



УДК 620.3:615.214.24

## НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ ЭКСТРАКТ ПУСТЫРНИКА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОРОЖЕНОГО

**А.А. Кролевцев**, доктор химических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания, заведующий лабораторией «Синтез микро- и наноструктур» ЧОУ ВО Региональный открытый социальный институт, академик РАЕН;

**Н.И. Мячикова**, доцент, кандидат технических наук, заведующая кафедрой технологии продуктов питания, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»;

**С.Г. Глотова**, доцент кафедры технологии продуктов питания и товароведения ЧОУ ВО Региональный открытый социальный институт;

**К.М. Семичев**, студент кафедры технологии продуктов питания, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»;

**Е.М. Мамаева**, студент кафедры технологии продуктов питания и товароведения ЧОУ ВО Региональный открытый социальный институт

В работе приведены данные по использованию наноструктурированного экстракта пустырника при производстве мороженого, который может использоваться в качестве функционального продукта питания профилактического назначения. С помощью метода анализа траектории частиц (метод NTA) найдены размеры наноструктурированного экстракта пустырника, которые существенно зависят от природы оболочки. Так, размер нанокапсул экстракта пустырника существенно зависит от природы углеводной оболочки: 10% нанокапсул имеют размер от 63 до 88 нм, только в альгинате натрия частицы имеют меньший размер — 25 нм. При этом наименьший средний размер нанокапсул составляет 192 нм в конжаковой камеди, средний — 227,00-249,80 нм — в каррагинане и альгинате натрия, соответственно, наибольший средний размер (322 нм) — в натрий карбоксиметилцеллюлозе.

**Ключевые слова:** мороженое, наноструктурированный экстракт пустырника, метод NTA, функциональные продукты, самоорганизация, мороженое.

## NANOSTRUCTURED MOTHERWORT EXTRACT AND ITS USE IN ICE-CREAM PRODUCTION

**A.A. Krolevets**, Doctor of Chemical Sciences, Professor at the Department of Food Technology, Head of Laboratory for Synthesis of Micro- and Nanostructures, Private Educational Institution of Higher Education «Regional Open Social Institute», Academician of the Russian Academy of Natural Sciences;

**N.I. Myachikova**, Docent, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Food Technology, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod State National Research University»;

**S.G. Glotova**, Associate Professor at the Department of Food Technology and Commodity Science, Private Educational Institution of Higher Education «Regional Open Social Institute», Academician of the Russian Academy of Natural Sciences;

**K.M. Semichev**, student at the Department of Food Technology, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod State National Research University»;

**Ye.M. Mamaeva**, student at the Department of Food Technology and Commodity Science, Private Educational Institution of Higher Education «Regional Open Social Institute»

The paper presents data on the use of nanostructured motherwort extract in ice-cream production to be used as a functional food product for preventive purposes. Using the Nanoparticle Tracking Analysis method (NTA method), we determined nanostructured motherwort extract sizes, depending, to a large extent, on the membrane. Thus, the size of motherwort extract nanocapsules greatly depends on the carbohydrate membrane nature: 10% of nanocapsules are from 63 to 88 nm, only in sodium alginate particles are smaller 3 25 nm. The smallest average nanocapsule size is 192 nm in konjac gum, the average 227.00-249.80 nm in carrageenan and sodium alginate, respectively, the highest average size (322 nm) is in sodium carboxymethyl cellulose.

**Keywords:** ice-cream, nanostructured motherwort extract, NTA method, functional products, self-organisation, ice-cream.

**П**устырник произрастает по пустырям, вдоль дорог, в садах, на выгонах и пастбищах. Он представляет собой многолетние травы, достигающими 1,5 м в высоту. В траве пустырника содержится флаваноидные гликозиды — рутин, квинквелозид, космосиин, кверцитрин, гиперозид, кверциметрин; дубильные вещества (до 2,5%), иридоиды (аюгол, аюгозид и галиридозид); горькие гликозиды со стероидным скелетом и азотистые основания (холин, стахидрин) [1].

Эффективное средство для лечения и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Используется пустырник также для лечения эпилепсии, базедовой болезни, тромбозов, желудочно-кишечных заболеваний. Пустырник оказывает стимулирующее действие на гладкую мускулатуру матки. Помогает при бессоннице, неврозах, истериях, повышенной тревожности, приступах страха и паники, снимает головные и невралгические боли. По воздействию на ЦНС не уступает даже валериане.

Данная работа является продолжением наших исследований по исследованию наноструктурированных биологическим активных соединений [2-11].

Известно, что нанобъекты обладают высокой биодоступностью, что используется в медицине и фармакологии.

В литературе не найдены работы по исследованию наноструктурированного экстракта пустырника.

Размер капсул, содержащих биологически активные соединения имеют существенную роль для их физиологической активности в организме [12]. На примере многих лекарственных веществ было показано, что уменьшение размеров частиц приводит к изменению биодоступности и эффективности [13].

В 1987 г. Ж. М. Лен, один из основателей супрамолекулярной химии, использовал термины «самоорганизация» и «самосборка» для описания явлений

упорядочения в системах высокомолекулярных соединений при равновесных условиях, в частности образование ДНК. Сам Лен определял супрамолекулярную химию как химию молекулярных ансамблей и межмолекулярных связей, т.е. как химию за пределами молекул. Это определение образно, но не совсем точно. Образование межмолекулярных связей не может не влиять на строение молекул, входящих в ансамбль. Известны многие реакции самоорганизации и самосборки за счет различных типов взаимодействия, когда образуются большие молекулы или молекулярные ансамбли. Классическим примером может быть ДНК, а также различные комплексные соединения типа «гость-хозяин». Если процесс происходит в растворе, то это могут быть клатраты или, в более общем смысле, соединения включения. Они могут существовать и в более твердом состоянии, например газовые гидраты. В качестве компонентов могут выступать краун-эфиры, криптоиды, иодатиды, сферолиты, циклодекстрины и т. д. [14]

Следует особенно подчеркнуть, что процессы в супрамолекулярной химии протекают на наноуровне и супрамолекулы имеют наноразмерный масштаб.

Для образования супрамолекулы ее компоненты должны иметь центры связывания с подходящими электрическими характеристиками (например, наличие донора или акцептора, полярность, возможность образования водородной связи, жесткость или мягкость структуры и т. п.). Кроме того, должны отсутствовать стерические препятствия для процессов самосборки супрамолекулы.

В супрамолекулярных структурах важную роль играют водородные связи. Одним из интересных классов супрамолекулярных структур являются дендримеры (каскадные молекулы) — монодисперсные макромолекулы с высоковетвленной трехмерной структурой. Дендример можно рассматривать

как многокомпонентное соединение, вырастающее из центрального ядра подобно дереву. Возможности самосборки супрамолекул практически неисчерпаемы, как неисчерпаемы структуры самообразующихся молекул: капсулы, спирали, супрамолекулярные квадраты, кубы, коробки, дендримерные структуры, координационные наномерные структуры, розеточные структуры и др. На основе различных супрамолекулярных структур конструируют разнообразные электронные устройства: переключатели, провода, выпрямители, а также различные молекулярные машины, материалы для нелинейной оптики и т.п.

Важную роль в развитии супрамолекулярной химии сыграли биологические системы. Многие синтетические супрамолекулярные системы были получены в рамках биомиметического подхода, т.е. путем подражания структуре или функции более сложных биологических объектов. Началом супрамолекулярной химии можно считать модель Фишера «ключ в замке», используемую в ферментативном катализе, которая была известна задолго до появления сложных систем типа криптоидов и самособирающихся устройств и систем. Это модель соответствия между формой субстрата (гость) и рецептором (хозяином). Связывание «субстрат–рецептор», часто чрезвычайно селективное, играет в биохимии очень важную роль. Оно обратимо. В значительной степени связывание субстрата часто нужно для индуцирования конформационного изменения рецептора, которое включает биохимический процесс. Это особенно важно для создания модельных систем ферментов, катализаторов различных биохимических процессов.

Изучение образования сложной наноструктуры и ее эволюции в ходе процессов кристаллизации без внешнего воздействия также потребовало описания этих явлений как самоорганизации.

Однако в отличие от синергетического подхода эти явления происходят в условиях, близких к термодинамическому равновесию. [15,16]

Несмотря на значительное число публикаций по супрамолекулярной химии, природа самоорганизации в супермолекулах и супрамолекулярных кристаллах остается практически неизученной. Эта неопределенность относится даже к терминологии, используемой в супрамолекулярной химии. В первую очередь речь идет о так называемых процессах самосборки и самоорганизации, которые иногда (но далеко не всегда) различают. Термин «самосборка» имеет более широкое содержание. Он включает любые виды спонтанного связывания компонентов с использованием как ковалентного, так и нековалентного взаимодействий. Самоорганизация включает взаимодействие систем, способных к спонтанному возникновению порядка в пространстве и/или во времени, пространственный (структурный) и временной (динамический) порядок как в равновесных, так и в неравновесных диссипативных структурах, затрагивает только нековалентный, супрамолекулярный уровень, приводит к образованию полимолекулярных ансамблей за счет специфически взаимодействующих актов распознавания молекулярными компонентами друг друга.

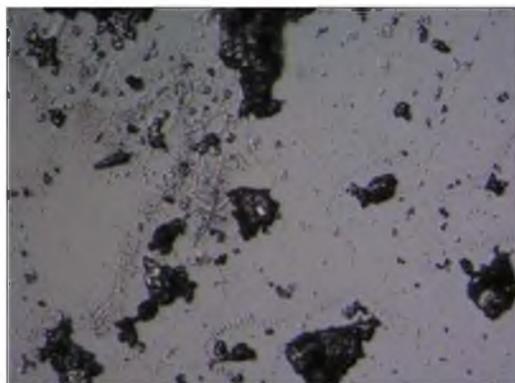
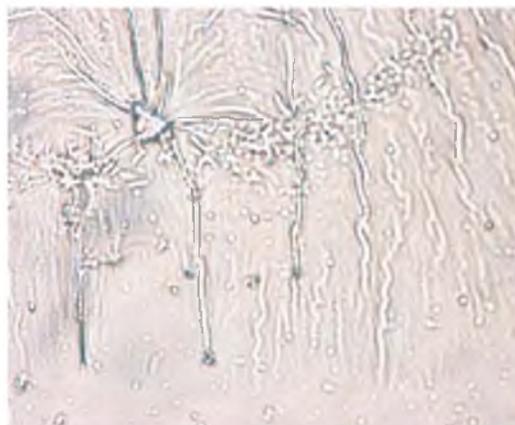
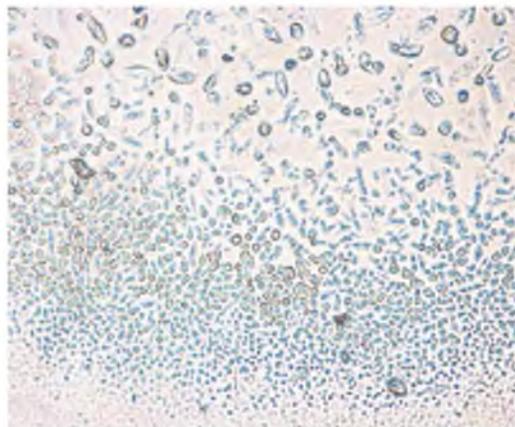
Чем выше степень и размерность пространственной организации фрагментов, тем с большим основанием их можно рассматривать как организованные (молекулярные слои, мембраны, мицеллы, коллоиды, жидкие кристаллы, молекулярные кристаллы). Таким образом, самоорганизация включает согласованное взаимодействие между частями и интеграцию этих взаимодействий, обуславливающие коллективное поведение системы (наблюдаемое, например, при фазовых переходах или при возникновении пространственных и временных волн).

Нами впервые проведено исчерпывающее исследование по влиянию природы оболочки на размер нанокapsул на примере экстракта пустырника. В качестве оболочек использовались альгинат натрия, натрий кабоксиметилцеллюлоза, конжаковая камедь, каррагинан.

Материалы и методы исследования. Размеры полученных нанокapsул определяли методом NTA, а также проводились исследования супрамолекулярных свойств капсул с помощью самоорганизации. Супрамолекулярная химия использует законы органической синтетической химии для получения супрамолекулярных ансамблей, координационной химии комплексов и физической химии для изучения взаимодействий компонентов, биохимии — рассмотрения функционирования супрамолекулярных ансамблей. К супрамолекулярным свойствам относятся самосборка и самоорганизация [14,15]. В супрамолекулярной химии для достижения контролируемой сборки молекулярных сегментов и спонтанной организации молекул в стабильной структуре используют нековалентные взаимодействия [16,17]. Самоорганизующиеся структуры можно имитировать как аспекты биологических систем: искусственные клетки мембран, ферментов, или каналы [18].

Исследование самоорганизации микрокапсул проводили следующим образом. Порошок инкапсулированного экстракта мяты растворяли в воде, каплю наносили на покровное стекло и выпаривали. Высушенная поверхность сканировали методом конфокальной микроскопии на микроспектрометре OmegaScore, производства AIST-NT (г. Зеленоград), совмещенном с конфокальным микроскопом. Результаты приведены на рис. 1.

Поскольку в водном растворе микрокапсул при их достаточно низкой концентрации обнаружены фрактальные



*Рис. 1. Конфокальное изображение наноструктурированного экстракта мяты: а) в альгинате натрия, увеличение в 920 раз, концентрация 0,125%, соотношение ядро:оболочка 1:3; б) в конжаковой камеди, увеличение в 920 раз, концентрация 0,125%, соотношение ядро:оболочка 1:3; в) в каррагинане, увеличение в 1200 раз, концентрация 0,125%, соотношение ядро:оболочка 1:3.*

композиции, они обладают самоорганизацией. Образование микрокапсул происходит спонтанно за счет нековалентных взаимодействий и это говорит о том, что для них характерна самосборка. Сле-

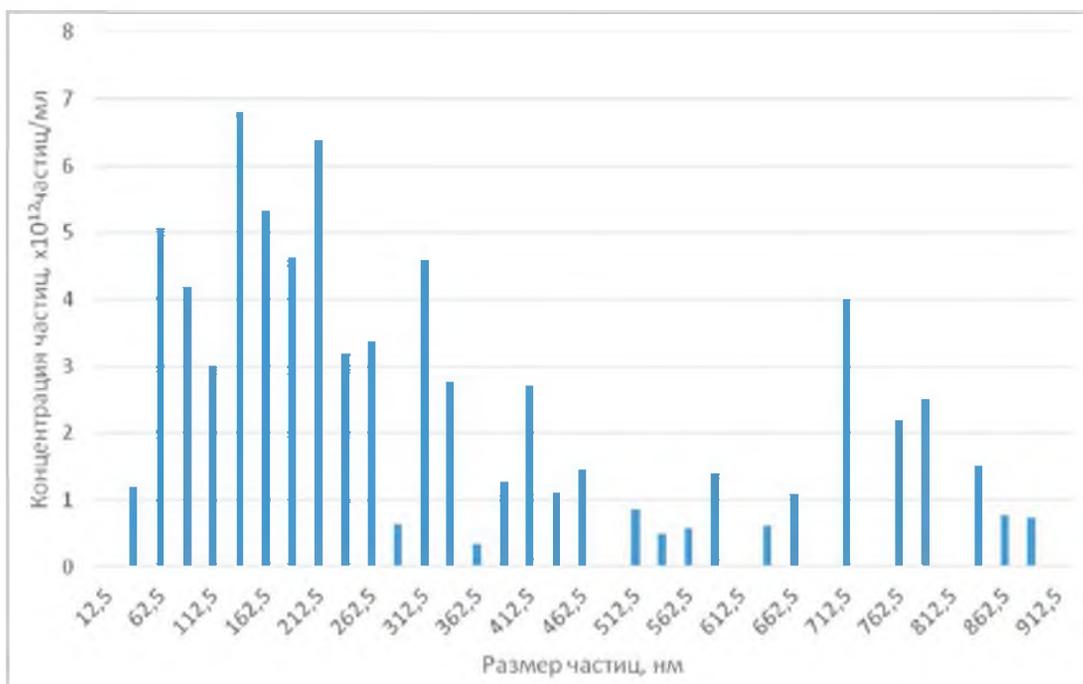


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул экстракта пустырника в натрий карбоксиметилцеллюлозе (соотношение ядро:оболочка 1:3)

Таблица 1.

#### Статистические характеристики распределений

Параметр	Значение
Средний размер, нм	322
D10, нм	81
D50, нм	228
D90, нм	741
Коэффициент полидисперсности, (D90-D10)/D50	2.89
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	0.75

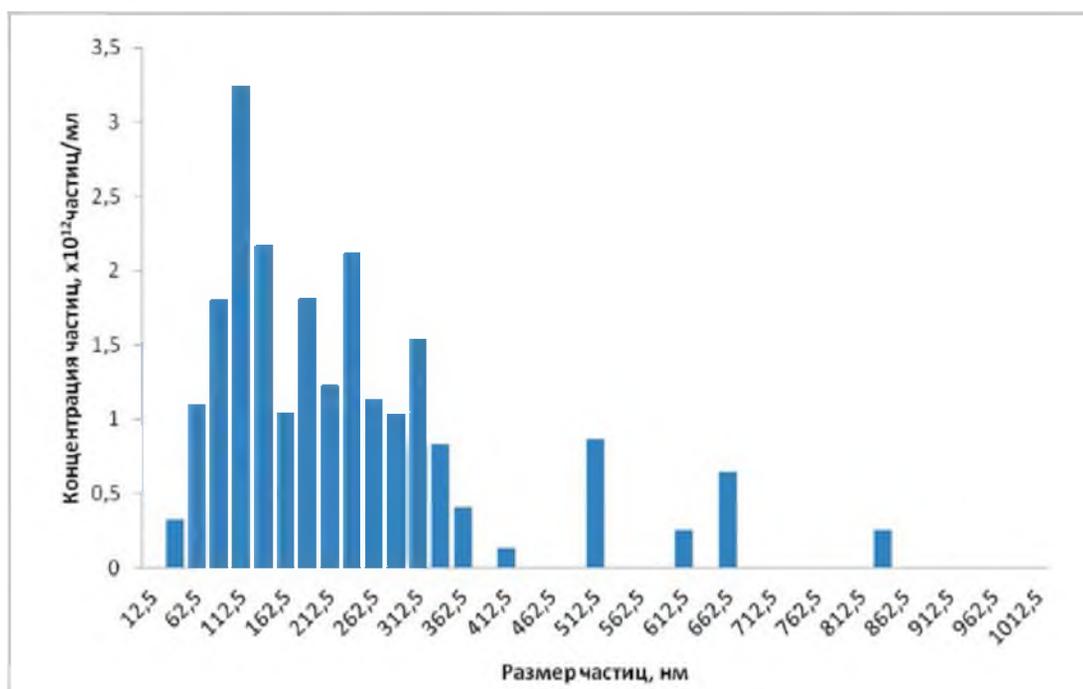


Таблица 2.

## Статистические характеристики распределений

Параметр	Значение
Средний размер, нм	227
D10, нм	88
D50, нм	190
D90, нм	381
Коэффициент полидисперсности, (D90- D10)/D50	1.54
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	0.22

довательно, наноструктурированный экстракт пустырника обладает супрамолекулярными свойствами.

Как видно из таблиц 1 и 2, коэффициент полидисперсности в каррагинане составляет 1,54, что позволяет говорить о том, что нанокапсулы экстракта пустырника в этом случае приближаются к шаровидной форме. А средний размер нанокапсул находится в пределах 227-322 нм, что позволяет использовать эти препараты для приготовления мороженого.

**Библиографический список**

1. Лекарственное сырье растительно-го и животного происхождения: Фармакогнозия под ред. Г.П. Яковлева. — СПб, СпецЛит, 2006. — 845 с.
2. Кролевец А.А., Воронцова М.Л., Тырсин Ю.А. Исследование микрокапсул экстракта зеленого чая методом рамановской спектроскопии / Тез. докладов международной конф. «Нанотехнологии в пищевой промышленности». — М., МГУПП, 2012. — С. 36-39.
3. Сеин О.Б., Кролевец А.А., Трубников Д.В., Челноков В.А. и др. Нанокапсулированные пробиотики, практические аспекты применения в животноводстве и ветеринарной медицины / Вестник КГСХА, 2013. — № 3. — С. 57-59.
4. Наумов М.М., Кролевец А.А., Ихласова З.Д., Брусенцев И.А., Богачев И.А. Исследование микрокапсул Биобага-Д физико-химическими методами / Вестник КГСХА, 2013. — № 4. — С. 66-67.
5. Кролевец А.А., Богачев И.А., Никитин К.С., Бойко Е.Е. Влияние природы оболочки на размер нанокапсул на примере жирорастворимых витаминов / IV международная научно-практическая конф. «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия», 2014. — № 3(6). — С. 108-111.
6. Кролевец А.А., Богачев И.А., Хаит Е.А., Андреенков В.С. Свойства наноструктурированного адаптогена — экстракта женьшеня / НАУ, 2015. — № 2(7). — С. 149-152.
7. Кролевец А.А., Богачев И.А., Жданова О.В., Андреенков В.С. Самоорганизация нанокапсул бетулина / НАУ, 2015. — № 2(7). — С. 152-156.
8. Кролевец А.А., Богачев И.А., Жданова О.В. Исследование нанокапсул природных биологически активных соединений. Нанокапсулы унаби. / Евразийский союз ученых, 2015. — № 1(18). — Часть 2. — С. 54-59.
9. Кролевец А.А., Богачев И.А., Хаит Е.А. Свойства наноструктурированного витамина Q10. / Educatio, 2015. — № 1(8). — Часть 2. — С. 52-55.
10. Кролевец А.А., Богачев И.А., Тырсин Ю.А., Жданова О.В., Николаева Ю.Н., Воронцова М.Л. Влияние природы оболочки на размер наноструктурированного квертицина / VII межвед. научно-практич. конф. «Инновации в товароведении, обществ. питании и длит. хранении продов. товаров». — М. МГУПП, 2015. — С. 81-84.
11. Кролевец А.А., Андреенков В.С., Воронцова М.Л. Свойства нанострукту-

рированных адаптогенов растительного происхождения/ *Educatio*, 2015. — № 7(14). — Часть 2. — С. 138-141.

**12.** Patent 20110223314 United States, International Class B05D 7/00 20060101 B05D007/00. Efficient Microencapsulation. ZHANG; Xiaoxiao; (Honolulu, HI); Garmire; David; (Honolulu, HI); Ohta; Aaron; (Honolulu, HI). Serial No.: 045244. Filed: March 10, 2011

**13.** *Vidhyalakshmi R., Bhagyaraj R., Subhasree R.S.* Encapsulation «The Future of Probiotics» — A Review // *Advances in Biological Research*. — 2009. — Vol. 3-4. — P. 96-103.

**14.** Григорьев Ф.В., Романов А.Н., Лайков Д.Н. и др. Методы молекулярного моделирования супрамолекулярных комплексов: иерархический подход / *Российские нанотехнологии*. — 2010. — №5-6. — С. 47-53.

**15.** Зоркий П.М., Лубнина И.Е. Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы/ *Вестн. Моск. ун-та*. — 1999. — №5. — С. 300-307.

**16.** *Rohit K. Rana, Vinit S. Murty, Jie Yu* Nanoparticle Self-Assembly of Hierarchically Ordered Microcapsule Structures / *Advanced Materials*. — 2005. — vol.17. — P. 1145-1150.

**17.** *Ana Carina Mendes, Erkan Türker Baran, Claudia Nunes* Palmitoylation of xanthan polysaccharide for self-assembly microcapsule formation and encapsulation of cells in physiological conditions / *Journal of The Royal Society of Chemistry*. — 2011.

**18.** *Hans-Peter Hentze, Eric W. Kaler* Polymerization of and within self-organized media / *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. — 2003. — vol.8. — P. 164-178.

## ЭТО ИНТЕРЕСНО!

### РОССИЯНЕ НАЧАЛИ ПИТЬ БОЛЬШЕ КОФЕ

По словам экспертов из Российской ассоциации производителей чая и кофе «Росчайкофе», в ближайшее время Россия вполне может потерять статус «чайной» страны, так как потребление россиянами кофе в прошлом году составило 180 000 тонн по сравнению со 140 000 тонн чая. Такое значительное превышение наблюдается впервые. Согласно статистике, за минувшее десятилетие рост потребления кофе в России составил 97%, а прирост рынка кофе за ушедший год — 12%. Если в 2018 году потребление зернового и растворимого кофе находилось примерно на одинаковом уровне, то в 2019 году потребление зернового кофе было на 10% выше.

Специалисты считают, что в 2020 году россияне будут пить кофе в том же количестве, что и в прошлом году, при этом потребление растворимого кофе может вырасти. Снижение популярности чая в России эксперты объясняют его заменой на травяные и фруктовые напитки, в том числе иван-чай.

<https://kedem.ru>

