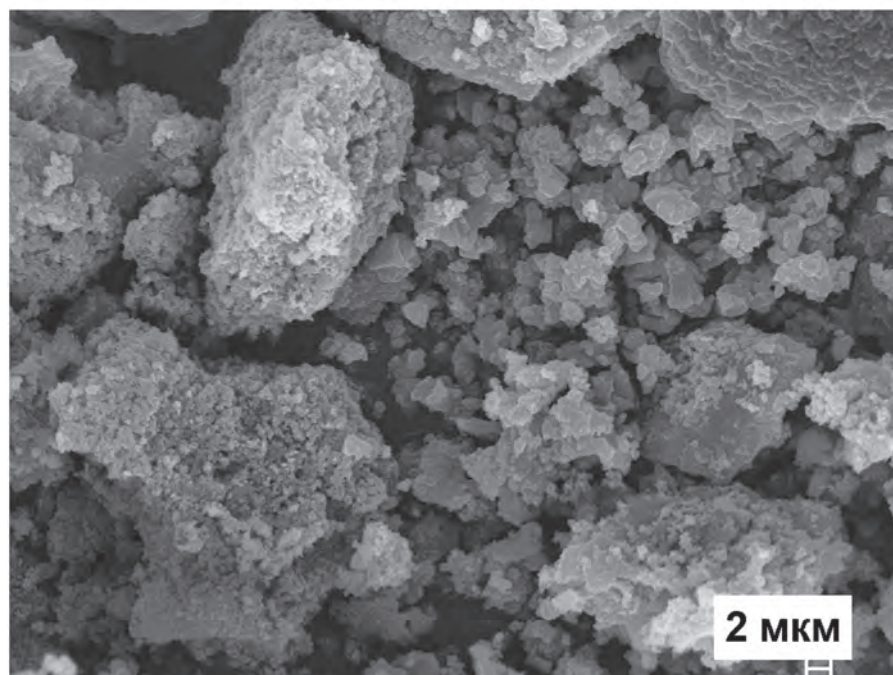
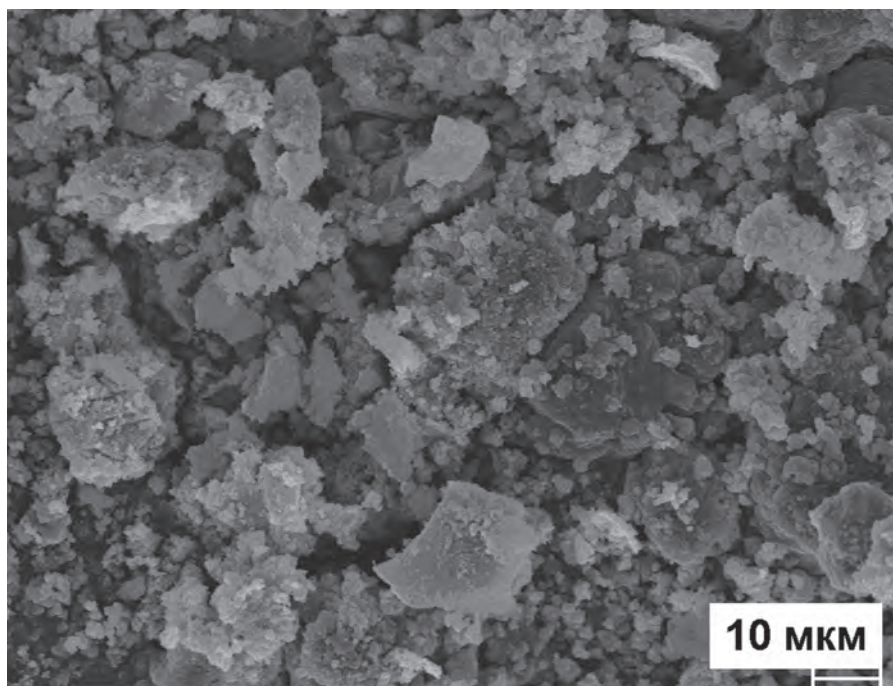


Панорамные сканирующие электронные микрофотографии  
белоксодержащего препарата «Туберит»

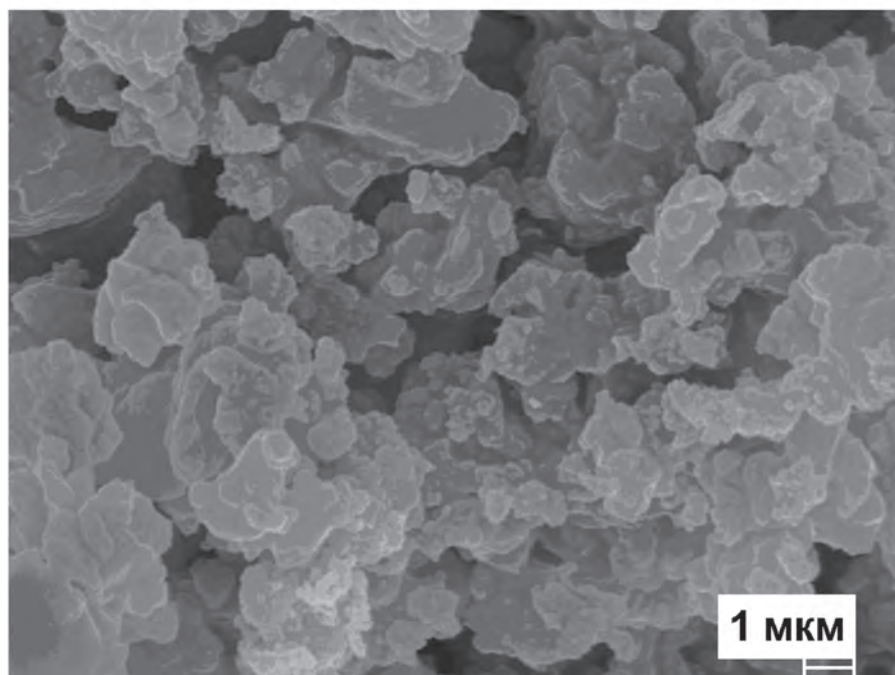
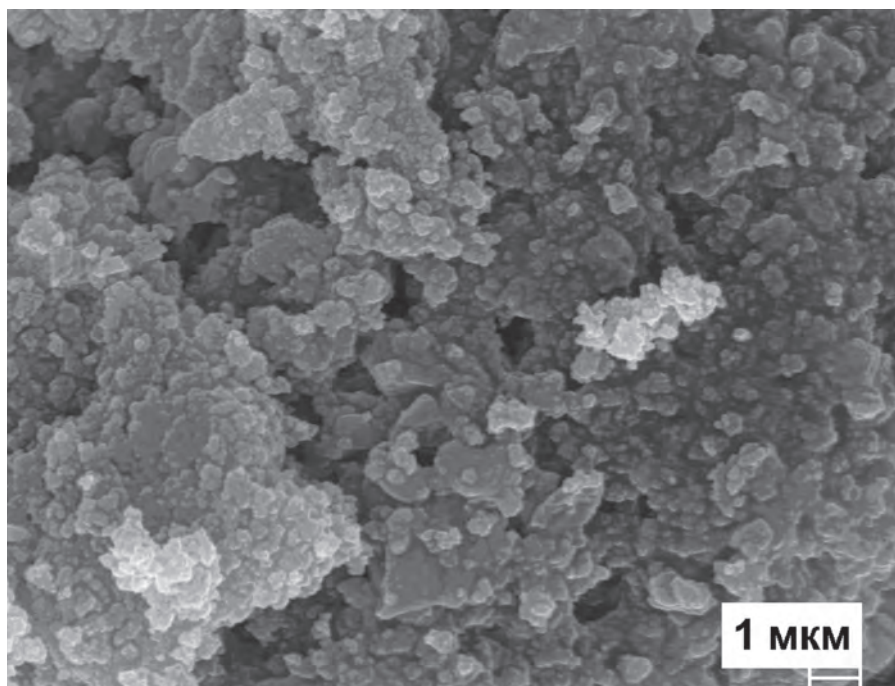




Сканирующие электронные микрофотографии белоксодержащего препарата «Туберит»



Сканирующие электронные микрофотографии белоксодержащего препарата «Тубелак»



Сканирующие электронные микрофотографии белоксодержащего препарата «Тубелак»



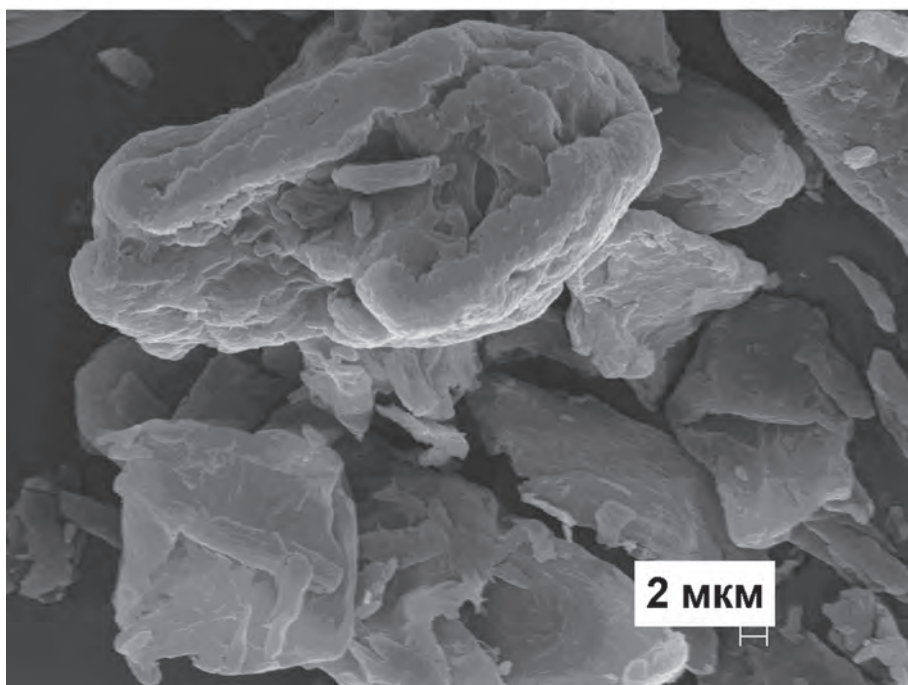
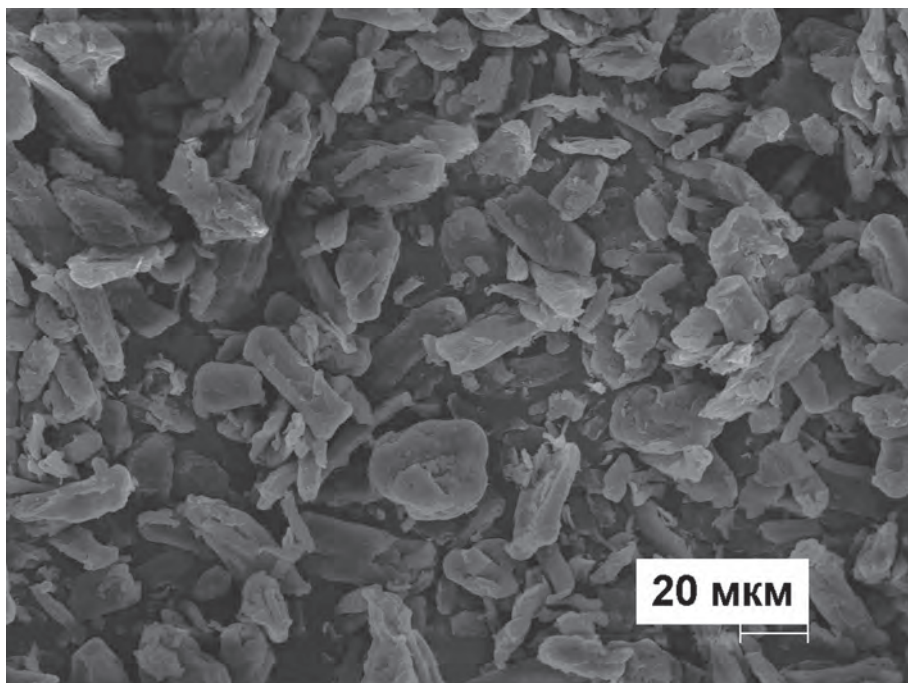


Фотографии белоксодержащих препаратов «Тубелак» и «Туберит»

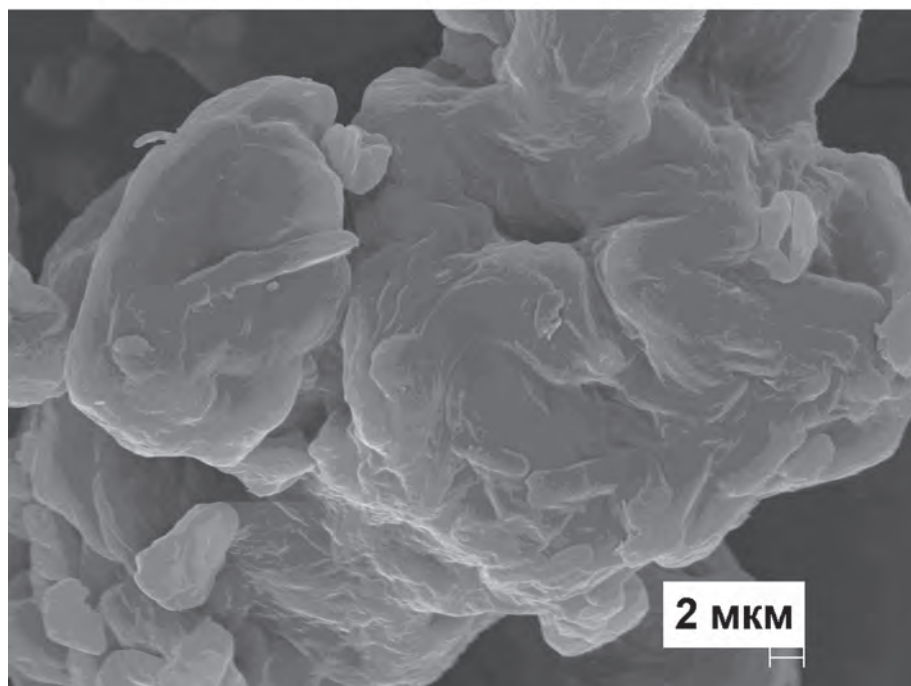
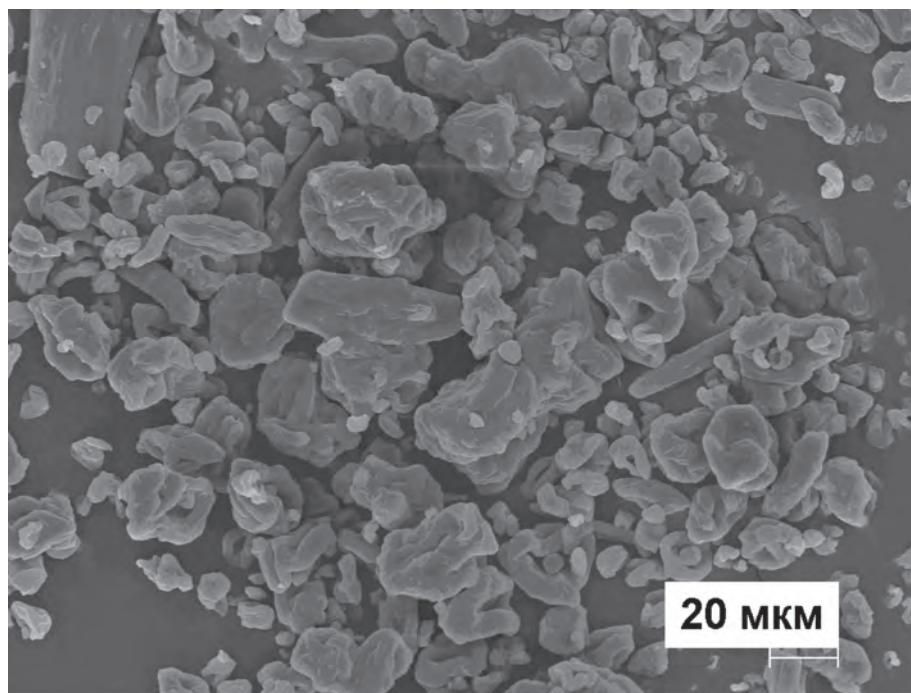


# **МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ВИСКОЗЫ**

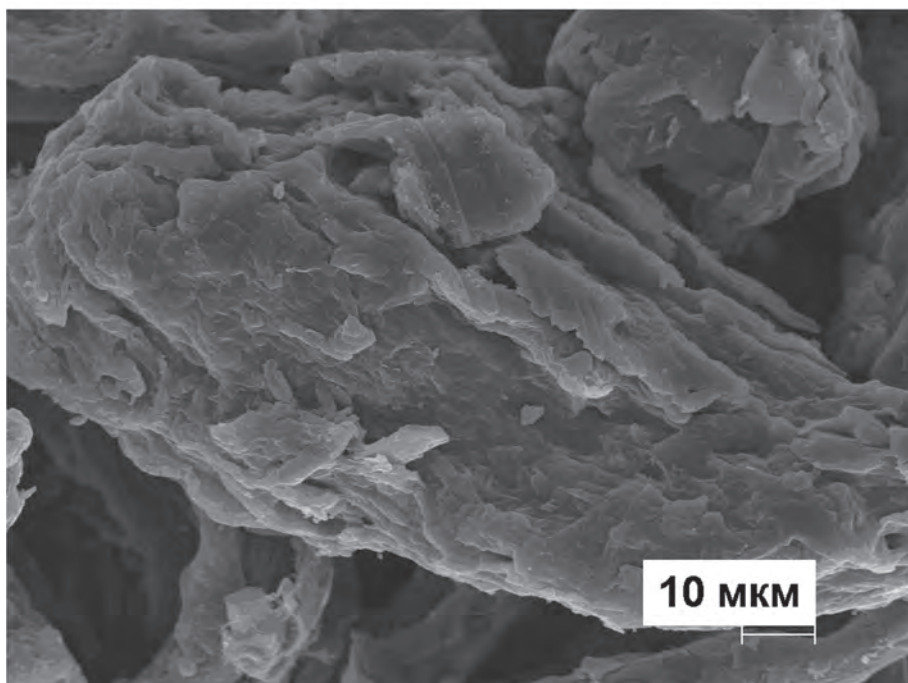
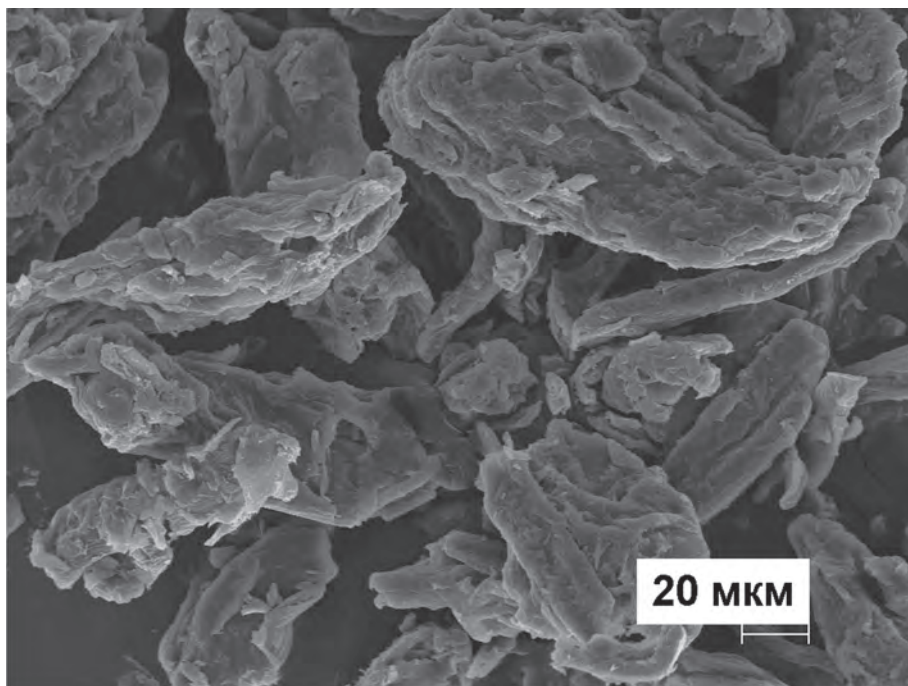
---



Сканирующие электронные микрофотографии целлюлозы

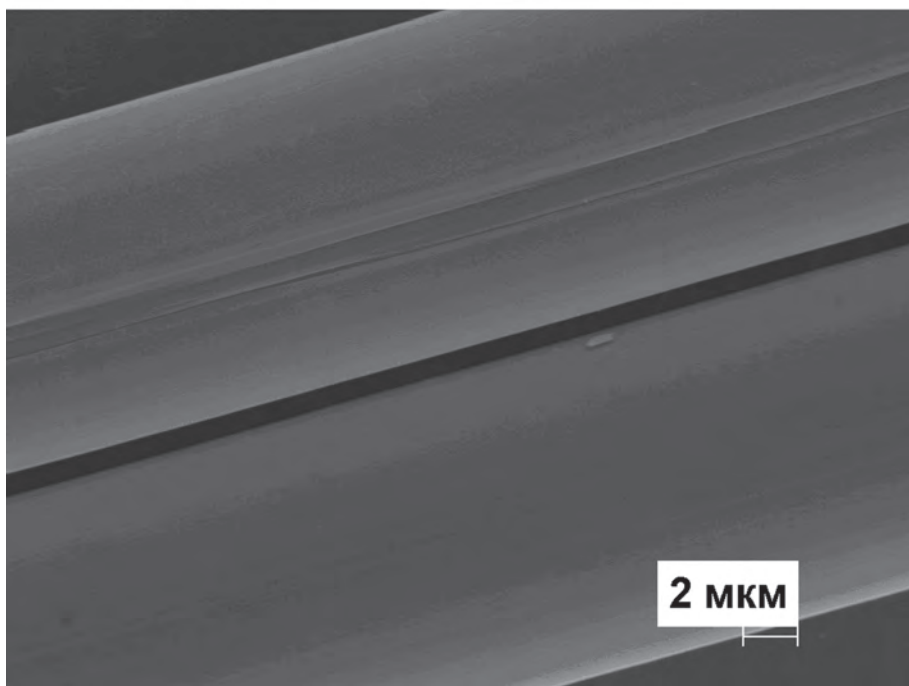
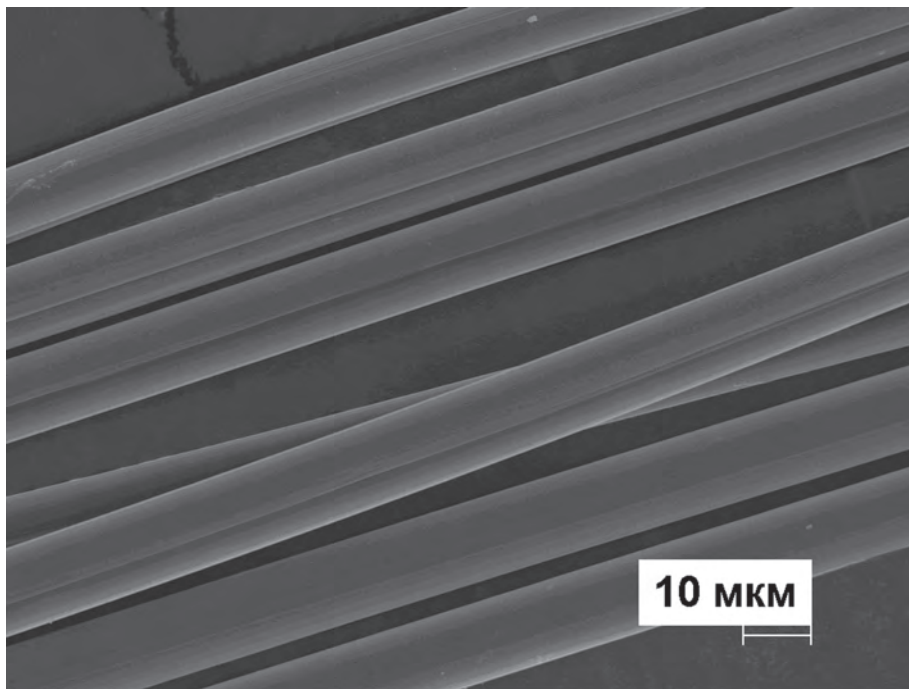


Сканирующие электронные микрофотографии целлюлозы коллоидной



Сканирующие электронные микрофотографии целлюлозы хлопковой

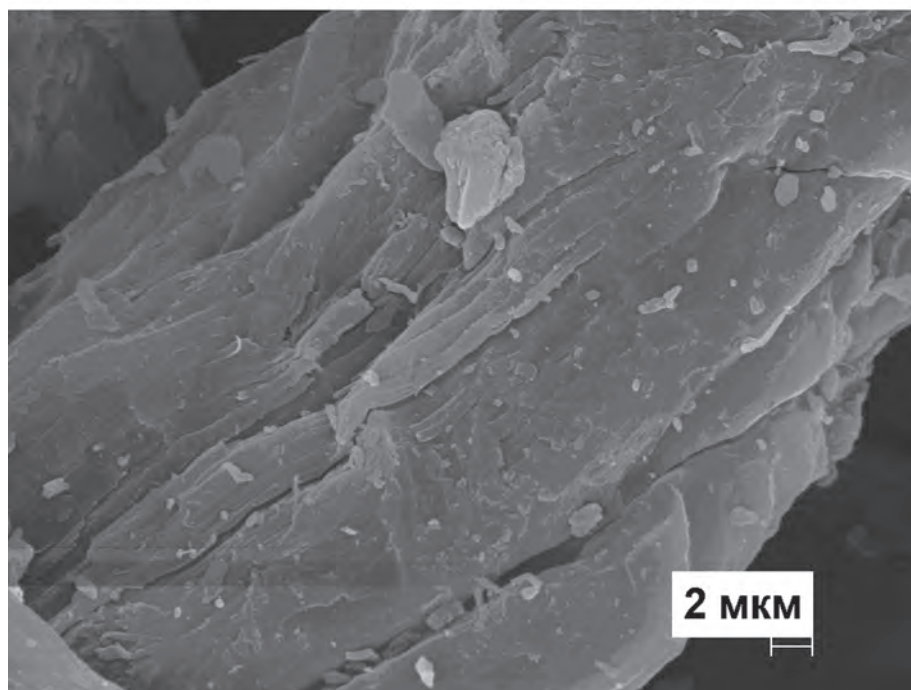
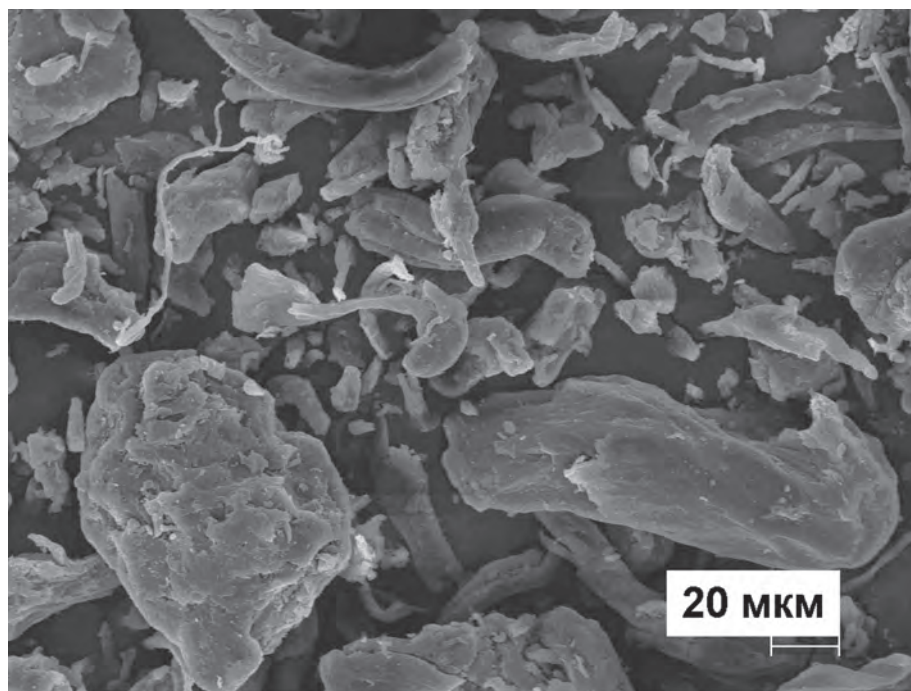




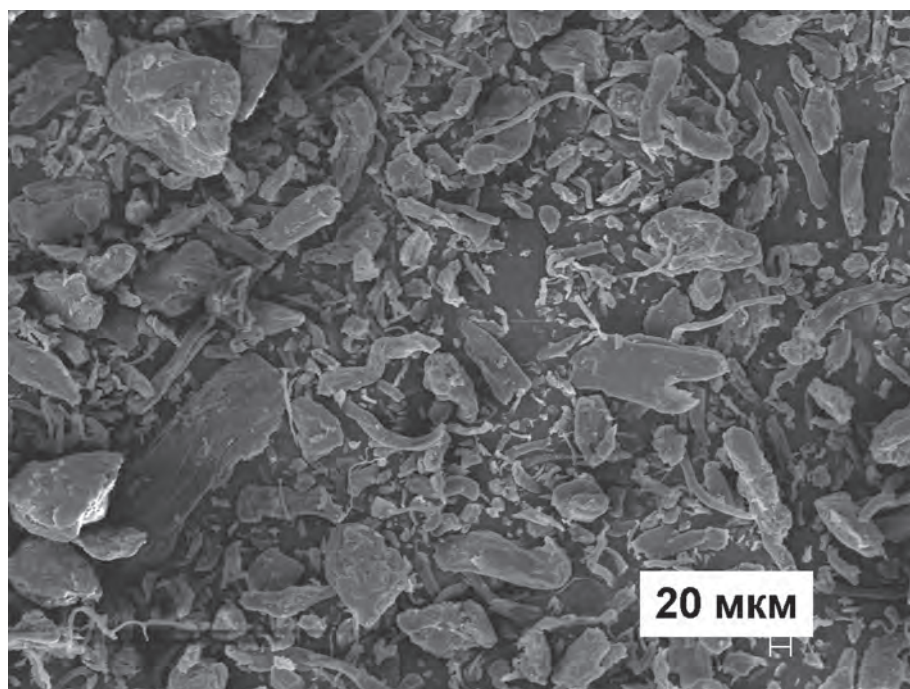
Сканирующие электронные микрофотографии вискозы (волокно)

# **МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КАМЕДЕЙ (КСАНТАНОВОЙ И ГУАРОВОЙ)**

---

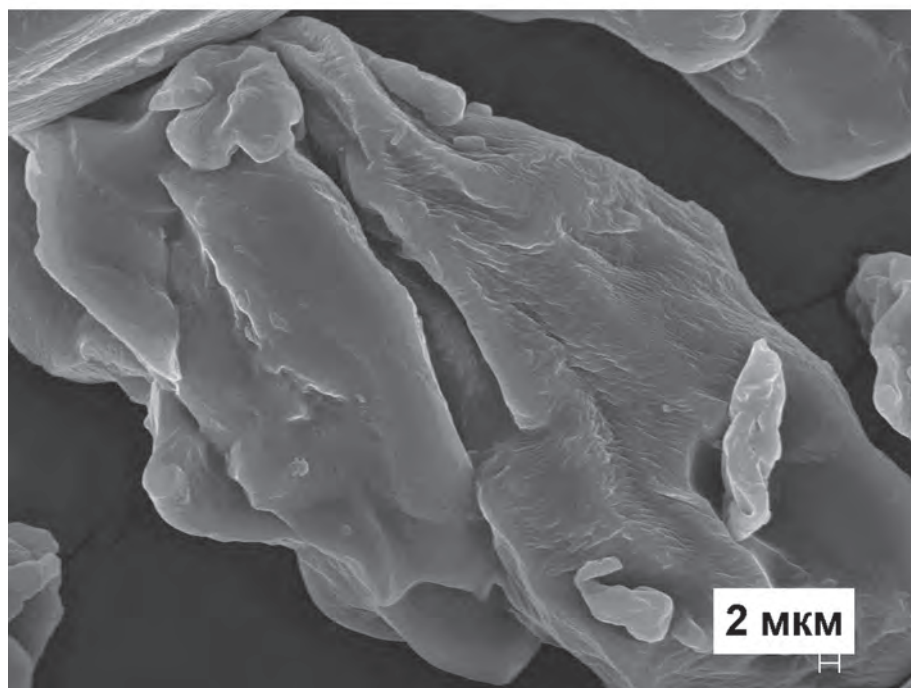
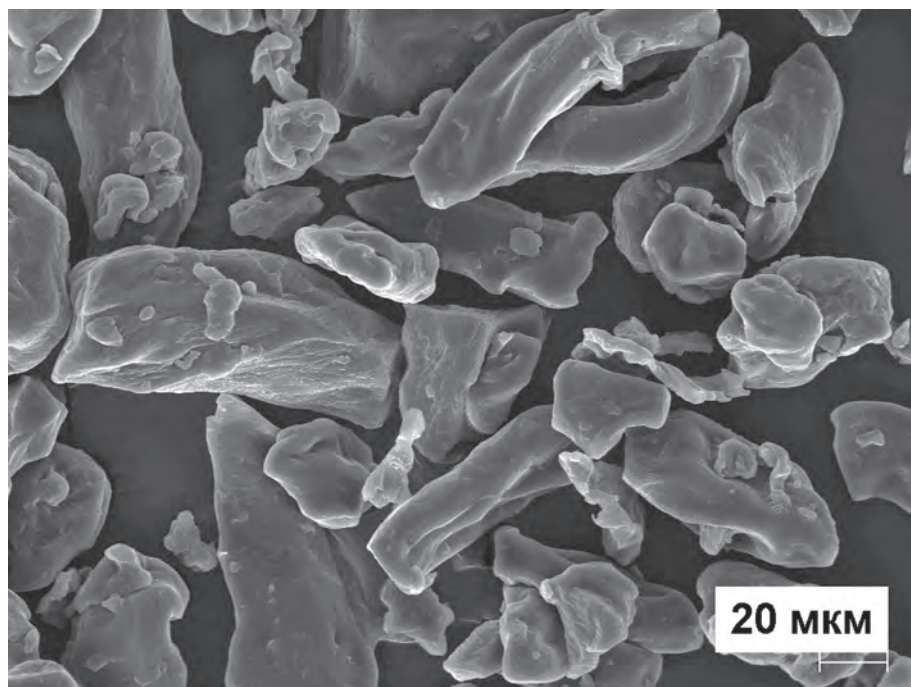


Сканирующие электронные микрофотографии ксантановой камеди

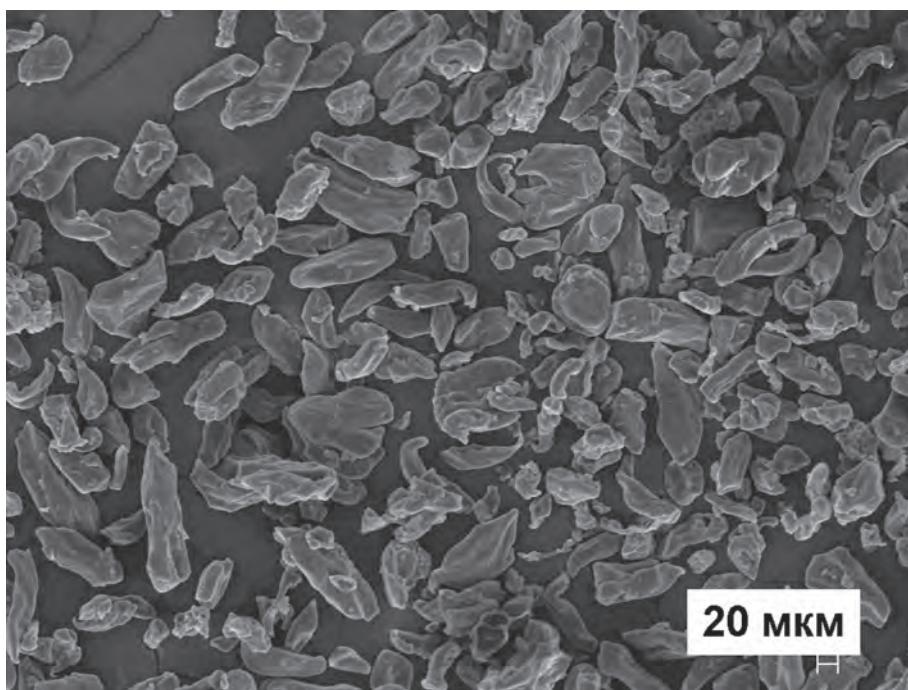


Сканирующая электронная микрофотография ксантановой камеди





Сканирующие электронные микрофотографии гуаровой камеди



Сканирующая электронная микрофотография гуаровой камеди

## ПРИЛОЖЕНИЕ

---

## ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРАХМАЛА

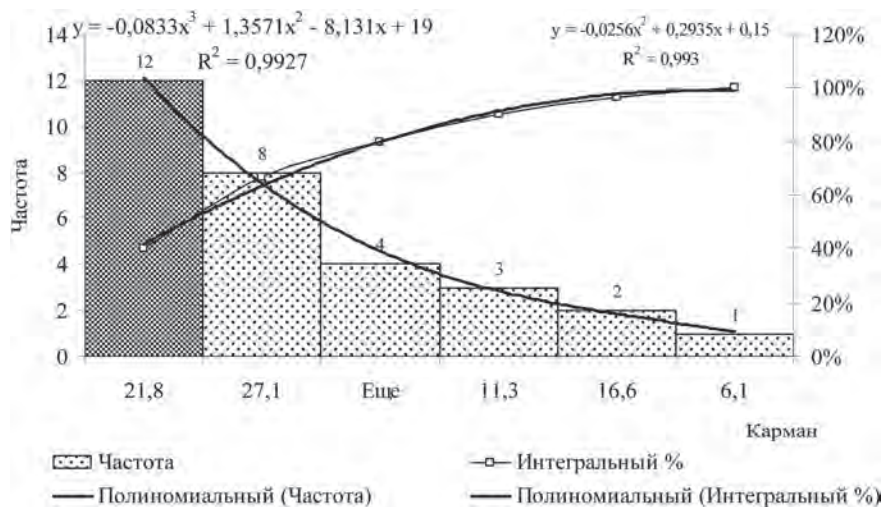
### *Морфологическая характеристика нативных крахмалов различного ботанического происхождения*

Параметры	Нативные крахмалы					
	Ржаной	Пшеничный	Тритикалевый	Сорговый	Ячменный	Рисовый
$d_{\text{сред.}}$ , мкм	21,2	12,4	13,2	11,0	10,9	5,3
Стандартная ошибка	1,19	0,97	0,88	0,38	0,58	0,15
Медиана	21,8	11,3	12,7	11,0	11,4	5,2
Мода	22,4	2,8	13,1	12,2	4,5	4,1
Стандартное отклонение	10,27	7,31	7,24	3,49	5,63	1,11
Дисперсия выборки	105,4	53,5	52,48	12,19	31,72	1,23
Экссесс	-0,9	-1,27	-0,67	0,16	-1,34	-0,59
Асимметричность	0,1	0,26	0,51	0,09	0,1	0,06
Интервал	37,9	24,3	26,7	18,2	18,4	5,2
$d_{\text{min}}$ , мкм	4,9	2,8	4,0	3,5	3,0	2,7
$d_{\text{max}}$ , мкм	42,8	27,1	30,7	21,7	21,4	7,9
Уровень надежности (95,0%)	2,36	1,90	1,75	0,76	1,15	0,29
Верхняя граница	23,5	14,3	15	11,7	12,1	5,6
Нижняя граница	18,8	10,5	11,5	10,2	9,8	5
Распределение гранул по размерам	Тримодальное	Бимодальное	Бимодальное	Мономодальное	Мономодальное	Тримодальное
Форма гранул	Овальная и округлая	Правильная овальная и округлая	Правильная овальная и округлая	Овальная и многогранная	Овальная и округлая	Неправильная многогранная
Параметры	Нативные крахмалы					
	Гороховый	Нутовый	Амарантовый	Кукурузный	Картофельный	Тапиоковый
$d_{\text{сред.}}$ , мкм	20,4	14,8	1,1	9,8	21,7	10,6
Стандартная ошибка	1,25	2,46	0,02	0,21	0,62	0,26
Медиана	20,8	14,5	1,1	9,7	19,0	10,1
Мода	н/д	15,8	1,2	12,7	17,1	8,8
Стандартное отклонение	6,87	3,69	0,18	3,38	8,99	4,43

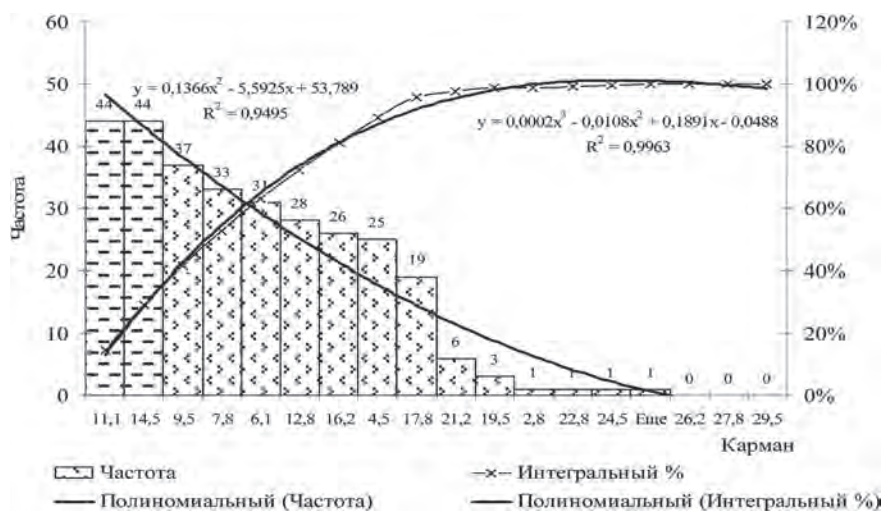


Параметры	Нативные крахмалы					
	Горохо- вый	Нутовый	Амаран- товый	Кукуруз- ный	Карто- фельный	Тапио- ковый
Дисперсия выборки	47,22	13,59	0,03	11,44	80,88	19,63
Эксцесс	0,02	0,17	0,71	−0,49	2,2	0,66
Асимметричность	−0,74	0,07	−0,32	0,37	1,4	0,54
Интервал	26,3	19,6	1,0	15,5	52,3	28,4
$d_{\min}$ , мкм	6,1	6,0	0,5	3,6	7,7	2,8
$d_{\max}$ , мкм	32,3	25,6	1,5	19,2	60,0	31,2
Уровень надежности (95,0%)	2,57	0,93	0,04	0,42	1,22	0,50
Верхняя граница	23,0	15,7	1,2	10,2	22,9	11,1
Нижняя граница	17,8	13,9	1,1	9,3	20,5	10,1
Распределение гранул по размерам	Мономо- дальное	Мономо- дальное	Мономо- дальное	Мономо- дальное	Бимо- дальное	Бимо- дальное
Форма гранул	Непра- вильная оваль- ная	Пра- вильная овальная	Много- гранная	Непра- вильная много- гранная	Непра- вильная оваль- ная	Непра- вильная округлая

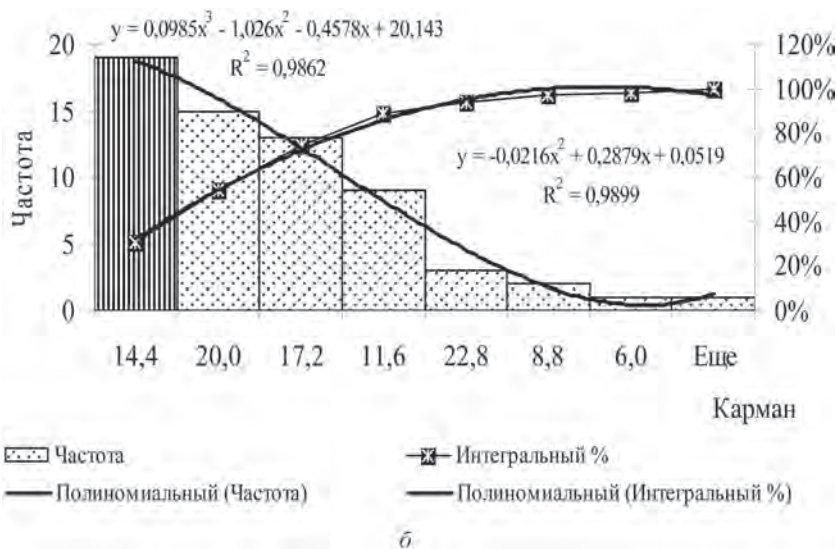
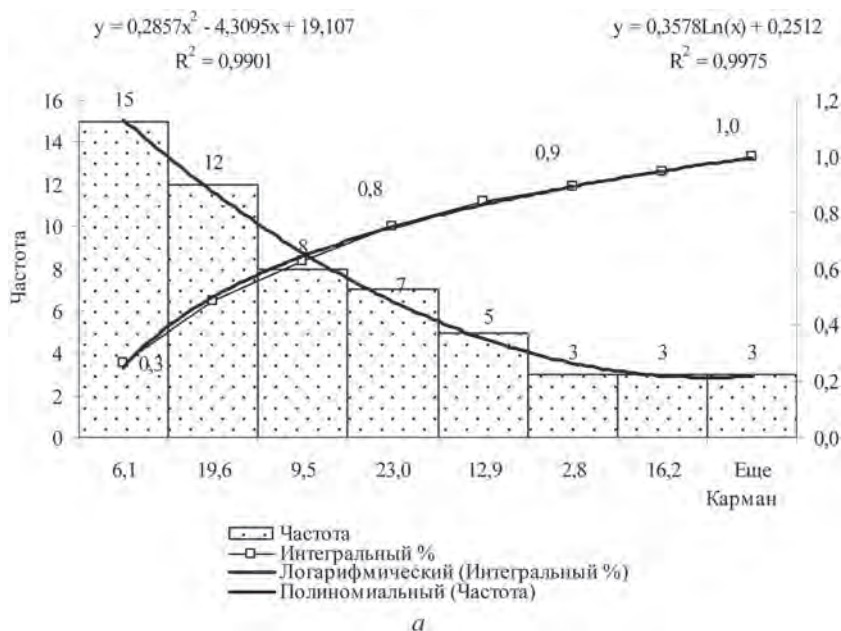
Параметры	Нативные крахмалы			
	Овсяный	Кукурузный		
		Амилозный	Амилопектиновый	
$d_{\text{сред}}$ , мкм	7,39	7,11	9,94	
Стандартная ошибка	0,43	0,19	0,41	
Медиана	6,57	6,96	9,91	
Мода	5,09	6,78	7,78	
Стандартное отклонение	2,56	1,86	2,99	
Дисперсия выборки	6,57	3,47	8,92	
Эксцесс	0,66	−0,43	−0,08	
Асимметричность	1,04	0,08	0,18	
Интервал	10,96	8,35	14	
$d_{\min}$ , мкм	3,96	3,30	4,26	
$d_{\max}$ , мкм	14,91	11,65	18,26	
Уровень надежности (95,0%)	0,87	0,38	0,82	
Верхняя граница	8,25	7,50	10,76	
Нижняя граница	6,52	6,73	9,11	
Распределение гранул по размерам	Мономо- дальное	Мономодальное	Мономодальное	
Форма гранул	Неправиль- ная окру- глая	Неправильная округлая	Неправильная многогранная	
$d_{\text{сред}}$ , мкм	7,39	7,11	9,94	



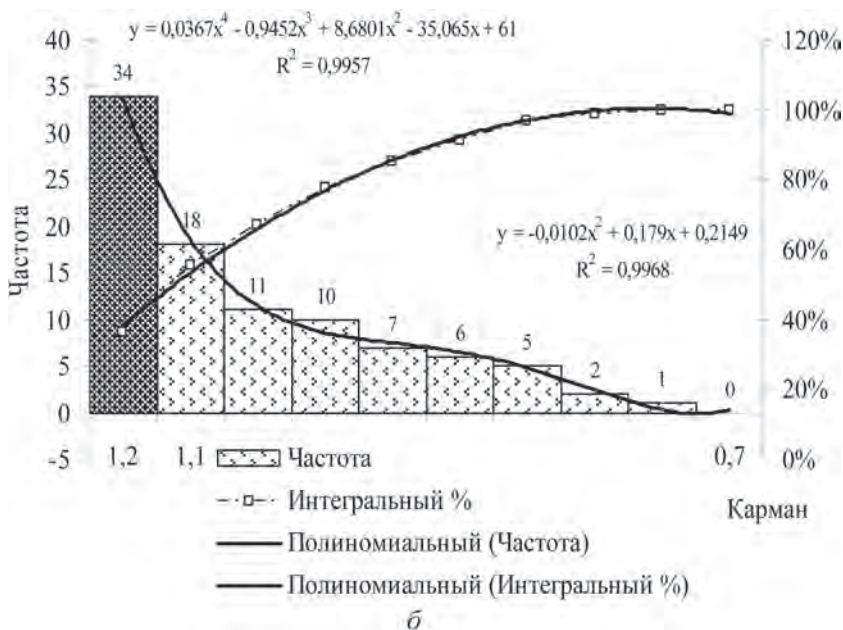
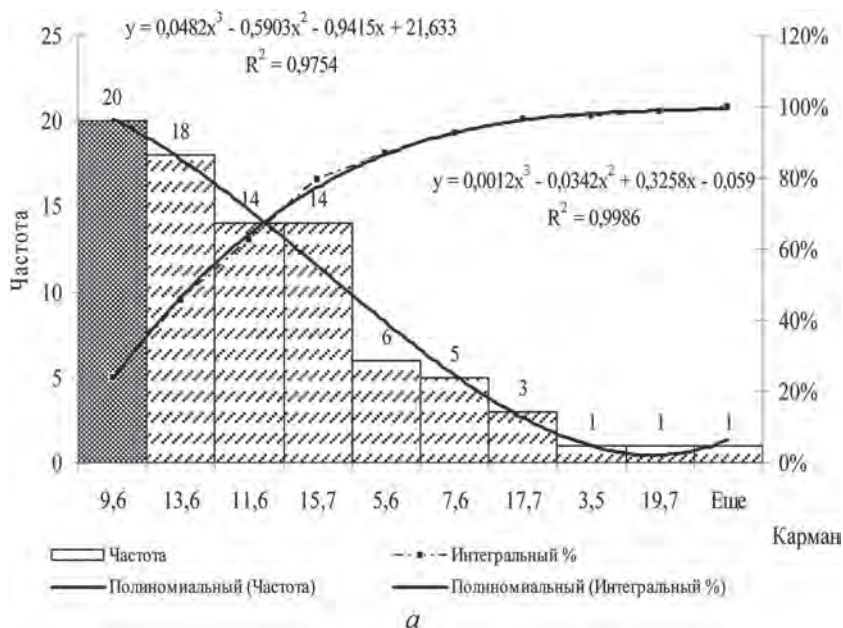
Парето (отсортированная гистограмма) вариационного ряда распределения гранул горохового крахмала в порядке убывания частоты



Парето (отсортированная гистограмма) вариационного ряда распределения гранул тапиокового крахмала в порядке убывания частоты

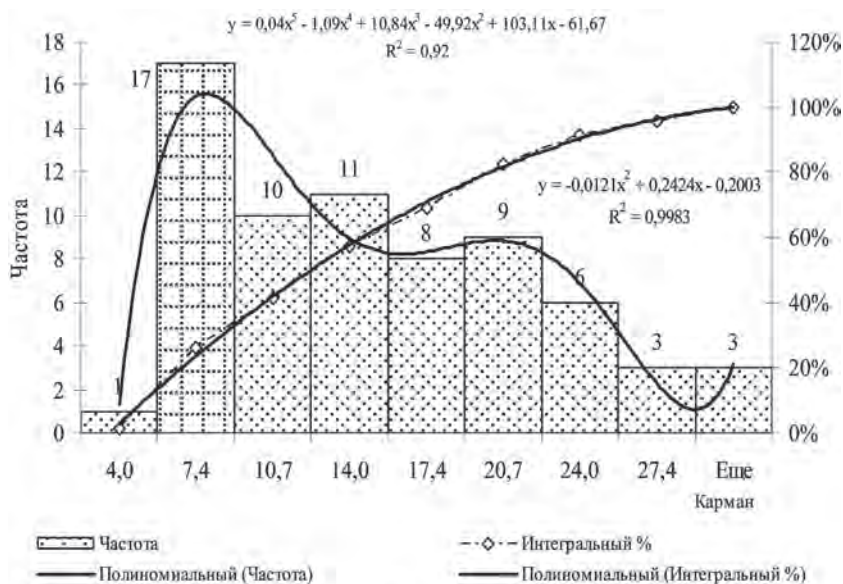


Парето (отсортированная гистограмма) вариационного ряда распределения гранул крахмала в порядке убывания частоты: а – пшеничного; б – нутового

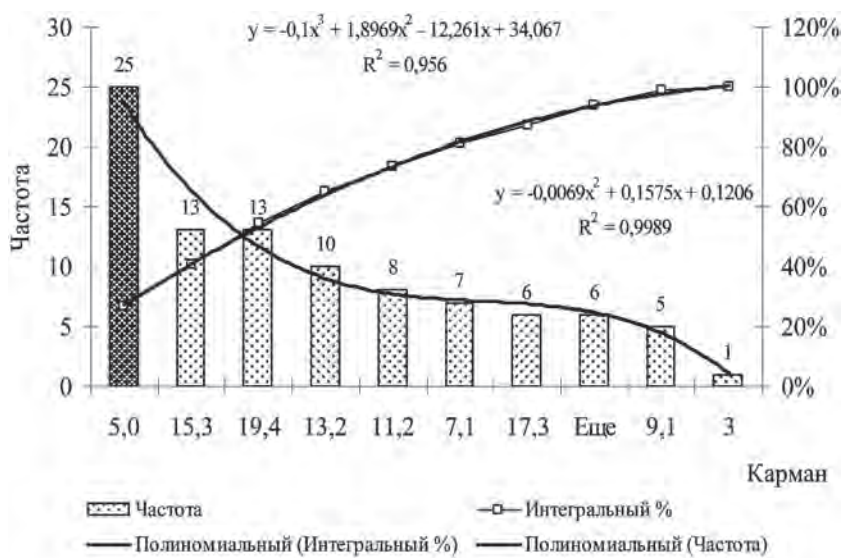


Парето (отсортированная гистограмма) вариационного ряда распределения гранул крахмала в порядке убывания частоты: *a* – соргового; *б* – амарантового



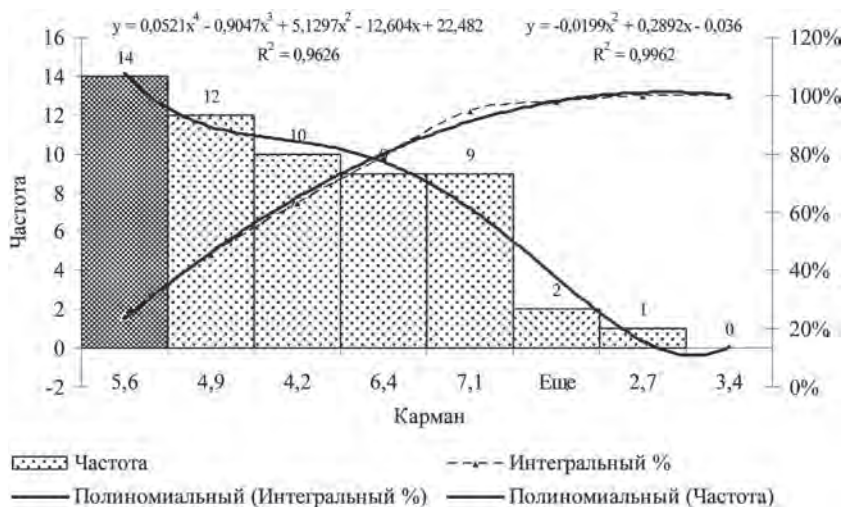


а

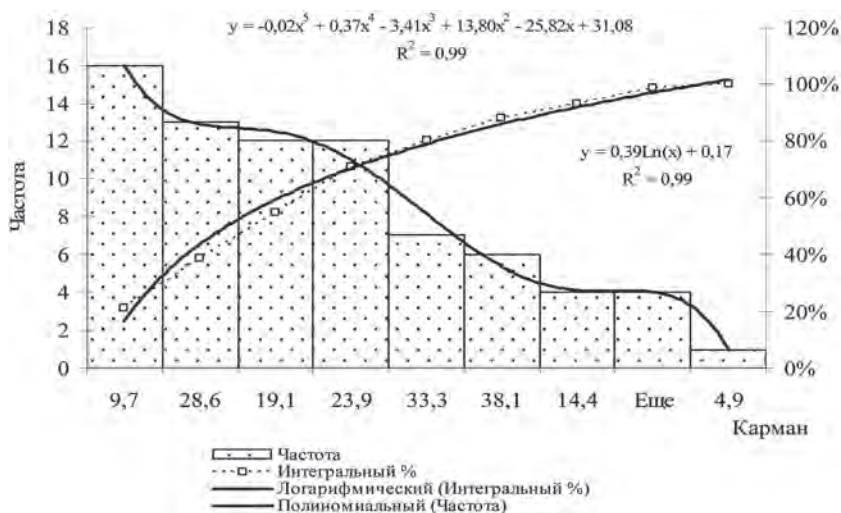


б

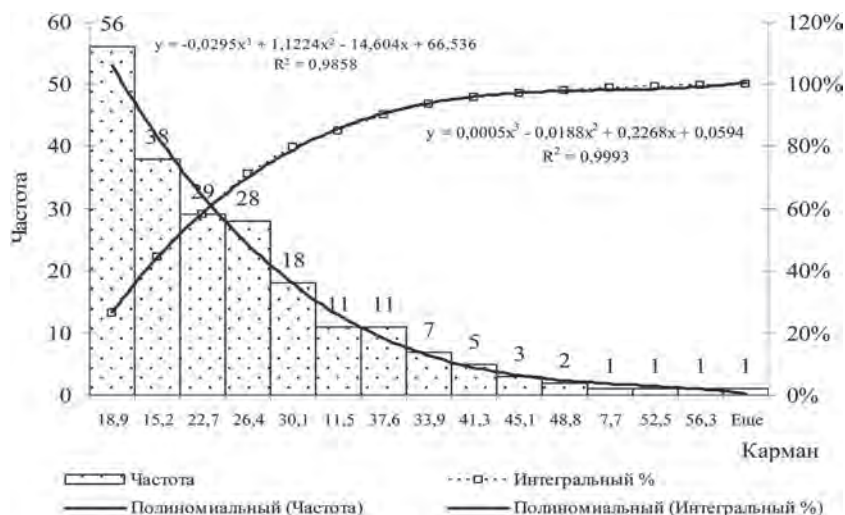
Гистограмма интервального вариационного ряда распределения гранул крахмала:  
 а – тритикалевого; б – ячменного



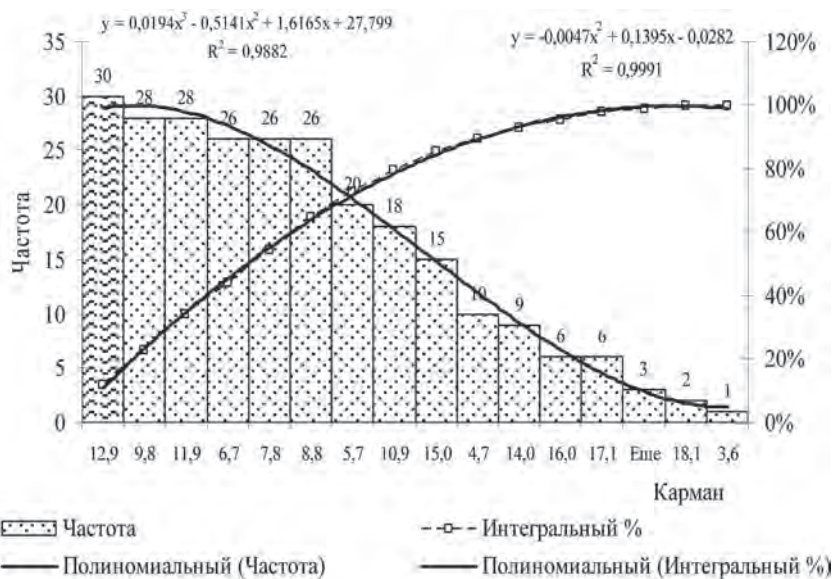
Гистограмма интервального вариационного ряда распределения гранул рисового крахмала



Парето (отсортированная гистограмма) вариационного ряда распределения гранул рисового крахмала в порядке убывания частоты

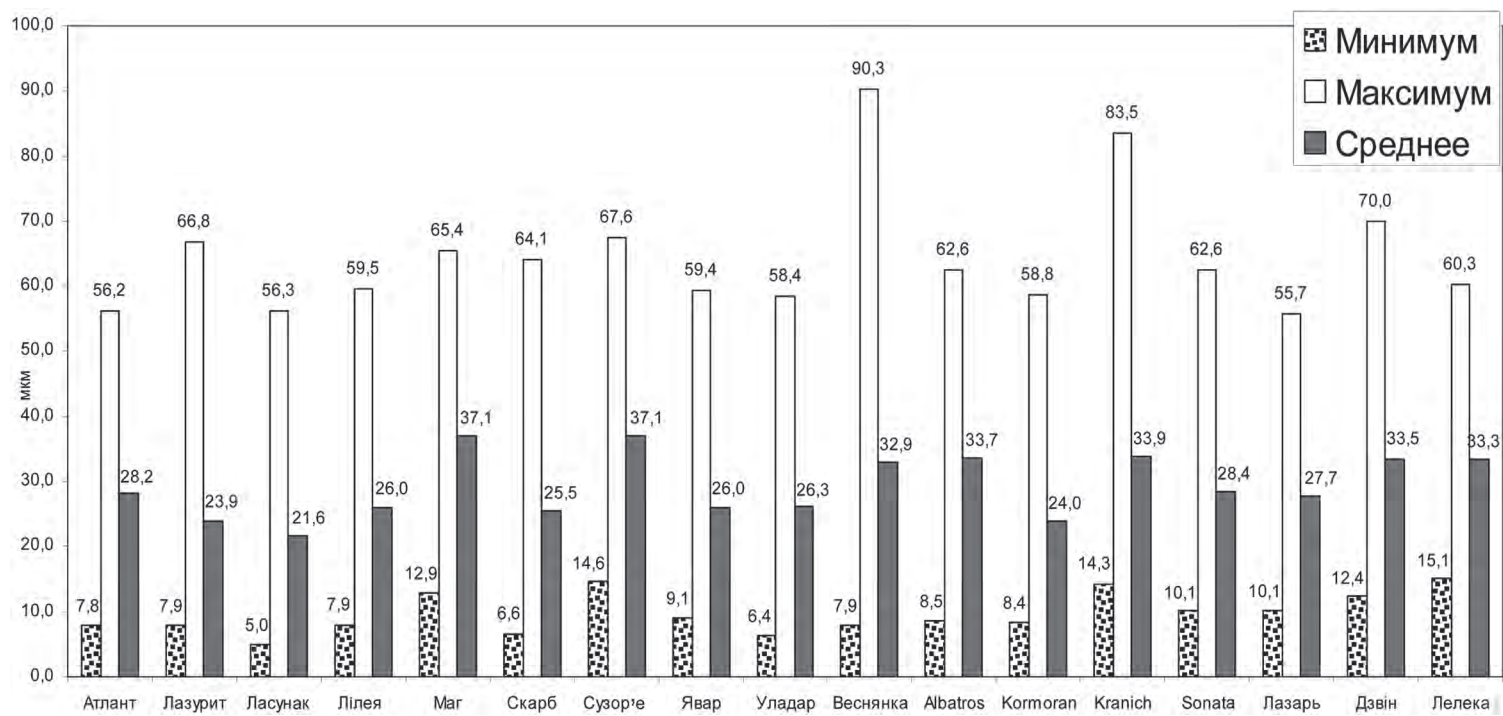


а



б

Парето (отсортированная гистограмма) вариационного ряда распределения гранул крахмала в порядке убывания частоты: а – картофельного; б – кукурузного



Средний размер гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля



**Уравнения вариационного распределения гранул крахмала**

Наименование крахмала	Частота	$R^2$	Интегральный (%)	$R^2$
Пшеничный	$Y = 0,29x^2 - 4,31x + 19,11$	0,99	$Y = 0,36\text{Ln}(x) + 0,25$	1,00
Ржаной	$Y = -0,02x^5 + 0,37x^4 - 3,4x^3 + 13,80x^2 - 25,82x + 31,08$	0,99	$Y = 0,39\text{Ln}(x) + 0,17$	0,99
Тритикале	$Y = -0,01x^2 + 0,21x + 0,05$	1,00	$Y = 0,03x^4 - 0,59x^3 + 4,38x^2 - 14,50x + 27,44$	0,98
Рисовый	$Y = 0,05x^4 - 0,90x^3 + 5,13x^2 - 12,60x + 22,48$	0,96	$Y = -0,02x^2 + 0,29x - 0,004$	1,00
Сорго	$Y = 0,05x^3 - 0,59x^2 - 0,94x + 21,63$	0,98	$Y = -0,01x^2 + 0,23x + 0,05$	0,99
Ячменный	$Y = -0,10x^3 + 1,90x^2 - 12,26x + 34,07$	0,96	$Y = -0,01x^2 + 0,16x + 0,12$	1,00
Гороховый	$Y = -0,08x^3 + 1,36x^2 - 8,13x + 19$	0,99	$Y = -0,03x^2 + 0,29x + 0,15$	0,99
Нутовый	$Y = 0,10x^3 - 1,03x^2 - 0,46x + 20,14$	0,99	$Y = -0,02x^2 + 0,29x + 0,05$	0,99
Амарантовый	$Y = 0,04x^4 - 0,95x^3 + 8,68x^2 - 3,5x + 61$	1,00	$Y = -0,01x^2 + 0,18x + 0,21$	1,00
Картофельный	$Y = -0,03x^3 + 1/2x^2 - 14,60x + 66,54$	0,99	$Y = 0,001x^3 - 0,02x^2 + 0,23x + 0,06$	1,00
Кукурузный	$Y = 0,02x^3 - 0,51x^2 + 1,62x + 27,80$	0,99	$Y = -0,005x^2 + 0,14x - 0,03$	1,00
Тапиоковый	$Y = 0,14x^2 - 5,59x + 53,79$	0,95	$E = -0,01x^2 + 0,15x + 0,03$	0,99

**Морфологическая характеристика крахмальных гранул (распределение по размеру и форме) нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля**

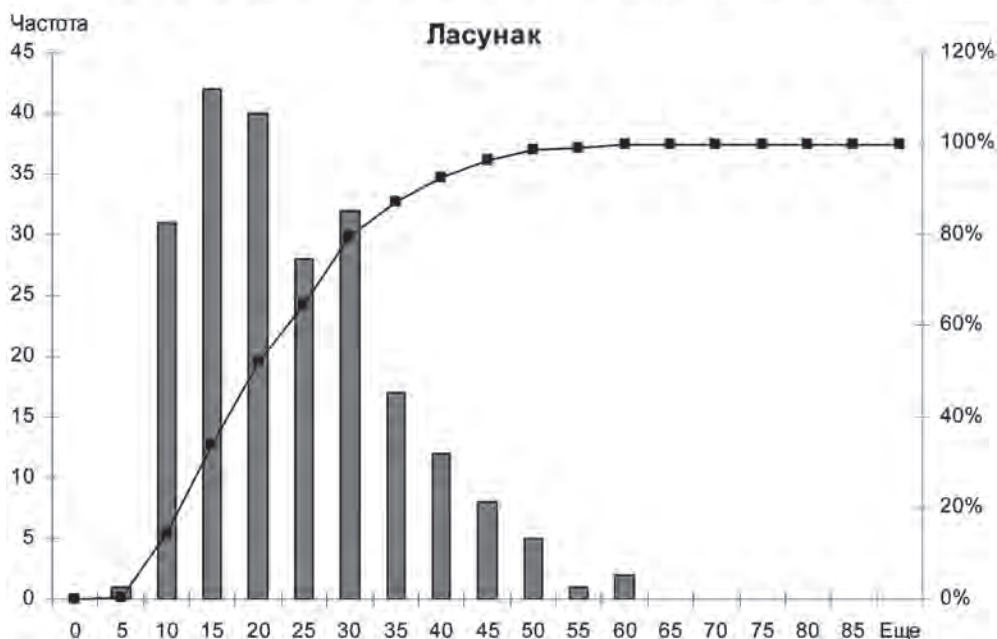
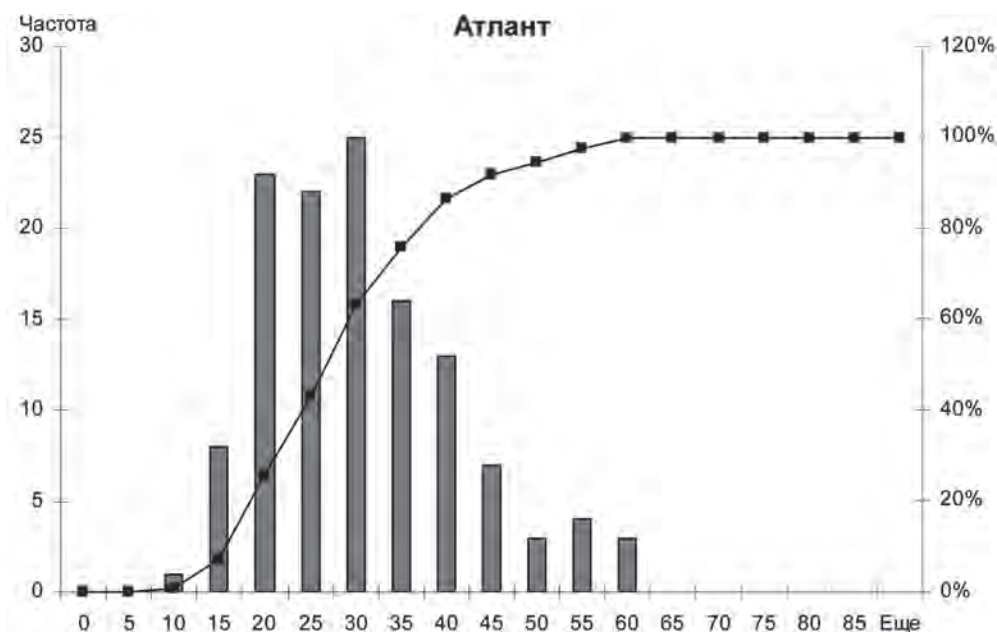
Сорт картофеля, из которого получен крахмал	Распределение по размеру и форме крахмальных гранул, %			
	малые до 20 мкм	средние 20–40 мкм	большие 40–60 мкм	очень большие более 60 мкм
Атлант	25,6 правильная округлая	60,8 правильная овальная	13,6 неправильная овальная	—
Лазурит	47,4 неправильная округлая	43,4 неправильная овальная	8,0 неправильная овальная	1,2 неправильная овальная
Ласунак	52,1 правильная округлая	40,6 неправильная округлая	7,3 правильная овальная	—
Лілея	35,5 правильная округлая	52,6 правильная овальная	11,9 неправильная овальная	—
Маг	12,1 правильная округлая	47,0 правильная овальная	37,3 неправильная овальная	3,6 неправильная многогранная
Скарб	34,2 правильная округлая	57,1 правильная овальная	8,2 неправильная овальная	0,5 неправильная многогранная
Сузор'є	5,2 правильная округлая	61,0 правильная округлая	24,7 округлая и овальная	9,1 неправильная овальная

Сорт картофеля, из которого получен крахмал	Распределение по размеру и форме крахмальных гранул, %			
	малые до 20 мкм	средние 20–40 мкм	большие 40–60 мкм	очень большие более 60 мкм
Явар	38,8 неправильная округлая	50,6 неправильная округлая и овальная	10,6 неправильная округлая и овальная	—
Уладар	34,1 правильная округлая	53,4 неправильная округлая и овальная	12,5 неправильная овальная	—
Веснянка	21,0 правильная округлая	50,0 неправильная округлая и овальная	21,6 неправильная овальная и округлая	7,4 неправильная овальная
Albatros	13,9 правильная округлая	57,4 правильная округлая	26,7 правильная овальная	2,0 неправильная овальная
Kormoran	40,4 правильная округлая	52,3 правильная округлая	7,3 правильная овальная	—
Kranich	8,4 правильная округлая	67,4 правильная округлая	18,9 неправильная округлая	5,3 неправильная округлая
Sonata	27,3 неправильная округлая	53,9 неправильная овальная	17,2 неправильная овальная	1,6 неправильная многогранная
Лазарь	24,0 неправильная овальная	65,6 неправильная овальная	10,4 неправильная овальная	—
Дзвін	15,3 правильная округлая	56,1 правильная округлая	23,5 неправильная овальная	5,1 неправильная овальная
Лелека	7,9 неправильная округлая	67,3 вытянутая овальная	23,8 вытянутая овальная	1,0 неправильная овальная

**Морфологическая характеристика нативного крахмала, выделенного  
из разных сортов картофеля**

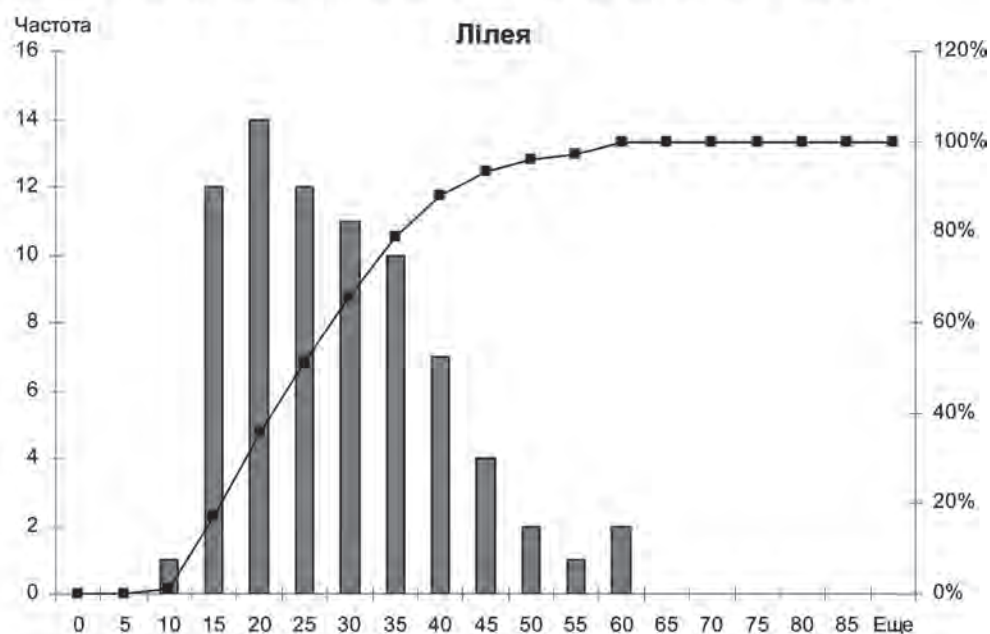
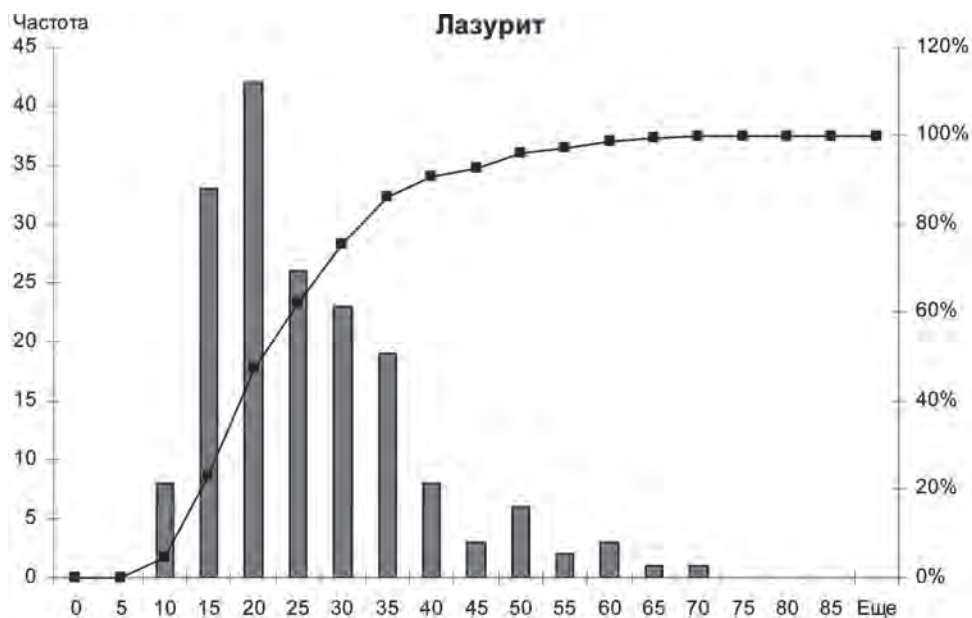
Параметры	Нативный крахмал, выделенный из разных сортов картофеля					
	Атлант	Лазурит	Ласунак	Лілея	Маг	Скарб
$d_{\text{сред.}}$ , мкм	28,23	23,89	21,61	26,03	37,12	25,54
Стандартная ошибка	0,97	0,88	0,75	1,31	1,52	0,74
Медиана	26,62	20,69	19,12	24,14	35,97	25,22
Мода	29,46	16,53	24,26	17,46	27,64	26,32
Стандартное отклонение	10,86	11,69	11,06	11,43	13,86	10,05
Дисперсия выборки	118,00	136,66	122,40	130,73	192,07	100,97

Параметры	Нативный крахмал, выделенный из разных сортов картофеля					
	Атлант	Лазурит	Ласунак	Лілея	Маг	Скарб
Экссесс	0,16	1,67	0,01	0,15	–1,045	0,32
Асимметричность	0,73	1,29	0,74	0,73	0,16	0,55
Интервал	48,38	58,89	51,25	51,55	52,5	57,50
$d_{\min}$ , мкм	7,84	7,92	5,00	7,91	12,92	6,62
$d_{\max}$ , мкм	56,22	66,81	56,25	59,46	65,42	64,12
Уровень надежности (95,0%)	1,92	1,74	1,47	2,61	3,03	1,46
Распределение гранул по размерам	Моноомодальное	Моноомодальное	Моноомодальное	Моноомодальное	Бимодальное	Моноомодальное
Параметры	Нативный крахмал, выделенный из разных сортов картофеля					
	Сузор'е	Явар	Уладар	Веснянка	Albatros	Kormoran
$d_{\text{сред}}$ , мкм	37,13	26,02	26,29	32,85	33,72	23,96
Стандартная ошибка	1,49	1,29	0,76	1,25	1,28	0,96
Медиана	33,75	23,38	24,64	29,21	32,86	22,65
Мода	30,00	14,41	24,38	29,21	22,50	27,21
Стандартное отклонение	13,11	11,88	11,00	15,87	12,87	9,98
Дисперсия выборки	171,84	141,20	120,90	251,83	165,69	99,58
Экссесс	–0,07	1,18	–0,25	0,56	–0,55	0,70
Асимметричность	0,76	1,27	0,54	0,88	0,32	0,79
Интервал	53,06	50,29	51,96	82,37	54,18	50,44
$d_{\min}$ , мкм	14,58	9,12	6,43	7,89	8,46	8,38
$d_{\max}$ , мкм	67,64	59,41	58,39	90,26	62,64	58,82
Уровень надежности (95,0%)	2,98	2,56	1,50	2,46	2,54	1,89
Распределение гранул по размерам	Моноомодальное	Моноомодальное	Моноомодальное	Моноомодальное	Бимодальное	Моноомодальное
Параметры	Нативный крахмал, выделенный из разных сортов картофеля					
	Kranich	Sonata	Лазарь	Дзвін	Лелека	
$d_{\text{сред}}$ , мкм	33,90	28,38	27,68	33,47	33,27	
Стандартная ошибка	1,28	1,09	0,88	1,33	1,01	
Медиана	32,78	25,63	26,94	32,72	31,39	
Мода	27,92	38,75	22,36	37,50	27,22	
Стандартное отклонение	12,49	12,29	9,85	13,21	10,18	
Дисперсия выборки	155,98	151,03	96,91	174,44	103,71	
Экссесс	2,00	–0,22	0,08	–0,03	–0,40	
Асимметричность	1,18	0,78	0,60	0,63	0,45	
Интервал	69,17	51,67	45,56	57,64	45,14	
$d_{\min}$ , мкм	14,31	10,97	10,14	12,36	15,14	
$d_{\max}$ , мкм	83,47	62,64	55,69	70,00	60,28	
Уровень надежности (95,0%)	2,54	2,15	1,74	2,65	2,01	
Распределение гранул по размерам	Бимодальное	Моноомодальное	Моноомодальное	Моноомодальное	Моноомодальное	

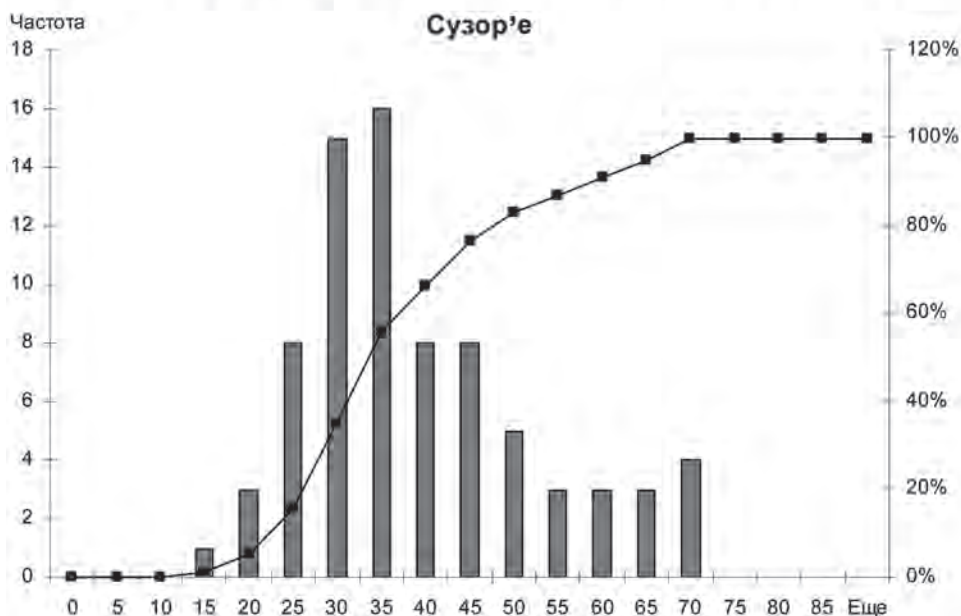
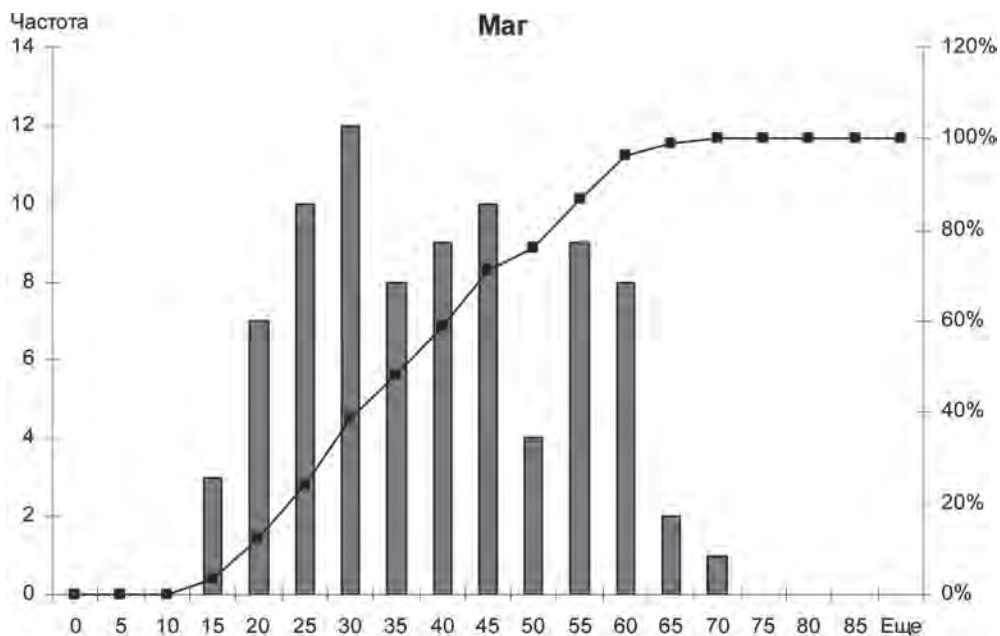


Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля белорусской селекции

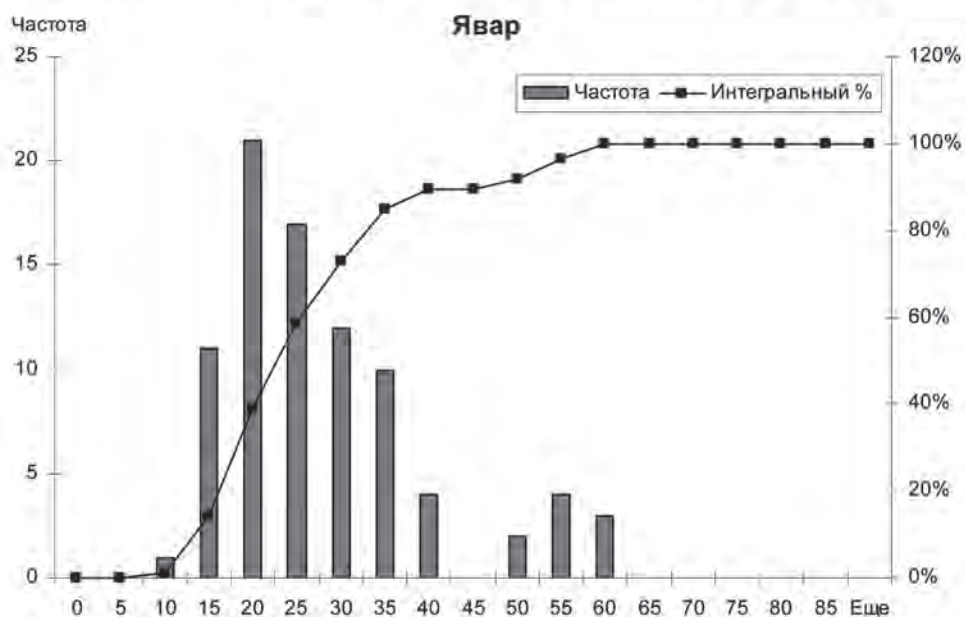
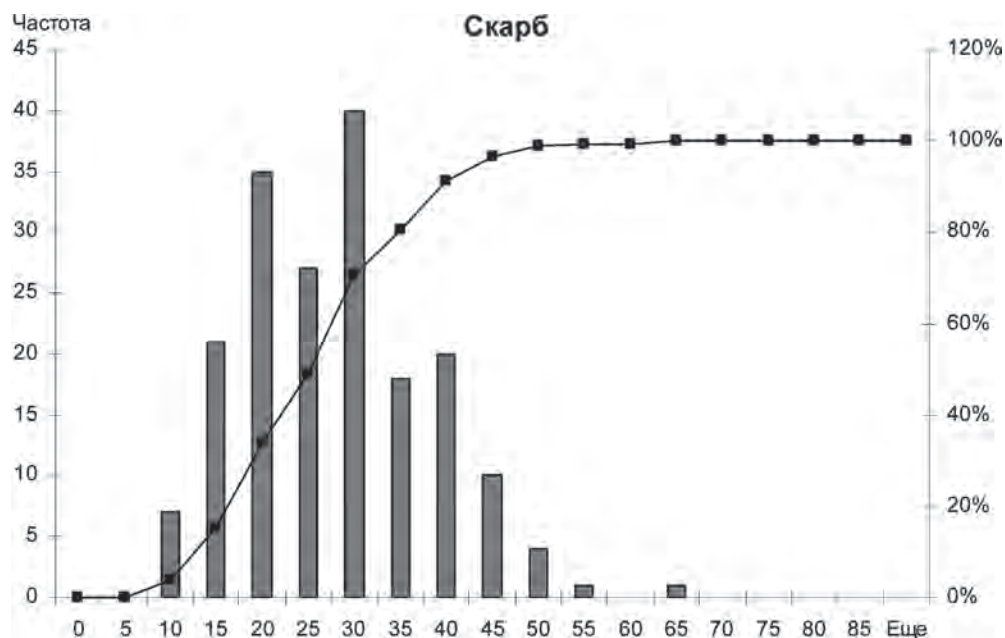




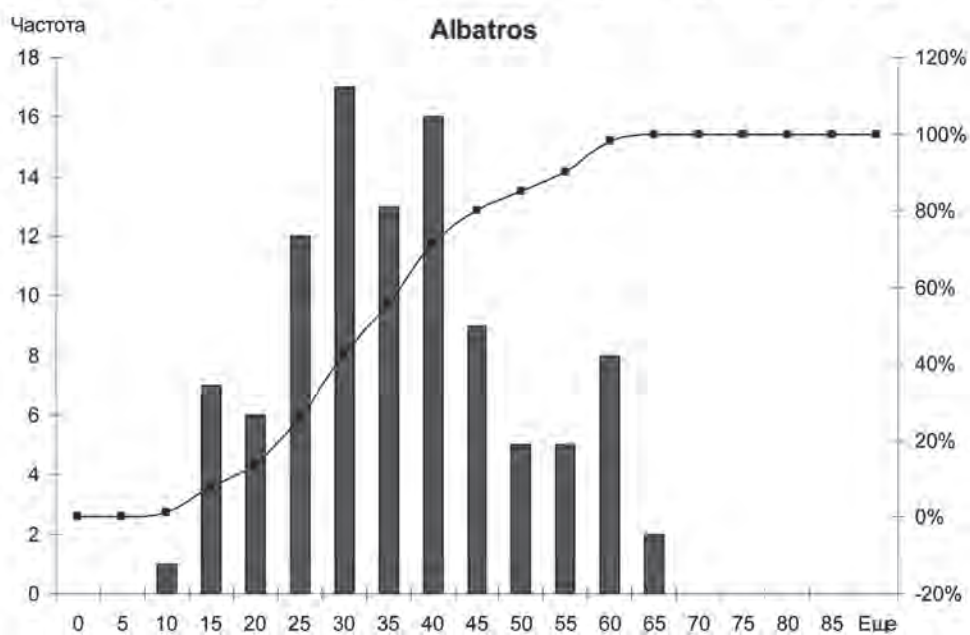
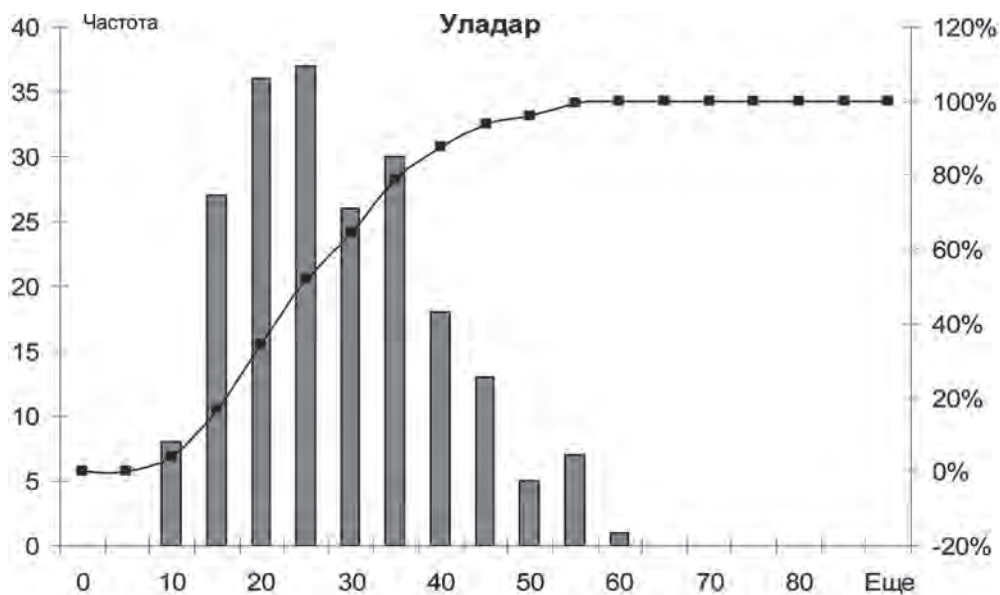
Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля белорусской селекции



Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля белорусской селекции

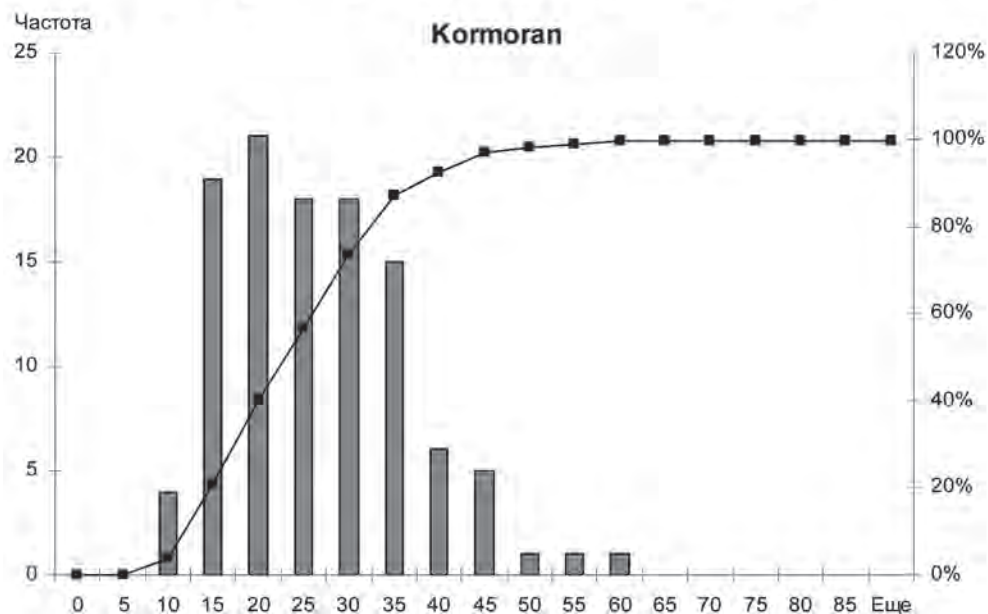
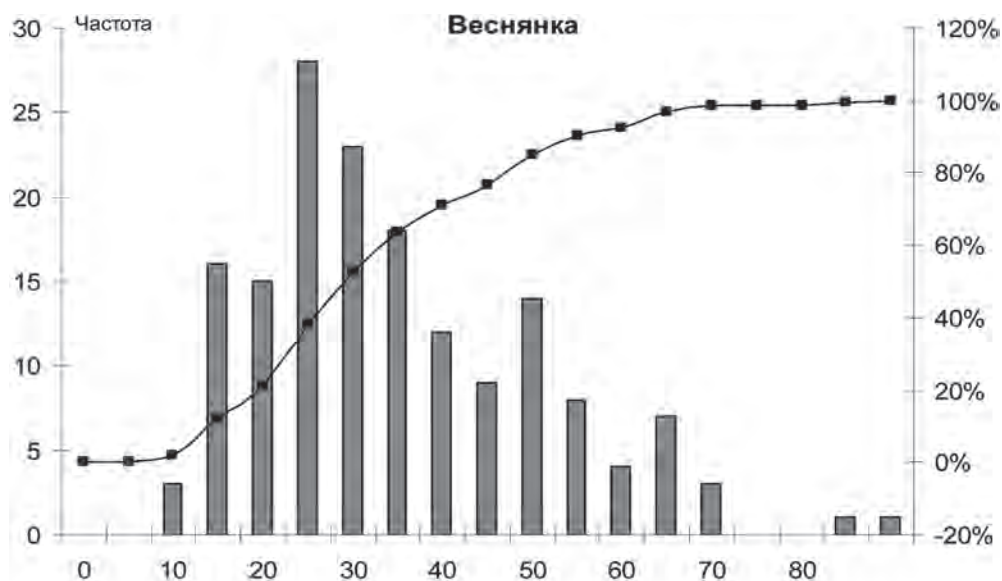


Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля белорусской селекции

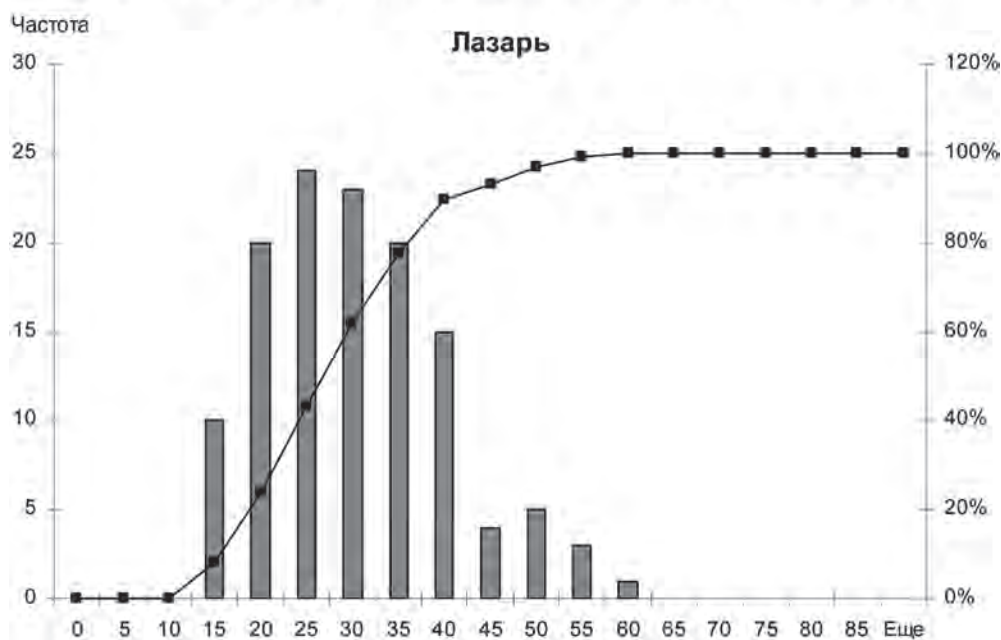
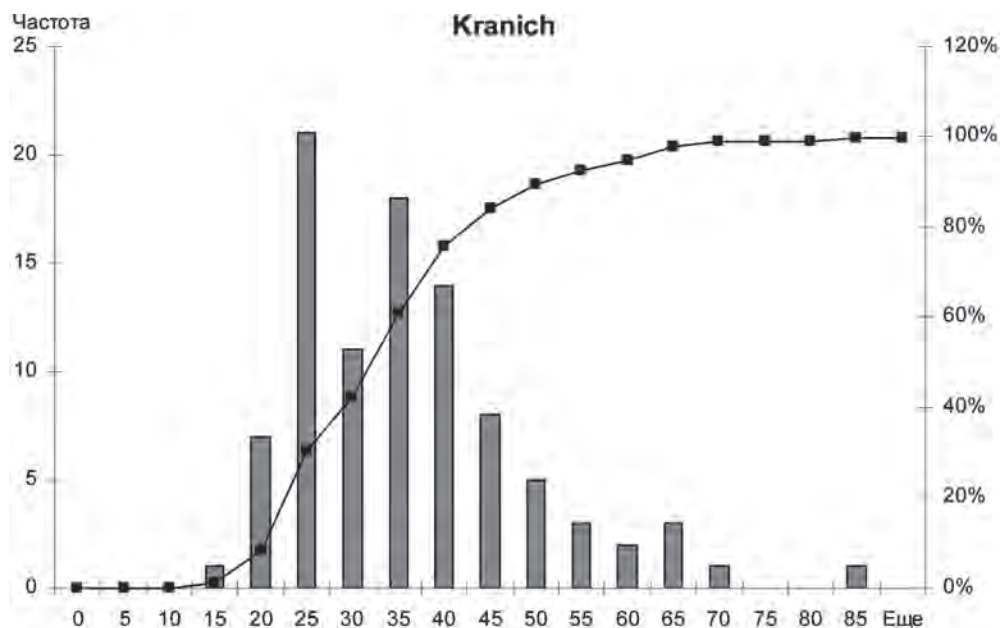


Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля

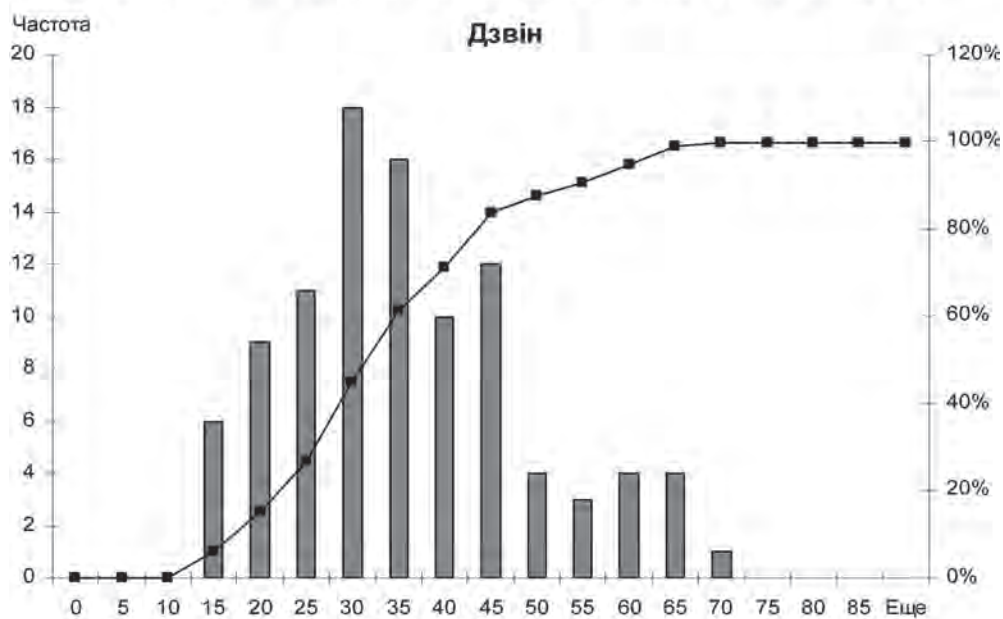
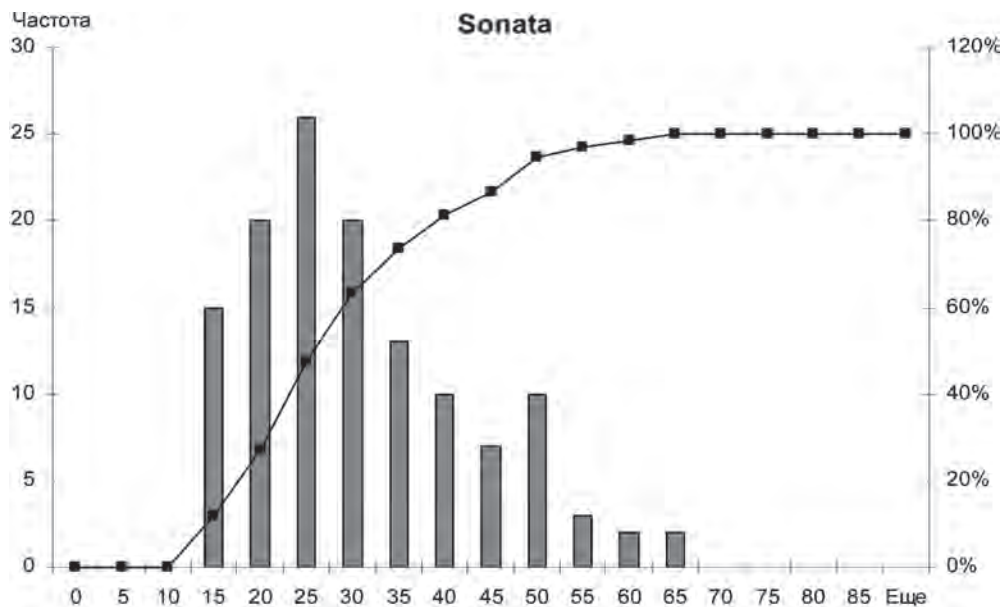




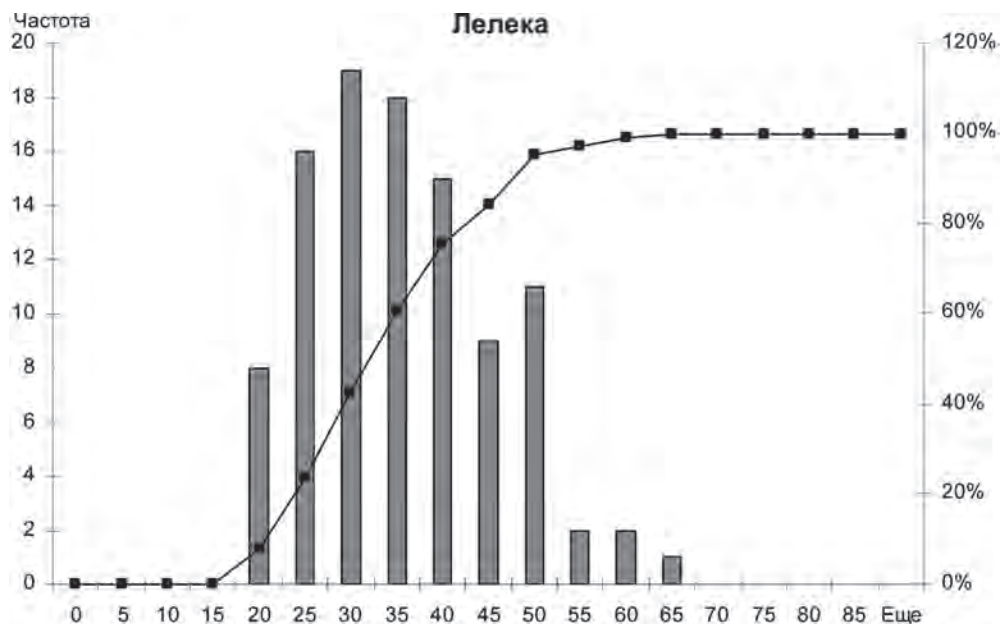
Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля



Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля



Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля



Распределение по размеру гранул нативного картофельного крахмала, полученного из разных сортов картофеля: «Albatros», «Kormoran», «Kranich», «Sonata», «Лазарь», «Дзвін», «Лелека»



## 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 биоконпозитов .....	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>36</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.