

ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ВОДНОГО РАСТВОРА НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИСАХАРИДЫ: ФЕНОМЕНОЛОГИЯ И СПЕКТРОМЕТРИЯ

© 2023 г. А.Г. Погорелов*, #, Л.Г. Ипатова*, А.И. Панаит*,
М.А. Погорелова*, А.А. Гулин**, В.Н. Погорелова*

*Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН,
ул. Институтская, 3, Пущино Московской области, 142290, Россия

**Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН,
ул. Косыгина, 4, Москва, 119991, Россия

#E-mail: agpogorelov@rambler.ru

Поступила в редакцию 07.04.2023 г.

После доработки 12.05.2023 г.

Принята к публикации 07.06.2023 г.

С использованием UV-Vis спектроскопии, времяпролетной масс-спектрометрии вторичных ионов и сканирующей электронной микроскопии изучено изменение свойств полисахаридов в электрохимически активированном водном растворе. Показано, что исследуемые растворы полисахаридов растительного происхождения (агар, растворимый крахмал, пищевой крахмал) подвержены модификации, направленность которой обусловлена используемой фракцией электрохимически активированного раствора (католит или анолит). Выявленные особенности могут быть востребованы при разработке новых способов управления свойствами биологического сырья в технологии производства пищевых продуктов. Отмечено, что технология электрохимически активированного водного раствора, которую относят к разряду «зеленых», может быть воспроизведена в промышленных масштабах.

Ключевые слова: электрохимически активированный водный раствор, агар, крахмал, полисахарид, олигосахар, UV-Vis спектроскопия, масс-спектрометрия вторичных ионов, сканирующая электронная микроскопия.

DOI: 10.31857/S0006302923050046, EDN: PGOKRQ

Исходным сырьем для пищевых технологий является биологическая матрица, основу которой составляют органические молекулы, включая полисахариды растительного происхождения. В производственном цикле данный класс макро-нутриентов, в зависимости от амфифильности, используют в виде раствора (модифицированный крахмал, агар) или суспензии (крахмал). При обработке сырья, а также в процессе получения полуфабрикатов и конечного продукта, вещество преобразуют так, чтобы улучшить его реологические свойства, ускорить или оптимизировать технологические процессы, улучшить органолептические характеристики готовой продукции. Для безреагентного управления свойствами пищевых систем применяют фракции электрохимически

активированного водного раствора (ЭХАР). Отметим, что подходы, разработанные на основе ЭХАР, относят к «зеленым» технологиям, так как воздействие остается экологически безопасным и не несет техногенной нагрузки.

Принцип получения ЭХАР состоит в накоплении метастабильной фракции воды в области, прилегающей к аноду или катоду электролизера, анолита или католита соответственно [1, 2]. В интервале релаксации длительностью до нескольких дней эти фракции обладают характерными свойствами [3, 4]. После катодной обработки водный раствор приобретает щелочную реакцию, а его окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) может снизиться до отрицательных значений, в нем уменьшается содержание растворенного кислорода, но возрастает уровень молекулярного водорода. Наоборот, в результате анодной обработки возрастает до аномально высокого значения ОВП раствора, увеличивается его кис-

Сокращения: ЭХАР — электрохимически активированный водный раствор, ОВП — окислительно-восстановительный потенциал, ToF-SIMS — масс-спектрометрия вторичных ионов.

лотность, а также содержание растворенного кислорода.

Фракции ЭХАР показали себя в качестве перспективных экстрагирующих и гидролизующих агентов. Например, в области переработки растительного сырья разработан метод экстрактивного получения красителя из кожуры лука в среде католита [5]. Извлечение виннокислых соединений из виноградной выжимки в непрерывном потоке анолита повышает выход виннокислых соединений, сокращает длительность процесса и снижает потребление энергии [6]. Похожий метод использован для обработки бурых водорослей, что делает более эффективным производство альгиновой кислоты и альгината натрия, улучшает санитарно-гигиенические условия и экологическую безопасность, а также упрощает технологические процессы [7]. Сравнительные исследования показали, что эффективность экстракции белка из абрикоса или муки рапса у электролизной воды выше, по сравнению с обычной водой [8, 9].

Схожие процессы описаны для такой сложной физико-химической системы, как тесто. Показано, что использование католита ускоряет набухание крахмальных зерен, способствуя формированию однородной структуры конечного продукта, увеличению выхода клейковины и количества адсорбированной влаги [10]. В цитируемой работе установлено влияние католита на удельный объем и пространственную структуру готового продукта. Описанные закономерности наблюдали и в других исследованиях, где для опытных образцов отмечали изменение цвета, удельного объема, текстуры, степени желатинизации и твердости [11–13]. Показано, что применение ЭХАР способствует интенсификации получения суслу за счет более глубокого гидролиза полисахаридов [14, 15]. При этом обработка сырья анолитом увеличивает амилолитический эффект за счет активизации фермента амилазы [14, 16].

Таким образом, в области пищевых производств накоплен значительный эмпирический опыт использования ЭХАР притом, что механизмы действия фракций электрохимически активированного водного раствора на растительные полисахариды остаются мало изученными. Поэтому целью данной работы было сравнительное исследование *in vitro* взаимодействия католита и анолита с крахмалом или агаром, которые представляют важный класс макронутриентов. Модифицируя методику подготовки препарата, в эксперименте применили ряд аналитических методов спектromетрии и сканирующую электронную микроскопию.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Подготовка образцов. Для экспериментов брали артезианскую воду (рН 7.2, ОВП +360 мВ) из городского водопровода (г. Пушкино Московской области). На установке «Стел» («Делфин Аква», Россия), рекомендованной для бытового использования, получали фракции ЭХАР: католит (рН 8.2, ОВП –800 мВ) или анолит (рН 2.2, ОВП +800 мВ). Исследование проводили на трех образцах полисахаридов растительного происхождения: растворимый в воде модифицированный крахмал или агар марки Gelagar (B&V S.R.L., Италия), а также нерастворимый в воде пищевой крахмал. Из растворимых препаратов готовили маточный водный раствор, который в пропорции 1 : 4 разводили водой или одной из фракций ЭХАР. Для агара, учитывая его низкую растворимость, в маточном растворе весовая концентрация составляла 0.3%, для модифицированного крахмала – 2.5%. Полученные растворы изучали посредством UV-спектromетрии и молекулярной масс-спектromетрии вторичных ионов (ToF-SIMS).

Для пищевого крахмала, нерастворимого в воде, препараты готовили следующим образом. Одинаковые объемы (27 мл) воды (контроль) или фракций ЭХАР (католит, анолит) добавляли к навеске крахмала (3 г). Полученную взвесь выдерживали в течение суток при горизонтальном встряхивании при комнатной температуре. Затем частицы крахмала осаждали 15 мин в центрифуге при 600 g. Жидкость, полученную над осадком, анализировали с помощью UV-vis-спектromетрии и молекулярной масс-спектromетрии. Поверхность частиц крахмала, содержащихся в осадке, исследовали методом сканирующей электронной микроскопии.

UV-Vis спектromетрия. Наличие эффекта действия ЭХАР оценивали посредством спектromетрии водных растворов полисахаридов (агар, крахмал). Для этого регистрировали оптическую плотность в спектре поглощения образца на длине волны 225 нм на спектрофотометре UV-2401PC (Shimadzu, Япония). Растворы крахмала дополнительно окрашивали иодитным методом, что позволило получить в видимой области специфичные спектры поглощения олигосахаров. Данную реакцию проводили в среде с избытком йода, чему соответствует наличие характерного пика на длине волны 355 нм в спектре поглощения анализируемого раствора.

Времяпролетная масс-спектromетрия вторичных ионов. Образцы для масс-спектromетрии получали следующим образом. Капли препарата объемом 2 мкл наносили на чистую стеклянную подложку, поверхность которой покрыта токопроводящей пленкой. После высушивания в струе инертного газа образец переносили в каме-

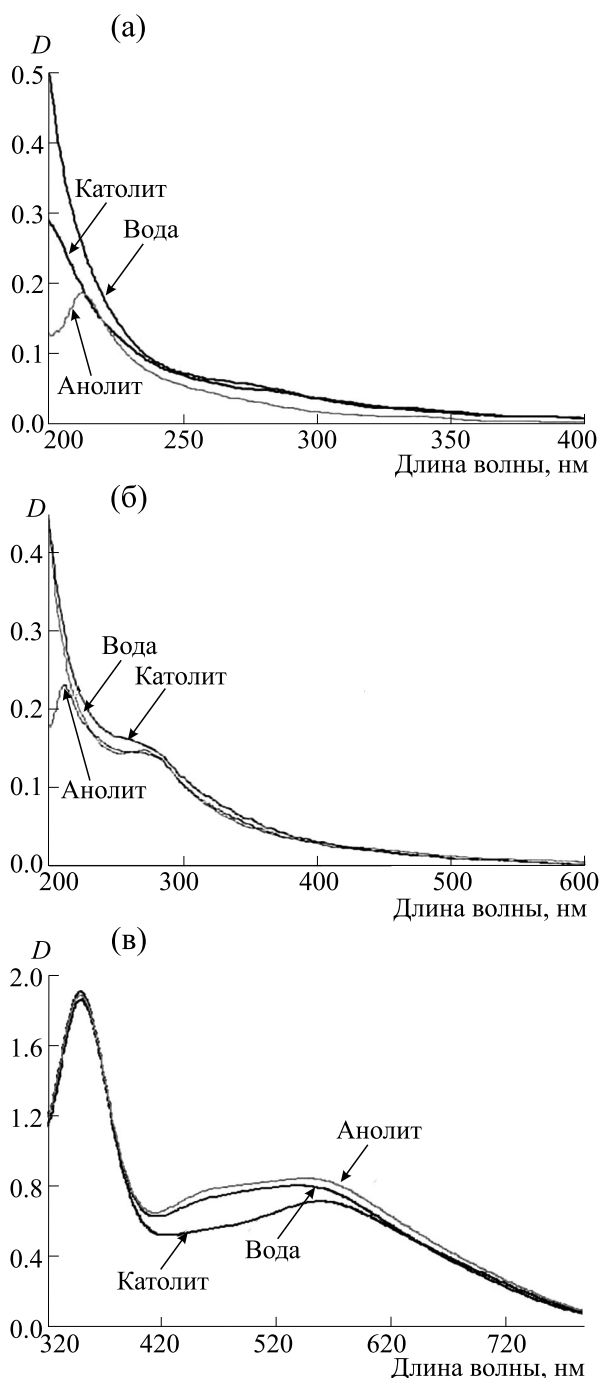


Рис. 1. Спектры поглощения растворов полисахарида растительного происхождения в воде (контроль) или фракциях ЭХАР (анолит, католит): (а) — неспецифические UV-спектры агар, (б) — неспецифические UV-спектры модифицированного крахмала, (в) — характерные спектры раствора модифицированного крахмала после окраски олигосахаров посредством иодитной реакции.

ру масс-спектрометра вторичных ионов TOF-SIMS 5 (ION-TOF GmbH, Германия). Препарат ионизировали пучком первичных ионов Bi_3^+ с энергией 30 кэВ, диаметром 200 нм. После воз-

действия длительностью 70 нс и последующей регистрации вторичных ионов (~ 80 мкс) пучок перемещался в следующую точку поверхности. Плотность дозы облучения первичными ионами не превышала $5 \cdot 10^{12}$ ионов/ см^2 . Для оценки различий между полученными масс-спектрами применили метод главных компонент (PCA — principal component analysis) [17–19].

Сканирующая электронная микроскопия. Данный метод применили для визуализации поверхности зерен пищевого крахмала. Образец нерастворимого в воде полисахарида, обработанного водой или фракциями ЭХАР, отмывали дистиллированной водой. Каплю (~ 2 мкл) полученной суспензии частиц крахмала наносили на поверхность держателя образцов электронного микроскопа и сушили в потоке чистого инертного газа (N_2) при комнатной температуре. Затем в среде аргоновой плазмы на поверхность напыляли слой платины, используя установку JFC-1600 (JEOL, Япония). Тонкую структуру рельефа изучали в сканирующем электронном микроскопе JSM-6390A (JEOL, Япония) при ускоряющем напряжении 20 кВ в режиме вторичных электронов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Спектрометрия водных растворов агара и модифицированного крахмала. Изучали полисахариды растительного происхождения со свойствами гидроколлоидов, которые в воде образуют вязкие растворы. Гидроколлоиды применяют в пищевых технологиях в качестве добавок с функциями загустителей, стабилизаторов и гелеобразователей. Спектры поглощения водных растворов полисахарида (агар, модифицированный крахмал) показаны на рис. 1.

По сравнению с раствором в воде, качественное изменение спектра поглощения обоих полисахаридов наблюдается только в среде анолита (рис. 1а,б), что характеризует пик в области 225 нм. Отметим, что для агара в растворе католита также наблюдается тенденция к трансформации спектра (рис. 1а), который соответствует промежуточному состоянию между контролем и раствором в анолите. Возможно, завершение перехода требует более длительного воздействия восстановленной фракцией ЭХАР.

Растворы модифицированного крахмала дополнительно окрашивали иодитным методом, что позволило получить специфические спектры поглощения в видимой области (рис. 1в). Данную цветную реакцию проводят на олигосахарах с пиком в характерной области 520 нм при условии насыщения раствора йодом (пик 355 нм). Значимое снижение интенсивности характерного спектра наблюдается только для раствора крахмала в католите (рис. 1в). Учитывая то, что во всех вари-

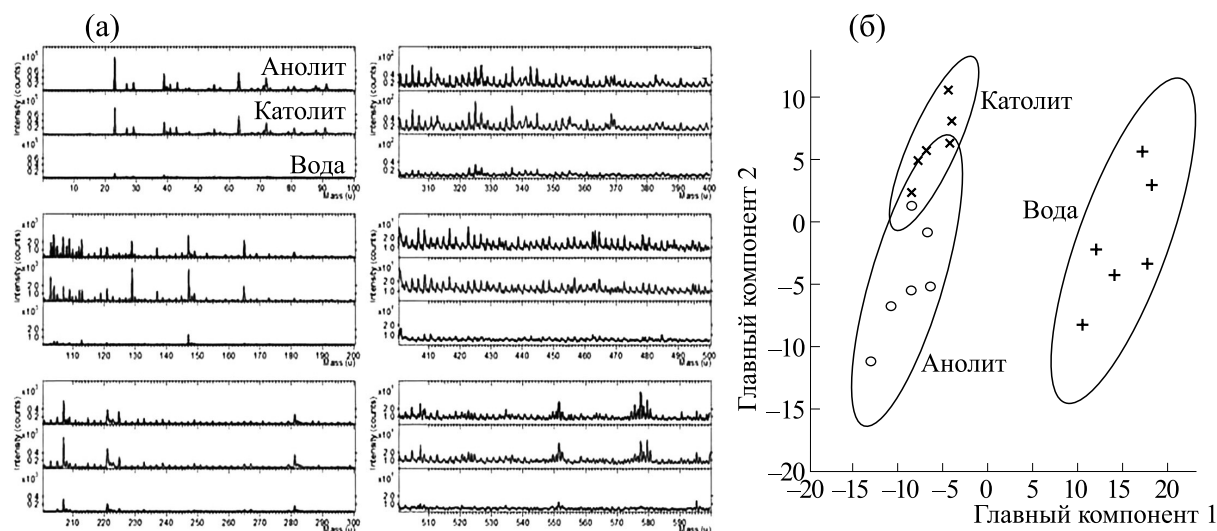


Рис. 2. Результаты ToF-SIMS-анализа образцов агара, приготовленных из раствора полисахарида в воде (контроль) или фракциях ЭХАР (анолит, католит): (а) — диапазоны молекулярных масс, где везде нижний масс-спектр соответствует контролю (вода), средний масс-спектр — после обработки католитом, верхний масс-спектр — после обработки анолитом; (б) — график счетов в координатах первых двух главных компонент, эллипсами обозначены 95%-е доверительные интервалы для групп из шести измерений в каждой.

антах исходный маточный раствор модифицированного крахмала разбавляли одинаковым способом, уменьшение содержания олигосахаров можно объяснить наличием амилазной активности у католита. Дело в том, что модифицированный крахмал представляет собой смесь олигосахаров, фрагментация которых α -амилазой или, например, католитом приводит к образованию моносахаров и, следовательно, к уменьшению интенсивности цветной окраски.

Характерные масс-спектры молекулярного состава раствора агара в воде, анолите и католите приведены на рис. 2а. Для выявления отличий между образцами проводили анализ методом главных компонент. Суть анализа заключается в уменьшении размерности матрицы больших данных, т. е. n выборок с m массовыми пиками до комбинации нескольких ключевых переменных, описывающих основные различия (вариацию) в результатах. Уменьшение размерности достигается путем линейного преобразования данных в новую систему координат, в которой большую часть вариации можно описать меньшим количеством параметров. Таким образом, формируются оси главных компонент PC1, PC2 и т.д. В большинстве случаев используются первые две главные компоненты, чтобы отображать данные в двух измерениях (плоскостях) и визуально идентифицировать кластеры связанных экспериментальных измерений. Такой способ отображения данных называется графиком счетов и он показывает, отличаются ли образцы или группа образцов в координатах PC1–PC2. Соответствующий график показывает различие в масс-спектрах и позволяет

выявить пики, вносящие наибольший вклад в это различие. Анализ проводили по наиболее интенсивным пикам. Эллипсы, ограничивающие на графике область результатов, при условии, что они не пересекаются, отражают достоверность различий в составе сравниваемых образцов с 95%-м доверительным интервалом (рис. 2б).

Полученные данные (рис. 2б) свидетельствуют о значимом отличии масс-спектра агара в водном растворе (контроль) от масс-спектров полисахарида, обработанного фракциями ЭХАР. Масс-спектры агара в анолите и католите между собой достоверно не различаются, что соответствует тенденции на сближение, отмеченной для UV-спектров (рис. 1а). Характерные масс-спектры молекулярного состава раствора модифицированного крахмала в воде, анолите и католите приведены на рис. 3а. Для указанных вариантов с помощью метода главных компонент проведен сравнительный анализ данных молекулярного анализа (рис. 3б).

Ситуация для образцов модифицированного крахмала (рис. 3) отличается от той, что наблюдается для агара (рис. 2). Отметим значимое различие в молекулярном составе между фракциями ЭХАР (рис. 3б), что соответствует данным UV-vis-спектроскопии (рис. 1б). Однако различие между масс-спектрами для образца крахмала в воде и католите более выражено, по сравнению с тем, что регистрируется на UV-спектрах. Возможно, в указанном диапазоне изменение в молекулярном составе, обусловленное обработкой католитом, существенно не повлияло на спектральные ха-

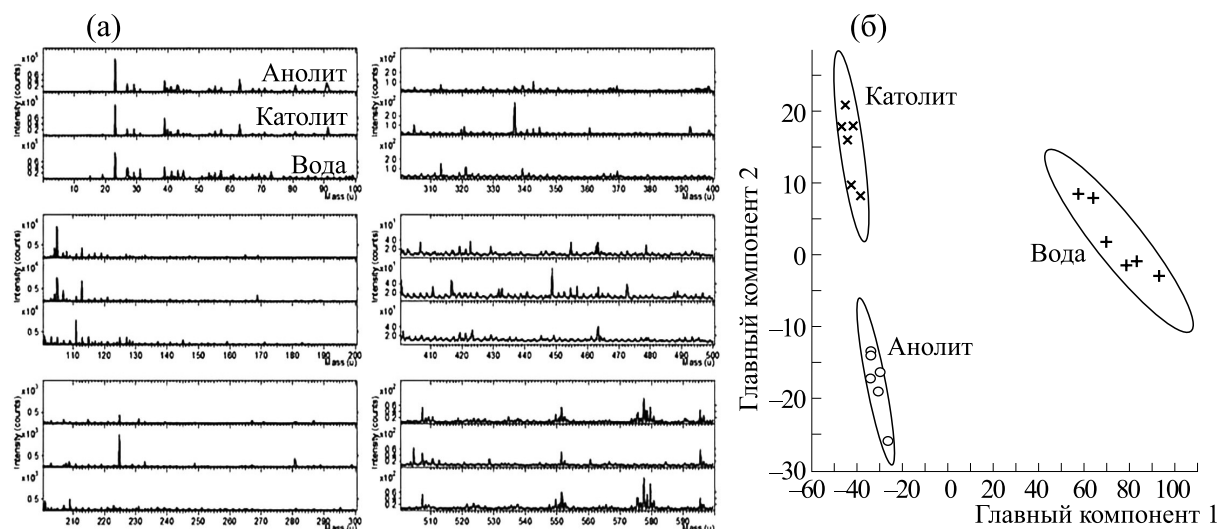


Рис. 3. Результаты ToF-SIMS-анализа образцов модифицированного крахмала, приготовленных из раствора полисахарида в воде (контроль) или фракциях ЭХАР (анолит, католит): (а) — диапазоны молекулярных масс, где везде нижний масс-спектр соответствует контролю, средний масс-спектр — после обработки католитом, верхний масс-спектр — после обработки анолитом; (б) — график счетов в координатах первых двух главных компонент, эллипсами обозначены 95%-е доверительные интервалы для групп из шести измерений в каждой.

рактеристики раствора модифицированного крахмала.

Спектрометрия нерастворимого в воде пищевого крахмала. Многие виды сырья для пищевой промышленности содержат макронутриенты в нерастворимой форме. В их ряду наиболее представлены крахмалосодержащие материалы, технология подготовки которых предполагает обработку водой. В результате чего получают водную суспензию крахмала, которая является объектом исследования данного раздела. На рис. 4 показаны спектры поглощения супернатанта, полученного в результате осаждения частиц пищевого крахмала, обработанных предварительно водой, анолитом или католитом.

Анализ UV-спектров (рис. 4а) супернатанта суспензии частиц пищевого крахмала показывает, что обе фракции ЭХАР одинаковым образом влияют на образец с появлением пиков в областях 230 и 275 нм. Специфичные спектры поглощения (рис. 4б), полученные после иодитной окраски, соответствуют таким же спектрам для модифицированного крахмала (рис. 1в). Отметим, что в отличие от данных UV-спектрометрии цветная реакция на олигосахара не показывает различия между образцами, обработанными водой или анолитом (рис. 4б). Этот факт свидетельствует о том, что обработка анолитом пищевого крахмала не вызывает изменение содержания олигосахаров в супернатанте, но влияет на вид спектра в UV области (рис. 4а). После обработки крахмала католитом уровень олигосахаров в растворе значительно ниже, чем в воде или анолите (рис. 4б). Такой результат может означать наличие у католита

псевдоферментативной активности и/или ослабление экстракции материала из зерен крахмала. Микровзвешивание с помощью кварцевого измерителя сухого остатка в капле (2 мкл) супернатанта позволило установить, что относительное уменьшение уровня олигосахаров, растворенных в католите, не обусловлено снижением количества экстрагированного вещества (рис. 4в). Наоборот, в этом случае содержание материала в растворе возросло, имитируя сочетанную активность α - и β -амилазы.

Результаты ToF-SIMS-анализа супернатанта, полученного после центрифугирования суспензии зерен крахмала, которые обрабатывали водой или фракциями ЭХАР, приведены на рис. 5.

Для масс-спектров экстрактов пищевого крахмала (рис. 5а) посредством метода главных компонент проведен статистический анализ (рис. 5б). Сравнение данных молекулярного анализа показывает значимое отличие между контрольным образцом (вода) и парой экспериментальных групп, а также наличие различия между фракциями ЭХАР, что согласуется с данными UV-спектрометрии (рис. 4а). Учитывая выраженный амилолитический эффект католита, можно ожидать изменение рельефа поверхности зерен крахмала. Данное предположение исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии (рис. 6).

Сравнение изображений, полученных при высоком увеличении, позволяет установить связь качества поверхности зерен пищевого крахмала со способом обработки. Видно, что для образца после воздействия водой (рис. 6а3) характерен

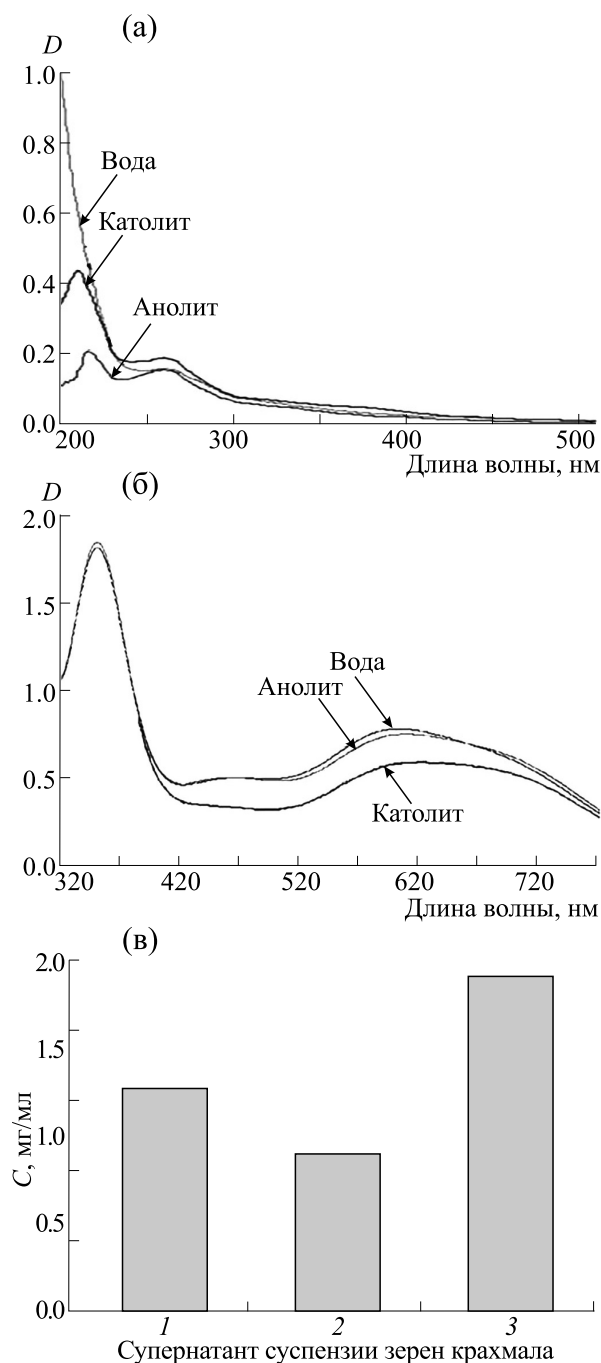


Рис. 4. Параметры образцов супернатанта, полученного после центрифугирования суспензии зерен пищевого крахмала, обработанных предварительно водой или фракциями ЭХАР (анолит, католит): (а) — неспецифические UV спектры супернатанта; (б) — характерные спектры супернатанта после окраски олигосахаров посредством иодитной реакции; (в) — содержание вещества, экстрагированного из зерен крахмала (1) водой, (2) анолитом или (3) католитом.

более грубый рельеф, чем после фракций ЭХАР (рис. 6б3, в3). Таким образом, результаты ультраструктурного анализа визуально демонстрируют эффект травления фракциями ЭХАР рельефа

поверхности зерен крахмала. Такой результат согласуется с данными спектрометрии, которые показывают действие о ЭХАР на пищевой крахмал. Отметим, что после обработки католитом в растворе уменьшается концентрация олигосахаров, но при этом увеличивается масса экстрагируемого вещества, что показано микро взвешиванием сухого остатка. Другими словами, католит демонстрирует псевдоферментативную активность, свойственную одновременно α - и β -амилазе.

Завершая обсуждение результатов, можно прийти к следующему заключению. Полисахариды растительного происхождения (агар, крахмал) подвержены действию фракций ЭХАР. Анализ проб агара показывает идентичность эффекта обработки полисахарида обеими фракциями ЭХАР. Для модифицированного крахмала методом ToF-SIMS показано статистически значимое различие молекулярного состава олигосахаров в зависимости от фракции ЭХАР. При использовании специфической цветной реакции с йодом было показано амилалитическое действие католита на раствор модифицированного крахмала, что обусловлено снижением содержания олигосахаров. Под действием католита также уменьшается концентрация олигосахаров в супернатанте суспензии зерен пищевого крахмала, что может быть следствием снижения экстрагирующей способности данной фракции ЭХАР. Однако методом микровзвешивания сухого остатка показано наоборот увеличение массы растворенного вещества. Этот результат согласуется с ультраструктурным анализом, который визуально демонстрирует травление католитом поверхности зерен крахмала. Другими словами, подтверждено наличие у католита псевдо ферментативной активности по типу одновременно α - и β -амилазы. Учитывая широкое применение гидроколлоидов полисахаридной природы в качестве загустителей и гелеобразователей, использование ЭХАР можно рассматривать как перспективное технологическое решение для производства пищевых продуктов.

БЛАГОДАРНОСТИ

ToF-SIMS-анализ проведен на оборудовании ЦКП АХБС ФИЦ ХФ РАН (№ 506694).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-16-00019-П, <https://rscf.ru/project/20-16-00019>).

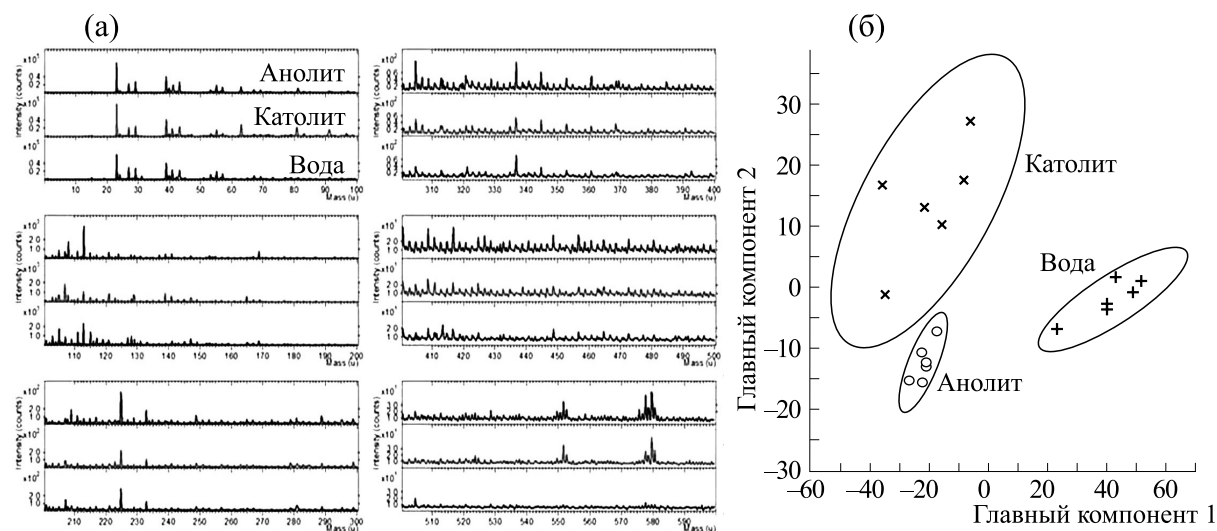


Рис. 5. Результаты ToF-SIMS-анализа образцов пищевого крахмала, приготовленных из супернатанта суспензии зерен полисахарида в воде (контроль) или фракциях ЭХАР (анолит, католит): (а) — диапазоны молекулярных масс, где везде нижний масс-спектр соответствует контролю, средний масс-спектр — после обработки католитом, верхний масс-спектр — после обработки анолитом; (б) — график счетов в координатах первых двух главных компонент, эллипсами обозначены 95%-е доверительные интервалы для групп из шести измерений в каждой.

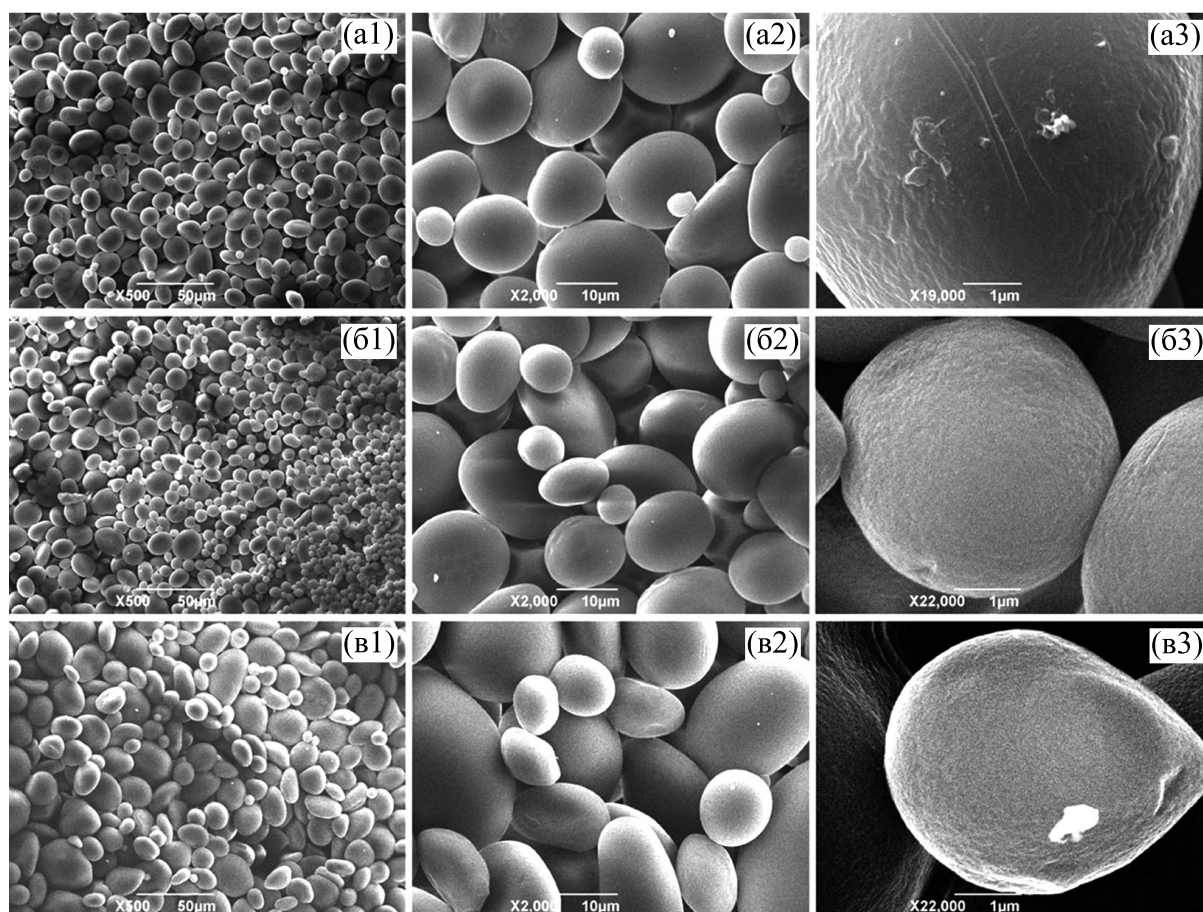


Рис. 6. Микрофотографии рельефа поверхности зерен пищевого крахмала, полученные методом сканирующей электронной микроскопии, режим вторичных электронов: (серия а1–а3) — зерна крахмала после обработки водой, (серия б1–б3) — зерна крахмала после обработки католитом, (серия в1–в3) — зерна крахмала после обработки анолитом.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая работа не содержит описания каких-либо исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. М. Бахир, *Электрохимическая активация: избрания, техника, технологии* (Вива-Стар, М., 2014).
2. V. M. Bakhir and A. G. Pogorelov, *Int. J. Pharm. Res. Allied Sci.*, **7**, 41 (2018).
3. K. Chyer, H. Yen-Con, and R. E. Brackett, *J. Food Protection*, **63**, 19 (2000).
4. T. Takenouchi and S. Wakabayashi, *J. Appl. Electrochem.*, **36**, 1127 (2006).
5. Патент RU 2130472, *Способ производства красителя из шелухи лука* (1999).
6. Патент RU 2372399, *Способ извлечения виннокишлых соединений из виноградных выжимок* (2009).
7. Патент RU 2197840, *Способ получения альгиновой кислоты и альгината натрия из бурых водорослей* (2003).
8. A. Gerzhova, M. Benali, M. Mondor, and M. Aider, *Food Biosci.*, **11**, 56 (2015).
9. Z. H. Li, B. Zhou, X. T. Li, and S. G. Li, *Food Sci. Biotechnol.*, **28**, 15 (2018).
10. Н. В. Науменко, Дис. ... канд. техн. наук (М., 2007).
11. K. Kobayashi, N. Tosa, Y. Hara, and S. Horie, *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaisha*, **43**, 930 (1996).
12. R. Onishi, Y. Hara, and E. Arai, *Food Sci. Technol. Res.*, **5**, 388 (1999).
13. Патент US 6326048, *Preparation method of dough for flour foods* (2001).
14. С. Н. Храпенков, М. В. Гернет, Д. А. Свиридов и др., *Пиво и напитки*, **4**, 18 (2003).
15. Б. В. Кругликов, М. В. Гернет и И. В. Козлов, *Пиво и напитки*, **5**, 36 (2008).
16. С. Н. Храпенков, М. В. Гернет и В. М. Бахир, *Пиво и напитки*, **5**, 20 (2002).
17. M. S. Wagner and D. G. Castner, *Langmuir*, **17**, 4649 (2001).
18. D. J. Graham, M. S. Wagner, and D. G. Castner, *Appl. Surf. Sci.*, **252**, 6860 (2006).
19. D. J. Graham and D. G. Castner, *Biointerphases*, **7**, 49 (2012).

Impact of Electrochemically Activated Water Solution on Plant Polysaccharides: Phenomenology and Spectrophotometry

A.G. Pogorelov*, L.G. Ipatova*, A.I. Panait*, M.A. Pogorelova*, A.A. Gulin**, and V.N. Pogorelova*

*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences, Institutskaya ul. 3, Pushchino, Moscow Region, 142290 Russia

**Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, ul. Kosygina 4, Moscow, 119991 Russia

The determination of changes in the properties of polysaccharides in electrochemically activated water solution were carried out by means of UV-Vis spectrophotometry, time-of-flight secondary ion mass spectrometry and scanning electron microscopy. It was shown how the properties of samples analyzed (agar, modified starch, edible starch) changed depending on a fraction of electrochemically activated water solution (catholyte/anolyte). Our findings demonstrate that the determined changes can be valuable information in designing novel approaches to managing the properties of biological raw material used for food manufacturing process. Furthermore, the technology of electrochemically activated water solutions is a suitable green chemical process that can be translated to industrial level.

Keywords: electrochemically activated water solution, agar, starch, polysaccharide, oligosugar, UV-Vis spectrophotometry, time-of-flight secondary ion mass spectrometry, scanning electron microscopy