

Министерство здравоохранения Российской Федерации  
Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»

---

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

# ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ

---

VOPROSY PITANIYA  
(PROBLEMS OF NUTRITION)

Основан в 1932 г.

ТОМ 87

№ 6, 2018

Журнал входит в Перечень российских рецензируемых научных журналов, которые рекомендованы Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации (ВАК) для публикации результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Журнал представлен в следующих информационно-справочных изданиях и библиографических базах данных: Реферативный журнал ВИНТИ, Biological, MedART, eLibrary.ru, The National Agricultural Library (NAL), Nutrition and Food Database, FSTA, EBSCOhost, Health Index, Scopus, Web of Knowledge, Social Sciences Citation Index, Russian Periodical Catalog



ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА  
«ГЭОТАР-Медиа»

**Тутельян Виктор Александрович** (г. Москва)

главный редактор, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией энзимологии питания, научный руководитель ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Никитюк Дмитрий Борисович** (г. Москва)

заместитель главного редактора, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией спортивной антропологии и нутрициологии, директор ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Вржесинская Оксана Александровна** (г. Москва)

ответственный секретарь редакции, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Пузырева Галина Анатольевна** (г. Москва)

ответственный секретарь редакции, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории спортивной антропологии и нутрициологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Арчаков Александр Иванович** (г. Москва)

академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича»

**Багиров Вугар Алиевич** (г. Москва)

член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, начальник Управления координации и обеспечения деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук ФАНО

**Батурин Александр Константинович** (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, руководитель направления «Оптимальное питание» ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Бойцов Сергей Анатольевич** (г. Москва)

член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Минздрава России

**Валента Рудольф** (Австрия)

профессор, руководитель Департамента иммунопатологии, кафедра патофизиологии и аллергии Медицинского университета г. Вены

**Голухова Елена Зеликовна** (г. Москва)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделением неинвазивной аритмологии и хирургического лечения комбинированной патологии Института кардиохирургии им. В.И. Бураковского ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России

**Григорьев Анатолий Иванович** (г. Москва)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, советник РАН

**Зайцева Нина Владимировна** (г. Пермь)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора

**Исаков Василий Андреевич** (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением гастроэнтерологии и гепатологии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Кочеткова Алла Алексеевна** (г. Москва)

доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Медведева Ирина Васильевна** (г. Тюмень)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России

**Нареш Маган** (Великобритания)

профессор факультета изучения окружающей среды и технологии Кренфильдского университета (г. Лондон)

**Онищенко Геннадий Григорьевич** (г. Москва)

академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой экологии человека и гигиены окружающей среды медико-профилактического факультета ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), первый заместитель председателя комитета Государственной Думы по образованию и науке

**Поляков Виктор Антонович** (г. Москва)

академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор ВНИИПБТ – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Попова Анна Юрьевна** (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

**Савенкова Татьяна Валентиновна** (г. Москва)

доктор технических наук, профессор, врио директора Всероссийского научно-исследовательского института кондитерской промышленности – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

**Стародубова Антонина Владимировна** (г. Москва)

доктор медицинских наук, заведующая отделением персонализированной терапии и диетологии, заместитель директора по научной и лечебной работе ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

**Суханов Борис Петрович** (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры гигиены питания и токсикологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России

**Тсатсакис Аристидис Михаил** (Крит, Греция)

академик РАН, профессор, руководитель Департамента токсикологии и судебной медицины при Университете Крита, председатель отдела морфологии Медицинской школы Университета Крита

**Хотимченко Сергей Анатольевич** (г. Москва)

доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией пищевой токсикологии и оценки безопасности нанотехнологий, первый заместитель директора ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Акимов М.Ю.** (Мичуринск, Тамбовская обл., Россия)

**Бакиров А.Б.** (Уфа, Россия)

**Бессонов В.В.** (Москва, Россия)

**Боровик Т.Э.** (Москва, Россия)

**Быков И.М.** (Краснодар, Россия)

**Камбаров А.О.** (Москва, Россия)

**Коденцова В.М.** (Москва, Россия)

**Конь И.Я.** (Москва, Россия)

**Корешков В.Н.** (Москва, Россия)

**Кузьмин С.В.** (Екатеринбург, Россия)

**Мазо В.К.** (Москва, Россия)

**Погожева А.В.** (Москва, Россия)

**Попова Т.С.** (Москва, Россия)

**Симоненко С.В.** (Москва, Россия)

**Скрябин Г.К.** (Москва, Россия)

**Сычик С.И.** (Республика Беларусь)

**Хенсел А.** (Германия)

**Шабров А.В.** (Санкт-Петербург, Россия)

**Шарафетдинов Х.Х.** (Москва, Россия)

**Шарманов Ш.** (Казахстан)

**Шевелева С.А.** (Москва, Россия)

**Шевырева М.П.** (Москва, Россия)

## Научно-практический журнал «Вопросы питания» № 6, 2018

Выходит 6 раз в год.

Основан в 1932 г.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № 77-14119 от 11.12.2002.

Все права защищены.

Никакая часть издания не может быть воспроизведена без согласия редакции.

При перепечатке публикаций с согласия редакции ссылка на журнал «Вопросы питания» обязательна.

Ответственность за содержание рекламных материалов несут рекламодатели.

### Адрес редакции

109240, г. Москва,  
Устьинский проезд, д. 2/14,  
ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»,  
редакция журнала «Вопросы питания»  
Телефон: (495) 698-53-60, 698-53-46  
Факс: (495) 698-53-79

### Научный редактор

Вржесинская Оксана Александровна:  
(495) 698-53-30, red@ion.ru

### Подписные индексы

каталог агентства «Роспечать»: **71422**  
каталог «Пресса России»: **88007**

Сайт журнала: <http://vp.geotar.ru>

### Издатель

ООО Издательская группа  
«ГЭОТАР-Медиа»  
115035, г. Москва,  
ул. Садовническая, д. 11, стр. 12  
Телефон: (495) 921-39-07  
[www.geotar.ru](http://www.geotar.ru)

Выпускающий редактор:  
Красникова Ольга, [krasnikova@geotar.ru](mailto:krasnikova@geotar.ru)

Корректор: Макеева Елена

Верстка: Килимник Арина

Тираж 3000 экземпляров.  
Формат 60x90 1/8.  
Печать офсетная. Печ. л. 18.

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография».  
Филиал «Чеховский Печатный Двор».  
142300, Московская область, г. Чехов,  
ул. Полиграфистов, д. 1.  
Заказ №

© ООО Издательская группа  
«ГЭОТАР-Медиа», 2018

**Scientific and practical journal  
«Problems of Nutrition» N 6, 2018**

6 times a year.  
Founded in 1932.

The mass media registration  
certificate PI N 77–14119  
from 11.12.2002.

All rights reserved.

No part of the publication  
can be reproduced without  
the written consent of editorial office.

Any reprint of publications with consent  
of editorial office should obligatory contain  
the reference to the “Problems of Nutrition”  
provided the work is properly cited.

The content  
of the advertisements is the  
advertiser’s responsibility.

**Address of the editorial office**  
109240, Moscow, Ust’inskiy driveway, 2/14,  
Federal Research Centre of Nutrition,  
Biotechnology and Food Safety,  
editorial office of the “Problems of Nutrition”  
Phone: (495) 698-53-60, 698-53-46  
Fax: (495) 698-53-79

**Science editor**  
Vrzhinskaya O.A.:  
(495) 698-53-30, red@ion.ru

**Subscription index**  
in catalogue of “Rospechat”: **71422**  
in catalogue of “The Press of Russia”: **88007**

**The journal’s website:** <http://vp.geotar.ru>

**Publisher**  
GEOTAR-Media Publishing Group  
Sadovnicheskaya st.,  
11/12, Moscow  
115035, Russia  
Phone: (495) 921-39-07  
[www.geotar.ru](http://www.geotar.ru)

Desk editor:  
Krasnikova Olga, [krasnikova@geotar.ru](mailto:krasnikova@geotar.ru)

Proofreader: Makeeva E.I.

Layout: Kilimnik A.I.

Circulation of 3000 copies.  
Format 60x90 1/8.  
Offset printing. 18

Chekhovian Printing Yard branch  
of JSC First.  
Model Printing House of Mon-Fri.  
142300, Moscow Region, Chekhov,  
Poligrafistov St., 1.  
Order N

© GEOTAR-Media Publishing Group,  
2018

**Viktor A. Tutelyan** (Moscow, Russia)  
Editor-in-Chief, Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific supervisor of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety  
**Dmitriy B. Nikityuk** (Moscow, Russia)  
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Sport Anthropology and Nutrition, Director of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety  
**Oksana A. Vrzhinskaya** (Moscow, Russia)  
Executive Secretary of the Editorial Office, PhD, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Vitamins and Minerals of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety  
**Galina A. Puzyreva** (Moscow, Russia)  
Executive Secretary of the Editorial Office, PhD, Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Sport Anthropology and Nutrition of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

**Aleksander I. Archakov** (Moscow, Russia)  
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific director of Institute of Biomedical Chemistry named after V.N. Orekhovich  
**Vugar A. Bagirov** (Moscow, Russia)  
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department for Coordination and Support of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of The Federal Agency for Scientific Organizations (FASO Russia)  
**Aleksander K. Baturin** (Moscow, Russia)  
Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department “Optimal Nutrition” of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety  
**Sergey A. Boytsov** (Moscow, Russia)  
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, General director of National Medical Research Center of Cardiology  
**Rudolf Valenta** (Vienna, Austria)  
Professor, Head of the Laboratory for Allergy Research of Division of Immunopathology at the Dept. of Pathophysiology and Allergy Research at the Center for Pathophysiology, Infectology and Immunology of Medical University of Vienna  
**Elena Z. Golukhova** (Moscow, Russia)  
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Non-Invasive Arrhythmology and Surgical Treatment of Combined Pathology at the V.I. Bourakovskiy Institute for Cardiac Surgery of A.N. Bakulev Scientific Center for Cardiovascular Surgery  
**Anatoliy I. Grigoriev** (Moscow, Russia)  
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, advisor of the Russian Academy of Sciences  
**Nina V. Zaytseva** (Perm', Russia)  
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies  
**Vasily A. Isakov** (Moscow, Russia)  
Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Gastroenterology and Hepatology of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety  
**Alla A. Kochetkova** (Moscow, Russia)  
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Food Biotechnology and Specialized Preventive Products of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety  
**Irina V. Medvedeva** (Tyumen, Russia)  
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Rector of Tyumen State Medical University  
**Magan Naresh** (London, United Kingdom)  
Professor of Applied Mycology Cranfield Soil and Agrifood Institute  
**Gennady G. Onishchenko** (Moscow, Russia)  
Full Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, head of the Department of Human Ecology and Environmental Hygiene of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, First Deputy Chairman of the State Duma Committee on Education and Science  
**Victor A. Polyakov** (Moscow, Russia)  
Full Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a Branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety  
**Anna Yu. Popova** (Moscow, Russia)  
Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing  
**Tatiana V. Savenkova** (Moscow, Russia)  
Doctor of Technical Sciences, Professor, a.i. Director of All-Russian Scientific Research Institute of the Confectionery Industry – a Branch of the Gorbатов Federal Scientific Center of Food Systems  
**Antonina V. Starodubova** (Moscow, Russia)  
Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Personalized Therapy and Dietetics, Deputy Director for Scientific and Medical Work of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety  
**Boris P. Sukhanov** (Moscow, Russia)  
Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Hygiene and Toxicology at the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University  
**Aristides M. Tsatsakis (Cret, Greece)**  
Full Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, the Director of the Department of Toxicology and Forensic Sciences of the Medical School at the University of Crete and the University Hospital of Heraklion, the Chairman of the Division of Morphology of the Medical School of the University of Crete in Greece  
**Sergey A. Khotimchenko** (Moscow, Russia)  
Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Food Toxicology and Safety Assessments of Nanotechnology, First Deputy Director of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

EDITORIAL COUNCIL

**Akimov M.Yu.** (Michurinsk, Tambov Region, Russia)  
**Bakirov A.B.** (Ufa, Russia)  
**Bessonov V.V.** (Moscow, Russia)  
**Borovik T.E.** (Moscow, Russia)  
**Bykov I.M.** (Krasnodar, Russia)  
**Kambarov A.O.** (Moscow, Russia)  
**Kodentsova V.M.** (Moscow, Russia)  
**Kon I.Ya.** (Moscow, Russia)  
**Koreshkov V.N.** (Moscow, Russia)  
**Kuzmin S.V.** (Ekaterinburg, Russia)  
**Mazo V.K.** (Moscow, Russia)  
**Pogozheva A.V.** (Moscow, Russia)  
**Popova T.S.** (Moscow, Russia)  
**Simonenko S.V.** (Moscow, Russia)  
**Scryabin K.G.** (Moscow, Russia)  
**Sychik S.I.** (Minsk, Belarus)  
**Hensel A.** (Germany)  
**Shabrov A.V.** (St. Petersburg, Russia)  
**Sharafetdinov Kh.Kh.** (Moscow, Russia)  
**Sharmanov T.S.** (Alma-Ata, Kazakhstan)  
**Sheveleva S.A.** (Moscow, Russia)  
**Shevyreva M.P.** (Moscow, Russia)

## ОБЗОРЫ

*Шарафетдинов Х.Х., Шехетов А.А.,  
Плотникова О.А.*

Современные подходы к диетической поддержке больных с диабетической нефропатией

## ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ПИТАНИЯ

*Никитин Н.С., Кузнецов С.Л.*

Влияние кверцетина на морфологические изменения при неалкогольной жировой болезни печени у крыс на рационе с повышенным содержанием фруктозы

## ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

*Денисова Е.Л., Королев А.А., Никитенко Е.И.,  
Кирпиченкова Е.В., Фетисов Р.Н.,  
Козлов В.В., Онищенко Г.Г.*

Гигиеническая оценка содержания индолов в рационе студентов медицинского университета

*Шарманов Т.Ш., Салханова А.Б.,  
Датхабаева Г.К.*

Сравнительная характеристика фактического питания детей в возрасте 9–10 лет

*Скребнева А.В., Попов В.И., Алексеев Н.Ю.*

Оценка риска развития недостаточности питания у лиц старшей возрастной группы Воронежской области

*Лебедева У.М., Баттахов П.П.,  
Степанов К.М., Лебедева А.М.,  
Занковский С.С., Булгакова Л.И.,  
Винокурова Д.М.*

Организация питания детей и подростков на региональном уровне

## ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ

*Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Саркисян В.А.,  
Киселева Т.Л., Кочеткова А.А.*

Перспективы использования растительных полифенолов в качестве функциональных пищевых ингредиентов

*Римарева Л.В., Фурсова Н.А., Соколова Е.Н.,  
Волкова Г.С., Борщева Ю.А., Серба Е.М.,  
Кривова А.Ю.*

Биодеструкция белков зернового сырья для получения новых хлебобулочных изделий

## ЛЕЧЕБНОЕ ПИТАНИЕ

*Кочеткова А.А., Воробьева И.С.,  
Воробьева В.М., Шарафетдинов Х.Х.,  
Плотникова О.А., Пилипенко В.В.,  
Алексеева Р.И., Сасунова А.Н.*

Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем для диетической коррекции рациона больных сахарным диабетом 2 типа

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

*Сенькевич О.А., Ковальский Ю.Г.,  
Голубкина Н.А.*

Мониторинг содержания селена в некоторых пищевых продуктах Хабаровска

*Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б.,  
Эллер К.И.*

Нутриентный профиль виноградного сока

## REVIEW

6 *Sharafetdinov Kh.Kh., Shekhetov A.A.,  
Plotnikova O.A.* 6

Modern approaches to dietary support for patients with diabetic nephropathy

## PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF NUTRITION

16 *Nikitin N.S., Kuznetsov S.L.* 16

Effect of quercetin on morphological changes in nonalcoholic fatty liver disease in high fructose-fed rats

## HYGIENE OF NUTRITION

22 *Denisova E.L., Korolev A.A., Nikitenko E.I.,  
Kirpichenkova E.V., Fetisov R.N.,  
Kozlov V.V., Onishchenko G.G.* 22

Hygienic assessment of indoles in the diet of medical students

28 *Sharmanov T.Sh., Salkhanova A.B.,  
Datkhabayeva G.K.* 28

A comparative analysis of actual nutrition of children aged 9–10 years

42 *Skrebneva A.V., Popov V.I., Alekseev N.Yu.* 42

Assessment of the risk of malnutrition in the older age group of the Voronezh Region

48 *Lebedeva U.M., Battakhov P.P.,  
Stepanov K.M., Lebedeva A.M.,  
Zankovsky S.S., Bulgakova L.I.,  
Vinokurova D.M.* 48

Organization of nutrition of children and adolescents at the regional level

## PROPHYLACTIC NUTRITION

57 *Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Sarkisyan V.A.,  
Kiseleva T.L., Kochetkova A.A.* 57

The prospective of using plant polyphenols as functional food ingredients

67 *Rimareva L.V., Fursova N.A., Sokolova E.N.,  
Volkova G.S., Borshova Yu.A., Serba E.M.,  
Krivova A.Yu.* 67

Biodegradation of proteins of grain raw materials for the production of new bakery products

## DIET TREATMENT

76 *Kochetkova A.A., Vorobyeva I.S.,  
Vorobyeva V.M., Sharafetdinov Kh.Kh.,  
Plotnikova O.A., Pilipenko V.V., Alexeeva R.I.,  
Sasunova A.N.* 76

Specialized food products with modified carbohydrate profile for dietary correction of diet of patients with type 2 diabetes

## CHEMICAL COMPOSITION OF FOODSTUFFS

89 *Senkevich O.A., Koval'sky Yu.G.,  
Golubkina N.A.* 89

Monitoring of selenium content in some food of residents of the Khabarovsk

95 *Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B.,  
Eller K.I.* 95

Grape juice nutritional profile

<b>КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ</b>		<b>CONTROL OF FOOD QUALITY AND SAFETY</b>	
<b>Жилинская Н.В., Бессонов В.В., Громовых П.С., Богачук М.Н.</b>	<b>106</b>	<b>Zhilinskaya N.V., Bessonov V.V., Gromovykh P.S., Bogachuk M.N.</b>	<b>106</b>
Развитие современной методической базы контроля содержания витаминов в пищевой продукции и биологически активных добавках к пище		Development of a modern methodological base for monitoring the content of vitamins in food and food supplements	
<b>Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Карнажицкая Т.Д., Зорина А.С., Пермякова Т.С.</b>	<b>117</b>	<b>Zaytseva N.V., Ulanova T.S., Karnazhitskaya T.D., Zorina A.S., Permyakova T.S.</b>	<b>117</b>
Определение фталатов в соковой продукции методом высокоэффективной жидкостной хроматографии/масс-спектрометрии		Determination of phthalates in juice product by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry	
<b>Макаренко М.А., Малинкин А.Д., Бессонов В.В., Саркисян В.А., Кочеткова А.А.</b>	<b>125</b>	<b>Makarenko M.A., Malinkin A.D., Bessonov V.V., Sarkisyan V.A., Kochetkova A.A.</b>	<b>125</b>
Продукты вторичного окисления пищевых масел и жиров. Оценка рисков для здоровья человека (Сообщение 1)		Secondary lipid oxidation products. Human health risks evaluation (Article 1)	
<b>ПАМЯТИ ВЛАДИМИРА БОРИСОВИЧА СПИРИЧЕВА</b>	<b>139</b>	<b>IN MEMORY OF VLADIMIR BORISOVICH SPIRICHEV</b>	<b>139</b>
<b>УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ» ЗА 2018 ГОД</b>	<b>141</b>	<b>INDEX OF ARTICLES PUBLISHED IN THE JOURNAL «PROBLEMS OF NUTRITION» FOR 2018</b>	<b>141</b>

**Для корреспонденции**

Шарафетдинов Хайдерь Хамзярович – доктор медицинских наук, заведующий отделением болезней обмена веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», профессор кафедры диетологии и нутрициологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, профессор кафедры гигиены питания и токсикологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)  
 Адрес: 115446, г. Москва, Каширское ш., д. 21  
 Телефон: (499) 794-35-16  
 E-mail: sharafandr@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6061-0095>

Шарафетдинов Х.Х.<sup>1-3</sup>, Шехетов А.А.<sup>1</sup>, Плотникова О.А.<sup>1</sup>

## Современные подходы к диетической поддержке больных с диабетической нефропатией

Modern approaches to dietary support for patients with diabetic nephropathy

Sharafetdinov Kh.Kh.<sup>1-3</sup>,  
Shekhetov A.A.<sup>1</sup>, Plotnikova O.A.<sup>1</sup>

- 1 ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва
- 2 ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва
- 3 ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)
- 1 Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow
- 2 Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow
- 3 I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

*В статье представлены современные подходы к диетической поддержке больных с диабетической нефропатией (ДН), характеризующейся постепенным склерозированием почечной ткани, приводящим к потере фильтрационной и азотовыделительной функции почек. Анализ публикаций отечественных и зарубежных авторов свидетельствует о замедлении прогрессирования хронической болезни почек на фоне применения низкобелковых диет. Однако роль ограничения белка и его качественного состава в рационе больных с ДН является предметом всестороннего обсуждения. KDOQI (2007) Clinical Practice Guidelines and Clinical Practice Recommendations for Diabetes and Chronic Kidney Disease определяет целевой уровень потребления белка у лиц с сахарным диабетом и хронической болезнью почек I–IV стадий на уровне 0,8 г на 1 кг массы тела в сутки. В рекомендациях по лечебному питанию для пациентов с ДН наряду с контролируемым уменьшением содержания белка большое значение придается снижению потребления натрия с пищей до 1,5–2,3 г в день. В последние годы пристальное внимание уделяется использованию высокоактивных природных антиоксидантов для лечения и профилактики сахарного диабета 2 типа, в том числе ДН, что определяется результатами исследований, демонстрирующими их благоприятные эффекты на моделях ДН. Показано, что одним из путей оптимизации питания больных с ДН является использование специализирован-*

**Для цитирования:** Шарафетдинов Х.Х., Шехетов А.А., Плотникова О.А. Современные подходы к диетической поддержке больных с диабетической нефропатией // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 6–15. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10061.

**Статья поступила в редакцию** 13.06.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Sharafetdinov Kh.Kh., Shekhetov A.A., Plotnikova O.A. Modern approaches to dietary support for patients with diabetic nephropathy. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (6): 6–15. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10061. (in Russian)

**Received** 13.06.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

ных пищевых продуктов, модифицированных по белковому, жировому и углеводному составу, содержащих пищевые ингредиенты, оказывающие гипогликемическое, гиполлипидемическое и антиоксидантное действие.

**Ключевые слова:** диабетическая нефропатия, низкобелковые диеты, сахарный диабет 2 типа, скорость клубочковой фильтрации

*The article presents modern approaches to dietary support of patients with diabetic nephropathy (DN) characterized by gradual sclerosis of the renal tissue, leading to a loss of filtration and nitrogen excretory function of the kidneys. An analysis of publications of domestic and foreign authors indicates a slowdown in the progression of chronic kidney disease against the background of low-protein diets. However, the role of protein restriction and its qualitative composition in the diet of patients with DN is the subject of comprehensive discussion. KDOQI (2007) Clinical Practice Guidelines and Clinical Practice Guidelines for Kidney Disease determine the target level of protein intake in individuals with diabetes and chronic kidney disease 1–4 stages at the level of 0.8 g/kg of body weight per day. In the recommendations on nutrition for patients with DN, along with a controlled reduction in protein content, great importance is attached to reducing sodium intake from food to 1.5–2.3 g per day. In recent years, close attention has been paid to the use of highly active natural antioxidants for the treatment and prevention of type 2 diabetes, including DN, which was determined by the results of studies demonstrating their beneficial effects on DN patterns. It has been shown that one of the ways to optimize the nutrition of patients with DN is the use of specialized foods modified by protein, fat and carbohydrate composition, including food ingredients with hypoglycemic, hypolipidemic and antioxidant effects.*

**Keywords:** diabetic nephropathy, low protein diets, type 2 diabetes, glomerular filtration rate

Сахарный диабет (СД) 2 типа является одной из острейших проблем здравоохранения в большинстве стран мира, в том числе и в России, что связано с высокой распространенностью заболевания, развитием системных сосудистых осложнений, значительными затратами на оказание медицинской и социальной помощи больным [1, 2].

По данным Международной федерации диабета [3], в настоящее время в мире насчитывается 415 млн больных СД в возрасте 20–79 лет, из них 85–95% составляют пациенты с СД 2 типа. Прогнозируется, что к 2040 г. общая численность больных СД увеличится на 54,7% и составит 642 млн человек. Распространенность СД 2 типа среди взрослого населения России оценивается на уровне 5,4%, при этом реальная численность пациентов с СД в Российской Федерации составляет не менее 8–9 млн человек [1, 4]. Российская Федерация занимает 5-е место среди 10 стран с наибольшей численностью больных СД.

Среди системных сосудистых осложнений, являющихся основной причиной инвалидизации и смертности больных СД, важное место занимает диабетическая нефропатия (ДН) – специфическое поражение почек, характеризующееся постепенным склерозированием почечной ткани (преимущественно почечных клубочков), приводящее к потере фильтрационной и азотовыделительной функций почек [5]. В последние годы вместо ДН часто используется термин «диабетическая болезнь почек» (ДБП).

Хроническое поражение почек при СД не только является ведущей причиной терминальной почечной недоста-

точности с необходимостью применения дорогостоящих методов заместительной почечной терапии [гемодиализ (ГД), перитонеальный диализ, трансплантация почки], но и ассоциируется с резким снижением общей выживаемости и повышенным риском сердечно-сосудистой смертности у больных СД [6–8]. В Британском проспективном исследовании СД (UKPDS) показано, что у 38% пациентов с СД за 20 лет от момента установления диагноза выявляется микроальбуминурия и у 29% в течение 15 лет развивается хроническая почечная недостаточность [7]. По данным R.A. Bailey и соавт. [9], распространенность хронической болезни почек (ХБП) у больных СД 2 типа составляет 43,5%, в том числе у 61 пациента в возрасте 65 лет и старше. В исследовании по оценке долгосрочных исходов после ангиопластики коронарных сосудов у 28 пациентов с СД и 84 пациентов без СД, получавших ГД, показано, что риск 4-летней сердечной смерти и нефатального инфаркта миокарда был выше у пациентов с СД на ГД, чем у больных без СД на ГД [отношение шансов (ОШ) 1,88; 95% доверительный интервал (ДИ) от 1,01 до 2,75,  $p < 0,05$ ] и у пациентов с СД без ГД (ОШ 4,27; 95% ДИ от 2,87 до 5,67,  $p < 0,008$ ) [10]. M. Momose и соавт. оценили визуализацию перфузии миокарда у 55 больных СД с V стадией ХБП, требующих проведения ГД [11]. Частота безболевого ишемии миокарда, низкая фракция выброса и дилатация левого желудочка составили 24, 29 и 49% соответственно, что свидетельствует об их широкой распространенности среди пациентов с СД на этапе инициации ГД. Наряду с этим СД является независимым фактором риска развития инсульта у пациентов, получающих программный ГД [12].

Раннее выявление ДБП базируется на использовании комплексного мультидисциплинарного подхода, в основе которого лежат улучшение понимания патогенеза СД и поздних сосудистых осложнений, изучение взаимосвязи заболевания почек с хроническим поражением почек у пациентов с СД. Основное внимание уделяется качеству метаболического контроля СД, определению скорости клубочковой фильтрации (СКФ), экскреции альбумина с мочой и т.д. Немаловажную роль играет тщательный сбор семейного анамнеза с исключением наследственных заболеваний (поликистоза почек, синдрома Альпорта и др.), а также оценка факторов риска, таких как системная артериальная гипертензия (АГ), ишемия почек, вторичный фокально-сегментарный гломерулосклероз, иммунные гломерулопатии и др. [13].

Основой лечения ДБП является комплексная терапия, направленная на основные патогенетические механизмы, факторы риска развития и прогрессирования ДН: компенсацию углеводного обмена, решение вопросов нефро- и кардиопротекции, начиная со стадии микроальбуминурии вне зависимости от наличия АГ, целевой контроль артериального давления, ограничение потребления белка и хлорида натрия, коррекцию дислипидемии, избыточной массы тела, анемии, гиперкальциемии, нарушений фосфорно-кальциевого обмена [14, 15].

### **Роль низкобелковых диет в замедлении развития и прогрессировании диабетической болезни почек**

Анализ публикаций отечественных и зарубежных авторов, касающихся влияния рационов с высоким или низким содержанием белка на функции почек, внутрипочечную гемодинамику, скорость развития склероза и др., свидетельствует о замедлении прогрессирования ХБП на фоне применения низкобелковых диет [15–17]. Однако роль ограничения белка в рационе больных с ДН является предметом всестороннего обсуждения [18]. Так, в 2 небольших рандомизированных контролируемых исследованиях (РКИ) не выявлено различий в средней СКФ при использовании низкобелковой диеты или диеты с более высоким содержанием белка [19, 20]. В исследовании, проведенном С. Meloni и соавт. [21], одна группа пациентов с СД 1 и 2 типа ( $n=35$ ) в течение года получала низкобелковый рацион (0,6 г/кг в день), другая ( $n=34$ ) – обычную диету. Показано, что среднее снижение СКФ в 2 группах наблюдения было сопоставимым, при этом в группе пациентов, получавших рацион с низким содержанием белка, отмечено снижение концентраций преальбумина и альбумина в сыворотке крови соответственно через 9 и 12 мес наблюдения. В работе В. Dussol и соавт. [22] 63 пациента с СД 1 и 2 типа получали рацион с ограничением белка до 0,8 г/кг в день или рацион с обычным уровнем белка в течение 2 лет наблюдения. По данным авторов, 2-летнее снижение СКФ составляло  $7\pm 11$  мл/мин в группе пациентов, получавших низкобелковую диету, и  $5\pm 15$  мл/мин

в группе пациентов на рационе без ограничения белка. В течение периода наблюдения экскреция альбумина с мочой существенно не увеличивалась в обеих группах. Результаты многоцентрового исследования Modification of Diet in Renal Disease (MDRD) [16, 23, 24], в которое были включены 840 больных ХБП, из них только 3% пациентов с СД 2 типа, показали некоторое замедление прогрессирования хронической почечной недостаточности (ХПН) (на 19%) за 3 года наблюдения только у больных, получавших малобелковую диету (0,28 г/кг в день) с добавлением смеси эссенциальных аминокислот и их кетоаналогов, при этом лечение не оказывало существенного влияния на сроки появления уремических симптомов и перевода больных на заместительную почечную терапию. Отмеченный эффект MDRD-исследования подтверждается результатами экспериментальных исследований на крысах линии Вистар с нефрозэктомией, продемонстрировавшими снижение выраженности уремии, фосфатемии, предотвращение развития гипокальциемии и гиперхолестеринемии при включении в малобелковую диету аминокислот и их кетоаналогов, а также изолята соевого белка [25].

Н.Р. Hansen и соавт. сравнили эффективность рациона с ограничением белка до 0,6 г/кг в день со стандартной диетой у 82 пациентов с СД 1 типа с прогрессирующей ДН (среднее снижение СКФ 7,1 мл/мин в год) [26]. Результаты 4-летнего проспективного контролируемого исследования со скрытой рандомизацией оценивались по скорости СКФ, развитию конечной стадии ХПН или наступлению смерти. Показано, что среднее снижение СКФ составило 3,8 мл/мин в год в группе пациентов, получавших рацион с низким содержанием белка, и 3,9 мл/мин в год (от 2,7 до 5,2) в группе сравнения. Прогрессирование ДН до конечной стадии ХПН отмечено у 10% больных на низкобелковом рационе по сравнению с 27% пациентов на стандартной диете ( $p=0,042$ ). В группе пациентов со стандартным рационом показатели нефротических осложнений составили 27%. Показатели гликемического контроля и артериального давления были сопоставимы в обеих группах наблюдения. Авторы сделали вывод, что умеренное ограничение белка с пищей улучшает прогноз у пациентов с СД 1 типа с прогрессирующей ДН.

U. Nezu и соавт. был проведен метаанализ, включавший 13 РКИ по оценке влияния низкобелковой диеты (0,6–0,8 г белка/кг в день) на функцию почек, протеинурию, показатели гликемического контроля и пищевого статуса у 779 пациентов с ДН [27]. Группу сравнения составили пациенты с ДН, получавшие рацион, содержащий 1,0–1,6 г белка/кг в день. Показано, что применение низкобелковой диеты ассоциируется с улучшением СКФ у включенных в исследование пациентов в среднем на 5,8 мл/мин на  $1,73 \text{ м}^2$  (95% ДИ, 2,30–9,33 мл/мин/ $1,73 \text{ м}^2$ ), однако этот эффект отмечался при очень высокой комплаентности пациентов. На фоне низкобелковой диеты отмечалось снижение уровня гликированного гемоглобина ( $\text{HbA}_{1c}$ ) в среднем на 0,26% и отсутствие выраженной динамики содержания альбумина в сыворотке крови.

Улучшение функции почек без изменения скорости гломерулярной фильтрации у 519 больных СД 1 и 2 типа, получавших низкобелковую диету (0,6–0,8 г белка/кг в день), продемонстрировано также в метаанализе с включением результатов 8 РКИ [28].

В ранее проведенных исследованиях отмечено снижение СКФ в первые месяцы лечения низкобелковой диетой, уменьшение клиренса альбумина и протеинурии у больных с ДН [29–31]. По данным G. Evanoff и соавт. [32], применение в течение года диеты, содержащей 40 г белка высокой биологической ценности, сопровождалось повышением содержания альбумина в сыворотке крови и замедлением прогрессирования ХПН у 8 больных СД 1 типа.

В метаанализе [33], в котором проанализированы результаты 12 исследований, из них 9 РКИ, показано, что ограничение белка в диете (0,7–1,1 г/кг в день) приводит к незначительному снижению прогрессирования ДН без значительного влияния на качество жизни пациентов и стоимость лечения. По мнению авторов, необходимы исследования длительностью более 6 мес, с включением репрезентативной группы пациентов.

Таким образом, анализ, касающийся ограничения потребления белка с пищей, не позволяет сделать однозначный вывод о способности низкобелковых диет существенно замедлять прогрессирование ХПН у больных с ДН. KDOQI (2007) Clinical Practice Guidelines and Clinical Practice Recommendations for Diabetes and Chronic Kidney Disease определяет целевой уровень потребления белка у лиц с диабетом и ХБП I–IV стадий на уровне 0,8 г/кг в сутки [34]. По данным Американской диабетической ассоциации (ADA, 2018), высокий уровень потребления белка (>20% от энергетической ценности рациона, или >1,3 г/кг в день) ассоциируется с увеличением альбуминурии, более быстрой потерей почечной функции и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний [35], ограничение белка в диете до 0,6 г/кг в сутки может способствовать замедлению прогрессирования ХБП у части пациентов с ДН [36].

До настоящего времени неоднозначными остаются результаты, касающиеся влияния качественного состава низкобелковой диеты на механизмы, лежащие в основе прогрессирования ХПН у больных с ДН.

M.L. Wheeler и соавт. [37] оценили влияние рационов с различным количеством животного и растительного белка на функции почек, показатели метаболического контроля и артериальное давление у 34 пациентов с СД 2 типа с экскрецией альбумина с мочой >30 и <300 мкг/мл в течение 6 нед. 1-я группа пациентов получала рацион, содержащий 107 г животного белка (17% от калорийности диеты, источники белка – говядина, птица, рыба и молоко), 2-я – рацион с содержанием 64 г животного белка и 43 г растительного белка (17% от калорийности диеты), источниками которого были тофу, текстурированный растительный белок, соевое молоко и бобовые. Содержание жира и углеводов обеих диет было равным (соответственно 30 и 53% от калорийности диет). Авторы не отметили существ-

венных различий между группами наблюдения в показателях артериального давления, СКФ и экскреции альбумина с мочой, содержания общего холестерина, холестерина липопротеинов низкой плотности, глюкозы и инсулина, HbA<sub>1c</sub> и аминокислот в сыворотке крови.

В перекрестном исследовании оценивали влияние 2 рационов с включением различных источников белка (1,34 г/кг в сутки) на СКФ и экскрецию изофлавонов с мочой у 12 больных СД 1 типа в возрасте 29,9±2,4 года с продолжительностью заболевания 15,1±2,3 года и СКФ более 120 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> [38]. В первом рационе в качестве источников белка были использованы соя (50% от общего количества белка), зерновые (28%) и продукты животного происхождения. В контрольном рационе источниками белка были в основном домашняя птица и в меньшей мере мясо. Исследование длилось 8 нед. Показано, что применение рациона с преимущественным содержанием соевого белка сопровождалось снижением СКФ в среднем со 159±7,7 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> до 143±7,4 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> ( $p=0,02$ ) при отсутствии изменений в экскреции альбумина с мочой. Одновременно отмечено повышение экскреции изофлавонов с мочой и снижение содержания в сыворотке крови общего холестерина и холестерина липопротеинов низкой плотности в среднем соответственно на 7 и 9%. По мнению авторов, полученные результаты свидетельствуют об уменьшении гломерулярной гиперфильтрации у пациентов с СД 1 типа с I стадией ХБП.

В ранее проведенных исследованиях показано, что соевый белок в отличие от животного не увеличивает постпрандиальную СКФ или почечный кровоток [39–41]. По данным ряда авторов [42–45], замена части животного белка на соевый приводит к снижению протеинурии у больных с ДН и благоприятно влияет на количество атерогенных липидов и метаболизм липопротеинов у пациентов с гиперхолестеринемией, подвергающихся ГД. Метаанализ с включением 9 РКИ, опубликованных до 2014 г., продемонстрировал снижение содержания в сыворотке крови креатинина, триглицеридов и фосфора у 197 пациентов с преддиализной ХБП [46].

Возможно благоприятное влияние рационов, содержащих сою, на функцию почек связано с действием изофлавонов [18, 43], к которым относятся генистеин, даидзеин и глицитеин. Генистеин оказывает многочисленные биохимические эффекты, включая ингибирование тирозинкиназы, при активировании которой фосфорилируются различные белки-мишени, что приводит к изменениям мембранного транспорта, транскрипции генов и других клеточных процессов, связанных с пролиферацией эндотелиальных клеток [43]. По данным ряда авторов [25, 47–49], генистеин оказывает также антиатерогенное и антиоксидантное действие, проявляющееся в снижении концентрации холестерина и ингибировании агрегации тромбоцитов, уменьшении содержания ТБК-реактивных продуктов перекисного окисления липидов, повышении уровня глутатиона, снижении образования активных форм кислорода и подавлении окислительного повреждения ДНК. Малобелковые диеты с добав-

лением к рациону соевого белка уменьшают степень склерозирования в почках, главным образом за счет угнетения тирозин-протеинкиназы – мощного склеростимулирующего агента [50]. Некоторые исследователи полагают, что содержащиеся в составе соевых белков пептиды обладают свойствами ингибиторов ангиотензин-превращающего фермента [25]. Однако механизмы, лежащие в основе нефропротекторного эффекта соевого белка, до настоящего времени недостаточно изучены, а результаты этих исследований противоречивы.

В рекомендациях по лечебному питанию для пациентов с ДН наряду с контролируемым уменьшением содержания белка важное значение придается снижению потребления натрия с пищей до 1,5–2,3 г ( $\leq 5$  г поваренной соли) в день [51, 52].

Систематический обзор [52] по снижению потребления соли у пациентов с СД 1 и 2 типа, в который были включены результаты 13 РКИ, показал, что ограничение потребления поваренной соли приводит к снижению уровня систолического и диастолического давления у больных СД 2 типа в среднем соответственно на 6,9 и 2,87 мм рт.ст.

По данным E.J. McMahon и соавт. [53], снижение потребления соли на 6 г/сут (100 ммоль, или 2300 мг натрия в день) способствовало снижению систолического и диастолического артериального давления у 258 пациентов с ДН в среднем соответственно на 8,75 и 3,7 мм рт.ст., уменьшению суточной экскреции натрия с мочой в среднем на 105,86 ммоль/сут, сочетающегося с повышением активности ренина и уровня альдостерона в сыворотке крови в среднем на 1,08 нг/мл в час и 6,20 нг%. Клинически значимое снижение артериального давления было сопоставимо с эффективностью одного из антигипертензивных препаратов.

Как известно, избыточное потребление натрия сопровождается повышением артериального давления, задержкой жидкости в организме, увеличением альбуминурии и экскреции альбумина с мочой, окислительным стрессом, неблагоприятно влияя на факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний и прогрессирования хронического заболевания почек [54–56]. Повышение риска прогрессирования потери функции почек, по данным ряда авторов, связано с эндогенными эффектами альдостерона при высоком уровне потребления соли; эффектами кардиотонических стероидов (уабина и маринобуфагина), которые после связывания с  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -АТФазой активируют и иницируют различные сигнальные каскады; активацией ренин-ангиотензин-альдостероновой системы на фоне высокого потребления натрия (23 г хлорида натрия в день) [55, 57, 58].

Относительно других составляющих диетического рациона NKF-KDOQI и International Society of Renal Nutrition and Metabolism рекомендуют, чтобы уровень потребления энергии с пищей для пациентов с преддиализной ХБП и получающих диализ, независимо от этиологии заболевания, составляет 30–35 ккал/кг в день [51], который должен быть адаптирован к уровню

физической активности. Для пожилых пациентов адекватно потребление энергии с пищей, составляющее 30–35 ккал/кг в день. Метаанализ по оценке взаимосвязи ожирения и ХБП [59] показал, что ожирение ассоциируется с более высокой частотой ХБП и умеренное снижение массы тела (на 5–10%) может быть рекомендовано пациентам с ХБП и ожирением для предотвращения прогрессирования заболевания почек. В дополнение к увеличению физической активности снижение потребления калорий на 500–750 ккал/день или ограничение калорийности рациона до 1200–1500 ккал/сут у женщин и до 1500–1800 ккал/сут у мужчин рекомендуется пациентам с СД 2 типа и избыточной массой тела или ожирением [60].

Рекомендации относительно жирового состава диеты для пациентов с ДБП базируются на принципах ограничения потребления насыщенных жиров до 7% от суточной калорийности и исключения из рациона транс-изомеров жирных кислот [51]. По данным ряда авторов [51, 61], полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) семейства  $\omega$ -3 и мононенасыщенные жирные кислоты оказывают благоприятное влияние на исходы ДН за счет уменьшения воспаления и эндотелиальной дисфункции, а также улучшения контроля АД и дислипидемии. Однако результаты исследования Outcome Reduction with an Initial Glargine Intervention (ORIGIN), в которое были включены 12 537 пациентов с нарушенной гликемией натощак, нарушением толерантности к глюкозе или СД 2 типа, показали отсутствие долгосрочного эффекта потребления ПНЖК  $\omega$ -3 (1 г/сут) на исходы сердечно-сосудистых заболеваний [62]. Необходимы дальнейшие исследования для оценки долгосрочных эффектов приема ПНЖК в отношении развития и прогрессирования ДБП.

Общепризнано, что окислительный стресс играет важную роль в развитии и прогрессировании связанных с СД макро- и микрососудистых осложнений, включая ДН [63, 64]. Повышение образования свободных радикалов в условиях гипергликемии сопровождается нарушениями антиоксидантной системы, представляющей сложную многоуровневую многокомпонентную систему, тесно связанную с адекватностью обеспечения больных с ДБП микронутриентами и биологически активными веществами, обладающими антиоксидантным действием. Это обуславливает целесообразность оптимизации диетической поддержки пациентов с ДН за счет минорных биологически активных компонентов пищи, играющих важную роль в повышении защитных механизмов организма от окислительного стресса [64]. Однако до настоящего времени отсутствуют убедительные доказательства положительных эффектов антиоксидантов в замедлении развития и прогрессирования ДБП. Возрастающий интерес к использованию высокоактивных природных антиоксидантов для лечения и профилактики СД 2 типа определяется результатами исследований, демонстрирующими их благоприятные эффекты на моделях ДН. Так, при использовании экспериментальной модели стрептозотоцин-индуцированной ДН у мышей

установлен защитный эффект эпигаллокатехин-галлата (ЭГКГ), относящегося к наиболее широко изучаемым флавоноидам зеленого чая [65]. Подкожное введение ЭГКГ в дозе 100 мг на 1 кг массы тела в течение 16 нед снижало экспрессию мезангиальной пролиферации и экспрессию белка в клубочках и проксимальных канальцах. По мнению авторов [65], ЭГКГ в дозе 100 мг/кг обеспечивает эффективную защиту от индуцированной стрептозотоцином ДН у мышей путем подавления образования остеопонтина, который рассматривается в качестве потенциального диагностического предиктора ХБП в терминальной стадии [66].

В другом исследовании [67] оценено влияние другого представителя флавоноидов мирицетина на функцию почек, активность глутатионпероксидазы и ксантиноксидазы у крыс-альбиносов линии Вистар с ДН, развившейся в результате введения стрептозотоцина. Показано, что мирицетин в дозе 6 мг/сут приводил к уменьшению выраженности гломерулосклероза, снижению уровня азота мочевины и клиренса креатинина, восстановлению активности глутатионпероксидазы и ксантиноксидазы в почках.

В обширном обзоре A.G. Miranda-Diaz и соавт. [64] уделено внимание эффектам куркумина из корня куркумы, оказывающего антиокислительное и противовоспалительное действие. В рандомизированном, двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании изучено влияние добавления к пище куркумина в количестве 66,3 мг в день на протеинурию, уровень трансформирующего фактора роста- $\beta$  (TGF- $\beta$ ), фактора некроза опухолей  $\alpha$  и интерлейкина-8 (IL-8) в сыворотке крови и моче у 20 пациентов с СД 2 типа и ДН в течение 2 мес. Пациенты контрольной группы ( $n=20$ ) получали капсулы, содержащие крахмал, идентичные по цвету и размеру капсул, содержащих куркумин и используемых в основной группе. Показано, что уровни TGF- $\beta$  и IL-8 в сыворотке крови и экскреция белка с мочой значительно уменьшились на фоне добавления к пище куркумина. Во время клинического исследования никаких побочных эффектов, связанных с добавлением куркумина, не отмечено. Авторы сделали вывод, что кратковременное добавление куркумы к пище оказывает положительные эффекты на протеинурию, уровни TGF- $\beta$  и IL-8 у пациентов с ДН и может применяться как безопасная адъювантная терапия у этих пациентов.

Несмотря на то что кумулятивные данные указывают на некоторые преимущества антиоксидантной терапии (особенно приема витамина E) при ранних признаках повреждения почек, до сих пор нет убедительных доказательств, подтверждающих необходимость использования антиоксидантов в качестве альтернативной (или аддитивной) терапии для замедления прогрессирования ДБП [68]. Необходимы долгосрочные РКИ с большим размером выборок, использованием не суррогатных конечных точек, а надежных предикторов развития и прогрессирования ДБП.

Таким образом, анализ многочисленных публикаций о роли отдельных компонентов диеты и диетического

рациона в целом в предотвращении и задержке прогрессирования ДН свидетельствует, что правильно подобранный рацион питания в сочетании с адекватной медикаментозной терапией обеспечивают достаточно выраженный эффект по сохранению фильтрационной способности почек. При изучении влияния диетотерапии на прогрессирование ДБП основное внимание уделяется количеству потребляемого белка и его качественному составу. В результате многочисленных клинических исследований сделан вывод, что рационы с низким содержанием белка уменьшают альбуминурию и замедляют прогрессирование ХПН [15, 16, 69]. Диеты с преимущественным включением растительного белка оказывают нефропротекторное действие, снижая протеинурию, регулируя продукцию простагландина  $E_2$ , нормализуя образование нитротирозина в почках [25]. Однако большинство белков растительного происхождения неполноценны по аминокислотному составу, а при длительном недостаточном поступлении с пищей белка пониженной биологической ценности нарушается динамическое равновесие процессов белкового анаболизма и катаболизма с преобладанием распада собственных белков организма и развитием белковой недостаточности. В то же время неконтролируемая белковая нагрузка при сниженной функции почек увеличивает гемодинамическую нагрузку на нефроны, увеличивает гипертрофию клубочков и протеинурию, приводит к поступлению избыточного количества фосфора, нарастанию уремии и вторичного гиперпаратиреоза [16, 25].

В ряде случаев клинические рекомендации по питанию для пациентов с ДН трудно выполнимы в современных условиях. Сложно оценить адекватный уровень потребления белка для каждого конкретного пациента, страдающего ДБП, которые часто недостаточно мотивированы на целенаправленное изменение образа жизни, прежде всего на необходимость длительного и постоянного соблюдения диетического рациона с контролируемым содержанием белка и ограничением поваренной соли. Ассортимент специализированных пищевых продуктов диетического лечебного и профилактического питания для больных с ДН крайне недостаточен, особенно это касается пищевых продуктов, модифицированных по количеству и качественному составу белка. Нарушения пищевого и метаболического статуса у больных с ДН определяют необходимость оптимизации и персонализации лечебного питания с целью повышения эффективности комплексной терапии, замедления прогрессирования ХПН и улучшения качества жизни пациентов. Одним из путей оптимизации питания больных с ДН является разработка специализированных пищевых продуктов, модифицированных по белковому, жировому и углеводному составу, с включением в их состав пищевых ингредиентов, оказывающих гипогликемическое, гиполипидемическое и антиоксидантное действие [65].

Проведенный анализ и обобщение результатов многочисленных исследований по оценке влияния пищевых и биологически активных веществ на показатели глике-

мического контроля, скорость клубочковой фильтрации, прогрессирование ХПН у больных с ДН позволил сформулировать принципы разработки специализированных пищевых продуктов, модифицированных по белковому, жировому и углеводному составу, для пациентов с ДН. Основными требованиями к разработке продуктов для пациентов с ДН является модификация химического состава и энергетической ценности рациона за счет включения в их состав пищевых ингредиентов, позволяющих с позиции доказательной медицины корректировать гипергликемию, гиперлипидемию, АГ, нарушения антиоксидантного статуса в условиях снижения азот-выделительной функции почек у больных СД 2 типа. К таким пищевым ингредиентам относятся:

1) растительные белки, в том числе соевый, содержащий изофлавоны, позволяющие уменьшить перекисидацию липидов и гипергомоцистеинемию. При разработке специализированных пищевых продуктов для больных с ДН важное значение имеет сбалансированность ости белкового состава с включением белков высокой биологической ценности, обладающих легкой усвояемостью;

2) модифицированный мальтодекстрин, способствующий снижению уровня постпрандиальной гликемии;

3) фруктоолигосахариды и растворимые пищевые волокна, позволяющие улучшить показатели углеводного и липидного обмена;

4) мононенасыщенные жирные кислоты, обеспечивающие контроль уровня липидов в крови;

5) ПНЖК семейства  $\omega$ -3, позволяющие улучшить липидный спектр крови и показатели гемостаза;

6) витамины (витамины группы В, С, Е, А, фолиевая кислота,  $\beta$ -каротин и др.) для улучшения витаминной обеспеченности пациентов с ДН;

7) биологически активные вещества (флавоноиды, катехины, куркумин и др.), обладающие антиоксидантным и противовоспалительным действием.

Включение разрабатываемых специализированных пищевых продуктов оптимизированного белкового состава в диету больных СД 2 типа с ДН позволит усовершенствовать химический состав диетического рациона с целью улучшения гликемического и метаболического контроля, замедления прогрессирования ХПН, улучшения качества жизни пациентов.

## Сведения об авторах

*Шарафетдинов Хайдер Хамзрович* – доктор медицинских наук, заведующий отделением болезней обмена веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», профессор кафедры диетологии и нутрициологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, профессор кафедры гигиены питания и токсикологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: sharafandr@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6061-0095>

*Плотникова Оксана Александровна* – старший научный сотрудник отделения болезней обмена веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: plot\_oks@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8232-8437>

*Шехетов Антон Анатольевич* – аспирант ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: shekhetov@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0194-5853>

## Литература

1. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом : 8-й вып. / под ред. И.И. Дедова, М.В. Шестаковой, А.Ю. Майорова. М. : ПРИНТ, 2017.
2. Аметов А.С. Сахарный диабет 2 типа. Проблемы и решения. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2013. 1032 с.
3. Дедов И.И., Шестакова М.В., Галстян Г.Р. Распространенность сахарного диабета 2 типа у взрослого населения России (исследование NATION) // Сахарный диабет. 2016. Т. 19, № 2. С. 104–112. URL: <https://doi.org/10.14341/DM2004116-17>.
4. IDF Diabetes Atlas. 7<sup>th</sup> ed. International Diabetes Federation, 2015.
5. Шестакова М.В., Чугунова Л.А., Шамхалова М.Ш., Дедов И.И. Диабетическая нефропатия: достижения в диагностике, профилактике и лечении // Сахарный диабет. 2005. № 3. С. 22–25. URL: <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5574>.
6. The Diabetes Control and Complications Trial Research Group. The effect of intensive treatment of diabetes on the development and progression of long-term complications in insulin-dependent diabetes mellitus // N. Engl. J. Med. 1993. Vol. 329. P. 977–986.
7. Retnakaran R., Cull C.A., Thorne K.I. et al. Risk factors for renal dysfunction in type 2 diabetes: U.K. Prospective Diabetes Study 74 // Diabetes. 2006. Vol. 55. P. 1832–1839.
8. Valmadrid C.T., Klein R., Moss S.E. et al. The risk of cardiovascular disease mortality associated with microalbuminuria and gross proteinuria in persons with older-onset diabetes mellitus // Arch. Intern. Med. 2000. Vol. 160, N 8. P. 1093–1100.
9. Bailey R.A., Wang Y., Zhu V., Rupnow M.F. Chronic kidney disease in US adults with type 2 diabetes: an updated national estimate of prevalence based on Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) staging // BMC Res. Notes. 2014. Vol. 7. P. 415.
10. Le Feuvre C., Borentain M., Beygui F. et al. Comparison of short- and long-term outcomes of coronary angioplasty in patients with and without diabetes mellitus and with and without hemodialysis // Am. J. Cardiol. 2003. Vol. 92, N 6. P. 721–725.
11. Momose M., Babazono T., Kondo C. et al. Prognostic significance of stress myocardial ECG-gated perfusion imaging in asymptomatic patients with diabetic chronic kidney disease on initiation of

- haemodialysis // *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2009. Vol. 36, N 8. P. 1315–1321.
12. Sanchez-Perales C., Vazquez E., Garcia-Cortes M.J. et al. Ischaemic stroke in incident dialysis patients // *Nephrol. Dial. Transplant*. 2010. Vol. 25, N 10. P. 3343–3348.
  13. Аметов А.С. Сахарный диабет 2 типа. Проблемы и решения. 3-е изд., перераб. и доп. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2017. Т. 7. 240 с.
  14. Дедов И.И. Сахарный диабет: развитие технологий в диагностике, лечении и профилактике (планарная лекция) // *Сахарный диабет*. 2010. № 3. С. 6–13. URL: <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5480>.
  15. *Handbook of Nutrition and Kidney*. 5th ed. / eds W.E. Mitch, S. Klahr. Philadelphia : Lippincott Williams and Wilkins. 200. 330 p.
  16. Ермоленко В.М., Козлова Т.А., Михайлова Н.А. Значение малобелковой диеты в замедлении прогрессирования хронической почечной недостаточности (обзор литературы) // *Нефрология и диализ*. 2006. Т. 8, № 4. С. 310–319.
  17. Piccoli G.B., Capizzi I., Vigotti F.N. et al. Low protein diets in patients with chronic kidney disease: a bridge between mainstream and complementary-alternative medicines? // *BMC Nephrol*. 2016. Vol. 17. P. 76.
  18. Moorthi R.N., Vorland C.J., Hill Gallant K.M. Diet and diabetic kidney disease: plant versus animal protein // *Curr. Diabetes Rep*. 2017. Vol. 17, N 3. P. 15.
  19. Robertson L., Waugh N., Robertson A. Protein restriction for diabetic renal disease // *Cochrane Database Syst. Rev*. 2007. Vol. 4. CD002181.
  20. Shide K., Takada Y., Nakashima A. et al. Patients' perception on the nutritional therapy for diabetic nephropathy // *Jpn. Clin. Med*. 2014. Vol. 5. P. 9–13.
  21. Meloni C., Morosetti M., Suraci C. et al. Severe dietary protein restriction in overt diabetic nephropathy: benefits or risks? // *J. Ren. Nutr*. 2002. Vol. 12, N 2. P. 96–101.
  22. Dussol B., Iovanna C., Raccach D. et al. A randomized trial of low-protein diet in type 1 and in type 2 diabetes mellitus patients with incipient and overt nephropathy // *J. Ren. Nutr*. 2005. Vol. 15, N 4. P. 398–406.
  23. Levey A.S., Greene T., Beck G.J. et al. Dietary protein restriction and the progression of chronic renal disease: what have all of the results of the MDRD study shown? Modification of Diet in Renal Disease Study group // *J. Am. Soc. Nephrol*. 1999. Vol. 10, N 11. P. 2426–2439.
  24. Klahr S., Levey A.S., Beck G.J. et al. The effects of dietary protein restriction and blood-pressure control on the progression of chronic renal disease. Modification of Diet in Renal Disease Study Group // *N. Engl. J. Med*. 1994. Vol. 330, N 13. P. 877–884.
  25. Смирнов А.В., Береснева О.Н., Парастаева М.М. и др. Эффективность влияния малобелковых диет с применением Кетостерила изоэвого изолята на течение экспериментальной почечной недостаточности // *Нефрология и диализ*. 2006. Т. 8, № 4. С. 344–350.
  26. Hansen H.P., Tauber-Lassen E., Jensen B.R., Parving H.H. Effect of dietary protein restriction on prognosis in patients with diabetic nephropathy // *Kidney Int*. 2002. Vol. 62, N 1. P. 220–228.
  27. Nezu U., Kamiyama H., Kondo Y. et al. Effect of low-protein diet on kidney function in diabetic nephropathy: meta-analysis of randomised controlled trials // *BMJ Open*. 2013. Vol. 3, N 5. P. 1–11.
  28. Pan Y., Guo L.L., Jin H.M. Low-protein diet for diabetic nephropathy: a meta-analysis of randomized controlled trials // *Am. J. Clin. Nutr*. 2008. Vol. 88, N 3. P. 660–666.
  29. Cohen D., Dodds R., Viberti G. Effect protein restriction in insulin dependent diabetics at risk of nephropathy // *Br. Med. J*. 1987. Vol. 294. P. 795–798.
  30. Wiseman M., Bogueetti E., Dodds R. et al. Changes in renal failure in response to protein restriction diet in type 1 (insulin dependent) diabetic patients // *Diabetologia*. 1987. Vol. 30. P. 154–159.
  31. Bending J., Dodds R., Keen H. et al. Renal response to restriction protein intake in diabetic nephropathy // *Diabetologia*. 1988. Vol. 37. P. 1641–1646.
  32. Evanoff G., Thompson C., Brown J. et al. The effect of protein restriction on the progression diabetic nephropathy. A 12-month follow-up // *Arch. Intern. Med*. 1987. Vol. 147. P. 492–495.
  33. Robertson L., Waugh N., Robertson A. Protein restriction for diabetic renal disease // *Cochrane Database Syst. Rev*. 2007. Vol. 4. CD002181.
  34. KDOQI. Clinical Practice Guidelines and Clinical Practice Recommendations for Diabetes and Chronic Kidney Disease, 2007. URL: [http://www.kidney.org/professionals/KDOQI/guideline\\_diabetes/ex\\_summary.htm](http://www.kidney.org/professionals/KDOQI/guideline_diabetes/ex_summary.htm).
  35. American Diabetic Association. Microvascular complications and foot care: standards of medical care in diabetes – 2018 // *Diabetes Care*. 2018. Vol. 41, suppl. 1. P. S105–S118.
  36. American Diabetic Association. Diabetic nephropathy // *Diabetes Care*. 2003. Vol. 26, N 1. P. S94–S98.
  37. Wheeler M.L., Fineberg S.E., Fineberg N.S. et al. Animal versus plant protein meals in individuals with type 2 diabetes and microalbuminuria: effects on renal, glycemic, and lipid parameters // *Diabetes Care*. 2002. Vol. 25, N 8. P. 1277–1282.
  38. Stephenson T.J., Setchell K.D., Kendall C.W. et al. Effect of soy protein-rich diet on renal function in young adults with insulin-dependent diabetes mellitus // *Clin. Nephrol*. 2005. Vol. 64, N 1. P. 1–11.
  39. Kontessis P.A., Bossinakou I., Sarika L. et al. Renal, metabolic, and hormonal responses to proteins of different origin in normotensive, nonproteinuric type I diabetic patients // *Diabetes Care*. 1995. Vol. 18, N 9. P. 1233–1240.
  40. Nakamura H., Yamazaki M., Chiba Y. et al. Glomerular filtration response to acute loading with protein from different sources in healthy volunteers and diabetic patients // *Tohoku J. Exp. Med*. 1990. Vol. 162, N 3. P. 269–278.
  41. Pecis M., de Azevedo M.J., Gross J.L. Chicken and fish diet reduces glomerular hyperfiltration in IDDM patients // *Diabetes Care*. 1994. Vol. 17, N 7. P. 665–672.
  42. Azadbakht L., Esmailzadeh A. Soy-protein consumption and kidney-related biomarkers among type 2 diabetics: a crossover, randomized clinical trial // *J. Ren. Nutr*. 2009. Vol. 19, N 6. P. 479–486.
  43. McGraw N.J., Krul E.S., Grunz-Borgmann E., Parrish A.R. Soy-based renoprotection // *World J. Nephrol*. 2016. Vol. 5, N 3. P. 233–257.
  44. Chen S.T., Chen J.R., Yang C.S. et al. Effect of soya protein on serum lipid profile and lipoprotein concentrations in patients undergoing hypercholesterolaemic haemodialysis // *Br. J. Nutr*. 2006. Vol. 95, N 2. P. 366–371.
  45. Chen S.T., Ferng S.H., Yang C.S. et al. Variable effects of soy protein on plasma lipids in hyperlipidemic and normolipidemic hemodialysis patients // *Am. J. Kidney Dis*. 2005. Vol. 46, N 6. P. 1099–1106.
  46. Zhang J., Liu J., Su J., Tian F. The effects of soy protein on chronic kidney disease: a meta-analysis of randomized controlled trials // *Eur. J. Clin. Nutr*. 2014. Vol. 68, N 9. P. 987–993.
  47. Lee J.S. Effects of soy protein and genistein blood glucose, antioxidant enzyme activities and lipid profile in streptozotocin-induced diabetic rats // *Life Sci*. 2006. Vol. 79, N 16. P. 1578–1584.
  48. Choi C., Cho H., Park J. et al. Suppressive effects of genistein on oxidative stress and NFκB activation in RAW 264.7 macrophages // *Biosci. Biotechnol. Biochem*. 2003. Vol. 67, N 9. P. 1916–1922.
  49. Wu H.-J., Chan W.-H. Genistein protects methylglyoxal-induced oxidative DNA damage and cell injury in human mononuclear cells // *Toxicol. in Vitro*. 2007. Vol. 21. P. 335–342.
  50. Кучер А.Г., Каюков И.Г., Григорьева Н.Д., Васильев А.Н. Лечебное питание на разных стадиях хронической болезни почек // *Нефрология и диализ*. 2007. Т. 9. № 2. С. 118–135.
  51. Ko G.J., Kalantar-Zadeh K., Goldstein-Fuchs J., Rhee C.M. Dietary approaches in the management of diabetic patients with kidney disease // *Nutrients*. 2017. Vol. 9. P. 824.
  52. Suckling R.J., He F.J., Macgregor G.A. Altered dietary salt intake for preventing and treating diabetic kidney disease // *Cochrane Database Syst. Rev*. 2010. Vol. 12. CD006763.
  53. McMahon E.J., Campbell K.L., Bauer J.D., Mudge D.W. Altered dietary salt intake for people with chronic kidney disease // *Cochrane Database Syst. Rev*. 2015. Vol. 2. CD010070.

54. Al-Solaiman Y., Jesri A., Zhao Y. et al. Low-Sodium DASH reduces oxidative stress and improves vascular function in salt-sensitive humans // *J. Hum. Hypertens.* 2009. Vol. 23, N 12. P. 826–835.
55. Heerspink H.J.L., Navis G., Ritz E. Salt intake in kidney disease – a missed therapeutic opportunity? // *Nephrol. Dial. Transplant.* 2012. Vol. 27. P. 3435–3442.
56. Ritz E., Koleganova N., Piecha G.J. Role of sodium intake in the progression of chronic kidney disease // *Ren. Nutr.* 2009. Vol. 19, N 1. P. 61–62.
57. Kolmakova E.V., Haller S.T., Kennedy D.J. et al. Endogenous cardiovascular steroids in chronic renal failure // *Nephrol. Dial. Transplant.* 2011. Vol. 26, N 9. P. 2912–2919.
58. Pimenta E., Gaddam K.K., Pratt-Ubunama M.N. et al. Relation of dietary salt and aldosterone to urinary protein excretion in subjects with resistant hypertension // *Hypertension.* 2008. Vol. 51, N 2. P. 339–344.
59. Wang Y., Chen X., Song Y., Caballero B. et al. Association between obesity and kidney disease: a systematic review and meta-analysis // *Kidney Int.* 2008. Vol. 73. P. 19–33.
60. American Diabetes Association. 4. Lifestyle management // *Diabetes Care.* 2017. Vol. 40. P. S33–S43.
61. Shapiro H., Theilla M., Attal-Singer J., Singer P. Effects of polyunsaturated fatty acid consumption in diabetic nephropathy // *Nat. Rev. Nephrol.* 2011. Vol. 7. P. 110–121.
62. ORIGIN Trial Investigators. Cardiovascular and other outcomes postintervention with insulin glargine and omega-3 fatty acids (ORIGINALE) // *Diabetes Care.* 2016. Vol. 39. P. 709–716.
63. Arora M.K., Singh U.K. Oxidative stress: meeting multiple targets in pathogenesis of diabetic nephropathy // *Curr. Drug Targets.* 2014. Vol. 15, N 5. P. 531–538.
64. Miranda-Diaz A.G., Pazarin-Villasenor L., Yanowsky-Escatell F.G., Andrade-Sierra J. Oxidative stress in diabetic nephropathy with early chronic kidney disease // *J. Diabetes Res.* 2016. Vol. 2016. Article ID 7047238.
65. Растительные источники фитонутриентов для специализированных пищевых продуктов антидиабетического действия / под ред. В.А. Тутельяна, Т.Л. Киселевой, А.А. Кочетковой. М.: Библио-Глобус, 2016.
66. Yoon S.P., Maeng Y.H., Hong R. et al. Protective effects of epigallocatechin gallate (EGCG) on streptozotocin-induced diabetic nephropathy in mice // *Acta Histochem.* 2014. Vol. 116, N 8. P. 1210–1215.
67. Yamaguchi H., Igarashi M., Hirata A. et al. Progression of diabetic nephropathy enhances the plasma osteopontin level in type 2 diabetic patients // *Endocr. J.* 2004. Vol. 51, N 5. P. 499–504.
68. Bolognani D., Cernaro V., Gembillo G. et al. Antioxidant agents for delaying diabetic kidney disease progression: a systematic review and meta-analysis // *PLoS One.* 2017. Vol. 12, N 6. Article ID e0178699.
69. Аметов А.С. Сахарный диабет 2 типа. Проблемы и решения. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. Т. 9. 320 с.

## References

1. Algorithms of specialized medical care for patients with diabetes mellitus. 8th ed. In: I.I. Dedov, M.V. Shestakova, A.Y. Mayorov (eds). Moscow: PRINT, 2017: 183 p. (in Russian)
2. Ametov A.S. Type 2 diabetes mellitus. Problems and solutions. 2nd ed., revised and ext. Moscow: GEOTAR-Media, 2013: 1032 p. (in Russian)
3. Dedov I.I., Shestakova M.V., Galstyan G.P. The prevalence of type 2 diabetes mellitus in the adult population of Russia (NATION study). *Sakharniy diabet [Diabetes mellitus]*. 2016; (19): 104–12. URL: <https://doi.org/10.14341/DM2004116-17>. (in Russian)
4. IDF Diabetes Atlas. 7th ed. International Diabetes Federation, 2015.
5. Shestakova M.V., Chugunova M.V., Shamkhalova M.Sh., Dedov I.I. Diabetic nephropathy: advances in diagnosis, prevention and treatment. *Sakharniy diabet [Diabetes Mellitus]*. 2005; (3): 22–5. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5574>. (in Russian)
6. The Diabetes Control and Complications Trial Research Group. The effect of intensive treatment of diabetes on the development and progression of long-term complications in insulin-dependent diabetes mellitus. *N Engl J Med.* 1993; 329: 977–86.
7. Retnakaran R., Cull C.A., Thorne K.I., et al. Risk factors for renal dysfunction in type 2 diabetes: U.K. Prospective Diabetes Study 74. *Diabetes.* 2006; 55: 1832–9.
8. Valmadrid C.T., Klein R., Moss S.E., et al. The risk of cardiovascular disease mortality associated with microalbuminuria and gross proteinuria in persons with older-onset diabetes mellitus. *Arch Intern Med.* 2000; 160 (8): 1093–100.
9. Bailey R.A., Wang Y., Zhu V., Rupnow M.F. Chronic kidney disease in US adults with type 2 diabetes: an updated national estimate of prevalence based on Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) staging. *BMC Res Notes.* 2014; 7: 415.
10. Le Feuvre C., Borentain M., Beygui F., et al. Comparison of short- and long-term outcomes of coronary angioplasty in patients with and without diabetes mellitus and with and without hemodialysis. *Am J Cardiol.* 2003; 92 (6): 721–5.
11. Momose M., Babazono T., Kondo C., et al. Prognostic significance of stress myocardial ECG-gated perfusion imaging in asymptomatic patients with diabetic chronic kidney disease on initiation of haemodialysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2009; 36 (8): 1315–21.
12. Sanchez-Perales C., Vazquez E., Garcia-Cortes M.J. et al. Ischaemic stroke in incident dialysis patients. *Nephrol Dial Transplant.* 2010; 25 (10): 3343–8.
13. Ametov A.S. Type 2 diabetes mellitus. Problems and solutions. 3rd ed., revised and ext. M.: GEOTAR-Media, 2017; 7: 240 p. (in Russian)
14. Dedov I.I. Diabetes mellitus: development of technologies in diagnosis, treatment and prevention (plenary lecture). *Sakharniy diabet [Diabetes Mellitus]*. 2010; (3): 6–13. URL: <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5480>. (in Russian)
15. Mitch W.E., Klahr S. (eds). Handbook of Nutrition and Kidney. 55th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins. 200: 330 p.
16. Ermolenko V.M., Kozlova T.A., Michailova N.A. Influence of low-protein diet on progression of chronic renal failure. *Nefrologija i dializ [Nephrology and Dialysis]*. 2006; (8): 310–9. (in Russian)
17. Piccoli G.B., Capizzi I., Vigotti F.N., et al. Low protein diets in patients with chronic kidney disease: a bridge between mainstream and complementary-alternative medicines? *BMC Nephrol.* 2016; 17: 76.
18. Moorthi R.N., Vorland C.J., Hill Gallant K.M. Diet and diabetic kidney disease: plant versus animal protein. *Curr Diabetes Rep.* 2017; 17 (3): 15.
19. Robertson L., Waugh N., Robertson A. Protein restriction for diabetic renal disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007; 4: CD002181.
20. Shide K., Takada Y., Nakashima A., et al. Patients' perception on the nutritional therapy for diabetic nephropathy. *Jpn Clin Med.* 2014; 5: 9–13.
21. Meloni C., Morosetti M., Suraci C., et al. Severe dietary protein restriction in overt diabetic nephropathy: benefits or risks? *J Ren Nutr.* 2002; 12 (2): 96–101.
22. Dussol B., Iovanna C., Raccach D., et al. A randomized trial of low-protein diet in type 1 and in type 2 diabetes mellitus patients with incipient and overt nephropathy. *J Ren Nutr.* 2005; 15 (4): 398–406.
23. Levey A.S., Greene T., Beck G.J., et al. Dietary protein restriction and the progression of chronic renal disease: what have all of the results of the MDRD study shown? Modification of Diet in Renal Disease Study group. *J Am Soc Nephrol.* 1999; 10 (11): 2426–39.
24. Klahr S., Levey A.S., Beck G.J., et al. The effects of dietary protein restriction and blood-pressure control on the progression of chronic

- renal disease. Modification of Diet in Renal Disease Study Group. *N Engl J Med.* 1994; 330 (13): 877–84.
25. Smirnov A.V., Beresneva, O.N., Parastayeva M.M., et al. Influence of a low-protein diet (LPD) supplemented by Ketosteril and soy-been isolate on the development of experimental renal failure. *Nefrologija i dializ [Nephrology and Dialysis]*. 2006; (8): 344–50. (in Russian)
  26. Hansen H.P., Tauber-Lassen E., Jensen B.R., Parving H.H. Effect of dietary protein restriction on prognosis in patients with diabetic nephropathy. *Kidney Int.* 2002; 62 (1): 220–8.
  27. Nezu U., Kamiyama H., Kondo Y., et al. Effect of low-protein diet on kidney function in diabetic nephropathy: meta-analysis of randomized controlled trials. *BMJ Open.* 2013; 3 (5): 1–11.
  28. Pan Y., Guo L.L., Jin H.M. Low-protein diet for diabetic nephropathy: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr.* 2008; 88 (3): 660–6.
  29. Cohen D., Dodds R., Viberti G. Effect protein restriction in insulin dependent diabetics at risk of nephropathy. *Br Med J.* 1987; 294: 795–8.
  30. Wiseman M., Bogueetti E., Dodds R., et al. Changes in renal failure in response to protein restriction diet in type 1 (insulin dependent) diabetic patients. *Diabetologia.* 1987; 30: 154–9.
  31. Bending J., Dodds R., Keen H., et al. Renal response to restriction protein intake in diabetic nephropathy. *Diabetologia.* 1988; 37: 1641–6.
  32. Evanoff G., Thompson C., Brown J., et al. The effect of protein restriction on the progression diabetic nephropathy. A 12-month follow-up. *Arch Intern Med.* 1987; 147: 492–5.
  33. Robertson L., Waugh N., Robertson A. Protein restriction for diabetic renal disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007; 4: CD002181.
  34. KDOQI. Clinical Practice Guidelines and Clinical Practice Recommendations for Diabetes and Chronic Kidney Disease, 2007. URL: [http://www.kidney.org/professionals/KDOQI/guideline\\_diabetes/ex\\_summary.htm](http://www.kidney.org/professionals/KDOQI/guideline_diabetes/ex_summary.htm).
  35. American Diabetic Association. Microvascular complications and foot care: standards of medical care in diabetes – 2018. *Diabetes Care.* 2018; 41 (1): S105–18.
  36. American Diabetic Association. Diabetic nephropathy. *Diabetes Care.* 2003; 26 (1): S94–8.
  37. Wheeler M.L., Fineberg S.E., Fineberg N.S., et al. Animal versus plant protein meals in individuals with type 2 diabetes and microalbuminuria: effects on renal, glycemic, and lipid parameters. *Diabetes Care.* 2002; 25 (8): 1277–82.
  38. Stephenson T.J., Setchell K.D., Kendall C.W., et al. Effect of soy protein-rich diet on renal function in young adults with insulin-dependent diabetes mellitus. *Clin Nephrol.* 2005; 64 (1): 1–11.
  39. Kontessis P.A., Bossinakou I., Sarika L., et al. Renal, metabolic, and hormonal responses to proteins of different origin in normotensive, nonproteinuric type I diabetic patients. *Diabetes Care.* 1995; 18 (9): 1233–40.
  40. Nakamura H., Yamazaki M., Chiba Y., et al. Glomerular filtration response to acute loading with protein from different sources in healthy volunteers and diabetic patients. *Tohoku J Exp Med.* 1990; 162 (3): 269–78.
  41. Pecis M., de Azevedo M.J., Gross J.L. Chicken and fish diet reduces glomerular hyperfiltration in IDDM patients. *Diabetes Care.* 1994; 17 (7): 665–72.
  42. Azadbakht L., Esmailzadeh A. Soy-protein consumption and kidney-related biomarkers among type 2 diabetics: a crossover, randomized clinical trial. *J Ren Nutr.* 2009; 19 (6): 479–86.
  43. McGraw N.J., Krul E.S., Grunz-Borgmann E., Parrish A.R. Soy-based renoprotection. *World J Nephrol.* 2016; 5 (3): 233–57.
  44. Chen S.T., Chen J.R., Yang C.S., et al. Effect of soya protein on serum lipid profile and lipoprotein concentrations in patients undergoing hypercholesterolaemic haemodialysis. *Br J Nutr.* 2006; 95 (2): 366–71.
  45. Chen S.T., Ferng S.H., Yang C.S., et al. Variable effects of soy protein on plasma lipids in hyperlipidemic and normolipidemic hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis.* 2005; 46 (6): 1099–106.
  46. Zhang J., Liu J., Su J., Tian F. The effects of soy protein on chronic kidney disease: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Clin Nutr.* 2014; 68 (9): 987–93.
  47. Lee J.S. Effects of soy protein and genistein blood glucose, antioxidant enzyme activities and lipid profile in streptozotocin-induced diabetic rats. *Life Sci.* 2006; 79 (16): 1578–84.
  48. Choi C., Cho H., Park J., et al. Suppressive effects of genistein on oxidative stress and NF- $\kappa$ B activation in RAW 264.7 macrophages. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2003; 67 (9): 1916–22.
  49. Wu H.-J., Chan W.-H. Genistein protects methylglyoxal-induced oxidative DNA damage and cell injury in human mononuclear cells. *Toxicol in Vitro.* 2007; 21: 335–42.
  50. Kucher A.G., Kayukov I.G., Grigorieva N.D., Vasiliev A.N. Nutrition in different stages of chronic kidney disease. *Nefrologija i dializ [Nephrology and Dialysis]*. 2007; (9): 118–35. (in Russian)
  51. Ko G.J., Kalantar-Zadeh K., Goldstein-Fuchs J., Rhee C.M. Dietary approaches in the management of diabetic patients with kidney disease. *Nutrients.* 2017; 9: 824.
  52. Suckling R.J., He F.J., Macgregor G.A. Altered dietary salt intake for preventing and treating diabetic kidney disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2010; 12: CD006763.
  53. McMahon E.J., Campbell K.L., Bauer J.D., Mudge D.W. Altered dietary salt intake for people with chronic kidney disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015; 2: CD010070.
  54. Al-Solaiman Y., Jesri A., Zhao Y., et al. Low-Sodium DASH reduces oxidative stress and improves vascular function in salt-sensitive humans. *J Hum Hypertens.* 2009; 23 (12): 826–35.
  55. Heerspink H.J.L., Navis G., Ritz E. Salt intake in kidney disease – a missed therapeutic opportunity? *Nephrol Dial Transplant.* 2012; 27: 3435–42.
  56. Ritz E., Koleganova N., Piecha G.J. Role of sodium intake in the progression of chronic kidney disease. *Ren Nutr.* 2009; 19 (1): 61–2.
  57. Kolmakova E.V., Haller S.T., Kennedy D.J., et al. Endogenous cardiotoxic steroids in chronic renal failure. *Nephrol Dial Transplant.* 2011; 26 (9): 2912–9.
  58. Pimenta E., Gaddam K.K., Pratt-Ubunama M.N., et al. Relation of dietary salt and aldosterone to urinary protein excretion in subjects with resistant hypertension. *Hypertension.* 2008; 51 (2): 339–44.
  59. Wang Y., Chen X., Song Y., Caballero B., et al. Association between obesity and kidney disease: a systematic review and meta-analysis. *Kidney Int.* 2008; 73: 19–33.
  60. American Diabetes Association. 4. Lifestyle management. *Diabetes Care.* 2017; 40: S33–43.
  61. Shapiro H., Theilla M., Attal-Singer J., Singer P. Effects of polyunsaturated fatty acid consumption in diabetic nephropathy. *Nat Rev Nephrol.* 2011; 7: 110–21.
  62. ORIGIN Trial Investigators. Cardiovascular and other outcomes postintervention with insulin glargine and omega-3 fatty acids (ORIGINALE). *Diabetes Care.* 2016; 39: 709–16.
  63. Arora M.K., Singh U.K. Oxidative stress: meeting multiple targets in pathogenesis of diabetic nephropathy. *Curr Drug Targets.* 2014; 15 (5): 531–8.
  64. Miranda-Diaz A.G., Pazarin-Villasenor L., Yanowsky-Escatell F.G., Andrade-Sierra J. Oxidative stress in diabetic nephropathy with early chronic kidney disease. *J Diabetes Res.* 2016; 2016: 7047238.
  65. Plant sources of phytonutrients for foods for special uses with anti-diabetic actions. In: V.A. Tutelyan, T.L. Kiseleva, A.A. Kochetkova (eds). Moscow: Biblio-Globus, 2016: 422 p. (in Russian)
  66. Yoon S.P., Maeng Y.H., Hong R., et al. Protective effects of epigallocatechin gallate (EGCG) on streptozotocin-induced diabetic nephropathy in mice. *Acta Histochem.* 2014; 116 (8): 1210–5.
  67. Yamaguchi H., Igarashi M., Hirata A., et al. Progression of diabetic nephropathy enhances the plasma osteopontin level in type 2 diabetic patients. *Endocr J.* 2004; 51 (5): 499–504.
  68. Bolignano D., Cernaro V., Gembillo G., et al. Antioxidant agents for delaying diabetic kidney disease progression: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2017; 12 (6): e0178699.
  69. Ametov A.S. Type 2 diabetes mellitus. Problems and solutions. 3<sup>rd</sup> ed., revised and ext. Moscow: GEOTAR-Media, 2018; (9): 320 p. (in Russian)

**Для корреспонденции**

Никитин Николай Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», аспирант кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

Телефон: (495) 698-53-49

E-mail: nikolay\_sergeevich87@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5091-0991>

Никитин Н.С.<sup>1, 2</sup>, Кузнецов С.Л.<sup>2</sup>

## Влияние кверцетина на морфологические изменения при неалкогольной жировой болезни печени у крыс на рационе с повышенным содержанием фруктозы

Effect of quercetin on morphological changes in nonalcoholic fatty liver disease in high fructose-fed rats

Nikitin N.S.<sup>1, 2</sup>, Kuznetsov S.L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

<sup>1</sup> Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

<sup>2</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

**Цель исследования** – изучение влияния полифенола кверцетина на морфологические изменения у крыс при неалкогольной жировой болезни печени (НАЖБП), вызванной высокофруктозным рационом.

**Материал и методы.** В течение эксперимента длительностью 20 нед крысы (8 животных в каждой группе) 1-й группы получали стандартный полусинтетический рацион и воду; 2-й группы – стандартный рацион и 20% раствор фруктозы вместо воды; 3-й группы – стандартный рацион с добавлением кверцетина (0,1% от рациона) и 20% раствор фруктозы. Фиксированные формалином и обработанные парафином образцы печени были микротомированы, окрашены (гематоксилином и эозином, по Ван Гизону), оценены с использованием шкал SAF и NAS.

**Результаты и обсуждение.** Гистологическая оценка не выявила патологии в структуре печени крыс 1-й группы (S0A0F0; NAS – 0, фиброз – 0). В печени крыс 2-й группы были обнаружены мелко-, средне- и крупнокапельный стеатоз, воспаление без баллонной дистрофии гепатоцитов, перипортальный и перипортальный фиброз (S2A1F2; NAS – 3, фиброз – 2). У получавших кверцетин крыс 3-й группы в печени было выявлено существенное уменьшение стеатоза без выраженных изменений в показателях воспаления и фиброза (S1A1F2; NAS – 2, фиброз – 2) по сравнению с крысами 2-й группы.

**Для цитирования:** Никитин Н.С., Кузнецов С.Л. Влияние кверцетина на морфологические изменения при неалкогольной жировой болезни печени у крыс на рационе с повышенным содержанием фруктозы // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 16–21. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10062.

**Статья поступила в редакцию** 06.06.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Nikitin N.S., Kuznetsov S.L. Effect of quercetin on morphological changes in nonalcoholic fatty liver disease in high fructose-fed rats. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (6): 16–21. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10062. (in Russian)

**Received** 06.06.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

**Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о способности кверцетина препятствовать развитию НАЖБП у крыс, получавших рацион с повышенным содержанием фруктозы, за счет снижения выраженности гепатостеатоза.

**Ключевые слова:** неалкогольная жировая болезнь печени, гепатостеатоз, фруктоза, полифенолы, кверцетин

The **aim** of this study was to examine the effect of polyphenol quercetin on morphological changes in nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) in rats fed high-fructose diet.

**Material and methods.** For 20 weeks animals ( $n=8$  in each group) of the 1<sup>st</sup> group were given standard diet and water; the 2<sup>nd</sup> group – standard diet and 20% fructose solution; the 3<sup>rd</sup> group – standard diet with quercetin supplementation (0.1%) and 20% fructose solution. Formalin-fixed and paraffin-embedded liver samples were sectioned, stained (hematoxylin and eosin, Van Gieson's stain), evaluated with the use of the SAF and NAS scales.

**Results and discussion.** Histological assessment did not reveal pathology in the structure of the liver of the 1<sup>st</sup> group rats (S0A0F0; NAS – 0, fibrosis – 0). The 2<sup>nd</sup> group rat livers disclosed micro-, mid- and macrovesicular steatosis, inflammation without ballooning, pericellular and periportal fibrosis (S2A1F2; NAS – 3, fibrosis – 2). Quercetin-treated rats exhibited in liver significantly less steatosis without significant changes in inflammation and fibrosis features (S1A1F2; NAS – 2, fibrosis – 2) compared with rats of the 2<sup>nd</sup> group.

**Conclusion.** The data obtained demonstrate the ability of quercetin to inhibit the development of NAFLD in rats fed a diet with a high content of fructose, by reducing the severity of hepatosteatosis.

**Keywords:** nonalcoholic fatty liver disease, hepatic steatosis, fructose, polyphenols, quercetin

**Н**еалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) – хроническое заболевание, объединяющее спектр морфологических изменений в печени (стеатоз, стеатогепатит, фиброз, цирроз) у лиц, не употребляющих в чрезмерном количестве алкоголь ( $\leq 140$  и  $\leq 210$  мл этанола в неделю для женщин и мужчин соответственно). Распространенность НАЖБП (диагностирована у 37% пациентов амбулаторно-поликлинической практики) является одной из наиболее высоких среди хронических заболеваний печени в России и имеет выраженную тенденцию к росту [1]. Нарушение питания относят к числу основных причин НАЖБП. При этом особую роль отводят повышению содержания в рационе фруктозы, что может приводить к активации *de novo* липогенеза и гепатостеатозу [2, 3]. Наиболее точным методом диагностики НАЖБП и определения тяжести заболевания является гистологическое исследование печени [1]. Для описания морфологических изменений в печени пациентов при НАЖБП предложены 2 оценочные шкалы: SAF (S – steatosis; A – activity; F – fibrosis) [5] и NAS (NAFLD Activity Score) [6], характеризующие выраженность стеатоза, фиброза, внутридолькового (лобулярного) воспаления и баллонной дистрофии гепатоцитов.

В настоящее время в качестве перспективных средств профилактики и лечения заболеваний печени рассматривают биологически активные вещества растительного происхождения [7, 8]. Среди полифенольных соединений пици к числу наиболее распространенных относится кверцетин (3,3',4',5,7-пентагидроксифлавоон), основными источниками которого в рационе человека являются

черный и зеленый чай, яблоки и репчатый лук. Совокупное поступление полифенола с рационом в среднем не превышает 40 мг/сут [9]. Анализ данных литературы свидетельствует о способности кверцетина оказывать гепатопротекторное действие. В условиях *in vitro* было показано снижение под действием кверцетина *de novo* липогенеза в клетках печени [10–12], в экспериментах *in vivo* установлено влияние кверцетина на метаболические процессы, окислительный стресс и воспалительный процесс [13–18], а также на развитие фиброза печени [4, 14]. Наряду с этим эффективность кверцетина в отношении НАЖБП остается малоизученной.

**Цель** данного исследования – изучение влияния кверцетина на морфологические изменения при НАЖБП, вызванной содержанием крыс на высокофруктозном рационе.

## Материал и методы

Исследование проводили на 3 группах крыс-самцов линии Wistar (8 животных в каждой группе), полученных из питомника филиала «Столбовая» ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий» ФМБА России. Исходная масса тела крыс составляла 135–165 г и статистически значимо не различалась между группами животных. В работе с крысами придерживались разработанных Советом международных научных медицинских организаций рекомендаций «Международные руководящие принципы биомедицинских исследований

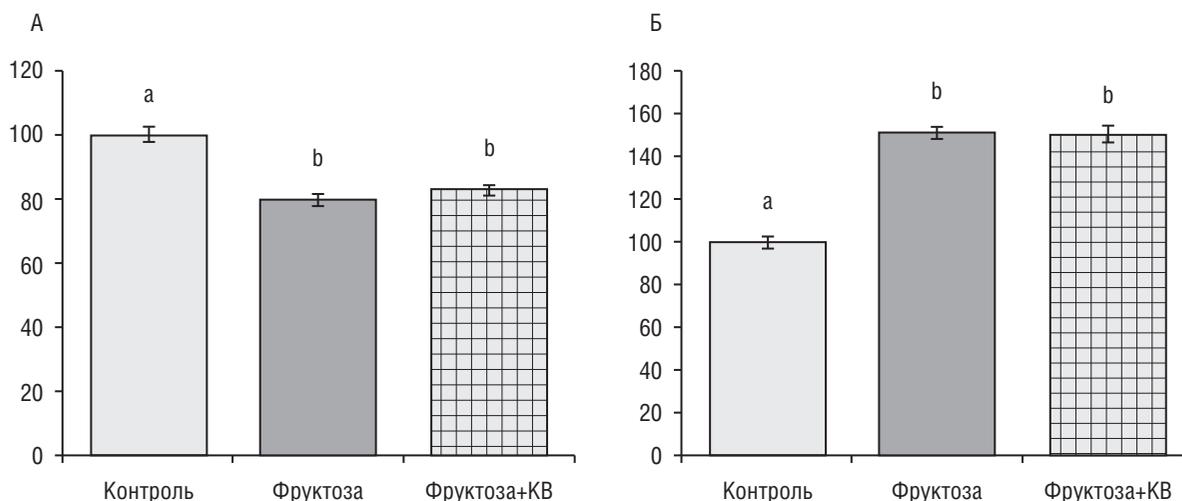


Рис. 1. Среднесуточное потребление крысами корма (А) и энергии (Б), % от контроля

Здесь и на рис. 2 показатели, имеющие статистически значимые различия, обозначены разными буквами (a и b); KB – кверцетин.

на животных» (2012 г.) и приказа Минздрава России от 01.04.2016 № 193н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики».

В работе использовали полусинтетический рацион на основе казеина (20%) с содержанием жира 10% [19]. Для моделирования НАЖБП питьевую воду заменяли на 20% раствор фруктозы [3]. В течение 20 нед крысы 1-й (контрольной) группы получали полусинтетический рацион и воду, животные 2-й группы – полусинтетический рацион и 20% раствор фруктозы вместо воды, а 3-й группы – полусинтетический рацион с добавкой кверцетина (Q4951, Sigma-Aldrich, США) в количестве 0,1% от рациона и 20% раствор фруктозы. Расчетное среднесуточное поступление кверцетина составило 34 мг на 1 кг массы тела, что было сопоставимо с дозами, применяемыми в модельных экспериментах на животных [12, 20]. Корм, воду и 20% раствор фруктозы давали *ad libitum*, ежедневно отмечая

величину их потребления. Животных декапитировали под эфирным наркозом с предварительным (за 16 ч) лишением корма и питья.

Для гистологического исследования отбирали фрагмент левой боковой доли печени, который после фиксации формалином, обработки парафином и микромирования, окрашивали гематоксилином и эозином (для обзорного осмотра), а также по Ван Гизону (для определения соединительной ткани). Осмотр гистологических препаратов проводили при увеличении  $\times 50$ ,  $\times 100$  и  $\times 200$ . Оценку проводили по 10 полям зрения каждого препарата. В целях стандартизации методических подходов и с учетом общности биохимических процессов и морфологических нарушений при НАЖБП у разных видов млекопитающих при описании структурных изменений в печени подопытных животных были использованы

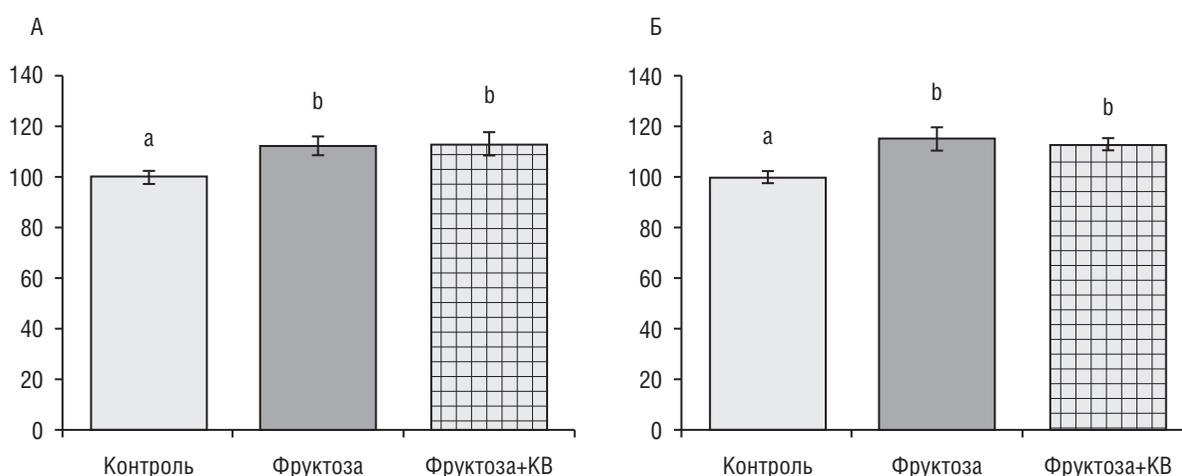


Рис. 2. Конечная масса тела животных (А) и относительная масса печени (Б), % от контроля

полуколичественные оценочные шкалы SAF и NAS. Дифференцировку стеатоза от баллонной дистрофии гепатоцитов проводили по характерным морфологическим признакам: при жировой дистрофии – по наличию единичных вакуолей круглой формы при сохранной структуре цитоплазмы в интактных участках и смещению ядра на периферию клетки; при баллонной дистрофии – по наличию нескольких вакуолей овальной формы и положению ядра в центре клетки.

Для установления статистически значимых различий ( $p < 0,05$ ) между группами животных использовали программное обеспечение Prism (GraphPad, США) с применением теста Краскела–Уоллиса и в качестве вторичного ретроспективного анализа – критерия множественного сравнения Данна.

## Результаты и обсуждение

Включение фруктозы в рацион крыс 2-й и 3-й групп приводило к снижению потребления ими корма (на 80 и 83% соответственно) относительно контроля (рис. 1). Однако при этом за счет употребления раствора фруктозы среднесуточная калорийность их рациона была выше, чем в контрольной группе (на 52 и 50% соответственно). У крыс, получавших фруктозу, было отмечено увеличение конечной массы тела (на 12% – во 2-й группе и на 13% – в 3-й) и относительной массы печени (на 15 и 13% соответственно) по сравнению с контролем (рис. 2).

В результате проведенных исследований были отмечены выраженные межгрупповые отличия в структуре

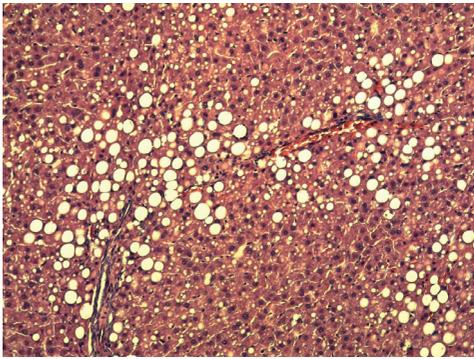
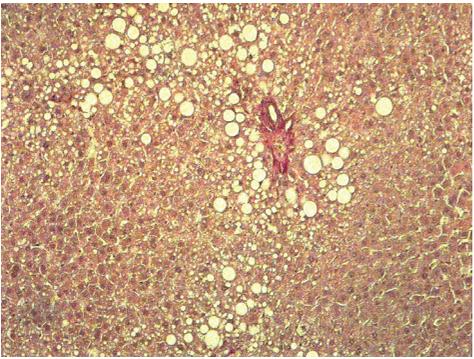
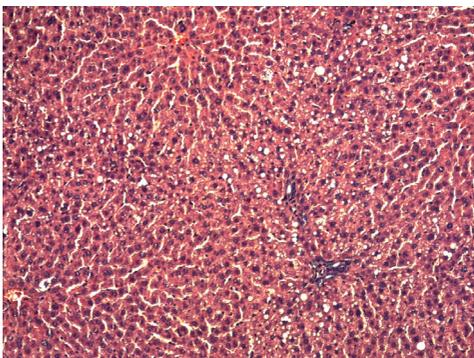
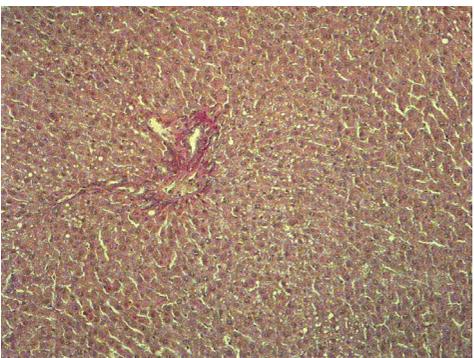
Группа животных	Окраска		Степень НАЖБП
	гематоксилин и эозин	Ван Гизон	
Контроль			S0A0F0
1-я опытная (фруктоза)			S2A1F2
2-я опытная (фруктоза + кверцетин)			S1A1F2

Рис. 3. Репрезентативные микрофотографии печени крыс (область портального тракта, увеличение  $\times 100$ )

НАЖБП – неалкогольная жировая болезнь печени.

изученных участков печени, при этом внутри одной группы животных гистологическая картина значимо не различалась (рис. 3).

В печени крыс 1-й группы во всех полях зрения не наблюдали отклонений от нормальной структуры печени: не обнаружено признаков стеатоза (липидные включения содержали <5% гепатоцитов), лобулярного воспаления и баллонной дистрофии гепатоцитов, а также фиброза. На основании оценки полученных данных был сделан вывод об отсутствии в печени крыс 1-й группы гистологических признаков НАЖБП: S0A0F0; NAS – 0 и фиброз – 0.

По сравнению с животными 1-й группы, получавшими воду в качестве питья, у крыс 2-й группы, получавших 20% раствор фруктозы, во всех полях зрения структура печени имела выраженные изменения: от 34 до 66% гепатоцитов содержали мелко-, средне- и крупнокапельные жировые включения; отмечалась умеренная (менее 2 фокусов воспаления в пределах 1 дольки) воспалительная инфильтрация лимфоплазмочитарными элементами портальных трактов при отсутствии баллонной дистрофии гепатоцитов; выявлено разрастание соединительной ткани в пространстве Диссе (в зоне 3 печеночного ацинуса) около отдельных гепатоцитов (перипортальный фиброз), а также около портальных трактов (перипортальный фиброз). Полученные данные свидетельствовали о наличии в печени крыс 2-й группы гистологических признаков НАЖБП: S2A1F2; NAS – 3, фиброз – 2.

В печени крыс 3-й группы, рацион которых содержал кверцетин, во всех полях зрения было отмечено существенное снижение выраженности стеатоза по сравнению с крысами 2-й группы: жировые включения были выявлены в меньшем количестве гепатоцитов (от 5 до 33%) и представлены только мелкокапельными включениями. При этом не установлено значимого влияния кверцетина на показатели воспаления, баллонной дистрофии гепатоцитов или фиброза. Степень НАЖБП у крыс 3-й группы соответствовала S1A1F2; NAS – 2, фиброз – 2.

Полученные результаты подтверждают способность фруктозы приводить к развитию НАЖБП, особенно гепатостеатоза, который может быть обусловлен стимулированием *de novo* липогенеза, ингибированием  $\beta$ -окисления жирных кислот и нарушением выведения липидов из печени [11, 12, 18].

### Сведения об авторах

*Никитин Николай Сергеевич* – младший научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», аспирант кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии ФGAOY BO «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: nikolay\_sergeevich87@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5091-0991>

*Кузнецов Сергей Львович* – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой гистологии, цитологии и эмбриологии ФGAOY BO «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

E-mail: vakmedbiol@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0704-1660>

В нашем исследовании впервые, исходя из анализа научных работ, представленных в базе данных PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), было показано, что включение кверцетина в состав рациона крыс, получавших вместо воды 20% раствор фруктозы, препятствует развитию НАЖБП за счет уменьшения выраженности стеатоза. Механизм действия кверцетина при этом мог быть связан с ингибирующим влиянием данного полифенола на ферменты *de novo* липогенеза, в том числе опосредованном транскрипционными факторами SREBP-1c и ChREBP, а также индуцирующим действием полифенола на транскрипционный фактор PPAR $\alpha$ , стимулирующий  $\beta$ -окисление жирных кислот [11, 16]. Сходные результаты были получены в работе при использовании высокожирового рациона: кверцетин препятствовал развитию гепатостеатоза вследствие модулирующего действия на экспрессию генов липидного обмена [21]. Наряду с этим, в отличие от работы Marcolin и соавт. [10], в настоящем исследовании не установлено влияния кверцетина на выраженность баллонной дистрофии и воспаления, что может быть связано с различиями в условиях проведения экспериментов (в том числе использовании разных моделей НАЖБП и видов животных).

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о способности кверцетина препятствовать развитию НАЖБП у крыс, получавших рацион с повышенным содержанием фруктозы, за счет снижения выраженности гепатостеатоза.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории энзимологии питания ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» Г.В. Гусевой и И.В. Аксенову за предоставленный для исследования гистологический материал и содействие в подготовке статьи к опубликованию.

**Финансирование.** Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. (тема № 0529-2014-0051).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Литература

- Лазебник Л.Б., Радченко В.Г., Голованова Е.В., Звенигородская Л.А. и др. Неалкогольная жировая болезнь печени: клиника, диагностика, лечение (рекомендации для терапевтов, 2-я версия) // *Терапия*. 2017. Т. 3, № 13. С. 6–23.
- Lim J.S., Mietus-Snyder M., Valente A., Schwarz J.M. et al. The role of fructose in the pathogenesis of NAFLD and the metabolic syndrome // *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 2010. Vol. 7. P. 251–264.
- Mamikutty N., Thent Z.C., Sapri S.R., Sahrudin N.N. et al. The establishment of metabolic syndrome model by induction of fructose drinking water in male Wistar rats // *BioMed. Res. Int.* 2014. Vol. 2014. Article ID 263897. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/263897>.
- Kanter M. Protective effect of quercetin on liver damage induced by biliary obstruction in rats // *J. Mol. Histol.* 2010. Vol. 41. P. 395–402.
- Bedossa P. FLIP Pathology Consortium. Utility and appropriateness of the fatty liver inhibition of progression (FLIP) algorithm and steatosis, activity, and fibrosis (SAF) score in the evaluation of biopsies of nonalcoholic fatty liver disease // *Hepatology*. 2014. Vol. 60. P. 565–575.
- Kleiner D.E., Brunt E.M., Van Natta M., Behling C. et al. Design and validation of a histological scoring system for nonalcoholic fatty liver disease // *Hepatology*. 2005. Vol. 41. P. 1313–1321.
- Van De Wier B., Koek G.H., Bast A., Haenen G.R. The potential of flavonoids in the treatment of non-alcoholic fatty liver disease // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017. Vol. 57. P. 834–855.
- Wu L., Yan M., Jiang J., He B. et al. Pure total flavonoids from citrus improve non-alcoholic fatty liver disease by regulating TLR/CCL signaling pathway: a preliminary high-throughput «omics» study // *Biomed. Pharmacother.* 2017. Vol. 93. P. 316–326.
- Тутельян В.А., Лашнева Н.В. Биологически активные вещества растительного происхождения. Флаванолы и флавоны: распространенность, пищевые источники, потребление // *Вопр. питания*. 2013. Т. 82, № 1. С. 4–22.
- Marcolin E., Forgiarini L.F., Rodrigues G., Tieppo J. et al. Quercetin decreases liver damage in mice with non-alcoholic steatohepatitis // *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.* 2013. Vol. 112. P. 385–391.
- Gnoni G.V., Paglialonga G., Siculella L. Quercetin inhibits fatty acid and triacylglycerol synthesis in rat-liver cells // *Eur. J. Clin. Invest.* 2009. Vol. 39. P. 761–768.
- Jung C.H., Cho I., Ahn J., Jeon T.I. et al. Quercetin reduces high-fat diet-induced fat accumulation in the liver by regulating lipid metabolism genes // *Phytother. Res.* 2013. Vol. 27. P. 139–143.
- Балакина А.С., Аксенов И.В., Трусов Н.В., Гусева Г.В. и др. Влияние куркумина и кверцетина на показатели защитного потенциала крыс при их раздельном и совместном действии // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 2. С. 14–22.
- Pavanato A., Tunon M. J., Sanchez-Campos S., Marroni C.A. et al. Effects of quercetin on liver damage in rats with carbon tetrachloride-induced cirrhosis // *Dig. Dis. Sci.* 2003. Vol. 48. P. 824–829.
- Enos R.T., Velázquez K.T., Carson M.S., McClellan J.L. et al. A low dose of dietary quercetin fails to protect against the development of an obese phenotype in mice // *PLoS One*. 2016. Vol. 11. Article ID e0167979.
- Formica J.V., Regelson W. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids // *Food Chem. Toxicol.* 1995. Vol. 33. Article ID 10611080.
- Kobori M., Masumoto S., Akimoto Y., Oike H. Chronic dietary intake of quercetin alleviates hepatic fat accumulation associated with consumption of a Western-style diet in C57/BL6J mice // *Mol. Nutr. Food Res.* 2011. Vol. 55. P. 530–540.
- Miltonprabu S., Tomczyk M., Skalicka-Wozniak K., Rastrelli L. et al. Hepatoprotective effect of quercetin: From chemistry to medicine // *Food Chem. Toxicol.* 2017. Vol. 108. P. 365–374.
- Тышко Н.В., Жминченко В.М., Пашорина В.А., Селяскин К.Е. и др. Сравнительная характеристика влияния экспериментальных рационов на рост и развитие крыс // *Вопр. питания*. 2011. Т. 80, № 5. С. 30–38.
- Yamamoto Y., Oue E. Antihypertensive effect of quercetin in rats fed with a high-fat high-sucrose diet // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2006. Vol. 70. P. 933–939.
- Jung C.H., Cho I., Ahn J., Jeon T.I. et al. Quercetin reduces high-fat diet-induced fat accumulation in the liver by regulating lipid metabolism genes // *Phytother. Res.* 2013. Vol. 27. P. 139–143.

## References

- Lazebnik L.B., Radchenko V.G., Golovanova E.V., Zvenigorodskaya L.A., et al. Nonalcoholic fatty liver disease: clinic, diagnostics, treatment (guidelines for the specialists on internal medicine, 2nd version). *Terapiya [Therapy]*. 2017; (3): 6–23. (in Russian)
- Lim J.S., Mietus-Snyder M., Valente A., Schwarz J.M., et al. The role of fructose in the pathogenesis of NAFLD and the metabolic syndrome. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2010; 7: 251–64.
- Mamikutty N., Thent Z.C., Sapri S.R., Sahrudin N.N., et al. The establishment of metabolic syndrome model by induction of fructose drinking water in male Wistar rats. *BioMed Res Int.* 2014; 2014: 263897. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/263897>.
- Kanter M. Protective effect of quercetin on liver damage induced by biliary obstruction in rats. *J Mol Histol.* 2010; 41: 395–402.
- Bedossa P. FLIP Pathology Consortium. Utility and appropriateness of the fatty liver inhibition of progression (FLIP) algorithm and steatosis, activity, and fibrosis (SAF) score in the evaluation of biopsies of nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology.* 2014; 60: 565–75.
- Kleiner D.E., Brunt E.M., Van Natta M., Behling C., et al. Design and validation of a histological scoring system for nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology.* 2005; 41: 1313–21.
- Van De Wier B., Koek G.H., Bast A., Haenen G.R. The potential of flavonoids in the treatment of non-alcoholic fatty liver disease. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2017; 57: 834–55.
- Wu L., Yan M., Jiang J., He B., et al. Pure total flavonoids from citrus improve non-alcoholic fatty liver disease by regulating TLR/CCL signaling pathway: a preliminary high-throughput «omics» study. *Biomed Pharmacother.* 2017; 93: 316–26.
- Tutelyan V.A., Lashneva N.V. Biologically active substances of plant origin. Flavonols and flavones: prevalence, dietary sources and consumption. *Voprosy pitaniia [Problem of Nutrition]*. 2013; 82 (1): 4–22. (in Russian)
- Marcolin E., Forgiarini L.F., Rodrigues G., Tieppo J., et al. Quercetin decreases liver damage in mice with non-alcoholic steatohepatitis. *Basic Clin Pharmacol Toxicol.* 2013; 112: 385–91.
- Gnoni G.V., Paglialonga G., Siculella L. Quercetin inhibits fatty acid and triacylglycerol synthesis in rat-liver cells. *Eur J Clin Invest.* 2009; 39: 761–8.
- Jung C.H., Cho I., Ahn J., Jeon T.I., et al. Quercetin reduces high-fat diet-induced fat accumulation in the liver by regulating lipid metabolism genes. *Phytother Res.* 2013; 27: 139–43.
- Balakina A.S., Aksenov I.V., Trusov N.V., Guseva G.V., et al. The influence of separate and combined supplementation with curcumin and quercetin on the protective capacity in rats. *Voprosy pitaniia [Problem of Nutrition]*. 2017. 86 (2): 14–22. (in Russian)
- Pavanato A., Tunon M. J., Sanchez-Campos S., Marroni C.A., et al. Effects of quercetin on liver damage in rats with carbon tetrachloride-induced cirrhosis. *Dig Dis Sci.* 2003; 48: 824–9.
- Enos R.T., Velázquez K.T., Carson M.S., McClellan J.L., et al. A low dose of dietary quercetin fails to protect against the development of an obese phenotype in mice. *PLoS One.* 2016; 11: e0167979.
- Formica J.V., Regelson W. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids. *Food Chem Toxicol.* 1995; 33: 10611080.
- Kobori M., Masumoto S., Akimoto Y., Oike H. Chronic dietary intake of quercetin alleviates hepatic fat accumulation associated with consumption of a Western-style diet in C57/BL6J mice. *Mol Nutr Food Res.* 2011; 55: 530–540.
- Miltonprabu S., Tomczyk M., Skalicka-Wozniak K., Rastrelli L., et al. Hepatoprotective effect of quercetin: From chemistry to medicine. *Food Chem Toxicol.* 2017; 108: 365–74.
- Tyshko N.V., Zhminchenko V.M., Pashorina V.A., Selyaskin K.E., et al. A comparative assessment of the diet influence on growth and development of rats. *Voprosy pitaniia [Problem of Nutrition]*. 2011; 80 (5): 30–8. (In Russian)
- Yamamoto Y., Oue E. Antihypertensive effect of quercetin in rats fed with a high-fat high-sucrose diet. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2006; 70: 933–9.
- Jung C.H., Cho I., Ahn J., Jeon T.I., et al. Quercetin reduces high-fat diet-induced fat accumulation in the liver by regulating lipid metabolism genes. *Phytother Res.* 2013; 27: 139–43.

**Для корреспонденции**

Денисова Елена Леонидовна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

Адрес: 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

Телефон: (499) 248-48-88

E-mail: Elenaldenisova88@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5141-1841>

Денисова Е.Л., Королев А.А., Никитенко Е.И., Кирпиченкова Е.В., Фетисов Р.Н., Козлов В.В., Онищенко Г.Г.

## Гигиеническая оценка содержания индолов в рационе студентов медицинского университета

Hygienic assessment of indoles in the diet of medical students

Denisova E.L., Korolev A.A., Nikitenko E.I., Kirpichenkova E.V., Fetisov R.N., Kozlov V.V., Onishchenko G.G.

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет)

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

*В ряде исследований показана связь между регулярным употреблением овощей семейства крестоцветные и снижением риска развития злокачественных опухолей некоторых локализаций, а также активацией механизмов алиментарной адаптации организма в условиях чужеродной нагрузки за счет индукции ферментов системы биотрансформации ксенобиотиков. Овощи семейства крестоцветные отличаются наличием минорных компонентов, образующихся при гидролизе глюкозинолатов, таких как индол-3-карбинол. Целью исследования было ретроспективное изучение содержания индолов в рационе студентов с последующим количественным анализом в различных группах сравнения. В исследовании участвовали 250 студентов медицинского университета в возрасте от 21 года до 27 лет. Для оценки фактического питания использовали анкеты-опросники, в которые были включены наиболее распространенные в Московском регионе пищевые источники индольных глюкозинолатов. Было установлено, что 44% опрошенных не включают в рацион крестоцветные овощи, а из тех, кто употребляет источники индолов (56% респондентов), лишь около половины получают их в рекомендуемом количестве. Как у мужчин, так у женщин чаще всего источником индолов была капуста белокочанная: ее включали в рацион 68% опрошенных из числа употреблявших крестоцветные овощи, за ней следовали пекинская капуста (16,3%) и брокколи (16,3%). Капусту цветную, редис, листовую капусту и хрен включали в рацион от 7,8 до 14,9% студентов. Реже всего употребляли репу – только 2,1% студентов. Достоверных различий в уровне потребления индолов у студентов с дефицитной, нормальной или избыточной массой тела не выявлено. Также отсутствовала корреляция между избыточной массой тела и потреблением различных источников индолов. Полученные результаты свидетельствуют о крайне низком уровне алиментарного поступления индол-3-карбинола.*

**Ключевые слова:** глюкозинолат, индолы, овощи семейства крестоцветные, капуста белокочанная, алиментарная адаптация

**Для цитирования:** Денисова Е.Л., Королев А.А., Никитенко Е.И., Кирпиченкова Е.В., Фетисов Р.Н., Козлов В.В., Онищенко Г.Г. Гигиеническая оценка содержания индолов в рационе студентов медицинского университета // *Вопр. питания.* 2018. Т. 87, № 6. С. 22–27. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10063.

**Статья поступила в редакцию** 09.07.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Denisova E.L., Korolev A.A., Nikitenko E.I., Kirpichenkova E.V., Fetisov R.N., Kozlov V.V., Onishchenko G.G. Hygienic assessment of indoles in the diet of medical students. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (6): 22–27. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10063. (in Russian)

**Received** 09.07.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

*A number of studies have shown the relationship between the regular consumption of cruciferous vegetables and the risk of malignant tumors in certain localizations, the activation of mechanisms of alimentary adaptation of the organism under conditions of alien loads, by inducing enzymes of the biotransformation system of xenobiotics. The cruciferous vegetables are distinguished by the presence of minor components, such as indole-3-carbinol, formed during the hydrolysis of glucosinolates. The aim of the investigation was a retrospective study of the content of indoles in students' diet with subsequent quantitative analysis in different comparison groups. The study involved 250 students from a medical university aged 21 to 27 years. To assess the actual nutrition, the developed questionnaires were used, which included the most common products in the Moscow region, sources of indole glucosinolates. It was found that 44% of the respondents didn't include cruciferous vegetables in the diet, and of those who consumed sources of indoles (56% of respondents), only about half received them in the recommended amount. It should also be noted that as in men, in women the most commonly used in the diet product as a source of indoles was cabbage, it was included in the diet of 68% of the respondents who used cruciferous vegetables, rarely pekin cabbage was used (16.3%) and broccoli (16.3%). Cauliflower, radishes, Kale and horseradish was included in the diet of 7.8–14.9% of the students. Less often turnip was consumed – only by 2.1% of the students. No significant differences in the consumption of indoles in the student with deficient, normal or overweight was revealed. Also, there was no correlation between excess weight and the consumption of various indoles sources. The obtained results testify to the extremely low level of alimentary intake of indole-3-carbinol.*

**Keywords:** glucosinolate, indols, cruciferous vegetables, white cabbage, nutritional adaptation

Разработанной Всемирной организацией здравоохранения программе по борьбе с раком подчеркивается необходимость увеличения в рационе доли фруктов и овощей с целью алиментарной профилактики онкологических заболеваний [1]. Учитывая важность профилактической стратегии в области здорового питания, следует отметить, что регулярное потребление фруктов и овощей (особенно семейства крестоцветные) является потенциальным фактором снижения уровня хронических неинфекционных заболеваний, в том числе экологически обусловленных, патогенез которых связан с инициацией канцерогенеза [2, 3].

Овощи семейства крестоцветные в отличие от других растительных продуктов содержат существенные количества глюкозинолатов. Последние под действием фермента β-тиоглюкозидазы (мирозины) могут подвергаться гидролизу с образованием более активных индолсодержащих компонентов (например, индол-3-карбинола), которые играют значимую роль в функционировании защитно-адаптационных механизмов в условиях чужеродной нагрузки [3–5].

Интенсивная высокотемпературная кулинарная обработка овощей семейства крестоцветные инактивирует мирозиназу, снижая, таким образом, степень гидролиза глюкозинолатов в желудочно-кишечном тракте. Однако в ряде работ показано участие микрофлоры кишечника в процессах мирозиназного гидролиза глюкозинолатов, в том числе после тепловой обработки овощей [6–8]. В этой связи любые продукты и блюда, содержащие овощи семейства крестоцветные, следует учитывать в качестве источников индол-3-карбинола, независимо от их кулинарной обработки.

Биологическая роль индолов обусловлена их влиянием на ферментативную систему метаболизма ксено-

биотиков главным образом за счет индукции ферментов 1-й фазы биотрансформации ксенобиотиков (цитохрома P450 и его отдельных изоформ), увеличения в печени уровня восстановленного глутатиона и повышения активности глутатион-S-трансферазы [9–14]. В ряде исследований подтверждена способность индолов активировать апоптоз в опухолевых клетках за счет выработки проапоптотического белка [15], а также ингибировать ангиогенез посредством подавления фактора роста эндотелия сосудов [16]. В этой связи можно предположить, что алиментарный дефицит индолов снижает потенциал защитно-адаптационных систем организма.

Недостаточный уровень потребления глюкозинолатов в различных странах имеет разную степень выраженности, варьируя в зависимости от распространенности в питании различных видов крестоцветных растений. Так, на европейском континенте отмечается значительное доминирование различных видов капусты, в первую очередь белокочанной, цветной, листовой и брокколи, по сравнению с другими источниками индольных соединений [17].

**Цель исследования** – ретроспективное изучение содержания индолов в рационе студентов с последующим количественным анализом в различных группах сравнения.

## Материал и методы

В исследовании приняли участие 250 студентов медицинского университета в возрасте от 21 года до 27 лет (191 женщина и 59 мужчин). Для оценки фактического питания использовали анкеты-опросники, в которые также были включены антропометрические

**Таблица 1.** Содержание глюкозинолатов в овощах семейства крестоцветные (мг/100 г) [6]

Продукт	Общее количество глюкозинолатов
Капуста брюссельская	236,6
Листовая капуста	200,7
Хрен	160,1
Кольраби	109,3
Капуста белокочанная	108,9
Редис	92,5
Капуста кудрявая (кале)	89,4
Капуста цветная	62,0
Брокколи	61,1
Репа	56,0
Пекинская капуста	17,25

данные [18]. Для включения в анкеты-опросники были выбраны основные источники индолов (содержание глюкозинолатов не менее 15 мг в 100 г продукта), традиционные для питания жителей Московского региона: капуста белокочанная, цветная, пекинская, брюссельская, листовая, брокколи, кольраби, а также репа, хрен, редис [6]. Участники исследования отмечали в анкете продукты, употребляемые ими в день, предшествующий опросу, с указанием их количества. Чтобы не допустить формальных ошибок при ретроспективной идентификации респондентами продуктов в своих рационах, в анкете-опроснике были размещены фотографии овощей – источников индолов.

Среднесуточное количество потребления индолов оценивали на основании расчета количества крестоцветных овощей в рационе, исходя из данных о содержании индолов в пищевых продуктах (табл. 1) с учетом потерь при кулинарной обработке [19] и последующим сравнением с рекомендуемым суточным уровнем потребления [20].

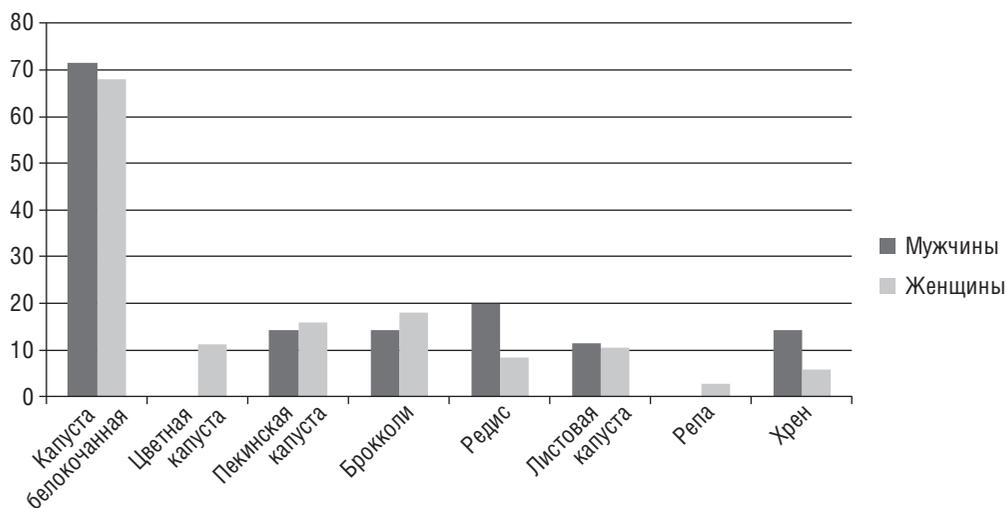
Статистический анализ полученных данных проводили с помощью программы SPSS for Windows (v.23.0)

(IBM, США). В описательной статистике результатов исследования для качественных признаков использовали абсолютные значения и процентные доли, для количественных вычисляли средние арифметические и средние квадратические отклонения. Для сравнения качественных характеристик использовали критерий  $\chi^2$  Пирсона, количественных характеристик –  $U$ -критерий Манна–Уитни. Проверку нормальности распределения количественных переменных осуществляли при помощи критерия Шапиро–Уилка. Различия между анализируемыми показателями считали статистически значимыми при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

В результате исследования было установлено, что 44% опрошенных не включали в рацион овощи семейства крестоцветные. В рационе остальных студентов присутствовали разнообразные источники индолов, но с разной частотой включения: капуста белокочанная отмечена в рационе 68,1% респондентов, пекинская капуста и брокколи – по 16,3%, капуста цветная – 14,9%, редис – 12%, листовая капуста – 10,6%, хрен – 7,8% и репа – 2,1%. Брюссельская капуста и кольраби не зарегистрированы в рационе ни одного респондента.

При сравнительном анализе источников индолов в рационах мужчин и женщин (см. рисунок) было установлено, что капуста белокочанная является самым распространенным продуктом в рационе обеих гендерных групп, что, очевидно, может быть связано с наибольшей доступностью данного овоща в европейской части нашей страны и широким ассортиментом блюд и продуктов, содержащих капусту белокочанную в качестве традиционного компонента. При этом статистически значимых различий между уровнем потребления капусты белокочанной у мужчин и женщин не выявлено. При анализе структуры рационов было выявлено, что



Частота включения источников индолов в рацион мужчин и женщин (в % от числа обследованных)

Таблица 2. Уровень содержания индолов в рационе мужчин и женщин

Группа обследованных	Уровень содержания индолов в рационе (в % от рекомендуемой величины)	Мужчины		Женщины	
		абс.	доля от всех мужчин, %	абс.	доля от всех женщин, %
1-я	100 и выше	20	33,9	53	27,8
2-я	75,0–99,9	3	5,1	4	2,1
3-я	50,0–74,9	1	1,7	21	11*
4-я	25,0–49,9	0	0	10	5,2
5-я	<24,9	11	18,6	17	8,9*
6-я	0 (источники индолов не зарегистрированы)	24	40,7	86	45,0

\* – статистически значимые различия между группами мужчин и женщин ( $p < 0,05$ ).

женщины чаще включали в свой рацион цветную капусту ( $p < 0,05$ ), в то время как мужчины – хрен и редис ( $p < 0,05$ ).

При анализе количественных характеристик содержания индолов в рационе вся выборка обследованных была разделена на 6 групп в зависимости от величины потребления индолов: 1-я группа – студенты, в рационе которых количество индолов было 100% и выше (max 324 мг – 648%) по сравнению с рекомендуемым уровнем (50 мг/сут), 2-я группа – 75,0–99,9%, 3-я группа – 50,0–74,9%, 4-я группа – 25,0–49,9%, 5-я группа – <24,9% (min 7,2 мг – 14,4%) и 6-я группа – отсутствие индолов в рационе.

В результате исследований установлено, что в рационе 29,2% студентов содержание индолов соответствовало рекомендованному уровню поступления, у 2,8% студентов находилось в интервале 75–99,9% от рекомендованного уровня, у 24,0% студентов – от 14,4 до 74,9%. В то же время в рационе 44,0% студентов регистрируемые источники глюкозинолатов отсутствовали (табл. 2).

При анализе содержания индолов в рационах установлено, что основной вклад в суточное поступление индольных соединений вносит капуста белокочанная, которая не только чаще других продуктов включается в рацион студентов (за счет ее широкого использования при приготовлении салатов, первых и вторых блюд), но и употребляется в существенном количестве (как правило, сотни граммов), значительно превосходя аналогичные показатели других пищевых источников индолов.

При сравнительной оценке структуры потребления индолсодержащих продуктов в различных группах обследованных (см. табл. 2) было установлено, что более половины респондентов 1-й группы (57,6%) включают в рацион 2 и более источника индолов, при отсутствии достоверных различий у мужчин и женщин. При этом в их рационе количество крестоцветных овощей составляет  $292 \pm 154$  г. У остальных студентов 1-й группы, включающих в рацион только один источник индолов (в 90% случаев – капусту белокочанную), количество овощей семейства крестоцветные составляет  $203 \pm 71$  г ( $p < 0,05$ ).

Аналогичная структура рациона была зафиксирована у респондентов 2-й и 3-й групп, но употребляемые ими порции индолсодержащих продуктов были меньшими по сравнению с 1-й группой. В рационах респондентов 5-й

группы вне зависимости от гендерной принадлежности наличие глюкозинолатов связано главным образом с использованием в питании небольшого количества (1–2 чайные ложки) продуктов на основе хрена.

Отдельный интерес, учитывая низкую энергетическую ценность овощей семейства крестоцветные, представлял вопрос о возможной взаимосвязи между уровнем потребления данных источников индолов и наличием избытка или дефицита массы тела. Среди опрошенных студентов избыточная масса тела (или ожирение) выявлена у 15,2% респондентов (индекс массы тела –  $31,7 \pm 2,1$  кг/м<sup>2</sup>). При этом избыточная масса тела была отмечена у 24 мужчин и у 14 женщин. Обратная ситуация зарегистрирована с дефицитом массы тела: 90,6% студентов с индексом массы тела <18,5 кг/м<sup>2</sup> – женщины. Установлено, что 34,2% студентов с избыточной массой тела не включали источники глюкозинолатов в рацион, а 23,7% получали их недостаточное количество, в основном за счет использования в питании единственного вида овощей семейства крестоцветные. В то же время отсутствовала корреляция между избыточной массой тела и потреблением отдельных источников индолов. Необходимо также отметить, что достоверных различий в уровне потребления индолов у студентов с дефицитной, нормальной или избыточной массой тела не выявлено.

## Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о крайне низком уровне алиментарного поступления индолов у студентов. Было установлено, что 44% опрошенных не включают в рацион овощи семейства крестоцветные, а из тех, кто употребляет источники индолов (56% респондентов), лишь около половины получают их в рекомендуемом количестве.

Наиболее часто используемым в питании источником индолов была капуста белокочанная, реже студенты включают в рацион пекинскую капусту, брокколи, капусту цветную, редис и листовую капусту. Продукт с максимальным содержанием глюкозинолатов – брюссельская капуста не отмечена в рационе ни у одного респондента. При этом в группах с высоким содержа-

нием индолов достоверных различий между уровнем потребления их основных источников у мужчин и женщин не выявлено.

Учитывая роль индол-3-карбинола в защитно-адаптационных механизмах, наличие в составе рациона его основных источников имеет исключительную важность. Обеспечение алиментарного поступления рекомендуемого количества индолов (не менее 50 мг/сут) возможно

при регулярном (5–7 раз в неделю) использовании в питании разнообразных овощей семейства крестоцветные в количестве 1–2 порций массой не менее 50–100 г каждая.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Сведения об авторах

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет):

*Денисова Елена Леонидовна* – кандидат медицинских наук, доцент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды

E-mail: Elenaldenisova88@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5141-1841>

*Королев Алексей Анатольевич* – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды

E-mail: korolev.a@1msmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2294-7444>

*Никитенко Елена Ивановна* – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2302-3008>

*Кирпиченкова Екатерина Васильевна* – ассистент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7594-8336>

*Фетисов Роман Николаевич* – ассистент кафедры экологии человека и гигиены окружающей среды

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1507-0672>

*Козлов Василий Владимирович* – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2389-3820>

*Онищенко Геннадий Григорьевич* – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой экологии человека и гигиены окружающей среды

E-mail: ecolog.n@1msmu.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0135-7258>

## Литература

- WHO International Agency for Research on Cancer. Fruit and vegetables. 2003. Vol. 8. 374 p.
- WHO International Agency for Research on Cancer. Cruciferous vegetables, isothiocyanates and indoles. 2003. Vol. 9. 262 p.
- Mutanen M., Pajari A.-M. Vegetables, whole grains, and their derivatives in cancer prevention. 2011. 250 p.
- Rouzaud G., Young S.A., Duncan A.J. Hydrolysis of glucosinolates to isothiocyanates after ingestion of raw or microwaved cabbage by human volunteers // *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 2004. Vol. 13, N 1. P. 125–131.
- Преображенская М.Н., Королев А.М. Индольные соединения в овощах семейства крестоцветных (Cruciferae) // *Биоорганическая химия.* 2000. Т. 26, № 2. С. 97–111.
- McNaughton S.A., Marks G.C. Development of a food composition database for the estimation of dietary intakes of glucosinolates, the biologically active constituents of cruciferous vegetables // *Br. J. Nutr.* 2003. Vol. 90, N 3. P. 687–697.
- Elfoul L., Rabot S., Khelifa N., Quinsac A. et al. Formation of allyl isothiocyanate from sinigrin in the digestive tract of rats mono-associated with a human colonic strain of *Bacteroides thetaiotaomicron* // *FEMS Microbiol. Lett.* 2001. Vol. 197. P. 99–103.
- Barba F.J., Nikmaram N., Roohinejad S., Khelifa A. et al. Bioavailability of glucosinolates and their breakdown products: impact of processing // *Front. Nutr.* 2016. Vol. 3, N 24. P. 1–12.
- Трусов Н.В., Гусева Г.В., Бекетова Н.А., Аксенов И.В. и др. Влияние дефицита витаминов в рационе крыс на индуцибельность цитохрома P450 // *Вопр. питания.* 2014. Т. 83, № 3. С. 4–11.
- Renwick A.B., Mistry H., Barton P.T., Mallet F. et al. Effect of some indole derivatives on xenobiotic metabolism and xenobiotic-induced toxicity in cultured rat liver slices // *Food Chem. Toxicol.* 1999. Vol. 37, N 6. P. 609–618.
- Riedl M.A., Saxon A., Diaz-Sanchez D. Oral sulforaphane increases phase II antioxidant enzymes in the human upper airway // *Clin. Immunol.* 2009. Vol. 130, N 3. P. 244–251.
- Hecht S.S. Inhibition of carcinogenesis by isothiocyanates // *Drug Metab. Rev.* 2000. Vol. 32, N 3–4. P. 395–411.
- Murillo G., Mehta R.G. Cruciferous vegetables and cancer prevention // *Nutr. Cancer.* 2001. Vol. 41, N 1–2. P. 17–28.
- Ye L., Zhang Y. Total intracellular accumulation levels of dietary isothiocyanates determine the activity in elevation of cellular glutathione and phase 2 detoxication enzymes // *Carcinogenesis.* 2001. Vol. 22. P. 1987–1992.

15. Hu R., Kim B.R., Chen C. The roles of JNK and apoptotic signaling pathways in PEITC-mediated responses in human HT-29 colon adenocarcinoma cells // *Carcinogenesis*. 2003. Vol. 24. P. 1361–1367.
16. Wang M.L., Shih C.K., Chang H.P., Chen Y.H. Antiangiogenic activity of indole-3-carbinol in endothelial cells stimulated with activated macrophages // *Food Chem*. 2012. Vol. 134, N 2. P. 811–820.
17. Agudo A., Ibanez R., Amiano P., Ardanaz E. et al. Consumption of cruciferous vegetables and glucosinolates in a Spanish adult population // *Eur. J. Clin. Nutr*. 2008. Vol. 62. P. 324–331.
18. Никитенко Е.И., Королев А.А., Кирпиченкова Е.В. Невитаминные каротиноиды: методика изучения частоты употребления // *Вопр. питания*. 2016. Т. 85, № 2. Прил. С. 208.
19. Naturally Occurring Antitumorigens. III. Indoles. Copenhagen: TemaNord 1996. 535 p.
20. МР 2.3.1.1915-04 Методические рекомендации. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. М., 2014. 41 с.

## References

1. WHO International Agency for Research on Cancer. Fruit and vegetables. 2003; 8: 374 p.
2. WHO International Agency for Research on Cancer. Cruciferous vegetables, isothiocyanates and indoles. 2003; 9: 262 p.
3. Mutanen M., Pajari A.-M. Vegetables, whole grains, and their derivatives in cancer prevention. 2011: 250 p.
4. Rouzaud G., Young S.A., Duncan A.J. Hydrolysis of glucosinolates to isothiocyanates after ingestion of raw or microwaved cabbage by human volunteers. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2004; 13 (1): 125–31.
5. Преобразованная М.Н., Королев А.М. Индолы в крестоцветных овощах. *Биоорганическая химия [Bioorganic Chemistry]*. 2000; 26 (2): 97–111. (in Russian)
6. McNaughton S.A., Marks G.C. Development of a food composition database for the estimation of dietary intakes of glucosinolates, the biologically active constituents of cruciferous vegetables. *Br J Nutr*. 2003; 90 (3): 687–97.
7. Elfoul L., Rabot S., Khelifa N., Quinsac A., et al. Formation of allyl isothiocyanate from sinigrin in the digestive tract of rats mono-associated with a human colonic strain of *Bacteroides thetaiotaomicron*. *FEMS Microbiol Lett*. 2001; 197: 99–103.
8. Barba F.J., Nikmaram N., Roohinejad S., Khelifa A., et al. Bioavailability of glucosinolates and their breakdown products: impact of processing. *Front Nutr*. 2016; 3 (24): 1–12.
9. Trusov N.V., Guseva G.V., Beketova N.A., Aksenov I.V., et al. The effect of vitamin deficiency in the diet of rats on the inducibility of cytochrome P450. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2014; 83 (3): 4–11. (in Russian)
10. Renwick A.B., Mistry H., Barton P.T., Mallet F., et al. Effect of some indole derivatives on xenobiotic metabolism and xenobiotic-induced toxicity in cultured rat liver slices. *Food Chem Toxicol*. 1999; 37 (6): 609–18.
11. Riedl M.A., Saxon A., Diaz-Sanchez D. Oral sulforaphane increases phase II antioxidant enzymes in the human upper airway. *Clin Immunol*. 2009; 130 (3): 244–51.
12. Hecht S.S. Inhibition of carcinogenesis by isothiocyanates. *Drug Metab Rev*. 2000; 32 (3–4): 395–411.
13. Murillo G., Mehta R.G. Cruciferous vegetables and cancer prevention. *Nutr Cancer*. 2001; 41 (1–2): 17–28.
14. Ye L., Zhang Y. Total intracellular accumulation levels of dietary isothiocyanates determine the activity in elevation of cellular glutathione and phase 2 detoxication enzymes. *Carcinogenesis*. 2001; 22: 1987–92.
15. Hu R., Kim B.R., Chen C. The roles of JNK and apoptotic signaling pathways in PEITC-mediated responses in human HT-29 colon adenocarcinoma cells. *Carcinogenesis*. 2003; 24: 1361–7.
16. Wang M.L., Shih C.K., Chang H.P., Chen Y.H. Antiangiogenic activity of indole-3-carbinol in endothelial cells stimulated with activated macrophages. *Food Chem*. 2012; 134 (2): 811–20.
17. Agudo A., Ibanez R., Amiano P., Ardanaz E., et al. Consumption of cruciferous vegetables and glucosinolates in a Spanish adult population. *Eur J Clin Nutr*. 2008; 62: 324–31.
18. Никитенко Е.И., Королев А.А., Кирпиченкова Е.В. Нон-витамин каротиноиды: методика изучения частоты употребления. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2016; 85 (2 Suppl): 208. (in Russian)
19. Naturally occurring antitumorigens. III. Indoles. Copenhagen: TemaNord 1996: 535 p.
20. MR 2.3.1.1915-04 Guidelines. Recommended levels of consumption of food and biologically active substances. Moscow, 2014: 41 p. (in Russian)

**Для корреспонденции**

Датхабаева Гаухар Кубеновна – кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник Казахской академии питания  
Адрес: 050000, Республика Казахстан, г. Алматы,  
ул. Клочкова, д. 66  
Телефон: (727) 375-92-03  
E-mail: gaukhar\_da@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0223-5826>

Шарманов Т.Ш., Салханова А.Б., Датхабаева Г.К.

## Сравнительная характеристика фактического питания детей в возрасте 9–10 лет

A comparative analysis  
of actual nutrition of children  
aged 9–10 years

Sharmanov T.Sh., Salkhanova A.B.,  
Datkhabayeva G.K.

Казахская академия питания, Алматы, Республика Казахстан  
Kazakh Academy of Nutrition, Almaty, Republic of Kazakhstan

*Цель исследования – провести сравнительный анализ структуры питания детей в возрасте 9–10 лет с разными антропометрическими показателями, проанализировать связь калорийности рациона и индекса массы тела (ИМТ) с параметрами пищевого рациона детей.*

*Материал и методы.* Основу наблюдения составили 2 группы детей в возрасте 9–10 лет, проживающих в Алматы: 1-я группа – 80 детей (40 мальчиков и 40 девочек) с ожирением, 2-я группа – 80 детей (40 мальчиков, 40 девочек) с нормальными массо-ростовыми показателями. В качестве диагностических критериев пищевого статуса служили массо-росто-возрастные стандарты Всемирной организации здравоохранения. Питание изучали методом 24-часового воспроизведения питания.

*Результаты.* Дети с ожирением потребляли все виды продуктов, за исключением сыра, творога, рыбы и яиц, в большем количестве (на 20–151%), чем их сверстники с нормотрофией. Все группы детей не выполняли норму потребления овощей в среднем в 1,7 раза, картофеля – в 1,4 раза, молока и/или жидких кисломолочных продуктов – в 2,6 раза, рыбы – в 4,9 раза, яиц – в 3,1 раза и превышали лимит потребления рафинированных продуктов (кондитерских изделий – в 5,6 раза, муки – в 2,9 раза). При этом вклад сахара, макарон и колбас в энергетическую ценность среднесуточного рациона (ЭЦР) был больше в рационе у детей с ожирением, чем у детей с нормотрофией. ЭЦР у детей с ожирением была больше, чем у сверстников с нормотрофией: у мальчиков  $2174 \pm 564$  против  $1625 \pm 343$  ккал, у девочек –  $2059 \pm 530$  против  $1532 \pm 293$  ккал. Рацион питания детей с ожирением был аналогичен рациону детей с нормотрофией по квоте макронутриентов в ЭЦР и характеру несбалансированности. Дисбаланс заключался в дефиците квоты углеводов при превышении квоты жиров и лимита потребления простых сахаров (в 2 раза) и насыщенных жиров (в 1,5 раза), в дефиците поступления пищевых волокон, витаминов А, D, группы В, цинка и кальция. Относительное содержание пищевых волокон в рационе у детей с ожирением было ниже, чем у детей с нормотрофией. В группе детей с ожирением повышение доли калорий от углеводов сопровождалось увеличением ЭЦР ( $\beta=0,5$ ,  $p=0,00$ ). Фактором риска повышенного ИМТ являлись ЭЦР ( $\beta=0,7$ ,

**Для цитирования:** Шарманов Т.Ш., Салханова А.Б., Датхабаева Г.К. Сравнительная характеристика фактического питания детей в возрасте 9–10 лет // Вопр. питания. 2018. Т. 87, № 6. С. 28–41. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10064.

**Статья поступила в редакцию** 13.06.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Sharmanov T.Sh., Salkhanova A.B., Datkhabayeva G.K. A comparative analysis of actual nutrition of children aged 9–10 years. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 28–41. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10064. (in Russian)

**Received** 13.06.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

$p=0,00$ ), отношения углеводов/пищевые волокна ( $\beta=0,2, p=0,05$ ), углеводы/жиры ( $\beta=0,3, p=0,01$ ), углеводы/белок ( $\beta=0,3, p=0,01$ ), квота углеводов ( $\beta=0,3, p=0,01$ ). Таким образом, рост ЭЦР и квоты углеводов, а также дефицит пищевых волокон являются факторами риска повышенного ИМТ.

**Ключевые слова:** дети, ожирение, структура питания, потребление энергии и пищевых веществ

**Aim of the study** is to carry out a comparative analysis of actual nutrition of children aged 9–10 years with different nutritional status, to assess relationships between Energy Value (EV) of diet, BMI and diet composition.

**Material and methods.** The study covers two groups of children residing in Almaty – 80 children aged 9–10 years with obesity (40 boys and 40 girls) and 80 normal-weight children (40 boys and 40 girls). To determine the nutritional status of the children, diagnostic criteria such as BMI-for-Age Z-score tables of WHO growth standards have been used. The nutrition was studied using the 24-hour recall method.

**Results.** The level of consumption across the entire range of food products, with the exception of cheese, cottage cheese, fish and eggs, turned out to be higher for the obese children with a difference range of 20–151% as compared to normal-weight children. Irrespectively of the nutritional status, all groups of children failed to achieve the recommended level of consumption of vegetables (1.7-fold less than recommended on average), potato (1.4-fold), milk and/or liquid fermented milk products (2.6-fold), fish (4.9-fold), eggs (3.1-fold), and consumed refined foods significantly higher than its limit level (confectionary items – 5.6-fold, flour – 2.9-fold). The contribution of sugar, pasta and sausages to EV of the diet was higher in diet of obese children as compared to normal-weight children. The daily Energy Intake (EI) for the obese children was significantly higher than for the normal-weight children. The obese boys consumed  $2174 \pm 564$  kcal whereas normal-weight boys –  $1625 \pm 343$  kcal, obese girls –  $2059 \pm 530$  kcal, normal-weight girls –  $1532 \pm 293$  kcal. The macronutrient composition of the diet for obese children differed from that of normal-weight children by increased proportions across all nutrients; however it didn't differ from the normal-weight children's diet in terms of the percentage content of macronutrients and the nature of imbalance. The imbalance took the form of a reduced quota of carbohydrates, excessive intake of simple carbohydrates (2-fold), saturated fats (1.5-fold), and a deficiency of dietary fibers, vitamins A, D, B group (thiamine, niacin, pantothenic acid, biotin, folic acid), zinc and calcium. The relative content of dietary fibers in the diet of obese children was lower than that in the diet of normal-weight counterparts. In obese children the percentage of carbohydrates contribution to EV of the diet served as a predictor of EI ( $\beta=0.5, p=0.00$ ). Elevated BMI was predicted by EI ( $\beta=0.7, p=0.00$ ), Carbohydrate to Fiber Ratio ( $\beta=0.2, p=0.05$ ), Carbohydrate to Fat Ratio ( $\beta=0.3, p=0.01$ ), Carbohydrate to Protein Ratio ( $\beta=0.3, p=0.01$ ), percentage of carbohydrate contribution to EV of the diet ( $\beta=0.3, p=0.01$ ). Thereby elevated BMI was predicted by EI, carbohydrate intake and by deficiency of the dietary fiber.

**Keywords:** children, obesity, diet composition, energy and nutrients intake

Избыточная масса тела и ожирение относятся к числу 5 основных факторов риска смертности в мире [1]. В связи с неуклонным ростом распространенности ожирения и тяжестью его последствий решение проблемы ожирения является неотложной задачей общественного здравоохранения [1, 2]. Наиболее острую озабоченность вызывает увеличение распространенности ожирения среди детей и подростков. На сегодняшний день она в 10 раз превышает показатели 1970-х гг., а за последние 15 лет в глобальном масштабе количество детей с ожирением в возрасте до 5 лет увеличилось с 31 до 41 млн [2]. В Казахстане также наблюдается рост распространенности ожирения среди всех половозрастных групп населения, включая детскую популяцию. Так, по данным Казахской академии питания, в 1995 г. избыточная масса тела и ожирение встреча-

лись у 9% детей до 5-летнего возраста, а в 2006 г. – уже у 11,4% [3]. Исследования за 2014 г. выявили избыточную массу тела и ожирение у 13,4% детей до 5-летнего возраста, у 17,6% детей в возрасте от 5 до 9 лет, и у 14,9% детей 10–14 лет [4]. Детское ожирение влечет за собой неблагоприятные последствия для физического и психосоциального здоровья, связано с пониженной успеваемостью в школе, является фактором риска развития многих заболеваний, в том числе психических расстройств [2, 5, 6]. От 30 до 80% тучных детей становятся тучными взрослыми [7], соответственно, детское ожирение является фактором риска преждевременной смертности от заболеваний, ассоциированных с ожирением [1, 2, 5].

Ожирение имеет полимодальную этиологию, обусловлено влиянием и взаимодействием множества фак-

торов, происходящих из медико-биологической, социальной и психологической сфер [8] и, соответственно, является междисциплинарной проблемой. Из биологических факторов, провоцирующих развитие ожирения, основополагающим является нарушение равновесия между потребляемой и расходуемой энергией (продолжающийся длительное время положительный энергетический баланс) [9]. Возникновение положительного баланса обусловлено как повышением калорийности суточного рациона питания, так и снижением расхода энергии вследствие пониженной физической активности. В то же время в развитии ожирения значение имеет не только калорийность пищевого рациона, но и качественная структура питания [10]. В частности, избыточное потребление продуктов с высоким содержанием жира (особенно насыщенных жиров), добавленного сахара, но с низким содержанием клетчатки, микронутриентов, незаменимых полиненасыщенных жирных кислот является алиментарным фактором риска ожирения и препятствием для нормализации массы тела при ожирении [10–13]. Поскольку коррекция питания – главное условие как профилактики, так и лечения ожирения, необходимо изучать состояние фактического питания различных половозрастных групп населения с ожирением и нормотрофией, с тем чтобы разрабатывать обоснованные стратегии по профилактике и лечению ожирения.

**Цель** исследования – провести сравнительный анализ количественной и качественной структуры питания детей в возрасте 9–10 лет с разными антропометрическими показателями, проанализировать связь калорийности рациона питания с показателями его структуры и связь таких маркеров ожирения, как индекс массы тела (ИМТ) и доля жировой массы в общей массе тела, с параметрами пищевого рациона детей.

## Материал и методы

### Контингент детей, принявших участие в исследовании

Основу наблюдения составили 160 детей в возрасте 9–10 лет, проживающих в Алматы. Обследованные дети были разделены на 2 группы в зависимости от антропометрических показателей. 1-я группа – 80 детей (40 мальчиков и 40 девочек) с ожирением, 2-я группа – 80 детей (40 мальчиков, 40 девочек) с нормальными показателями физического развития, которые условно будут именоваться нормотрофией (поскольку из всей совокупности показателей пищевого статуса в расчет брались только антропометрические). Условием включения в исследование было подписание родителями детей информированного согласия.

### Определение показателей пищевого статуса

В настоящей работе пищевой статус детей оценивали по параметрам антропометрии без учета других показателей (уровня микронутриентов в сыворотке крови

и т.д.). Для определения антропометрических показателей измеряли рост механическим ростометром в положении стоя, обхват талии и бедер – измерительной лентой, массу тела, ИМТ, композиционный состав тела (оценивали методом биоэлектрического импеданса) – с использованием прибора Body Composition Monitor BF511 («Omron», Япония). В качестве диагностических критериев ожирения и нормотрофии служили массо-росто-возрастные стандарты Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по физическому развитию мальчиков и девочек. Для установления пищевого статуса детей применялись таблицы BMI-for-Age Z-score стандартов ВОЗ [14]. У детей и подростков 5–19 лет ожирению соответствуют значения ИМТ (BMI) по возрасту (age), превышающие медианные значения, указанные в таблицах Стандартных показателей физического развития детей более чем на 2 стандартных отклонения (Standard Deviation – SD), нормальным массо-ростовым параметрам – значения, укладываемые в диапазон от  $-1$  SD до  $+1$  SD от медианного.

### Изучение фактического питания

Фактическое питание изучали методом 24-часового воспроизведения питания путем 2-кратного интервьюирования респондента. Первое интервью проводили во время визита обследуемых в Казахскую академию питания, второе – дома у респондента с интервалом не менее 2 дней. Для объективизации воспроизведения объема съеденной пищи респонденты могли пользоваться разработанным Казахской академией питания альбомом фотографий традиционно используемых продуктов и блюд в натуральную величину. Массу каждого продукта, съедаемого в составе того или иного блюда (например, яйцо, мука, молоко в составе блинов), определяли на основе рецептуры блюд. Пищевую и энергетическую ценность среднесуточного рациона питания (ЭЦР) детей рассчитывали по специальной компьютерной программе, разработанной в Казахской академии питания на основе справочных сведений о химическом составе пищевых продуктов [15, 16].

Поскольку существуют половые, а в отношении микронутриентов и возрастные различия в физиологических потребностях в энергии и пищевых веществах, мы сопоставляли показатели питания обследованных детей с нормами физиологических потребностей, рекомендованными Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО)/ВОЗ для девочек и мальчиков 9–10 лет [17–21], отдельно в группах мальчиков и девочек с ожирением и нормальной массой тела. Качественную и количественную структуру среднесуточного набора потреблявшихся пищевых продуктов сопоставляли с нормативами, принятыми законодательством Казахстана [22].

### Статистический анализ

Для статистического анализа полученных данных применялись методы описательной и сравнительной

статистики. При вычислении среднегрупповых значений ( $M$ ) изучавшихся параметров также определяли величину стандартного отклонения  $SD$  ( $M \pm SD$ ). В качестве критерия статистической значимости различий между средними значениями групповых показателей изучавшихся параметров применяли  $t$ -критерий Стьюдента при сравнении показателей, имевших нормальное распределение, и непараметрический критерий Манна–Уитни – для показателей, распределение которых отличалось от нормального. Нормальность распределения проверяли при помощи критерия Колмогорова–Смирнова. Для сравнения частотных распределений номинативных данных использовался критерий  $\chi^2$ . Анализ связи калорийности среднесуточного рациона с различными показателями количественной и качественной структуры среднесуточного рациона питания, а также анализ связи ИМТ и доли жировой массы в общей массе тела с показателями фактического питания проводили с применением простого регрессионного и корреляционного анализа. Достоверными считали различия при уровне  $p \leq 0,05$ . Статистический анализ данных осуществлен при помощи программы SPSS, версия 16 (IBM, США).

## Результаты

### Антропометрические показатели

В табл. 1 представлены антропометрические параметры детей с ожирением и нормотрофией ( $M \pm SD$ ). Средний рост мальчиков с ожирением, который относится к категории «выше среднего», значимо не отличался ( $p=0,4$ ) от среднего роста мальчиков с нормотрофией, относящегося к категории «средний», при возрастных нормативах 132,6–142,7 см [23]. У девочек с ожирением средний рост, относящийся к категории «средний», был статистически значимо ( $p=0,01$ ) выше среднего роста девочек с нормотрофией, также принадлежащего категории «средний», при нормативных значениях 132,5–144,5 см [24]. Все измерявшиеся маркеры ожирения (масса тела, ИМТ, доля жировой массы в общей массе тела, длина обхвата талии и бедер, отношение обхвата талии к обхвату бедер) у детей с ожирением значимо превосходили таковые у детей без ожирения.

### Количественная структура продуктового состава среднесуточного рациона питания

В табл. 2 отражено количество основных видов пищевых продуктов в среднесуточном рационе питания у рассматриваемых групп детей, а также представлены рекомендуемые нормы потребления продуктов детьми 9–10 лет согласно законодательству Казахстана [22]. Под мясом подразумевается мясо говядины, баранины, птицы и т.д., под овощами – овощи без учета картофеля, под мукой – мука из теста пельменей, лагмана, мант, лапши, пирожков и т.д., под сахаром – только сахар, добавленный в чай, компоты, каши, творог, варенье/повидло/джемы (но не сахар из кондитерских изделий, включая мучные).

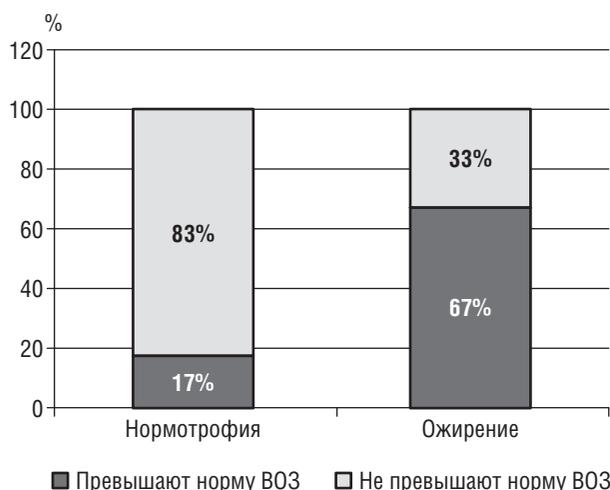
В качественной и количественной продуктовой структуре среднесуточного рациона питания детей с нормотрофией выявлены нарушения рекомендуемых норм потребления определенных видов пищевых продуктов. В частности, дети не выполняли норму потребления овощей в среднем в 1,8 раза, картофеля – в 1,7 раза, молока и/или жидких кисломолочных продуктов – в 3 раза, творога – в 2,8 раза, рыбы – в 4 раза, яиц – в 3,2 раза и превышали лимит потребления рафинированных технологически переработанных продуктов пищевой промышленности (кондитерских изделий – в 4,1 раза, муки – в 2,6 раза). Кроме того, потребление добавленного сахара детьми с нормотрофией превышало казахстанскую норму на 11%, даже без учета сахара из напитков промышленного производства и кондитерских изделий.

Дети с ожирением потребляли все виды продуктов (за исключением творога, сыра, рыбы и яиц) в большем количестве по сравнению с детьми с нормотрофией с разницей на 20–151%. При этом в качественной и количественной продуктовой структуре рациона питания у детей с ожирением выявлены нарушения, аналогичные таковым у детей с нормотрофией (сниженное потребление продуктов, рекомендованных к регулярному потреблению, и превышение лимита потребления рафинированных технологически переработанных продуктов пищевой промышленности). У детей с ожирением потребление овощей было меньше нормы в 1,5 раза, молока и/или жидких кисломолочных продуктов – в 2,2 раза,

Таблица 1. Антропометрические параметры детей с ожирением и нормотрофией ( $M \pm SD$ )

Показатель	Мальчики		Девочки	
	нормотрофия	ожирение	нормотрофия	ожирение
Рост, см	141,1±7,7	146,7±9,2	138,8± 6,9	143,1±7,6*
Масса тела, кг	33,1±4,4	52,8±12,7***	32,2±5,9	51,9±12,9***
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	16,8±1,7	24,0±3,3***	16,9±2,0	25,9±8,1***
Доля жировой массы в общей массе тела, %	17,7±6,7	31,9±4,5***	19,4±5,2	32,2±6,0***
Обхват талии, см	63,9±4,7	84,4±9,8***	62,9±6,2	83,5±6,4***
Обхват бедер, см	74,5±6,6	89,2±9,1***	73,3±6,7	89,2±7,8***
Отношение обхватов талии/бедер, %	87,0±7,7	92,3±9,2*	86,4±10,0	94,0±7,6**

Примечание. Статистическая значимость отличия от показателя детей с нормотрофией согласно  $t$ -критерию Стьюдента: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,001$ ; \*\*\* –  $p < 0,0001$ .



Частота встречаемости детей, превышавших и не превышавших норму суточной потребности в энергии, рекомендованную Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ)

творога – в 2,8 раза, рыбы – в 5,8 раза, яиц – в 3 раза, при этом они превышали лимит потребления кондитерских изделий в 7,2 раза, муки – в 3,2 раза, добавленного сахара – на 60%, даже без учета сахара из напитков промышленного производства и кондитерских изделий.

**Калорийность среднесуточного рациона питания**

В табл. 3 представлена энергетическая и пищевая ценность среднесуточного рациона питания в группах мальчиков и девочек с ожирением и нормальной массой тела вместе с нормативами ФАО/ВОЗ [17–21].

В группе детей с нормотрофией калорийность среднесуточного рациона питания была ниже рекомендованной ВОЗ нормы у мальчиков в среднем на 16%, у девочек – на 17%. На рисунке представлена частота встречаемости детей с ожирением и с нормотрофией, у которых калорийность дневного рациона превышала и не превышала норму суточной потребности в энергии, рекомендованную ВОЗ. Среди детей с нормотрофией оказалось почти в 5 раз больше ( $p=0,00$ ) тех, кто не превышал норму потребления энергии, рекомендованную ВОЗ.

Калорийность среднесуточного рациона у мальчиков с ожирением превышала рекомендованную ВОЗ норму на 11%, у девочек – на 12%. При этом ЭЦР детей с ожирением значимо превосходила ( $p=0,00$ ) калорийность рациона детей с нормотрофией в среднем на 26%. Как видно из рисунка, у 2/3 детей с ожирением ( $p=0,00$ ) потребление энергии превышало норму, рекомендованную ВОЗ.

Основной вклад в ЭЦР во всех группах детей вносили следующие виды продуктов: мясо (20%), масло растительное (10%), мучные кондитерские изделия (8%), крупы (7%), хлеб (7%), жидкие молочные продукты (6%), сахар-песок (5%), картофель (5%), конфеты/шоколад (4%), мука (4%), фрукты (4%), масло сливочное (3%), овощи (2%), макароны (2%), колбасы (2%), сыр (2%). Доля вклада в ЭЦР таких продуктов, как сахар, макароны и колбасные изделия, была значимо ( $p<0,05$ ) больше в рационе детей с ожирением по сравнению с рационом детей с нормальной массой тела (6% против 4%, 3% против 2% и 3% против 1% соответственно).

Таблица 2. Уровень потребления основных видов продуктов детьми с ожирением и нормальной массой тела ( $M\pm SD$ , г/сут)

Основные виды продуктов	Нормотрофия	Ожирение	Нормы Республики Казахстан [22]
Молоко и/или жидкие кисломолочные продукты	168,8±162,2	231,1±116,0***	500
Сливки и сметана	10,7±6,3	14,05±8,3*	12
Сыр	7,7±10,0	8,9±7,1	10
Творог	17,9±10,3	18,1±5,4	50
Масло сливочное	6,8±6,7	10±6,3***	30
Мясо	161,9±90,7	220,1±105,0**	100
Рыбные продукты	12,4±8,7	8,6±9,1	50
Яйца	15,8±16,6	16,3±21,0	50 (1 шт.)
Колбасные изделия	5,9±3,8	14,6±11,4**	–
Хлеб пшеничный	41,8±22,6	51,8±28,1*	110
Крупы	36,3±25,6	46,4±44,9*	40
Макаронные изделия	7,3±2,6	18,3±12,4***	15
Мука	21,1±13,9	25,4±17,6*	8
Картофель	115,0±55,1	194,4±140,9**	200
Овощи	138,4±152,6	166,8±167,8**	250
Фрукты	162,2±99,5	245,5±148,9***	150
Масло растительное	17,2±13,0	20,7±8,7**	15
Мучные кондитерские изделия	28,7±26,5	56,2±69,0**	10
Конфеты/шоколад	12,0±7,1	16,0±8,9*	
Добавленный сахар	44,5±39,4	63,8±44,9***	40

Примечание. Статистическая значимость отличия от показателя детей с нормотрофией согласно критерию Манна–Уитни: \* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,001$ ; \*\*\* –  $p<0,0001$ .

Таблица 3. Энергетическая и пищевая ценность среднесуточных рационов питания детей ( $M \pm SD$ )

Пищевые вещества и энергия	Мальчики				Девочки			
	нормотрофия	ожирение	норма ВОЗ		нормотрофия	ожирение	норма ВОЗ	
			9 лет	10 лет			9 лет	10 лет
ЭЦР, ккал	1625±343	2174±564***	1959		1532±293	2059±530***	1831	
Белок, г	55,9±16,7	77,4±25,2*	62		59,4±12,8	72,5±10,0*	58	
Белок на 1 кг массы тела, г/кг	1,7±0,5	1,8±0,6	0,99		2,0±0,6	1,5±0,5**	0,99	
Квота белка в ЭЦР, %	13,7±2,6	14,3±2,9	10–15		15,7±3,1	14,2±2,3	10–15	
Животный белок в общем количестве белка, %	65,1±11,6	65,8±11,1	60		70,5±9,7	66,7±9,4	60	
Жиры, г	79,1±23,6	94,3±22,2*	66		70,0±25,6	91,3±20,7*	62	
Квота жиров в ЭЦР, %	43,5±8,2	39,6±5,4	15–35		40,3±7,9	40,4±4,90	15–35%	
Доля НЖК в ЭЦР, %	16,1±6,1	14,2±4,9	Не более 10		14,9±3,7	15,1±4,3	Не более 10%	
Доля ПНЖК в ЭЦР, %	9,1±4,1	6,9±1,9	3–7		7,4±3,4	7,3±2,7	3–7%	
Отношение ПНЖК/НЖК	0,7±0,5	0,5±0,2	0,5–0,9		0,5±0,3	0,5±0,3	0,5–0,9	
Углеводы всего, г	166,1±42,7	245,8±87,0*	284		160,3±28,9	229,7±84,6***	267	
Квота углеводов в ЭЦР, %	41,2±7,0	44,6±6,3	50–65		42,5±7,6	44,0±6,0	50–65	
Крахмал, г	90,7±21,3	141,3±58,1*	–		84,5±20,1	125,7±55,1**	–	
Доля крахмала в ЭЦР, %	22,6±4,9	25,5±6,3	45–60		22,4±5,1	23,9±5,9	45–60	
Моно- и дисахариды, г	80,0±35,3	111,9±45,7*	Не более 50		80,8±21,4	110,9±40,8*	Не более 46	
Доля простых углеводов в ЭЦР, %	19,8±8,7	20,5±4,8	Не более 10%		22,5±6,2	21,6±4,4	Не более 10%	
Пищевые волокна, г	12,6±4,6	16,5±5,3*	16–24		11,5±2,6	14,4±4,6***	16–24	
Содержание пищевых волокон в ЭЦР, %	1,6±0,7	1,5±0,3	–		1,5±0,3	1,4±0,3	–	
Отношение углеводы/пищевые волокна	14,0±3,5	15,2±3,1	–		14,6±2,4	15,9±3,1*	–	
Холестерин, мг	227±143	301±210	Не более 300		263,0±132,1	279,9±160,3	Не более 300	
Кальций, мг	425±228	656±371*	700	1300	518,6±345,8	546,8±165,9	700	1300
Магний, мг	181±48	251±72*	100	250	188,6±42,4	228,3±62,2*	100	230
Железо, мг	9,1±2,6	12,8±3,6**	9	15	8,5±1,6	11,7±2,9**	9	14
Цинк, мг	6,4±2,2	8,0±2,6	5,6	8,6	6,0±1,5	7,8±2,2**	5,6	7,2
Селен, мкг	18,8±11,9	28,2±16,2	21	34	28,0±14,5	30,1±10,3	21	26
Витамин А, мкг РЭ	373±208	562±288*	500	600	258,5±120,1	297,6±99,7*	500	600
Витамин D, мкг	0,6±0,4	1,0±0,7*	5	5	0,8±0,3	1,0±0,5	5	5
Витамин E, мг	12,9±7,1	15,7±6,0	7,0	7,5	11,6±6,9	15,7±5,5**	7,0	7,5
Тиамин, мг	0,6±0,1	0,8±0,3**	0,9	1,2	0,6±0,2	0,8±0,2**	0,9	1,1
Рибофлавин, мг	0,8±0,2	1,2±0,5**	0,9	1,3	0,9±0,3	1,1±0,3*	0,9	1,0
Ниацин, мг НЭ	9,1±3,9	12,9±4,0**	12	16	9,8±3,2	11,9±3,2**	12	16
Пиридоксин, мг	1,3±0,4	1,7±0,5**	1,0	1,3	1,3±0,3	1,7±0,5**	1,0	1,2
Цианокобаламин, мкг	2,2±1,0	2,8±1,1	1,8	2,4	2,2±0,8	2,8±1,2**	1,8	2,4
Фолат, мкг	91,5±27,1	138,6±105,2*	300	400	94,7±25,1	118,0±31,5**	300	400
Пантотеновая кислота, мг	2,3±0,8	3,2±1,1*	4,0	5,0	2,4±0,6	3,0±0,9**	4,0	5,0
Биотин, мкг	11,9±4,9	18,8±10,0*	20	25	14,4±5,1	15,9±5,5	20	25
Витамин C, мг	39,2±20,7	68,7±38,1**	35	40	54,9±31,1	50,0±32,4	35	40

Примечание. ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения; ЭРЦ – энергетическая ценность среднесуточных рационов питания; РЭ – ретиноловый эквивалент; НЭ – ниациновый эквивалент; НЖК – насыщенные жирные кислоты; ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты; статистическая значимость отличия от показателя детей с нормотрофией согласно t-критерию Стьюдента: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,001$ ; \*\*\* –  $p < 0,0001$ .

### Содержание белка в среднесуточном рационе питания

Процентный вклад белка в общую калорийность среднесуточного рациона детей с нормотрофией находился в пределах рекомендуемых ВОЗ значений (см. табл. 3). Величина доли полноценных животных белков [19] в общем количестве поступавшего белка в рационе детей с нормотрофией практически соответствовала рекомендациям потреблять белок животного происхо-

ждения в количестве 60% от общего количества поступающего белка. Оценка уровня суточного потребления белка из расчета на 1 кг массы тела ребенка показала, что в рационе детей с нормотрофией дефицита белка не наблюдалось. Кроме того, превышение безопасного уровня потребления белка, установленного ВОЗ на отметке 0,99 г/кг, не выходило за рамки двукратного превышения, т.е. потребление белка соответствовало рекомендациям ВОЗ [19].

Абсолютное содержание как общего белка, так и белка животного происхождения в суточном рационе у детей с ожирением было больше, чем у детей с нормотрофией. Вклад белка в общую ЭЦР детей с ожирением находился в пределах нормы, рекомендуемой ВОЗ, как и у детей с нормотрофией. Величина доли белка животного происхождения в общем количестве поступившего белка в рационе у детей с ожирением практически отвечала рекомендациям потреблять его в количестве 60% от общего количества поступающего белка. При этом доля белка в ЭЦР детей с ожирением статистически значимо не отличалась от таковой в рационе детей с нормотрофией. По количеству потребляемого белка на 1 кг массы тела в рационе тучных детей дефицита белка не наблюдалось. Превышение безопасного уровня потребления белка не выходило за рамки двукратного превышения, т.е. потребление белка детьми с ожирением также соответствовало рекомендациям ВОЗ [19].

Источником белка во всех группах детей служили мясо (в среднем на 43%), жидкие молочные продукты (9%), хлеб (6%), крупы (5%), творог (5%), мучные кондитерские изделия (4%), мука (4%), сыр (3%), яйца (3%), картофель (3%) и другие овощи (3%), конфеты/шоколад (2%), макароны (2%), рыба (2%), колбасные изделия (2%) и другие продукты.

#### **Содержание жиров в среднесуточном рационе питания**

Поступление абсолютного количества жиров (см. табл. 3) в рационе у детей с нормотрофией превосходило рекомендованное ВОЗ количество в среднем на 16,5%. Вклад жиров в общую калорийность среднесуточного рациона детей с нормотрофией в среднем составлял 42%, превышая верхний предел рекомендуемой нормы [17]. Среди детей с нормотрофией доля детей, превышавших жировую квоту, составила 77%. При этом дети превышали жировую квоту на 1–21% от верхнего предела 35%. Среди обследованных детей не оказалось не добирающих жировую квоту. Вклад насыщенных жиров (НЖК) в ЭЦР детей с нормотрофией составлял в среднем 15%, превышая рекомендуемый ВОЗ лимит в 1,5 раза. Среди детей с нормотрофией 94% обследованных превышали лимит потребления НЖК на 1–18% выше нормативного значения.

Поступление абсолютного количества жиров с рационом у детей с ожирением превосходило рекомендованный ВОЗ уровень в среднем на 45%. Таким образом, отклонение от рекомендаций по потреблению жиров было более выражено у детей с ожирением, чем у детей с нормотрофией. Абсолютное содержание жиров в рационе у детей с ожирением было больше, чем у детей с нормальной массой тела, на 24,5% (на 18,3 г/день). При этом процентный вклад жиров в общую калорийность среднесуточного рациона у детей с ожирением значимо не отличался от такового у детей с нормотрофией и составлял в среднем 42%, превышая верхний предел рекомендуемой нормы [17]. Среди детей с ожирением

доля детей, превышавших жировую квоту рациона, составила 80%. Превышение жировой квоты равнялось 1–14% от верхнего предела 35%. Процентный вклад насыщенных жиров в ЭЦР детей с ожирением, как и у детей с нормотрофией, в среднем составил 15%, превысив рекомендуемый ВОЗ лимит. 86% детей с ожирением превышали лимит потребления насыщенных жиров на 1–14%. Отношение полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) к насыщенным (ПНЖК/НЖК) отвечало рекомендациям ВОЗ и не имело различий у детей с нормотрофией и ожирением.

Дети получали жиры в составе мяса (34%), растительных масел (25%), сливочного масла (8%), жидких молочных продуктов (6%), мучных кондитерских изделий (5%), конфет/шоколада (5%), колбасных изделий (4%), сыра (3%), сливок и сметаны (3%), творога (2%); яиц (2%), рыбы (0,1%) и других продуктов. Из них источниками НЖК служили мясо (56%), сливочное масло (13%), растительное масло (8%), конфеты/шоколад (6%), сыр (4%), сливки и сметана (4%), творог (3%), жидкие молочные продукты (3%), яйца (2%), колбасы (1%).

#### **Содержание углеводов в среднесуточном рационе питания**

Дети с нормальными антропометрическими показателями физического развития не выполняли норму ВОЗ по абсолютному потреблению углеводов (см. табл. 3), не добирая в среднем 41%. Квота углеводов в ЭЦР у детей с нормотрофией в среднем была снижена на 8% от нижней границы нормы в 50% [19]. Среди детей с нормотрофией 91% обследованных не добирали квоту углеводов и не было таких, кто превышал ее. Также у этих детей удельный вклад крахмала в среднесуточную калорийность рациона был в 1,8 раза меньше нижней границы рекомендованной ВОЗ нормы [17]. При том что дети с нормотрофией не выполняли норму по потреблению сложных углеводов, в то же время они превышали рекомендуемый ВОЗ лимит по абсолютному и, соответственно, относительному потреблению простых сахаров [17]. По абсолютному поступлению простых сахаров превышение лимита составило 62,5%. Удельный вклад моно- и дисахаридов в калорийность среднесуточного рациона у детей с нормотрофией превышал норму более чем в 2 раза. 95% детей с нормотрофией превышали лимит потребления простых сахаров с разницей на 1–36% от нормативного значения.

Дети с ожирением, как и дети с нормотрофией, не выполняли норму ВОЗ по абсолютному потреблению углеводов, но в меньшей степени, не добирая в среднем 13,5%. Абсолютное содержание углеводов в среднесуточном рационе у детей с ожирением было больше, чем у детей с нормотрофией в среднем на 45,5%. Квота углеводов в ЭЦР детей с ожирением в среднем была ниже на 6% от нижней границы нормы в 50% [20]. Среди детей с ожирением все обследованные не добирали квоту углеводов. Абсолютное потребление крахмала детьми с ожирением превосходило показатель у детей с нормотрофией на 52,5%. При этом величина удель-

ного вклада крахмала в среднесуточную калорийность рациона детей с ожирением была больше такового у детей с нормотрофией на уровне тенденции ( $p=0,10$ ) и была в 2 раза меньше значения нижней границы рекомендованной ВОЗ нормы [17]. Дети с ожирением, как и дети с нормотрофией, не выполняли норму по потреблению сложных углеводов, но превышали лимит потребления простых сахаров как в плане их абсолютного потребления, так и в плане их удельного вклада в ЭЦР. По абсолютному поступлению простых сахаров превышение лимита составило в среднем 125%. В сравнении с детьми с нормотрофией тучные дети потребляли простых сахаров больше в среднем на 39% (на 31 г/день). Однако величина удельного вклада простых сахаров в ЭЦР у детей с ожирением не отличалась от таковой у детей с нормотрофией и превышала рекомендованный ВОЗ лимит (10%) более чем в 2 раза, как и у детей с нормотрофией. Все обследованные дети с ожирением превышали лимит потребления простых сахаров на 1–20% от нормативного значения.

Источником углеводов во всех группах детей служили крупы (14%), хлеб (12%), мучные кондитерские изделия (12%), сахар-песок (12%), картофель (9%), фрукты (8%), мука (8%), соки и напитки промышленного производства (6%), жидкие молочные продукты (5%), макароны (4%), овощи (4%), конфеты/шоколад (4%) и другие продукты. Из них простые углеводы поступали в составе сахара (24%), фруктов (18%), соков и напитков (12%), мучных кондитерских изделий (11%), жидких молочных продуктов (10%), конфет/шоколада (9%), овощей (8%), картофеля (2%) и других продуктов. Таким образом, более 40% всех углеводов поступало в составе рафинированных продуктов пищевой промышленности.

### Содержание пищевых волокон в среднесуточном рационе питания

Потребление пищевых волокон с рационом детей с нормотрофией было меньше нижней границы нормы, рекомендованной ВОЗ [17], в среднем на 24,5% (на 4 г/сут, см. табл. 3). Дети с ожирением потребляли большее абсолютное количество пищевых волокон по сравнению с детьми с нормотрофией в среднем на 26,5%. Среднее потребление пищевых волокон мальчиками с ожирением находилось на уровне нижней границы нормы, а девочки с ожирением не добивали 10% (2 г/сут) до нижней границы нормы. Хотя пищевые волокна не имеют энергетической ценности, так как не перевариваются пищеварительной системой организма человека, ФАО выработало рекомендацию по оценке их относительного содержания в пищевом рационе, приравнивая калорийность пищевых волокон к величине 2 ккал на 1 г пищевых волокон [25], поскольку часть пищевых волокон (растворимые пищевые волокна) может ферментироваться микрофлорой кишечника с выработкой жирных кислот, которые организм человека может использовать для производства энергии [26]. Другим способом оценки относительного содержания пищевых волокон в рационе является вычисление отношения

абсолютного количества углеводов (в г) в суточном рационе к абсолютному количеству пищевых волокон (в г) [27]. Как мы уже отметили, дети с ожирением превосходили детей с нормотрофией по абсолютному потреблению пищевых волокон. Однако относительное содержание пищевых волокон в рационе питания детей с нормотрофией было больше, чем у детей с ожирением. В частности, величина отношения углеводы/пищевые волокна была значимо ( $p=0,05$ ) выше в группе детей с ожирением на 9%. Источником пищевых волокон у всех обследованных детей служили овощи (19%), фрукты (18%), картофель (12%), крупы (14%), хлеб (12%), мука (8%), мучные кондитерские изделия (5%), макароны (4%) и другие продукты. Иначе говоря, почти 40% пищевых волокон поступало в составе продуктов, не являющихся их богатыми источниками.

### Корреляционные связи между параметрами пищевого рациона

Калорийность рациона питания является важнейшей детерминантой пищевого статуса индивидуума. В этой связи был проведен простой регрессионный и корреляционный анализ для выявления того, какие параметры макронутриентной структуры рациона питания детерминируют величину ЭЦР у детей с ожирением и нормотрофией. При проведении простого регрессионного анализа ЭЦР была определена как зависимая переменная. В качестве независимых факторов риска (параметров рациона питания, предсказывающих величину ЭЦР, имеющих с ЭЦР прямую или обратную связь) выступали следующие параметры структуры пищевого рациона: отношения углеводы/пищевые волокна, углеводы/жиры, углеводы/белок, крахмал/простые сахара, ПНЖК/НЖК, животный белок/растительный белок, квоты белка, жиров, углеводов в ЭЦР и процент калорий пищевых волокон в ЭЦР. В табл. 4 представлены результаты простого регрессионного анализа связи обозначенных выше параметров пищевого рациона детей с величиной ЭЦР. В табл. 5 отражены коэффициенты корреляции Пирсона между ЭЦР, процентным содержанием макронутриентов (квотами макронутриентов) и пищевых волокон в рационе питания у детей с нормотрофией и ожирением.

Методом простой линейной регрессии выявлено (см. табл. 4), что у детей с нормотрофией калорийность среднесуточного рациона питания статистически достоверно предсказывается следующими параметрами пищевого рациона: величинами отношений углеводы/пищевые волокна, углеводы/жиры, квотой жиров, углеводов и пищевых волокон в ЭЦР. Положительный знак частного коэффициента корреляции  $\beta$  между ЭЦР и отношением углеводы/пищевые волокна и отрицательный – между ЭЦР и процентом калорий пищевых волокон в ЭЦР означает, что у детей с нормотрофией увеличение потребления пищевых волокон сопровождается снижением ЭЦР. Согласно данным табл. 4, ЭЦР у детей с нормотрофией возрастает при повышении квоты жиров за счет сокращения доли углеводов в ЭЦР. Как

**Таблица 4.** Коэффициенты регрессии  $R$  и частные коэффициенты корреляции  $\beta$  между энергетической ценностью среднесуточного рациона питания и параметрами пищевого рациона детей

Параметры пищевого рациона	Дети с нормотрофией			Дети с ожирением		
	$R^a$	$\beta^b$	$\rho$	$R^a$	$\beta^b$	$\rho$
Углеводы/пищевые волокна <sup>в</sup>	0,4	0,4	0,01	0,2	0,2	0,20
Углеводы/жиры <sup>в</sup>	0,4	-0,4	0,01	0,4	0,4	0,00
Углеводы/белок <sup>в</sup>	0,2	-0,2	0,35	0,3	0,3	0,07
Крахмал/простые сахара <sup>в</sup>	0,2	-0,2	0,35	0,1	0,1	0,40
ПНЖК/НЖК <sup>в</sup>	0,1	0,1	0,37	0,0	0,0	0,92
Животный белок/растительный белок <sup>в</sup>	0,2	0,2	0,19	0,2	-0,2	0,27
Квота белков в ЭЦР	0,2	-0,2	0,30	0,1	-0,1	0,49
Квота жиров в ЭЦР	0,4	0,4	0,01	0,4	-0,4	0,01
Квота углеводов в ЭЦР	0,3	-0,3	0,04	0,4	0,4	0,02
Процент калорий от пищевых волокон в ЭЦР	0,4	-0,4	0,01	0,01	-0,01	0,92

Примечание. <sup>а</sup> – коэффициент регрессии  $R$ ; <sup>б</sup> – частный коэффициент корреляции  $\beta$ ; <sup>в</sup> – отношение между абсолютным количеством веществ в граммах; НЖК – насыщенные жирные кислоты; ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты; ЭЦР – энергетическая ценность среднесуточного рациона питания.

видно из табл. 5, между ЭЦР, процентным содержанием пищевых волокон и углеводов в рационе наблюдается отрицательная связь, а между ЭЦР и квотой жиров в ЭЦР – положительная. Квоты углеводов и жиров в ЭЦР находятся в обратной зависимости. Поэтому у детей с нормотрофией сдвиг пропорций поступающих жиров и углеводов в сторону увеличения доли жиров предсказывает повышение калорийности суточного рациона, а в сторону углеводов – понижение ЭЦР. Квота жиров отрицательно коррелирует с процентом пищевых волокон в ЭЦР. Таким образом, у детей с нормотрофией при предпочтении пищи, богатой жирами, из рациона вытесняются продукты, богатые углеводами и пищевыми волокнами. Квота углеводов и процент пищевых волокон в ЭЦР связаны положительно, что отражает закономерное явление, так как углеводсодержащие продукты (крупы, овощи и т.д.) являются естественными носителями пищевых волокон.

Простой регрессионный анализ показал, что у детей с ожирением калорийность среднесуточного пищевого рациона статистически достоверно предсказывается величинами отношений углеводы/жиры, квотами жиров и углеводов в ЭЦР и на уровне тенденции – величиной отношения углеводы/белок (см. табл. 4). Данные табл. 4 и 5 свидетельствуют о том, что у детей с ожирением калорийность рациона повышается при сдвиге про-

порций жиров и углеводов в сторону увеличения доли углеводов и понижается при сдвиге пропорций в сторону жиров. Согласно результатам корреляционного анализа (см. табл. 5), квоты углеводов и жиров в рационе детей с ожирением находятся в обратной зависимости, т.е. увеличение поступления углеводов сопряжено со снижением поступления жиров. Квота жиров в ЭЦР детей с ожирением положительно связана с квотой белка и отрицательно – с долей пищевых волокон в ЭЦР. Квота белка в рационе детей с ожирением имеет обратную связь с квотой углеводов и процентом калорий от пищевых волокон в ЭЦР. Чтобы выяснить с ростом доли каких белков, растительных или животных, – ассоциирован рост доли жиров в ЭЦР, был проведен корреляционный анализ, который показал, что величина доли жиров в ЭЦР тучных детей положительно связана ( $r=0,5$ ,  $p=0,00$ ) с долей животных белков и отрицательно ( $r=-0,6$ ,  $p=0,00$ ) – с долей растительных белков. Таким образом, по всей видимости, у детей с ожирением предпочтение животной белковой пищи, богатой и жирами, ассоциировано с игнорированием растительных продуктов, являющихся источниками растительных белков, углеводов и пищевых волокон. Квота углеводов и процент пищевых волокон в ЭЦР у детей с ожирением связаны положительно, как и в рационе у их сверстников с нормотрофией.

**Таблица 5.** Коэффициенты корреляций между энергетической ценностью пищевого рациона, процентным содержанием макронутриентов (квотами) и пищевых волокон в рационе питания детей

Показатель	Дети с нормотрофией				Дети с ожирением			
	белок	жиры	углеводы	пищевые волокна	белок	жиры	углеводы	пищевые волокна
ЭЦР	-0,16	0,42*	-0,33*	-0,42*	-0,11	-0,41*	0,37*	-0,01
Белки	–	-0,09	-0,27	-0,13	–	0,39*	-0,69*	-0,41*
Жиры	–	–	-0,93*	-0,52*	–	–	-0,94*	-0,41*
Углеводы	–	–	–	0,51*	–	–	–	0,45*

Примечание. ЭЦР – энергетическая ценность среднесуточного рациона питания детей; \* –  $p < 0,05$ .

При объединении детей с ожирением и нормотрофией в единую группу оказалось, что ЭЦР имеет статистическую связь только с двумя из всех рассматриваемых параметров пищевого рациона. ЭЦР отрицательно коррелирует с процентом пищевых волокон в рационе ( $r=-0,2$ ,  $p=0,05$ ) и положительно – с отношением углеводов/пищевые волокна ( $r=0,3$ ,  $p=0,00$ ).

### **Связь индекса массы тела с параметрами среднесуточного пищевого рациона**

Для оценки связи риска ожирения с параметрами пищевого рациона все обследованные дети были объединены в единую группу. Простая линейная регрессия выявила, что предикторами величины ИМТ являются калорийность суточного рациона питания ( $\beta=0,7$ ,  $p=0,00$ ), величины отношений углеводы/пищевые волокна ( $\beta=0,2$ ,  $p=0,05$ ), углеводы/жиры ( $\beta=0,3$ ,  $p=0,01$ ), углеводы/белки ( $\beta=0,3$ ,  $p=0,01$ ), величины квоты жиров ( $\beta=-0,3$ ,  $p=0,03$ ) и углеводов ( $\beta=0,3$ ,  $p=0,01$ ) в ЭЦР. Знаки обозначенных частных коэффициентов  $\beta$  свидетельствуют о том, что более высокий уровень потребления энергии и рост величины отношения углеводы/пищевые волокна предсказывают повышенный ИМТ. Кроме того, сдвиг пропорций белка, жиров и углеводов в пищевом рационе в сторону увеличения доли углеводов предсказывает повышенный ИМТ. Корреляционный анализ выявил наличие прямой связи между долей жировой массы в общей массе тела и квотой углеводов в ЭЦР ( $r=0,24$ ,  $p=0,03$ ), что подтверждает наличие прямой связи между величиной доли углеводов в пищевом рационе с риском развития ожирения. Таким образом, увеличение доли углеводов за счет снижения пропорций белка и жиров в рационе, а также снижение пропорции пищевых волокон ассоциированы с усиленным накоплением жира в организме, обуславливающим повышение риска ожирения.

### **Содержание микронутриентов в среднесуточном рационе питания**

Дети с ожирением получали большее количество практически всех витаминов и минеральных веществ (по-видимому, за счет большего количества потребляемой пищи). Тем не менее витаминно-минеральный состав рациона оказался несбалансированным по ряду микронутриентов во всех группах детей независимо от их пищевого статуса. В частности, среди всех групп детей обнаружено сниженное поступление витаминов группы В (тиамина, ниацина, пантотеновой кислоты, биотина, фолиевой кислоты), витаминов А, D, макроэлемента кальция. У многих детей выявлена нехватка в рационе микроэлемента цинка. Дефицит поступления микронутриентов оценивали в процентах по отношению к рекомендуемому уровню потребления для девочек и мальчиков 9–10 лет [21]. Дефицит поступления тиамина составил от 24 до 45%, ниацина – 13–33%, пантотеновой кислоты – 31–48%, биотина – 25–41%, фолиевой кислоты – 64–73%, витамина А в ретиноловом эквиваленте (РЭ) – 27–44%, витамина D – 81–86%, кальция –

37–49%, цинка (исходя из рекомендуемого уровня потребления для рациона с умеренной биодоступностью цинка) – 0–12%.

### **Обсуждение**

Анализ фактического питания детей выявил нарушения качественной и количественной продуктовой структуры, а также дисбаланс пищевых веществ в рационах питания у всех обследованных групп детей независимо от их пищевого статуса. У детей с ожирением и нормотрофией отмечено недостаточное потребление ряда пищевых продуктов с высокой пищевой плотностью (особенно овощей, рыбы и молочных продуктов) при избыточном потреблении продуктов, произведенных путем рафинирования и других видов технологической переработки пищевого сырья, неизбежно сопровождающейся потерей эссенциальных микронутриентов и пищевых волокон. При этом нарушения продуктовой структуры среднесуточного рациона у детей с ожирением оказались более выраженными по сравнению с таковыми у детей с нормальной массой тела. В частности, доля вклада сахара и колбасных изделий в ЭЦР питания была значимо больше у детей с ожирением. Очевидно, что обозначенные нарушения продуктовой структуры питания детерминировали несбалансированность нутриентного состава пищевого рациона детей. Дисбаланс заключался в превышении квоты жиров за счет невосполнения квоты углеводов и в превышении лимита потребления простых углеводов, насыщенных жиров, а также в недостатке поступления пищевых волокон, витаминов А, D, группы В (тиамина, ниацина, пантотеновой кислоты, биотина, фолиевой кислоты) и кальция. Подобные нарушения питания отмечаются во многих исследованиях и отражают современную глобальную тенденцию изменения структуры питания населения: вытеснение из рациона цельных натуральных пищевых продуктов рафинированными, приводящее к избыточному потреблению легкоусвояемых углеводов и насыщенных жиров, дефициту потребления эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ [10–13, 28, 29]. Такая структура питания служит фактором риска многих нарушений здоровья, хронических неинфекционных заболеваний, включая болезни системы кровообращения, сахарный диабет 2 типа, ожирение [10–13].

Поскольку ожирение может развиваться в любом возрасте и хронически повышенное потребление энергии является важнейшим алиментарным фактором риска ожирения [9], мы проследили зависимость величины ЭЦР от структурных параметров пищевого рациона у детей, не страдающих ожирением. У детей с нормотрофией рост ЭЦР происходит с ростом пропорции жиров при снижении пропорции углеводов и количества пищевых волокон в рационе. На уровне тенденции рост ЭЦР связан с ростом пропорций животного белка по отношению к растительному и простым сахарам по отно-

шению к крахмалу. Таким образом, по всей видимости, риск повышенного потребления энергии у детей с нормотрофией возникает в условиях предпочтения детьми жирной мясной пищи и рафинированных углеводсодержащих продуктов при игнорировании растительных нерафинированных продуктов.

Рацион питания детей с ожирением был аналогичен рациону детей с нормотрофией по характеру несбалансированности и отличался от их рациона значительно более высокой калорийностью. В этой связи можно предположить наличие риска положительного баланса между поступлением и расходом энергии у детей с ожирением, препятствующего нормализации массы тела и создающего предпосылки для прогрессирования набора массы тела. Большая величина калорийности рациона у детей с ожирением была обусловлена тем, что они потребляли большее абсолютное количество всех пищевых веществ по сравнению со сверстниками с нормотрофией. Относительное процентное содержание пищевых волокон было больше в рационе у детей с нормотрофией по сравнению с рационом детей с ожирением, что косвенно свидетельствует о более высокой энергетической плотности рациона тучных детей по сравнению с рационом детей с нормотрофией и согласуется с многочисленными данными о прямой связи риска ожирения с энергетической плотностью рациона питания [12, 30]. Большая величина отношения углеводы/пищевые волокна в рационе у детей с ожирением по сравнению с таковой в рационе сверстников с нормотрофией, с нашей точки зрения, служит отражением следующего обстоятельства. По-видимому, у детей с ожирением доля углеводов, поступающих в составе рафинированных углеводсодержащих продуктов, обедненных пищевыми волокнами, больше, чем таковая в рационе у детей с нормотрофией. Вывод подтверждается тем, что дети с ожирением превосходят сверстников с нормотрофией по абсолютному потреблению сахара и мучных кондитерских изделий, а также тем, что доли вклада сахара и макаронных изделий в ЭЦР у детей с ожирением значимо больше, чем таковые в ЭЦР у сверстников с нормотрофией. Прямая связь калорийности рациона детей с ожирением с отношениями углеводы/жиры, углеводы/белки, квотой углеводов в ЭЦР говорит о том, что у детей с ожирением энергоценность рациона возрастает при смещении пропорций белка, жиров и углеводов в рационе в сторону увеличения доли углеводов. Это наблюдение может означать, что дети, предпочитающие пищу с высоким содержанием углеводов, склонны к потреблению увеличенных порций блюд в силу повышенного аппетита [30] и/или привычного закрепившегося пищевого поведения, что и приводит в итоге к превышению калорийности рациона за счет увеличенного потребления всех групп макронутриентов. При объединении всех детей в единую группу обнаружено, что возрастание процентного содержания пищевых волокон в дневном рационе сопровождается снижением ЭЦР, а увеличение от-

ношения углеводы/пищевые волокна ассоциировано с ростом ЭЦР. Это закономерное явление объясняется снижением энергетической плотности рациона питания в силу присутствия пищевых волокон.

Риск повышенного ИМТ оказался положительно связан с энергетической ценностью и такими параметрами рациона, как отношения углеводы/пищевые волокна, углеводы/жиры, углеводы/белок, квота углеводов в ЭЦР. По всей видимости, выявленные связи также свидетельствуют о том, что приверженность к пище с большим содержанием углеводов ассоциирована со склонностью к перееданию. Положительная корреляция ИМТ с отношением углеводы/пищевые волокна также может свидетельствовать о том, что предпочтение рафинированных углеводсодержащих продуктов, лишенных пищевых волокон, цельным (естественным носителям пищевых волокон) создает условия для повышенной аккумуляции жира в организме, что в свою очередь повышает риск развития ожирения и препятствует нормализации массы тела. В настоящее время вопрос о специфической роли повышенного потребления белка, жиров или углеводов в развитии ожирения остается открытым [31–33]. Так, Romieu и соавт. [цит. по 31] сообщают, что женщины с ожирением потребляют больше калорий за счет жира, чем женщины с нормальной массой тела, и величина отношения углеводы/жиры в их рационе ниже, чем в рационе женщин с нормотрофией. Wurtman и соавт. обсуждают роль избыточного потребления углеводов в развитии ожирения и наличие повышенной тяги к пище с высоким содержанием углеводов у пациентов с ожирением [цит. по 31]. Bibiloni и соавт. [32] установили, что доля калорий за счет белка в рационе детей с избыточной массой тела и ожирением больше, чем у детей с нормотрофией. Saker и соавт. [33] не обнаружили различий между величинами квот белка и углеводов в рационе у детей с избыточной и нормальной массой тела и выявили увеличенную пропорцию жиров у детей с избыточной массой тела и ожирением по сравнению с рационом сверстников с нормотрофией. Установленным причинным фактором развития ожирения считается положительный баланс между поступлением и расходом энергии, создающийся за счет увеличения калорийности рациона и/или снижения физической активности, в течение длительного времени [9]. При этом исследователи отмечают, что риск повышенного ИМТ возникает при избыточном потреблении пищи, богатой углеводами и жирами. Как правило, продукты, богатые легкоусвояемыми углеводами, например кондитерские изделия, одновременно являются и источниками большого количества жиров. В нашем исследовании во всех группах детей кондитерские изделия служили источником белка на 6, жиров – на 10 и углеводов – на 18%. Кросс-секционный дизайн нашего исследования не позволяет проследить причинно-следственные связи между ЭЦР, ИМТ и макронутриентной структурой питания, а позволяет судить лишь о текущих особенностях питания

детей, страдающих и не страдающих ожирением. Для выявления алиментарных факторов, детерминирующих развитие ожирения, необходимы лонгитюдные исследования.

В оптимизации структуры питания нуждаются как дети с нормальными показателями физического развития, так и дети с ожирением. Детям с нормотрофией необходимо повысить до оптимального уровень потребления цельных круп, бобовых, молока и/или жидких кисломолочных продуктов, творога, сливочного масла, овощей, яиц и рыбы и ограничить потребление рафинированных продуктов, насыщенных жиров (за счет ограничения жирных мясных продуктов), не допуская при этом превышения калорийности рациона питания. Детям с ожирением необходимо снизить энергетическую ценность суточного рациона при соблюдении квоты продуктов питания, рекомендованных к регулярному употреблению, и строгом ограничении рафинированных продуктов, поскольку эти продукты отличаются высокой энергетической и пониженной пищевой плотностью. Такой пересмотр структуры питания сделает рацион сбалансированным. Для привития детям здоровых пищевых предпочтений важно составлять рацион питания семьи из нерафинированных продуктов, отличающихся высокой пищевой ценностью. Согласно данным литературы, правила питания, установленные в семье, формируют пищевое поведение детей и вне дома [34]. Соответственно, формирование у детей здорового пищевого поведения в семье является важной и эффективной стратегией профилактики алиментарно-зависимых заболеваний, в том числе ожирения.

## Заключение

Таким образом, структура рационов питания детей с ожирением и нормотрофией характеризовалась сходными отклонениями от оптимальных параметров. В продуктовой структуре питания всех групп детей независимо от пищевого статуса отмечался недостаток ряда продуктов, рекомендованных к регулярному употреблению, при избытке рафинированных продуктов с высокой энергетической и низкой пищевой плотностью, а в поступлении пищевых веществ – дисбаланс. Дисбаланс заключался в превышении квоты жиров за счет сокращения квоты углеводов, превышении лимита потребления простых углеводов, насыщенных жиров, а также недостатке пищевых волокон и дефиците ряда микронутриентов. В то же время рацион питания детей с ожирением имел более глубокие нарушения в сравнении

с рационом детей с нормотрофией. В частности, у детей с ожирением отмечалось превышение нормы физиологической потребности в энергии, рекомендованной ВОЗ, а также более выраженное отклонение от оптимальной продуктовой структуры питания в части потребления калорийных рафинированных продуктов промышленного производства (добавленного сахара, мучных кондитерских и колбасных изделий). Структура продуктового набора рациона детей нашла отражение в параметрах пищевой и энергетической ценности рационов. У детей с ожирением доля вклада сахара и колбасных изделий в энергетическую ценность рациона была больше таковой в рационе у детей с нормотрофией. Кроме того, отношение углеводы/пищевые волокна в рационе у детей с ожирением также было больше. Совокупность перечисленных наблюдений позволяет заключить, что в рационе детей с ожирением доля рафинированных углеводсодержащих продуктов, обедненных клетчаткой, больше, чем таковая в рационе у сверстников с нормотрофией.

У детей с ожирением повышение калорийности рациона положительно коррелирует со смещением пропорций белков, жиров и углеводов в рационе в сторону увеличения доли углеводов, а также с повышением величины отношения углеводы/пищевые волокна. Объединение всех обследованных детей в общую группу выявило, что риск повышенного ИМТ положительно связан с энергетической ценностью среднесуточного рациона питания детей, со сдвигом пропорций белков, жиров и углеводов в рационе в сторону увеличения доли углеводов и со смещением пропорции всех поступающих углеводов в сторону увеличения доли рафинированных углеводов со сниженным или нулевым содержанием пищевых волокон (с ростом отношения углеводы/пищевые волокна). Кроме того, доля углеводов в ЭЦР и доля жировой массы в общей массе тела имеют прямую связь. По-нашему мнению, совокупность обозначенных наблюдений свидетельствует о том, что приверженность к пище с большим содержанием углеводов, особенно в составе рафинированных углеводсодержащих продуктов, ассоциирована со склонностью к перееданию и с повышенным накоплением жира в организме.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансировании Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № 2523/ГФ4-15-ОТ).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Сведения об авторах

*Шарманов Торегельды Шарманович* – доктор медицинских наук, академик Национальной академии наук Республики Казахстан и Российской академии наук, президент Казахской академии питания (Алматы, Республика Казахстан)

E-mail: 3759203@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8140-5103>

Салханова Аккумис Бериковна – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник Казахской академии питания (Алматы, Республика Казахстан)

E-mail: salkhanova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8159-6501>

Датхабаева Гаухар Кубеновна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Казахской академии питания (Алматы, Республика Казахстан)

E-mail: gaukhar\_da@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0223-5826>

## Литература

1. Глобальные факторы риска для здоровья. Смертность и бремя болезней, обусловленные некоторыми основными факторами риска. ВОЗ, 2015. 70 с.
2. Report of the Commission on Ending Childhood Obesity. WHO, 2016. 68 p.
3. Мульти-индикаторное кластерное обследование в Казахстане. Алматы, 2007. 307 с.
4. Sharmanov T., Tazhibayev Sh., Alliyarova S. et al. Analysis of obesity prevalence among adults in the southern regions of Kazakhstan by body measurements // RJPBCS (Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences). 2016. Vol. 7. P. 2287–2297.
5. Must A., Strauss R.S. Risks and consequences of childhood and adolescent obesity // Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord. 1999. Vol. 23, suppl. 2. P. 2–11.
6. Falkner N.H., Neumark-Sztainer D., Story M. et al. Social, educational and psychological correlates of weight status in adolescents // Obes. Res. 2001. Vol. 9, N 1. P. 32–42.
7. Guo S.S., Wu W., Chumlea W.C., Roche A.F. Predicting overweight and obesity in adulthood from body mass index values in childhood and adolescence // Am. J. Clin. Nutr. 2002. Vol. 3. P. 653–658.
8. Романцова Т.И. Эпидемия ожирения: очевидные и вероятные причины // Ожирение и метаболизм. 2011. № 1. С. 5–19.
9. Русакова Д.С., Гаппарова К.М., Зайнудинов З.М. и др. Состав тела у пациентов с различной степенью ожирения до и после диетологической коррекции // Вопр. питания. 2012. № 5. С. 88–92.
10. Matthews V.L., Wien M., Sabate J. The risk of child and adolescent overweight is related to types of food consumed // Nutr. J. 2011. Vol. 10. P. 71–78.
11. Van Dijk S.J., Feskens E.J., Bos M.B., Hoelen D.W. et al. A saturated fatty acid-rich diet induces an obesity-linked proinflammatory gene expression profile in adipose tissue of subjects at risk of metabolic syndrome // Am. J. Clin. Nutr. 2009. Vol. 90, N 6. P. 1656–1664.
12. Prentice A.M., Jebb S.A. Fast foods, energy density and obesity: a possible mechanistic link // Obes. Rev. 2003. Vol. 4, N 4. P. 87–94.
13. Varani A., Varani J. The western-style diet, calcium deficiency and chronic disease // Nutr. Food Sci. 2016. Vol. 6. P. 3–8.
14. WHO Growth Reference Data for Children 5–19 Years. WHO, 2007. URL: [http://www.who.int/growthref/who2007\\_bmi\\_for\\_age/en/index.html](http://www.who.int/growthref/who2007_bmi_for_age/en/index.html).
15. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. М.: ДеЛипринт, 2002. 236 с.
16. McCance R.A., Widdowson E.M. The Composition of Foods. 6th sum. ed. Food Standards Agency. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2002. 538 p.
17. Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases // Report of a WHO Study Group (WHO Technical Report Series No. 797). Geneva: WHO, 1990. 203 p.
18. Human energy requirements // Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. FAO, WHO, UNU, 2004. 96 p.
19. Energy and protein requirements // Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation/WHO. Technical Report Series No. 724. Geneva, 1985. 205 p.
20. Mann J., Cummings J.H., Englyst H.N. et al. FAO/WHO scientific update on carbohydrates in human nutrition: conclusions // Eur. J. Clin. Nutr. 2007. Vol. 61, suppl. 1. P. 132–137.
21. Vitamin and mineral requirements in human nutrition // Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. FAO, WHO, UNU, 1998. 362 p.
22. Тажибаев Ш.С., Саймасаева Г.А., Апсеметова М.А., Какимова Г.С. Организация питания детей в учреждениях образования // Сборник нормативных и научно-методических материалов для организаторов школьного питания. Алматы: Асем-Систем, 2008. 119 с.
23. WHO Growth Reference for Boys 5–19 Years. URL: [http://www.who.int/growthref/hfa\\_girls\\_5\\_19years\\_per.pdf?ua=1](http://www.who.int/growthref/hfa_girls_5_19years_per.pdf?ua=1).
24. WHO Growth Reference for Girls 5–19 Years. URL: [http://www.who.int/growthref/hfa\\_boys\\_5\\_19years\\_per.pdf?ua=1](http://www.who.int/growthref/hfa_boys_5_19years_per.pdf?ua=1).
25. Food energy – methods of analysis and conversion factors // FAO Food and Nutrition Paper 77. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003. 92 p. URL: [http://www.fao.org/uploads/media/FAO\\_2003\\_Food\\_Energy\\_02.pdf](http://www.fao.org/uploads/media/FAO_2003_Food_Energy_02.pdf).
26. Ohira H., Tsutsui W., Fujioka Y. Are short chain fatty acids in gut microbiota defensive players for inflammation and atherosclerosis? // J. Atheroscler. Thromb. 2017. Vol. 24. P. 660–672.
27. Hashimoto Y., Tanaka M., Miki A. et al. Intake of carbohydrate to fiber ratio is a useful marker for metabolic syndrome in patients with type 2 diabetes: a cross-sectional study // Ann. Nutr. Metab. 2018. Vol. 72, N 4. P. 329–335.
28. Александров А.А., Порядина Г.И., Котова М.Б., Иванова Е.И. Особенности пищевого поведения детей и подростков крупных городов (на примере школьников Москвы и Мурманска) // Вопр. питания. 2014. № 4. С. 67–74. URL: [http://vp.geotar.ru/ru/articles\\_diet/291.html?SSr=330133f02606ffffffffff27c\\_\\_07e20a1e06210f1ade](http://vp.geotar.ru/ru/articles_diet/291.html?SSr=330133f02606ffffffffff27c__07e20a1e06210f1ade).
29. Карелин А.О., Дарья Валентиновна Павлова Д.В., Бабалян А.В. Гигиеническая оценка питания студентов продуктами из автоматов быстрого питания // Вопр. питания. 2015. № 1. С. 50–57.
30. Papagiannidou E., Tsiplis A., Athanassiadou A.M. et al. Dietary energy density, satiety and weight management // Open Access Sci. Rep. 2013. Vol. 2. P. 585. doi: 10.4172/scientificreports.585.
31. Drewnowski A., Saari J. Food preferences in human obesity: carbohydrates versus fats // Appetite. 1992. Vol. 18, N 3. P. 207–221.
32. Bibiloni M.M., Tur J.A., Morandi A. Protein intake as a risk factor of overweight/obesity in 8- to 12-year-old children // Medicine (Baltimore). 2015. Vol. 94, N 52. Article ID e2408.
33. Saker M., Merzouk H., Merzouk S.A. et al. Predictive factors of obesity and their relationships to dietary intake in schoolchildren in Western Algeria // Maedica (Buchar). 2011. Vol. 6, N 2. P. 90–99.
34. Wang J., Fielding-Singh P. How food rules at home influence independent adolescent food choices // J. Adolesc. Health. 2018 May 15. pii: S1054-139X(18)30133-2. doi: 10.1016/j.jadohealth.2018.02.010. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29779673>.

## References

1. Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. WHO, 2015: 70 p. (in Russian)
2. Report of the Commission on ending childhood obesity. WHO, 2016: 68 p.

3. Multiple indicator Cluster Survey in Kazakhstan. Almaty, 2007: 307 p. (in Russian)
4. Sharmanov T., Tazhibayev Sh., Alliyarova S., et al. Analysis of obesity prevalence among adults in the southern regions of Kazakhstan by body measurements. RJPBCS (Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences). 2016; 7: 2287–97.
5. Must A., Strauss R.S. Risks and consequences of childhood and adolescent obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1999; 23 (2): 2–11.
6. Falkner N.H., Neumark-Sztainer D., Story M., et al. Social, educational and psychological correlates of weight status in adolescents. *Obes Res*. 2001; 9 (1): 32–42.
7. Guo S.S., Wu W., Chumlea W.C., Roche A.F. Predicting overweight and obesity in adulthood from body mass index values in childhood and adolescence. *Am J Clin Nutr*. 2002; 3: 653–8.
8. Romancova T.I. Epidemic of obesity: obvious and probable causes. *Ozhirenie i metabolism [Obesity and Metabolism]*. 2011; (1): 5–19. (in Russian)
9. Rusakova D.S., Gapparova K.M., Zaynutdinov Z.M., et al. Body composition in patients with different degree of obesity before and after dietetic correction. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2012; (5): 88–92. (in Russian)
10. Matthews V.L., Wien M., Sabate J. The risk of child and adolescent overweight is related to types of food consumed. *Nutr J*. 2011; 10: 71–8.
11. Van Dijk S.J., Feskens E.J., Bos M.B., Hoelen D.W., et al. A saturated fatty acid-rich diet induces an obesity-linked proinflammatory gene expression profile in adipose tissue of subjects at risk of metabolic syndrome. *Am J Clin Nutr*. 2009; 90 (6): 1656–64.
12. Prentice A.M., Jebb S.A. Fast foods, energy density and obesity: a possible mechanistic link. *Obes Rev*. 2003; 4 (4): 87–94.
13. Varani A., Varani J. The western-style diet, calcium deficiency and chronic disease. *Nutr Food Sci*. 2016; 6: 3–8.
14. WHO Growth Reference data for children 5–19 years. WHO, 2007. URL: [http://www.who.int/growthref/who2007\\_bmi\\_for\\_age/en/index.html](http://www.who.int/growthref/who2007_bmi_for_age/en/index.html).
15. The chemical composition of Russian food products. Edited by I.M. Skurihin, V.A. Tutelyan. Moscow: DeLi print, 2002: 236 p. (in Russian)
16. McCance R.A., Widdowson E.M. The composition of foods. 6th sum. ed. Food Standards Agency. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2002: 538 p.
17. Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases. In: Report of a WHO Study Group (WHO Technical Report Series No. 797). Geneva: WHO, 1990: 203 p.
18. Human energy requirements. In: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. FAO, WHO, UNU, 2004: 96 p.
19. Energy and protein requirements. In: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation/WHO. Technical Report Series No. 724. Geneva, 1985: 205 p.
20. Mann J., Cummings J.H., Englyst H.N., et al. FAO/WHO scientific update on carbohydrates in human nutrition: conclusions. *Eur J Clin Nutr*. 2007; 61 (1): 132–7.
21. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. In: Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. FAO, WHO, UNU, 1998: 362 p.
22. Tazhibayev Sh.S., Saimasayeva G.A., Apsemetova M.A., Kakimova G.S. Organization of Nutrition for Pupils at Educational Facilities. A compendium of normative and scientific-methodological materials for school catering providers. Almaty: Asem-System, 2008: 119 p. (in Russian)
23. WHO growth reference for boys 5–19 years. URL: [http://www.who.int/growthref/hfa\\_girls\\_5\\_19years\\_per.pdf?ua=1](http://www.who.int/growthref/hfa_girls_5_19years_per.pdf?ua=1).
24. WHO growth reference for girls 5–19 years. URL: [http://www.who.int/growthref/hfa\\_boys\\_5\\_19years\\_per.pdf?ua=1](http://www.who.int/growthref/hfa_boys_5_19years_per.pdf?ua=1).
25. Food energy – methods of analysis and conversion factors. In: FAO Food and Nutrition Paper 77. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003: 92 p. URL: [http://www.fao.org/uploads/media/FAO\\_2003\\_Food\\_Energy\\_02.pdf](http://www.fao.org/uploads/media/FAO_2003_Food_Energy_02.pdf).
26. Ohira H., Tsutsui W., Fujioka Y. Are short chain fatty acids in gut microbiota defensive players for inflammation and atherosclerosis? *J Atheroscler Thromb*. 2017; 24: 660–72.
27. Hashimoto Y., Tanaka M., Miki A., et al. Intake of carbohydrate to fiber ratio is a useful marker for metabolic syndrome in patients with type 2 diabetes: a cross-sectional study. *Ann Nutr Metab*. 2018; 72 (4): 329–35.
28. Alexandrov A.A., Poryadina G.I., Kotova M.B., Ivanova E.I. The specificity of schoolchildren's eating habits in Moscow and Murmansk. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2014; (4): 67–74. URL: [http://vp.geotar.ru/ru/jarticles\\_diet/291.html?SSr=330133f02606ffff27c\\_07e20a1e06210f-1ade](http://vp.geotar.ru/ru/jarticles_diet/291.html?SSr=330133f02606ffff27c_07e20a1e06210f-1ade). (in Russian)
29. Karelin A.O., Pavlova D.V., Babalyan A.V. Hygienic assessment of student's nutrition through vending machines (fast food). *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2015; (1): 50–7. (in Russian)
30. Papagiannidou E., Tsipis A., Athanassiadou A.M., et al. Dietary energy density, satiety and weight management. *Open Access Sci Rep*. 2013; 2: 585. doi: 10.4172/scientificreports.585.
31. Drewnowski A., Saari J. Food preferences in human obesity: carbohydrates versus fats. *Appetite*. 1992; 18 (3): 207–21.
32. Bibiloni M.M., Tur J.A., Morandi A. Protein intake as a risk factor of overweight/obesity in 8- to 12-year-old children. *Medicine (Baltimore)*. 2015; 94 (52): e2408.
33. Saker M., Merzouk H., Merzouk S.A., et al. Predictive factors of obesity and their relationships to dietary intake in schoolchildren in Western Algeria. *Maedica (Buchar)*. 2011; 6 (2): 90–9.
34. Wang J., Fielding-Singh P. How food rules at home influence independent adolescent food choices. *J Adolesc Health*. 2018 May 15. pii: S1054-139X(18)30133-2. doi: 10.1016/j.jadohealth.2018.02.010. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29779673>.

**Для корреспонденции**

Скребнева Анна Владимировна – очный аспирант кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России  
 Адрес: 394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, д. 10  
 Телефон: (473) 253-15-60  
 E-mail: skreanna@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1573-2103>

Скребнева А.В., Попов В.И., Алексеев Н.Ю.

## Оценка риска развития недостаточности питания у лиц старшей возрастной группы Воронежской области

Assessment of the risk of malnutrition in the older age group of the Voronezh Region

Skrebneva A.V., Popov V.I., Alekseev N.Yu.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России  
 Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko

*Современные научные данные свидетельствуют о широком использовании в европейских странах метода анкетирования при оценке пищевого статуса пациентов. Использование опросников в медицинской практике позволяет врачу сократить время на сбор анамнеза, расставить акценты для построения дальнейшего алгоритма диагностики и лечения. Статья посвящена изучению пищевого статуса пожилых людей Воронежа и области; определению риска развития синдрома мальнутриции. В работе приняли участие 166 человек в возрасте от 60 до 89 лет. Средний возраст респондентов составил  $69,4 \pm 7,2$  года. Основную часть участников составили представители городского населения, преобладание городского населения над сельским – более чем в 2 раза (67,5 и 32,5% соответственно). 72,3% респондентов были женского пола, 27,7% – мужского. При этом среди участников женского пола доля городского населения почти в 2 раза больше сельского (64,2 и 35,8% соответственно). У мужчин городское население преобладало над сельским более чем в 3 раза (76,1 и 23,9% соответственно). В работе использованы методы регистрации антропометрических данных, сбора анамнеза и сведений из амбулаторной карты, анкетирование. Для оценки питания был использован опросник «Краткая оценка питания» (MNA). Дизайн работы – ретроспективное исследование. В ходе работы определено, что только 1,8% опрошенных пациентов имеют синдром мальнутриции. Однако риск ее развития выявлен у 46,6% пациентов. У пожилых людей, проживающих в городе, выявлен статистически значимо более высокий риск развития мальнутриции ( $p < 0,05$ ), чем у жителей села.*

**Ключевые слова:** оценка питания, пожилые люди, белково-энергетическая недостаточность, индекс массы тела, пищевой статус

*Modern scientific data indicate the widespread use in European countries of questioning in assessing the nutritional status of patients. The use of questionnaires in medical*

**Для цитирования:** Скребнева А.В., Попов В.И., Алексеев Н.Ю. Оценка риска развития недостаточности питания у лиц старшей возрастной группы Воронежской области // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 42–47. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10065.

**Статья поступила в редакцию** 28.05.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Skrebneva A.V., Popov V.I., Alekseev N.Yu. Assessment of the risk of malnutrition in the older age group of the Voronezh Region. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 42–7. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10065. (in Russian)

**Received** 28.05.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

*practice allows the doctor to reduce the time to collect anamnesis, to place emphasis on building a further algorithm of diagnosis and treatment. The article is devoted to the study of the nutritional status of elderly people in the city of Voronezh and the Region; determining the risk of malnutrition syndrome. The work involved 166 people aged 60 to 89 years. The average age of the respondents was 69.4±7.2 years. The main part of the participants consisted of urban population, the predominance of urban population over rural was more than 2 fold (67.5 to 32.5% respectively). 72.3% of respondents were female, 27.7% – male. At the same time, the share of urban population among female participants was almost 2 fold more than in rural areas (64.2 to 35.8%). For men, the urban population was more than 3 fold than the rural population (76.1 to 23.9%). Methods of registration of anthropometric data, collection of anamnesis and data from the outpatient card, questioning have been used in the work. A questionnaire «Mini Nutritional Assessment» (MNA) have been used for the evaluation of nutrition. Study design: a retrospective study. In the course of the work it was determined that only 1.8% of the surveyed patients have the syndrome of malnutrition. However, the risk of its development was revealed in 46.6% of patients. Older people living in the city had a statistically significantly higher risk of developing malnutrition ( $p<0.05$ ) than the villagers.*

**Keywords:** *nutritional assessment, elderly, protein-energy malnutrition, body mass index, nutritional status*

В последнее время вопросам долгожительства и активного долголетия уделяется много внимания. Одним из управляемых факторов риска преждевременного старения является образ жизни – в среднем от 50 до 60% влияния от всех факторов риска [1–5]. Образ жизни складывается из элементов повседневной деятельности человека, среди которых соблюдение оптимальных режимов сна, питания, труда и отдыха, двигательной и умственной активности, закаливание, использование правил личной гигиены и отказ от вредных привычек. Рациональное питание представляет одно из главных слагаемых здорового образа жизни [6, 7]. Нарушения питания оказывают влияние на развитие и течение заболевания, продолжительность и качество жизни в пожилом возрасте [8, 9].

С возрастом любой индивидум подвергается функциональным и структурным инволютивным изменениям различных систем организма, в том числе системы пищеварения. В процессе старения в органах пищеварения происходят атрофические процессы, нарушается их функция. Наиболее выраженные изменения происходят в ротовой полости: наблюдаются преобразования жевательного аппарата и слюнных желез. Наряду с этим происходят перестройки в других отделах желудочно-кишечного тракта: снижение активности секреторного аппарата желудочно-кишечного тракта, печени, поджелудочной железы; снижение моторной деятельности различных отделов желудочно-кишечного тракта, ослабление антитоксической функции печени и др. Все это способствует развитию различных патологических процессов. Помимо неизбежных перестроек в организме с возрастом, на пищевой статус пожилого человека оказывают влияние социальные факторы, такие как снижение или потеря функции самообслуживания, одиночество и недостаточность материальных средств. Весь этот комплекс создает условия для нерационального питания пожилых людей [10].

Пища, которую потребляют пожилые люди, должна быть разнообразной, легкоусвояемой, полноценной, но вследствие снижения энергетических затрат организма менее калорийной. Продуктовый набор должен содержать необходимое количество белка, витаминов, минеральных солей, микроэлементов и жидкости [11]. У лиц пожилого возраста снижается интенсивность самообновления белков, что определяет уменьшение потребности в них и диктует необходимость снижения потребления в первую очередь мяса и мясных продуктов. Избыточное поступление белка может отрицательно влиять на стареющий организм, следовательно, в пожилом возрасте потребление белка необходимо снижать до 1 г на 1 кг массы тела. В возрастной группе 60 лет и старше следует больше употреблять молочных продуктов, рыбы, нерыбных морепродуктов. Калорийность рациона пожилых людей в возрасте 60 лет и старше должна составлять 1900–2100 ккал/сут [12].

Возрастные функциональные и структурные изменения зачастую приводят к необоснованному завышению количества назначаемых пожилым людям лекарственных препаратов, т.е. к полипрагмазии [13]. Одной из причин является недостаточный сбор анамнеза жизни, что во много связано с ограничением выделенного врачу времени на прием пациента. Данная проблема может быть компенсирована путем использования различных анкет.

Для пожилых людей характерна мальнутриция, или недостаточное питание, которая является фактором риска заболеваемости и смертности среди людей старшей возрастной группы [14–16]. Одной из наиболее часто используемых анкет для оценки пищевого статуса является опросник по оценке питания (Mini Nutritional Assessment, MNA), разработанный специально для людей пожилого возраста и рекомендованный Европейской ассоциацией клинического питания (Society for Clinical

**Таблица 1.** Сравнение городских и сельских жителей по календарному возрасту

Показатель	Город	Село
<i>n</i>	112	54
Мода	64	60
Медиана	71	64,5
Минимум	60	60
Максимум	89	80
Нижний квартиль	64	61
Верхний квартиль	78	68

Nutrition and Metabolism, ESPEN) для скрининга и оценки пациентов с риском развития мальнутриции, или недостаточности питания [17, 18].

**Цель** работы – выявить мальнутрицию или определить риск ее развития у лиц старшей возрастной группы, проживающих в Воронежской области; провести сравнительный анализ полученных данных между городским и сельским населением.

## Материал и методы

Исследование проведено в медицинских учреждениях Воронежа (БУЗ ВО «Воронежская городская поликлиника № 19», корпус № 3 БУЗ ВО «Воронежская городская клиническая поликлиника №1» БУЗ ВО «Воронежская областная клиническая инфекционная больница» и БУЗ ВО «Воронежская городская поликлиника № 4») и Воронежской области (БУЗ ВО «Таловская районная больница»).

Обследованы 166 человек в возрасте от 60 до 89 лет, проживающих в городе (112 человек) и в сельской местности (54 человека). Среди них 72,3% женщин и 27,7% мужчин. Доля представителей городского населения выше, чем сельского, как среди женщин, так и среди мужчин (64,2 и 35,8%; 76,1 и 23,9% соответственно). Средний возраст респондентов из города составил 71,4±7,4 года, при этом для женщин он равнялся 71,9±7,3 года, для мужчин – 70,5±7,7 года. Средний возраст представителей сельского населения составил 64,9±4,5 года. Для женщин этот показатель со-

**Таблица 2.** Количество баллов по опроснику MNA у городских и сельских жителей

Показатель	Город	Село
Мода	23,5	28
Медиана	23,5	25
Минимум	13	17
Максимум	30	29
Нижний квартиль	21	23
Верхний квартиль	25,5	27

ставил 64,8±4,2 года, для мужчин – 65,8±5,8 года. Все обследованные подписали информированное согласие.

Методы исследования включали регистрацию антропометрических данных, сбор анамнеза и сведений из амбулаторной карты, анкетирование. Для тестирования использовали вопросник MNA, состоящий из 2 разделов: скрининговой и оценочной. Скрининговая часть включает 6 вопросов, максимальное количество баллов составляет 14. Если респондент при ответе на 1-ю часть опросника не набирает 11 баллов, проводится более подробный опрос по второй оценочной части опросника. По окончании тестирования выносятся заключение. Респонденты, которые набрали менее 17 баллов, имеют неполноценное питание; от 17,0 до 23,5 балла – находятся в зоне риска по причине неправильного питания; 24,0 и выше балла – имеют нормальный пищевой статус.

По данным антропометрии был рассчитан индекс массы тела (ИМТ):

$$\text{ИМТ} = \text{масса тела (кг)} / \text{рост в квадрате (м}^2\text{)}.$$

Статистическую обработку результатов проводили с использованием стандартных программных пакетов Microsoft Excel 2007. Нормальность распределения выборочных величин проверяли визуально с использованием метода номограмм. Поскольку форма распределения исследуемых величин отличалась от нормальной, дальнейший анализ проводили с использованием непараметрических критериев ранговой корреляции Спирмена и критерия Колмогорова–Смирнова.

## Результаты

Сравнение возраста респондентов из городского и сельского населения с использованием критерия Колмогорова–Смирнова показало, что группа, проживающая в сельской местности, статистически значимо моложе ( $p < 0,01$ ), чем жители Воронежа (табл. 1).

Сравнительный анализ данных, полученных при опросе городского и сельского населения, показал, что

**Таблица 3.** Сравнение индекса массы тела у лиц с нормальными показателями по результатам анкетирования и риском мальнутриции согласно опроснику MNA

Показатель	Норма	Риск мальнутриции
<i>n</i>	86	77
Медиана	29,8	27,8
Минимум	19,6	21,2
Максимум	43	51,1
Нижний квартиль	27,1	25,3
Верхний квартиль	32,2	30,3

пожилые люди, проживающие в городе, имели статистически значимо более высокий риск развития мальнотриции ( $p < 0,05$ ), чем жители села (табл. 2).

При этом респонденты, имеющие мальнотрицию, были выявлены только среди городского населения.

Согласно Международной классификации болезней 10-го пересмотра, дефицит массы тела – это белково-энергетическая недостаточность (БЭН, шифр – E-44). Дефицитом массы тела считается снижение ИМТ менее  $18,5 \text{ кг/м}^2$ . В проведенном исследовании ни у одного участника дефицит массы тела не был определен, самый низкий показатель составил  $19,7 \text{ кг/м}^2$ . Анализ распределения ИМТ в зависимости от результатов анкетирования респондентов представлен в табл. 3.

Тесноту связи между значением ИМТ и результатами анкетирования оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена. Корреляционный анализ выявил слабую связь между ИМТ и результатами MNA-анкетирования ( $r = 0,25$ ).

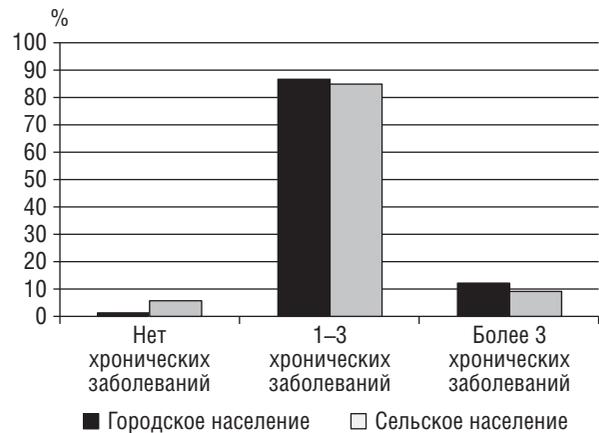
В то же время сравнение ИМТ между группами с нормальным значением по MNA ( $n = 86$ ) и выявленным риском мальнотриции ( $n = 77$ ) с использованием критерия Колмогорова–Смирнова показало статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ): у респондентов в группе с риском развития мальнотриции ИМТ был ниже, чем в группе с нормальными значениями MNA.

## Обсуждение

Оценка возраста пожилых людей, принявших участие в данном исследовании, выявила, что в сельской местности средняя возраст лиц старшей возрастной группы меньше, чем в городе, что соответствует статистическим данным. Так, в 2016 г., по оценкам Росстата, средняя продолжительность жизни городского населения России в среднем на 2 года выше, чем у сельских жителей.

В результате анализа данных, полученных с использованием анкеты MNA, позволяющей дать краткую оценку питания, было определено, что 1,8% обследованных можно отнести к пациентам с недостаточностью питания. При этом почти у половины (46,6%) респондентов выявлен риск развития мальнотриции, в то же время у значительного количества лиц повышен ИМТ, что определяет необходимость проведения комплекса мероприятий, направленных на коррекцию питания и профилактику ожирения. Кроме того, у пожилых людей, проживающих в городе, риск развития мальнотриции отмечается чаще (53,7%), чем у сельских жителей (31,5%).

Согласно данным зарубежных исследований, степень распространения синдрома мальнотриции высока: 80% пожилых людей имеют сниженный пищевой статус, при этом среди лиц пожилого и старческого возраста, находящихся в социальных учреждениях стационарного типа, распространенность синдрома мальнотриции



Распределение хронических заболеваний в обследуемой популяции, %

составляет 40–50% [15, 19–20]. В нашем исследовании доля лиц старшей возрастной группы, проживающих в Воронежской области и имеющих риск развития мальнотриции, согласно опроснику MNA, составила почти 50%.

Факторами риска развития мальнотриции у пожилых людей служат снижение физической активности, полипрагмазия, зависимость от посторонней помощи, депрессия, деменция, болезнь Паркинсона, запоры, адентия и дисфагия [21, 22]. Недостаточное питание, ассоциированное со снижением качества жизни у старшей возрастной группы, повышает риск падений [16]. Существуют данные, что синдром недостаточности питания достоверно ассоциирован с такими заболеваниями, как тревожно-депрессивный синдром, гипертиреоз, злокачественные новообразования, язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки, ишемическая болезнь сердца с развитием хронической сердечной недостаточности, нарушения поведения со стойким снижением аппетита ( $p < 0,05$ ) [23–26].

Анализ заболеваемости пожилых людей, по данным амбулаторных карт, показал отсутствие в анамнезе хронических заболеваний у 2,4% всех пожилых людей, принимавших участие в исследовании. По числу сочетанных заболеваний жители села и города статистически значимо не различались (см. рисунок).

## Заключение

Анализ питания людей 60 лет и старше, по данным анкетирования с использованием опросника MNA, показал, что у 46,6% респондентов определяется риск развития синдрома мальнотриции, у 1,8% обследованных определен синдром мальнотриции. Между показателями ИМТ и результатами анкетирования выявляется слабая корреляционная связь ( $r = 0,25$ ).

Сравнительный анализ показателей жителей города и села выявил следующие различия: группа респондентов, проживающих в сельской местности, статистически

значимо моложе ( $p < 0,01$ ), чем городские жители; риск развития мальнутриции у пожилых людей в городе выше, чем у сельского пожилого населения Воронежской области ( $p < 0,05$ ).

Полученные данные требуют дальнейшего анализа состояния участников исследования с риском развития мальнутриции для выявления причин ее развития и возможности успешной коррекции.

Таким образом, высокая распространенность риска развития мальнутриции среди пациентов пожилого

и старческого возраста указывает на необходимость проведения у них оценки пищевого статуса для последующего создания адекватных и оптимальных мер медицинской и социальной поддержки.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Сведения об авторах

*Скрёбнева Анна Владимировна* – очный аспирант кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России

E-mail: skreanna@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1573-2103>

*Попов Валерий Иванович* – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой общей гигиены ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России

E-mail: 9038504004@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5386-9082>

*Алексеев Николай Юрьевич* – кандидат медицинских наук, доцент кафедры медицинской информатики и статистики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России

E-mail: alexeevnikola@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3954-9060>

### Литература

- Ильницкий А., Позднякова Н., Носкова И. Здоровое старение // Наука и инновации. 2016. Т. 12, № 166. С. 18–21.
- Пристром М.С., Пристром С.Л., Семенов И.И. Старение физиологическое и преждевременное. Современный взгляд на проблему // Мед. новости. 2015. № 2. С. 36–45.
- Арстанглиева З.Ж. Возраст как фактор здоровьесбережения // Бюл. мед. Интернет-конференций. 2012. Т. 2, № 11. С. 865.
- Корнилова М.В. Качество жизни и социальные риски пожилых // Современ. исследования социальных проблем. 2011. № 3. С. 76.
- Попов В.И., Скрёбнева А.В., Есауленко И.Э., Мелихова Е.П. Сравнительная оценка показателей здоровья и образа жизни городского и сельского населения пожилого возраста Воронежской области // Гиг. и сан. 2018. Т. 97, № 8. С. 681–685. URL: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-681-685>.
- Тутельян В.А., Вялков А.И., Разумов А.Н. и др. Научные основы здорового питания. М.: Панорама, 2010. 816 с.
- Тутельян В.А., Суханов Б.П., Онищенко Г.Г. Государственная политика здорового питания населения: задачи и пути реализации. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 288 с.
- Погожева А.В., Батурин А.К. Правильное питание – фундамент здоровья и долголетия // Пищ. пром-сть. 2017. № 10. С. 58–61.
- Козьмина Т.И., Литвинцева А.Н. Нерациональное питание как один из факторов риска ускоренного старения человека // Сибир. мед. журн. (Иркутск). 2006. Т. 60, № 2. С. 64–66.
- Коденцова В.М., Рисник Д.В., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Витаминно-минеральные комплексы в лечебном питании // Consilium Medicum. 2017. Т. 19, № 12. С. 76–83.
- Ткачева О.Н., Фролова Е.В., Яхно Н.Н. Гериатрия. Национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 608 с.
- Шабалин В.Н. Руководство по геронтологии. М.: Цитадель-трейд, 2005. 800 с.
- Скрёбнева А.В., Попов В.И., Силютин М.В. Некоторые аспекты изучения взаимосвязей болезни и старения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Медицина. Фармация. 2016. Т. 34, № 12 (233). С. 95–99.
- Ильницкий А.Н., Горелик С.Г. Применение гаджетов в коррекции гериатрического синдрома мальнутриции // Клин. геронтология. 2018. Т. 24, № 5–6. С. 30–33.
- Ткачева О.Н., Рунихина Н.К., Остапенко В.С., Шарашкина Н.В. Семь вопросов для пожилых в практике врача первичного звена // Успехи геронтологии. 2017. Т. 30, № 2. С. 231–235.
- Ильницкий А.Н., Процаев К.И., Кривецкий В.В., Процаев К.И. и др. Распространенность синдрома мальнутриции среди людей пожилого возраста // Фундам. исслед. 2012. № 7-2. С. 330–333.
- Guigoz Y., Vellas B., Garry P.J. Assessing the nutritional status of the elderly: the mini nutritional assessment as part of the geriatric assessment (MNA) // Nutr. Rev. 1996. Vol. 54. P. S59–S65.
- Guigoz Y., Lauque S., Vellas B.J. Identifying the elderly at risk for malnutrition. The Mini Nutritional Assessment // Clin. Geriatr. Med. 2002. Vol. 18, N 4. P. 737–757.
- Biein B. An older person as a subject of comprehensive geriatric approach // Roczn. Akad. Med. Białymst. 2005. Vol. 50. P. 189–192.
- Tomasovic N. Geriatric-palliative care units model for improvement of elderly care // Coll. Antropol. 2004. Vol. 29, N 1. P. 277–282.
- Favaro-Moreira N.C., Krausch-Hofmann S., Matthys C., Vereecken C. et al. Risk factors for malnutrition in older adults: a systematic review of the literature based on longitudinal data // Adv. Nutr. 2016. Vol. 14, N 6. P. 392–397.
- Van der Pols-Vijlbrief R., Wijnhoven H.A.H., Schaap L.A., Terwee C.B. et al. Determinants of protein-energy malnutrition in community-dwelling older adults: a systematic review of observational studies // Ageing Res. Rev. 2014. Vol. 18. P. 112–131.
- Agarwal E. Malnutrition in the elderly: a narrative review // Maturitas. 2013. Vol. 76. P. 296–302.
- Корыстина Е.М. Трофологический статус в комплексной оценке здоровья пожилого человека // Рос. семейный врач. 2010. Т. 14, № 3. С. 8–9.
- Lorenzo-Lopez L. Nutritional determinants of frailty in older adults: a systematic review // BMC Geriatr. 2017. Vol. 17. P. 108. doi: 10.1186/s12877-017-0496-2.
- Field L., Hand R. Differentiating malnutrition screening and assessment: a nutrition care process perspective // J. Acad. Nutr. Diet. 2015. Vol. 115, N 5. P. 824–828.

## References

1. Il'nitskiy A., Pozdnyakova N., Noskova I. Healthy aging. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation]. 2016; 12 (166): 18–21. (in Russian)
2. Pristrom M.S., Pristrom S.L., Semenenkov I.I. Aging is physiological and premature. Modern view on the problem. *Meditsinskie novosti* [Medical News]. 2015; (2): 36–45. (in Russian)
3. Arstangaliev Z.ZH. Age as a factor of health preservation. *Byulleten' meditsinskikh Internet-konferentsiy* [Bulletin of Medical Internet Conferences]. 2012; 2 (11): 865. (in Russian)
4. Kornilova M.V. Quality of life and social risks of the elderly. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem* [Contemporary Studies of Social Problems]. 2011; (3): 76. (in Russian)
5. Popov V.I., Skrebneva A.V., Esaulenko I.EH., Melikhova E.P. Comparative evaluation of indices of health and lifestyle of urban and rural elderly population of the Voronezh region. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation]. 2018; 97 (8): 681–5. doi: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-681-685>. (in Russian)
6. Tutelyan V.A., Vyalkov A.I., Razumov A.N., et al. The scientific basis of healthy nutrition. Moscow: Panorama, 2010: 816 p. (in Russian)
7. Tutelyan V.A., Sukhanov B.P., Onishhenko G.G. State policy of healthy nutrition of the population: tasks and ways of implementation. Moscow: GEOTAR-Media, 2009: 288 p. (in Russian)
8. Pogocheva A.V., Baturin A.K. Proper nutrition – the foundation of health and longevity. *Pischevaya promyshlennost'* [Food Industry]. 2017; (10): 58–61. (in Russian)
9. Koz'mina T.I., Litvintseva A.N. Unsustainable nutrition as one of the risk factors for accelerated aging of a person. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal* [Siberian Journal of Medicine (Irkutsk)]. 2006; 60 (2): 64–6. (in Russian)
10. Kodentsova V.M., Risnik D.V., Nikityuk D.B., Tutel'yan V.A. Vitamin and mineral complexes in clinical nutrition. *Consilium Medicum*. 2017; 19 (12): 76–83. (in Russian)
11. Tkacheva O.N., Frolova E.V., Yakhno N.N. Geriatrics. National leadership. Moscow: GEOTAR-Media, 2018: 608 p. (in Russian)
12. Shabalin V.N. Guide to gerontology. Moscow: Tsitadel'-trejd, 2005: 800 p. (in Russian)
13. Skrebneva A.V., Popov V.I., Silyutina M.V. Some Aspects of Studying the Interrelationships of the Disease and Aging. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya* [Scientific Sheets of the Belgorod State University. Series: Medicine. Pharmacy]. 2016; 34 (12, 233): 95–9. (in Russian)
14. Il'nitskiy A.N., Gorelik S.G. The use of gadgets in the correction of geriatric syndrome. *Klinicheskaya gerontologiya* [Clinical Gerontology]. 2018; 24 (5–6): 30–3. (in Russian)
15. Tkacheva O.N., Runikhina N.K., Ostapenko V.S., Sharashkina N.V. Seven questions for the elderly in the practice of the primary care physician. *Uspekhi gerontologii* [Advances of Gerontology]. 2017; 30 (2): 231–5. (in Russian)
16. Il'nitskiy A.N., Proshhaev K.I., Krivetskiy V.V., Proshhaev K.I., et al. The prevalence of malnutrition syndrome in older people. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Researches]. 2012; (7-2): 330–3. (in Russian)
17. Guigoz Y., Vellas B., Garry P.J. Assessing the nutritional status of the elderly: the mini nutritional assessment as part of the geriatric assessment (MNA). *Nutr Rev*. 1996; 54: S59–65.
18. Guigoz Y., Lauque S., Vellas B.J. Identifying the elderly at risk for malnutrition. The Mini Nutritional Assessment. *Clin Geriatr Med*. 2002; 18 (4): 737–57.
19. Biein B. An older person as a subject of comprehensive geriatric approach. *Rocz Akad Med Bialymst*. 2005; 50: 189–92.
20. Tomasovic N. Geriatric-palliative care units model for improvement of elderly care. *Coll Antropol*. 2004; 29 (1): 277–82.
21. Favaro-Moreira N.C., Krausch-Hofmann S., Matthys C., Vereecken C., et al. Risk factors for malnutrition in older adults: a systematic review of the literature based on longitudinal data. *Adv Nutr*. 2016; 14 (6): 392–7.
22. Van der Pols-Vijlbrief R., Wijnhoven H.A.H., Schaap L.A., Terwee C.B., et al. Determinants of protein-energy malnutrition in community-dwelling older adults: a systematic review of observational studies. *Ageing Res Rev*. 2014; 18: 112–31.
23. Agarwal E. Malnutrition in the elderly: a narrative review. *Maturitas*. 2013; 76: 296–302.
24. Korystina E.M. Trophological status in a comprehensive assessment of the health of an elderly person. *Rossiyskiy semeyniy vrach* [Russian Family Physician]. 2010; 14 (3): 8–9. (in Russian)
25. Lorenzo-Lopez L. Nutritional determinants of frailty in older adults: a systematic review. *BMC Geriatr*. 2017; 17: 108. doi: [10.1186/s12877-017-0496-2](https://doi.org/10.1186/s12877-017-0496-2).
26. Field L., Hand R. Differentiating malnutrition screening and assessment: a nutrition care process perspective. *J Acad Nutr Diet*. 2015; 115 (5): 824–8.

**Для корреспонденции**

Лебедева Ульяна Михайловна – кандидат медицинских наук, руководитель Центра питания Научно-исследовательского института здоровья ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», главный диетолог Минздрава Республики Саха (Якутия) и Дальневосточного федерального округа, председатель Якутского регионального отделения Общероссийской общественной организации «Российский союз диетологов, нутрициологов и специалистов пищевой индустрии»  
 Адрес: 677007, г. Якутск, ул. Ярославского д. 28-52  
 Телефон: (4112) 39-05-01  
 E-mail: ulev@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8990-3876>

Лебедева У.М.<sup>1</sup>, Баттахов П.П.<sup>2</sup>, Степанов К.М.<sup>3</sup>, Лебедева А.М.<sup>4</sup>, Занковский С.С.<sup>2</sup>, Булгакова Л.И.<sup>2</sup>, Винокурова Д.М.<sup>1</sup>

## Организация питания детей и подростков на региональном уровне

Organization of nutrition of children and adolescents at the regional level

Lebedeva U.M.<sup>1</sup>, Battakhov P.P.<sup>2</sup>, Stepanov K.M.<sup>3</sup>, Lebedeva A.M.<sup>4</sup>, Zankovsky S.S.<sup>2</sup>, Bulgakova L.I.<sup>2</sup>, Vinokurova D.M.<sup>1</sup>

- 1 ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск
  - 2 ФГБНУ «Институт государства и права РАН», Москва
  - 3 ФГБНУ «Якутский научный центр комплексных медицинских проблем», Якутск
  - 4 ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва
- 1 M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk  
 2 Institute of State and Law of the Russian Academy of Sciences, Moscow  
 3 Yakut Scientific Center for Complex Medical Problems, Yakutsk  
 4 Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

*В статье представлены результаты 13-летних мониторинговых эпидемиологических исследований по изучению фактического питания и пищевых привычек среди детей и подростков, обучающихся в образовательных организациях Республики Саха (Якутия). В работе использованы вопросники, адаптированные Центром питания НИИ здоровья ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» в соответствии с национальными традициями и культурой питания народов Севера и Арктики. Методами частотного анализа и суточного воспроизведения изучены основные параметры потребления отдельных пищевых продуктов, в том числе из местного животного и растительного сырья, и национальных блюд. Получены параметры питания детей в исследованиях, проведенных в 2001 г. (1-е исследование), 2008 г. (2-е исследование) и 2013 г. (3-е исследование). Определена энергетическая ценность рационов, дана оценка вклада макронутриентов в калорийность рационов, изучен характер обеспеченности рационов пищевыми веществами (белками, жирами, углеводами, витаминами и минеральными веществами). Оценен уровень информированности школьников в вопросах здорового питания, выявлены пищевые*

**Для цитирования:** Лебедева У.М., Баттахов П.П., Степанов К.М., Лебедева А.М., Занковский С.С., Булгакова Л.И., Винокурова Д.М. Организация питания детей и подростков на региональном уровне // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 48–56. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10066.

**Статья поступила в редакцию** 03.09.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Lebedeva U.M., Battakhov P.P., Stepanov K.M., Lebedeva A.M., Zankovsky S.S., Bulgakova L.I., Vinokurova D.M. Organization of nutrition of children and adolescents at the regional level. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (6): 48–56. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10066. (in Russian)

**Received** 03.09.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

привычки и пристрастия детей к отдельным продуктам и блюдам. Дана комплексная оценка фактического питания и состояния здоровья 130 подростков в возрасте 15–18 лет. На основании полученных результатов были разработаны рекомендации по оптимизации питания детей школьного возраста, приняты меры по его улучшению и сделаны выводы о необходимости совершенствования правового регулирования организации школьного питания.

**Ключевые слова:** фактическое питание, пищевые привычки, дети и подростки, оптимизация школьного питания, Якутия, правовое регулирование

*The article presents the results of 13-year monitoring epidemiological studies on the actual nutrition and eating habits among children and adolescents studying in educational institutions of the Republic of Sakha (Yakutia). The study used standardized questionnaires, adapted by the Nutrition Center of the Health Institute M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, in accordance with national traditions and food culture of the peoples of the North and the Arctic. Methods of frequency analysis of consumption of individual products and daily reproduction of food from memory have been used to study the main parameters of consumption of individual foods, including those from local animal and vegetable raw materials, and national dishes. Three monitoring epidemiological studies of 2001 (1<sup>st</sup> study), 2008 (2<sup>nd</sup> study), 2013 (3<sup>rd</sup> study) studied the energy value of diets and nutrients (proteins, fats, carbohydrates, vitamins and minerals), the contribution of macronutrients in energy value. Schoolchildren's awareness of healthy nutrition was assessed. Dietary habits and addictions of children to particular foods and dishes have been identified. A comprehensive assessment of the actual nutrition and health status of 130 adolescents aged 15–18 years is given to study the effect of actual nutrition on the health of children, their anthropometric indices and body composition. Based on the results obtained, recommendations on how to optimize the nutrition of children of school age were scientifically substantiated, measures were taken to improve it, and conclusions were drawn on the need to improve the legal regulation of school feeding.*

**Keywords:** actual nutrition, dietary habits, children and adolescents, optimization of school nutrition, legal regulation

Эпидемиологические исследования, проведенные в разных регионах России, свидетельствуют о значительных нарушениях питания и здоровья школьников. К этим нарушениям относятся нерациональное соотношение основных пищевых веществ, недостаточное содержание полиненасыщенных жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов (кальция, железа, йода и др.), пищевых волокон. Повсеместно отмечается избыточное потребление хлебобулочных и кондитерских изделий, соли и добавленного сахара. Вследствие нарушений принципов рационального питания ухудшаются показатели здоровья и антропометрические характеристики детей и подростков [1–4]. Показатели состояния здоровья детей и подростков ухудшаются в процессе воспитания и обучения, особенно в школе от младших классов к старшим. По сведениям НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России, в настоящее время менее 5% учащихся младших классов школы могут считаться абсолютно здоровыми, к старшим классам их численность уменьшается до 3% [5]. Как отмечают специалисты, с 1-го по 8-й классы количество здоровых детей снижается в 4 раза; число детей с близорукостью возрастает с 3 до 30%; число детей с нарушениями опорно-двигательного аппарата увеличивается

в 1,5–2 раза, с аллергическими болезнями – в 3 раза, с заболеваниями крови – в 2,5 раза, с нервными болезнями – в 2 раза [6, 7].

Высокая скорость роста и интенсивные процессы обмена веществ в детском и подростковом возрасте требуют постоянного поступления с пищей достаточного количества пластического материала и прежде всего белка, а также экзогенных регуляторов метаболических процессов – витаминов, макро- и микроэлементов, их дефицит сопровождается замедлением роста и служит фактором риска развития таких заболеваний, как ожирение, гипертоническая болезнь, анемия, кариес, гипотиреоз, остеопороз. По данным эпидемиологических исследований, в Российской Федерации распространенность избыточной массы тела у детей в разных регионах колеблется от 5,5 до 11,8%, а ожирением страдают около 5,5% детей, проживающих в сельской местности, и 8,5% детей – в городской [8–10].

Негативное влияние на структуру питания оказывают не только социально-экономическое положение населения, но и низкий уровень знаний населения по вопросам рационального питания как составляющей здорового образа жизни. Дети часто отказываются от основных продуктов, таких как молоко и молочные продукты, рыба и рыбные продукты, мясо и мясные продукты, овощные блюда, отдавая предпочтение сладостям, кон-

дитерским изделиям, газированным напиткам, еде всухомятку. Пищевые привычки, формирующие пищевое поведение у детей, закладываются в раннем возрасте: сначала в семье, затем в детском саду, далее в школе. При формировании пищевого поведения немалую роль оказывают средства массовой информации и реклама. Поэтому при воспитании у подрастающего поколения правильного пищевого поведения, привычки и вкуса к здоровой пище требуется объединение усилий семьи, медицинских и педагогических коллективов, работников пищеблоков и биотехнологов, а также поддержка государственных органов [11, 12].

## Материал и методы

Проведены эпидемиологические исследования по изучению фактического питания и пищевых привычек среди детей и подростков, обучающихся в образовательных организациях Республики Саха (Якутия). Вся выборка составила 5046 детей в возрасте от 10 до 18 лет (1324 человека участвовали в 1-м, 1569 – во 2-м, 2153 – в 3-м исследованиях, проведенных в 2001–2013 гг.). Были использованы вопросники ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» и ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр профилактической медицины» Минздрава России, адаптированные сотрудниками Центра питания НИИ здоровья ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» в соответствии с традицией питания населения республики. Отдельно была изучена частота потребления национальных продуктов и блюд. Расчет химического состава фактического питания проведен на основании таблиц химического состава российских блюд и продуктов. Также выполнена комплексная оценка питания и здоровья 130 школьников в возрасте 15–18 лет. Проанализированы их медицинские карты,

изучены антропометрические параметры и состав тела на аппарате «Tanita» (Япония), для их оценки использовали методические указания «Стандарты индивидуальной оценки физического развития школьников Республики Саха (Якутия)» (2001).

Статистическую обработку проводили с помощью пакета Statistica 7.0. Для проверки статистической значимости различий показателей в сравниваемых группах использовали *t*-критерий Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при уровне статистической значимости  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Анализ состояния фактического питания выявил некоторые особенности питания среди городских и сельских детей и подростков. В ежедневном рационе сельских школьников больше присутствовали мясные продукты (рис. 1). Из видов мяса предпочтение отдавали говядине 40–50% детей, жеребятине – 38,4–52% детей, свинину употребляли 10–14% детей. Рыба в ежедневном рационе присутствовала в малом объеме – от 10 до 17 г/сут. Что же касается молока, то во всех половозрастных группах отмечено частое потребление молока с низким содержанием жирности (0,5–2,5%). Кисломолочные продукты (кефир, йогурт, творог) употребляла только половина обследуемых детей и подростков, остальная половина не употребляла. При выборе кисломолочных продуктов дети отдавали предпочтение продукции местных производителей.

Большинство обследованных ежедневно употребляли пшеничный хлеб, а ржано-пшеничный – только 1,8; 2,5 и 7,5% детей в разные годы исследования. Из года в год увеличивалось потребление ржано-пшеничного хлеба, а пшеничного снижалось. Существенным недостатком в рационе городских и сельских детей и подростков

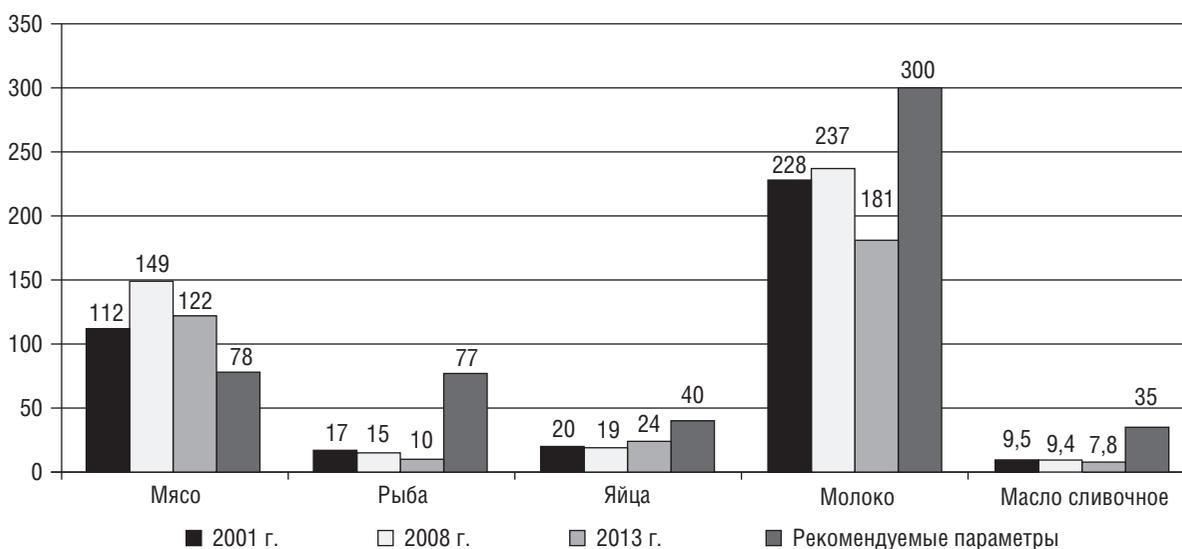


Рис. 1. Среднесуточное потребление продуктов, содержащих животный белок, г/сут

является отсутствие овощей в рационах у 84, 76 и 71% и свежих фруктов – у 86, 64 и 82% обследованных детей соответственно, несколько раз в неделю их потребляли 42,7–53,6% городских и сельских детей. Сухофрукты, орехи редко употребляли от 43,8 до 62,4% детей. Надо отметить, что в Республике Саха (Якутия) в основном круглогодично реализуются привозные овощи, фрукты и ягоды, однако республика очень богата дикорастущими ягодами с уникальным составом пищевых веществ, витаминов и минеральных веществ.

При этом выявлено повышенное потребление сахара и сладостей среди городских детей в среднем на 196 и сельских – на 154%.

Энергетическая ценность суточных рационов колебалась в пределах 1500–1900 ккал. Выявлен недостаточный вклад белка в энергетическую ценность рационов во 2-м и в 3-м исследованиях. Вклад углеводов и жиров был несколько выше во всех трех исследованиях (табл. 1).

В рамках исследований было изучено среднесуточное потребление витаминов (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, А, С) и минеральных веществ (железо, кальций, магний, фосфор, калий, натрий). Во всех исследованиях статистических различий не было. Содержание витаминов в рационах не достигало рекомендуемого уровня. Однако во 2-м исследовании в 2008 г. потребление витамина С было больше в 2 раза за счет С-витаминизации третьих блюд, так как в рационы был включен чай с аскорбиновой кислотой (табл. 2).

Аналогичная ситуация отмечена в отношении среднесуточного потребления макро- и микроэлементов. Среднесуточное потребление кальция, железа, магния не достигало рекомендуемой нормы (табл. 3). Что касается среднесуточного поступления с рационом натрия, то оно составило свыше 2500 мг, что свидетельствует о значительном превышении потребления поваренной соли – 5 г в сутки для взрослых.

В ходе исследования были изучены пищевые привычки и информированность детей в вопросах здорового питания. Пищевые привычки изучали в отношении потребления жира, молока и соли. Подавляющее большинство опрошенных в городе и селе (70–75,5%) отметили, что в их семьях пищу готовят на растительном масле. Сливочное масло для бутербродов используют 60–66,1% опрошенных, маргарин – 6,7–10%, совсем не используют бутербродное масло или маргарин 20–27,2% детей.

Изучали доступность или наличие в торговой сети молочной продукции с разным содержанием жира. В 1-м исследовании показано, что из общего количества обследованных в среднем до 70% городских и до 30% сельских детей знают, что молоко с разным содержанием жира в магазинах имеется всегда. А в последующих двух исследованиях в среднем половина опрошенных ответили, что выбор молочных продуктов на прилавках магазинов имеется всегда. От 30 до 40% детей ответили, что такие продукты имеются иногда, а до 10% детей ответили, что такие продукты на прилавках магазинов могут быть очень редко.

Таблица 1. Энергетический вклад белка, жиров, углеводов, %

Макронутриенты	I (n=1324)	II (n=1569)	III (n=2153)
Белок	15	14	14
Жиры	31	31	32
Углеводы	52	55	54

Примечание. Здесь и в табл. 2–4: I – 1-е исследование; II – 2-е исследование; III – 3-е исследование.

Таблица 2. Среднесуточное потребление витаминов, мг/сут

Витамины, мг	I (n=1324)	II (n=1569)	III (n=2153)
А, мкг рет. экв	594	594	579
В <sub>1</sub>	0,8	0,8	0,7
В <sub>2</sub>	0,7	0,9	0,9
РР	10,4	11,0	12,5
С	35,7	61,0	35,7

Таблица 3. Среднесуточное потребление минеральных веществ, мг/сут

Минеральное вещество, мг	I (n=1324)	II (n=1569)	III (n=2153)
Fe	12	13	9,7
Ca	416	498,5	354,8
Mg	208	202,5	172,9
P	872	868	721,9
K	2120,0	2093,5	1647,6
Na	2936,4	2880,5	2511,2

Изучение информированности о принципах здорового питания показало, что дети и подростки обладают недостаточным уровнем знаний в данной области. В отношении группы продуктов, которые должны составлять основу здорового питания, мнение опрошенных отличалось от современных рекомендаций Всемирной организации здравоохранения по здоровому питанию. О пользе йодированной соли знали 65,8% опрошенных, а потребляли ее иногда всего 53,9% детей. Больше половины опрошенных (от 58 до 65,0%) в разные годы исследований злоупотребляли солью: досаливали пищу за столом, считая ее недостаточно соленой. Половина обследованных детей считали, что лучше потреблять молоко жирностью 3,2%, до 35,0% детей – обезжиренное молоко и 15% детей категорически отрицали потребление данного вида продукта. Во всех случаях показано, что фактическое потребление было намного ниже, чем информированность детей и подростков о здоровом питании.

Эти данные подтверждены и в отношении потребления витаминов и минеральных веществ. Только 20% детей указали, что дополнительно принимают витамины и минеральные вещества (рис. 2).

С использованием метода частоты потребления 49 пищевых продуктов, в том числе 12 национальных блюд, изучены пищевые привычки детей. Выявлено отсутствие в рационах основных национальных продуктов и блюд, около 10% школьников только могут редко употреблять национальные блюда народов Севера (табл. 4).



Рис. 2. Частота потребления витаминов и минеральных веществ, %

В рамках комплексной оценки фактического питания и состояния здоровья школьников в возрасте 15–18 лет проанализированы медицинские карты 130 школьников. Выявлено, что у 53,3% детей имеются заболевания глаз (миопии, астигматизм, спазм аккомодации, ангиопатия сетчатки), у 40% – зутиреоидный зуб, у 26,7% – хронические очаги инфекции (тонзиллит, ринит, риносинусит), у 66,7% – заболевания и травматические повреждения опорно-двигательного аппарата (16,7% – нарушение осанки, у 13,3% – плоскостопие и у 6,7% – сколиоз, у 30% – переломы костей и позвоночника). Указанные нарушения были связаны с отклонением питания от рациональных норм, например, у детей с заболеваниями глаз в рационах было недостаточно фруктов, овощей, ягод и рыбы. В этих рационах был обнаружен дефицит витамина В<sub>1</sub> ( $p < 0,05$ ).

При изучении антропометрических показателей и параметров состава тела фактический рост у мальчиков и масса тела у девочек не входили в референсные значения, согласно методическим указаниям «Стандарты индивидуальной оценки физического развития школьников Республики Саха (Якутия)» (2001) (табл. 5).

30% обследованных детей имели низкий уровень индекса массы тела. Для рационов этих детей были характерны низкая энергоценность  $1691 \pm 183$  ( $p < 0,04$ ), низкий вклад белка в энергетическую ценность рациона ( $13,4 \pm 0,9\%$ ), сниженное содержание кальция ( $544 \pm 149$  мг/сут), железа ( $11,0 \pm 1,9$  мг/сут,  $p < 0,04$ ), витами-

нов В<sub>1</sub> ( $0,6 \pm 0,04$  мг/сут,  $p < 0,007$ ), В<sub>2</sub> ( $0,9 \pm 0,2$  мг/сут,  $p < 0,002$ ), А ( $0,5 \pm 0,2$  мг/сут,  $p < 0,003$ ). Среднесуточное потребление фосфора ( $869 \pm 83$  мг,  $p < 0,01$ ), жира ( $66,6 \pm 7,8$  г,  $p < 0,02$ ), белка ( $53,7 \pm 3,7$  г,  $p < 0,05$ ) также было ниже. Обследованные дети недостаточно потребляли яйца ( $35,7 \pm 16,9$  г/сут,  $p < 0,002$ ), фрукты и ягоды ( $125,5 \pm 83,7$  г/сут,  $p < 0,001$ ). Для них было характерно низкое содержание жира в организме ( $10,5 \pm 1,7\%$ ,  $p < 0,001$ ) и воды ( $65,5 \pm 1,3\%$ ,  $p < 0,002$ ).

Результаты настоящих исследований являются обоснованием для подготовки Указа Президента Республики Саха (Якутия) от 25.12.2009 № 1735 «О компенсационных выплатах на питание обучающимся из малообеспеченных семей государственных общеобразовательных учреждений Республики Саха (Якутия)» и Указа Главы Республики Саха (Якутия) от 08.05.2015 № 479 «О дополнительных компенсационных выплатах на питание обучающимся из малоимущих многодетных семей государственных общеобразовательных организаций Республики Саха (Якутия)». Компенсационные выплаты предусмотрены для обучающихся государственных и муниципальных общеобразовательных организаций. Эти указы позволили улучшить структуру и социальную поддержку различных категорий обучающихся общеобразовательных учреждений в части организации здорового питания. Таким образом, обоснованием для разработки таких законодательных документов послужили результаты проведенных мониторинговых исследований за 2001–2013 гг. В динамике эти мониторинговые исследования будут проводиться каждые 5 лет, в конце 2018 г. будут получены результаты 4-го мониторинга. В целях внедрения государственного стандарта издан приказ Министерства образования и науки Республики Саха (Якутия) «О создании комиссии по разработке регионального плана действий по внедрению проекта государственного стандарта питания обучающихся образовательных учреждений» от 23.12.2011 № 01-16/3822. Министерством образования Республики Саха (Якутия) подготовлен и издан 4-сторонний приказ от 30.12.2011 № 01-16/4037 «Об утверждении Плана действий по внедрению проекта государственного стандарта питания обучающихся и воспитанников образовательных

Таблица 4. Частота потребления национальных блюд

Национальные продукты и блюда	Ежедневно, %			Несколько раз в неделю, %			1–2 раза в неделю, %			Редко или никогда, %		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Сохатина	0	0	0	0	0	0	0	6,7	0	100,0	93,3	100,0
Оленина	0	3,3	0	0	0	6,6	12,0	10,0	20,0	78,0	86,7	73,4
Саламат	0	0	0	0	3,3	3,3	6,6	6,7	6,6	93,4	90	90,1
Куорчэх	0	0	0	13,3	13,3	24,6	10,0	13,4	12,7	76,7	73,3	62,7
Зайчатина	0	0	0	0	0	3,3	6,6	13,3	0	93,4	86,7	96,7
Суорат	0	0	0	6,6	3,3	6,6	6,6	10	12,6	86,8	86,7	80,8
Быырпах	0	0	0	0	0	0	0	3,3	0	100,0	96,7	100,0
Кумыс	0	0	0	0	0	0	0	6,7	0	100,0	93,3	100,0
Кровяная колбаса	0	0	0	0	0	3,3	0	10	0	100,0	90	96,7
Потроха	0	0	0	0	0	0	0	10	0	100,0	90	100,0
Оладьи	0	0	0	6,6	3,3	12,6	28,5	46,7	32,5	64,9	50	54,9
Баахыла	0	0	0	0	0	3,3	0	6,7	3,2	100,0	93,3	93,5

Таблица 5. Антропометрические показатели и состав тела обследованных школьников

Показатель	Вся выборка, $M \pm m$	Мальчики, $M \pm m$	Девочки, $M \pm m$	Референсные значения
Рост, см	166,6 $\pm$ 1,4	174,1 $\pm$ 2,2	162,8 $\pm$ 1,1	151–163
Масса тела, кг	55,5 $\pm$ 1,4	53,6 $\pm$ 1,5	40,6 $\pm$ 13,5	42,9–59,1
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	19,9 $\pm$ 0,4	19,6 $\pm$ 0,7	20,2 $\pm$ 0,5	18,5–24,9
Содержание жира в организме, %	18,3 $\pm$ 1,5	9,5 $\pm$ 1,9	22,6 $\pm$ 1,3	18–25
Содержание воды в организме, %	59,8 $\pm$ 1,1	66,2 $\pm$ 1,4	56,6 $\pm$ 0,9	65–77

учреждений в Республике Саха (Якутия)» совместно с Управлением Роспотребнадзора по Республике Саха (Якутия), Министерством здравоохранения Республики Саха (Якутия), Министерством профессионального образования, подготовки и расстановки кадров Республики Саха (Якутия).

Результаты научных исследований являются основанием для участия в федеральной программе по модернизации школьного питания с 2010 г. и разработки единой автоматизированной системы мониторинга питания в дошкольных и школьных образовательных организациях с едиными региональными меню с включением местной продукции и национальных блюд народов Севера [14]. Они являются обоснованием для внедрения Национальной программы «Школьное молоко» и участия в федеральном пилотном проекте «Школьная медицина» 2017–2019. Эти мероприятия включены в План основных мероприятий, проводимых в рамках Десятилетия детства в Российской Федерации «Якутия доброжелательна к детям» на 2018–2020 гг.

Результаты эпидемиологических исследований по изучению фактического питания и пищевых привычек среди детей и подростков, обучающихся в образовательных организациях Республики Саха (Якутия), в динамике за 13 лет являются обоснованием для решения вопросов качественной и безопасной организации школьного питания на государственном и законодательном уровне. При этом надо учитывать, что организация школьного питания определяется в нормативном материале как самостоятельная отрасль экономики, состоящая из предприятий различных форм собственности и организационно-управленческой структуры, обеспечивающая питание детского населения, а также производство и реализацию готовой продукции и полуфабрикатов как в образовательных организациях, так и вне их [15, 16].

В России организация питания обучающихся является обязанностью образовательной организации и должна быть реализована через договор об организации питания (письмо Рособнадзора от 23.12.2011 № 05-4806) [17]. Договоры такого рода, нередко заключаемые с предпринимательскими структурами, требуют особого внимания и контроля со стороны заказчиков и надзорных органов в связи с важностью сферы их применения. Кроме того, следовало бы установить специальные, более жесткие правила допуска таких структур на конкурсной основе к обеспечению детского питания, решить вопросы их полной имущественной ответственности за причиненный вред, в том числе не-

зависимо от наличия или отсутствия вины. В том же направлении следует ориентировать судебную практику, которая должна располагать широким комплексом мер ответственности, применяемых к нарушителям требований к качеству детского питания по всей цепочке его движения от производителя до конечных потребителей. Такие меры могут включать как гражданско-правовые, так и административные и уголовно-правовые санкции.

Школьное питание нужно рассматривать как разновидность общественного питания, предназначенную для удовлетворения соответствующих потребностей определенного круга лиц, в том числе социально незащищенных, и предоставляемого на льготных условиях либо, в подлежащих случаях, безвозмездно за счет средств государственного бюджета или иных предусмотренных законом источников. В п. 1 ст. 1 Конституции России подчеркнуто, что Российская Федерация – правовое государство. И поскольку ключевую роль в организации школьного питания составляет его правовое регулирование, предполагается также решение следующих задач: общий анализ нормативных правовых актов различного уровня о социальном (школьном) питании; изучение относящейся к нему судебной практики, прежде всего с участием индивидуальных предпринимателей и коммерческих организаций; формулирование предложений по совершенствованию законодательства о социальном питании.

Учитывая тот факт, что школьное (социальное) питание относится к числу важных социальных гарантий, законы о нем следовало бы принять в каждом регионе субъекта РФ и, в частности, в Республике Саха (Якутия), где до настоящего времени такой нормативный акт отсутствует. В проекте такого закона в первую очередь следует определить содержание используемых в нем понятий. При этом краеугольным камнем должен быть триединый подход к качеству пищевых продуктов, понимаемый в узком смысле как совокупность характеристик таких продуктов, способных удовлетворять потребности человека в пище при обычных условиях их использования, а в широком смысле – как еще и безопасность, т.е. состояние обоснованной уверенности в том, что пищевые продукты при обычных условиях их использования не представляют опасности для здоровья нынешнего и будущих поколений, с учетом того фактора, что пищевая ценность продукта – совокупность его свойств, при наличии которых удовлетворяются физиологические потребности человека в необходимых веществах и энергии [18]. Квалификация школьного питания как го-

сударственной услуги потребует формулирования комплексного понятия, включающего весь процесс ее оказания, начиная с производства продуктов и заканчивая их предоставлением конкретным гражданам, в том числе с участием индивидуальных предпринимателей и коммерческих организаций. Поэтому создание консолидированной автоматизированной системы мониторинга питания с единым региональным меню для разных возрастных категорий детей и подростков, обучающихся в образовательных организациях Республики Саха (Якутия), и ее правовое регулирование является одной из ключевых социальных гарантий, вытекающей из Конституции РФ.

## Заключение

Питание детей и подростков Республики Саха (Якутия) имеет свои региональные особенности, которые характеризуются низкой энергетической ценностью рационов, наличием дефицита основных компонентов пищи, несбалансированностью нутриентного состава, а также недостаточным формированием у детей ценностей традиций и культуры питания. Рационы не имеют разнообразия продуктов и блюд, характерно недостаточное потребление основных, таких как молочные, мясные, рыбные продукты, яйца, овощи, фрукты и ягоды. Дети больше употребляют хлебобулочные и кондитерские изделия. Наблюдается изменение в традиционном питании коренных народов Севера, в среднем 10% детей редко употребляют национальные продукты и блюда. Такое нерациональное питание является причиной нарушений здоровья и развития болезней детского возраста и в последующие годы жизни человека.

У 53,3% обследованных подростков в возрасте 15–17 лет выявлены функциональные расстройства зрения, у 40% – зутиреоидный зуб, у 26,7% – хронические очаги инфекции, у 66,7% – заболевания и травматические

повреждения опорно-двигательного аппарата, у 30% – низкий уровень индекса массы тела. При изучении информированности и пищевых привычек выявлено, что во всех случаях фактическое потребление было намного ниже, чем информированность детей и подростков о здоровом питании.

Результаты мониторинговых эпидемиологических исследований, проведенных в Республике Саха (Якутия) за 13 лет, являются фундаментальной научно-методической и аналитической базой для обоснования научно-практических рекомендаций по оптимизации системы питания детей и подростков, обучающихся в образовательных организациях. В перспективе должна быть инструментом для разработки проектов, законодательных актов и нормативно-правовых документов в области совершенствования системы питания детей и подростков Республики Саха (Якутия).

Поскольку субъекты предпринимательского права, индивидуальные предприниматели и коммерческие организации занимают в организации питания обучающихся ведущие позиции, следует в нормативном порядке повысить эффективность контроля их деятельности с одновременным установлением ответственности, в том числе уголовной, за нарушение ими принятых обязанностей. Такой подход вытекает из закрепленной в Конституции РФ характеристики России как социального государства, для которого забота о детях является первоочередной и важнейшей задачей.

**Финансирование.** Научно-исследовательская работа проведена в рамках выполнения государственных заданий Минобрнауки России № 0157-2018-0033, № 17.6344.2017/БЧ и научного проекта РФНФ № 17-21-08001.

**Конфликт интересов.** Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

## Сведения об авторах

*Лебедева Ульяна Михайловна* – кандидат медицинских наук, руководитель Центра питания Научно-исследовательского института здоровья ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», главный диетолог Минздрава Республики Саха (Якутия) и Дальневосточного федерального округа, председатель Якутского регионального отделения Общероссийской общественной организации «Российский союз диетологов, нутрициологов и специалистов пищевой индустрии» (Якутск)

E-mail: ulev@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8990-3876>

*Баттахов Петр Петрович* – кандидат юридических наук, старший научный сотрудник сектора предпринимательского и корпоративного права ФГБУН «Институт государства и права РАН» (Москва)

E-mail: igpran@igpran.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2251-4312>

*Степанов Константин Максимович* – доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по науке ФГБНУ «Якутский научный центр комплексных медицинских проблем» (Якутск)

E-mail: stenko07@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5238-8102>

*Лебедева Айина Михайловна* – студентка ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России (Москва)

E-mail: lam\_95@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6469-0766>

Занковский Сергей Сергеевич – доктор юридических наук, профессор, главный научный сотрудник, и.о. заведующего сектором предпринимательского и корпоративного права ФГБУН «Институт государства и права РАН» (Москва)

E-mail: igpran@igpran.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1699-7223>

Булгакова Лариса Ивановна – кандидат юридических наук, старший научный сотрудник сектора предпринимательского и корпоративного права ФГБУН «Институт государства и права РАН» (Москва)

E-mail: igpran@igpran.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4910-0670>

Винокурова Декабрина Михайловна – доцент, кандидат социологических наук заведующая межфакультетской социологической лабораторией Финансово-экономического института ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» (Якутск)

E-mail: dm.vinokurova@s-vfu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8924-225>

## Литература

1. Лебедева У.М., Абрамов А.Ф. Основы рационального питания населения Якутии/ Якутск : ИД СВФУ, 2015. С. 74–101.
2. Маркова А.И., Ляхович А.В., Гутман М.Р. Образ жизни родителей как детерминанта здоровья детей // Гиг. и сан. 2012. № 2. С. 55–61.
3. Организация питания детей дошкольного и школьного возраста в организованных коллективах : методические рекомендации. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. 14 с.
4. Каганов Б.С., Шарафетдинов Х.Х., Батуринов А.К. Питание подростков: современные взгляды и практические рекомендации // Качество жизни. Медицина. 2008. № 1. С. 56–64.
5. Бекмансуров Х.А. Паспорт здоровья учащихся в общероссийской системе мониторинга. Елабуга : Принт-Мастер, 2007. 248 с.
6. Пономаренко И.И., Коновалова Т.М. Традиции и инновации в охране здоровья детей // Здравоохранение Рос. Федерации. 2013. № 5. С. 13–16.
7. Петрова Н.Ф., Горова В.И. Современная школа и проблема здоровья учащихся // Успехи современ. естествознания. 2005. № 11. С. 73–75.
8. Мартинчик А.Н., Батуринов А.К., Кешабянц Э.Э. и др. Анализ фактического питания детей и подростков России в возрасте от 3 до 19 лет // Вопр. питания. 2017. Т. 86, № 4. С. 50–60.
9. Конь И.Я. и др. Распространённость ожирения у детей дошкольного и школьного возраста в Российской Федерации // Вопр. детской диетологии. 2011. Т. 9, № 4. С. 5–8.
10. Тутельян В.А. и др. Политика в области здорового питания населения Республики Саха (Якутия) // Якутский мед. журн. 2015. Т. 3, № 51. С. 6–9.
11. Конь И.Я. Педиатрическая диетология: основные направления и достижения // РМЖ. Педиатрия. 2013. № 25. С. 1209–1216.
12. Баранов А.А. и др. Инновационные технологии в деятельности центров здоровья для детей // Социальные аспекты здоровья населения. 2013. Т. 34, № 6. С. 1–15.
13. Лебедева У.М. и др. Пищевая ценность национальных молочных продуктов с добавлением лесных ягод и дикорастущих пищевых растений Якутии // Вопр. питания. 2015. Т. 84, № 6. С. 132–140.
14. Лебедева У.М. и др. Опыт разработки адаптированного меню с учетом особенностей региона проживания // Информатика и образование. 2014. № 10. С. 61–62.
15. Берназ Л.П. и др. Научно-практический комментарий к Федеральному закону от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (постатейный) / отв. ред. Н.И. Хлуденева. М. : Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ ; Контракт, 2018. 528 с.
16. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.09.2017) // Справочная правовая система «Консультант Плюс».
17. Осипова Л.В. Договор об организации питания обучающихся: проблемы юридической квалификации и правовой сущности // Законодательство и экономика. 2016. № 6. С. 39–43.
18. Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» (ред. от 13.07.2015) // Справочная правовая система «Консультант Плюс».

## References

1. Lebedeva U.M., Abramov A.F. Basics of rational nutrition of the population of Yakutia. Yakutsk: ID SVFU, 2015: 74–101. (in Russian)
2. Markova A.I., Lyahovich A.V., Gutman M.R. Parents' lifestyle as a determinant of children's health. Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]. 2012; (2): 55–61. (in Russian)
3. Catering services for children of preschool and school age in organized groups: Guidelines. Moscow: Federal'nyy tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebнадзора, 2016: 14 p. (in Russian)
4. Kaganov B.S., Sharafetdinov H.H., Baturin A.K. Nutrition of adolescents: modern views and practical recommendations. Kachestvo zhizni. Meditsina [Quality of Life. Medicine]. 2008; (1): 56–64. (in Russian)
5. Bekmansurov H.A. Health passport of students in the all-Russian monitoring system. Elabuga: Print-Master, 2007: 248 p. (in Russian)
6. Ponomarenko I.I., Konvalova T.M. Traditions and innovations in child health protection. Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii [Health Care of the Russian Federation]. 2013; (5): 13–6. (in Russian)
7. Petrova N.F., Gorovaya V.I. Modern school and the problem of the health of students. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [The Success of Modern Science]. 2005; (11): 73–5. (in Russian)
8. Martinchik A.N., Baturin A.K., Keshabyanc E.E., et al. Analysis of the actual nutrition of children and adolescents in Russia aged from 3 to 19 years. Voprosy pitaniya [Problems of Nutrition]. 2017; 86 (4): 50–60. (in Russian)
9. Kon' I.Ya., et al. The prevalence of obesity in children of preschool and school age in the Russian Federation. Voprosy detskoj dietologii [Problems of Pediatric Nutrition]. 2011; 9 (4): 5–8. (in Russian)
10. Tutelyan V.A., et al. Policy on healthy nutrition of the population of the Republic of Sakha (Yakutia). Yakutskiy meditsinskiy zhurnal [Yakutsk Medical Journal]. 2015; 3 (51): 6–9. (in Russian)
11. Kon' I.Ya. Pediatric dietetics: main directions and achievements. Russkiy meditsinskiy zhurnal. Pediatriya [Russian Medical Journal. Pediatrics]. 2013; (25): 1209–16. (in Russian)
12. Baranov A.A., et al. Innovative technologies in the activities of health centers for children. Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya [Social Aspects of Public Health]. 2013; 34 (6): 1–15. (in Russian)

13. Lebedeva U.M., et al. Nutritional value of national dairy products with the addition of wild berries and wild food plants of Yakutia. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2015; 84 (6): 132–40. (in Russian)
14. Lebedeva U.M., et al. Experience in developing an adapted menu taking into account the characteristics of the region of residence. *Informatika i obrazovanie* [Informatics and Education]. 2014; (10): 61–2. (in Russian)
15. Bernaz L.P., et al. Scientific and practical commentary to the Federal Law of January 10, 2002 No. 7-FZ «On Environmental Protection» (itemized). Executive editor N.I. Khludeneva. Moscow: Institut zakonodatel'stva i sravnitel'nogo pravovedeniya pri Pravitel'stve RF; Kontrakt, 2018: 528 p. (in Russian)
16. Federal law of March 30, 1999 No. 52-FZ «On the Sanitary-Epidemiological Well-Being of the Population» (with amendments and additions, entered into force with 30.09.2017). Reference legal system «Konsultant Plyus». (in Russian)
17. Osipova L.V. The Treaty on the organization of catering for students: problems of legal qualification and legal nature. *Zakonodatel'stvo i ekonomika* [Legislation and Economics]. 2016; (6): 39–43. (in Russian)
18. Federal Law of 02.01.2000, No. 29-FZ «On the quality and safety of food products» (revision from 13.07.2015). Reference legal system «Konsultant Plyus». (in Russian)

**Для корреспонденции**

Сидорова Юлия Сергеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

Телефон: (495) 698-53-71

E-mail: sidorovaulia28@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2168-2659>

Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Саркисян В.А., Киселева Т.Л., Кочеткова А.А.

## Перспективы использования растительных полифенолов в качестве функциональных пищевых ингредиентов

The prospective of using plant polyphenols as functional food ingredients

Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Sarkisyan V.A., Kiseleva T.L., Kochetkova A.A.

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва  
Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

*В обзоре кратко обсуждаются публикации, посвященные экспериментальной оценке гипогликемических, гиполипидемических и антиоксидантных свойств различных растительных полифенолов. Представлены этапы доклинического тестирования их эффективности: исследования in silico методами молекулярного докинга и in vivo с использованием генетических и медикаментозных моделей сахарного диабета 2 типа. Приведены результаты собственных экспериментальных исследований для обоснования перспективности использования полифенольных растительных экстрактов в качестве функциональных пищевых ингредиентов для профилактического и лечебного питания лиц, страдающих сахарным диабетом 2 типа. На модели генетических тучных крыс линии Цукер показано, что потребление экстракта значительно снижало уровень глюкозы, оказывало благоприятное воздействие на чувствительность к глюкозе, а также улучшало реакцию инсулинчувствительных тканей на экзогенное введение глюкозы и инсулина. На крысах-самцах линии Вистар при моделировании нарушений углеводного обмена введением стрептозоцина, сочетающимся с потреблением 10% раствора фруктозы, охарактеризованы гипогликемические и гиполипидемические свойства экстракта листьев черники. Результаты проведенных исследований свидетельствовали о благоприятном воздействии экстракта листьев черники на углеводный обмен и определили задачу повышения эффективности разрабатываемого полифенольного ингредиента путем сорбции полифенолов на белковом пищевом матриксе – муке гречневой. Таким образом, краткий обзор представленных в данном сообщении результатов экспериментальных зарубежных и отечественных исследований свидетельствует о перспективности использования индивидуальных растительных полифенолов и полифенольных растительных экстрактов в качестве фитонутриентов для диетотерапии и диетопрофилактики заболеваний, связанных с нарушениями углеводного и липидного обмена.*

**Для цитирования:** Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Саркисян В.А., Киселева Т.Л., Кочеткова А.А. Перспективы использования растительных полифенолов в качестве функциональных пищевых ингредиентов // *Вопросы питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 57–66. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10067. **Статья поступила в редакцию** 22.11.2017.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Sarkisyan V.A., Kiseleva T.L., Kochetkova A.A. The prospective of using plant polyphenols as functional food ingredients. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 57–66. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10067. (in Russian)

**Received** 22.11.2017.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

**Ключевые слова:** специализированные пищевые продукты, функциональные пищевые ингредиенты, сахарный диабет 2 типа, полифенолы, экстракт листьев черники, тучные крысы линии Цукер, стрептозотоцин, биодоступность

*In this review we briefly discuss the publications dedicated to experimental evaluation of hypoglycemic, hypolipidemic and antioxidant properties of different plant polyphenols. The stages of preclinical studies of their efficacy are presented: in silico studies with molecular docking methods and in vivo studies with the use of genetic and medicamental models of type 2 diabetes. The results of own studies present the substantiation of prospects of using the plant polyphenol extracts as functional food ingredients for diet therapy and treatment of patients with type 2 diabetes. It was shown using genetic fatty Zucker rats model that extract consumption led to lower blood glucose level, had beneficial effect on glucose sensitivity and also improved the reaction of insulin-sensitive tissues on exogenous injection of glucose and insulin. Hypoglycemic and hypolipidemic properties of bilberry leaves extract were characterized on male Wistar rats model of carbohydrate metabolism disorder (streptozotocin injection accompanied with consumption of 10% fructose solution). The results of previous studies showed the beneficial effects of bilberry leaves extract on carbohydrate metabolism and determined the task to enhance the efficacy of developed polyphenol ingredient by the way of sorption on protein food matrix – brown buckwheat flour. Thus, a brief review of presented in this article results of foreign and domestic experimental studies shows the prospect of using the individual plant polyphenols and polyphenol plant extracts as phytonutrients for diet therapy and treatment of diseases associated with disorders of carbohydrate and lipid metabolism.*

**Keywords:** specialized foods, functional food ingredients, type 2 diabetes, polyphenols, bilberry leaves extract, fatty Zucker rats, streptozotocin, bioavailability

Необходимой составной частью профилактики развития алиментарно-зависимых заболеваний и связанных с ними клинических проявлений является использование специализированных пищевых продуктов (СПП). Практические возможности диетотерапии, основанной на применении СПП, связаны с разработкой таких продуктов и в первую очередь входящих в их состав функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ), эффективность которых должна устанавливаться с позиций доказательной медицины в доклинических и клинических исследованиях. Всевозрастающий интерес к вопросу использования при метаболических нарушениях в профилактическом питании индивидуальных растительных полифенолов как таковых или в составе экстрактов подтверждается результатами исследований, доказывающих эффективность и безопасность их применения за счет реализации одного из основных принципов фитотерапии, состоящего в действии не только на пораженный орган, но и на сопряженные системы организма [1].

Цель нашего сообщения – кратко охарактеризовать на основе данных литературы гипополидемические, гипогликемические и антиоксидантные свойства различных растительных полифенолов и представить результаты собственных экспериментальных исследований для обоснования перспективности использования этих фитонутриентов в качестве ФПИ, предназначенных для профилактического и лечебного питания лиц, страдающих сахарным диабетом (СД) 2 типа и другими алиментарно-зависимыми заболеваниями, связанными с нарушениями жирового и углеводного обмена.

## Антидиабетические свойства полифенолов

Механизмы гипогликемического и гипополидемического действия растительных полифенолов, в том числе на молекулярном и клеточном уровне, обсуждаются в ряде зарубежных и отечественных обзоров и монографий, в частности [2, 3], и не являются предметом специального рассмотрения в нашем сообщении, представляющем собой краткий обзор экспериментальных данных об антидиабетических (гипогликемических, гипополидемических, антиоксидантных) свойствах различных индивидуальных полифенолов. Отметим лишь, что растительные полифенолы, как и другие облигатные антиоксиданты пищи, поступив в организм, становятся компонентами антиоксидантной системы, с чем в значительной степени связан их антидиабетический эффект. Проявление фармакологического действия растительных полифенолов на клеточном уровне определяется их взаимодействием с клеточными мембранами и влиянием на активность различных цитоплазматических ферментов. Не вызывает сомнения влияние растительных полифенолов на экспрессию ядерных и цитоплазматических белков. Очень важной составляющей физиологической активности растительных полифенолов представляется их участие в сигнальных системах клетки, в частности влияние на рецепторы цитокинов.

**Флаваны.** Эпигаллокатехин-галлат (ЭГКГ), являющийся одной из олигомерных форм катехинов, обладает способностью взаимодействовать с различными молекулярными мишенями в клетке, в том числе с транскрип-

ционным фактором NF-κB, контролирующим экспрессию генов иммунного ответа и апоптоза. Гипогликемические, гиполлипидемические и антиоксидантные свойства ЭГКГ протестированы и достаточно подробно обсуждены в многочисленных исследованиях *in vitro* и *in vivo* и, в частности, в нашей предыдущей обзорной работе [4]. В экспериментах *in silico* было показано, что ЭГКГ ингибирует потребление глюкозы адипоцитами крысы, что подтверждено их прямым взаимодействием с транспортером глюкозы типа 4 (GLUT4) [5].

Также относящийся к флаванам диосмин способен влиять на ключевые ферменты метаболизма углеводов у стрептозотоцин-никотинамид-индуцированных диабетических крыс линии Вистар. Ежедневное потребление диосмина в дозе 100 мг на 1 кг массы тела животного оказывало гипогликемический эффект, снижая уровень гликированного гемоглобина и повышая концентрацию инсулина. В печени возрастала активность гексокиназы и глюкозо-S-фосфатдегидрогеназы, а активность глюкозо-6-фосфатазы и фруктозо-1,6-бис-фосфатазы снижалась. В крови повышались активность антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатион-S-трансферазы, а также уровень антиоксидантных низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы защиты: витамина С, витамина Е и восстановленного глутатиона [6, 7].

**Флавонолы.** Кверцетин – один из наиболее изученных флавонолов; активируя апоптоз преадипоцитов, он может препятствовать развитию ожирения. Нарушение регуляции пролиферации адипоцитов связано с повышением фосфорилирования аденозин-монофосфат-активируемой протеинкиназы, а также ацетил-СоА-карбоксилазы [8]. Кверцетин, а также флаванон нарингенин способны защищать β-клетки поджелудочной железы от действия цитокинов, вызывающих апоптоз, возможно, через активацию сигнального пути фосфатидилинозит-3-киназы [9]. Тем не менее антидиабетические свойства кверцетина не подтверждены. Так, в опытах *in vivo* с использованием C57BL/6J мышей с индуцированным ожирением потребление кверцетина (1,2% от массы корма) не препятствовало снижению чувствительности к инсулину в 8-недельном эксперименте [10].

Флавонол мирицетин снижал концентрацию глюкозы в крови [11] и благоприятно влиял на функцию почек крыс-альбиносов Вистар с нефропатией, развившейся в результате введения стрептозотоцина (СТЦ) [12]. Изорафнетин и изокверцетин могут препятствовать ожирению, так как способны ингибировать дифференциацию адипоцитов в культуре клеток 3T3-L1 [13].

**Флаваноны.** Гесперетин и нарингенин могут снижать в жировой ткани синтез адипокинов – цитокинов воспаления и, соответственно, препятствовать высвобождению в кровь свободных жирных кислот, приводящих к инсулинорезистентности. Эти флаваноны переключают метаболизм на путь расщепления жиров, а также ингибируют экспрессию антилиполитических ферментов, как это было показано на культуре 3T3-L1 клеток [14], препятствуют отложению жира в адипоцитах

и вызывают апоптоз преадипоцитов [15]. Потребление нарингенина оказывает антиоксидантное и гипогликемическое действие, защищая ткани панкреатической железы у крыс линии Вистар с СТЦ-индуцированным диабетом [16].

**Изофлавоны и халконы.** Генистеин тормозит процесс дифференциации клеток жировой ткани адипоцитов человека, активируя Wnt/β-катениновый сигнальный путь через киназы ERK и JNK и факторы транскрипции семейства LEF/TCF 4 [17]. Даидзеин ингибирует адипогенез, стимулируя лизис липидов вследствие активации определенных гормон-чувствительных липаз. Наномольные концентрации генистеина способны восстанавливать чувствительность гепатоцитов к инсулину в культуре клеток HepG2 гепатокарциномы [18]. Стимуляция инсулинзависимого сигнального пути генистеином осуществляется путем индукции экспрессии транскрипционного репрессорного белка SHARP-2 [19]. В опытах *in vitro* на культуре 3T3-L1 преадипоцитов и *in vivo* с использованием генетической линии KK-Ay/Ta диабетических мышей халконы 4-гидроксидеррицин и ксантоангелол, выделенные из растения ашитаба (*Angelica keiskei*), проявляли инсулиноподобную активность и повышали поглощение глюкозы адипоцитами. Этот эффект имел место вследствие активации экспрессии адипонектина [20, 21].

**Антоцианины и антоцианидины.** Антидиабетическое действие цианидин-3-О-глюкозида из черной фасоли исследовано *in vivo* и охарактеризовано в работах [22, 23]. Установлены повышение чувствительности клеток различных тканей к инсулину, гипогликемический и гиполлипидемический эффекты, снижение в крови концентрации факторов воспаления у мышей C57BL/6 с ожирением, индуцированным потреблением высокожирового рациона, и у генетической линии C57BL/Ks db/db диабетических мышей [22]. У мышей KK-Ay потребление цианидин-3-О-глюкозида снижало накопление жира в висцеральной жировой ткани и печени [23]. Ингибирующее действие цианидин-3-глюкозида и цианидин-3-галактозида на α-глюкозидазу тонкой кишки крысы и α-амилазу поджелудочной железы свиньи было установлено при проведении ингибиторного анализа в работах [24, 25]. В исследовании на культуре HepG2 клеток человека было показано, что цианидин-3-О-глюкозид повышает окисление жирных кислот и ингибирует липогенез в клетках HepG2 путем активации протеинкиназы AMPK [26] и транспортера глюкозы GLUT4 [27]. *In vivo* цианидин-3-О-глюкозид активировал AMPK, повышая чувствительность клеток к инсулину и понижая гипергликемию у диабетических мышей KK-Ay [28].

**Ауроны и неофлавоноиды.** Аурон сульфуретин защищает β-клетки панкреатической железы от цитокин-повреждающего действия и ингибирует альдозоредуктазу (фермент, участвующий в восстановлении глюкозы до сорбитола), что сопровождается окислением NADPH до NADP<sup>+</sup> и может проявляться различными диабетическими осложнениями [29]. Инкубация клеток с сульфуретинном приводила к значимому снижению

цитокин-индуцируемой активации ядерного фактора NF- $\kappa$ B – ключевого сигнального механизма повреждения панкреатических  $\beta$ -клеток [30].

Относящийся к так называемым неофлавоноидам бразилин в опытах *in vitro* в гепатоцитах, выделенных из печени крыс Sprague-Dawley, повышал активность пируваткиназы и 6-фосфофрукто-2-киназы, ингибируя глюконеогенез и снижая высвобождение глюкозы [31].

### Доклиническая оценка гипогликемических гиполипидемических свойств полифенолов

Оценка с позиций доказательной медицины эффективности разрабатываемых ФПИ требует наличия определенного алгоритма тестирования их эффективности, включающего этапы исследования *in silico*, затем *in vivo* и последующей клинической апробации с применением современных методов диагностики в сочетании с определением генетических и гормонально-метаболических маркеров [32]. Доклиническая оценка эффективности и безопасности является необходимым этапом, предшествующим клиническим испытаниям ФПИ в составе СПП, позволяет оптимизировать процесс разработки продукта и снизить затраты на его выполнение.

**Исследования *in silico*.** На этапе *in silico* осуществляется скрининг широкого набора биологически активных веществ (БАВ) методами молекулярного докинга с целью установления их возможного взаимодействия с конкретными биологическими мишенями, играющими роль при развитии СД 2 типа, что позволяет отсеивать БАВ с наименьшим связыванием и структурным подобием активному центру мишени. Общий алгоритм проведения исследований молекулярного докинга включает на начальных этапах составление базы данных биологических мишеней и лигандов, позиционирование на их основе лигандов в активном центре мишени, отвечающее наиболее компактному расположению в нем лиганда без стерических осложнений и соответствующее, как правило, множественным вариантам расположения лиганда [33]. На следующем этапе осуществляется ранжирование полученных вариантов расположения лиганда и установление конкретных аминокислотных участков мишени, участвующих в образовании комплекса с мишенью. Данные о взаимодействиях лиганда с мишенью характеризуются оценочной функцией, описывающей вандерваальсовы и гидрофобные взаимодействия, влияние водородных связей, полярных групп и другие взаимодействия [34]. Использование методов молекулярного моделирования получило широкое распространение при оценке потенциальной антидиабетической активности полифенолов. Основными мишенями действия растительных полифенолов в контексте диетотерапии СД 2 типа являются: рецептор, активируемый пероксисомными пролифераторами типа  $\gamma$  (PPAR $\gamma$ ), ферменты  $\alpha$ -амилаза,  $\alpha$ -глюкозидаза и липаза, транспортеры глюкозы и другие мишени [35, 36]. Основным преимуществом подобного рода исследований является возможность оценить вклад каждой функциональной группы БАВ и отобрать наиболее устойчивые

комплексообразователи с учетом данных литературы о биодоступности и путях метаболизма исследуемых БАВ. Виртуальный скрининг 182 представителей флавоноидов, оценивавший их способность к комплексообразованию с активными центрами  $\alpha$ -амилазы и  $\alpha$ -глюкозидазы (основными пищеварительными ферментами, отвечающими за уровень постпрандиальной гликемии), был проведен в работе [32]. Скрининг выявил, что наибольшее сродство к активному центру  $\alpha$ -глюкозидазы имеют гликированные флавоноиды за счет наличия в их структуре моно- и дисахаридов. Однако, согласно публикации [37], гликированные флавоноиды сами являются субстратами для указанных ферментов, в результате чего образующиеся простые углеводы будут способствовать последующему повышению гликемии. В связи с этим по результатам скрининга наиболее активными негликированными комплексообразователями были названы флавоноиды, имеющие в своей структуре гидроксильные группы в В-ароматическом кольце.

**Исследования *in vivo*: биомодели.** Этап комплексного физиолого-биохимического исследования биологически активного соединения *in vivo* требует использования соответствующих экспериментальных моделей с использованием лабораторных животных. Представляется очевидным, что научно-практическая значимость этого этапа в решающей степени зависит от наличия корректно подобранной биомодели, воспроизводящей нарушения, характерные для этого заболевания. Вопрос о том, в какой степени полученные результаты в опытах *in vivo* на биомоделях можно экстраполировать на организм человека, является одновременно и важнейшим, и сложнейшим при экспериментальном моделировании с использованием лабораторных животных, причем вопрос об адекватности той или иной экспериментальной биомодели процессам, протекающим в организме человека, остается открытым для большинства моделей [38]. Прогресс молекулярной биологии позволяет использовать при моделировании *in vivo* СД трансгенных и нокаутных животных [39].

Оценка адекватности экспериментальных биомodelей представляет собой систему доказательств, показывающих, что полученные результаты на животных могут быть экстраполированы на человека с определенной степенью вероятности. От того, насколько модель на лабораторных животных будет отражать патологические процессы при СД 2 типа, включающие клинические, биохимические и морфологические нарушения в организме, характерные для этого заболевания, во многом зависит стратегия выбора биологически активных минорных компонентов пищи с целью их дальнейшего использования в составе СПП.

Обсуждение накопленного к настоящему времени опыта экспериментального моделирования СД 2 типа с использованием определенных генетических линий лабораторных животных (крыс и мышей) и животных с индуцированными нарушениями липидного и углеводного обмена представлено в наших недавних обзорах [40–42]. СД 2 типа – это заболевание, тесно связанное

с ожирением, и, соответственно, большинство биомоделей СД 2 типа – это животные с ожирением, являющимся следствием мутаций либо одного, либо нескольких генов, или вызванным потреблением высокожирового рациона. У человека причиной ожирения редко является мутация одного гена, тем не менее моногенные биомодели ожирения с нарушением сигнального пути лептина используются достаточно широко. Полигенные модели ожирения, характеризующиеся резистентностью к инсулину и/или нарушениями, затрагивающими  $\beta$ -клетки, в большей степени приближены к СД 2 типа у человека. Анализ разработанных к настоящему времени биомоделей на крысах для тестирования гиполипидемических и гипогликемических свойств новых СПП позволяет выделить в качестве приоритетных линию диабетических тучных крыс линии Цукер с диабетическим фенотипом (Zucker Diabetic Fatty Rats – ZDF) [43] и линию предрасположенных к диабету SDT-тучных крыс (Spontaneously Diabetic Torii *Lepr<sup>fa</sup>* Rat), полученную путем введения *fa*-аллеля тучных крыс Цукера в геном SDT-крыс конгенным методом [44]. В качестве перспективной отечественной генетической модели СД 2 типа на мышах могут быть использованы мутантные мыши линии C57BL/KsLepr db/+, которые несут рецессивный ген *leptin receptor-Lepinlb* – (*db*) (8-я группа сцепления, 4-я хромосома) [45]. В качестве другой альтернативной модели СД 2 типа с ожирением предложены мыши линии TSOD (Tsumura Suzuki, сахарный диабет с ожирением), проявляющие признаки диабета и ожирения с выраженной гиперинсулинемией и гипертрофией поджелудочной железы [46].

Таким образом, имеются относительно широкие возможности эффективного использования генетических линий мелких лабораторных животных (крыс и мышей) для моделирования СД 2 типа. Экстраполяция результатов, полученных при моделировании диабета с использованием генетических линий лабораторных животных, на организм человека существенно более оправдана по сравнению с так называемыми химическими моделями СД. Однако высокая стоимость соответствующих генетических линий лабораторных животных, трудоемкость воспроизведения модели, специальные условия ухода и высокая степень инбридинга определяют необходимость разработки, апробации и совершенствования негенетических моделей [47]. Соответственно для оценки гипогликемических и гиполипидемических свойств природных БАВ наряду с генетическими линиями животных достаточно широко используются так называемые медикаментозные модели СД на лабораторных грызунах, у которых нарушения углеводного и жирового обмена индуцированы введением СТЦ, сочетающимся с потреблением высокоуглеводной или высокожировой диеты.

В наших исследованиях при тестировании гипогликемических и гиполипидемических свойств экстракта листьев черники были использованы как генетическая, так и стрептозотоциновая модели СД 2 типа [48, 49]. Генетической линии тучных крыс Zucker Rats Crl:ZUC-Lepr<sup>fa</sup> внутрижелудочно вводили экстракт в течение 28 сут

в дозе 2 г на 1 кг массы тела животного. Благоприятное влияние экстракта на чувствительность к глюкозе было выявлено в глюкозотолерантном тесте. Потребление экстракта в течение 4 нед способствовало улучшению реакции инсулинчувствительных тканей на экзогенное введение глюкозы и инсулина, препятствовало повышению концентрации глюкозы в крови. Уровни триглицеридов были сильно завышены и в опытной, и в контрольной группах, но содержание общего холестерина и холестерина в составе липопротеинов высокой плотности в крови крыс, потреблявших экстракт, было достоверно меньше по сравнению с животными контрольной группы [49].

В другом эксперименте на крысах-самцах линии Вистар при моделировании нарушений углеводного обмена одноразовым внутривентральным введением СТЦ, сочетающимся с пероральным потреблением 10% раствора фруктозы, нами также были охарактеризованы гипогликемические и гиполипидемические свойства экстракта листьев черники, который животные начинали получать через 1 нед после введения СТЦ на протяжении 50 сут [48]. Результаты проведенных исследований, во-первых, свидетельствовали об определенном благоприятном воздействии экстракта листьев черники на углеводный обмен и, во-вторых, определили задачу, связанную с повышением эффективности разрабатываемого полифенольного ингредиента в составе СПП антидиабетической направленности.

### **Повышение биодоступности полифенолов в составе функциональных пищевых ингредиентов**

В отличие от экспериментов *in vitro*, в опытах *in vivo* и клинических исследованиях не всегда удается выявить благоприятный эффект полифенольных соединений, который не достигается вследствие их низкой биодоступности [50]. После приема пищи концентрация метаболитов фенольных соединений в крови редко превышает 1 нМ, хотя в желудочно-кишечном тракте может и превышать 1 мМ. В целях повышения биодоступности этих биологически активных соединений разрабатываются такие технологические подходы, как использование в качестве транспорта микросфер и микрокапсул, формирование твердых дисперсий, сочетанное введение с усилителями всасывания, формирование комплексов фосфолипиды–полифенолы и сорбция на белковых матриксах [51].

В серии недавних работ американских исследователей также было показано, что сорбция различных полифенолов из ягодных соков и из растительных экстрактов на белковых матриксах (в частности на обезжиренной соевой муке) повышает их устойчивость при высоких температурах и низких значениях pH, что говорит о защитных свойствах матрикса от деградиационных процессов в желудочно-кишечном тракте и потенциальной возможности удлинения сроков хранения [52]. В опытах *in vivo* на модели мышей линии C57BL/6J

была продемонстрирована высокая гликемическая активность полифенолов сока черники, сорбированных на обезжиренной соевой муке [53].

В наших исследованиях полифенольные соединения извлекали и концентрировали из экстракта листьев черники путем сорбции на таком пищевом матриксе, как мука коричневой гречки [54]. Выбор измельченной гречневой крупы в качестве пищевого матрикса определяется ее химическим составом, в первую очередь устойчивостью углеводов гречки к амилолитическому расщеплению, что обуславливает невысокий гликемический индекс продукта и достаточно продолжительное ощущение сытости после его приема. Помимо высокого содержания пищевых волокон, в зерне гречки присутствуют полифенольные соединения, такие как рутин, катехин-7-глюкозид и дубильные вещества. В ходе экспериментов определены оптимальные условия сорбции полифенолов на измельченной гречневой муке (при различных соотношениях в растворе концентраций полифенолов и муки, при различных значениях pH и времени сорбции, различных параметрах микро-структуры пищевого матрикса) [55]. Модифицированная полифенолами пищевая матрица в качестве ФПИ после проведения доклинических испытаний может быть включена в рецептуру разрабатываемого СПП, предназначенного для персонализированной диетотерапии лиц, страдающих нарушениями липидного и углеводного обмена.

### Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва):

*Мазо Владимир Кимович* – профессор, доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: mazo@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3237-7967>

*Сидорова Юлия Сергеевна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: sidorovaulia28@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2168-2659>

*Саркисян Варужан Амбарцумович* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: sarkisyan.varuzhan@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5911-610X>

*Киселева Татьяна Леонидовна* – доктор фармацевтических наук, профессор, старший научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: kiselevatl@yandex.ru

*Кочеткова Алла Алексеевна* – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: kochetkova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9821-192X>

### Литература

1. Растительные источники фитонутриентов для специализированных пищевых продуктов антидиабетического действия / под ред. В.А. Тутельяна, Т.Л. Киселевой, А.А. Кочетковой. М.: Библио-Глобус, 2016. 422 с.
2. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пушино: Synchronbook. 2013. 310 с.
3. Chang C., Lin Y., Bartolome A., Chen Y., Chiu S. Yang W. Herbal therapies for type 2 diabetes mellitus: chemistry, biology, and potential application of selected plants and compounds // Evid. Based Complement. Alternat. Med. 2013. Vol. 2013. Article ID 378657. doi: 10.1155/2013/378657.
4. Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Шипелин В.А., Петров Н.А., Кочеткова А.А. Полифенольные растительные экстракты: влияние на

Таким образом, краткий обзор представленных в данном сообщении результатов экспериментальных зарубежных и отечественных исследований свидетельствует, на наш взгляд, о перспективности использования растительных полифенолов и обогащенных этими соединениями растительных экстрактов в качестве фитонутриентов для диетотерапии и диетопрофилактики заболеваний, связанных с нарушениями углеводного и липидного обмена. Алгоритм тестирования, включающий доклиническую оценку фармакологической активности полифенолов с использованием соответствующих моделей *in vivo*, позволяет обосновывать их включение в состав новых высокоэффективных СПП антидиабетического действия. Магистральным направлением в создании высокоэффективных СПП антидиабетической направленности является повышение биодоступности полифенолов, используемых в качестве ФПИ этих продуктов. Способом повышения биодоступности является их сорбция на пищевом матриксе – источнике растительного белка.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансировании Российского научного фонда (проект № 14-36-00041).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

- нарушения углеводного и липидного обмена у лабораторных грызунов // Пробл. эндокринол. 2016. № 4. С. 38–44.
5. Strobel P., Allard C., Perez-Acle T., Calderon R., Aldunate R., Leighton F. Myricetin, quercetin and catechin-gallate inhibit glucose uptake in isolated rat adipocytes // *Biochem. J.* 2005. Vol. 386, N 3. P. 471–478. doi: 10.1042/bj20040703.
  6. Pari L., Srinivasan S. Antihyperglycemic effect of diosmin on hepatic key enzymes of carbohydrate metabolism in streptozotocin-nicotinamide-induced diabetic rats // *Biomed. Pharmacother.* 2010. Vol. 64, N 7. P. 477–481. doi: 10.1016/j.biopha.2010.02.001.
  7. Srinivasan S., Pari L. Ameliorative effect of diosmin, a citrus flavonoid against streptozotocin-nicotinamide generated oxidative stress induced diabetic rats // *Chem. Biol. Interact.* 2012. Vol. 195, N 1. P. 43–51. doi: 10.1016/j.cbi.2011.10.003.
  8. Ahn J., Lee H., Kim S., Park J., Ha T. The anti-obesity effect of quercetin is mediated by the AMPK and MAPK signaling pathways // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2008. Vol. 373, N 4. P. 545–549. doi: 10.1016/j.bbrc.2008.06.077.
  9. Lin C.Y., Ni C.C., Yin M.C., Lii C.K. Flavonoids protect pancreatic beta-cells from cytokines mediated apoptosis through the activation of PI3-kinase pathway // *Cytokine.* 2012. Vol. 59, N 1. P. 65–71. doi: 10.1016/j.cyto.2012.04.011.
  10. Stewart L.K., Wang Z., Ribnicky D., Soileau J.L., Cefalu W.T., Gettys T.W. Failure of dietary quercetin to alter the temporal progression of insulin resistance among tissues of C57BL/6J mice during the development of diet-induced obesity // *Diabetologia.* 2009. Vol. 52, N 3. P. 514–523. doi: 10.1007/s00125-008-1252-0.
  11. Ong K.C., Khoo H.E. Effects of myricetin on glycemia and glycogen metabolism in diabetic rats // *Life Sci.* 2000. Vol. 67, N 14. P. 1695–1705.
  12. Ozcan F., Ozmen A., Akkaya B., Aliciguzel Y., Aslan M. Beneficial effect of myricetin on renal functions in streptozotocin-induced diabetes // *Clin. Exp. Med.* 2012. Vol. 12, N 4. P. 265–272. doi: 10.1007/s10238-011-0167-0.
  13. Lee S.H., Kim B., Oh M.J., Yoon J., Kim H.Y., Lee K.J. et al. Persicaria hydropiper (L.) spach and its flavonoid components, isoquercitrin and isorhamnetin, activate the Wnt/beta-catenin pathway and inhibit adipocyte differentiation of 3T3-L1 cells // *Phytother. Res.* 2011. Vol. 25, N 11. P. 1629–1635. doi: 10.1002/ptr.3469.
  14. Yoshida H., Takamura N., Shuto T., Ogata K., Tokunaga J., Kawai K. et al. The citrus flavonoids hesperetin and naringenin block the lipolytic actions of TNF-alpha in mouse adipocytes // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2010. Vol. 394, N 3. P. 728–732. doi: 10.1016/j.bbrc.2010.03.060.
  15. Morikawa K., Nonaka M., Mochizuki H., Handa K., Hanada H., Hirota K. Naringenin and hesperetin induce growth arrest, apoptosis, and cytoplasmic fat deposit in human preadipocytes // *J. Agric. Food Chem.* 2008. Vol. 56, N 22. P. 11 030–11 037. doi: 10.1021/jf801965n.
  16. Annadurai T., Muralidharan A.R., Joseph T., Hsu M.J., Thomas P.A., Geraldine P. Antihyperglycemic and antioxidant effects of a flavanone, naringenin, in streptozotocin-nicotinamide-induced experimental diabetic rats // *J. Physiol. Biochem.* 2012. Vol. 68, N 3. P. 307–318. doi: 10.1007/s13105-011-0142-y.
  17. Kim M.H., Park J.S., Seo M.S., Jung J.W., Lee Y.S., Kang K.S. Genistein and daidzein repress adipogenic differentiation of human adipose tissue-derived mesenchymal stem cells via Wnt/beta-catenin signaling or lipolysis // *Cell Prolif.* 2010. Vol. 43, N 6. P. 594–605. doi: 10.1111/j.1365-2184.2010.00709.x.
  18. Lei H., Lu F., Dong H., Xu L., Wang J., Zhao Y., Huang Z. Genistein reverses free fatty acid-induced insulin resistance in HepG2 hepatocytes through targeting JNK // *J. Huazhong Univ. Sci. Technol. Med. Sci.* 2011. Vol. 31, N 2. P. 185–189. doi: 10.1007/s11596-011-0249-y.
  19. Haneishi A., Takagi K., Asano K., Nakamura S., Kagawa N., Yamada K. Genistein stimulates the insulin-dependent signaling pathway // *Front. Biosci.* 2011. Vol. 3. P. 1534–1540.
  20. Enoki T., Ohnogi H., Nagamine K., Kudo Y., Sugiyama K., Tanabe M. et al. Antidiabetic activities of chalcones isolated from a Japanese Herb, *Angelica keiskei* // *J. Agric. Food Chem.* 2007. Vol. 55, N 15. P. 6013–6017.
  21. Ohnogi H., Kudo Y., Tahara K., Sugiyama K., Enoki T., Hayami S. et al. Six new chalcones from *Angelica keiskei* inducing adiponectin production in 3T3-L1 adipocytes // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2012. Vol. 76, N 5. P. 961–966.
  22. Guo H., Xia M., Zou T., Ling W., Zhong R., Zhang W. Cyanidin 3-glucoside attenuates obesity-associated insulin resistance and hepatic steatosis in high-fat diet-fed and db/db mice via the transcription factor FoxO1 // *J. Nutr. Biochem.* 2012. Vol. 23, N 4. P. 349–360. doi: 10.1016/j.jnutbio.2010.12.013.
  23. Wei X., Wang D., Yang Y., Xia M., Li D., Li G. et al. Cyanidin-3-O-beta-glucoside improves obesity and triglyceride metabolism in KK-Ay mice by regulating lipoprotein lipase activity // *J. Sci. Food Agric.* 2011. Vol. 91, N 6. P. 1006–1013. doi: 10.1002/jsfa.4275.
  24. Akkarachiyasit S., Charoenlertkul P., Yibchok-Anun S., Adisakwatana S. Inhibitory activities of cyanidin and its glycosides and synergistic effect with acarbose against intestinal alpha-glucosidase and pancreatic alpha-amylase // *Int. J. Mol. Sci.* 2010. Vol. 11, N 9. P. 3387–3396. doi: 10.3390/ijms11093387.
  25. Adisakwatana S., Yibchok-Anun S., Charoenlertkul P., Wongsasiripat N. Cyanidin-3-rutinoside alleviates postprandial hyperglycemia and its synergism with acarbose by inhibition of intestinal alpha-glucosidase // *J. Clin. Biochem. Nutr.* 2011. Vol. 49, N 1. P. 36–41. doi: 10.3164/jcbn.10-116.
  26. Guo H., Liu G., Zhong R., Wang Y., Wang D., Xia M. Cyanidin-3-O-beta-glucoside regulates fatty acid metabolism via an AMP-activated protein kinase-dependent signaling pathway in human HepG2 cells // *Lipids Health Dis.* 2012. Vol. 11, N 10. doi: 10.1186/1476-511X-11-10.
  27. Lee J.O., Lee S.K., Kim J.H., Kim N., You G.Y., Moon J.W. et al. Metformin regulates glucose transporter 4 (GLUT4) translocation through AMP-activated protein kinase (AMPK)- Mediated Cbl/CAP Signaling in 3T3-L1 Preadipocyte cells // *J. Biol. Chem.* 2012. Vol. 287, N 53. P. 44 121–44 129. doi: 10.1074/jbc.M112.361386.
  28. Takikawa M., Inoue S., Horio F., Tsuda T. Dietary anthocyanin-rich bilberry extract ameliorates hyperglycemia and insulin sensitivity via activation of AMP-activated protein kinase in diabetic mice // *J. Nutr.* 2010. Vol. 140, N 3. P. 527–533. doi: 10.3945/jn.109.118216.
  29. Lee E.H., Song D.G., Lee J.Y., Pan C.H., Um B.H., Jung S.H. Inhibitory effect of the compounds isolated from *Rhus verniciflua* on aldose reductase and advanced glycation endproducts // *Biol. Pharm. Bull.* 2008. Vol. 31, N 8. P. 1626–1630.
  30. Song M.Y., Jeong G.S., Kwon K.B., Ka S.O., Jang H.Y., Park J.W. et al. Sulfuretin protects against cytokine-induced beta-cell damage and prevents streptozotocin-induced diabetes // *Exp. Mol. Med.* 2010. Vol. 42, N 9. P. 628–638.
  31. You E.J., Khil L.Y., Kwak W.J., Won H.S., Chae S.H., Lee B.H. et al. Effects of brazilin on the production of fructose-2,6- bisphosphate in rat hepatocytes // *J. Ethnopharmacol.* 2005. Vol. 102, N 1. P. 53–57.
  32. Тутельян В.А., Киселева Т.Л., Кочеткова А.А., Мазо В.К., Бессонов В.В., Сидорова Ю.С. и др. Растительные источники фитонутриентов для специализированных пищевых продуктов антидиабетического действия / под ред. В.А. Тутельяна, Т.Л. Киселевой, А.А. Кочетковой. М.: Библио-Глобус, 2016. 420 с.
  33. Kitchen D.B., Decornez H., Furr J.R., Bajorath J. Docking and scoring in virtual screening for drug discovery: methods and applications // *Nat. Rev. Drug Discov.* 2004. Vol. 3, N 11. P. 935–949.
  34. Halperin I., Ma B., Wolfson H., Nussinov R. Principles of docking: an overview of search algorithms and a guide to scoring functions // *Proteins.* 2002. Vol. 47, N 4. P. 409–443. doi: 10.1002/prot.10115.
  35. Guasch L., Sala E., Mulero M., Valls C., Salvado M.J., Pujadas G., Garcia-Valle S. Identification of PPARgamma partial agonists of natural origin (II): in silico prediction in natural extracts with known antidiabetic activity // *PLoS One.* 2013. Vol. 8, N 2. Article ID e55889. doi: 10.1371/journal.pone.0055889.

36. Annapurna H.V., Apoorna B., Ravichandran N., Arun K.P., Brindha P., Swaminathan S. et al. Isolation and in silico evaluation of anti-diabetic molecules of *Cynodon dactylon* (L.) // *J. Mol. Graph. Model.* 2013. Vol. 39. P. 87–97. doi: 10.1016/j.jmgl.2012.10.009.
37. Day A.J., DuPont M.S., Ridley S., Rhodes M., Rhodes M.J., Morgan M.R., Williamson G. Deglycosylation of flavonoid and isoflavonoid glycosides by human small intestine and liver  $\beta$ -glucosidase activity // *FEBS Lett.* 1998. Vol. 436, N 1. P. 71–75.
38. Каркищенко Н.Н. Основы биомоделирования. М.: Изд-во ВПК, 2004. 608 с.
39. Korshunov V.A., Dyachenko I.A., Murashev A.N. Genetic determinants of heart rate variation and cardiovascular diseases // *Genetic Disorders / ed. M. Puiu. London: InTech, 2013. 352 p.*
40. Мазо В.К., Мурашев А.Н., Сидорова Ю.С. и др. Генетические модели диабета типа 2 на крысах для оценки эффективности минорных биологически активных веществ пищи // *Вопр. питания.* 2014. Т. 83, № 6. С. 25–31.
41. Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Кочеткова А.А. Генетические модели сахарного диабета 2 типа на мышах для оценки эффективности минорных биологически активных веществ пищи // *Вопр. питания.* 2015. Т. 84, № 6. С. 63–68.
42. Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Зорин С.Н., Кочеткова А.А. Стрептозотоциновые модели сахарного диабета // *Вопр. питания.* 2016. Т. 85, № 4. С. 14–21.
43. Pick A., Clark J., Kubstrup C., Levisetti M., Pugh W., Bonner-Weir S. et al. Role of apoptosis in failure of beta-cell mass compensation for insulin resistance and beta-cell defects in the male Zucker diabetic fatty rat // *Diabetes.* 1998. Vol. 47, N 3. P. 358–364.
44. Ikeda H., Shino A., Matsuo T., Iwatsuka H., Suzuoki Z. A new genetically obese-hyperglycemic rat (Wistar fatty) // *J. Diabetes.* 1981. Vol. 30, N 12. P. 1045–1050.
45. Stepanova O.I., Karkischenko V.N., Baranov O.V. Genetic model of type 2 diabetes in the mutant mice C57BL/Kslepr(db/+ ) // *Biomeditsina.* 2009. Vol. 2, N 2. P. 28–40.
46. Murotomi K., Umeno A., Yasunaga M., Shichiri M., Ishida N., Abe H. et al. Type 2 diabetes model TSOD mouse is exposed // *Clin. Biochem. Nutr.* 2014. Vol. 55, N 3. P. 216–220. doi: 10.3164/jcbn.14-73.
47. Байрашева В.К. Моделирование сахарного диабета и диабетической нефропатии в эксперименте // *Соврем. пробл. науки и образования.* 2015. № 4. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21024>. (дата обращения: 15.11.2017)
48. Sidorova Yu.S., Shipelin V.A., Mazo V.A., Zorin S.N., Petrov N.A., Kochetkova A.A. Hypoglycemic and hypolipidemic effect of *Vaccinium myrtillus* L. leaf and *Phaseolus vulgaris* L. seed coat extracts in diabetic rats // *Nutrition.* 2017. Vol. 41. P. 107–112. doi: 10.1016/j.nut.2017.04.010.
49. Шипелин В.А., Сидорова Ю.С. Исследование антидиабетической активности листьев черники на модели сахарного диабета 2 типа у крыс линии Zucker // *Материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы нутрициологии, биотехнологии и безопасности пищи».* М., 2017. Т. 1. С. 146–150.
50. Kidd P.M. Bioavailability and activity of phytosome complexes from botanical polyphenols: the silymarin, curcumin, green tea, and grape seed extracts // *Altern. Med. Rev.* 2009. Vol. 14, N 3. P. 226–246.
51. Lewandowska U., Szewczyk K., Hrabec E., Janecka A., Gorlach S. Overview of metabolism and bioavailability enhancement of polyphenols // *J. Agric. Food Chem.* 2013. Vol. 61, N 50. P. 12 183–12 199. doi: 10.1021/jf404439b.
52. Roopchand D.E., Grace M.H., Kuhn P., Cheng D.M., Plundrich N., Poulev A. et al. Efficient sorption of polyphenols to soybean flour enables natural fortification of foods // *Food Chem.* 2012. Vol. 131, N 4. P. 1193–1200. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.09.103.
53. Roopchand D.E., Kuhn P., Poulev A., Oren A., Oren A., Lila M.A., Fridlender B., Raskin I. Biochemical analysis and in vivo hypoglycemic activity of a grape polyphenol–soybean flour complex // *J. Agric. Food Chem.* 2012. Vol. 60, N 36. P. 8860–8865. doi: 10.1021/jf300232h.
54. Киселева Т.Л., Киселева М.А. Гречиха с позиции традиционной медицины и современных научных представлений: пищевые, энергетические и лечебно-профилактические свойства. Аллергологические риски // *Натуротерапия.* 2016. Т. 3, № 46. С. 16–41.
55. Петров Н.А., Семин М.О. Разработка методики получения комплекса полифенолов экстракта листьев черники, сорбированных на белковом матриксе // *Материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы нутрициологии, биотехнологии и безопасности пищи».* М., 2017. Т. 1. С. 97–101.

## References

1. Tutelyan V.A., Kiseleva T.L., Kochetkova A.A. Plant sources of phytonutrients for specialized food products with antidiabetic action. Moscow: Biblio-Globus. 2016: 422 p. (in Russian)
2. Tarahovskiy Yu.S., Kim Yu.A., Abdrasilov B.S., Musafarov E.N. Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine. Pushchino: Synchronbook. 2013: 310 p. (in Russian)
3. Chang C., Lin Y., Bartolome A., Chen Y., Chiu S., Yang W. Herbal therapies for type 2 diabetes mellitus: chemistry, biology, and potential application of selected plants and compounds. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2013; 2013: 378657. doi: 10.1155/2013/378657.
4. Mazo V.K., Sidorova Y.S., Shipelin V.A., Petrov N.A., et al. Polyphenol plant extracts: the impact on carbohydrate and lipid metabolism disorders in laboratory rodents. *Problemy endokrinologii [Problems of Endocrinology].* 2016; (4): 38–44. (in Russian)
5. Strobel P., Allard C., Perez-Acle T., Calderon R., Aldunate R., Leigh-ton F. Myricetin, quercetin and catechin-gallate inhibit glucose uptake in isolated rat adipocytes. *Biochem J.* 2005; 386 (3): 471–8. doi: 10.1042/bj20040703.
6. Pari L., Srinivasan S. Antihyperglycemic effect of diosmin on hepatic key enzymes of carbohydrate metabolism in streptozotocin-nicotinamide-induced diabetic rats. *Biomed Pharmacother.* 2010; 64 (7): 477–81. doi: 10.1016/j.biopha.2010.02.001.
7. Srinivasan S., Pari L. Ameliorative effect of diosmin, a citrus flavonoid against streptozotocin-nicotinamide generated oxidative stress induced diabetic rats. *Chem Biol Interact.* 2012; 195 (1): 43–51. doi: 10.1016/j.cbi.2011.10.003.
8. Ahn J., Lee H., Kim S., Park J., Ha T. The anti-obesity effect of quercetin is mediated by the AMPK and MAPK signaling pathways. *Biochem Biophys Res Commun.* 2008; 373 (4): 545–9. doi: 10.1016/j.bbrc.2008.06.077.
9. Lin C.Y., Ni C.C., Yin M.C., Lii C.K. Flavonoids protect pancreatic beta-cells from cytokines mediated apoptosis through the activation of PI3-kinase pathway. *Cytokine.* 2012; 59 (1): 65–71. doi: 10.1016/j.cyto.2012.04.011.
10. Stewart L.K., Wang Z., Ribnicky D., Soileau J.L., Cefalu W.T., Gettys T.W. Failure of dietary quercetin to alter the temporal progression of insulin resistance among tissues of C57BL/6J mice during the development of diet-induced obesity. *Diabetologia.* 2009; 52 (3): 514–23. doi: 10.1007/s00125-008-1252-0.
11. Ong K.C., Khoo H.E. Effects of myricetin on glycemia and glycogen metabolism in diabetic rats. *Life Sci.* 2000; 67 (14): 1695–705.
12. Ozcan F., Ozmen A., Akkaya B., Aliciguzel Y., Aslan M. Beneficial effect of myricetin on renal functions in streptozotocin-induced diabetes. *Clin Exp Med.* 2012; 12 (4): 265–72. doi: 10.1007/s10238-011-0167-0.
13. Lee S.H., Kim B., Oh M.J., Yoon J., Kim H.Y., Lee K.J., et al. Persicaria hydropiper (L.) spach and its flavonoid components, isoquercitrin and isorhamnetin, activate the Wnt/beta-catenin pathway and inhibit adipocyte differentiation of 3T3-L1 cells. *Phytother Res.* 2011; 25 (11): 1629–35. doi: 10.1002/ptr.3469.

14. Yoshida H., Takamura N., Shuto T., Ogata K., Tokunaga J., Kawai K., et al. The citrus flavonoids hesperetin and naringenin block the lipolytic actions of TNF- $\alpha$  in mouse adipocytes. *Biochem Biophys Res Commun.* 2010; 394 (3): 728–32. doi: 10.1016/j.bbrc.2010.03.060.
15. Morikawa K., Nonaka M., Mochizuki H., Handa K., Hanada H., Hirota K. Naringenin and hesperetin induce growth arrest, apoptosis, and cytoplasmic fat deposit in human preadipocytes. *J Agric Food Chem.* 2008; 56 (22): 11030–7. doi: 10.1021/jf801965n.
16. Annadurai T., Muralidharan A.R., Joseph T., Hsu M.J., Thomas P.A., Geraldine P. Antihyperglycemic and antioxidant effects of a flavanone, naringenin, in streptozotocin-nicotinamide-induced experimental diabetic rats. *J Physiol Biochem.* 2012; 68 (3): 307–18. doi: 10.1007/s13105-011-0142-y.
17. Kim M.H., Park J.S., Seo M.S., Jung J.W., Lee Y.S., Kang K.S. Genistein and daidzein repress adipogenic differentiation of human adipose tissue-derived mesenchymal stem cells via Wnt/ $\beta$ -catenin signaling or lipolysis. *Cell Prolif.* 2010; 43 (6): 594–605. doi: 10.1111/j.1365-2184.2010.00709.x.
18. Lei H., Lu F., Dong H., Xu L., Wang J., Zhao Y., Huang Z. Genistein reverses free fatty acid-induced insulin resistance in HepG2 hepatocytes through targeting JNK. *J Huazhong Univ Sci Technol Med Sci.* 2011; 31 (2): 185–9. doi: 10.1007/s11596-011-0249-y.
19. Haneishi A., Takagi K., Asano K., Nakamura S., Kagawa N., Yamada K. Genistein stimulates the insulin-dependent signaling pathway. *Front Biosci.* 2011; 3: 1534–40.
20. Enoki T., Ohnogi H., Nagamine K., Kudo Y., Sugiyama K., Tanabe M., et al. Antidiabetic activities of chalcones isolated from a Japanese Herb, *Angelica keiskei*. *J Agric Food Chem.* 2007; 55 (15): 6013–7.
21. Ohnogi H., Kudo Y., Tahara K., Sugiyama K., Enoki T., Hayami S., et al. Six new chalcones from *Angelica keiskei* inducing adiponectin production in 3T3-L1 adipocytes. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2012; 76 (5): 961–6.
22. Guo H., Xia M., Zou T., Ling W., Zhong R., Zhang W. Cyanidin 3-glucoside attenuates obesity-associated insulin resistance and hepatic steatosis in high-fat diet-fed and db/db mice via the transcription factor FoxO1. *J Nutr Biochem.* 2012; 23 (4): 349–60. doi: 10.1016/j.jnutbio.2010.12.013.
23. Wei X., Wang D., Yang Y., Xia M., Li D., Li G., et al. Cyanidin-3-O-beta-glucoside improves obesity and triglyceride metabolism in KK-Ay mice by regulating lipoprotein lipase activity. *J Sci Food Agric.* 2011; 91 (6): 1006–13. doi: 10.1002/jsfa.4275.
24. Akkarachiyasit S., Charoenlertkul P., Yibchok-Anun S., Adisakwatana S. Inhibitory activities of cyanidin and its glycosides and synergistic effect with acarbose against intestinal  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic  $\alpha$ -amylase. *Int J Mol Sci.* 2010; 11 (9): 3387–96. doi: 10.3390/ijms11093387.
25. Adisakwatana S., Yibchok-Anun S., Charoenlertkul P., Wongsasiripat N. Cyanidin-3-rutinoside alleviates postprandial hyperglycemia and its synergism with acarbose by inhibition of intestinal  $\alpha$ -glucosidase. *J Clin Biochem Nutr.* 2011; 49 (1): 36–41. doi: 10.3164/jcbn.10-116.
26. Guo H., Liu G., Zhong R., Wang Y., Wang D., Xia M. Cyanidin-3-O-beta-glucoside regulates fatty acid metabolism via an AMP-activated protein kinase-dependent signaling pathway in human HepG2 cells. *Lipids Health Dis.* 2012; 11 (10). doi: 10.1186/1476-511X-11-10.
27. Lee J.O., Lee S.K., Kim J.H., Kim N., You G.Y., Moon J.W., et al. Metformin regulates glucose transporter 4 (GLUT4) translocation through AMP-activated protein kinase (AMPK)-Mediated Cbl/CAP Signaling in 3T3-L1 Preadipocyte cells. *J Biol Chem.* 2012; 287 (53): 44 121–9. doi: 10.1074/jbc.M112.361386.
28. Takikawa M., Inoue S., Horio F., Tsuda T. Dietary anthocyanin-rich bilberry extract ameliorates hyperglycemia and insulin sensitivity via activation of AMP-activated protein kinase in diabetic mice. *J Nutr.* 2010; 140 (3): 527–33. doi: 10.3945/jn.109.118216.
29. Lee E.H., Song D.G., Lee J.Y., Pan C.H., Um B.H., Jung S.H. Inhibitory effect of the compounds isolated from *Rhus verniciflua* on aldose reductase and advanced glycation endproducts. *Biol Pharm Bull.* 2008; 31 (8): 1626–30.
30. Song M.Y., Jeong G.S., Kwon K.B., Ka S.O., Jang H.Y., Park J.W., et al. Sulfuretin protects against cytokine-induced beta-cell damage and prevents streptozotocin-induced diabetes. *Exp Mol Med.* 2010; 42 (9): 628–38.
31. You E.J., Khil L.Y., Kwak W.J., Won H.S., Chae S.H., Lee B.H., et al. Effects of brazilin on the production of fructose-2,6-bisphosphate in rat hepatocytes. *J Ethnopharmacol.* 2005; 102 (1): 53–7.
32. Tutelyan V.A., Kiseleva T.L., Kochetkova A.A., Mazo V.K., Bessonov V.V., Sidorova Yu.S., et al. Plant sources of phytonutrients for specialized foods with antidiabetic action. Edited by V.A. Tutelyan, T.L. Kiseleva, A.A. Kochetkova. Moscow: Biblio-Globus, 2016: 420 p. (in Russian)
33. Kitchen D.B., Decornez H., Furr J.R., Bajorath J. Docking and scoring in virtual screening for drug discovery: methods and applications. *Nat Rev Drug Discov.* 2004; 3 (11): 935–49.
34. Halperin I., Ma B., Wolfson H., Nussinov R. Principles of docking: an overview of search algorithms and a guide to scoring functions. *Proteins.* 2002; 47 (4): 409–43. doi: 10.1002/prot.10115.
35. Guasch L., Sala E., Mulero M., Valls C., Salvado M.J., Pujadas G., Garcia-Vallve S. Identification of PPAR $\gamma$  partial agonists of natural origin (II): in silico prediction in natural extracts with known antidiabetic activity. *PLoS One.* 2013; 8 (2): e55889. doi: 10.1371/journal.pone.0055889.
36. Annapurna H.V., Apoorva B., Ravichandran N., Arun K.P., Brindha P., Swaminathan S., et al. Isolation and in silico evaluation of antidiabetic molecules of *Cynodon dactylon* (L.). *J Mol Graph Model.* 2013; 39: 87–97. doi: 10.1016/j.jmgl.2012.10.009.
37. Day A.J., DuPont M.S., Ridley S., Rhodes M., Rhodes M.J., Morgan M.R., Williamson G. Deglycosylation of flavonoid and isoflavonoid glycosides by human small intestine and liver  $\beta$ -glucosidase activity. *FEBS Lett.* 1998; 436 (1): 71–5.
38. Karkitschenko N.N. The basics of biomodeling. Moscow: Izdatel'stvo VPK, 2004: 608 p. (in Russian)
39. Korshunov V.A., Dyachenko I.A., Murashev A.N. Genetic determinants of heart rate variation and cardiovascular diseases. In: M. Puiu (ed.). *Genetic Disorders.* London: InTech, 2013: 352 p.
40. Mazo V.K., Murashev A.N., Sidorova Yu.S., et al. Genetical rat models of type 2 diabetes for evaluation of minor food biologically active substances efficacy. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2014; 83 (6): 25–31. (in Russian)
41. Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Kochetkova A.A. Genetic mice models of type 2 diabetes for evaluation of minor food biologically active substances efficacy. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2015; 84 (6): 63–8. (in Russian)
42. Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Zorin S.N., Kochetkova A.A. Streptozotocin models of diabetes mellitus. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition].* 2016; 85 (4): 14–21. (in Russian)
43. Pick A., Clark J., Kubstrup C., Levisetti M., Pugh W., Bonner-Weir S., et al. Role of apoptosis in failure of beta-cell mass compensation for insulin resistance and beta-cell defects in the male Zucker diabetic fatty rat. *Diabetes.* 1998; 47 (3): 358–64.
44. Ikeda H., Shino A., Matsuo T., Iwatsuka H., Suzuoki Z. A new genetically obese-hyperglycemic rat (Wistar fatty). *J Diabetes.* 1981; 30 (12): 1045–50.
45. Stepanova O.I., Karkitschenko V.N., Baranov O.V. Genetic model of type 2 diabetes in the mutant mice C57BL/Kslepr(db/+). *Biomeditsina.* 2009; 2 (2): 28–40.
46. Murotomi K., Umeno A., Yasunaga M., Shichiri M., Ishida N., Abe H., et al. Type 2 diabetes model TSOD mouse is exposed. *Clin Biochem Nutr.* 2014; 55 (3): 216–20. doi: 10.3164/jcbn.14-73.
47. Bayrasheva V.K. Modeling of diabetes mellitus and diabetic nephropathy in the experiment. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education].* 2015; (4). URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21024>. (date of access November 15, 2017) (in Russian)
48. Sidorova Yu.S., Shipelin V.A., Mazo V.A., Zorin S.N., Petrov N.A., Kochetkova A.A. Hypoglycemic and hypolipidemic effect of *Vaccinium myrtillus* L. leaf and *Phaseolus vulgaris* L. seed coat extracts in diabetic rats. *Nutrition.* 2017; 41: 107–12. doi: 10.1016/j.nut.2017.04.010.

49. Shipelin V.A., Sidorova Yu.S. The study of antidiabetic activity of bilberry leaves on type 2 diabetes model with Zucker rats. In: Materialy Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye voprosy nutritsiologii, biotekhnologii i bezopasnosti pishchi» [Materials of all-Russian conference of young scientists with international participation «Topical Issues of Nutrition, Biotechnology and Food Safety»]. Moscow, 2017; (1): 146–50. (in Russian)
50. Kidd P.M. Bioavailability and activity of phytosome complexes from botanical polyphenols: the silymarin, curcumin, green tea, and grape seed extracts. *Altern Med Rev.* 2009; 14 (3): 226–46.
51. Lewandowska U., Szewczyk K., Hrabec E., Janecka A., Grolach S. Overview of metabolism and bioavailability enhancement of polyphenols. *J Agric Food Chem.* 2013; 61 (50): 12 183–99. doi: 10.1021/jf404439b.
52. Roopchand D.E., Grace M.H., Kuhn P., Cheng D.M., Plundrich N., Poulev A., et al. Efficient sorption of polyphenols to soybean flour enables natural fortification of foods. *Food Chem.* 2012; 131 (4): 1193–200. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.09.103.
53. Roopchand D.E., Kuhn P., Poulev A., Oren A., Lila M.A., Fridlender B., Raskin I. Biochemical analysis and in vivo hypoglycemic activity of a grape polyphenol–soybean flour complex. *J Agric Food Chem.* 2012; 60 (36): 8860–5. doi: 10.1021/jf300232h.
54. Kiseleva T.L., kiseleva M.A. The buckwheat from the point of traditional medicine and modern science: nutritional, energy, therapeutic and preventive properties. Allergic risks. *Naturoterapia [Natural Therapy]*. 2016; 3 (46): 16–41. (in Russian)
55. Petrov N.A., Semin M.O. The development of method for producing the complex of polyphenols from bilberry leaves extract sorbed on protein matrix. In: Materialy Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye voprosy nutritsiologii, biotekhnologii i bezopasnosti pishchi» [Materials of All-Russian conference of young scientists with international participation «Topical Issues of Nutrition, Biotechnology and Food Safety»]. Moscow, 2017; (1): 97–101. (in Russian)

**Для корреспонденции**

Серба Елена Михайловна – доктор биологических наук, доцент, профессор РАН, заместитель директора по научной работе ВНИИПБТ – филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»  
 Адрес: 111033, г. Москва, ул. Самокатная, д. 4-6  
 Телефон: (495) 362-45-72  
 E-mail: serbae@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>

Римарева Л.В., Фурсова Н.А., Соколова Е.Н., Волкова Г.С., Борщева Ю.А., Серба Е.М., Кривова А.Ю.

## Биодеструкция белков зернового сырья для получения новых хлебобулочных изделий

Biodegradation of proteins of grain raw materials for the production of new bakery products

Rimareva L.V., Fursova N.A., Sokolova E.N., Volkova G.S., Borshova Yu.A., Serba E.M., Krivova A.Yu.

ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва  
 Russian Research Institute of Food Biotechnology is a Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Moscow

*Изучено влияние ферментных систем на степень деструкции белков зерновых культур для получения новых видов хлебобулочных изделий. Исследован белковый и аминокислотный состав зерновой культуры тритикале в сравнении с пшеницей и рожью. Показана высокая биологическая ценность белков тритикале, содержащих 38,75% незаменимых аминокислот, в пшенице – 34,93%. Исследовано влияние различных ферментных систем (ФС) протеолитического действия на эффективность каталитической модификации белков тритикале. Установлено, что наибольшую активность проявила ферментативная система ФС-1, синтезируемая мицелиальным грибом *Aspergillus oryzae*, в результате воздействия которой при концентрации 5 ед. ПС/г уровень накопления аминокислот азота в ферментолизатах тритикале составил 125 мг%; степень гидролиза белков – 90%. Ферментные препараты бактериального происхождения, а также алкалаза и папаин обладали более низкой способностью к гидролизу белков тритикале. Фракционный состав модифицированных белков, полученных при воздействии ФС-1, показал снижение их молекулярных масс (до 35 кДа). Анализ аминокислотного состава в зерновых ферментолизатах показал, что в результате воздействия ФС-1 порядка 50% от общего количества аминокислот перешло в свободное состояние, из них от 38,8 до 43,6% составили незаменимые аминокислоты. Апробированы рецептуры хлеба, содержащие композиции пшеничной муки и прогидролизованной ферментами цельнозерновой муки тритикале в соотношении 1:1. Аминокислотный состав хлеба показал, что опытные образцы содержали в 6,2 раза больше свободных аминокислот. Использование в рецептурах хлеба ферментализатов тритикале позволило увеличить содержание в свободной форме таких незаменимых аминокислот, как метионин, валин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, треонин, триптофан и лизин, в 2,0–5,0 раз. Показано, что разработанная технология позволяет выпекать*

**Для цитирования:** Римарева Л.В., Фурсова Н.А., Соколова Е.Н., Волкова Г.С., Борщева Ю.А., Серба Е.М., Кривова А.Ю. Биодеструкция белков зернового сырья для получения новых хлебобулочных изделий // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 67–75. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10068.

**Статья поступила в редакцию** 17.06.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Rimareva L.V., Fursova N.A., Sokolova E.N., Volkova G.S., Borshova Yu.A., Serba E.M., Krivova A.Yu. Biodegradation of proteins of grain raw materials for the production of new bakery products. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 67–75. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10068. (in Russian)

**Received** 17.06.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

хлеб, содержащий пептиды с пониженной молекулярной массой и свободные аминокислоты, соответствующий по своим органолептическим и физико-химическим показателям классическим хлебобулочным изделиям.

**Ключевые слова:** ферментативный гидролиз, белки злаков, протеазы, аминокислоты, хлебобулочные изделия, гипоаллергенные продукты

*The effect of enzyme systems on the degree of protein destruction of grain crops to obtain new types of bakery products has been studied. Protein and amino acid composition of triticale grain crop in comparison with wheat and rye one has been studied. The high biological value of triticale proteins containing 38.75% of essential amino acids while in wheat – 34.93% has been shown. The influence of different enzyme systems (ES) with proteolytic action on the efficiency of catalytic modification of triticale proteins has been investigated. It was found that the highest activity was shown by the enzymatic system ES-1, synthesized by the mycelial fungus *Aspergillus oryzae*, as a result of which at a concentration of 5 u/g, the level of accumulation of amine nitrogen in triticale enzymatic hydrolysates was 125 mg%; the degree of hydrolysis of proteins was 90%. Enzyme preparations of bacterial origin, as well as alkalase and papain had a lower ability to hydrolyze triticale proteins. The fractional composition of modified proteins obtained by ES-1 showed a decrease in their molecular weight (to 35 kDa). Analysis of amino acid composition in grain enzymatic hydrolysates showed that as a result of exposure to FS-1, about 50% of the total number of amino acids passed into the free state, of which 38.8 to 43.6% were essential amino acids. The recipes of breads, containing composition of wheat flour and fermentolizates of the whole-grain triticale flour in the ratio 1:1 have been tested. The amino acid composition of the bread showed that the test samples contained 6.2 fold more free amino acids than the control. The use of fermented triticale in the recipes of bread allowed to increase the content of essential amino acids such as methionine, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine, threonine, tryptophan and lysine in 2.0–5.0 times. It was shown that the developed technology allowed baking bread containing peptides with reduced molecular weight and free amino acids, which by its organoleptic and physic-chemical parameters corresponded to classic bakery products.*

**Keywords:** enzymatic hydrolysis, cereal proteins, proteases, amino acids, bakery products, hypoallergenic products

Основная тенденция развития продовольственных отраслей обусловлена растущим потребительским интересом к здоровому образу жизни населения и, соответственно, к здоровому питанию [1]. Например, потребление хлеба в мире в целом и в России в частности сокращается [2]. Но несмотря на это, одной из важнейших составляющих, входящих в продуктовую корзину россиян, всегда был и остается хлеб.

Пищевые аллергии, связанные с потреблением в пищу продуктов переработки зерновых культур, в частности хлебобулочных изделий, вызываются в большинстве случаев реакцией на белки, и в первую очередь на белки пшеницы и ржи [3–5]. Для пшеницы это глиадины и глюteniны – основные компоненты клейковины, для ржи – секалины и глюteniны, содержание которых составляет порядка 30–50% от общего белка, а молекулярная масса находится в диапазоне от 10 до 70 кДа [5–7].

В связи с достаточно высокой встречаемостью у пациентов аллергических реакций к белкам зерновых культур актуальна разработка технологии получения их белковых гидролизатов для введения в их рецептуры продуктов профилактического назначения. Хлебобулочные изделия, содержащие моди-

фицированные белки, важны для питания здоровых людей, входящих в группы риска развития пищевой аллергии.

Известно, что в белках антигенные детерминанты, распознаваемые иммунокомпетентными клетками и антителами, могут представлять собой 3 типа: последовательные короткие фрагменты пептидной цепи, петлевые короткие фрагменты, стабилизированные дисульфидными мостиками, и конформационные эпитопы, образованные пространственно сближенными в молекуле белка аминокислотными остатками [8, 9].

Одним из путей решения проблемы, связанной с понижением сенсibilизирующей активности продуктов из злаковых культур, является разработка способов ферментативной модификации белков, приводящих к снижению их молекулярной массы. Для снижения сенсibilизирующих свойств белков зерновых необходимо использовать технологии, которые позволяют добиться снижения или отсутствия антигенных детерминант в их структуре. Такие технологии основаны на использовании высокого давления, тепловой обработки и в первую очередь ферментативного гидролиза белков [10, 11].

Наиболее эффективным способом снижения аллергической реакции организма на белки зерновых

культур является их биокаталитическая модификация. В процессе гидролиза протеолитические ферменты расщепляют белок на пептидные фрагменты, обладающие значительно меньшей сенсibiliзирующей активностью [12]. Кроме того, в ферментативных гидролизатах практически полностью сохраняются все аминокислоты, содержащиеся в сырье.

**Цель** данной работы – изучение влияния ферментных систем (ФС) на степень деструкции белков зерновых культур для получения специализированных хлебобулочных изделий.

## Материал и методы

Объектами исследований являлись пшеничная, ржаная мука и мука тритикале. Для гидролиза белков зернового сырья были использованы ФС различного происхождения: комплекс грибных протеаз ФС-1, синтезируемый мицелиальным грибом *Aspergillus oryzae*, и ФС-2, синтезируемый микромицетом *A. foetidus*; комплекс бактериальных протеаз ФС-3 (продуцент *Bacillus subtilis*), а также промышленные ферментные препараты протеаз: алкалаза (продуцент *Bacillus licheniformis*) и папаин, выделяемый из листьев и плодов папайи (*Caraya latex*). Уровень протеолитической активности (ПС) анализировали по степени гидролиза гемоглобина [13].

Содержание общего белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 32044.1-2012, аминного азота – титриметрическим методом [14], растворимого белка – методом Лоури [15]; состав и концентрацию общих и свободных аминокислот определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе KNAUER EUROCHROM 2000 (KNAUER, Германия) со спектрофотометрическим детектором «Smartline UV Detector 2500» (Германия) при  $\lambda=570$  нм [16]; погрешность измерений составляет  $\pm 0,5\%$ .

Процесс гидролиза белковых веществ зернового сырья осуществляли ФС протеолитического действия в подобранных ранее условиях: в течение 2 ч при 50 °С при pH 5,5 [14], концентрация мучной суспензии – 30%. Для определения фракционного состава белков исходного сырья и их ферментализатов использовали метод электрофореза в полиакриламидном геле [17].

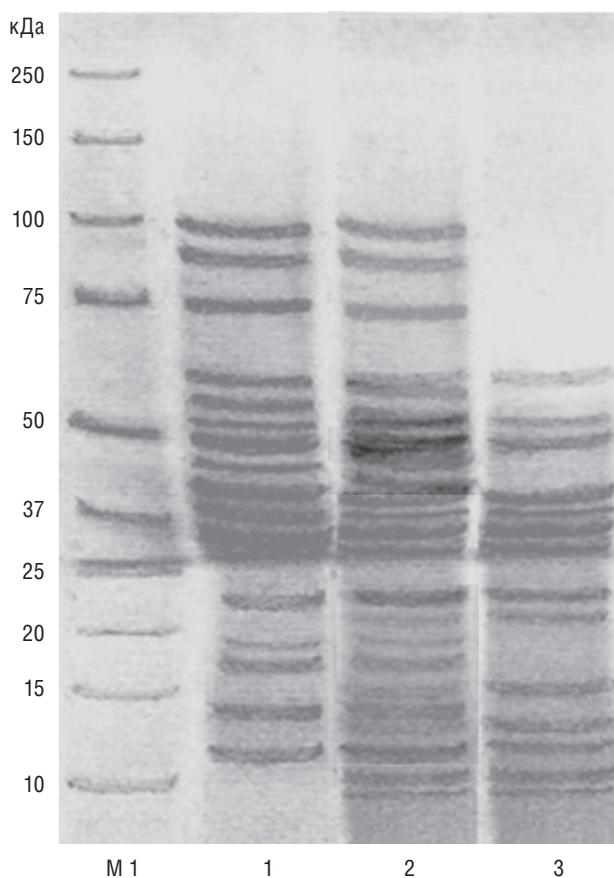
Клейковину отделяли согласно ГОСТ Р 54478-2011. Жидкую и твердую фракции разделяли на центрифуге лабораторной ОПН-16 (РФ) при 3000 об/мин. Выпечку хлебобулочных изделий проводили на лабораторной установке ВНИИПБТ по стандартной технологии по ГОСТ 27669-88. Оценивали объемный выход хлеба, внешний вид и состояние корки, пористость, структуру, цвет и вкус мякиша по ГОСТ Р 52462-2005. В готовых изделиях определяли влажность, кислотность (ГОСТ 5670-96) и пористость мякиша (ГОСТ 5669-96).

Статистическую обработку данных, полученных не менее чем в 3 повторностях, осуществляли с помощью программы Microsoft Excel 2011.

## Результаты и обсуждение

Среди злаковых культур особого внимания заслуживает белковый комплекс первой искусственно созданной зерновой культуры, полученной при скрещивании пшеницы (*Triticum*) и ржи (*Secale*) – тритикале. В данной культуре геномы ржи и пшеницы не взаимодействуют между собой с образованием «новых» белков, поэтому электрофореграмма тритикале сопоставима с электрофореграммами белков родительских форм (рис. 1). Анализ фракционного состава исследуемых злаковых культур показал наличие белковых фракций в диапазоне от 10 до 100 кДа. При этом в пшенице и тритикале отмечено содержание высокомолекулярных белков. В пшеничном сырье преобладали глиадиновые и глютеиновые фракции в диапазоне от 35 до 100 кДа. В ржаном сырье молекулярная масса белковых фракций была значительно ниже – до 60 кДа (см. рис. 1).

С точки зрения пищевой ценности тритикале – ценная культура, ее отличает относительно высокое содержание белка, которое составило 20,5%, тогда как у ржи этот показатель равен 18,2%, у пшеницы – 21,0%, и улучшенный аминокислотный скор по сравнению с пшеницей (табл. 1).



**Рис. 1.** Электрофореграмма белков зерновых культур

М 1 – маркер 10–250 кДа; 1 – пшеница; 2 – тритикале; 3 – рожь.

Таблица 1. Аминокислотный состав белков зерновых культур

Аминокислота, г/100 г зерна	Зерновая культура		
	пшеница	тритикале	рожь
Лизин	0,45±0,02	0,56±0,02	0,59±0,03
Гистидин	0,48±0,02	0,47±0,02	0,43±0,18
Аргинин	0,43±0,02	0,40±0,02	0,41±0,02
Аспарагиновая кислота	1,09±0,05	1,12±0,06	1,16±0,06
Треонин	0,54±0,02	0,64±0,03	0,65±0,03
Серин	0,87±0,04	0,87±0,04	0,82±0,04
Глутаминовая кислота	5,60±0,25	4,77±0,24	4,02±0,20
Пролин	0,80±0,04	0,64±0,03	0,80±0,04
Глицин	0,85±0,04	0,77±0,04	0,76±0,04
Аланин	0,75±0,04	0,71±0,03	0,81±0,04
Цистин	0,57±0,03	0,64±0,03	0,53±0,03
Валин	0,90±0,04	1,02±0,05	1,04±0,05
Метионин	0,40±0,02	0,49±0,02	0,47±0,02
Изолейцин	0,85±0,04	0,87±0,04	0,84±0,04
Лейцин	1,39±0,07	1,55±0,08	1,33±0,07
Тирозин	0,53±0,03	0,56±0,03	0,43±0,02
Фенилаланин	1,10±0,05	1,02±0,05	1,03±0,05
Триптофан	0,80±0,04	0,78±0,04	0,85±0,04
Общее количество аминокислот	18,40±0,90	17,88±0,88	17,07±0,83
Из них незаменимых аминокислот	6,43±0,31	6,93±0,33	6,80±0,32
Незаменимые аминокислоты, % от общего количества	34,93±1,72	38,75±1,92	39,84±1,98
Содержание белка (на абсолютно сухое вещество), %	21,0±0,99	20,5±1,00	18,2±0,90

Анализ аминокислотного состава белков тритикале показал, что содержание незаменимых аминокислот составило 38,75% от общего количества, в то время как в пшенице – 34,93%. При этом отмечено более высокое содержание таких незаменимых аминокислот, как лизин, треонин, валин и метионин, и несколько пониженное (на 15–20%) – пролина и глутаминовой кислоты (см. табл. 1).

Эффективным способом снижения аллергенности белков является их ферментативный гидролиз [9–11]. Для гидролиза белков зернового сырья использовали ФС протеолитического действия, в состав которых входили протеазы, обладающие различной специфичностью и механизмом действия. Так, для протеаз грибного происхождения характерно наличие пептидаз – ферментов экзодействия, расщепляющих полипептиды с высвобождением отдельных аминокислот или дипептидов. ФС-1 отличалась наибольшим содержанием карбокси- и аминокислотаз, а также карбоксильной протеиназы [18]. ФС-3, ферментные препараты алкалаза и папаин в основном представлены протеиназами эндодействия: металлозависимой нейтральной, сериновой и цистеиновой протеиназами, катализирующими гидролиз внутренних пептидных связей с образованием пептидов с различной молекулярной массой.

Исследовано влияние различных дозировок комплексных протеолитических систем (от 1,0 и до 7,0 ед. ПС/г муки) на степень расщепления белка и уровень накопления аминного азота в исследуемых образцах тритикале.

Каталитическое воздействие протеолитических ферментов ФС-1 на белковый субстрат обеспечивало на более высокую степень его конверсии до свободных аминокислот и низкомолекулярных пептидов, что подтвердилось результатами исследований (рис. 2, табл. 2). При дозировке протеолитической активности 5 ед. ПС/г (см. рис. 2) уровень гидролиза белков достигал 90%, что в 2 раза превысило показатели, полученные при использовании алкалазы, папаина и бактериального протеолитического комплекса (ФС-3). Высокая гидролитическая способность ФС-1, по-видимому, обусловлена синергизмом действия протеолитических ферментов, входящих в ее состав.

В дальнейших исследованиях для биокаталитической деструкции растительных белков была использована ФС-1, состоящая из протеиназ и пептидаз, синтезируемая мицелиальным грибом *A. oryzae*.

Полученные результаты подтверждены при исследовании влияния протеаз ФС-1 на уровень образования аминного азота в ферментолизатах тритикале, который составил 125,0 мг% при дозировке 5 ед. ПС/г (рис. 3).

Особенностью каталитических свойств протеолитических ферментов является их специфичность по отношению к типу пептидной связи и механизм их действия.

Результаты электрофоретических исследований ферментолизата тритикале подтвердили, что ФС-1 обеспечивает гидролиз нативных белков и снижение их молекулярной массы до 35 кДа и ниже (рис. 4).

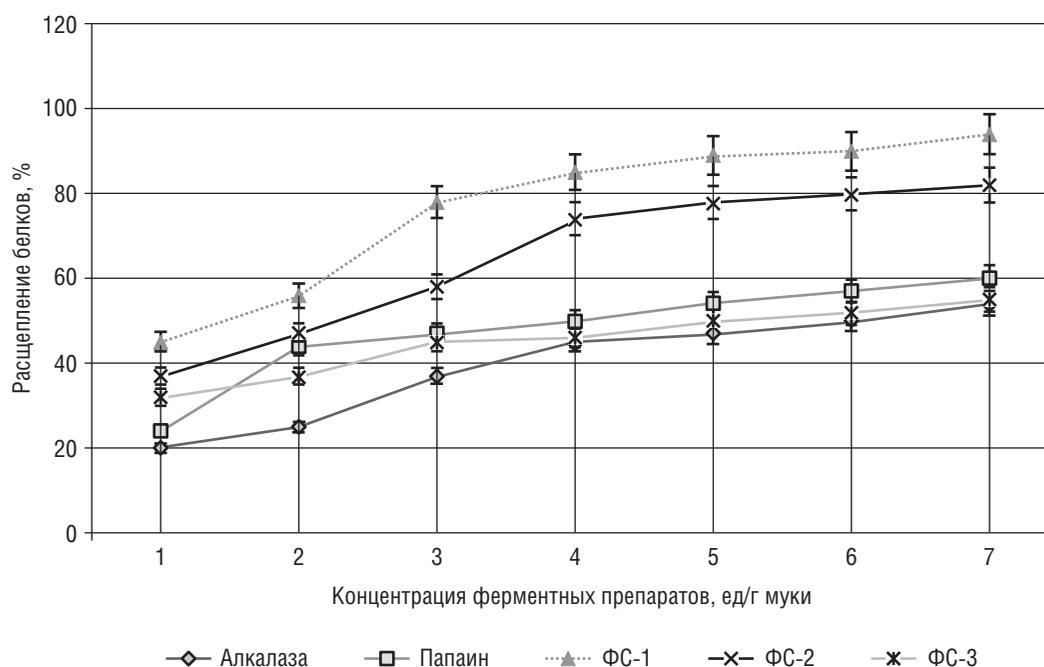


Рис. 2. Степень гидролиза белков тритикале препаратами протеаз различного происхождения

Здесь и на рис. 3: расшифровка аббревиатур дана в тексте.

Анализ аминокислотного состава в зерновых ферментолізатах показал, что в результате воздействия ФС-1 порядка 50% от общего количества аминокислот перешло в свободное состояние, из них от 38,8 до 43,6% составили незаменимые аминокислоты (см. табл. 2).

Наличие в ферментолізате тритикале 43,6% свободных аминокислот (см. табл. 2) и модифицированных пептидов с молекулярной массой ниже аллергенных белков (см. рис. 4) позволяет предположить снижение сенсibilизирующей активности тритикале.

Ряд авторов показали, что использование ферментных технологий позволило добиться снижения или отсутствия антигенных детерминант белка [8, 10–12, 19].

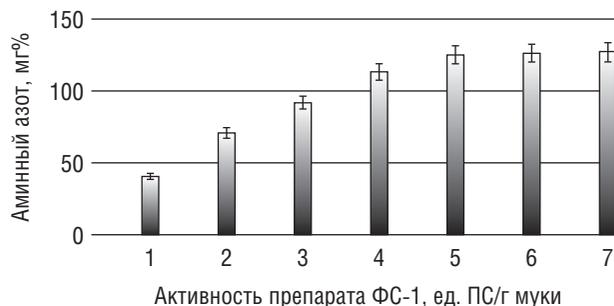


Рис. 3. Влияние дозировки протеаз ферментной системы-1, синтезируемых *Aspergillus oryzae*, на образование аминного азота в ферментолізате тритикале

Таблица 2. Содержание незаменимых аминокислот в свободной форме в ферментолізатах пшеницы, тритикале и ржи, полученных с использованием ферментной системы-1 (*Aspergillus oryzae*), 5 ед. ПС/г

Аминокислота	Содержание свободных аминокислот, г/100 г зерна		
	пшеница	тритикале	рожь
Треонин	0,28±0,01	0,34±0,02	0,39±0,02
Валин	0,45±0,02	0,55±0,03	0,58±0,03
Метионин	0,21±0,01	0,25±0,04	0,29±0,01
Изолейцин	0,42±0,02	0,49±0,02	0,49±0,02
Лейцин	0,75±0,03	0,85±0,01	0,73±0,04
Фенилаланин	0,55±0,02	0,54±0,03	0,58±0,03
Лизин	0,23±0,01	0,31±0,02	0,41±0,02
Триптофан	0,40±0,02	0,44±0,02	0,49±0,02
Содержание свободных аминокислот, Доля от общего количества аминокислот, %	8,47±0,40 46,0±2, 21	8,65±0,42 48,4±2,32	9,82±0,48 57,5±2,65
Содержание свободных незаменимых аминокислот Доля от общего количества свободных аминокислот, %	3,29±0,15 38,8±1,85	3,77±0,18 43,6±2,15	3,88±0,19 39,5±1,89

Характеристикой остаточной антигенности белков является количество нерасщепленного белка, сохраняющего способность взаимодействовать с иммуноглобулинами. С использованием конкурентного иммуноферментного анализа установлено, что обработка, например, молочных белков приводила к снижению количества антигенных эпитопов в 4 раза от исходного уровня их антигенности [10, 19]. Исследователями было показано, что снижение антигенности белков в основном связано с разрушением конформационных эпитопов, образованных пространственно сближенными аминокислотными остатками, в результате биокаталитической деструкции высокомолекулярных пептидов.

Предложены различные рецептуры хлеба с использованием пшеничной муки и ферментализатов цельнозерновой муки тритикале, проведены органолептическая и физико-химическая экспертизы готовой продукции. В процессе конструирования рецептур варьировали соотношением пшеничной муки высшего сорта и гидролизованной ФС-1 (5 ед./г муки) цельнозерновой муки тритикале (ферментализат). Остальные компоненты (вода, соль, сахар, сухое молоко, масло растительное, дрожжи прессованные) присутствовали в тесте согласно стандартным требованиям. Экспертизу качества хлеба проводили согласно требованиям ГОСТ Р 52462-2005.

В результате получен хлеб, по органолептическим и физико-химическим показателям соответствующий нормативным (см. табл. 3). В опытном образце пропорция введения пшеничной муки и ферментализата цельнозерновой муки тритикале соответствовала 1:1. В контрольном образце использована не обработанная ферментами цельнозерновая мука тритикале в том же соотношении. Отмечена хорошая пористость хлеба, высота которого составила 11,0 см (в контрольном образце – 12,5 см).

Аминокислотный состав хлеба показал, что опытные образцы содержали в 6,2 раза больше свободных аминокислот (см. табл. 4). Использование в рецептурах хлеба ферментализатов тритикале позволило увеличить содержание в свободной форме таких незаменимых аминокислот, как метионин, валин, изолейцин, лейцин, фе-

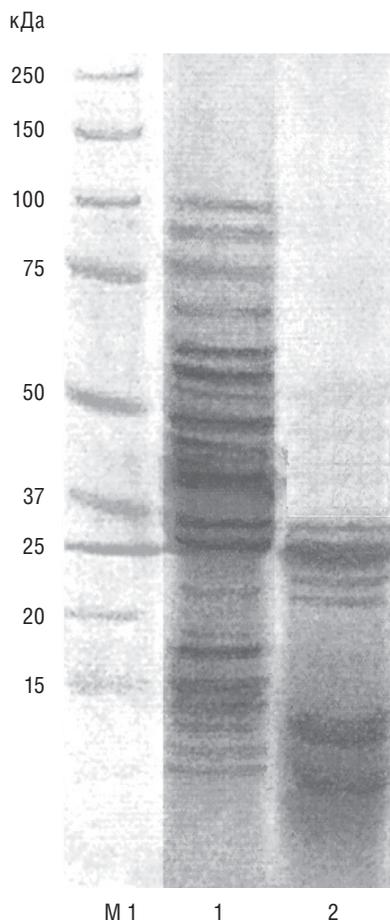


Рис. 4. Фракционный состав белков тритикале после обработки ферментной системы-1

M1 – маркеры; 1 – нативные белки тритикале; 2 – после обработки.

нилаланин, треонин, триптофан и лизин, в 2,0–5,0 раза (см. табл. 4). Кроме того, установленное наличие в опытном образце пролина в свободной форме (1,54 мг/г) подтверждает, что при ферментативной обработке пролин-содержащие белки подверглись гидролитическому расщеплению.

Таблица 3. Сравнительные показатели качества хлеба

Показатель качества	Средний балл	Коэффициент весомости	Комплексный показатель	Физико-химические показатели	Высота хлеба, см
<i>Опыт: соотношение пшеничной муки и ферментализата тритикале (1:1)</i>					
Форма	4,04	5,30	107,15	Влажность мякиша 45%	11,0
Поверхность корочки	4,34	4,94		Кислотность 3,2 гр.	
Цвет	4,22	5,08		Пористость 69%	
Вкус и запах	4,41	4,86			
Состояние мякиша	4,41	4,86			
<i>Контроль: соотношение пшеничной муки и тритикале (1:1)</i>					
Форма	4,55	5,14	116,95	Влажность мякиша 44,0%	12,5
Поверхность корочки	4,60	5,08		Кислотность 3,0 гр.	
Цвет	4,83	4,84		Пористость 70%	
Вкус и запах	4,83	4,84			
Состояние мякиша	4,58	5,11			

Таблица 4. Аминокислотный состав хлеба, выпеченного по разной рецептуре

Аминокислота	Содержание аминокислот, мг/г хлеба			
	контроль		гипоаллергенный хлеб	
	свободные	общие	свободные	общие
Аспарагиновая кислота	0,04±0,001	2,82±0,13	0,19±0,01	2,84±0,14
Серин	0,01±0,0004	2,92±0,14	0,35±0,02	2,91±0,15
Треонин	0,07±0,003	1,65±0,08	0,66±0,03	1,59±0,07
Глутаминовая кислота	0,15±0,01	16,22±0,80	0,37±0,02	15,89±0,75
Пролин	0,01±0,0003	16,37±0,82	1,54±0,07	15,93±0,79
Глицин	0,03±0,001	1,73±0,08	0,08±0,004	1,69±0,08
Аланин	0,09±0,004	2,03±0,10	0,36±0,02	2,08±0,10
Цистин	0,01±0,0003	0,03±0,001	0,05±0,001	0,02±0,001
Валин	0	1,92±0,09	0,42±0,02	1,89±0,09
Метионин	0	0,47±0,02	0,17±0,01	0,45±0,02
Изолейцин	0	1,33±0,06	0,24±0,01	1,30±0,06
Лейцин	0	3,02±0,14	0,62±0,03	2,99±0,14
Тирозин	0	0,53±0,03	0,10±0,004	0,58±0,03
Фенилаланин	0	1,88±0,09	0,30±0,01	1,92±0,09
Гистидин	0,32±0,01	1,30±0,06	0,89±0,04	1,25±0,06
Лизин	0,03±0,001	1,20±0,06	0,15±0,01	1,18±0,06
Триптофан	0,56±0,02	6,83±0,33	1,58±0,08	7,01±0,34
Аргинин	0,04±0,001	1,59±0,07	0,34±0,02	1,63±0,08
Общее количество аминокислот	<b>1,36±0,07</b>	<b>63,84±3,19</b>	<b>8,41±0,40</b>	<b>63,15±3,12</b>
Из них незаменимых аминокислот	<b>0,66±0,03</b>	<b>16,42±0,80</b>	<b>3,55±0,17</b>	<b>18,33±0,90</b>

Повышенное количество свободных аминокислот и низкомолекулярных пептидов будет способствовать лучшей усвояемости белков хлебобулочных изделий, полученных с использованием ферментализата тритикале.

## Заключение

Таким образом, показано, что проведение ферментативной обработки зернового сырья протеолитическими ферментами способствует частичной деструкции высокомолекулярных белков тритикале, ржи и пшеницы. Наибольшую гидролитическую способность проявили протеазы гриба *Aspergillus oryzae* (ФС-1), применение которых позволило снизить содержание «аллергенных» белков и получить гидролизаты зерна, обогащенные свободными аминокислотами и пептидами с пониженной молекулярной массой. Установленное существенное повышение концентрации пролина в свободной форме свидетельствует о биокаталитическом расщеплении пролин-содержащих белков. Сравнительный анализ органолептических и физико-химических свойств хлебобулочных изделий показал соответствие разработанного образца требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 52462-2005.

## Сведения об авторах

ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва):

Римарева Любовь Вячеславовна – академик РАН, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок

E-mail: lrimareva@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-3097-0836>

Введение в рецептурный состав ферментализатов цельного зерна тритикале позволило существенно снизить содержание высокомолекулярных белков, увеличить содержание свободных аминокислот и пептидов с низкой молекулярной массой, что, по-видимому, будет способствовать лучшей усвояемости белков хлебобулочных изделий и снижению их аллергенных свойств. Для подтверждения этого необходимо проведение дальнейших медико-биологических и клинических исследований.

Разработанная технология позволяет получать ферментативные гидролизаты зернового сырья, которые могут быть использованы для расширения ассортимента специализированных пищевых продуктов для детского, лечебного, спортивного и геродиетического питания.

**Финансирование.** Исследования проведены за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. (тема № 0529-2015-0108).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов.

Фурсова Наталья Александровна – заведующая лабораторией биотехнологии пекарных дрожжей

E-mail: pekardroj@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3903-664>

Соколова Елена Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок

E-mail: elenaniksokolova@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

Волкова Галина Сергеевна – доктор технических наук, заведующая лабораторией биотехнологии пищевых и кормовых добавок

E-mail: galina\_volkova@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4051-182>

Борщева Юлия Александровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок

E-mail: juliyaborshova@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0911-532>

Серба Елена Михайловна – доктор технических наук, профессор РАН, доцент, заместитель директора по научной работе

E-mail: serbae@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>

Кривова Анна Юрьевна – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок

E-mail: 3321225@mail.ru

## Литература

- Тутельян В.А., Вялков А.И., Разумов А.Н., Михайлов В.И., Москаленко К.А., Одинец В.Г. и др. Научные основы здорового питания. М. : Издательский дом «Панорама», 2010. 816 с.
- Сысоева Е.И., Кадукова Р.Р. Анализ потребления хлеба и хлебобулочных изделий // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. Т. 24. С. 122–125.
- Пампура А.Н., Конюкова Н.Г. Свойства и клиническое значение растительных аллергенов // Российский аллергологический журнал. 2008. № 6. С. 33–41.
- Ногаллер А.М., Гуцин И.С., Мазо В.К., Гмошинский И.В. Пищевая аллергия и непереносимость пищевых продуктов. М. : Медицина, 2008. 336 с.
- Алексеева А.А., Намазова-Баранова Л.С., Макарова С.Г., Вишнева Е.А., Левина Ю.Г., Томилова А.Ю. и др. Пищевая аллергия к глютену. Современная диетотерапия // Вопр. совр. педиатрии. 2014. Т. 13, № 5. С. 71–75.
- Вишнева Е.А., Намазова-Баранова Л.С., Макарова С.Г., Алексеева А.А., Эфендиева К.Е., Левина Ю.Г. и др. Пищевая аллергия к белкам пшеницы. Трудности диагностики и лечения // Педиатр. фармакол. 2015. Т. 12, № 4. С. 429–434.
- Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А., Колпакова В.В., Витол И.С., Кобелева И.Б. Пищевая химия. 5-е изд., испр. и доп. СПб. : ГИОРД, 2012. 672 с.
- Головач Т.Н., Иванов А.А., Яцков Н.Н., Курченко В.П. Причины возникновения пищевой аллергии и пути ее снижения // Сб. трудов «Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях продуктов питания и кормов». М. : ВНИИПБТ, 2016. С. 147–157. ISBN 978-5-906592-52-1.
- Тутельян В.А., Хавинсон В.Х., Малинин В.В. Физиологическая роль коротких пептидов в питании // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 2003. Т. 135, № 1. С. 4–10.
- Курченко В.П., Головач Н.М., Червяковский Е.М., Симоненко С.В., Харитонов В.Д. Частичные гидролизаты сывороточных белков для специализированного и детского питания // Российская сельскохозяйственная наука. 2011. Т. 37, № 1. С. 45–48.
- Loponen J. Prolamin degradation in sourdoughs : Dissertation. Helsinki : University of Helsinki, 2006. 77 p.
- Rimareva L.V., Sokolova E.N., Serba E.M., Borshova Yu.A., Kurbatova E.I., Krivova A.Yu. Reduced allergenicity of foods of plant nature by the method of enzymatic hydrolysis // Oriental Journal of Chemistry. 2017. Vol. 33, N 4. P. 2009–2015. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/330448>.
- Серба Е.М., Оверченко М.Б., Игнатова Н.И., Соколова Е.Н., Курбатова Е.И. Разработка национальных стандартов по методам определения активности ферментных препаратов для пищевой промышленности // Пищ. пром-сть. 2013. № 7. С. 40–44.
- Определение аминного азота методами формольного и йодометрического титрования. ОФС.1.2.3.0022.15. Утв. приказом Минздрава России от 29.10.2015 № 771. Введ. 01.01.2016. Ставрополь : Энтропос, 2015. 3 с.
- Дарбре А. Практическая химия белка. М. : Мир, 1989. 623 с.
- Шлейкин А.Г., Скворцова Н.Н., Бландов А.Н. Биохимия. Лабораторный практикум. Ч. 2: Белки. Ферменты. Витамины. СПб. : Университет ИТМО, 2015. 106 с.
- Стручкова И.В., Кальясова Е.А. Теоретические и практические основы проведения электрофореза белков в полиакриламидном геле. Н. Новгород, 2012. 60 с.
- Серба Е.М., Оверченко М.Б., Погоржельская Н.С., Курбатова Е.И., Поляков В.А., Римарева Л.В. Зависимость степени деструкции белковых веществ микробной биомассы от состава протеолитического комплекса // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 48–51.
- Головач Т.Н., Курченко В.П. Гидролиз белков молока ферментативными препаратами и протеолитическими системами молочнокислых бактерий // Труды БГУ. 2012. Т. 7, ч. 1. С. 106–126.

## References

- Tutelyan V.A., Vyalkov A.I., Razumov A.N., Mikhailov V.I., Moskalenko K.A., Odinets A.G., et al. Scientific bases of healthy food. Moscow: Publishing House "Panorama". 2010: 816 p. (in Russian)
- Sysoeva E.I., Kadukova R.R. Analysis of the consumption of bread and bakery products. Nauchno-metodicheskij ehlektronnyj zhurnal [Scientific and Methodic e-Journal "Koncept"]. 2017; 24: 122–5. (in Russian)

3. Pampura A.N., Konyukova N.G. Properties and clinical significance of plant allergens. *Rossiiskij allergologicheskij zhurnal [Russian Allergology Journal]*. 2008; (6): 33–41. (in Russian)
4. Nogaller A.M., Gushchin I.S., Mazo V.K., Gmshinsky I.V. Food allergies and food intolerance. Moscow: Meditsina; 2008: 336 p. (in Russian)
5. Alekseeva A.A., Namazova-Baranova L.S., Makarova S.G., Vishnyova E.A., Levina Yu.G., Tomilova A.Yu., et al. Food allergy to gluten. Modern diet therapy. *Voprosy sovremennoj pediatrii [Current Pediatrics]*. 2014; 13 (5): 71–5. (in Russian)
6. Vishnyova E.A., Namazova-Baranova L.S., Makarova S.G., Alekseeva A.A., Efendieva K.E., Levina Yu.G., et al. Food allergy to wheat proteins. Difficulties of diagnosis and treatment // *Pediatricheskaya farmakologiya [Pediatric Pharmacology]*. 2015; 12 (4): 429–34. (in Russian)
7. Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A., Kolpakova V.V., Vitol I.S., Kobeleva I.B. Food chemistry. 5<sup>th</sup> ed., revised and augmented. St. Petersburg: GIORД, 2012: 672 p. (in Russian)
8. Golovach T.N., Ivanov A.A., Yatskov N.H., Kupchenko V.P. Causes of food Allergy and ways to reduce it. In: Collection of works “Promising enzyme preparations and biotechnological processes in food and feed technologies”. Moscow: Russian Research Institute of Food Biotechnology, 2016: 147–57. ISBN 978-5-906592-52-1. (in Russian)
9. Tutelyan V.A., Khavinson V.H., Malinin V.V. Physiological role of short peptides in nutrition. *Byulleten' experimentalnoy biologii i meditsiny [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]*. 2003; 135 (1): 4–10. (in Russian)
10. Kurchenko V.P., Golovach T.N., Chervyakovskii E.M., Simonenko S.V., Kharitonov V.D. Whey protein partial hydrolysates for specialized and infant nutrition. *Rossiyskaya selskokhoyaystvennaya nauka [Russian Agricultural Sciences]*. 2011; 37 (1): 45–8. (in Russian)
11. Loponen J. Prolamin degradation in sourdoughs [Dissertation]. Helsinki: University of Helsinki; 2006: 77 p.
12. Rimareva L.V., Sokolova E.N., Serba E.M., Borshova Yu.A., Kurbatova E.I., Krivova AYu. Reduced allergenicity of foods of plant nature by the method of enzymatic hydrolysis. *Oriental Journal of Chemistry*. 2017; 33 (4): 2009–15. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/330448>.
13. Serba E.M., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Sokolova E.N., Kurbatova E.I. Development of national standards for methods of determining the activity of enzyme preparations for the food industry. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*. 2013; (7): 40–4. (in Russian)
14. Determination of amine nitrogen by formal and iodometric titration: CFS.1.2.3.0022.15/ App. Order of the Ministry of health of the Russian Federation of October 29, 2015 # 771. Enter. 01.01.2016. Stavropol: Entropos; 2015: 3 p. (in Russian)
15. Darbre A. Practical chemistry of protein. Moscow: World; 1989: 623 p. (in Russian)
16. Shleikin A.G., Skvortsova N.N., Blandov A.N. Biochemistry. Laboratory workshop. Part 2. Proteins. Enzymes. Vitamins. St. Petersburg: ITMO University; 2015: 106 p. (in Russian)
17. Struchkova V.I., Kalyasova E.A. Theoretical and practical basics of conducting electrophoresis of proteins in polyacrylamide gel. Nizhny Novgorod; 2012: 60 p. (in Russian)
18. Serba E.M., Overchenko M.B., Pogorzelskaya N.S., Kurbatova E.I., Polyakov V.A., Rimareva L.V. The dependence of the degree of decomposition of protein substances of microbial biomass from the composition of the proteolytic complex. *Vestnik rossiiskoi selkhozaystvennoi nauki [Vestnik of the Russian Agricultural Sciences]*. 2015; (2): 48–51. (in Russian)
19. Golovach T.N., Kurchenko V.P. Hydrolysis of milk proteins by enzymatic preparations and proteolytic systems of lactic acid bacteria. Work of the Belarusian State University. 2012; 7 (part 1): 106-26. (in Russian)

**Для корреспонденции**

Кочеткова Алла Алексеевна – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»  
 Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14  
 Телефон: (495) 698-53-89  
 E-mail: kochetkova@ion.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9821-192X>

Кочеткова А.А., Воробьева И.С., Воробьева В.М., Шарфетдинов Х.Х., Плотникова О.А., Пилипенко В.В., Алексеева Р.И., Сасунова А.Н.

## Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем для диетической коррекции рациона больных сахарным диабетом 2 типа

Specialized food products with modified carbohydrate profile for dietary correction of diet of patients with type 2 diabetes

Kochetkova A.A., Vorobyeva I.S., Vorobyeva V.M., Sharafetdinov Kh.Kh., Plotnikova O.A., Pilipenko V.V., Alexeeva R.I., Sasunova A.N.

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва  
 Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

*В последние годы заболеваемость сахарным диабетом (СД) в мире неуклонно растет. По данным Международной диабетической федерации (IDF), количество больных СД в мире в 2015 г. составляло 415 млн, из них более 90% – больные СД 2 типа. По прогнозам, в 2040 г. их численность возрастет до 642 млн. Россия занимает 5-е место в десятке стран с наибольшим количеством взрослого населения с СД. Диетическая коррекция рациона больных СД 2 типа осуществляется за счет включения специализированных пищевых продуктов с модифицированным углеводным профилем, содержащих ингредиенты, обладающие гипогликемическим действием. Цель исследования – разработка рецептур и технологии специализированных пищевых продуктов и оценка возможности их использования в комплексной терапии больных СД 2 типа. С учетом медицинских требований к диетотерапии при СД 2 типа разработаны рецептуры и технология двух специализированных пищевых продуктов в виде концентратов для напитков. Технология поэтапного смешивания способствовала равномерному распределению биологически активных веществ в массе продукта. Установлено отсутствие сахарозы и усвояемых полисахаридов в составе разработанных продуктов, наличие около 1% лактозы обусловлено ее содержанием в белковом компоненте. Влажность не превышает стандартных значений для аналогичных продуктов, значения показателя «активность воды» характерны для продуктов с низкой влажностью, что обосновывает прогнозирование микробиологической стабильности разработанных продуктов в про-*

**Для цитирования:** Кочеткова А.А., Воробьева И.С., Воробьева В.М., Шарфетдинов Х.Х., Плотникова О.А., Пилипенко В.В., Алексеева Р.И., Сасунова А.Н. Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем для диетической коррекции рациона больных сахарным диабетом 2 типа // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 76–88. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10069.

**Статья поступила в редакцию** 13.08.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Kochetkova A.A., Vorobyeva I.S., Vorobyeva V.M., Sharafetdinov Kh.Kh., Plotnikova O.A., Pilipenko V.V., Alexeeva R.I., Sasunova A.N. Specialized food products with modified carbohydrate profile for dietary correction of diet of patients with type 2 diabetes. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 76–88. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10069. (in Russian)

**Received** 13.08.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

цессе хранения. Осмоляльность напитков, восстановленных в соответствии со способом приготовления, составляет 310 и 258 мОсм/кг, что характеризует их как изотонические. Продукты сбалансированы по аминокислотному составу, имеют высокий скор незаменимых аминокислот за счет внесения комбинации белков. Потребление одной порции (30 г) продукта в виде напитка обеспечивает среднюю суточную потребность в незаменимых аминокислотах на 15–22%, полиненасыщенных жирных кислотах  $\omega$ -3 – на 10%,  $\omega$ -6 – на 15%, растворимых пищевых волокнах – на 50–55%, витаминах группы В – на 14–81%, С – на 46%, А, D<sub>3</sub>, Е, К<sub>1</sub> – на 17–46%, макро- и микроэлементах – на 10–33%. Содержание полифенолов составляет 48% от адекватного уровня потребления. Включение специализированных пищевых продуктов с модифицированным углеводным профилем в состав гипокалорийной диеты приводит к стабилизации постпрандиального уровня глюкозы в крови у больных СД 2 типа.

**Ключевые слова:** специализированный пищевой продукт, сахарный диабет 2 типа, диетотерапия, пищевые ингредиенты

*In recent years, the incidence of diabetes mellitus (DM) in the world is growing steadily. According to the international diabetes Federation (IDF), the number of DM patients in the world in 2015 was 415 million, of them more than 90% – patients with type 2 diabetes. According to forecasts, in 2040 their number will increase to 642 million. Russia ranks fifth among the ten countries with the largest number of the adult population with diabetes. Dietary correction of the diet of patients with type 2 DM is carried out by the inclusion of specialized foods with a modified carbohydrate profile containing ingredients with hypoglycemic action. The purpose of the study – the development of composition and technology of specialized foods and assessment of the possibility of their use in the therapy of patients with type 2 diabetes. Taking into account the medical requirements for diet therapy for type 2 diabetes, composition and technology of two specialized foods in the form of beverage concentrates have been developed. The technology of step-by-step mixing contributed to the uniform distribution of biologically active substances in the mass of the product. The absence of sucrose and digestible polysaccharides in the composition of the developed products was established, the presence of about 1% lactose was due to its content in the protein component. Humidity didn't exceed the standard values for similar products, the values water activity were typical for products with low humidity, which justified the prediction of the microbiological stability of the developed products during storage. The osmolality of the beverages restored in accordance with the method of preparation was 310 and 258 mOsm/kg, which characterized them as isotonic. The products were balanced in amino acid composition, had a high score of essential amino acids due to the introduction of a combination of proteins. The consumption of one serving (30 g) of the product in the form of a drink (200 ml) provided an average daily requirement for essential amino acids by 15–22%, polyunsaturated fatty acids  $\omega$ -3 – by 10%,  $\omega$ -6 – by 15%, soluble dietary fibers – by 50–55%, vitamins groups В – by 14–81%, С – by 46%, А, D<sub>3</sub>, Е, К<sub>1</sub> – by 17–46%, minerals and trace elements – by 10–33%. The content of polyphenols was about a half of its adequate level of consumption. The inclusion of specialized foods with a modified carbohydrate profile in the composition of the low-calorie diet lead to the stabilization of postprandial blood glucose levels in patients with type 2 DM.*

**Keywords:** specialized food product, type 2 diabetes, diet therapy, food ingredients

**Ш**ирокое распространение алиментарно-зависимых заболеваний требует принятия неотложных мер, направленных на их профилактику и лечение. Нарушения структуры питания, связанные с чрезмерным потреблением насыщенных жиров, сахара, дефицитом в рационе полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), пищевых волокон, витаминов, макро- и микроэлементов, других биологически активных веществ, приводят к возникновению и распространению алиментарно-зависимых заболеваний, к которым можно отнести практически все сердечно-сосудистые заболевания (ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертония, атеросклероз, некоторые аритмии), ожирение, сахарный диабет (СД), многие заболевания щитовидной

железы, некоторые формы онкологических заболеваний (толстого кишечника, пищевода), остеопороз и др. Нарушения пищевого статуса в еще большей степени выражены у людей с различными заболеваниями, когда их потребность в нутриентах и биологически активных соединениях может быть повышена. Выявляемые нарушения пищевого статуса в значительной степени снижают эффективность лечебных мероприятий, повышают риск осложнений, приводят к увеличению затрат на лечение больного [1, 2].

В последние годы в мире значительно выросла заболеваемость СД не только взрослого населения, но и детей. Причинами заболевания, наряду с генетическими факторами, являются, с одной стороны, перепада-

ние, употребление высококалорийной пищи, увлечение фастфудом, чрезмерное потребление сахара как в чистом виде, так и в составе различных пищевых продуктов, особенно кондитерских изделий, сладких напитков, с другой – снижение физической активности и энергозатрат за счет растущей урбанизации, повышения технического уровня производства, развития современных технологий. По мнению диетологов, избыточная масса тела и ожирение являются самым мощным фактором возникновения и развития СД и его осложнений [2–5]. По данным Международной диабетической федерации (IDF), количество больных СД в мире в 2015 г. составляло 415 млн, т.е. около 9% от общей численности населения, из них более 90% – больные СД 2 типа. Количество детей с СД 1 типа в возрасте до 14 лет превысило полмиллиона. Кроме того, исследования IDF, проведенные в различных странах, показали, что из тысячи человек 465 не знают, что больны СД. Российская Федерация занимает 5-е место в десятке стран с наибольшим количеством взрослого населения с СД после Китая, Индии, США и Бразилии. По уровню заболеваемости детей от 0 до 14 лет СД 1 типа Российская Федерация находится на 6-м месте после США, Индии, Бразилии, Китая и Великобритании. Согласно прогнозам, в 2040 г. численность больных СД в мире возрастет до 642 млн и превысит 10% от общего количества населения [6].

Одним из путей снижения риска развития СД, по мнению диетологов и диабетологов, является диетическая коррекция рациона питания, заключающаяся в снижении его калорийности, оптимизации количества и качества белка, жиров, углеводов, обогащении витаминами, минеральными веществами, использовании биологически активных веществ, обладающих гипогликемическим действием [7–9]. Питание должно быть частью терапевтического плана лечения больных СД 2 типа, при этом необходимо учитывать персональные предпочтения пациентов. Людям с избыточной массой тела или ожирением рекомендуется снижение калорийности рациона за счет максимального ограничения добавленных сахаров, жиров, прежде всего животного происхождения, умеренного потребления продуктов, состоящих преимущественно из сложных углеводов и белка. Необходимо включать в рацион продукты, богатые моно- и полиненасыщенными жирными кислотами (рыба, растительные масла), пищевыми волокнами (овощи, фрукты, цельнозерновые продукты), допустимо умеренное потребление сахарозаменителей и подсластителей [10].

В лечебно-профилактических учреждениях в состав стандартных диет включают специализированные пищевые продукты (СПП), позволяющие скорректировать химический состав и калорийность рациона пациентов при конкретном заболевании. Диетическая коррекция рациона питания больных СД 2 типа заключается в использовании для этой цели СПП с модифицированным углеводным профилем, способствующих нормализации уровня глюкозы в крови, снижению тяжести заболевания и уменьшению риска возникновения осложнений, связанных с СД, и в то же время обеспечивающих

организм больного необходимыми макро- и микронутриентами. К сожалению, следует констатировать, что СПП диетического лечебного и диетического профилактического питания отечественного производства на российском рынке крайне недостаточно, закупаемая по импорту продукция имеет высокую стоимость и ограниченные объемы поступления. Учитывая важную роль диетотерапии в профилактике и лечении алиментарно-зависимых заболеваний, создание СПП для больных СД 2 типа является актуальным.

В последние годы для оценки качества гликемического контроля и расчета параметров variability гликемии у больных СД 2 типа используется система непрерывного мониторинга концентрации глюкозы при помощи сенсора, установленного в подкожной жировой клетчатке. Эта система позволяет получить детальную информацию о variability гликемии в течение суток и улучшить качество гликемического контроля при внедрении в клиническую практику сахароснижающих препаратов [11–13].

**Целями** настоящего исследования являлись разработка рецептур и технологии СПП с модифицированным углеводным профилем, предназначенных для включения в рацион больных СД 2 типа, изучение их физико-химических свойств, пищевой и энергетической ценности, а также оценка возможности использования СПП с модифицированным углеводным профилем в комплексной терапии при этом заболевании.

## Материал и методы

При разработке рецептур СПП с модифицированным углеводным профилем использовали концентрат белков молочной сыворотки, изолят соевого белка, молочный белок (казеин), гидролизат коллагена, молоко сухое цельное, среднецепочечные триглицериды, мононенасыщенные жирные кислоты, мальтит, фруктозу, инулин, каррагинан, пектин цитрусовый высокоэтерифицированный, гидролизованную гуаровую камедь, муку гречневую, муку овсяную, комплекс полифенолов листьев черники, премикс витаминный (состав: витамины А, D<sub>3</sub>, Е, К<sub>1</sub>, С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, РР, фолиевая кислота, пантотеновая кислота, биотин, носитель мальтодекстрина), премикс минеральный (состав: глюконат цинка, хлорид хрома (III) 6-водный, глюконат меди (II), йодид калия, пирофосфат железа (III), сульфат марганца моногидрат, молибдат натрия 2-водный, селенит натрия безводный, носитель мальтодекстрина), калий лимоннокислый 3-замещенный (Е332), кальций углекислый (Е170), магний молочнокислый 2-водный (Е329), какао-порошок, имбирь, подсластители, натуральные ароматизаторы.

Все ингредиенты по показателям безопасности соответствовали требованиям, установленным техническими регламентами Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок,

ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». Используемые пищевые добавки применялись в количествах, не превышающих нормативных значений, установленных в ТР ТС 029/2012.

Технологический процесс приготовления образцов СПП осуществляли способом сухого смешивания, включающим предварительное приготовление предсмеси минорных ингредиентов и смешивание ее с оставшимися рецептурными ингредиентами.

Физико-химические показатели СПП определяли стандартными методами: массовую долю влаги – по ГОСТ 29246-91; активную кислотность pH – по ГОСТ Р 53359-2009; насыпную плотность – по ГОСТ Р ИСО 8967-2010; осмоляльность – по ГОСТ Р 55578-2013; содержание железа и цинка – по ГОСТ 30178-96. Активность воды определяли на анализаторе «AquaLab 4TE» («Decagon Devices», США) методом зеркально охлаждаемого датчика точки росы, содержание моно- и дисахаров – по Р 4.1.1672-03.

Пищевую, энергетическую ценность, процент удовлетворения средней суточной потребности в пищевых веществах и энергии, аминокислотный состав и аминокислотный скор определяли расчетными методами, используя данные справочника [14] по химическому составу и калорийности входящих в состав СПП пищевых ингредиентов, с учетом данных по рекомендуемым уровням суточного потребления пищевых веществ и энергии согласно ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» Таможенного союза ЕврАзЭС, а также спецификаций изготовителей используемых ингредиентов.

Оценивали возможность использования СПП с модифицированным углеводным профилем в комплексной терапии – вариабельности гликемии – у 40 пациентов с СД 2 типа в возрасте  $55,8 \pm 1,74$  года с длительностью заболевания  $6,91 \pm 0,34$  года, имеющих индекс массы тела (ИМТ)  $42,5 \pm 2,8$  кг/м<sup>2</sup> и получавших стандартную сахароснижающую терапию. СПП включали в гипокалорийный рацион (1500 ккал/сут) в виде напитка (200 мл), приготовленного из 30 г (1 порция) порошка, на второй завтрак вместо углеводсодержащего блюда. Все пациенты были предварительно проинформированы о процедуре исследования, о правилах поведения в процессе исследования, получено информированное согласие всех пациентов на участие в исследовании, которое было одобрено Комитетом по этике ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Для определения амплитуды колебаний гликемии использована система непрерывного мониторинга глюкозы IPro2 (Medtronic, США) с определением концентрации глюкозы в интерстициальной (межклеточной) жидкости с помощью сенсора, установленного в подкожно-жировой клетчатке. В течение 5 дней оценивали показатели вариабельности гликемии (средний, минимальный и максимальный уровни гликемии, средняя амплитуда колебаний гликемии и др.).

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы SPSS Statistics 21,0. Результаты представлены в виде средних величин и стандартной ошибки средней величины ( $M \pm m$ ). Оценка достоверности различий средних величин проведена с использованием *t*-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Алгоритм разработки СПП с модифицированным углеводным профилем включал следующие этапы: формирование медико-биологических требований к составу и свойствам готового продукта; обоснование и выбор ингредиентов, формирующих пищевой матрикс и обладающих заданным физиологическим действием; разработка рецептур и технологии СПП; исследование технологической и органолептической совместимости ингредиентов; выработка экспериментальных образцов; изучение физико-химических, сенсорных свойств и показателей безопасности.

В соответствии с медико-биологическими требованиями СПП должен иметь порошкообразную форму, легко восстанавливаться в воде, образуя напиток или коктейль. Белок, входящий в состав СПП, должен быть легкоусвояемым, сбалансированным по аминокислотному составу. Целесообразно использовать молочный или соевый белок или их смесь. Жировой компонент должен содержать моно- и полиненасыщенные жирные кислоты, в том числе семейства  $\omega$ -3, улучшающие липидный спектр крови и способствующие снижению уровня общего холестерина. Модификация углеводного состава СПП может быть осуществлена за счет исключения быстро всасываемых сахаров и включения в рецептуру медленно перевариваемых и медленно всасываемых углеводов, потребление которых сопровождается меньшим повышением уровня постпрандиальной гликемии по сравнению с потреблением моно- и дисахаридов. Углеводный компонент может содержать небольшое количество (не более 0,75 г/1 кг массы тела в день) фруктозы, которая формирует сладкий вкус продукта и вместе с тем в меньшей степени, чем другие углеводы, повышает уровень постпрандиальной гликемии у больных СД 2 типа [7, 15]. Для создания сладкого вкуса рекомендуется использовать сахарозаменители – многоатомные спирты (ксилит, сорбит, мальтит, эритрит и др.), однако следует учитывать, что их избыточное потребление может оказать неблагоприятное влияние на функциональное состояние желудочно-кишечного тракта, вызывая диарею. Доказанные физиологические эффекты пищевых волокон, такие как улучшение функционирования желудочно-кишечного тракта, положительное влияние на показатели липидного и углеводного обмена, повышение чувства насыщения, нормализация микрофлоры кишечника за счет пребиотических свойств и др., обуславливают включение их в рецептуры продуктов для больных СД [7, 16]. Учитывая существующие

ющую проблему микронутриентной недостаточности у населения нашей страны, являющейся фактором риска многих заболеваний, в том числе алиментарно-зависимых [17–19], в состав СПП целесообразно включать витамины, минеральные вещества, в том числе обладающие антиоксидантными свойствами, в количествах, обеспечивающих коррекцию их недостаточного потребления.

Реализация медико-биологических требований предполагает необходимость выбора источников основных макронутриентов (белка, жиров и углеводов), формирующих пищевой матрикс продукта, а также микронутриентов и обогащающих биологически активных компонентов с доказанной пользой для здоровья. Ингредиенты, включаемые в состав СПП, предназначенных для больных СД 2 типа, должны быть органолептически и технологически совместимы, не оказывать гипергликемического эффекта, способствовать снижению риска развития этого заболевания, по гигиеническим и санитарно-химическим показателям соответствовать требованиям, установленным техническими регламентами Таможенного союза.

В качестве источника белка выбраны ингредиенты, широко представленные на российском рынке и активно используемые в составе СПП: концентрат белков молочной сыворотки, казеин в мицеллярной форме, полученный методом ультрафильтрации, сухое цельное молоко, изолят соевых белков, гидролизат коллагена, содержащий легко усвояемые пептиды [20]. Наиболее сбалансированный аминокислотный состав и высокий скор незаменимых аминокислот имеют белки молочной сыворотки, казеин лимитирован по серосодержащим аминокислотам – метионину и цистину, соевый белок – по метионину, цистину и треонину, гидролизат коллагена характеризуется низким содержанием таких незаме-

мых аминокислот, как метионин и триптофан [21–24]. Очевидно, что для формирования сбалансированного аминокислотного состава, близкого к идеальной аминокислотной шкале Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО)/Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), целесообразно применять технологию взаимного обогащения, т.е. использовать комбинации различных белков [25].

Используемый жировой компонент представляет собой композицию в микрокапсулированной форме, состоящую из среднецепочечных триглицеридов, поли- и мононенасыщенных жирных кислот (линолевой,  $\alpha$ -линоленовой, олеиновой) и препарата, содержащего докозагексаеновую кислоту ( $\omega$ -3 ПНЖК), выделенную из морских водорослей.

Модификация углеводного профиля осуществлена за счет исключения быстро всасываемых углеводов, традиционно используемых в рецептурах сладких напитков и коктейлей, внесения в качестве сахарозаменителя мальтита. Сладкий вкус напитков обуславливается внесением подсластителя «Аспасвит СТС Флора», состоящего из экстракта стевии, сукралозы, изомальта или «Стевилия Е», в состав которого входит эритрит и экстракт стевии. Для гармонизации сладкого вкуса в состав СПП включено небольшое количество фруктозы.

Пищевые волокна представлены растворимыми формами – пектин, инулин, каррагинан, гидролизованная гуаровая камедь. Каррагинан и пектин в составе СПП выполняют двойную функцию: служат источником растворимых пищевых волокон и являются загустителями, придающими напитку оптимальную консистенцию.

Для обогащения разрабатываемых СПП витаминами и минеральными веществами, дефицит которых наиболее часто обнаруживается у населения России, использованы премиксы, соли органических и неорганических кислот, являющиеся источниками кальция, магния, калия. В рецептуру СПП включен ингредиент, представляющий собой комплекс полифенолов листьев черники в составе белкового матрикса гречневой муки с суммарным содержанием полифенолов 26,6 мг-экв галловой кислоты в 1 г гречневой муки. Гипогликемическое и гиполипидемическое действие экстракта листьев черники доказано в эксперименте *in vivo*, и рекомендовано его включение в состав СПП антидиабетического действия [26, 27].

Для определения технологической и органолептической совместимости выбранных ингредиентов в лабораторных условиях были выработаны образцы СПП-1 (варианты № 1–6), СПП-2 (варианты № 1–8), исследованы их физико-химические и органолептические свойства. Основными требованиями, которым должны соответствовать многокомпонентные порошкообразные системы, являются равномерное распределение микронутриентов, гарантирующее их заданное количество в порции продукта. Однородность смеси обуславливается физико-химическими свойствами ингредиентов, такими как влажность, насыпная плотность, дисперс-

**Таблица 1.** Физико-химические показатели вариантов специализированных пищевых продуктов с модифицированным углеводным профилем

Продукт	Вариант, №	Массовая доля влаги, %	Активность воды, Aw	Объемная насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>
СПП-1	1	7,34	0,3783	0,527
	2	5,86	0,3328	0,456
	3	5,53	0,3297	0,452
	4	4,87	0,2528	0,446
	5	3,84	0,1837	0,386
	6	3,62	0,2412	0,364
СПП-2	1	6,93	0,3886	0,491
	2	4,95	0,2386	0,444
	3	4,95	0,2782	0,429
	4	5,04	0,3285	0,428
	5	5,12	0,3377	0,420
	6	4,02	0,3012	0,418
	7	3,95	0,2846	0,411
	8	3,74	0,2314	0,383

*Примечание.* Здесь и в табл. 2–5: расшифровка аббревиатур дана в тексте.

ность, а также зависит от конструктивных особенностей смешивающего устройства, коэффициента его загрузки, времени и скорости перемешивания.

Результаты исследования физико-химических показателей, представленные в табл. 1, свидетельствуют, что содержание влаги в образцах СПП не превышает значений этого показателя для аналогичной группы продуктов, установленных ГОСТ Р 53861-2010 «Продукты диетического (лечебного и профилактического) питания. Смеси белковые комбинированные сухие. Общие технические условия». Насыпная плотность, как интегральный показатель структурно-механического состояния сухого продукта, является важным показателем его качества. В технологической практике этот показатель используется при управлении процессами дозирования сухих продуктов в потребительскую тару, в прогнозировании пригодности продукции к длительному хранению, оценке ее качества и безопасности в процессе хранения. Повышенная влажность образца № 1 СПП-1 в сравнении с другими вариантами обусловлена наличием в его составе гречневой и овсяной муки, влажность которых составляет 9,0 и 9,1% соответственно. Кроме того, срок годности этих видов муки составляет 9 и 6 мес соответственно, что лимитирует срок годности разрабатываемых СПП. Массовая доля влаги образца № 1 СПП-2 обусловлена повышенной влажностью используемого гидролизата коллагена (8,78%). Значения показателя активности воды ( $A_w$ ) в образцах СПП составили от 0,1837 до 0,3886. Согласно современной классификации исследуемые образцы по этому показателю относятся к группе пищевых продуктов с низкой влажностью ( $\alpha_w$  0,0–0,6), что обосновывает прогнозирование микробиологической стабильности пищевых продуктов в процессе хранения при соблюдении условий хранения. Однако исследование размерно-массовой характеристики разработанных вариантов СПП, которой является объемная насыпная плотность, свидетельствует, что ее значения для образцов № 1–4 СПП-1 и № 1–4 СПП-2, содержащих гречневую муку, превышают значения для других исследованных образцов. Повышенная насыпная плотность в сочетании с повышенной влажностью может привести к потере сыпучести, комкованию, слеживанию и порче СПП в процессе хранения.

Используемый в рецептурах образцов № 2–5 СПП-1 и № 2–7 СПП-2 подсластитель «Аспасвит СТС Флора» в 200 раз слаще сахарозы, вследствие чего его дозировка для достижения приемлемой сладости СПП очень мала и составляет всего 0,03–0,08%, что затрудняет его равномерное распределение в массе продукта. В рецептурах образцов № 6 СПП-1 и № 8 СПП-2 использовали смесь подсластителей «Стевилия Е» с коэффициентом сладости, равным 5, дозировка которой составила 1,3–2,0%, что способствовало ее равномерному распределению в порошкообразном продукте. По результатам сенсорной оценки восстановленного напитка из рецептур были исключены ингредиенты, которые придавали нехарактерный для сладких напитков вкус и аромат (имбирь, гречневая и овсяная мука).

**Таблица 2.** Физико-химические показатели специализированных пищевых продуктов с модифицированным углеводным профилем

Показатель	СПП-1	СПП-2
Порошкообразный специализированный пищевой продукт		
Массовая доля влаги, %	3,58	3,68
Активность воды ( $a_w$ )	0,2351	0,2104
Объемная насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,359	0,393
Массовая доля железа, мг/100 г	17,28	21,39
Массовая доля цинка, мг/100 г	5,04	5,42
Углеводный профиль (содержание моно- и дисахаридов):		
– лактоза, г/100 г	1,15	1,2
– фруктоза, г/100 г	–	2,1
Восстановленный напиток		
Осмоляльность, мОсм/кг	310	258
Активная кислотность, ед. рН	6,46	6,22

Сочетание гидролизата коллагена с сухим цельным молоком наиболее приемлемо в отношении аминокислотного состава и органолептических характеристик разрабатываемых СПП, однако высокое содержание лактозы (около 40%) не позволяет использовать значимое количество сухого цельного молока в рецептуре продуктов, предназначенных для больных СД 2 типа. В связи с этим от дальнейшего использования этой комбинации белковых ингредиентов в рецептурах СПП отказались. Для оптимизации аминокислотного состава белкового ингредиента использовали смесь концентрата белков молочной сыворотки с изолятом соевого белка и концентрат белков молочной сыворотки с казеином.

На основании проведенных исследований оптимизирован рецептурный состав СПП за счет исключения или замены ингредиентов, свойства которых не позволяют обеспечить заданные характеристики готового продукта, определены технологические параметры процесса смешивания, включающие последовательность дозирования ингредиентов в зависимости от насыпной плотности используемого сырья.

Результаты проведенных исследований стали основанием для выбора 2 оптимальных рецептур и выработки экспериментальных партий СПП. Ингредиентный состав СПП-1: мальтит, мононенасыщенные жирные кислоты, концентрат белка молочной сыворотки, казеин, среднецепочечные триглицериды, цитрат калия, комплекс полифенолов, лактат магния, карбонат кальция, инулин, пектин, ароматизатор натуральный «Клубника», ароматизатор натуральный «Ваниль», премикс витаминный (С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, РР, фолиевая кислота, пантотеновая кислота, А, D<sub>3</sub>, Е, К<sub>1</sub>, биотин), премикс минеральный (железо, цинк, медь, марганец, хром, селен, йод, молибден), краситель концентрат свекольного сока, подсластитель «Стевилия Е» (эритритол Е968, экстракт стевии Е960). В отличие от рецептуры СПП-1, в СПП-2 белковый компонент представлен смесью концентрата белка молочной сыворотки и изолята соевого белка в соотношении 1:1. Изолят соевого белка содержит в своем составе

3% кальция в органической форме, что позволяет не включать в рецептуру СПП-2 соли кальция в качестве обогащающей добавки. Растворимые пищевые волокна

представлены каррагинаном и галактоманнаном, для придания сбалансированного сладкого вкуса в рецептуру включена фруктоза.

**Таблица 3.** Содержание пищевых веществ в порции специализированных пищевых продуктов с модифицированным углеводным профилем и процент удовлетворения средней суточной потребности (специализированных пищевых продуктов\*)

Нутриент	СПП-1		СПП-2	
	содержание в порции (30 г)	% от ССП в порции (30 г)	содержание в порции (30 г)	% от ССП в порции (30 г)
Белок	7,8 г	11	8,9 г	12
В том числе:				
– животный	7,8 г	–	4,45 г	–
– растительный	–	–	4,45 г	–
Жиры	6,1 г	8	6,4 г	8
В том числе:				
– насыщенные жирные кислоты	2,68 г	18**	2,81 г	19**
– мононенасыщенные жирные кислоты	2,25 г	15**	2,36 г	16**
– полиненасыщенные жирные кислоты	1,16 г	10**	1,22 г	10**
В том числе:				
– линолевая кислота ( $\omega$ -6);	0,15 г	15**	0,15 г	15**
– $\alpha$ -линоленовая кислота ( $\omega$ -3)	0,07 г	10**	0,07 г	10**
Углеводы	1,8 г	–	2,6 г	–
В том числе:				
– лактоза	0,35 г	2**	0,36 г	2**
– фруктоза	–	–	0,63	2**
Мальтит	5,6 г	–	5,4 г	–
Растворимые пищевые волокна	1,1 г	55**	1,0 г	50**
Полифенолы (в эквивалентах галловой кислоты)	48 мг	48**	48 мг	48**
Минеральные вещества				
Кальций	303 мг	30	177 мг	18
Магний	100 мг	25	60 мг	15
Фосфор	50 мг	6	120 мг	15
Калий	643 мг	18	80 мг	2
Железо	5,4 мг	38	5,7 мг	40
Цинк	1,86 мг	12	1,86 мг	12
Медь	0,22 мг	22**	0,22 мг	22**
Марганец	0,36 мг	18**	0,36 мг	18**
Йод	50,0 мкг	33	50 мкг	33
Селен	10,8 мкг	15	10,8 мкг	15
Молибден	9,0 мкг	13**	9,0 мкг	13**
Хром	10,8 мкг	22**	10,8 мкг	22**
Витамины				
С	27,8 мг	46	27,8 мг	46
В <sub>1</sub>	0,42 мг	30	0,42 мг	30
В <sub>2</sub>	0,45 мг	28	0,45 мг	28
В <sub>6</sub>	0,51 мг	25	0,51 мг	25
В <sub>12</sub>	0,69 мкг	69	0,69 мкг	69
РР	4,14 мг	23	4,14 мг	23
Фолиевая кислота	162 мкг	81	162 мкг	81
Пантотеновая кислота	1,23 мг	20	1,23 мг	20
Биотин	6,9 мкг	14	6,9 мкг	14
А	174 мкг	22	174 мкг	22
D <sub>3</sub>	2,31 мкг	46	2,31 мкг	46
Е	3,24 мг	32	3,24 мг	32
К <sub>1</sub>	21,0 мкг	17**	21,0 мкг	17**
Энергетическая ценность, кДж/ккал	456/109	4	496/118	5

Примечание. \* – ТР ТС 022/2011; \*\* – Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю).

Таблица 4. Содержание незаменимых аминокислот в порции специализированных пищевых продуктов 1 и 2 и аминокислотный скор

Незаменимые аминокислоты	СПП-1			СПП-2		
	содержание в порции (30 г)	% от АУП в порции (30 г)	АМС, %	содержание в порции (30 г)	% от АУП в порции (30 г)	АМС, %
Изолейцин	0,42	21	156	0,43	22	132
Лейцин	0,74	16	154	0,79	17	146
Лизин	0,59	14	157	0,59	14	140
Метионин + цистин	0,30	17	126	0,32	18	118
Фенилаланин + тирозин	0,67	15	162	0,67	15	143
Треонин	0,35	15	126	0,35	15	113
Триптофан	0,13	16	192	0,13	16	176
Валин	0,44	18	128	0,41	16	107

Технологический процесс получения СПП осуществляли способом сухого смешивания в 2 стадии, используя турбулентный смеситель: I стадия – приготовление предсмеси минорных ингредиентов, II – смешивание полученной предсмеси с основными по массе ингредиентами. Смешивали в течение 30 мин при скорости вращения рабочей емкости в разных плоскостях 80 об/мин, коэффициенте загрузки 70%. СПП фасовали в пакеты из многослойного комбинированного материала исходя из рассчитанной массы разовой порции (30 г).

Специализированные пищевые продукты представляют собой мелкодисперсный порошок от кремового до светло-коричневого цвета. Для приготовления одной порции напитка содержимое пакета (30 г) необходимо высыпать в стакан, добавить 100–150 мл горячей (50–70 °С) воды, интенсивно перемешивая до получения однородной смеси или взбить блендером. Рекомендуются употреблять 1 порцию напитка в день.

Результаты исследований (табл. 2) свидетельствуют, что по значению показателя активности воды разработанные СПП относятся к группе пищевых продуктов с низкой влажностью, объемная насыпная плотность близка к значению этого показателя для сухих молочных продуктов. По значению осмоляльности СПП, восстановленные в соответствии со способом приготовления, характеризуются как изотонические напитки. Более высокая осмоляльность СПП-1 обусловлена наличием в его составе солей-электролитов – калия лимоннокислого и магния молочнокислого. Значения pH напитков близки к нейтральным, что способствует поддержанию кислотно-щелочного баланса в организме.

Содержание микроэлементов железа и цинка, выбранных в качестве индикаторов процесса смешивания, соответствует их расчетному значению, что свидетельствует о равномерности распределения минорных ингредиентов в массе СПП, изготовленных по разработанной технологии. Результаты аналитических исследований достоверно подтвердили модификацию углеводного профиля СПП: установлено отсутствие сахарозы и усвояемых полисахаридов, незначительное количество

лактозы (около 1%) обусловлено ее содержанием в концентрате белков молочной сыворотки, фруктоза присутствует в рецептуре СПП-2.

По пищевой и энергетической ценности (табл. 3) разработанные СПП соответствуют медико-биологическим требованиям. Содержание пищевых веществ и энергии в порции напитка (30 г) соотносится со средней суточной потребностью, биологически активные вещества (витамины, минеральные вещества, полифенолы, ПНЖК  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3) обеспечивают необходимый уровень обогащения.

Представленные данные свидетельствуют, что отличительными признаками в соответствии с Приложением 5 к ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» являются высокое содержание белка – около 30% от энергетической ценности порции напитка, витаминов С, В<sub>1</sub>, В<sub>12</sub>, D<sub>3</sub>, Е, фолиевой кислоты, микроэлементов железа и йода. СПП-1 также характеризуется высоким содержанием кальция. Содержание витаминов В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, РР, А, К<sub>1</sub>, пантотеновой кислоты, микроэлементов меди, марганца, селена и хрома позволяет позиционировать разработанные СПП как источники этих микронутриентов. Кроме того, СПП-1 является источником калия, кальция и магния, СПП-2 – кальция, магния и фосфора. Содержание полифенолов (в эквивалентах галловой кислоты) в порции напитков составляет 48% от адекватного уровня потребления (АУП). Жировой компонент содержит 44% насыщенных жирных кислот, из них 39% среднецепочечных триглицеридов (С8-С10), 37% мононенасыщенных жирных кислот, 19% ПНЖК, содержащих 13% линолевой кислоты ( $\omega$ -6) и 6%  $\alpha$ -линоленовой кислоты ( $\omega$ -3). Содержание линолевой кислоты в порции напитка составляет 15%,  $\alpha$ -линоленовой кислоты – 10% от АУП.

Разработанные СПП содержат все незаменимые аминокислоты, использование композиции белков в оптимальных соотношениях позволило получить продукты со сбалансированным аминокислотным составом и высоким скором аминокислот относительно справочной шкалы ФАО/ВОЗ (1985). Употребление одной порции (30 г) СПП обеспечивает среднюю суточную потребность в незаменимых аминокислотах на 15–22% (табл. 4).

Результаты исследования аминокислотного состава СПП, связанные со степенью сбалансированности его аминокислотного состава, подтвердили высокую биологическую ценность продуктов, не уступающую значениям эталона ФАО/ВОЗ (см. рисунок).

По санитарно-химическим и микробиологическим показателям СПП соответствуют действующим нормативам, установленным техническими регламентами Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания».

### Оценка возможности использования специализированных пищевых продуктов с модифицированным углеводным профилем в комплексной терапии пациентов с сахарным диабетом 2 типа

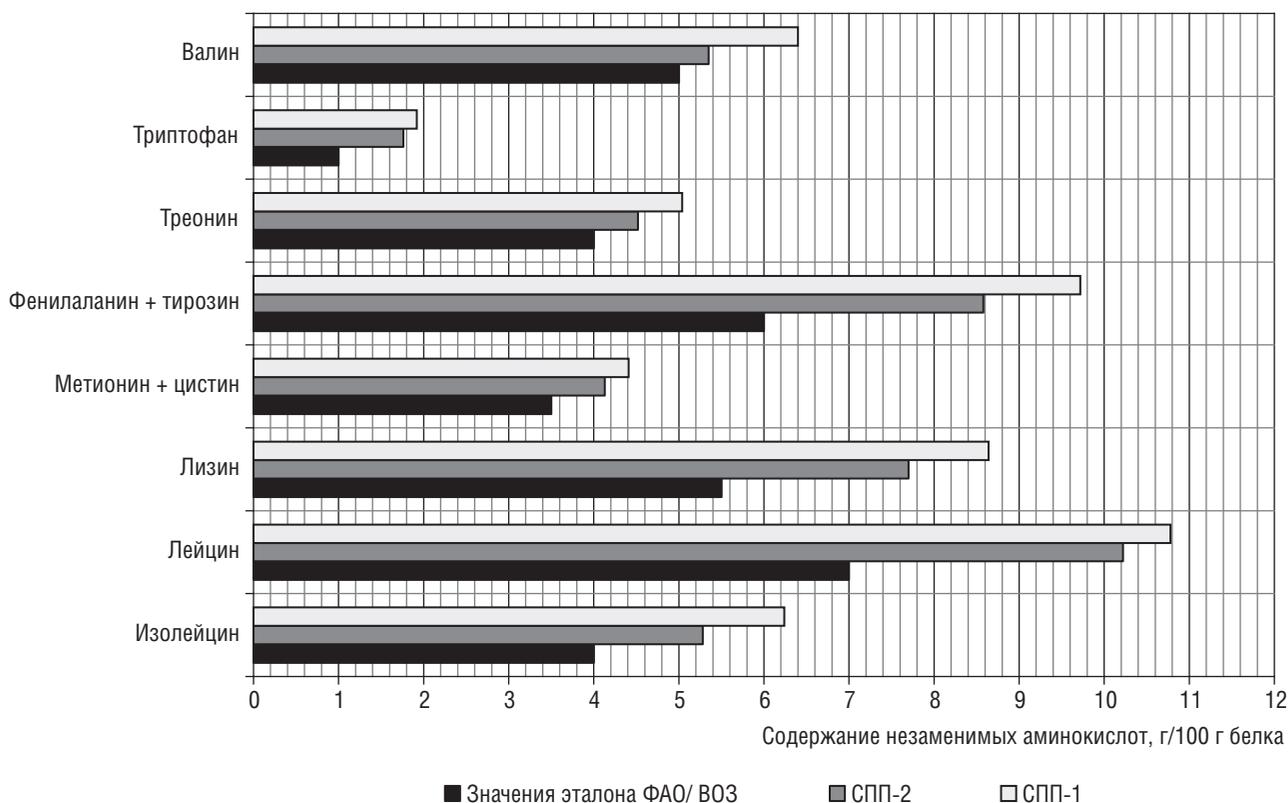
Показатели вариабельности гликемии у больных СД 2 типа, по данным суточного мониторинга глюкозы, при приеме 1 порции СПП на фоне гипокалорийной диеты в течение 5 сут представлены в табл. 5.

Анализ результатов суточного мониторинга уровня глюкозы у пациентов СД 2 типа показал, что включение в гипокалорийную диету разработанных СПП с модифицированным углеводным профилем не

сопровождалось ухудшением показателей гликемии, напротив, отмечено статистически значимое снижение максимального уровня гликемии, увеличение продолжительности периода нормогликемии, снижение периода гипергликемии, снижение уровня гликемии после завтрака, обеда и ужина. Полученные результаты позволяют заключить, что включение в гипокалорийные рационы СПП с модифицированным углеводным профилем, характеризующихся введением в их состав сахарозаменителя мальтита и растворимых пищевых волокон, сопровождается улучшением показателей гликемического контроля у больных СД 2 типа, проявляющееся в менее выраженных колебаниях постпрандиальной гликемии, увеличении продолжительности периода нормогликемии и снижении периода гипергликемии. Включение СПП-1 и СПП-2 в гипокалорийные рационы положительно влияет на суточную вариабельность гликемии за счет стабилизации постпрандиального уровня глюкозы в крови у больных СД 2 типа. Необходимы клинические исследования с целью оценки эффективности сахароснижающей терапии с включением разработанных СПП в коррекцию нарушений углеводного и липидного обмена, антиоксидантного статуса у больных СД 2 типа.

### Заключение

На основании медико-биологических требований к составу и свойствам СПП, предназначенных для



Аминокислотный состав специализированных пищевых продуктов (СПП)

Таблица 5. Показатели вариабельности гликемии у больных сахарным диабетом 2 типа, по данным суточного мониторинга глюкозы

Показатель	СПП-1		СПП-2	
	1-й день	5-й день	1-й день	5-й день
Средний уровень гликемии, ммоль/л	6,85±0,31	6,75±0,29	6,88±0,32	6,81±0,31
Амплитуда колебаний, ммоль/л	5,15±0,23	4,95±0,21	5,37±0,37	5,21±0,28
Минимальный уровень гликемии, ммоль/л	4,49±0,21	4,89±0,25	4,57±0,37	4,93±0,29
Максимальный уровень гликемии, ммоль/л	9,49±0,43	8,87±0,46*	9,63±0,44	8,97±0,39*
Продолжительность нормогликемии, %	39,0±0,2	67,0±0,3*	41,0±0,3	63,0±0,3*
Продолжительность гипергликемии, %	61,0±0,3	33,0±0,3*	59,0±0,4	37,0±0,4*
Продолжительность гипогликемии, %	0	0	0	0
Гликемия после завтрака, ммоль/л	9,75±0,42	8,54±0,29*	9,89±0,32	8,71±0,41*
Гликемия после обеда, ммоль/л	10,4±0,51	8,71±0,49*	10,6±0,52	8,93±0,51*
Гликемия после ужина, ммоль/л	8,85±0,45	7,55±0,39	8,93±0,42	7,68±0,44

Примечание.\* – статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ) по сравнению с исходным уровнем (1-м днем).

включения в рацион больных СД 2 типа, осуществлен выбор пищевых ингредиентов и биологически активных веществ, учитывающий их химический состав, безопасность, физиологические и технологические свойства.

Разработаны рецептуры и технология двух СПП с модифицированным углеводным профилем, содержащих различные комбинации белков, среднецепочечные триглицериды, мононенасыщенные и ПНЖК, в том числе семейства  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6, растворимые пищевые волокна, комплекс полифенолов листьев черники с доказанным гипогликемическим и гиполлипидемическим действием, жиро- и водорастворимые витамины, макро- и микроэлементы. Модификация углеводного профиля осуществлена за счет исключения из рецептуры сахара, традиционно используемого в составе напитков и коктейлей, и внесения композиции, состоящей из сахарозаменителя мальтита и смеси подсластителей.

Технология приготовления СПП способом сухого смешивания, включающим предварительное получение предсмеси минорных ингредиентов и смешивание ее с оставшимися рецептурными ингредиентами, обеспечила равномерное распределение микронутриентов в порошкообразном продукте и гарантированное их содержание в порции восстановленного напитка, о чем свидетельствуют результаты контроля содержания железа и цинка, выбранных в качестве индикаторных показателей равномерности смешивания.

По содержанию влаги и значению показателя активности воды СПП относятся к группе пищевых продуктов с низкой влажностью, что обосновывает прогнозирование их микробиологической стабильности в процессе хранения. По значению осмоляльности восста-

новленные в соответствии со способом приготовления СПП-1 и СПП-2 являются изотоническими напитками (310 и 258 мОсм/кг соответственно).

По показателям пищевой и энергетической ценности разработанные СПП соответствуют медико-биологическим требованиям. Содержание основных пищевых веществ в порции (30 г) СПП соотносится со средней суточной потребностью, биологически активных веществ – не превышает верхнего допустимого уровня потребления. Использование композиции молочных и соевых белков позволило получить СПП со сбалансированным аминокислотным составом и высоким скором аминокислот. По санитарно-химическим и микробиологическим показателям разработанные СПП соответствуют действующим гигиеническим нормативам.

Включение в гипокалорийные рационы СПП с модифицированным углеводным профилем сопровождается улучшением показателей гликемического контроля у больных СД 2 типа, проявляющимся в менее выраженных колебаниях постпрандиальной гликемии, увеличении продолжительности периода нормогликемии и снижении периода гипергликемии, что положительно влияет на суточную вариабельность гликемии за счет стабилизации постпрандиального уровня глюкозы в крови у этого контингента больных.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-36-00041).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва):

Кочеткова Алла Алексеевна – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: kochetkova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9821-192X>

*Воробьева Ирина Сергеевна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: vorobiova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3151-2765>

*Воробьева Валентина Матвеевна* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: vorobiova\_vm@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8110-9742>

*Шарафетдинов Хайдер Хамзьярович* – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории алиментарной коррекции нарушений метаболизма

E-mail: sharafandr@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6061-0095>

*Плотникова Оксана Александровна* – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отделения болезней обмена веществ

E-mail: plot\_oks@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8232-8437>

*Пилипенко Виктория Владимировна* – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения болезней обмена веществ

E-mail: kushonok9@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0628-0854>

*Алексеева Равиля Исмаиловна* – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения болезней обмена веществ

E-mail: ravial@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4129-6971>

*Сасунова Армида Нисановна* – врач-эндокринолог отделения болезней обмена веществ

E-mail: armida.sasunova@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8896-5285>

## Литература

- Тутельян В.А., Гаппаров М. М. Г., Каганов Б.С. Лечебное питание: современные подходы к стандартизации диетотерапии. М.: Династия, 2010. 302 с.
- Голубева А.А., Yumei Lin, Богданов А.Р., Исаков В.А. и др. Показатели пищевого статуса как потенциальные факторы риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (по результатам исследования среди жителей Москвы) // *Вопр. диетологии*. 2013. Т. 3, № 3. С. 5–11.
- Блохина Л.В., Кондакова Н.М., Погожева А.В. и др. Изучение фактического питания – важное звено в многоуровневой системе диагностики нарушений пищевого статуса пациентов с ожирением // *Вопр. питания*. 2009. Т. 78, № 5. С. 35–40.
- Погожева А.В., Дербенева С.А., Богданов А.Р. и др. Алиментарная коррекция нарушений пищевого статуса у пациентов с метаболическим синдромом // *Вопр. питания*. 2009. Т. 78, № 6. С. 42–47.
- Лапик И.А., Шарафетдинов Х.Х., Сорокина Е.Ю. и др. Особенности минерального статуса у больных сахарным диабетом 2 типа и ожирением // *Кардиоваскуляр. тер. и профилактика*. 2014. Т. 13, № S2. С. 68–68а.
- International Diabetes Federation. *IDF Diabetes. Atlas*. 7<sup>th</sup> ed., 2015.
- Шарафетдинов Х.Х., Плотникова О.А., Назарова А.М. и др. Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем в коррекции метаболических нарушений при сахарном диабете 2 типа // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 6. С. 56–66.
- Тутельян В.А., Шарафетдинов Х.Х., Кочеткова А.А. Теоретические и практические аспекты диетотерапии при сахарном диабете 2 типа. М.: Библио-Глобус, 2016. 244 с.
- Назарова А.М., Шарафетдинов Х.Х., Плотникова О.А. и др. Оценка обеспеченности нутриентами у больных сахарным диабетом 2 типа с сопутствующим ожирением // *Материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы нутрициологии, биотехнологии и безопасности пищи»*. М., 2017. С. 91–93.
- Клинические рекомендации «Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом» / под ред. И.И. Дедова, М.В. Шестаковой, А.Ю. Майорова. 8-й вып. М.: УП ПРИНТ, 2017.
- Климонтов В.В., Мякина Н.Е. Вариабельность гликемии при сахарном диабете: инструмент для оценки качества гликемического контроля и риска осложнений // *Сахарный диабет*. 2014. № 2. С. 76–82.
- Danne T., Nimri R., Close K.L. et al. International consensus on use of continuous glucose monitoring // *Diabetes Care*. 2017. Vol. 40. P. 1631–1640.
- Matsumura M., Nakatani Y., Tanka S. et al. Efficacy of additional canagliflozin administration to type 2 diabetes receiving insulin therapy – examination of diurnal glycemic patterns using continuous glucose monitoring (CGM) // *Diabetes Ther*. 2017. Vol. 8, N 6. P. 1437.
- Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: справочник. М.: ДеЛи плюс, 2012. 284 с.
- Шарафетдинов Х.Х., Мещерякова В.А., Плотникова О.А. Сравнительная оценка послепищевой гликемии у больных сахарным диабетом 2 типа при потреблении моно- и дисахаридов и сахарозаменителей // *Вопр. питания*. 2002. Т. 71, № 2. С. 22–26.
- Тутельян В.А., Шарафетдинов Х.Х., Лапик И.А. и др. Приоритеты в разработке специализированных пищевых продуктов оптимизированного состава для больных сахарным диабетом 2 типа // *Вопр. питания*. 2014. Т. 83, № 6. С. 41–51.
- Коденцова В.М. Об обогащении пищевых продуктов витаминами // *Вопр. питания*. 2016. Т. 85, № 4. С. 87–90.
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В. и др. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы // *Вопр. питания*. 2017. Т. 86, № 4. С. 113–124.
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А. Анализ отечественного и международного опыта использования обогащенных витаминами пищевых продуктов // *Вопр. питания*. 2016. Т. 85, № 2. С. 31–50.

20. Зилова И.С. Белковые компоненты в специализированных пищевых продуктах для питания спортсменов // *Вопр. питания*. 2014. Т. 83, № S3. С. 133.
21. Кудряшов Л.С., Кудряшова О.А., Тихонов С.Л. и др. Функционально-технологические свойства комплекса животных белков // *Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Пищевые и биотехнологии»*. 2017. Т. 5, № 2. С. 17–24.
22. Пашенко В.Л., Сторублевцев С.А. Разработка технологии функционального продукта с применением коллагенового гидролизата // *Фундам. исслед.* 2011. № 4. С. 127–135.
23. Асланова М.А., Дыдыкин А.С., Солдатова Н.Е. Получение белкового гидролизата из сырья животного происхождения для обогащения продуктов // *Пищ. пром-сть*. 2018. № 2. С. 16–18.
24. Мендельсон Г.И. Значение соевых белковых продуктов в питании человека // *Пищ. пром-сть*. 2004. № 7. С. 84–87.
25. Зорин С.Н., Сидорова Ю.С., Смирнова Е.А. и др. Оптимизация аминокислотного состава белково-пептидных продуктов, используемых при приготовлении функциональных напитков // *Вопр. питания*. 2012. Т. 81, № 3. С. 30–34.
26. Шипелин В.А., Сидорова Ю.С. Исследование антидиабетической активности листьев черники на модели сахарного диабета 2 типа у крыс линии Zucker // *Материалы Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы нутрициологии, биотехнологии и безопасности пищи»*. М., 2017. С. 146–150.
27. Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Зорин С.Н. и др. Экспериментальная оценка in vivo растительных полифенольных экстрактов // *Сборник трудов XXV Международной конференции «Новые информационные технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии»*. Гурзуф, 2016. С. 240–249.

## References

1. Tutelyan V.A., Gapparov M.M.G., Kaganov B.S. Therapeutic nutrition: modern approaches to the standardization of diet therapy. Moscow: Dinastiya, 2010: 302 p. (in Russian)
2. Golubeva A.A., Yumei Lin, Bogdanov A.R., Isakov V.A., et al. Indicators of nutritional status as potential risk factors of cardiovascular diseases (according to the results of the study among the residents of Moscow). *Voprosy dietologii [Problems of Dietology]*. 2013; (3): 5–11. (in Russian)
3. Blokhina L.V., Kondakova N.M., Pogozeva A.V., et al. Study of actual nutrition is an important element in a multilevel system for the diagnosis of disorders of nutritional status of patients with obesity. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]* 2009; 78 (5): 35–40. (in Russian)
4. Pogozeva A.V., Derbeneva S.A., Bogdanov A.R., et al. Alimentary correction of violations of the food status at patients with metabolic syndrome. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2009; 78 (6): 42–7. (in Russian)
5. Lapik I.A., Sharafetdinov Kh.Kh., Sorokina E.Yu., et al. Features of mineral status in patients with diabetes mellitus type 2 and obesity. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika [Cardiovascular Therapy and Prevention]*. 2014; 13 (S2): 68–8a. (in Russian)
6. International Diabetes Federation. *IDF Diabetes. Atlas*. 7<sup>th</sup> ed., 2015.
7. Sharafetdinov Kh.Kh., Plotnikova O.A., Nazarova A.M., et al. Specialized food products with modified carbohydrate profile in the correction of metabolic disturbances in diabetes type 2 diabetes. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (6): 56–66. (in Russian)
8. Tutelyan V.A., Sharafetdinov Kh.Kh., Kochetkova A.A. Theoretical and practical aspects of dietotherapy for type 2 diabetes mellitus. Moscow: Biblio-Globus, 2016: 244 p. (in Russian)
9. Nazarov A.M., Sharafetdinov Kh.Kh., Plotnikova O.A., et al. Rating of availability of nutrients in patients with diabetes mellitus type 2 with concomitant obesity. In: *Materialy Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Aktualnye voprosy nutritsiologii, biotekhnologii i bezopasnosti pishchi» [Materials of all-Russian conference of young scientists with international participation «Topical Issues of Nutrition, Biotechnology and Food Safety»]*. Moscow, 2017: 91–3. (in Russian)
10. Dedov I.I., Shestakova M.V., Mayorova A.Yu. Clinical recommendations «Algorithms of Specialized Medical Care for Patients with Diabetes Mellitus». 8<sup>th</sup> ed. Moscow: UP PRINT, 2017. (in Russian)
11. Klimontov V.V., Myakina N.E. Glycaemic variability in diabetes: a tool for assessing the quality of glycaemic control and the risk of complications. *Sakharniy diabet [Diabetes Mellitus]*. 2014; (2): 76–82. (in Russian)
12. Danne T., Nimri R., Close K.L., et al. International consensus on use of continuous glucose monitoring. *Diabetes Care*. 2017; 40: 1631–40.
13. Matsumura M., Nakatani Y., Tanka S., et al. Efficacy of additional canagliflozin administration to type 2 diabetes receiving insulin therapy – examination of diurnal glycemic patterns using continuous glucose monitoring (CGM). *Diabetes Ther*. 2017; 8 (6): 1437.
14. Tutelyan V.A. Chemical composition and caloric content of Russian food products: Handbook. Moscow: DeLi plus, 2012: 284 p. (in Russian)
15. Sharafetdinov Kh.Kh., Meshcheryakova V.A., Plotnikova O.A. Comparative evaluation of post-food glycemia in patients with type 2 diabetes with consumption of mono- and disaccharides and sugar substitutes. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2002; 71 (2): 22–6. (in Russian)
16. Tutelyan V.A., Sharafetdinov Kh.Kh., Lapik I.A., et al. Priorities in the development of specialized food products of optimized composition for patients with type 2 diabetes. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2014; 83 (6): 41–51. (in Russian)
17. Kodentsova V.M. About food fortification with vitamins. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2016; 85 (4): 87–90. (in Russian)
18. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Resnik D.V., et al. Micronutrient status of population of the Russian Federation and possibility of its correction. State of the problem. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (4): 113–24. (in Russian)
19. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A. The analysis of domestic and international policy of food fortification with vitamins. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2016; 85 (2): 31–50. (in Russian)
20. Zilova I.S. Protein components in specialized food for athletes. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2014; 83 (S3): 133. (in Russian)
21. Kudriashev L.S., Kudriashova O.A., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. Functional and technological properties of animal protein complex. *Vestnik YuUrGU. Ser. «Pishchevye i biotekhnologii» [Bulletin of the South Ural State University. Series «Food and Biotechnology»]*. 2017; 5 (2): 17–24. (in Russian)
22. Pashchenko V.L., Storublevtsev S.A. Development of functional product technology using collagen hydrolysate. *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Researches]*. 2011; (4): 127–35. (in Russian)
23. Aslanova M.A., Dydykin A.S., Soldatova N.E. Obtaining protein hydrolysate from raw materials of animal origin for the enrichment of products. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*. 2018; (2): 16–8. (in Russian)
24. Mendelson G.I. The Importance of soy protein products in human nutrition. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*. 2004; (7): 84–7. (in Russian)
25. Zorin S.N., Sidorova Yu.S., Sмирнова Е.А., et al. Optimization of amino acid composition of protein-peptide products used in the preparation of functional beverages. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2012; 81 (3): 30–4. (in Russian)
26. Shipelin V.A., Sidorova Yu.S. Study of the antidiabetic activity of bilberry leaves on the genetic model of type 2 diabetes mellitus in Zucker

- rats. Materialy Vserossiyskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye voprosy nutritsiologii, biotekhnologii i bezopasnosti pishchi» [Materials of all-Russian conference of young scientists with international participation «Topical Issues of Nutrition, Biotechnology and Food Safety»]. Moscow: 2017: 146–50. (in Russian)
27. Mazo V.K., Sidorova Yu.S., Zorin S.N. Experimental evaluation of polyphenolic plant extracts in vivo. In: Sbornik trudov XXV Mezhdunarodnoy konferentsii «Novye informatsionnye tekhnologii v medicine, biologii, farmakologii i ekologii» [Proceedings of the XXV International Conference «New Information Technology in Medicine, Pharmacology, Biology, and Ecology»]. Gurzuf, 2016: 240–9. (in Russian)

**Для корреспонденции**

Сенькевич Ольга Александровна – доктор медицинских наук, профессор кафедры дополнительного профессионального образования Института непрерывного профессионального образования и аккредитации ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России  
 Адрес: 680000, г. Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, д. 35  
 Телефон: (4212) 30-53-11  
 E-mail: senkevicholga@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4195-2350>

Сенькевич О.А.<sup>1</sup>, Ковальский Ю.Г.<sup>1</sup>, Голубкина Н.А.<sup>2</sup>

## Мониторинг содержания селена в некоторых пищевых продуктах Хабаровска

Monitoring of selenium content in some food of residents of the Khabarovsk

Senkevich O.A.<sup>1</sup>, Koval'sky Yu.G.<sup>1</sup>, Golubkina N.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России, Хабаровск

<sup>2</sup> ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Московская область, Одинцовский район, поселок ВНИИССОК

<sup>1</sup> Eastern State Medical University, Khabarovsk

<sup>2</sup> Federal Scientific Center of Vegetable Production, Moscow Region, Odintsovo District, VNISSOK

*С недостатком потребления селена (Se) связано развитие около 40 заболеваний, включая онкологические и сердечно-сосудистые. По ранее полученным нами данным, Хабаровский край отличается низкой обеспеченностью населения в различных возрастных группах и низким содержанием Se в большинстве пищевых продуктов, что является основной причиной популяционного дефицита Se в Хабаровском крае.*

**Цель** – исследование содержания Se в некоторых пищевых продуктах Хабаровска в сравнительном аспекте. Дизайн исследования: проспективное.

**Материал и методы.** Проведено определение содержания Se в некоторых продуктах, отобранных в торговой сети Хабаровска [хлеб пшеничный, ржаной или ржано-пшеничный (48 проб), яйцо куриное – 24 пробы], выбор этих продуктов обоснован их максимальной доступностью для любых слоев населения. Уровень Se определяли флуориметрическим методом.

**Результаты и обсуждение.** По проведенным ранее исследованиям нами было установлено низкое содержание Se в сыворотке доноров крови и основных пищевых продуктах в Хабаровском крае, что свидетельствует о необходимости мониторинга и коррекции Se статуса. Употребление в пищу исключительно местных продуктов и влияние геохимической специфики местности влияют на основной механизм развития селенодефицита, так как обеспеченность человека полностью зависит от поступления нутриента с пищей. По данным мониторинга, за 10 лет произошло снижение содержания Se в пшеничном хлебе более чем втрое, в ржаном хлебе – более чем в 2 раза. Произошло снижение содержания Se в яйце курином в 2 раза, в среднем жители Хабаровска с 1 куриным яйцом получают всего лишь 3,7–22,6% от адекватного уровня потребления Se человеком. Содержание селена в яйце, обогащенном этим микроэлементом, составляло 15,85±4,3 мкг (или 25,5±6,4 мкг/100 г), что вдвое выше среднего содержания Se в стандартном яйце.

**Для цитирования:** Сенькевич О.А., Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А. Мониторинг содержания селена в некоторых пищевых продуктах Хабаровска // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 89–94. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10070.

Статья поступила в редакцию 29.06.2018. Принята в печать 13.11.2018.

**For citation:** Senkevich O.A., Koval'sky Yu.G., Golubkina N.A. Monitoring of selenium content in some food of residents of the Khabarovsk. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 89–94. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10070. (in Russian)

**Received** 29.06.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

**Заключение.** Проведенная нами динамическая оценка содержания Se в продуктах ежедневного спроса жителей Хабаровского края свидетельствует о критически низком содержании элемента в хлебе и яйце курином; установленный уровень Se в пищевых продуктах не способствует адекватной обеспеченности организма человека этим микроэлементом. Полученные сведения должны стать одной из главных составляющих региональной программы оптимизации селенового статуса населения Хабаровского края.

**Ключевые слова:** селен, питание, хлеб, яйцо куриное, мониторинг, селено-дефицит

*The development of about 40 diseases, including cancer and cardiovascular diseases, is associated with a lack of selenium (Se) consumption. According to the previously obtained data, Khabarovsk Krai is characterized by low human selenium status in various age groups and low content in most foods, that is the main reason for the population Se deficit in Khabarovsk territory.*

*Aim:* to study the content of Se in some foods in Khabarovsk in the comparative aspect. *Study design:* prospective.

**Material and methods.** *The content of Se in the basic products collected in the commercial network of Khabarovsk [wheat, rye-wheat bread (48 samples), chicken eggs – 24 samples] was determined, the choice of these products was justified by their maximum availability for all segments of the population. The Se level was determined by fluorimetric method.*

**Results and discussion.** *According to previous studies, we have found low Se content in donors' blood serum and basic food products in the Khabarovsk territory, which indicated the need to for monitoring and correcting Se status. Eating exclusively local products and the influence of geochemical specificity of the area were the main reasons for the development of Se deficit, because the status of a person completely depended on the inflow of nutrient from the diet. According to the monitoring data for 10 years, Se content in wheat bread decreased more than 3 fold, in rye bread – more than twice. There was 2-fold decrease in Se content in a chicken egg. On average, residents of Khabarovsk with 1 chicken egg received only 3.7–22.6% of the adequate level of Se consumption. The selenium content in an egg enriched with this trace element was  $15.85 \pm 4.3 \mu\text{g}$  (or  $25.5 \pm 6.4 \mu\text{g}/100 \text{g}$ ), which is twice as high as the average Se content in a standard egg.*

**Conclusion.** *The dynamic assessment of Se content in products of daily demand of residents of the Khabarovsk territory indicates a critically low content of the element in bread and chicken eggs; the established level of Se in foods does not contribute to the accumulation of the element in the human body. The obtained data should become one of the main components of the regional program of optimization of Se status of Khabarovsk population.*

**Keywords:** selenium, nutrition, bread, chicken egg, monitoring, selenium deficit

Несбалансированное питание и, в частности, минералопорнодефицитные состояния, рассматриваемые Всемирной организацией здравоохранения как проблема скрытого голода (2002), оказывают прямое влияние на уровень заболеваемости и смертности населения [1, 2].

Эссенциальность селена (Se) для человека установлена в середине прошлого века, и еще сравнительно недавно гораздо большее количество публикаций было посвящено токсичности высоких доз Se. В настоящее время ситуация кардинально изменилась, и во всем мире проблемы использования Se в питании здорового человека и в лечебно-профилактическом питании обсуждаются очень активно [3–6]. Известно, что с недостатком потребления Se связано развитие около 40 заболеваний, наиболее значимо влияние Se на течение неопластических и сердечно-сосудистых заболеваний, Se имеет первостепенное значение в защите организма от окислительного стресса, особенно

в условиях заболеваний сердца и метаболизма лекарственных препаратов, недостаточность Se вызывает серьезные нарушения в сердечно-сосудистой, иммунной, эндокринной, репродуктивной, нервной и других системах организма [7–13].

Миграция Se по пищевой цепи «почва–растения–животные–человек» определяет значительные географические различия в обеспеченности этим микроэлементом населения различных стран [14–17].

В России выделяют 3 группы регионов по обеспеченности Se взрослых жителей: с низким (60–80 мкг/л), средним (81–115 мкг/л) и высоким (>120 мкг/л) уровнем [18, 19]. Согласно данным эпидемиологических исследований, в целом по России у 92,2% населения обеспеченность Se ниже оптимальной [20]. По ранее полученным нами данным [21], Хабаровский край отличается низкой обеспеченностью практически здоровых взрослых жителей и различных возрастных групп детского насе-

ления [22], которая сохраняется и в настоящее время [23], уровень Se в сыворотке крови условно здоровых жителей Хабаровского края ниже уровня, принятого как оптимальный [21–23]. Проведенное 10 лет назад исследование содержания Se в основных пищевых продуктах позволило установить его низкое содержание в большинстве продуктов, что является основной причиной популяционного дефицита Se в Хабаровском крае.

Основанием для настоящего исследования послужила необходимость проведения мониторинга обеспеченности Se населения Хабаровского края.

**Цель** – исследование содержания Se в некоторых пищевых продуктах Хабаровска в сравнительном аспекте.

## Материал и методы

Определено содержание Se в некоторых базовых пищевых продуктах (хлеб пшеничный, ржано-пшеничный, яйцо куриное), выбор которых обоснован их максимальной доступностью для любых слоев населения. Уровень Se определяли флуориметрическим методом [24]. Флуориметрическое определение содержания Se выполнено в 48 пробах хлеба и в 24 пробах яйца куриного, из них 6 проб яйца были обогащены Se.

Образцы пищевых продуктов были отобраны в торговой сети Хабаровска. Образцы высушивали при 100 °С до постоянной массы и гомогенизировали. В каждой серии определений применяли референс-стандарт образцов с регламентированным содержанием Se.

Дизайн исследования: проспективное.

Статистический анализ результатов исследования проводили с использованием программы Microsoft Office Excel 2010 для Windows XP, Statistica 6.0. Вычисляли средний показатель ( $M$ ), среднее квадратическое отклонение ( $\delta$ ). Достоверность различий оценивали по  $t$ -критерию Стьюдента для независимых выборок с нормальным распределением данных. В случаях, когда распределение отличалось от нормального, применяли непараметрический критерий Манна–Уитни. Различия между группами считали достоверными при значении показателя  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

В результате проведенных ранее исследований нами было установлено низкое содержание Se в сыворотке

доноров крови Хабаровского края, концентрация Se в сыворотке крови обследованных в городах в нижнем течении реки Амур достигала критических значений 50 мкг/л и ниже [21], когда резко возрастает риск возникновения и развития кардиологических и онкологических заболеваний [12, 13]. В среднем доля лиц с недостаточной обеспеченностью Se (концентрация Se в сыворотке крови менее 115 мкг/л) по всем обследованным районам была выше 60%, что свидетельствует о необходимости коррекции Se статуса в Хабаровском крае.

Употребление в пищу исключительно местных продуктов и влияние геохимической специфики местности имеет решающее значение в обеспеченности организма Se, вызывая селенодефицитные состояния, или селенозы. Определение содержания Se в основных пищевых продуктах, проведенное нами в 2007–2009 гг., свидетельствует о низком содержании Se в основных пищевых продуктах, потребляемых населением Хабаровского края, что является основным механизмом развития селенодефицита, так как обеспеченность человека полностью зависит от поступления микронутриента с пищей.

Считается, что главным источником Se в питании человека являются зерновые, особенно пшеница [25], и мониторинг содержания Se в хлебе может стать эпидемиологическим индикатором обеспеченности населения отдельных территорий. Нами было определено содержание Se в таких пищевых продуктах, как хлеб (табл. 1) и яйцо куриное (табл. 2).

По данным мониторинга, за 10 лет содержания Se в пшеничном хлебе снизилось более чем втрое, в ржано-пшеничном хлебе – более чем в 2 раза. Отсутствие глубокого дефицита Se у населения Хабаровского края в 1-й серии исследований было связано с отсутствием собственной зерновой базы и необходимостью завоза пшеницы из других регионов страны и импорта из-за рубежа. В результате в стране в настоящее время население практически использует продукты переработки зерна с содержанием Se около 50 мкг/кг (содержание Se в местной пшенице), тогда как в пшенице, импортируемой из-за границы, содержание Se может достигать 600 мкг/кг. Низкое содержание микроэлемента в хлебопродуктах в сочетании с низким уровнем аккумуляции Se зерновыми культурами привело к критически низкому содержанию Se как в пшеничном, так и в ржано-пшеничном хлебе (см. табл. 1).

За 10 лет произошло снижение содержания Se в яйце курином в 2 раза, в среднем жители Хабаровска в сутки получают от 2,6 до 15,82 мкг Se с 1 яйцом, что составляет всего лишь 3,7–22,6% от адек-

Таблица 1. Содержание селена в хлебе в Хабаровском крае (мкг на 1 кг сухой массы)

Пищевой продукт	2008 г. (n=18)		2018 г. (n=48)		p
	M±δ	пределы колебаний	M±δ	пределы колебаний	
Хлеб пшеничный	214±34	177–260	67±18	31–102	<0,0001
Хлеб ржано-пшеничный	193±28	145–238	84±10	69–96	<0,0001

Таблица 2. Содержание Se в яйце курином в Хабаровском крае

Показатель	2008 г. (n=8)		2018 г. (n=12)		p
	M±δ	пределы колебаний	M±δ	пределы колебаний	
Мкг/яйцо	16,2±5,8	4,6–20,1	7,0±3,24	2,6–15,8	<0,0001
Мкг/100 г	29,0±7,1	16,4–34,2	12,0±5,24	4,7–18,1	<0,0001

ватного уровня потребления Se человеком. При использовании премикса селенита в дозе Se 200 мкг на 1 кг корма [19], применяемого при производстве яйца куриного, обогащенного Se, содержание Se в яйце составляло 15,85±4,3 мкг (25,5±6,4 мкг/100 г), что вдвое выше среднего содержания Se в стандартном яйце. При использовании в пищу яйца куриного, содержащего сравнительно высокое количество Se, обеспеченность человека Se может приближаться к оптимальной.

Путем решения проблемы может быть внесение премиксов, содержащих Se, в почвы с целью получения растениеводческой продукции с большим содержанием Se, использование содержащих Se добавок в кормах птицы и сельскохозяйственных животных.

### Заключение

Существует вероятность того, что в ближайшие годы содержание Se в пищевых продуктах будет неуклонно снижаться, а следовательно, прогнозируемо углубление дефицита этого микроэлемента у населения, что связано с негативными социально-экономическими причинами, повсеместным уменьшением содержания гумуса, закислением и повышением загрязнения почв тяжелыми ме-

таллами и соединениями серы [2]. Учитывая эти факты, а также геохимическую неоднородность распределения микроэлемента, необходим мониторинг содержания Se в объектах окружающей среды и населения [26].

Проведенная нами динамическая оценка содержания Se в пищевых продуктах ежедневного спроса жителей Хабаровского края свидетельствует о критически низком содержании элемента в некоторых базовых пищевых продуктах населения Хабаровского края – хлебе и яйце курином. Обнаруженное содержание Se в пищевых продуктах не способствует накоплению элемента в организме человека. При небольшом дефиците Se достаточно скорректировать диету продуктами, содержащими повышенное количество Se, наиболее безопасным путем является создание продуктов, обогащенных дефицитным элементом. Поскольку человек получает Se по пищевой цепи, для коррекции селенодефицита человека необходимо селенировать корма сельскохозяйственных животных, птиц и травы, которые они поедают, введением в почву минеральных удобрений, содержащих Se.

Полученные сведения должны стать одной из главных составляющих региональной программы оптимизации селенового статуса населения Хабаровского края и снижения прогрессирующего депопуляционных процессов в регионе.

### Сведения об авторах

*Сенькевич Ольга Александровна* – доктор медицинских наук, профессор кафедры дополнительного профессионального образования Института непрерывного профессионального образования и аккредитации ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России (Хабаровск)

E-mail: senkevicholga@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4195-2350>

*Ковальский Юрий Григорьевич* – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой биологической химии и клинической лабораторной диагностики ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет» Минздрава России (Хабаровск)

E-mail: kovalyura53@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7433-6285>

*Голубкина Надежда Александровна* – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник Лабораторно-аналитического центра ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (Московская область, Одинцовский район, поселок ВНИИССОК)

E-mail: segolubkina@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>

### Литература

1. WHO. Доклад о состоянии здравоохранения в мире. Преодоление воздействия факторов риска, пропаганда здорового образа жизни, 2002. URL: [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42510/WHR\\_2002\\_rus.pdf?sequence=3&isAllowed=y&ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42510/WHR_2002_rus.pdf?sequence=3&isAllowed=y&ua=1).
2. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В., Никитюк Д.Б. и др. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы // *Вопросы питания*. 2017. Т. 86, № 4. С. 113–124. doi: 10.24411/0042-8833-2017-00067.

3. Тутельян В.А., Спиричев В.Б., Шатнюк Л.Н. Коррекция микронутриентного дефицита – важнейший аспект концепции здорового питания населения России // *Вопр. питания*. 2014. Т. 83, № 1. С. 3.
4. Schomburg L. Dietary selenium and human health // *Nutrients*. 2016. Vol. 9, N 1. doi: 10.3390/nu9010022.
5. Kieliszek M., Blazejak S. Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms: a review // *Molecules*. 2016. Vol. 21, N 5. doi: 10.3390/molecules21050609.
6. Голубкина Н.А., Скальный А.В., Соколов Я.А. и др. Селен в медицине и экологии. М., 2002. 134 с.
7. Alfthan G., Aro A. Environmental effects of selenium fertilization – is there a potential risk? // *Twenty Years of Selenium Fertilization: Proceedings* / ed. M. Eurola. Helsinki, Sept. 8–9, 2005. P. 33–35.
8. Jackson M.L. Selenium: geochemical distribution and associations with human heart and cancer death rates and longevity in China and the United States // *Biol. Trace Elem. Res.* 1988. Vol. 15. P. 13–21.
9. Сенькевич О.А., Голубкина Н.А., Ковальский Ю.Г. Дефицит Se и заболеваемость населения Дальнего Востока // Сборник научных трудов 3 научно-практической конференции «Семейная медицина. Проблемы и перспективы». Хабаровск, 2011. С. 73–78.
10. Сенькевич О.А., Комарова З.А. Дефицит селена в прекоцепции и лактации: последствия и пути коррекции // *Дальневосточный мед. журн.* 2016. № 2. С. 42–46.
11. Mutakin P., Meiliana A., Wijaya A., Kobayashi K. et al. Association between selenium nutritional status and metabolic risk factors in men with visceral obesity // *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2013. Vol. 27. P. 112–116.
12. Nuve J. Selenium as a risk factor cardiovascular diseases // *J. Cardiovasc. Risk.* 1996. Vol. 3. P. 42–47.
13. Schomburg L. Dietary selenium and human health // *Nutrients*. 2016. Vol. 9, N 1. doi: 10.3390/nu9010022.
14. Тармаева И.Ю., Эрдэнэцогт Э., Голубкина Н.А. Оценка обеспеченности селеном населения Монголии // *Вопр. питания*. 2016. Т. 85, № 5. С. 68–76.
15. Голубкина Н.А., Као Т.Х., Лобус Н.В., Каралун М.Ю. и др. Показатели селенового статуса Вьетнама // *Вопр. биол., мед. и фармацевт. химии*. 2015. № 1. С. 38–42.
16. Голубкина Н.А. Селеновый статус Калининградской области // *Микроэлементы в медицине*. 2016. Т. 17, № 4. С. 21–26.
17. Pavlovic Z., Miletic I., Zekovic M., Nikolic M. et al. Impact of selenium addition to animal feeds on human selenium status in Serbia // *Nutrients*. 2018. Vol. 10, N 2. doi: 10.3390/nu10020225.
18. Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia // *J. Trace Elem. Med. Biol.* 1999. Vol. 13. P. 15–20.
19. Селен в питании: растения, животные, человек / под ред. Н.А. Голубкиной, Т.Т. Папазяна. М., 2006. 255 с.
20. Сенькевич О.А., Голубкина Н.А., Ключникова Н.Ф., Ключников П.Ф. и др. Обеспеченность селеном жителей Дальнего Востока // *Вопр. питания*. 2008. Т. 77, № 2. С. 67–71.
21. Сенькевич О.А., Голубкина Н.А., Ковальский Ю.Г., Сиротина З.В. и др. Обеспеченность селеном жителей Хабаровского края // *Дальневосточный мед. журн.* 2009. № 1. С. 82–84.
22. Ковальский Ю.Г., Сенькевич О.А., Сиротина З.В. и др. Оценка обеспеченности селеном взрослого и детского населения г. Хабаровска // *Дальневосточный мед. журнал*. 2006. № 3. С. 29–30.
23. Костырко Г.Д., Сенькевич О.А. Обеспеченность селеном в зависимости от режима и качества питания студентов г. Хабаровска // *Актуальные вопросы неонатологии и педиатрии: сб. науч. трудов Дальневосточной научно-практической конференции с международным участием*. Хабаровск, 2017. С. 118–121.
24. Голубкина Н.А. Флуориметрический метод определения Se // *Журн. аналитической химии*. 1995. Т. 50, № 5. С. 492–497.
25. Kieliszek M., Blazejak S. Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms: a review // *Molecules*. 2016. Vol. 21, N 5. doi: 10.3390/molecules21050609.
26. Stadtman T.C. Selenoprotein-tracing the role of a trace element in protein function // *PLoS Biol.* 2005. Vol. 3. P. 421–422.

## References

1. WHO. World health report, 2002: Addressing risk factors, promoting healthy lifestyles. [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42510/WHR\\_2002\\_rus.pdf?sequence=3&isAllowed=y&ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42510/WHR_2002_rus.pdf?sequence=3&isAllowed=y&ua=1).
2. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Micronutrient status of population of the Russian Federation and possibility of its correction. State of the problem. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2017; 86 (4): 113–24. doi:10.24411/0042-8833-2017-00067. (in Russian)
3. Tutelyan V.A., Spirichev V.B., Shatnyuk L.N. Correction of micronutrient deficiency -the most important aspect of the concept of healthy eating in Russia. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2014; 83 (1): 3–124. (in Russian)
4. Schomburg L. Dietary Selenium and Human Health. *Nutrients*. 2016; 9 (1). pii: E22. doi: 10.3390/nu9010022.
5. Kieliszek M., Blazejak S. Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms: a review. *Molecules*. 2016; 21 (5). pii: E609. doi:10.3390/molecules21050609.
6. Golubkina N.A., Skalny A.V., Sokolov I.A. Selenium in medicine and ecology. Moscow; 2002; 134 p. (in Russian)
7. Alfthan G., Aro A. Environmental effects of selenium fertilization – is there a potential risk? In: *Twenty Years of Selenium Fertilization: Proceedings*. Helsinki, Sept. 8–9. Ed. M. Eurola. 2005: 33–5.
8. Jackson M.L. Selenium: geochemical distribution and associations with human heart and cancer death rates and longevity in China and the United States. *Biol Trace Elem Res.* 1988; 15: 13–21.
9. Senkevich O.A., Golubkina N.A., Kowalski G. Deficiency of Se and the incidence of the population of the Far East. In: *Collection of scientific papers, 3 Scientific-Practical Conference "Family Medicine. Problems and Prospects"*. Khabarovsk, 2011: 73–7. ISBN: 978-5-85797-262-5. (in Russian)
10. Senkevich O.A., Komarova Z.A. Deficiency of selenium in pre-conceptions and lactation: consequences and ways of correction. *Dalnevostochny meditsinskiy zhurnal* [Far Eastern Medical Journal]. 2016; (2): 42–6. (in Russian)
11. Mutakin P., Meiliana A., Wijaya A., Kobayashi K., Yamazaki C., Kameo S., et al. Association between selenium nutritional status and metabolic risk factors in men with visceral obesity. *J Trace Elem Med Biol.* 2013; 27: 112–6.
12. Nuve J. Selenium as a risk factor cardiovascular diseases. *J Cardiovasc Risk.* 1996; 3: 42–7.
13. Schomburg L. Dietary selenium and human health. *Nutrients*. 2016; 9 (1). pii: E22. doi: 10.3390/nu9010022.
14. Tarmaeva I.Yu., Erdenetsogt E., Golubkina N.A. Evaluation of selenium consumption by Mongolian residents. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2016; 85 (5): 68–74. (in Russian)
15. Golubkina N.A., Kao T.C., Lobus N.B., Karapun M.Yu., Voronin L.P. Indicators of selenium status of Vietnam. *Voprosy biologii, meditsiny i farmatsevticheskoy khimii* [Questions of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry]. 2015; (1): 38–42. (in Russian)
16. Golubkina N.A. Selenium status of the Kaliningrad Region. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2016; 17 (4): 21–6. (in Russian)
17. Pavlovic Z., Miletic I., Zekovic M., Nikolic M., Glibetic M. Impact of selenium addition to animal feeds on human selenium status in Serbia. *Nutrients*. 2018; 10 (2). pii: E225. doi: 10.3390/nu10020225.
18. Golubkina N.A., Alfthan G.V. The human selenium status in 27 regions of Russia. *J Trace Elements Med Biol.* 1999; 13: 15–20.

19. The selenium in food, plants, animals, people. Edited by Golubkina N.A., Papazyan T.T. Moscow; 2006: 255 p. (in Russian)
20. Senkevich O.A., Golubkina N.A., Klyuchnikova N.F., Klyuchnikov P.F., Siro-tina Z.V., Kovalsky Yu.G. Security of the residents of the Far East. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2008; 77 (2): 67–71. (in Russian)
21. Senkevich O.A., Golubkina N.A. Kowalsky Yu.G., Siro-tina Z.V., Iskreno G.V., Beldy D.S. Security selenium of residents of the Khabarovsk Territory. *Dalnevostochnyy meditsinskiy zhurnal* [Far Eastern Medical Journal]. 2009; (1): 82–4. (in Russian)
22. Kowalsky Yu. G., Senkevich O.A., Siro-tina Z.V., et al. Assessment of security selenium of children and adult population of Khabarovsk city. *Dalnevostochnyy meditsinskiy zhurnal* [Far Eastern Medical Journal]. 2006; (3): 29–30. (in Russian)
23. Kostyrko G.D., Senkevich O. Selenium supply depending on the mode and quality of food of students of Khabarovsk. In: *Topical issues of neonatology and Pediatrics Collection of scientific works of the far Eastern scientific-practical conference with international participation*. 2017: 118–21. (in Russian)
24. Golubkina N.A. Fluorimetric method of determination Se. *Zhurnal analiticheskoy khimii* [Journal of Analytical Chemistry]. 1995; 50 (5): 492–7. (in Russian)
25. Kieliszek M., Blazejak S. Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms: a review. *Molecules*. 2016; 21 (5). pii: E609. doi: 10.3390/molecules21050609.
26. Stadtman T.C. Selenoprotein-stracing the role of a trace element in protein function. *PLoS Biol*. 2005; 3: 421–2.

**Для корреспонденции**

Иванова Наталья Николаевна – президент Некоммерческой организации «Российский союз производителей соков» (РСПС)  
 Адрес: 101000, г. Москва, Архангельский переулок, д. 3, стр. 1  
 Телефон: (495) 628-99-19  
 E-mail: rsps@rsps.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4604-7221>

Иванова Н.Н.<sup>1</sup>, Хомич Л.М.<sup>1</sup>, Перова И.Б.<sup>2</sup>, Эллер К.И.<sup>2</sup>

## Нутриентный профиль виноградного сока

### Grape juice nutritional profile

Ivanova N.N.<sup>1</sup>, Khomich L.M.<sup>1</sup>,  
 Perova I.B.<sup>2</sup>, Eller K.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Некоммерческая организация «Российский союз производителей соков» (РСПС), Москва

<sup>2</sup> ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва

<sup>1</sup> Non-Commercial organization «Russian Union of Juice Producers» (RSPS), Moscow

<sup>2</sup> Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

*На основе анализа данных справочников, научных публикаций и результатов исследований в статье представлен нутриентный профиль виноградного сока, где приведено содержание в виноградном соке более 30 пищевых и биологически активных веществ. Виноградный сок не обладает высокой кислотностью, в нем присутствует в среднем 0,4 г органических кислот в 100 см<sup>3</sup>. Основными кислотами виноградного сока являются винная и L-яблочная. Присутствие винной кислоты является отличительной особенностью виноградного сока, в других соках она встречается крайне редко и только в следовых количествах. Наиболее значимыми с точки зрения обеспечения человека микронутриентами и минорными биологически активными веществами для виноградного сока являются калий, магний, железо, марганец, а также флавоноиды и гидроксикоричные кислоты. В соках из красных/фиолетовых сортов винограда содержатся антоцианины (в среднем 3 мг/100 см<sup>3</sup>), с ними связана окраска плодов винограда и соков из них, около 50% антоцианинов представлено гликозидами мальвидина. Также в виноградных соках обнаружен ресвератрол (в среднем 0,01 мг/100 см<sup>3</sup>) – стильбеноид, широко изучаемый в последнее время в связи с его высокой антиоксидантной активностью. Среди гидроксикоричных кислот в виноградном соке преобладает кафтаровая кислота (среднее содержание 5 мг/100 см<sup>3</sup>). В порции виноградного сока промышленного производства в среднем содержится 6–10% от суточной потребности человека в калии, около 5–8% – в магнии, железе и марганце. Содержание флавоноидов в порции составляет около 25% от адекватного уровня суточного потребления, а содержание гидроксикоричных кислот его превышает. Проведенные исследования свежего винограда, закупленного в торговых сетях, показывают, что содержание магния, железа и марганца в виноградном соке промышленного производства сопоставимо с содержанием указанных микронутриентов в свежих плодах.*

**Ключевые слова:** виноградный сок, нутриентный профиль, пищевые вещества, микронутриенты, флавоноиды, оксикоричные кислоты, биологически активные вещества

**Для цитирования:** Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Нутриентный профиль виноградного сока // Вопр. питания. 2018. Т. 87, № 6. С. 95–105. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10071.

Статья поступила в редакцию 01.10.2018. Принята в печать 13.11.2018.

**For citation:** Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Grape juice nutritional profile. Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 95–105. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10071. (in Russian)

Received 01.10.2018. Accepted for publication 13.11.2018.

*The nutrient profile of grape juice is presented on the basis of reference books data analysis, scientific publications and research results. The profile contains more than 30 food and biologically active substances (BAS). Grape juice does not have high acidity, it contains on average 0.4 g of organic acids per 100 cm<sup>3</sup>. Tartaric acid and L-malic acid are major acids in grape juice. The presence of tartaric acid is a distinctive feature of grape juice, in other juices it presents extremely rare and only in traces. Potassium, magnesium, iron, manganese, as well as flavonoids and hydroxycinnamic acids are the most important for grape juice from the point of view of providing humans with micronutrients and minor BAS. Juices from red/purple grapes varieties contain anthocyanins (on average 3 mg/100 cm<sup>3</sup>), the color of grapes and grape juices are associated with them, about 50% of the anthocyanins are malvidin glycosides. Resveratrol (an average of 0.01 mg/100 cm<sup>3</sup>), a stilbenoid, is also found in grape juices, this substance is widely studied recently due to its high antioxidant activity. Caftaric acid prevails among hydroxycinnamic acids presented in grape juice (on average 5 mg/100 cm<sup>3</sup>). A portion of industrial grape juice contains, on average, 6–10% of human daily need for potassium, about 5–8% for magnesium, iron and manganese. The content of flavonoids per serving is about 25% of the adequate level of daily consumption, and the content of hydroxycinnamic acids exceeds it. Studies of fresh grapes purchased in commercial networks show that the content of magnesium, iron and manganese in grape juices of industrial production is comparable to the content of these micronutrients in fresh fruit.*

**Keywords:** grape juice, nutrient profile, food substances, micronutrients, flavonoids, hydroxycinnamic acids, biologically active substances

В европейских странах доля виноградного сока варьирует от 1 до 9% всех потребляемых соков [1]. В России потребление виноградного сока, по оценке Российского союза производителей соков (РСПС), находится на уровне 25 млн литров в год. Большая часть виноградных соков на российском рынке изготовлена из красных/фиолетовых сортов винограда, соки из белого винограда, как правило, используются в смесях с другими соками, такими как яблочный. Исследования последних лет показывают, что благодаря присутствию в виноградном соке комплекса полифенольных соединений (флавоноидов, гидроксикоричных кислот), обладающих антиоксидантной активностью, он может способствовать улучшению состояния организма человека, в первую очередь это касается сердечно-сосудистой системы и когнитивных функций [2–14].

Информация о количественном содержании в виноградном соке макро- и микронутриентов приводится в справочниках химического состава пищевых продуктов. Важным источником информации о содержании отдельных веществ (особенно полифенольных) являются публикации в научных журналах. Большую часть соков, потребляемых населением, составляют соки промышленного производства, поэтому для уточнения и дополнения данных, содержащихся в литературе, актуально проведение исследований таких соков.

**Цель** настоящей работы – установление нутриентного профиля виноградного сока на основе анализа данных литературы и результатов исследований виноградного сока промышленного производства. Статья продолжает серию публикаций о нутриентных профилях соков [15–19].

## Материал и методы

Проанализирована информация из 13 справочников о содержании в виноградном соке пищевых и биологически активных веществ [20–32], а также опубликованных данных исследований по содержанию в виноградном соке минеральных веществ, витаминов и полифенольных соединений [11–14, 33–40].

РСПС проведены исследования представленного на российском рынке виноградного сока промышленного производства в аккредитованных лабораториях: ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва, Россия), Испытательном центре ГЭАЦ «СОЭКС» (Москва, Россия), лаборатории Eurofins (Нант, Франция), лаборатории CHELAB (Хемминген, Германия), а также в научно-исследовательских центрах и производственных лабораториях членов РСПС (ООО «Пепсико Холдингс», АО «Мултон», АО «ПРОГРЕСС»). Определяемые пищевые и биологически активные вещества и методы, использованные для исследований, приведены в табл. 1. В Испытательном центре ГЭАЦ «СОЭКС» (Москва, Россия) и в лаборатории Eurofins (Нант, Франция) проведены исследования свежего винограда различных сортов на содержание калия, магния, железа, марганца, меди и витамина E.

## Результаты и обсуждение

### Углеводы (моно- и дисахариды)

Основные моно- и дисахариды виноградного сока – глюкоза и фруктоза. Сахароза в нем практически не содержится [20, 21]. Данные литературы о содержании

**Таблица 1.** Методы исследований, использованные для определения содержания пищевых и биологически активных веществ в виноградном соке и в ягодах винограда

Вещество	Метод определения
Глюкоза	ГОСТ 31669-2012 «Продукция соковая. Определение сахарозы, глюкозы, фруктозы и сорбита методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Фруктоза	
Сахароза	
L-яблочная кислота	ГОСТ 32771-2014 «Продукция соковая. Определение органических кислот методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Винная кислота	
Лимонная кислота	
Калий	ГОСТ 33462-2015 «Продукция соковая. Определение натрия, калия, кальция и магния методом атомно-абсорбционной спектрометрии». ASU L00.00-144 «Determination of the minerals calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphor and sulfur as well as the trace elements iron, copper, manganese, zinc in foodstuff by optical emission spectrometry with inductive coupled plasma (ICP-OES)»
Магний	
Кальций	
Фосфор	ГОСТ 33914-2016 «Продукция соковая. Определение анионов методом ионообменной хроматографии» ASU L00.00-144 «Determination of the minerals calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphor and sulfur as well as the trace elements iron, copper, manganese, zinc in foodstuff by optical emission spectrometry with inductive coupled plasma (ICP-OES)»
Железо	RAD.ID.M.020 «Методика выполнения измерений массовой концентрации общего содержания железа методом спектрофотометрии». ASU L00.00-144 «Determination of the minerals calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphor and sulfur as well as the trace elements iron, copper, manganese, zinc in foodstuff by optical emission spectrometry with inductive coupled plasma (ICP-OES)». Внутренняя методика лаборатории Eurofins, Франция (ICP-MS)
Цинк	ASU L00.00-144 «Determination of the minerals calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphor and sulfur as well as the trace elements iron, copper, manganese, zinc in foodstuff by optical emission spectrometry with inductive coupled plasma (ICP-OES)»
Медь	ASU L00.00-144 «Determination of the minerals calcium, potassium, magnesium, sodium, phosphor and sulfur as well as the trace elements iron, copper, manganese, zinc in foodstuff by optical emission spectrometry with inductive coupled plasma (ICP-OES)». Внутренняя методика лаборатории Eurofins, Франция (ICP-MS)
Марганец	Внутренняя методика лаборатории Eurofins, Франция (ICP-MS)
Витамин С	ГОСТ 31643-2012 «Продукция соковая. Определение аскорбиновой кислоты методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»
Витамин Е	EN 12822:2014 «Foodstuffs – Determination of vitamin E by high performance liquid chromatography – Measurement of $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ - and $\delta$ -tocopherols»
Антоцианины	ГОСТ 32709-2014 «Продукция соковая. Методы определения антоцианинов»
Гидроксикоричные кислоты	Методы анализа минорных и биологически активных веществ в пище / под ред. В.А. Тутельяна и К.И. Эллера. М. : Династия, 2010. 180 с.
Ресвератрол	

моно- и дисахаридов в виноградном соке, а также данные исследований соков промышленного производства приведены в табл. 2.

Данные, полученные в ходе исследований виноградных соков промышленного производства, соответствуют информации, приведенной в справочниках. По результатам, суммарное содержание моно- и дисахаридов составило 11,4–18,0 г в 100 см<sup>3</sup>.

Соотношение глюкозы и фруктозы в виноградном соке, как правило, близко к 1:1.

### Органические кислоты

Органические кислоты в виноградном соке представлены большей частью винной и L-яблочной кислотами, лимонная кислота присутствует в небольших количествах [20, 21]. Концентрация винной кислоты варьирует в зависимости от сорта и зрелости винограда, но наибольшее влияние оказывают технологии производства сока. По сравнению с соками прямого отжима в восстановленных соках наблюдаются более низкие значения,

что связано с осаждением солей винной кислоты (тарترات) в процессе производства концентрированного сока. Содержание L-яблочной кислоты в виноградном соке зависит от сорта и погодных условий при выращивании винограда. Установлено также, что по мере созревания ягод ее количество уменьшается [20]. Данные о содержании органических кислот в виноградном соке, в том числе промышленного производства, приведены в табл. 3.

Данные исследований виноградных соков промышленного производства показывают, что суммарное содержание в них кислот составляет 0,15–0,7 г/100 см<sup>3</sup>, при этом среднее содержание кислот в соке прямого отжима несколько выше, чем в восстановленном соке. Это связано, как правило, с более низким содержанием винной кислоты в восстановленных соках, что объясняется технологией производства, а также с более низким содержанием L-яблочной кислоты, которая в восстановленных соках в 70% случаев обнаруживается на уровне ниже значений, указанных в литературе.

Таблица 2. Содержание моно- и дисахаридов в виноградном соке, г/100 см<sup>3</sup> [M (min–max)]

Источник	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза	Суммарно моно- и дисахариды
[20]	8,0 (6,0–11,0)	8,0 (6,0–11,0)	Следы	–
[21]	8,1	8,3	0,2	16,6
Исследования РСПС (n=315)	7,7 (5,6–9,7)	7,8 (5,8–10,2)	0,005 (0–0,2)	15,5 (11,4–18,0)

Таблица 3. Содержание органических кислот в виноградном соке, г/100 см<sup>3</sup> [M (min–max)]

Источник	Вид сока	Винная кислота	L-яблочная кислота	Лимонная кислота	Суммарно органические кислоты
[20]	Прямого отжима	(0,2–0,7)	(0,2–0,7)	Max 0,05	–
	Восстановленный	Ниже, чем в соке прямого отжима	(0,2–0,7)	Max 0,05	–
[21]	Прямого отжима	0,45 (0,38–0,53)	0,35 (0,28–0,47)	0,022 (0,015–0,039)	0,8
РСПС (n=5)	Прямого отжима	0,32 (0,27–0,39)	0,21 (0,10–0,29)	0,03 (0,02–0,04)	0,55 (0,49–0,6)
РСПС (n=196)	Восстановленный	0,17 (0,05–0,43)	0,17 (0,05–0,53)	0,02 (0,002–0,07)	0,36 (0,15–0,7)

### Калий

Содержание калия в виноградном соке зависит от технологии производства. Из-за осаждения калиевых солей винной кислоты в процессе изготовления концентрированного сока, содержание калия в восстановленных соках ниже, чем в соках прямого отжима. Согласно данным литературы, в виноградном соке прямого отжима содержится 90–200 мг/100 см<sup>3</sup> калия, в среднем около 140–150 мг/100 см<sup>3</sup> [20, 21], в восстановленном соке – в среднем около 60 мг/100 см<sup>3</sup> [22]. В большинстве справочников отсутствует информация, к какому виду виноградного сока (прямого отжима или восстановленному) относятся указанные в них средние значения. Значительный разброс таких значений – от 55 до 150 мг/100 см<sup>3</sup> [23–30], позволяет предположить, что речь идет о разных видах сока.

Исследования показывают, что в виноградном соке промышленного производства содержание калия лежит в интервале 90–200 мг/100 см<sup>3</sup> – для соков прямого отжима, и в интервале 30–160 мг/100 см<sup>3</sup> – для восстановленных соков (табл. 4). Содержание калия в свежем винограде несколько выше его содержания в соках, что также связано с образованием нерастворимых тартратов калия в ходе отжима.

### Кальций

Согласно данным литературы, содержание кальция в виноградном соке составляет 5,3–25 мг/100 см<sup>3</sup> [11, 20–30]. Исследования (см. табл. 4) показывают, что концентрация кальция в виноградном соке варьирует в интервале 7,8–17,2 мг/100 см<sup>3</sup>, что соответствует

данным литературы. Не выявлено значимых различий в содержании кальция для сока прямого отжима и восстановленного сока.

### Магний

Согласно данным литературы, содержание магния в виноградном соке составляет 4–13 мг/100 см<sup>3</sup> [11, 20–30]. Данные исследований показывают, что содержание магния в виноградном соке промышленного производства лежит в похожем интервале (см. табл. 4). Не выявлено значимых различий в содержании магния для сока прямого отжима и восстановленного сока, которое сопоставимо с содержанием этого вещества в свежем винограде.

### Фосфор

Согласно данным литературы, содержание фосфора в виноградном соке составляет 7–23 мг/100 см<sup>3</sup> [20–30]. Данные исследований показывают, что содержание фосфора в восстановленном виноградном соке (n=7) лежит в интервале 7,5–16,4 мг/100 см<sup>3</sup> (M=11,2 мг/100 см<sup>3</sup>), что соответствует справочным данным.

### Железо

Согласно данным литературы, содержание железа в виноградном соке составляет 0,045–0,9 мг/100 см<sup>3</sup> [11, 21–31]. Исследования показывают, что содержание железа в виноградном соке промышленного производства лежит в интервале 0,1–0,6 мг/100 см<sup>3</sup>, что соответствует данным литературы. Не выявлено значимых различий в содержании железа для сока прямого

Таблица 4. Содержание макроэлементов в виноградном соке (мг/100 см<sup>3</sup>) и в свежем винограде (мг/100г) [M (min–max)]

Продукт	Калий		Кальций		Магний	
Сок прямого отжима	142,3 (92,0–202,1)	n=12	10,0 (7,8–12,1)	n=2	8,3 (7,3–9,4)	n=5
Сок восстановленный	90,3 (32,3–162,0)	n=26	13,1 (9,0–17,2)	n=16	8,0 (5,6–13,8)	n=19
Виноград свежий	235,8 (194,5–324,5)	n=4	–	–	7,7 (6,7–8,7)	n=4

**Таблица 5.** Содержание железа и марганца в виноградном соке (мг/100 см<sup>3</sup>) и в свежем винограде (мг/100 г) [*M* (min–max)]

Продукт	Железо		Марганец	
	Среднее	n	Среднее	n
Сок прямого отжима	0,25 (0,13–0,46)	n=3	0,09 (0,03–0,15)	n=3
Сок восстановленный	0,31 (0,10–0,60)	n=9	0,05 (0,03–0,07)	n=3
Виноград свежий	0,27 (0,19–0,33)	n=4	0,06 (0,05–0,07)	n=4

отжима и восстановленного сока. Содержание железа в виноградном соке сопоставимо с содержанием этого вещества в свежем винограде (табл. 5).

### Цинк

Согласно данным литературы, содержание цинка в виноградном соке составляет в среднем 0,04–0,1 мг/100 см<sup>3</sup> [11, 21–30]. Определение содержания цинка в 2 образцах виноградных восстановленных соков показало, что оно находится ниже предела обнаружения использованного метода исследований (<0,05 мг/100 см<sup>3</sup>). Учитывая, что рекомендуемое потребление цинка составляет 15 мг/сут [41], уточнение содержания цинка в виноградном соке, как и включение этого микроэлемента в нутриентный профиль, представляется нецелесообразным.

### Медь

Данные литературы показывают значительный разброс значений содержания меди в виноградном соке – от 0,009 до 0,15 мг/100 см<sup>3</sup> [11, 21, 22, 24, 25, 27–30]. Исследование 6 образцов виноградного сока промышленного производства (3 соков прямого отжима и 3 восстановленных соков) показало, что содержание меди в одном из образцов сока прямого отжима и во всех образцах восстановленного сока находилось ниже предела обнаружения использованного метода исследований (<0,03 мг/100 см<sup>3</sup>). Еще в 2 образцах сока прямого отжима оно составило 0,040 и 0,128 мг/100 см<sup>3</sup>, и эти значения сопоставимы с содержанием меди в свежем винограде – 0,046–0,123 мг/100 г (n=4).

Содержание меди ниже предела обнаружения метода значимо с точки зрения уровня физиологической

**Таблица 6.** Содержание молибдена, хрома, витамина В<sub>1</sub> и биотина в виноградном соке, по данным литературы, мг/100 см<sup>3</sup>

Вещество	Физиологическая потребность [41, 42]	Источник	<i>M</i> (min–max)
Молибден	0,07 мг/сут	[21]	0,0045
		[24]	0,002
Хром	0,05 мг/сут	[21]	0,003 (0–0,006)
Витамин В <sub>1</sub>	1,4 мг/сут	[21]	0,031 (0,012–0,04)
		[22]	0,039
		[23]	0,017
		[24]	0,02 (0,031–0,046)
		[25]	0,04
		[29]	0,026
		[30]	0,031
Биотин	0,05 мг/сут	[21]	0,0012 (0,001–0,0016)
		[24]	0,0012
		[27]	0,001
		[30]	0,001

потребности человека в этом веществе (1 мг/сут [42]). В связи с этим представляется целесообразным применение более чувствительных методов исследований для уточнения содержания меди в виноградном соке промышленного производства, особенно в восстановленном соке.

### Марганец

Согласно данным литературы [11, 21, 22, 24, 27–30], содержание марганца в виноградном соке составляет 0,029–0,36 мг/100 см<sup>3</sup>. Данные исследований показывают, что содержание марганца в виноградном соке промышленного производства соответствует справочным

**Таблица 7.** Содержание полифенольных соединений в виноградном соке, по данным литературы, мг/100 см<sup>3</sup> (в пересчете на галловый эквивалент)

Источник	Вид сока (согласно источнику)	Общее содержание полифенольных соединений
[34]	Сок из фиолетового винограда, пастеризованный	129,6–134,3
[11]	Сок прямого отжима из красного винограда	201,5
	Сок прямого отжима из белого винограда	55
[12]	Сок из красного винограда	117,7
	Соки из красного и белого винограда	15–165,4
[37]	Сок виноградный пастеризованный	18,95
[38]	Сок из красного винограда	260
	Сок из винограда фиолетовых сортов	262,1
[13]	Сок из красного винограда	219
[14]	Сок из белого винограда, восстановленный	26,79

**Таблица 8.** Качественный состав антоцианинов красного/фиолетового виноградного сока

Антоцианин	% от суммы антоцианинов, <i>M</i> (min-max)
Мальвидин-3-О-глюкозид	25,7 (18,5–33,2)
Мальвидин-3-О-(6-ацетил)-глюкозид-4-пируват*	16,8 (5,8–26,9)
Пеонидин-3-О-глюкозид	12,8 (6,1–24,8)
Пеонидин-3-О-глюкозид-4-пируват*	6,9 (2,9–13,7)
Петунидин-3-О-(6- <i>l</i> -кумароил)-глюкозид	5,5 (2,5–7,7)
Петунидин-3-О-глюкозид	5,4 (2,7–9,8)
Цианидин-3-О-глюкозид	4,9 (1,5–14,2)
Дельфинидин-3-О-глюкозид	4,8 (3,0–8,0)
Пеонидин-3-О-(6- <i>l</i> -кумароил)-глюкозид	3,1 (1,4–6,6)
Мальвидин-3-О-(6-ацетил)-глюкозид-4-пируват*	2,6 (1,1–5,1)
Мальвидин-3-О-(6- <i>l</i> -кумароил)-глюкозид	2,6 (0,8–4,8)
Мальвидин-3-О-(6-ацетил)-глюкозид	2,0 (0,3–5,0)
Пеларгонидин-3-О-глюкозид	0,6 (0,4–1,0)
Пеонидин-3-О-(6-ацетил)-глюкозид	0,6 (0,2–1,0)

*Примечание.* \* – не являются природными пигментами плодов винограда, образуются в процессе их переработки и хранения в результате реакции с пировиноградной кислотой.

данным. Не выявлено значимых различий в содержании марганца для сока прямого отжима и восстановленного сока. Содержание марганца в виноградном соке сопоставимо с содержанием этого вещества в свежем винограде (см. табл. 5).

**Таблица 9.** Содержание флавоноидов и ресвератрола в виноградном соке, мг/100 см<sup>3</sup>

Вещество	Источник	<i>M</i> (min-max)
Проантоцианидины	[34]	(1,8–2,55)
	[37]	39,74
	[38]	(0,29–19,64)
Кемпферол	[32]	0,01 (0–0,01)
	[11]	(0,28–0,30)
	[34]	(0,07–0,15)
Катехины	[32]	1,38 (0,08–5,24)
	[11]	(9,4–9,5)
	[34]	(4,9–5,2)
	[14]	1,72
Кверцетин	[32]	0,72 (0,41–0,80)
	[11]	(0,35–0,43)
	[34]	(0,001–0,01)
Мирицетин	[32]	0,70 (0,03–1,19)
	[11]	(0,19–0,7)
	[34]	(0,01–0,02)
Рутин	[34]	(0,09–0,15)
Ресвератрол	[11]	0,22
	[34]	0,07
	[38]	(0,007–0,21)
	РСРС ( <i>n</i> =6)	0,009 (0,003–0,014)

### Витамин С

Концентрации витамина С в свежем винограде относительно невысоки – в 100 г содержится в среднем 2–11 мг витамина С [21, 23, 24, 33]. Соки промышленного производства, по данным литературы, содержат витамин С от следовых количеств до 9 мг/100 см<sup>3</sup> [21, 22–25, 27–31, 34]. Исследование 5 образцов виноградных восстановленных соков показало, что содержание в них витамина С находится ниже предела обнаружения использованного метода исследований (<0,1 мг/100 см<sup>3</sup>), что говорит о незначительном присутствии витамина С в виноградном соке промышленного производства и о нецелесообразности включения этого вещества в нутриентный профиль виноградного сока.

### Витамин Е

Согласно данным литературы, в 100 г свежего винограда содержится в среднем 0,2–0,7 мг витамина Е [21, 23, 24]. Данные о содержании витамина Е в виноградном соке показывают значительный разброс – от следовых количеств до 0,67 мг/100 см<sup>3</sup> [22, 24, 25, 27, 29, 30]. Исследование 6 образцов виноградного сока промышленного производства (3 соков прямого отжима и 3 восстановленных соков) показало, что содержание витамина Е во всех образцах находилось ниже предела обнаружения использованного метода исследований (<0,08 мг/100 см<sup>3</sup>), что говорит о незначительном присутствии витамина Е в виноградном соке и о нецелесообразности включения этого вещества в нутриентный профиль. В исследованных образцах свежего винограда (*n*=4) содержание витамина Е составило 0,1–0,54 мг/100 г (*M*=0,39 мг/100 г), что соответствует данным литературы. Низкое содержание витамина Е в виноградном соке по сравнению со свежим виноградом связано с неравномерным распределением витамина Е в плодах: большая часть этого витамина содержится в косточках и не переходит в сок при отжиме [35, 36].

### Молибден, хром, витамин В<sub>1</sub> (тиамин), биотин

Согласно данным литературы, в виноградном соке относительно невысокие концентрации молибдена, хрома, витамина В<sub>1</sub> и биотина, но при этом они значимы с точки зрения уровня физиологической потребности человека (табл. 6).

Для уточнения и подтверждения имеющихся данных необходимо проведение исследований с применением методов, обладающих достаточной чувствительностью, что на настоящий момент затруднено из-за отсутствия необходимой лабораторной базы и отработанных методик измерения таких концентраций веществ.

### Полифенольные соединения

В литературе наблюдается большой разброс в данных по содержанию полифенольных соединений в виноградном соке (табл. 7), что отражает прежде всего значительные природные колебания содержания этих веществ в винограде разных сортов и соках из них.

Таблица 10. Содержание гидроксикоричных кислот в виноградном соке, мг/100 см<sup>3</sup>

Гидроксикоричная кислота	M (min-max)	
	сок прямого отжима (n=3)	сок восстановленный (n=3)
Кафтаровая кислота (транс- и цис- изомеры)	4,44 (2,42–5,84)	3,58 (3,38–3,83)
Хлорогеновая кислота	0,64 (0,59–0,73)	0,75 (0,57–0,98)
Кутаровая кислота (транс-изомер)	0,28 (0,12–0,44)	0,38 (0,32–0,42)
Кофейная кислота	0,25 (0,17–0,35)	0,28 (0,22–0,32)

Колебания содержания полифенольных соединений связаны с сортовыми особенностями винограда, условиями его произрастания и технологиями переработки в сок [34, 38]. В целом общее содержание полифенольных соединений выше в соках из винограда красных/фиолетовых сортов в сравнении с соками из белых сортов винограда.

Полифенольные соединения виноградного сока представлены в основном флавоноидами, стильбеноидами и гидроксикоричными кислотами.

#### Флавоноиды

Цвет сока из винограда красных/фиолетовых сортов определяется присутствием антоцианинов – природных пигментов, имеющих красную или фиолетовую окраску. Согласно данным литературы, в красном/фиолетовом виноградном соке содержатся мальвидин-3-О-глюкозид, мальвидин-3-О-(6-п-кумароил)-глюкозид, мальвидин-3-О-(6-ацетил)-глюкозид, пеонидин-3-О-глюкозид, петунидин-3-О-глюкозид, дельфинидин-3-О-глюкозид, цианидин-3-О-глюкозид и другие антоцианины [11, 12, 20, 34, 37, 38], суммарное содержание антоцианинов в красном/фиолетовом виноградном соке варьирует в пределах 0,52–41,9 мг/100 см<sup>3</sup> [11, 12, 32, 34, 37, 38].

По результатам исследований красных/фиолетовых виноградных соков, содержание антоцианинов в пересчете на цианидин-3-О-глюкозид в восстановленных соках промышленного производства составило 3,4 (1,72–5,1) мг/100 см<sup>3</sup> (n=5), при этом оно было значительно выше, чем в соках прямого отжима 0,89 (0,62–1,08) (n=3).

Большая часть антоцианинов виноградного сока, по данным исследований (табл. 8), приходится на гликозиды мальвидина – в среднем около 50% от суммарного содержания антоцианинов, далее следуют производные пеонидина – около 20–25%.

В виноградном соке (как из красных/фиолетовых, так и из белых сортов) присутствуют также другие группы флавоноидов: проантоцианидины, катехины, флавонолы (кверцетин, рутин, мирицетин, кемпферол), а также стильбеноид ресвератрол [11, 14, 32, 34, 37–39]. Данные о содержании указанных веществ, включая данные исследований содержания ресвератрола в виноградных соках промышленного производства, приведены в табл. 9.

Флавоноиды в виноградном соке требуют дальнейшего изучения. Согласно данным литературы, значительная часть флавоноидов виноградного сока представлена проантоцианидинами, исследование их содержания представляется особенно важным.

Таблица 11. Энергетическая ценность, содержание макроэлементов и органических кислот в виноградном соке (для сока с содержанием растворимых сухих веществ 15,9%)

Показатель	Содержание в среднем, в 100 см <sup>3</sup>
Энергетическая ценность, кДж/ккал	270/64
Углеводы <sup>1</sup> , г	15,5
Сахара <sup>2</sup> , г	15,5
Белок*, г	<0,5
Жиры*, г	<0,5
Органические кислоты <sup>3</sup> , г	0,4
Пищевые волокна <sup>4</sup> , г	0,1

П р и м е ч а н и е. \* – значение основано на данных литературы; <sup>1</sup> – углеводы виноградного сока представлены сахарами глюкозой и фруктозой. Сахароза в виноградном соке практически не содержится; <sup>2</sup> – сахара виноградного сока представлены глюкозой и фруктозой в соотношении 1:1 (в среднем). Содержание глюкозы варьирует в пределах 6,0–11,0 г/100 см<sup>3</sup>, фруктозы – 6,0–11,0 г/100 см<sup>3</sup>; <sup>3</sup> – основные органические кислоты, содержащиеся в виноградном соке, – винная и L-яблочная. Содержание этих кислот значительно варьирует в зависимости от сорта, зрелости, климатических условий выращивания и технологии переработки винограда. В соках прямого отжима содержание винной кислоты варьирует в пределах 0,2–0,7 г/100 см<sup>3</sup>, L-яблочной кислоты – в пределах 0,2–0,7 г/100 см<sup>3</sup>. В восстановленных соках, как правило, наблюдаются более низкие значения. Содержание лимонной кислоты в виноградном соке невысоко, обычно <0,07 г/100 см<sup>3</sup>; <sup>4</sup> – значение указано для виноградного сока, в осветленном виноградном соке пищевые волокна практически не содержатся. Согласно техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей», осветленный сок – сок, в котором массовая доля осадка не превышает 0,3%.

Таблица 12. Содержание микронутриентов и минорных биологически активных веществ в виноградном соке (мг/100 см<sup>3</sup>)

Вещество	Min	Max	В среднем
<i>Макроэлементы</i>			
К (калий) <sup>1</sup>			
– сок прямого отжима	90	200	140
– восстановленный сок	30	170	80
Ca (кальций)	6	25	13
Mg (магний)	4	14	8
P (фосфор)	7	23	11
<i>Микроэлементы</i>			
Fe (железо)	0,05	1,0	0,35
Cu (медь)*	0,005	0,15	<0,03
Mn (марганец)	0,029	0,36	0,06
I (йод)**	–	–	0,001
Mo (молибден)*, **	–	–	0,003
Cr (хром)*, **	N/o	0,006	0,003
Se (селен)**	–	–	0,001
<i>Водорастворимые витамины</i>			
B <sub>1</sub> (тиамин)*, **	0,01	0,05	0,03
B <sub>2</sub> (рибофлавин)**	0,003	0,05	0,015
Ниацин**	0,1	0,25	0,15
B <sub>6</sub> (пиридоксин)**	0,01	0,09	0,03
Фолаты**	0,0002	0,004	0,002
Пантотеновая кислота**	0,02	0,08	0,04
Биотин*, **	0,0005	0,0016	0,001
<i>Полифенольные соединения<sup>2</sup></i>			
<b>Фенольные кислоты<sup>3</sup></b> , суммарно	1	20	5
<b>Флавоноиды<sup>4</sup></b> , суммарно*, **	–	–	25
В том числе антоцианины (антоцианы) в соках из красных/фиолетовых сортов винограда	–	–	3
<b>Ресвератрол</b>	–	–	0,01

Примечание. \* – значение требует дополнительного изучения и уточнения; \*\* – значение основано на данных литературы; <sup>1</sup> – в процессе производства концентрированного сока калий осаждается в виде солей винной кислоты и его содержание снижается. Соответственно, содержание калия в восстановленных соках в целом ниже, чем в соках прямого отжима; <sup>2</sup> – полифенольные соединения виноградного сока представлены флавоноидами, стильбеноидами и фенольными гидроксикоричными кислотами. В литературе наблюдается значительный разброс данных по содержанию полифенольных соединений в виноградном соке, что отражает значительные природные колебания содержания этих веществ. Колебания связаны с сортовыми особенностями винограда, условиями его произрастания, а также с особенностями технологии переработки винограда в сок. Содержание полифенольных соединений в виноградном соке требует дальнейшего изучения; <sup>3</sup> – фенольные кислоты виноградного сока представлены кафтаровой, хлорогеновой, кутаровой, кофейной и другими гидроксикоричными кислотами; <sup>4</sup> – в виноградном соке присутствуют неокрашенные флавоноиды (кемпферол, катехины, кверцетин, мирицетин, рутин, проантоцианидины и др.), в соках из красных/фиолетовых сортов винограда присутствуют также окрашенные флавоноиды – антоцианины (антоцианы).

### Гидроксикоричные кислоты

Данные литературы о содержании в виноградном соке гидроксикоричных кислот немногочисленны. Суммарное содержание гидроксикоричных кислот оценивается как 0,92–47,7 мг/100 см<sup>3</sup> [11, 14, 34, 37, 38, 40]. В том числе указывается на присутствие в виноградном соке кофейной кислоты на уровне 0,14–1,8 мг/100 см<sup>3</sup> и хлорогеновой (5-кофеилхинной) кислоты на уровне 0,18–0,24 мг/100 см<sup>3</sup> [11, 14, 34, 40]. Данные исследований 6 образцов виноградных соков (табл. 10) подтверждают присутствие в виноградном соке указанных кислот. При этом установлено, что большая часть гидроксикоричных кислот в виноградном соке представлена кафтаровой кислотой (*транс*- и *цис*-изомеры), также обнаружен *транс*-изомер кутаровой кислоты. Суммарное содержание гидроксикоричных кислот в соках промышлен-

ного производства составило 3,37–7,18 мг/100 см<sup>3</sup>, не выявлено значимых различий в содержании гидроксикоричных кислот для сока прямого отжима и восстановленного сока.

### Нутриентный профиль виноградного сока

Нутриентный профиль виноградного сока включает информацию о содержании в нем макро- и микронутриентов, органических кислот, минорных биологически активных веществ. При определении значений, вносимых в нутриентный профиль, приоритетными являются данные исследований сока промышленного производства.

Нутриентный профиль виноградного сока представлен в табл. 11 и 12 и примечаниях к ним. Информация, представленная в нутриентном профиле, может ис-

пользоваться при некоммерческих коммуникациях и не может использоваться в других целях, в том числе в целях маркировки продукции.

## Заключение

На основании анализа данных литературы и результатов исследований, проведенных РСФС, представлен нутриентный профиль виноградного сока, где указано содержание более 30 пищевых и биологически активных веществ.

Наиболее значимыми с точки зрения обеспечения человека микронутриентами и минорными биологически активными веществами для виноградного сока, в том числе для виноградного сока промышленного произ-

водства, являются минеральные вещества – калий, магний, железо и марганец, а также флавоноиды и гидроксикоричные кислоты – полифенольные соединения, обладающие антиоксидантными свойствами. В порции виноградного сока содержится в среднем 6–10% от суточной потребности человека в калии, около 5–8% – в магнии, железе и марганце (суточная потребность согласно [41] и [42]). Содержание флавоноидов в порции составляет около 25% от адекватного уровня суточного потребления, а содержание гидроксикоричных кислот его превышает (суточная потребность согласно [42] и [43]).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Сведения об авторах

*Иванова Наталья Николаевна* – президент Некоммерческой организации «Российский союз производителей соков» (РСФС) (Москва)

E-mail: rsps@rsps.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4604-7221>

*Хомич Людмила Михайловна* – руководитель проекта Некоммерческой организации «Российский союз производителей соков» (РСФС) (Москва)

E-mail: l.homich@rsps.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4312-3559>

*Перова Ирина Борисовна* – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории метаболомного и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: Erin.Feather@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5975-1376>

*Эллер Константин Исаакович* – доктор химических наук, руководитель лаборатории метаболомного и протеомного анализа ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва)

E-mail: eller@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1046-4442>

## Литература

1. Fruit Juice Focus, September/October 2018. URL: [www.fruitjuicefocus.com](http://www.fruitjuicefocus.com).
2. Joseph J.A., Shukitt-Hale B., Willis L.M. Grape juice, berries, and walnuts affect brain aging and behavior // *J. Nutr.* 2009. Vol. 139, N 9. P. 1813S–1817S.
3. Shukiti-Hale B., Carey A., Simon L., Mark D.A., Joseph J.A. Effects of Concord grape juice on cognitive and motor deficits in aging // *Nutr. J.* 2006. Vol. 22, N 3. P. 295–302.
4. da Silva J.K., Cazarin C.B., Correa L.C., Batista A.G., Furlan C.P., Bisoto A.C. et al. Bioactive compounds of juices from two Brazilian grape cultivars // *J. Sci Food Agric.* 2016. Vol. 96, N 6. P.1990–1996. doi: 10.1002/jsfa.7309.
5. Toscano L.T., Tavares R.L., Toscano L.T., Silva C.S., Almeida A.E., Bisoto A.C. et al. Potential ergogenic activity of grape juice in runners // *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2015. Vol. 40, N 9. P. 899–906. doi:10.1139/apnm-2015-0152.
6. Corredor Z., Rodriguez-Ribera L., Coll E., Montanes R., Diaz J.M., Ballarin J. et al. Unfermented grape juice reduce genomic damage on patients undergoing hemodialysis // *Food Chem. Toxicol.* 2016. Vol. 92. P. 1–7. doi: 10.1016/j.fct.2016.03.016.
7. Krikorian R., Boespflug E.L., Fleck D.E., Stein A.L., Wightman J.D., Shidler M.D. et al. Concord grape juice supplementation and neurocognitive function in human aging // *J. Agric. Food Chem.* 2012. Vol. 60, N 23. P. 5736–5742. doi: 10.1021/jf300277g.
8. Kokkou E., Siasos G., Georgiopoulos G., Oikonomou E., Verveniotis A., Vavuranakis M. et al. The impact of dietary flavonoid supplementation on smoking-induced inflammatory process and fibrinolytic impairment // *Atherosclerosis.* 2016. Vol. 251. P. 266–272. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2016.06.054.
9. Toscano L.T., Silva A.S., Toscano L.T., Tavares R.L. et al. Phenolics from purple grape juice increase serum antioxidant status and improve lipid profile and blood pressure in healthy adults under intense physical training // *J. Functional Foods.* 2017. Vol. 33. P. 419–424. doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.063.
10. Haskell-Ramsay C.F., Stuart R.C., Okello E.J., Watson A.W. Cognitive and mood improvements following acute supplementation with purple grape juice in healthy young adults // *Eur. J. Nutr.* 2017. doi: 10.1007/s00394-017-1454-7.
11. Toaldo I.M., Cruz F.A., Alves Tde L., de Gois J.S., Borges D.L., Cunha H.P. et al. Bioactive potential of Vitis labrusca L. grape juices from the Southern Region of Brazil: Phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects // *Food Chem.* 2015. Vol. 173. P. 527–535.
12. Moreno-Montoro M., Olalla-Herrera M., Gimenez-Martinez R., Navarro-Alarcon M., Rufian-Henares J.A. Phenolic compounds and antioxidant activity of Spanish commercial grape juices // *J. Food Composition and Analysis.* 2015. Vol. 38. P. 19–26.

13. Lampion D.J., Lawton C.L., Merat N., Jamson H., Myrissa K., Hofman D. et al. Concord grape juice, cognitive function, and driving performance: a 12-wk, placebo-controlled, randomized crossover trial in mothers of preteen children // *Am. J. Clin. Nutri.* 2016. Vol. 103. P. 775–783.
14. Zuanazzi C., Maccari P.A., Beninca S.C., Branco C.S., Theodoro H., Vanderlinde R. et al. White grape juice increases HDL cholesterol and reduces body mass index, abdominal and waist circumference in women // *Nutrition.* 2019. Vol. 57. P. 109–114. doi: 10.1016/j.nut.2018.05.026.
15. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б. Нутриентный профиль яблочного сока // *Вопр. питания.* 2017. Т. 86. № 4. С. 125–136.
16. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б. Нутриентный профиль апельсинового сока // *Вопр. питания.* 2017. Т. 86. № 6. С. 103–113.
17. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Бекетова Н.А. Нутриентный профиль томатного сока // *Вопр. питания.* 2018. Т. 87. № 2. С. 53–64.
18. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Нутриентный профиль вишневого сока // *Вопр. питания.* 2018. Т. 87. № 4. С. 78–86.
19. Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И. Нутриентный профиль грейпфрутового сока // *Вопр. питания.* 2018. Т. 87. № 5. С. 85–94.
20. Code of Practice for Evaluation of Fruit and Vegetables Juices. A.I.J.N. URL: <http://www.aijn.org/publications/code-of-practice/the-aijn-code-of-practice/> (дата обращения: 23.10.2018).
21. Souci S.W., Fachmann W., Kraut H., revised by Kirchoff E. Food composition and nutrition tables, based on the 7th edition. Stuttgart: Medpharm GmbH Scientific Publishers, 2008. P. 1198–1199.
22. Table CiquaL, Composition Nutritionnelles des aliments de ANSES (Франция). URL: <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm> (дата обращения: 23.10.2018).
23. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Вып. 28 (США). URL: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/> (дата обращения: 23.10.2018).
24. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: Справочник. М.: ДеЛипринт, 2007.
25. Dutch Food Composition Database NEVO (Нидерланды). URL: <https://nevo-online.rivm.nl/> (дата обращения: 23.10.2018).
26. Norwegian Food Composition table (2012). URL: <http://www.matvaretabellen.no/> (дата обращения: 23.10.2018).
27. Banca Dati di Composizione degli Alimenti per Studi Epidemiologici in Italia (BDA) (Италия). URL: <http://www.bda.ifo.it/test/SearchForName.aspx?Lan=Eng> (дата обращения: 23.10.2018).
28. UK database – McCance, Widdowson, Composition of Foods (Великобритания). URL: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid> (дата обращения: 23.10.2018).
29. Fshdevaredata, DTU Fshdevareinstituttet (Дания). URL: <http://www.food.dtu.dk/Fejl/Fejl.aspx?aspxerrorepath=/> (дата обращения: 23.10.2018).
30. German Nutrient Database: BLS online portal. URL: <https://www.vitaminedb.com/lebensmittel/> (дата обращения: 20.08.2018).
31. The Swedish Food Composition Database, Livsmedelsverket (Швеция). URL: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/naringsamnen/livsmedelsdatabasen> (дата обращения: 23.10.2018).
32. USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods. Release 3.2 (November 2015). URL: <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-database-flavonoid-content-selected-foods-release-32-november-2015> (дата обращения: 23.10.2018).
33. Holland B., Unwin L.D., Buss D.H. Fruit and Nuts. First Suppl. To McCance & Widdowson's. The composition of foods. 5 ed. Royal Soc. Chemistry, Cambridge, 1992.
34. dos Santos Lima M., da Conceicao Prudencio Dutra M., Toalob I.M., Correac L.C., Pereirac G.E., de Oliveirad D. et al. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced in industrial scale by different processes of maceration // *Food Chemistry.* 2015. Vol. 188. P. P. 384–392.
35. Seker M.E., Celik A., Dost K. Determination of vitamin E isomers of grape seeds by high-performance liquid // *J. Chromatogr. Sci.* 2012. Vol. 50. P. 97–101.
36. Bombai G., Pasini F., Verardo V., Sevindik O., Di Foggia M., Tessarin P. Monitoring of compositional changes during berry ripening in grape seed extracts of cv. Sangiovese (*Vitis vinifera* L.) // *J. Sci Food Agric.* 2017. Vol. 97, N 9. P. 3058–3064.
37. Genova G., Tosetti R., Tonutti P. Berry ripening, pre-processing and thermal treatments affect the phenolic composition and antioxidant capacity of grape (*Vitis vinifera* L.) juice // *J. Sci Food Agric.* 2015. Vol. 96, Is. 2. P. 664–671.
38. Blumberg J.B., Vita J.A., Chen C.-Y.O. Concord Grape Juice Polyphenols and Cardiovascular Risk Factors: Dose-Response Relationships. *Nutrients.* 2015, 7(12), 10032–10052.
39. Kuhn P., Kalariya H.M., Poulev A., Ribnicki D.M., Jaja-Chimedza A., Roopchand D.E. et al. Grape polyphenols reduce gut-localized reactive oxygen species associated with the development of metabolic syndrome in mice // *PLoS ONE.* 2018. Vol. 13, N 10. P. e0198716. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198716>.
40. Singleton V.L., Zaya J., Trousdale E.K. Caffeic and coumaric acids in fruit of *Vitis* // *Phytochemistry.* 1986. Vol. 25. P. 2127–2133.
41. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 881).
42. Методические рекомендации Роспотребнадзора МР 2.3.1.2432-08 от 18.12.2008 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».
43. Методические рекомендации Роспотребнадзора МР 2.3.1.1915-04 от 02.07.2004 г. «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ».

## References

1. Fruit Juice Focus, September/October 2018. Available at: [www.fruit-juicefocus.com](http://www.fruit-juicefocus.com).
2. Joseph J.A., Shukitt-Hale B., Willis L.M. Grape juice, berries, and walnuts affect brain aging and behavior. *J. Nutr.* 2009; 139: 1813S–7S.
3. Shukiti-Hale B., Carey A., Simon L., Mark D.A., Joseph J.A. Effects of Concord grape juice on cognitive and motor deficits in aging. *Nutrition Journal.* 2006; 22 (3): 295–302.
4. da Silva J.K., Cazarin C.B., Correa L.C., Batista A.G., Furlan C.P., Bisasoto A.C., et al. Bioactive compounds of juices from two Brazilian grape cultivars. *J. Sci Food Agric.* 2016; 96 (6): 1990–6. doi: 10.1002/jsfa.7309.
5. Toscano L.T., Tavares R.L., Toscano L.T., Silva C.S., Almeida A.E., Bisasoto A.C., et al. Potential ergogenic activity of grape juice in runners. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015; 40 (9): 899–906. doi:10.1139/apnm-2015-0152.
6. Corredor Z., Rodriguez-Ribera L., Coll E., Montanes R., Diaz J.M., Ballarin J., et al. Unfermented grape juice reduce genomic damage on patients undergoing hemodialysis. *Food Chem Toxicol.* 2016; 92: 1–7. doi: 10.1016/j.fct.2016.03.016.
7. Krikorian R., Boespflug E.L., Fleck D.E., Stein A.L., Wightman J.D., Shidler M.D., et al. Concord grape juice supplementation and neuro-cognitive function in human aging. *J. Agric Food Chem.* 2012; 60 (23): 5736–42. doi: 10.1021/jf300277g.
8. Kokkou E., Siasos G., Georgiopoulos G., Oikonomou E., Verveniotis A., Vavuranakis M., et al. The impact of dietary flavonoid supplementation on smoking-induced inflammatory process and fibrinolytic

- impairment. *Atherosclerosis*. 2016; 251: 266–72. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2016.06.054.
9. Toscano L.T., Silva A.S., Toscano L.T., Tavares R.L., et al. Phenolics from purple grape juice increase serum antioxidant status and improve lipid profile and blood pressure in healthy adults under intense physical training. *J Functional Foods*. 2017; 33: 419–24. doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.063
  10. Haskell-Ramsay C.F., Stuart R.C., Okello E.J., Watson A.W. Cognitive and mood improvements following acute supplementation with purple grape juice in healthy young adults. *Eur J Nutr*. 2017. doi: 10.1007/s00394-017-1454-7
  11. Toaldo I.M., Cruz F.A., Alves Tde L., de Gois J.S., Borges D.L., Cunha H.P., et al. Bioactive potential of *Vitis labrusca* L. grape juices from the Southern Region of Brazil: Phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects. *Food Chemistry*. 2015; 173: 527–35.
  12. Moreno-Montoro M., Olalla-Herrera M., Gimenez-Martinez R., Navarro-Alarcon M., Rufian-Henares J.A. Phenolic compounds and antioxidant activity of Spanish commercial grape juices. *J Food Composition and Analysis*. 2015; 38: 19–26.
  13. Lamport D.J., Lawton C.L., Merat N., Jamson H., Myrissa K., Hofman D., et al. Concord grape juice, cognitive function, and driving performance: a 12-wk, placebo-controlled, randomized crossover trial in mothers of preteen children. *Am J Clin Nutr*. 2016; 103: 775–83.
  14. Zuanazzi C., Maccari P.A., Beninca S.C., Branco C.S., Theodoro H., Vanderlinde R., et al. White grape juice increases HDL cholesterol and reduces body mass index, abdominal and waist circumference in women. *Nutrition*. 2019; 57: 109–14. doi: 10.1016/j.nut.2018.05.026.
  15. Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B. Apple juice nutritional profile. *Voprosypitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (4): 125–136. (in Russian)
  16. Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B. Orange juice nutritional profile. *Voprosypitaniia[Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (6): 103–13. (in Russian)
  17. Ivanova N.N., Khomich L.M., Beketova N.A. Tomato juice nutritional profile. *Voprosypitaniia[Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (2): 53–64. (in Russian)
  18. Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Cherry juice nutritional profile. *Voprosypitaniia[Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (4): 78–86. (in Russian)
  19. Ivanova N.N., Khomich L.M., Perova I.B., Eller K.I. Grapefruit juice nutritional profile. *Voprosypitaniia[Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (5): 85–94. (in Russian)
  20. Code of Practice for Evaluation of Fruit and Vegetables Juices. A.I.J.N. Available at: <http://www.aijn.org/publications/code-of-practice/the-aijn-code-of-practice>. The document was quoted as of 23.10.2018.
  21. Souci S.W., Fachmann W., Kraut H., revised by Kirchoff E. Food composition and nutrition tables, based on the 7th edition. Stuttgart: Medpharm GmbH Scientific Publishers, 2008; 1198–9.
  22. Table CiquaI, Composition Nutritionnelle des aliments de ANSES (Франция). Available at: <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm> The document was quoted as of 23.10.2018.
  23. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Выпуск 28 (США). Available at: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/> The document was quoted as of 23.10.2018.
  24. Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. Tables of the chemical composition and caloric content of Russian food: Handbook. Moscow: DeLi print; 2007.
  25. Dutch Food Composition Database NEVO. Available at: <https://nevo-online.rivm.nl/> The document was quoted as of 23.10.2018.
  26. Norwegian Food Composition table (2012). Available at: <http://www.matvaretabellen.no/> The document was quoted as of 23.10.2018.
  27. Banca Dati di Composizione degli Alimenti per Studi Epidemiologici in Italia (BDA). Available at: <http://www.bdaieo.it/test/SearchForName.aspx?Lan=Eng> The document was quoted as of 23.10.2018.
  28. UK database – McCance, Widdowson, Composition of Foods. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid>. The document was quoted as of 23.10.2018.
  29. Fodevaredata, DTU Fodevareinstituttet. Available at: <http://www.food.dtu.dk/Fejl/Fejl.aspx?aspxerrorpath=/> The document was quoted as of 23.10.2018.
  30. German Nutrient Database: BLS online portal. Available at: <https://www.vitaminedb.com/lebensmittel/> The document was quoted as of 20.08.2018.
  31. The Swedish Food Composition Database, Livsmedelsverket. Available at: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/naringsamnen/livsmedelsdatabasen> The document was quoted as of 23.10.2018.
  32. USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods. Release 3.2 (November 2015). Available at: <https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-database-flavonoid-content-selected-foods-release-32-november-2015>. The document was quoted as of 23.10.2018.
  33. Holland B., Unwin LD., Buss D.H. Fruit and Nuts. 1. Suppl. To McCance & Widdowson's The composition of foods (5. Ed). Royal Soc Chemistry, Cambridge; 1992.
  34. dos Santos Lima M., da Conceicao Prudencio Dutra M., Toaldo I.M., Correac L.C., Pereirac G.E., de Oliveirad D., et al. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced in industrial scale by different processes of maceration. *Food Chemistry*. 2015; 188: 384–92.
  35. Seker M.E., Celik A., Dost K. Determination of vitamin E isomers of grape seeds by high-performance liquid. *J Chromatogr Sci*. 2012; 50: 97–101.
  36. Bombai G., Pasini F., Verardo V., Sevindik O., Di Foggia M., Tessarin P., et al. Monitoring of compositional changes during berry ripening in grape seed extracts of cv. Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *J Sci Food Agric*. 2017; 97 (9): 3058–64.
  37. Genova G., Tosetti R., Tonutti P. Berry ripening, pre-processing and thermal treatments affect the phenolic composition and antioxidant capacity of grape (*Vitis vinifera* L.) juice. *J Sci Food Agric*. 2015; 96 (2): 664–71.
  38. Jeffrey B. Blumberg, Joseph A. Vita and C. -Y. Oliver Chen: Concord Grape Juice Polyphenols and Cardiovascular Risk Factors: Dose-Response Relationships. *Nutrients*. 2015, 7(12), 10032–10052
  39. Kuhn P., Kalariya H.M., Poulev A., Ribnicky D.M., Jaja-Chimedza A., Roopchand D.E., et al. Grape polyphenols reduce gut-localized reactive oxygen species associated with the development of metabolic syndrome in mice. *PLoS ONE*. 2018; 13 (10): e0198716. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198716>.
  40. Singleton V.L., Zaya, J., Trousdale E.K. Caftaric and coumaric acids in fruit of *Vitis*. *Phytochemistry*. 1986; 25: 2127–33.
  41. Technical regulations of the Customs Union TR TC 022/2011 "Food products in terms of its marking" (approved by the Decision of the Commission of the Customs Union of December 9, 2011 No. 881).
  42. Methodical recommendations Rospotrebnadzor MR 2.3.1.2432-08 dated 18.12.2008 "Norms of physiological needs in energy and nutrients for different groups of the population of the Russian Federation".
  43. Methodical recommendations Rospotrebnadzor MR 2.3.1.1915-04 dated 02.07.2004 "Recommended levels of consumption of food and biologically active substances".

**Для корреспонденции**

Жилинская Наталия Викторовна – кандидат биологических наук, врио заведующего лабораторией витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»  
 Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский пр., д. 2/14  
 Телефон: (495) 698-53-45  
 E-mail: tashenka13@inbox.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1596-1213>

Жилинская Н.В., Бессонов В.В., Громовых П.С., Богачук М.Н.

## Развитие современной методической базы контроля содержания витаминов в пищевой продукции и биологически активных добавках к пище

Development of a modern methodological base for monitoring the content of vitamins in food and food supplements

Zhilinskaya N.V., Bessonov V.V., Gromovykh P.S., Bogachuk M.N.

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва  
 Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

*Определение содержания витаминов в различных пищевых матриксах – необходимое условие контроля показателей качества и безопасности пищевой продукции, в том числе при использовании витаминов в качестве пищевых добавок – красителей и антиокислителей, уровня потребления витаминов различными половозрастными категориями населения. В статье представлен анализ нормативно-методической базы в области определения содержания витаминов в пищевой продукции, в том числе в биологически активных добавках к пище. Показано, что важную роль в методах определения играет процесс пробоподготовки. Рассматриваются современные проблемы пробоподготовки образцов пищевой продукции в зависимости от их матрикса. Обозначены задачи совершенствования методической базы, в том числе гармонизация межгосударственных и национальных стандартов РФ с международными нормативными и правовыми документами. Определено, что наиболее перспективными для дальнейшего развития методической базы представляются методы определения витаминов с использованием масс-спектрометрии и капиллярного электрофореза. Эти подходы характеризуются высокой надежностью получаемых результатов, для масс-спектрометрического детектирования характерна исключительная надежность идентификации, а для капиллярного электрофореза – простота проведения анализа.*

**Ключевые слова:** витамины, пищевая продукция, биологически активные добавки к пище, методы определения, высокоэффективная жидкостная хроматография

*The determination of vitamins in various food matrices is necessary for monitoring the quality and safety indicators of food, including the control of the use of vitamins as food*

**Для цитирования:** Жилинская Н.В., Бессонов В.В., Громовых П.С., Богачук М.Н. Развитие современной методической базы контроля содержания витаминов в пищевой продукции и биологически активных добавках к пище // *Вопр. питания.* 2018. Т. 87, № 6. С. 106–116. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10072.

**Статья поступила в редакцию** 10.10.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Zhilinskaya N.V., Bessonov V.V., Gromovykh P.S., Bogachuk M.N. Development of a modern methodological base for monitoring the content of vitamins in food and food supplements. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2018; 87 (6): 106–116. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10072. (in Russian)

**Received** 10.10.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

*additives – food colorings and antioxidants. As well it is necessary to evaluate the level of consumption of vitamins by different age and sex categories of the population. The analysis of the regulatory and methodical basis in the field of determining the content of vitamins in food, including food supplements, has been held. It is shown that the sample preparation process plays an important role in the procedure of determination of vitamins. The modern problems of sample preparation of foods depending on their matrix are considered. The tasks to improve the methodological base, including the harmonization of interstate and national standards of the Russian Federation with international regulatory documents, are marked. It is emphasized that the most promising methods of vitamins' determination for further development are mass-spectrometry and capillary electrophoresis. The selected methods are characterized by high authenticity of the results. Mass-spectrometric detection is characterized by identification reliability. Capillary electrophoresis is characterized by simplicity of analysis.*

**Keywords:** *vitamins, food, food supplements, methods of determination, high-performance liquid chromatography*

Пристальное внимание, направленное на проблемы питания со стороны органов власти, научного сообщества, производителей пищевой продукции и рядовых потребителей, в основном обусловлено негативными последствиями для здоровья, проявляющимися при нарушении структуры питания (пищевое статус). Многолетние эпидемиологические исследования установили структуру наиболее распространенных нарушений пищевого статуса, в том числе способствующих развитию широкого спектра алиментарно-зависимых заболеваний. К таким нарушениям относятся дефицит полиненасыщенных жирных кислот, избыточное потребление пищевой продукции с добавленными сахарами, солью и насыщенными жирами, недостаток витаминов и минеральных веществ в рационах питания [1–3]. Концепция оптимального питания предполагает обеспечение организма человека в оптимальных количествах макронутриентами (белки, жиры, углеводы) и микронутриентами (витамины, витаминоподобные и минеральные вещества), а также минорными биологически активными компонентами пищи. Витамины входят в составы всех групп пищевых продуктов в различных количествах и соотношениях, они являются незаменимым фактором питания, необходимым для обеспечения метаболических процессов, ряд из них обладает неспецифической антиоксидантной активностью. Обеспечение физиологически необходимого количества витаминов повышает адаптационный потенциал организма человека. Антиоксидантные свойства ряда витаминов используются и в пищевой промышленности, например в качестве пищевых добавок – антиокислителей, а красящие свойства рибофлавина позволяют использовать его в качестве пищевого красителя. Этот источник поступления витаминов с пищевыми продуктами также необходимо учитывать [4].

Важнейшим путем профилактики алиментарно-зависимых заболеваний и увеличения продолжительности жизни является оптимизация структуры питания детского и взрослого населения, в том числе реализация неотложных мер по обеспечению рациона питания россиян витаминами с целью ликвидации их дефицита. Особую актуальность эта проблема приобретает в рам-

ках реализации Национального проекта «Демография». Одним из вариантов реализации этого пути является введение в рацион различных категорий пищевой продукции с заданным химическим составом [обогащенная пищевая продукция массового потребления, функциональная пищевая продукция, специализированная пищевая продукция, в том числе биологически активные добавки к пище (БАД)] [5]. При этом определение содержания витаминов в различных пищевых матриксах является необходимым условием для контроля показателей качества и безопасности пищевой продукции, в том числе при использовании витаминов в качестве пищевых добавок – антиокислителей, уровня потребления витаминов различными половозрастными категориями населения. В связи с этим возникает острая необходимость актуализации существующей методической базы и повышение ее эффективности для быстрого, точного, надежного определения витаминов в пищевых продуктах.

Аналитические методы определения витаминов в пищевой продукции можно условно разделить на 3 группы: скрининг (полуколичественный), количественный и качественный. Условно методы определения витаминов можно поделить на ряд групп, которые определяются условиями приборного оформления и принципами детекции.

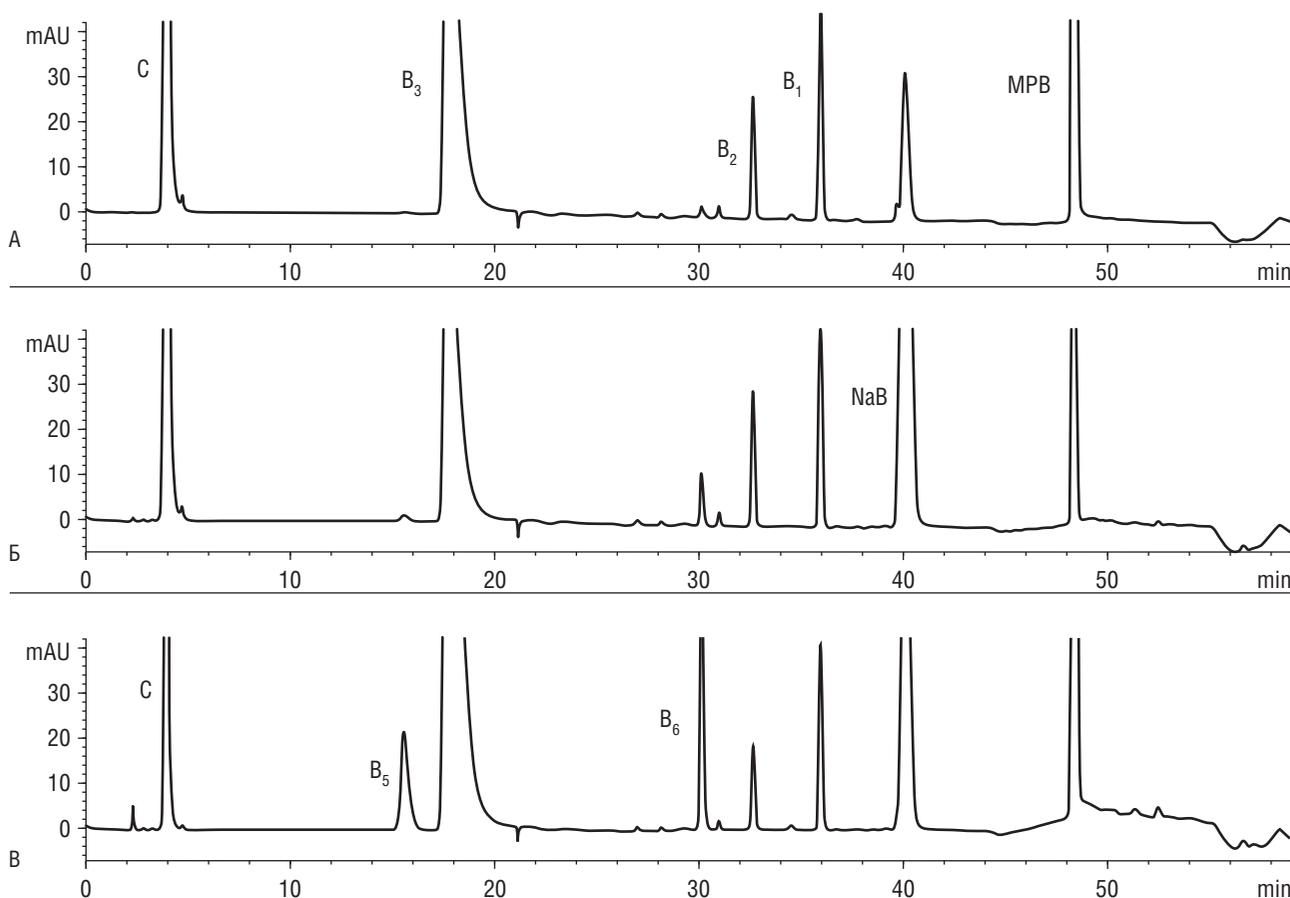
С помощью существующих иммуноферментных методов (ИФА) можно определить витамин В<sub>12</sub>, фолиевую кислоту, биотин. Основными недостатками данного метода считаются высокая стоимость и необходимость одновременного исследования большого количества образцов [6] для снижения стоимости исследования единичного образца. Для определения витаминов В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub>, биотина, фолиевой и пантотеновой кислот в пищевой продукции успешно используют микробиологические методы анализа. Достоинствами данного метода являются высокая чувствительность и минимальная подготовка проб исследуемых образцов продукции. Микробиологическое определение витаминов легло в основу методической и нормативной документации в США и странах Европейского союза (ЕС). Недостатками данного метода являются повышенные требования к микробиологической чистоте посуды, реактивов, а также длительность процесса культивирования [7].

Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) является одним из наиболее часто используемых методов определения как водо-, так и жирорастворимых витаминов. Метод ВЭЖХ позволяет производить разделение с одновременным количественным определением содержания витаминов при их совместном присутствии в пищевой продукции. На рис. 1 представлен пример хроматограммы, полученной с применением ВЭЖХ с использованием ультрафиолетового детектирования (диодная матрица), одновременного количественного определения витаминов С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, В<sub>5</sub> и В<sub>6</sub> в поливитаминном сиропе [8]. На рис. 2 представлен пример хроматограммы, полученной с применением ВЭЖХ с использованием ультрафиолетового детектирования (диодная матрица), одновременного количественного определения витаминов С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>8</sub>, В<sub>9</sub> и В<sub>12</sub> в поливитаминном комплексе [9].

Основные преимущества метода жидкостной хроматографии применительно к анализу витаминов определены ее высокой точностью и чувствительностью,

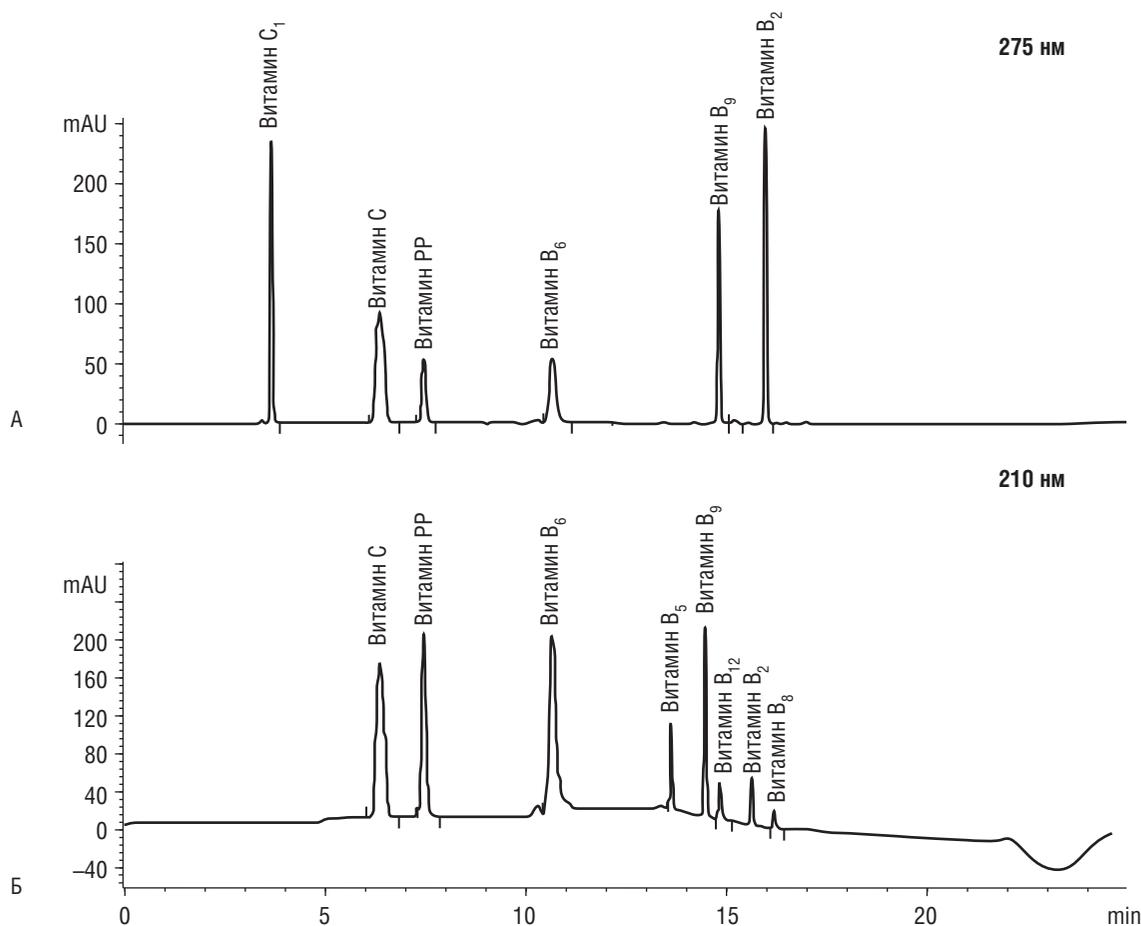
возможностью определения различных форм витаминов, очень близких по своему строению и свойствам; возможностью автоматизации процесса; широким интервалом концентраций определяемых соединений. Сочетание с другими физико-химическими методами дает возможность подтвердить данные о содержании витаминов в пищевой продукции, полученные методами ВЭЖХ и ИФА [10].

Помимо ВЭЖХ, для одновременного анализа нескольких водорастворимых витаминов применяется метод капиллярного электрофореза, основанный на принципе разной скорости миграции заряженных частиц и молекул в постоянном электрическом поле. Основными преимуществами капиллярного электрофореза по сравнению с хроматографическими методами является более высокая эффективность и малый расход реактивов. Пример электрофореграммы одновременного определения витаминов В<sub>1</sub> (тиамина гидрохлорид), В<sub>5</sub> (пантотеновая кислота), РР (никотинамид и никотиновая кислота), В<sub>6</sub> (пиридоксин) в поливита-



**Рис. 1.** Пример ВЭЖ-хроматограммы одновременного количественного определения витаминов С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР (В<sub>3</sub>), В<sub>5</sub> и В<sub>6</sub> в поливитаминном сиропе [8]

По оси абсцисс – время удерживания, мин; по оси ординат – поглощение при длине волны 254 нм (А), 230 нм (Б) и 210 нм (В), миллиабсорбционные единицы; условия определения: подвижная фаза А – 12,5 мМ гексан-1-сульфоновая кислота, 0,1% фосфорная кислота, рН 2,4–2,5; подвижная фаза Б – ацетонитрил (0–30%); неподвижная фаза – С<sub>18</sub> 250С4,6 мм, размер пор 5 мкм; тип элюирования – градиент.



**Рис. 2.** Пример ВЭЖ-хроматограммы одновременного количественного определения витаминов С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>8</sub>, В<sub>9</sub> и В<sub>12</sub> в поли-витамином комплексе [9]

По оси абсцисс – время удерживания; по оси ординат – поглощение при детектировании при длине волны 275 нм (А) и 210 нм (Б), миллиабсорбционные единицы; условия определения: подвижная фаза А – вода, очищенная на системе Milli-Q, подкисленная трифторуксусной кислотой до рН 2,6; подвижная фаза Б – ацетонитрил (0–40%); неподвижная фаза – С<sub>18</sub> 250Ч4,6 мм, размер пор 5 мкм; тип элюирования – градиент.

минных комплексах, полученной нами, представлен на рис. 3. Перспективным развитием данного метода является использование масс-селективных детекторов и миниатюризация [11].

Основная нормативная документация, используемая для определения витаминов в пищевой продукции, актуальная на настоящее время, представлена в табл. 1.

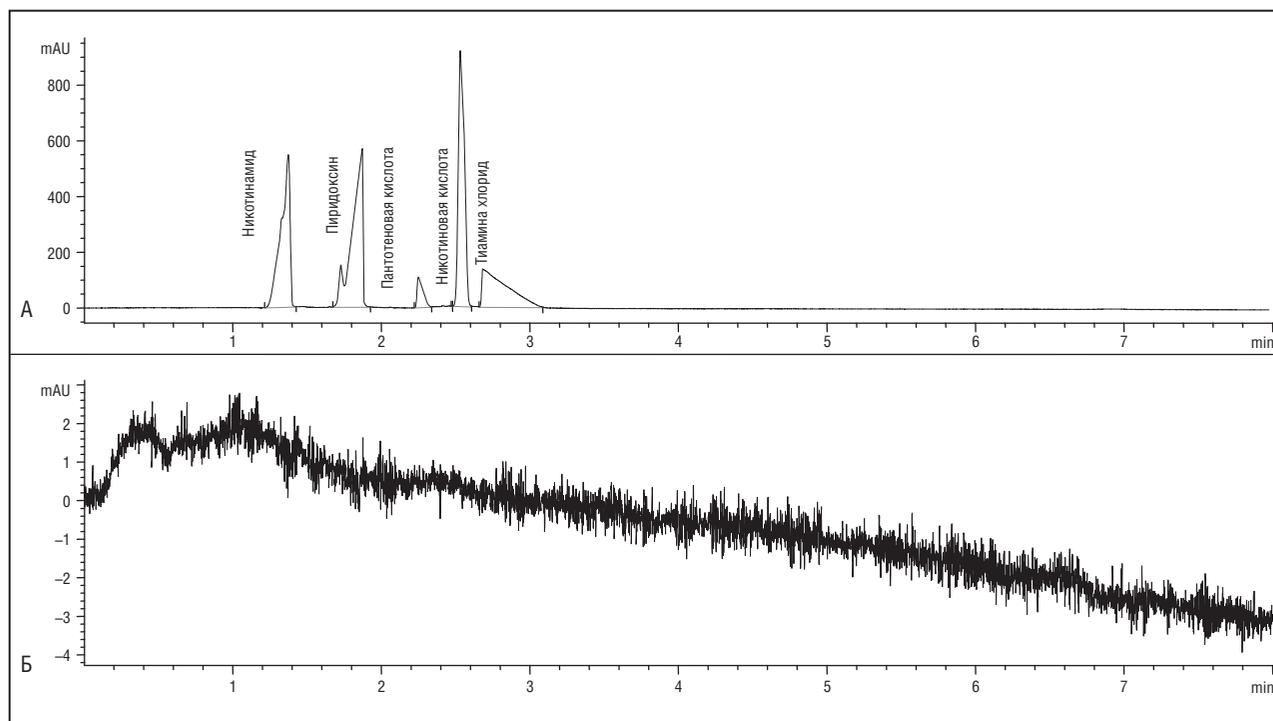
Анализ данных, приведенных в табл. 1, указывает на то, что очень часто стандартизованный метод исследования распространяется на узкую группу продукции (или на единичный продукт). При этом основные принципы детектирования витаминов являются общими, область применения методов может быть существенно расширена исключительно за счет разработки новых способов подготовки образцов для анализа (в зависимости от типа пищевого продукта). Например, для мяса и мясной продукции разработаны национальные стандарты на определение водо- и жирорастворимых витаминов:

- ГОСТ 32307–2013 Мясо и мясные продукты. Определение содержания жирорастворимых витаминов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии – определение массовой доли витамина А (суммы ретинола и его сложнэфирных форм), D<sub>2</sub> (эргокальциферола), D<sub>3</sub> (холекальциферола), Е (суммы токоферола и его сложнэфирных форм) с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии;

фтии – определение массовой доли витамина А (суммы ретинола и его сложнэфирных форм), D<sub>2</sub> (эргокальциферола), D<sub>3</sub> (холекальциферола), Е (суммы токоферола и его сложнэфирных форм) с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии;

- ГОСТ Р 55482-2013 Мясо и мясные продукты. Метод определения содержания водорастворимых витаминов – определение массовой доли В<sub>1</sub> (тиамин, тиаминмонофосфат, тиаминдифосфат, тиаминтрифосфат); В<sub>2</sub> (рибофлавин, флавиномононуклеотид, флавиндинуклеотид); В<sub>3</sub> (никотиновая кислота, никотинамид); В<sub>5</sub> (пантотеновая кислота, кофермент А); В<sub>6</sub> (пиридоксин, пиридоксамин, пиридоксаль, пиридоксальфосфат и пиридоксаминфосфат); В<sub>12</sub> (цианкобаламин, гидроксикобаламин, метилкобаламин, 5-дезоксаденозилкобаламин); С (аскорбиновая кислота); биотина с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Из представленных данных видно, что на территории Российской Федерации нет межгосударственных и национальных стандартов по методам определения



**Рис. 3.** Пример электрофореграммы одновременного количественного определения витаминов в поливитаминном комплексе (А) и дрейфа нулевой линии (Б)

По оси абсцисс – время удерживания; по оси ординат – поглощение при детектировании при длине волны 210 нм, миллиабсорбционные единицы; условия определения: экстрагент – вода.

**Таблица 1.** Нормативно-методическая документация по определению витаминов в пищевой продукции

Показатель	Документы РФ (межгосударственные и национальные стандарты)	Документы США и ЕС
Витамин С	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 24556-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С.</li> <li>– ГОСТ 30627.2-98 Продукты молочные для детского питания. Методы измерения массовой доли витамина С (аскорбиновой кислоты).</li> <li>– ГОСТ Р 52690-2006 Продукты пищевые. Вольтамперометрический метод определения концентрации витамина С.</li> <li>– ГОСТ Р EN 14130-2010 Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии.</li> <li>– ГОСТ 34151-2017 Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (вступает в действие 01.01.2019).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– AOAC 985.33 Vitamin C in juices and vitamin preparation 2,6-Dichloroindophenotitration.</li> <li>– AOAC 967.22 Vitamin C in juices and vitamin preparation Fluorescence Method.</li> <li>– AOAC 2012.21 Vitamin C in Infant Formula and Adult/Pediatric Nutritional Formula by HPLC with UV Detection.</li> <li>– AOAC 2012.22 Vitamin C in Infant Formula and Adult/Pediatric Nutritional Formula by UHPLC-UV.</li> <li>– BS EN 14130:2003 Foodstuffs. Determination of vitamin C by HPLC.</li> <li>– BS ISO 20635:2018. Infant formula and adult nutritionals. Determination of vitamin C by (ultra) high performance liquid chromatography with ultraviolet detection ((U)HPLC-UV)</li> </ul>
Витамин В <sub>1</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 25999-83 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витаминов В<sub>1</sub> и В<sub>2</sub>.</li> <li>– ГОСТ 29138-91 Мука, хлеб и хлебобулочные изделия пшеничные витаминизированные. Метод определения витамина В<sub>1</sub> (тиамина).</li> <li>– ГОСТ 30627.5-98 Продукты молочные для детского питания. Метод измерения массовой доли витамина В<sub>1</sub> (тиамина).</li> <li>– ГОСТ EN 14122-2013 Продукты пищевые. Определение витамина В<sub>1</sub> с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии.</li> <li>– ГОСТ 32903-2014 Продукция соковая. Определение водорастворимых витаминов: тиамина (В<sub>1</sub>), рибофлавина (В<sub>2</sub>), пиридоксина (В<sub>6</sub>) и никотинамида (РР) методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– AOAC 942.23 Thiamin (Vitamin B<sub>1</sub>) in Human and Pet Foods Fluorometric Method.</li> <li>– AOAC 953.17 Thiamin (Vitamin B<sub>1</sub>) in Grain Products Fluorometric Method.</li> <li>– AOAC 957.17 Thiamin (Vitamin B<sub>1</sub>) in Bread Fluorometric Method.</li> <li>– AOAC 986.27 Thiamin (Vitamin B<sub>1</sub>) in Milk-Based Infant Formula Fluorometric Method.</li> <li>– DIN EN 14122 Foodstuffs – Determination of vitamin B<sub>1</sub> by high performance liquid chromatography.</li> <li>– ISO/CD 21470 Infant formula and adult nutritionals – Determination of vitamin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and B<sub>6</sub> content by liquid chromatography and tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) (в разработке)</li> </ul>

Продолжение табл. 1

Показатель	Документы РФ (межгосударственные и национальные стандарты)	Документы США и ЕС
Витамин В <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 25999-83 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витаминов В<sub>1</sub> и В<sub>2</sub>.</li> <li>– ГОСТ 29139-91 Мука, хлеб и хлебобулочные изделия пшеничные витаминизированные. Метод определения витамина В<sub>2</sub> (рибофлавина).</li> <li>– ГОСТ 30627.6-98 Продукты молочные для детского питания. Методы измерения массовой доли витамина В<sub>2</sub> (рибофлавина).</li> <li>– ГОСТ EN 14152-2013 Продукты пищевые. Определение витамина В<sub>2</sub> с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии.</li> <li>– ГОСТ 32903-2014 Продукция соковая. Определение водорастворимых витаминов: тиамин (В<sub>1</sub>), рибофлавин (В<sub>2</sub>), пиридоксин (В<sub>6</sub>) и никотинамид (РР) методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– AOAC 970.65 Riboflavin (vitamin В<sub>2</sub>) in foods and vitamin preparations Fluorometric Method.</li> <li>– AOAC 985.31 Riboflavin in Ready-to Feed Milk Based Infant Formula Fluorometric Method.</li> <li>– DIN EN 14152 Foodstuffs – Determination of vitamin В<sub>2</sub> by high performance liquid chromatography</li> <li>– ISO/CD 21470 Infant formula and adult nutritionals – Determination of vitamin В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub> and В<sub>6</sub> content by liquid chromatography and tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) (в разработке)</li> </ul>
Витамин РР	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 29140-91 Мука, хлеб и хлебобулочные изделия пшеничные витаминизированные. Метод определения витамина РР (никотиновой кислоты).</li> <li>– ГОСТ 50479-93 Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения содержания витамина РР.</li> <li>– ГОСТ 30627.4-98 Продукты молочные для детского питания. Метод измерения массовой доли витамина РР (ниацина).</li> <li>– ГОСТ 32903-2014 Продукция соковая. Определение водорастворимых витаминов: тиамин (В<sub>1</sub>), рибофлавин (В<sub>2</sub>), пиридоксин (В<sub>6</sub>) и никотинамид (РР) методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии.</li> <li>– ГОСТ EN 15652-2015 Продукты пищевые. Определение ниацина методом высокоэффективной жидкостной хроматографии</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– AOAC 944.13 Niacin and niacinamide in vitamin preparations; Microbiological assay.</li> <li>– AOAC 961.14 Niacin and niacinamide in drugs, food and feeds; Colourimetric Method.</li> <li>– AOAC 975.41 Niacin and niacinamide in cereal products; Colourimetric Method.</li> <li>– AOAC 981.16 Niacin and niacinamide in food, drugs and feeds; Colorimetric Method.</li> <li>– AOAC 968.32 Niacinamide in multivitamin preparations; Spectrophotometric Method.</li> <li>– AOAC 985.34 Niacin and niacinamide in ready to feed, milk-based infant formula; Microbiological assay.</li> <li>– BS EN 15652:2009 Foodstuffs. Determination of niacin by HPLC.</li> <li>– ISO/CD 21470 Infant formula and adult nutritionals - Determination of vitamin В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub> and В<sub>6</sub> content by liquid chromatography and tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) (в разработке)</li> </ul>
Пантотеновая кислота	Отсутствует	<ul style="list-style-type: none"> <li>– AOAC 992.07 Pantothenic Acid in Milk-based Infant Formula Microbiological assay.</li> <li>– AOAC 2012.16 Pantothenic Acid (Vitamin В<sub>5</sub>) in Infant Formula and Adult/Pediatric Nutritional Formula UPLC-MS/MS</li> </ul>
Витамин В <sub>6</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 32903-2014 Продукция соковая. Определение водорастворимых витаминов: тиамин (В<sub>1</sub>), рибофлавин (В<sub>2</sub>), пиридоксин (В<sub>6</sub>) и никотинамид (РР) методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии.</li> <li>– ГОСТ EN 14164-2014 Продукты пищевые. Определение витамина В<sub>6</sub> с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии.</li> <li>– ГОСТ EN 14663-2014 Продукция пищевая. Определение витамина В<sub>6</sub> (включая гликозилированные формы) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– AOAC 2004.07 Total Vitamin В<sub>6</sub> in infant formula LC Fluorescence Method.</li> <li>– AOAC 985.32 Vitamin В<sub>6</sub> in Ready-to-feed milk based infant formula Microbiological assay.</li> <li>– BS EN 14166:2009 Foodstuffs. Determination of vitamin В<sub>6</sub> by Microbiological assay.</li> <li>– BS EN 14663:2005 Foodstuffs. Determination of vitamin В<sub>6</sub> (including its glycosylated forms) by high performance liquid chromatography (HPLC).</li> <li>– BS EN 14164:2014 Foodstuffs. Determination of vitamin В<sub>6</sub> by HPLC.</li> <li>– ISO/CD 21470 Infant formula and adult nutritionals - Determination of vitamin В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub> and В<sub>6</sub> content by liquid chromatography and tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) (в разработке)</li> </ul>
Фолиевая кислота	Отсутствует	<ul style="list-style-type: none"> <li>– AOAC 2004.05 Total folates in cereals and cereal products Microbiological assay.</li> <li>– AOAC 2011.06 Total Folates in Infant Formula and Adult Nutritionals UPLC-MS/MS.</li> <li>– BS EN 14131:2003 Foodstuffs. Determination of folate by Microbiological assay</li> </ul>
Витамин В <sub>12</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ ISO 20634-2018 Смеси адаптированные для искусственного вскармливания детей раннего возраста и смеси для энтерального питания взрослых. Определение витамина В<sub>12</sub> методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (вступает в действие с 01.09.2019)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– AOAC 952.20 Vitamin В<sub>12</sub> in vitamin preparations Microbiological assay.</li> <li>– AOAC 986.23 Vitamin В<sub>12</sub> in milk-based infant formula by Microbiological assay.</li> <li>– AOAC 2011.08 and 2011.09 Vitamin В<sub>12</sub> in infant formula and adult nutritionals by HPLC-UV with immunoaffinity extraction after conversion to cyanocobalamin.</li> <li>– AOAC 2011.10 Vitamin В<sub>12</sub> in infant formula and adult nutritionals by HPLC-UV with column switching after solid phase extraction.</li> </ul>

Показатель	Документы РФ (межгосударственные и национальные стандарты)	Документы США и ЕС
		– ISO 20634:2015 Infant formula and adult nutritionals – Determination of vitamin B <sub>12</sub> by reversed phase high performance liquid chromatography (RP-HPLC)
Биотин	– ГОСТ EN 15607-2015 Продукты пищевые. Определение D-биотина методом высокоэффективной жидкостной хроматографии	– BS EN 15607:2009 Foodstuffs. Determination of d-biotin by HPLC
Витамин А	– ГОСТ 30417-96 Масла растительные. Методы определения витаминов А и Е. – ГОСТ 30627.1-98 Продукты молочные для детского питания. Метод измерения массовой доли витамина А (ретинола). – ГОСТ Р 54635-2011 Продукты пищевые функциональные. Метод определения витамина А. – ГОСТ EN 12823-2-2014 Продукты пищевые. Определение содержания витамина А методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Ч. 2. Измерение содержания β-каротина. – ГОСТ 34253-2017 Продукты пчеловодства. Метод определения витамина А (вступает в действие 01.01.2019). – ГОСТ ISO 20633-2018 Смеси адаптированные для искусственного вскармливания детей раннего возраста и смеси для энтерального питания взрослых. Определение содержания витамина Е и витамина А с помощью нормально-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (вступает в действие 01.09.2019)	– AOAC 992.04 Vitamin A in milk-based Infant formula Liquid Chromatographic Method. – AOAC 2001.13 Vitamin A (Retinol) in Foods Liquid Chromatographic Method. – AOAC 2012.10 NEW First Action 2012: Simultaneous Determination of Vitamins A and E in Infant Formula and Adult/Pediatric Nutritional Formula by Normal-Phase HPLC. – BS EN 12823-1:2014 Foodstuffs. Determination of vitamin A by high performance liquid chromatography. Measurement of all-E-retinol and 13-Z-retinol. – DIN EN 12823-2 Foodstuffs – Determination of vitamin A by high performance liquid chromatography – Part 2: Measurement of beta-carotene. – ISO 12080-1:2009 Dried skimmed milk – Determination of vitamin A content – Part 1: Colorimetric method. – ISO 12080-2:2009 Dried skimmed milk – Determination of vitamin A content – Part 2: Method using high-performance liquid chromatography. – ISO/DIS 20633:2015 Infant formula and adult nutritionals – Determination of vitamin E and vitamin A by normal phase high performance liquid chromatography
Витамин Е	– ГОСТ 30417-96 Масла растительные. Методы определения витаминов А и Е. – ГОСТ 30627.3-98 Продукты молочные для детского питания. Метод измерения массовой доли витамина Е (токоферол). – ГОСТ Р 54634-2011 Продукты пищевые функциональные. Метод определения витамина Е. – ГОСТ EN 12822-2014 Продукты пищевые. Определение содержания витамина Е (альфа-, бета-, гамма- и дельта-токоферолов) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. – ГОСТ ISO 20633-2018 Смеси адаптированные для искусственного вскармливания детей раннего возраста и смеси для энтерального питания взрослых. Определение содержания витамина Е и витамина А с помощью нормально-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (вступает в действие 01.09.2019)	– AOAC 2012.10 NEW First Action 2012: Simultaneous Determination of Vitamins A and E in Infant Formula and Adult/Pediatric Nutritional Formula by Normal-Phase HPLC. – DIN EN 12822 Foodstuffs – Determination of vitamin E by high performance liquid chromatography – Measurement of α-, β-, γ- and δ-tocopherols. – ISO/DIS 20633:2015 Infant formula and adult nutritionals – Determination of vitamin E and vitamin A by normal phase high performance liquid chromatography. – BS EN ISO 9936:2016. Animal and vegetable fats and oils. Determination of tocopherol and tocotrienol contents by high-performance liquid chromatography
Витамин D	– ГОСТ Р 54637-2011 Продукты пищевые функциональные. Метод определения витамина D <sub>3</sub> . – ГОСТ 32916-2014 Молоко и молочная продукция. Определение массовой доли витамина D методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. – ГОСТ EN 12821-2014 Продукты пищевые. Определение содержания холекальциферола (витамина D <sub>3</sub> ) и эргокальциферола (витамина D <sub>2</sub> ) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии	– AOAC 936.14 Vitamin D in Milk, Vitamin Preparations, and Feed Concentrates Rat Bioassay. – AOAC 995.05 Vitamin D in Infant formula and enteral products. – AOAC 2011.11 Vitamin D in Infant Formula and Adult/Pediatric Nutritional Formula UHPLC/MS/MS. – ISO 14892:2002 Dried skimmed milk – Determination of vitamin D content using high-performance liquid chromatography. – BS EN 12821:2009 Foodstuffs. Determination of vitamin D by high performance liquid chromatography. Measurement of cholecalciferol (D <sub>3</sub> ) or ergocalciferol (D <sub>2</sub> ). – ISO 20636:2018 Infant formula and adult nutritionals – Determination of vitamin D by liquid chromatography-mass spectrometry
Витамин К	– ГОСТ EN 14148-2015 Продукция пищевая. Определение витамина К <sub>1</sub> методом высокоэффективной жидкостной хроматографии	– AOAC Official Method 999.15 Vitamin K in Milk and Infant Formulas Liquid Chromatographic Method. – BS EN 14148:2003 Foodstuffs. Determination of vitamin K <sub>1</sub> by HPLC. – ISO/PRF 21446 Infant formula and adult nutritionals – Determination of trans and total (cis + trans) vitamin K <sub>1</sub> content – Normal phase HPLC (в разработке)

фолиевой кислоты в пищевой продукции. Кроме того, ограничены области определения пантотеновой кислоты (только мясо и мясная продукция) и витамина В<sub>12</sub> (смеси, адаптированные для искусственного вскармливания детей раннего возраста, смеси для энтерального питания взрослых, мясо и мясная продукция). При этом в мировой практике активно используются стандарты по определению данных витаминов во всех категориях пищевой продукции, в том числе специализированной пищевой продукции для детского питания. Отмечаем, что существуют методы статуса МВИ (методы выполнения измерений), доступность применения которых затруднена.

Аналитические характеристики методов определения витаминов в пищевой продукции в большей степени ограничены процессами подготовки проб. С развитием

аналитической химии и формированием современной приборной базы появились новые эффективные технологии подготовки образцов, которые значительно снижают время проведения исследования, а также в большинстве случаев являются полуавтоматическими или автоматическими, что уменьшает риски, связанные с человеческим фактором, в том числе получение недостоверных результатов.

За последнее десятилетие существенно расширился перечень методов пробоподготовки: если раньше использовали в основном жидкостную экстракцию (табл. 2), то сейчас все чаще применяют ультразвуковую, сверхкритическую флюидную, дисперсионную жидкостную экстракцию и др. Основные методы предварительной подготовки образцов пищевой продукции приведены в табл. 2 [12].

Таблица 2. Методы подготовки проб для определения витаминов в пищевых матрицах [12]

Подготовка проб	Метод определения витамина	Пищевая продукция	Витамин
Жидкостная экстракция	Жидкостная хроматография с ультрафиолетовым детектированием	Молоко, фруктовые и овощные соки	Е (α-, γ- и δ-токоферол); D (холекальциферол, эргокальциферол) [13]
	Жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием	Молоко	D (холекальциферол) [14]
		Пищевая продукция, в том числе специализированная пищевая продукция для детского питания	D (холекальциферол, эргокальциферол) [15]
	Высокоскоростная жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием	Специализированная пищевая продукция для детского питания, поливитаминные комплексы (БАД)	Жирорастворимые витамины (ретинол, ретинилацетат, ретинилпальмитат, холекальциферол (D <sub>3</sub> ), α-, β-, γ- и δ-токоферол, α-токоферилацетат) [16]
	Мицеллярная электрокинетическая хроматография	БАД	Жиро- и водорастворимые витамины [17, 18]
Ультразвуковая экстракция и фильтрация	Жидкостная хроматография с ультрафиолетовым детектированием	Соки, молоко, специализированная пищевая продукция для детского питания	В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub> , РР, В <sub>6</sub> , фолиевая кислота, В <sub>12</sub> , С [19]
	Высокоскоростная жидкостная хроматография	Энергетические напитки, холодные чаи	С [20]
Разведение	Жидкостная хроматография с ультрафиолетовым детектированием	Мед	В <sub>1</sub> (тиамин), РР (никотинамид, никотиновая кислота), В <sub>5</sub> (D-пантотеновая кислота), В <sub>6</sub> (пиридоксин), С (L-аскорбиновая кислота) [21]
		БАД	Одновременное определение витаминов D <sub>3</sub> , Е (ацетат), К <sub>1</sub> , β-каротина, А (пальмитат) [22]
	Спектрофлуориметрия	Соки	С [23]
	Вольтамперметрический метод	БАД	В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub> , В <sub>6</sub> [24]
Сверхкритическая флюидная экстракция	Жидкостная хроматография с ультрафиолетовым детектированием	Пищевая продукция	Е, D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub> , К, С, РР, В <sub>6</sub> , В <sub>2</sub> , В <sub>1</sub> [25]
Экстракция и фильтрация	Жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием	Фрукты и овощи	К <sub>1</sub> [26]
	Проточно-инжекционный анализ	Специализированная пищевая продукция для детского питания	Е (α-токоферол) [27]
Дисперсионная жидко-жидкостная экстракция	Жидкостная хроматография с ультрафиолетовым (диодно-матричным) и масс-спектрометрическим детектированием	Специализированная пищевая продукция для детского питания	D, К [28]
Центрифугирование и экстракция	Жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием	Соки, сокосодержащие напитки	С (L-аскорбиновая кислота) [29]

Трудности в создании методик определения витаминов во многом обусловлены сложностью объектов анализа, таких как обогащенная и специализированная пищевая продукция, в том числе БАД, в состав которых, помимо витаминов, иногда могут входить естественные сорбенты, такие как растворимые и нерастворимые пищевые волокна, а также в невысоких концентрациях биологически активные вещества, пищевые добавки, красители и другие пищевые ингредиенты, которые могут существенно повлиять как на идентификацию витаминов, так и на достоверность их количественного определения. Поэтому разработка методик количественного определения водо- и жирорастворимых витаминов в пищевой продукции является актуальной задачей. Также в рамках совершенствования методической базы в связи с ростом международного товарооборота необходимо гармонизировать национальные методы (и методы, используемые в рамках Европейского экономического сообщества) с международными нормативными и правовыми документами. Проведенный обзор перспективных разрабатываемых методов показал, что наибольшее внимание в развитии методической базы уделяется методам, использующим масс-спектрометрию для детекции определяемых веществ. Этот

метод характеризуется исключительной надежностью идентификации, что позволяет использовать его для анализа сложных пищевых матриц. Мало внимания со стороны разработчиков методов по определению витаминов уделяется такому перспективному направлению для анализа витаминов в пищевой продукции, как капиллярный электрофорез. Наряду с простотой проведения анализа этот метод характеризуется отсутствием применения органических растворителей, что упрощает организацию работы лабораторий, использующих этот метод.

Разрабатываемые методы должны быть максимально применимы ко всем существующим матрицам пищевой продукции и транслированы в нормативные и методические документы с соблюдением всех современных требований к метрологическому обеспечению.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансировании Российского научного фонда (проект № 14-16-00055).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

### Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва):

*Жилинская Наталия Викторовна* – кандидат биологических наук, врио заведующего лабораторией витаминов и минеральных веществ

E-mail: tashenka13@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1596-1213>

*Бессонов Владимир Владимирович* – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией химии пищевых продуктов

E-mail: bessonov@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3587-5347>

*Громовых Петр Сергеевич* – кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ

E-mail: gromovykh@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3774-1868>

*Богачук Мария Николаевна* – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов

E-mail: bmariyan@mail.ru

### Литература

1. Wang Y., Guglielmo D., Welsh J.A. Consumption of sugars, saturated fat, and sodium among US children from infancy through preschool age, NHANES 2009-2014 // *Am. J. Clin. Nutr.* 2018. Vol. 108, N 4. P. 868–877. doi: 10.1093/ajcn/nqy16.
2. Mendoza R., Tolentino-Mayo L., Hernandez-Barrera L. et al. Modifications in the consumption of energy, sugar, and saturated fat among the Mexican adult population: simulation of the effect when replacing processed foods that comply with a front of package labeling system // *Nutrients.* 2018. Vol. 10, N 1. pii: E101. doi: 10.3390/nu10010101.
3. Коленцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы // *Вопр. питания.* 2017. Т. 86. № 4. С. 113–124. doi: 10.24411/0042-8833-2017-00067.
4. Eggersdorfer M., Laudert D., Letinois U., McClymont T., Medlock J., Netscher T. et al. One hundred years of vitamins – A success story of the natural sciences // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 2012. Vol. 51. P. 12960–12990. doi: 10.1002/anie.201205886.
5. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 25.10.2010 № 1873-р.
6. Kumar S.S., Chouhan R.S., Thakur M.S. Trends in analysis of vitamin B12. *Anal Biochem.* 2010. Vol. 398, N 2. P. 139–149. doi: 10.1016/j.ab.2009.06.041.
7. Rahman T., Chowdhury M.M., Islam M.D., Akhtaruzzaman M. Microbiological assay of folic acid content in some selected Bangladeshi food stuffs // *International Journal of Biology.* 2015. Vol. 7, N. 2. doi:10.5539/ijb.v7n2p35.

8. Vidovica S., Stojanovica B., Veljkovica J., Prazic-Arsic L., Roglic G. et al. Simultaneous determination of some water-soluble vitamins and preservatives in multivitamin syrup by validated stability-indicating high-performance liquid chromatography method // *J. Chromatogr. A*. 2008. N 1202. P. 155–162.
9. Heudi O., Kilic T., Fontannaz P. Separation of water-soluble vitamins by reserved-phase high-performance liquid chromatography with ultra-violet detection: application to polyvitaminated premixes // *J. Chromatogr. A*. 2005. N 1070. P. 49–52.
10. Куликовский А.В., Чернуха И.М., Кузнецова О.А., Иванкин А.Н. Метод аналитического контроля в практике пищевых лабораторий // *Все о мясе*. 2015. № 6. С. 24–27.
11. Беккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза // *М. : Техносфера*, 2009. 458 с.
12. Zhang Y., Zhou W., Yan J., Liu M., Zhou Y., Shen X. et al. A Review of the extraction and determination methods of thirteen essential vitamins to the human body: an update from 2010 // *Molecules*. 2018. Vol. 23, N 6. doi: 10.3390/molecules23061484.
13. Barba F.J., Esteve M.J., Frigola A. Determination of vitamins E ( $\alpha$ -,  $\gamma$ - and  $\delta$ -tocopherol) and D (cholecalciferol and ergocalciferol) by liquid chromatography in milk, fruit juice and vegetable beverage // *Eur. Food Res. Technol.* 2011. Vol. 232. P. 829–836. doi: 10.1007/s00217-011-1450-8.
14. Kasalova E., Aurfartova J., Kujovska-Krcmova L., Solichova D., Solich P. Recent trends in the analysis of vitamin D and its metabolites in milk – a review // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 171. P. 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.102>.
15. Gilliland D.L., Black C.K., Denison J.E., Seipelt C.T., Baught S. Simultaneous determination of vitamins D2 and D3 by electrospray ionization LC/MS/MS in infant formula and adult nutritional. First action 2012.11 // *J. AOAC Int.* 2013. Vol. 96. P. 1387–1395. doi: 10.5740/jaoacint.13-176.
16. Nimalaratne C., Sun C., Wu J., Curtis J.M., Schieber A. Quantification of selected fat soluble vitamins and carotenoids in infant formula and dietary supplements using fast liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry // *Food Research International*. 2014. Vol. 66. P. 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.034>
17. Hu W., Kefeng L., Liping Y., Wang C., Van Schepdael A. Recent advances in vitamins analysis by capillary electrophoresis // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2018. Vol. 147. P. 278–287. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.07.030>.
18. Передеряев О.И., Богачук М.Н., Бессонов В.В. Методика количественного определения водорастворимых витаминов в витаминных премиксах и пищевых продуктах с использованием мицелярной электрокинетической хроматографии на коротком конце капилляра // *Вопр. питания*. 2011. Т. 80, № 3. С. 67–74.
19. Antakli S., Sarkees T., Sarraf T. Determination of water-soluble vitamins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>12</sub> and C on C<sub>18</sub> column with particle size  $\mu$ m in some manufactured food products by HPLC with UV-DAD/FLD detection // *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 2015. Vol. 7, N 6. P. 219–224.
20. Turak F., Guzel R., Dinc E. Simultaneous determination of ascorbic acid and caffeine in commercial soft drinks using reversed-phase ultraperformance liquid chromatography // *J. Food Drug Anal.* 2017. Vol. 25, N 2. P. 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.004>
21. Abano E.E., Dadzie R.G. Simultaneous detection of water-soluble vitamins using the High Performance Liquid Chromatography (HPLC) – a review // *Croat. J. Food Sci. Technol.* 2014. Vol. 6, N 2. P. 116–123.
22. Rakuza Z.T., Srećnik E., Roskar R. Novel HPLC-UV method for simultaneous determination of fat-soluble vitamins and coenzyme Q10 in medicines and supplements // *Acta Chim. Slov.* 2017. Vol. 64. P. 523–529. doi: 10.17344/acsi.2016.2856.
23. da Silva T.L., Aguiar-Oliveira E., Mazalli M.R., Kamimura E.S., Maldonado R.R. Comparison between titrimetric and spectrophotometric methods for quantification of vitamin C // *Food Chem.* 2017. Vol. 224. P. 92–96.
24. Westmacott K.L., Crew A., Doran O., Hart J.P. A novel electroanalytical approach to the measurement of B vitamins in food supplements based on screen-printed carbon sensors // *Talanta*. 2018. Vol. 181. P.13–18. doi: 10.1016/j.talanta.2017.12.074.
25. Tyskiewicz K., Debczak A., Gieysztor R., Szymczak T., Roj E. Determination of fat- and water-soluble vitamins by supercritical fluid chromatography: a review // *J. Sep. Sci.* 2017. Vol. 41, N 1. P. 336–350. <https://doi.org/10.1002/jssc.201700598>.
26. Japelt R.B., Jakobsen J. Analysis of vitamin K<sub>1</sub> in fruits and vegetables using accelerated solvent extraction and liquid chromatography tandem mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization // *Food Chem.* 2016. Vol. 192. P. 402–408.
27. Rishi L., Jadoon S., Waseem A., Yaqoob M., Nabi A. Flow injection methods for the determination of  $\alpha$ -tocopherol with spectrophotometric detection // *J. Chem. Soc. Pak.* 2011. Vol. 33, N 4. P. 508–514.
28. Vinas P., Campillo N., Lopez-Garcia I., Hernandez-Cordoba M. Dispersive liquid-liquid microextraction in food analysis. A critical review // *Anal. Bioanal. Chem.* 2014. Vol. 406, N 8. P. 2067–2099.
29. Klimczak I., Gliszczynska-Swiglo A. Comparison of UPLC and HPLC methods for determination of vitamin C // *Food Chem.* 2015. Vol. 175. P. 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.104>.

## References

1. Wang Y., Guglielmo D., Welsh J.A. Consumption of sugars, saturated fat, and sodium among US children from infancy through preschool age, NHANES 2009–2014. *Am J Clin Nutr.* 2018; 108 (4): 868–77. doi: 10.1093/ajcn/nqy16.
2. Mendoza R., Tolentino-Mayo L., Hernandez-Barrera L., et al. Modifications in the consumption of energy, sugar, and saturated fat among the Mexican adult population: simulation of the effect when replacing processed foods that comply with a front of package labeling system. *Nutrients*. 2018; 10 (1): E101. doi: 10.3390/nu10010101.
3. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Micronutrient status of population of the Russian Federation and possibility of its correction. State of the problem. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2017; 86 (4): 113–24. doi: 10.24411/0042-88. (in Russian)
4. Eggersdorfer M., Laudert D., Letinois U., McClymont T., Medlock J., Netscher T., et al. One hundred years of vitamins – A success story of the natural sciences. *Angew Chem Int Ed Engl.* 2012; 51: 12960–90. doi: 10.1002/anie.201205886.
5. Basics of the state policy of the Russian Federation in the field of healthy nutrition of the population for the period to 2020: approved by the Government of the Russian Federation of October 25, 2010 No. 1873-r. (in Russian)
6. Kumar S.S., Chouhan R.S., Thakur M.S. Trends in analysis of vitamin B<sub>12</sub>. *Anal Biochem.* 2010; 398 (2): 139–49. doi: 10.1016/j.ab.2009.06.041.
7. Rahman T., Chowdhury M.M., Islam M.D., Akhtaruzzaman M. Microbiological assay of folic acid content in some selected Bangladeshi food stuffs. *International Journal of Biology.* 2015; 7 (2). doi:10.5539/ijb.v7n2p35.
8. Vidovica S., Stojanovica B., Veljkovica J., Prazic-Arsic L., Roglic G., Manojlovic D. Simultaneous determination of some water-soluble vitamins and preservatives in multivitamin syrup by validated stability-indicating high-performance liquid chromatography method. *J Chromatogr A*. 2008; (1202): 155–62.
9. Heudi O., Kilic T., Fontannaz P. Separation of water-soluble vitamins by reserved-phase high-performance liquid chromatography with ultra-violet detection: application to polyvitaminated premixes. *J Chromatogr A*. 2005; (1070): 49–52.
10. Kulikovskiy A.V., Chernukha I.M., Kuznetsova O.A., Invankin A.N. The method of analytical control in the practice of food laboratories. *Vse o myase [All About Meat]*. 2015; (6): 24–27. (in Russian)

11. Bekker Yu. Chromatography Instrumental analytics: methods of chromatography and capillary electrophoresis. Moscow: Technosfera; 2009: 458 p. (in Russian)
12. Zhang Y., Zhou W., Yan J., Liu M., Zhou Y., Shen X., et al. A Review of the extraction and determination methods of thirteen essential vitamins to the human body: an update from 2010. *Molecules*. 2018; 23 (6). doi: 10.3390/molecules23061484.
13. Barba F.J., Esteve M.J., Frigola A. Determination of vitamins E ( $\alpha$ -,  $\gamma$ - and  $\delta$ -tocopherol) and D (cholecalciferol and ergocalciferol) by liquid chromatography in milk, fruit juice and vegetable beverage. *Eur Food Res Technol*. 2011; 232: 829–36. doi: 10.1007/s00217-011-1450-8.
14. Kasalova E., Aufartova J., Kujovska-Krcmova L., Solichova D., Solich P. Recent trends in the analysis of vitamin D and its metabolites in milk – A review. *Food Chem*. 2015; 171 : 177–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.102>.
15. Gilliland D.L., Black C.K., Denison J.E., Seipelt C.T., Baught S. Simultaneous determination of vitamins D<sub>2</sub> and D<sub>3</sub> by electrospray ionization LC/MS/MS in infant formula and adult nutritionals. *First action 2012.11. J. AOAC Int*. 2013; 96: 1387–95. doi: 10.5740/jaoacint.13-176.
16. Nimalaratne C., Sun C., Wu J., Curtis J.M., Schieber A. Quantification of selected fat soluble vitamins and carotenoids in infant formula and dietary supplements using fast liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Food Research International*. 2014; 66: 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.08.034>.
17. Hu W., Kefeng L., Liping Y., Wang C., Van Schepdael A. Recent advances in vitamins analysis by capillary electrophoresis. *J Pharm Biomed Anal*. 2018; 147: 278–87. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.07.030>.
18. Perederyaev O.I., Bogachuk M.N., Bessonov V.V. Methods for the quantitative determination of water-soluble vitamins in vitamin pre-mixes and food products using micellar electrokinetic chromatography on the short end of the capillary. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2011; 80 (3): 67–74. (in Russian)
19. Antakli S., Sarkees T., Sarraf T. Determination of water-soluble vitamins B1, B2, B3, B6, B9, B12 and C on C18 column with particle size  $\mu\text{m}$  in some manufactured food products by HPLC with UV-DAD/FLD detection. *Int J Pharm Pharm Sci*. 2015; 7 (6): 219–24.
20. Turak F., Guzel R., Dinc E. Simultaneous determination of ascorbic acid and caffeine in commercial soft drinks using reversed-phase ultraperformance liquid chromatography. *J Food Drug Anal*. 2017; 25 (2): 285–92. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.004>.
21. Abano E.E., Dadzie R.G. Simultaneous detection of water-soluble vitamins using the High Performance Liquid Chromatography (HPLC) – a review. *Croat J Food Sci Technol*. 2014; 6 (2): 116–23.
22. Rakuza Z.T., Srećnik E., Roskar R. Novel HPLC-UV method for simultaneous determination of fat-soluble vitamins and coenzyme Q10 in medicines and supplements. *Acta Chim Slov*. 2017; 64: 523–9. doi: 10.17344/acsi.2016.2856.
23. da Silva T.L., Aguiar-Oliveira E., Mazalli M.R., Kamimura E.S., Maldonado R.R. Comparison between titrimetric and spectrophotometric methods for quantification of vitamin C. *Food Chem*. 2017; 224: 92–6.
24. Westmacott K.L., Crew A., Doran O., Hart J.P. A novel electroanalytical approach to the measurement of B vitamins in food supplements based on screen-printed carbon sensors. *Talanta*. 2018; 181: 13–8. doi: 10.1016/j.talanta.2017.12.074.
25. Tyskiewicz K., Debczak A., Gieysztor R., Szymczak T., Roj E. Determination of fat- and water-soluble vitamins by supercritical fluid chromatography: a review. *J Sep Sci*. 2017; 41 (1): 336–50. <https://doi.org/10.1002/jssc.201700598>.
26. Japelt R.B., Jakobsen J. Analysis of vitamin K<sub>1</sub> in fruits and vegetables using accelerated solvent extraction and liquid chromatography tandem mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization. *Food Chem*. 2016; 192: 402–8.
27. Rishi L., Jadoon S., Waseem A. Yaqoob M., Nabi A. Flow injection methods for the determination of  $\alpha$ -tocopherol with spectrophotometric detection. *J Chem Soc Pak*. 2011; 33 (4): 508–14.
28. Vinas P., Campillo N., Lopez-Garcia I., Hernandez-Cordoba M. Dispersive liquid-liquid microextraction in food analysis. A critical review. *Anal Bioanal Chem*. 2014; 406 (8): 2067–99.
29. Klimczak I., Gliszczynska-Swiglo A. Comparison of UPLC and HPLC methods for determination of vitamin C. *Food Chem*. 2015; 175: 100–5. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.104>.

**Для корреспонденции**

Карнажицкая Татьяна Дмитриевна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией методов жидкостной хроматографии ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»

Адрес: 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, д. 82

Телефон: (342) 233-10-37

E-mail: tdkarn@fcrisk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6768-0045>

Зайцева Н.В.<sup>1, 2</sup>, Уланова Т.С.<sup>1</sup>, Карнажицкая Т.Д.<sup>1</sup>, Зорина А.С.<sup>1</sup>, Пермякова Т.С.<sup>1</sup>

## Определение фталатов в соковой продукции методом высокоэффективной жидкостной хроматографии/масс-спектрометрии

Determination of phthalates in juice product by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry

Zaytseva N.V.<sup>1, 2</sup>, Ulanova T.S.<sup>1</sup>, Karnazhitskaya T.D.<sup>1</sup>, Zorina A.S.<sup>1</sup>, Permyakova T.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», Пермь

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава России

<sup>1</sup> Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm

<sup>2</sup> Perm State Medical University named after academician E.A. Wagner

*В статье приведены результаты исследований по определению стойких органических загрязнителей окружающей среды – фталатов в соковой продукции отечественного производства методом высокоэффективной хроматографии/масс-спектрометрии (ВЭЖХ/МС/МС) с применением твердофазной экстракции в качестве способа пробоподготовки. Селективное определение фталатов в фруктово-овощных соках методом ВЭЖХ/МС/МС обеспечивается за счет мониторинга родительских и дочерних ионов, образующихся при ионизации молекул изучаемых соединений в режиме электростатического распыления, и обращенно-фазового хроматографического разделения изомеров на колонке. Анализ образцов соковой продукции показал присутствие 11 фталатов из 13 анализируемых в диапазоне концентраций от 0,4 до 59,26 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальная сумма фталатов определена в соках с мякотью 31,9–59,26 мг/дм<sup>3</sup> (упаковка тетрапак), минимальное содержание фталатов 0,4 мг/дм<sup>3</sup> установлено в ароматизированном напитке (упаковка из полиэтилентерефталата) и 1 мг/дм<sup>3</sup> – в фруктово-овощном нектаре (стеклянная тара). В основной массе образцов присутствуют от 3 до 8 фталатов с суммарным содержанием 0,4–5,82 мг/дм<sup>3</sup>. К наиболее распространенным загрязнителям проанализированных образцов относятся ди-н-октилфталат, обнаруженный в 100% проб, диноилфталат*

**Для цитирования:** Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Карнажицкая Т.Д., Зорина А.С., Пермякова Т.С. Определение фталатов в соковой продукции методом высокоэффективной жидкостной хроматографии/масс-спектрометрии // *Вопр. питания*. 2018. Т. 87, № 6. С. 117–124. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10073.

**Статья поступила в редакцию** 26.02.2018. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Zaytseva N.V., Ulanova T.S., Karnazhitskaya T.D., Zorina A.S., Permyakova T.S. Determination of phthalates in juice product by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 117–24. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10073. (in Russian)

**Received** 26.02.2018. **Accepted for publication** 13.11.2018.

и ди(2-этилгексил)фталат, присутствующие в 70–80% проб. Максимальная интенсивность загрязнения образцов соков отмечена для ди-*n*-октилфталата, ди(2-этилгексил)фталата, диизонилфталата и диизобутилфталата.

**Ключевые слова:** высокоэффективная жидкостная хроматография, масс-спектрометрический анализ, соковая продукция, фталаты

*The paper presents the research results obtained after determination of the persistent organic pollutants of the environment – phthalates in domestic juice products with the use of high-performance liquid chromatography/ mass spectrometry (HPLC/MS/MS) with application of solid-phase extraction as a method of sample preparation. Selective determination of phthalates in fruit and vegetable juices by HPLC/MS/MS method has been provided through parent and child ions' monitoring that are formed during ionization of the molecules of the studied compounds in the electrostatic spray of isomers on a reversed-phase column. The analysis of the samples of juice product revealed the presence of 11 phthalates out of 13 studied in concentration range from 0.4 up to 59.26 mg/dm<sup>3</sup>. The maximum amount of phthalates was found in juices with pulp 31.9–59.26 mg/dm<sup>3</sup> (tetrahedral package), the minimum content of phthalates 0.4 mg/dm<sup>3</sup> was detected in flavoured beverages (polyethylene terephthalate packing) and 1 mg/dm<sup>3</sup> in the fruit-and-vegetable nectar (glass packing). The most samples contained from 3 to 8 phthalates with total content of 0.4–5.82 mg/dm<sup>3</sup>. The most prevailing pollutants of the analyzed samples were di-*n*-octyl phthalate found in 100% of samples, dinonyl phthalate and di (2-ethylhexyl) phthalate, presented in 70–80% of samples. The maximum pollution density of the juice samples was noted for di-*n*-octyl phthalate, di (2-ethylhexyl) phthalate, diisononyl phthalate and diisobutyl phthalate.*

**Keywords:** high-performance liquid chromatography, mass spectrometric analysis, juice products, phthalates

Одним из основных направлений государственной экономической политики в сфере обеспечения продовольственной безопасности РФ является контроль соответствия качества продуктов требованиям нормативных документов [1, 2]. Наряду с показателями пищевой ценности пищевые продукты должны отвечать установленным нормативными документами требованиям к допустимому содержанию опасных для здоровья веществ, в том числе химических соединений, относящихся к экотоксикантам и стойким органическим загрязнителям [2]. Актуальной задачей является развитие системы риск-ориентированного государственного надзора за безопасностью продуктов, включающего в число контрольно-надзорных мероприятий идентификацию опасности пищевых продуктов, в том числе микробиологической, паразитологической, радиационной и химической [3].

К приоритетным загрязнителям окружающей среды и пищевых продуктов относятся фталаты – синтетические соединения, представляющие группу диэфиров ортофталево́й кислоты (диалкильные или алкилариловые сложные эфиры 1,2-бензолдикарбоновой кислоты) [4–7]. Фталаты широко используются в промышленности в качестве пластификаторов для придания эластичности предметам из поливинилхлорида и других полимеров при производстве товаров промышленного, бытового, медицинского и пищевого назначения [4].

В организм человека фталаты поступают главным образом с загрязненной пищей, менее значимы ингаляционный и кожный пути. Вредное влияние фталатов на человека проявляется в нарушении функции эндо-

кринной системы, синтеза инсулина, репродуктивной токсичности, нарушении развития плода, повышении риска ожирения, возникновения аллергических реакций и бронхиальной астмы у детей [8–12].

Существует несколько источников загрязнения пищевых продуктов и сырья фталатами: контакт с загрязненными объектами окружающей среды, биоконцентрирование по пищевой цепи, заводская переработка продукции с использованием оборудования, содержащего фталаты, в том числе гибких шлангов, пластиковых трубопроводов, емкостей и т.п., миграция из упаковочных материалов [13–17].

Исследования, проводимые в последние десятилетия в области оценки качества пищевых продуктов, свидетельствуют о контаминации сырья и готовых к употреблению пищевых продуктов фталатами. По данным зарубежных источников, максимальное загрязнение фруктов и овощей приходится на долю дибутилфталата (ДБФ) и ди(2-этилгексил)фталата (ДЭГФ) из 15 наиболее распространенных фталатов [18–20], в соковой продукции чаще других и в наибольших концентрациях определяются диэтилфталат (ДЭФ), ДБФ и ДЭГФ [21, 22]. По разным источникам, концентрации фталатов в соках определяются от долей микрограмма до десятков миллиграммов на литр. Данные о содержании фталатов в овощных и фруктовых соках, производимых на территории РФ, отсутствуют.

**Цель** исследования – определение содержания 13 фталатов и их изомеров в соковой продукции с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ/МС/МС).

## Материал и методы

Анализ фталатов в соковой продукции проводили на жидкостном хроматографе Agilent 1200 с МС-детектором с тройным квадруполом LC/MS 6460, насосом для градиентного элюирования, автосамплером, термостатом колонок (Agilent Technologies, США). Ионизацию осуществляли электростатическим распылением (ESI) в режиме положительной полярности. Параметры работы МС-детектора для анализа фталатов: скорость потока газа-осушителя (азота) 11 л/мин, температура газа-осушителя 300 °С, давление в распылителе 15 psi, напряжение на капилляре 4000 В, тип сканирования – мониторинг множественных реакций (MRM). Работа ЖХ/МС-системы и обработка полученных данных проводилась в автоматизированном режиме управления на базе программы MassHunter WorkStation Software (Version B.06.00 Build 6.0.6025.3 SP3) (Agilent Technologies, США).

Идентификацию и количественное определение диметилфталата (ДМФ), ДЭФ, дипропилфталата (ДПрФ), диизобутилфталата (ДиБФ), ди-н-бутилфталата (ДнБФ), бензилбутилфталата (ББФ), дипентилфталата (ДПенФ), дигексилфталата (ДГекФ), дигептилфталата (ДГепФ), ДЭГФ, ди-н-октилфталата (ДнОФ), ди-н-нонилфталата (ДнНФ), диизононилфталата (ДиНФ) проводили с использованием аналитических стандартов (Sigma-Aldrich, США) (чистота реактивов 98,0–99,9%); из них готовили стандартные смеси разбавлением аналитов в ацетонитриле (LC-MS, Scharlau, Испания).

Смесь фталатов и их изомеров разделяли в обращенно-фазном варианте ВЭЖХ на колонке Poroshell 120 EC C<sub>18</sub> длиной 100 мм и внутренним диаметром 2,1 мм, размером частиц 2,7 мкм (Agilent Technologies, США) в режиме градиентного элюирования смесью ацетонитрила и воды с начальным содержанием ацетонитрила в подвижной фазе 50% (объемная доля) и увеличением до 100% ацетонитрила к 30-й минуте. В период с 20-й по 23-ю минуту задается режим изократического элюирования с целью разделения ББФ и изомеров ДнБФ и ДиБФ, имеющих близкое время удерживания. С 30-й до 50-ю минуту подача 100% ацетонитрила в изократическом режиме обеспечивает приемлемое время выхода группы «тяжелых» фталатов с коэффициентами разделения более 1. С 55-й по 70-ю минуту задается начальный режим элюирования для установления равновесия колонки перед следующим анализом (табл. 1). Температура термостата колонки 25 °С.

Образцы соковой продукции российского производства для исследований были приобретены в розничной

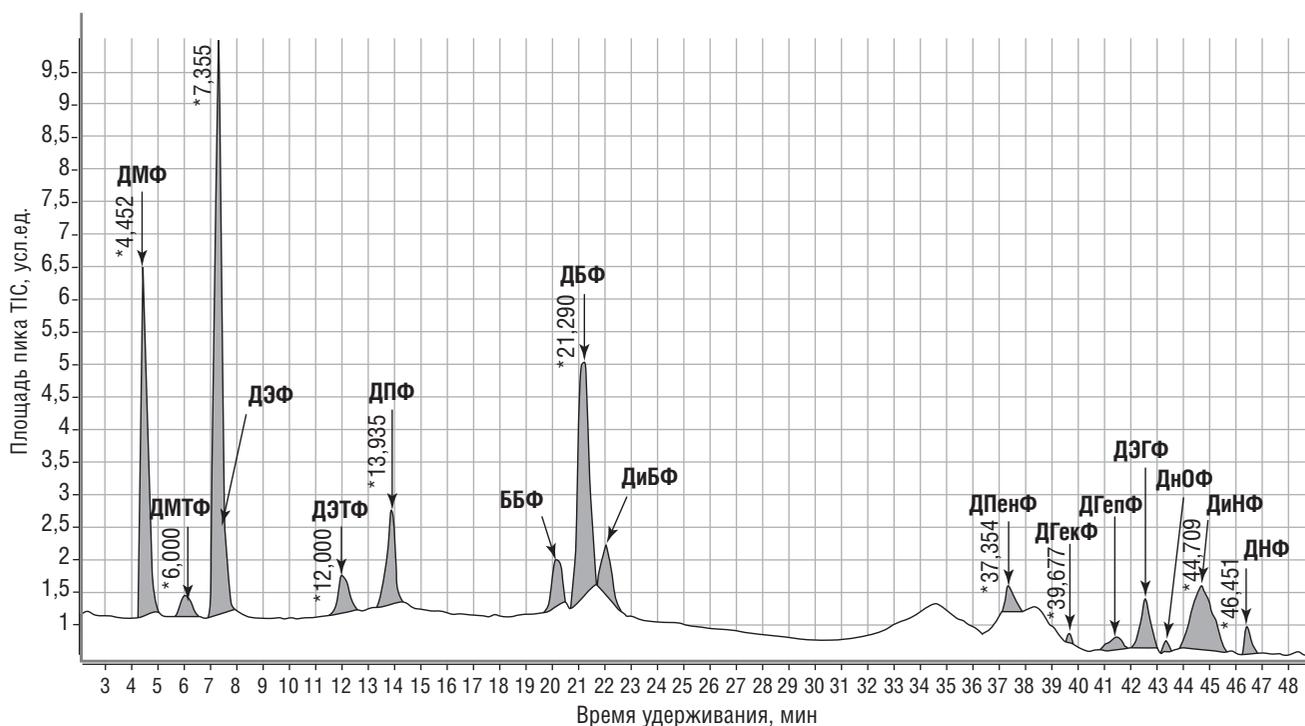
продаже в магазинах Перми. Все образцы являются восстановленными в основном из концентрированного сока или смеси концентрированных пюре и сока, реже из пюре. Содержание основного продукта в исследуемых образцах составляло 10–25% (данные представлены на упаковке). Для восстановления концентратов сока использована очищенная вода. Тара для соков представлена 3 типами упаковочного материала: тетрапак (микс картон, бумага/картон + пластик + алюминий) (образцы № 1–6, 8), полиэтилентерефталат (образцы № 7 и 9), бутылки из бесцветного стекла со стальной крышкой (образец № 10).

Подготовку проб к анализу проводили методом твердофазной экстракции (ТФЭ) с использованием универсальных картриджей Oasis HLB 6CC, изготовленных из полипропилена. Картридж предварительно промывали, пропуская через него 3 см<sup>3</sup> ацетонитрила и 3 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, наносили на картридж 10 см<sup>3</sup> образца сока, промывали картридж с нанесенной пробой 3 см<sup>3</sup> 5% водного раствора ацетонитрила, слив отбрасывали. Извлечение фталатов с сорбента проводили пропуском через картридж 3 см<sup>3</sup> ацетонитрила. Аликвоту в количестве 2 мкм<sup>3</sup> анализировали методом ВЭЖХ/МС в режиме MRM. Образцы соков, содержащих мякоть (растительные волокна фруктов и овощей), центрифугировали 10 мин со скоростью вращения 4000 об/мин, отбирали верхний слой и проводили твердофазную экстракцию. Степень экстракции изучаемых фталатов из соковой продукции методом ТФЭ составила 82–85%.

Для получения достоверных результатов, исключающих ложноположительные значения содержания фталатов в соковой продукции, в каждой серии анализов, параллельно с образцами, исследовали холостые пробы. В качестве холостой пробы использовали экстракт, полученный методом ТФЭ аналогично анализируемому образцам, без наличия матрицы (сока). В данном случае учитывались максимально все возможные источники повторного загрязнения образцов фталатами, включающие в том числе элюирование из полипропиленового картриджа, присутствие микроколичеств фталатов в ацетонитриле и дистиллированной воде. С целью минимизации положительных артефактов использовали стеклянную посуду, которую выдерживали при температуре 400 °С в муфельной печи в течение 4 ч, при остывании закрывали фольгой, непосредственно перед использованием ополаскивали ацетонитрилом (LC-MS) и подсушивали. При построении градуировочных кривых в качестве холостой пробы анализировали ацетонитрил для LC-MS.

Таблица 1. Программа градиентного элюирования подвижной фазы для разделения фталатов

Показатель	Время, мин									
	0	5	20	23	30	40	45	50	55	70
Ацетонитрил, %	50	65	40	40	100	100	100	100	50	50
Вода, %	50	35	60	60	0	0	0	0	50	50
Скорость подвижной фазы, мл/мин	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,15	0,1	0,1



Хроматограмма разделения смеси 15 фталатов на колонке Poroshell 120 EC C<sub>18</sub> в градиентном режиме элюирования

ДМФ – диметилфталат; ДМТФ – диметилтерефталат; ДЭФ – диэтилфталат; ДЭТФ – диэтилтерефталат; ДПФ – дипропилфталат; ББФ – бензилбутилфталат; ДнБФ – ди-н-бутилфталат; ДиБФ – диизобутилфталат; ДПенФ – дипентилфталат; ДГекФ – дигексилфталат; ДГепФ – дигептилфталат; ДЭГФ – ди(2-этилгексил)фталат; ДнОФ – ди-н-октилфталат; ДиНФ – диизононилфталат; ДНФ – ди-н-нонилфталат.

Для количественного определения фталатов и их изомеров в соковой продукции строили градуировочные зависимости сигнала детектора (площадь пика ТЭС, усл. ед.) от концентрации индивидуальных фталатов в ацетонитриле (мг/дм<sup>3</sup>) с применением метода абсолютной градуировки. Детектирование пиков родительских и дочерних ионов проводили методом регистрации множес-

твенных реакций. Градуировку осуществляли по площадям хроматографических пиков основных дочерних ионов, имеющих максимальную интенсивность сигнала. При наличии фталатов в холостой пробе учитывали их содержание при построении градуировки. Нижний предел определения (НПО) в соковой продукции (мг/дм<sup>3</sup>): ДМФ – 0,006, ДЭФ – 0,003, ДПрФ – 0,0008, ББФ – 0,0015,

Таблица 2. Характеристика показателей для качественного и количественного определения фталатов в оптимальном режиме работы детектора

Фталат	Время удерживания, мин	Прекурсор-ион, m/z*	Основной дочерний ион, m/z*
Диметилфталат	4,45	195,1	163
Диэтилфталат	7,36	223,1	149
Дипропилфталат	13,94	251,1	149
Диизобутилфталат	21,29	279,2	91
Ди-н-бутилфталат	22,06	279,2	149
Бензилбутилфталат	20,13	313,2	149
Дипентилфталат	37,35	307,19	149
Дигексилфталат	39,68	335,2	149
Дигептилфталат	41,42	363,3	149
Ди(2-этилгексил)фталат	42,58	391,3	167
Ди-н-октилфталат	43,35	391,3	71
Ди-н-нонилфталат	44,71	419,3	71
Диизононилфталат	46,45	419,3	71

Примечание. \* – m/z – отношение массы иона к его заряду.

ДнБФ – 0,0003, ДиБФ – 0,02, ДПенФ – 0,0008, ДГекФ – 0,0003, ДГепФ – 0,0009, ДЭГФ – 0,008, ДнОФ – 0,012, ДнНФ – 0,03, ДиНФ – 0,0045.

Метрологическая характеристика методики измерения концентрации фталатов в соковой продукции выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 5725-2002 (1–6 части) «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений». Относительное среднеквадратическое отклонение воспроизводимости и относительная погрешность определения ДМФ составили соответственно 12,4 и 28%, ДЭФ – 9,5 и 29%, ДПФ – 12,5 и 28,7%, ББФ – 9,9 и 23,6%, ДнБФ – 14,6 и 30%, ДиБФ – 10,8 и 28,9%, ДПенФ – 8,7 и 24,2%, ДГекФ – 9,1 и 23,7%, ДГепФ – 9,9 и 23,6%, ДЭГФ – 13,8 и 30%, ДнОФ – 11,6 и 28,9%, ДнНФ – 11,3 и 26%, ДиНФ – 12,4 и 25%.

Построение градуировочных графиков и расчет концентраций фталатов в соковой продукции проводили с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2003.

### Результаты и обсуждение

В ходе анализа стандартных образцов методом ВЭЖХ/МС/МС с использованием программы «Optimizer» установлены время удерживания, состав родительских и дочерних ионов, а также значения оптимальных показателей напряжения фрагментора и энергии ячейки соударения для качественного и количественного определения индивидуальных фталатов (табл. 2, см. рисунок).

Результаты анализа фталатов в соковой продукции от разных производителей представлены в табл. 3.

Фталаты обнаружены во всех образцах. Из 13 анализируемых соединений в образцах присутствуют 11 фталатов в широком диапазоне концентраций – от 0,01±0,004 до 29,5±10,6 мг/дм<sup>3</sup>, что согласуется с данными литературы о содержании фталатов в соковой продукции. Так, при анализе содержания 6 фталатов в образцах апельсинового сока, упакованного в бутылки из поливинилхлоридного пластика, методом ВЭЖХ с извлечением фталатов из образцов сока способом ТФЭ было установлено присутствие в образцах 2 из 6 изучаемых фталатов – ДЭФ и ДЭГФ в концентрации 0,38 и 0,66 мг/дм<sup>3</sup> соответственно [22]. I. Al-Saleh и R. Elkhatib в ходе анализа 6 фталатов (ДМФ, ДЭФ, ДнБФ, ББФ, ДЭГФ и ДнОФ) в яблочном соке методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии с использованием при подготовке проб твердофазной микроэкстракции определили присутствие ДЭФ, ДнБФ, ББФ, ДЭГФ и ДнОФ с максимальным содержанием в соке ДЭФ с концентрацией 0,009±0,001 мг/дм<sup>3</sup> и минимальным количеством ДнОФ в среднем 0,0005±0,002 мг/дм<sup>3</sup> [21]. При исследовании образцов мармелада, фруктового желе и сока, упакованных в пластиковую тару, на содержание ДМФ, ДЭФ, ДПФ, ББФ и дициклогексилфталата методом ВЭЖХ/МС в сочетании с диф-

Таблица 3. Результаты исследований содержания фталатов в соковой продукции

Фталат	Концентрация фталатов в соковой продукции, мг/дм <sup>3</sup>									
	номер образца*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДМФ	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо
ДЭФ	0,18±0,05	1,14±0,33	0,79±0,23	0,13±0,04	<нпо	0,31±0,09	<нпо	<нпо	0,02±0,006	<нпо
ДПрФ	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо
ББФ	<нпо	0,72±0,17	0,36±0,09	0,02±0,005	0,03±0,01	<нпо	<нпо	0,02±0,005	<нпо	<нпо
ДиБФ	2,78±0,81	29,5±8,6	14,83±4,30	0,24±0,07	<нпо	1,45±0,42	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо
ДнБФ	0,13±0,04	0,25±0,08	0,02±0,006	0,02±0,006	0,01±0,003	<нпо	<нпо	<нпо	0,03±0,01	<нпо
ДПенФ	<нпо	0,07±0,02	<нпо	0,32±0,08	0,07±0,02	<нпо	<нпо	0,04±0,01	<нпо	<нпо
ДГекФ	<нпо	<нпо	0,22±0,08	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо	<нпо
ДГепФ	<нпо	0,02±0,005	0,02±0,005	<нпо	0,04±0,01	0,02±0,005	<нпо	<нпо	0,02±0,005	0,01±0,002
ДЭГФ	<нпо	5,84±1,75	3,61±1,08	0,33±0,10	0,23±0,07	0,23±0,07	0,14±0,04	<нпо	0,33±0,10	<нпо
ДнОФ	2,73±0,79	15,21±4,41	8,30±2,40	0,73±0,12	0,92±0,35	1,05±0,27	1,04±0,30	0,22±0,06	1,40±0,41	0,66±0,19
ДнНФ	<нпо	5,40±1,40	3,08±0,80	<нпо	0,79±0,21	0,21±0,05	<нпо	<нпо	0,20±0,05	0,31±0,08
ДиНФ	<нпо	1,11±0,29	0,68±0,18	0,11±0,03	0,12±0,03	0,10±0,03	0,09±0,02	0,12±0,03	<нпо	0,05±0,01
Сумма фталатов	5,82±1,68	59,26±17,05	31,90±4,87	1,9±0,45	2,21±0,70	3,37±0,94	1,27±0,36	0,40±0,11	2,00±0,58	1,03±0,28

Примечание. \* – образец № 1 – нектар яблочный осветленный; № 2 – нектар яблочно-персиковый с мякотью; № 3 – нектар мультифруктовый с мякотью; № 4 – сок из яблок и вишни; № 5 – сок томатный; № 6 – виноградный нектар; № 7 – нектар мультифруктовый с мякотью; № 8 – напиток «Апельсин» с ароматизатором; № 9 – напиток сокодержавший из лимонов с мякотью «Лимон» с ароматизатором; № 10 – нектар морковно-персиково-яблочный; \*\* нпо – нижний предел определения.

Таблица 4. Диапазоны, средние значения концентраций по медиане и частота обнаружения фталатов в образцах соковой продукции

Соединение	Диапазон концентраций, мг/дм <sup>3</sup>	Медиана, мг/дм <sup>3</sup>	Частота обнаружения, %
Ди-н-октилфталат	0,22–15,21	1,05	100
Диизононилфталат	0,05–1,11	0,11	80
Ди(2-этилгексил)фталат	0,14–5,84	0,23	70
Динонилфталат	0,2–5,4	0,21	60
Дибутилфталат	0,01–0,13	0,02	60
Диэтилфталат	0,02–1,14	0,08	60
Дигептилфталат	0,01–0,04	0,02	60
Диизобутилфталат	0,24–29,5	0,12	50
Бензилбутилфталат	0,02–0,72	0,01	50
Дипентилфталат	0,04–0,32	0	40
Дигексилфталат	0,22	0	10
Диметилфталат	0	0	0
Дипропилфталат	0	0	0

фузионной ТФЭ авторы обнаружили присутствие ББФ во всех образцах в диапазоне концентраций от 2,9 до 14,7 мг/кг, в 3 образцах – ДЭФ в диапазоне концентраций 0,49–1,2 мг/кг [23].

По сумме фталатов максимальные концентрации определены в образцах № 2 и 3 – 59,2±17,05 и 31,9±4,87 мг/дм<sup>3</sup> (соки с мякотью, упаковка тетрапак). Высокая суммарная концентрация фталатов в указанных образцах сформирована за счет высокого содержания в них ДиБФ и ДНОФ, а также присутствия еще 10 фталатов. Минимальное содержание суммы фталатов установлено в 2 из 7 образцов, упакованных в бутылки из полиэтилентерефталатного пластика, – 0,4±0,11 мг/дм<sup>3</sup> в ароматизированном напитке (образец № 8) и 1,27±0,36 мг/дм<sup>3</sup> в мультифруктовом нектаре (образец № 7), а также в фруктово-овощном нектаре из стеклянной бутылки 1,03±0,28 мг/дм<sup>3</sup> (образец № 10). В основной массе образцов соковой продукции суммарное содержание фталатов определялось от 0,4 до 5,82 мг/дм<sup>3</sup>, количество обнаруженных фталатов – от 3 до 8. Медиана общего содержания фталатов в соках, расфасованных в коробки тетрапак, соответствовала 3,37 мг/дм<sup>3</sup>, в соках, упакованных в бутылки из полиэтилентерефталата, была равна 1,63 мг/дм<sup>3</sup>, в образце сока из стеклянной тары сумма фталатов составляла 1 мг/дм<sup>3</sup>.

### Сведения об авторах

*Зайцева Нина Владимировна* – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», заведующая кафедрой общественного здоровья и здравоохранения ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава России  
E-mail: root@fcrisk.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>

*Уланова Татьяна Сергеевна* – доктор биологических наук, заведующая отделом химико-аналитических методов исследования ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (Пермь)  
E-mail: ulanova@fcrisk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9238-5598>

В табл. 4 представлены диапазоны и средние геометрические значения концентраций фталатов, обнаруженных в образцах соковой продукции, а также частота присутствия фталатов в исследованных образцах.

Наиболее распространенный загрязнитель – ДНОФ, обнаружен в 100% проб, в 80–70% проб обнаружены ДИНФ и ДЭГФ. Высокая интенсивность загрязнения, рассчитанная как медиана выборки из проанализированных образцов, характерна для таких фталатов, как ДНОФ, ДЭГФ, ДНФ, ДиБФ и ДИНФ (см. табл. 4). В единичных случаях в образцах соков обнаружены ДПенФ и ДГекФ. ДМФ и ДПФ в проанализированных пробах не обнаружены.

Таким образом, анализ фталатов и их изомеров в образцах соковой продукции российских производителей методом ВЭЖХ/МС/МС выявил присутствие в них 11 соединений из 13 анализируемых. Основной вклад в загрязнение соков и сокосодержащих напитков вносят ДиОФ, ДЭГФ, ДНФ, ДИНФ и ДиБФ.

Результаты исследований могут быть использованы для изучения содержания индивидуальных фталатов в соковой продукции, для разработки гигиенических нормативов и оценки риска воздействия фталатов на здоровье человека при пероральном пути поступления.

Карнажицкая Татьяна Дмитриевна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией методов жидкостной хроматографии ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (Пермь)

E-mail: tdkarn@fcrisk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6768-0045>

Пермякова Татьяна Сергеевна – ведущий химик лаборатории методов жидкостной хроматографии ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (Пермь)

E-mail: root@fcrisk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0698-2581>

Зорина Анастасия Сергеевна – химик лаборатории методов жидкостной хроматографии ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (Пермь)

E-mail: root@fcrisk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4276-9921>

## Литература

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120).
2. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 06 ноября 2001.
3. Зайцева Н.В., Май И.В., Сычик С.И., Федоренко Е.В. и др. Анализ правовой и методической базы риск-ориентированного надзора за продукцией, обращаемой на потребительском рынке: задачи и перспективы развития в Евразийском экономическом союзе // Анализ риска здоровью. 2017. № 4. С. 4–22.
4. Майстренко В.Н., Ключев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 323 с.
5. Review of Exposure Data and Assessments for Select Dialkyl Ortho-Phthalates. Prepared by: Versar, Inc. Exposure and Risk Assessment Division 6850 Versar Center. Springfield, VA 22151. 2010.
6. Leo M.L. Analysis of Endocrine Disrupting Compounds in Food. Iowa: Blackwell Publishing, 2011. 491 p.
7. Cao X. Phthalate esters in foods: sources, occurrence, and analytical methods // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2010. Vol. 9. P. 21–43.
8. Adibi J., Perera F., Jedrychowski W., Camann D. et al. Prenatal exposures to phthalates among women in New York City and Krakow, Poland // Environ. Health Perspect. 2003. Vol. 111, N 14. P. 1719–1722.
9. Albert O., Jegou B. A critical assessment of the endocrine susceptibility of the human testis to phthalates from fetal life to adulthood // Hum. Reprod. Update. 2014. Vol. 20, N 2. P. 231–249.
10. Braun J., Sathyanarayana S., Hauser R. Phthalate exposure and children's health // Curr. Opin. Pediatr. 2013. Vol. 25, N 2. P. 247–254.
11. Valvi D., Casas M., Romaguera D., Monfort N. et al. Prenatal phthalate exposure and childhood growth and blood pressure: evidence from the Spanish INMA-Sabadell Birth Cohort Study // Environ. Health Perspect. 2015. Vol. 123, N 10. P. 1022–1029. doi: 10.1289/ehp.1408887.
12. Polanska K., Ligocka D., Sobala W., Hanke W. Phthalate exposure and child development: the Polish Mother and Child Cohort Study // Early Hum. Dev. 2014. Vol. 90, N 9. P. 477–485.
13. Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment. COT Statement on Dietary Exposure to Phthalates – Data from the Total Diet Study (TDS). 2011. 28 p.
14. Sun J., Wu X., Gan J. Uptake and metabolism of phthalate esters by edible plants // Environ. Sci. Technol. 2015. Vol. 49. P. 8471–8478.
15. Giam C., Chan H., Neff G. Sensitive method for determination of phthalate ester plasticizers in open-ocean biota samples // Anal. Chem. 1975. Vol. 47, N 13. P. 2225–2229.
16. Jen J., Liu T. Determination of phthalate esters from food-contacted materials by on-line microdialysis and liquid chromatography // J. Chromatogr. A. 2006. Vol. 1130. P. 28–33.
17. Castle L., Gilbert J., Eklund T. Migration of plasticizer from poly(vinyl chloride) milk tubing // Food Addit. Contam. 1990. Vol. 7, N 5. P. 591–596.
18. Xin Sun, Wenwen Wang. Determination of 19 Phthalic Acid Esters (PAEs) in Vegetables Using Modified QuEChERS and Gas Chromatography-Triple Quadrupole Mass Spectrometry (GC/MS/MS). Application Note Agilent Technologies, Inc. 2014. URL: [www.agilent.com/chem](http://www.agilent.com/chem).
19. Wang Li-Xia, Kou Li-Juan, Pan Feng-Yun, Wang Ming-Lin. Determination of phthalates in vegetables by liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry with matrix solid phase dispersion // Chin. J. Anal. Chem. 2007. Vol. 35, N 11. P. 1559–1564.
20. Du Q., Shen L., Jerz G., Winterhalter P. Di-2-ethylhexyl phthalate in the fruits of *Benincasa hispida* // Food Addit. Contam. 2006. Vol. 23. P. 552–555.
21. Al-Saleh I., Elkhatib R. Analysis of phthalates residues in apple juices produced in Saudi Arabia // Food Measure. 2014. Vol. 8. P. 373–380. doi: 10.1007/s11694-014-9202-7.
22. Guo Z., Wei D., Wang M., Wang S. Determination of six phthalic acid esters in orange juice packaged by PVC bottle using SPE and HPLC-UV: application to the migration study // J. Chromatogr. Sci. 2010. Vol. 48. P. 760–765.
23. Ma Y., Hashi Y., Ji F., Lin J. Determination of phthalates in fruit jellies by dispersive SPE coupled with HPLC-MS // J. Separ. Sci. 2010. Vol. 33. P. 251–257.

## References

1. Food security doctrine of the Russian Federation (as approved by Decree of the President of the Russian Federation on the 30th of January 2010. No. 120). (in Russian)
2. Hygienic Requirements of Safety and Nutrition Value of Food stuff. Sanitary-epidemiological rules and standards. SanPiN 2.3.2.1078-01. Approved by the Chief state health officer of the Russian Federation G.G. Onischenko on the 6th of November 2001. (in Russian)
3. Zaitseva N.V., May I.V., Sychik S.I., Fedorenko E.V., et al. Analysis of the legal and methodological base on risk-oriented supervision over products in the consumer market: challenges and prospects for the development of the Eurasian Economic Union. Analiz riska zdorov'yu [Health Risks Analysis]. 2017; (4): 4–22. (in Russian)
4. Maistrenko V.N., Klyuyev N.A. Ecological and analytical monitoring of persistent organic pollutants. Moscow: BINOM. Laboriraya znaniy, 2004: 323 p. (in Russian)

5. Review of Exposure Data and Assessments for Select Dialkyl Ortho-Phthalates. Prepared by: Versar, Inc. Exposure and Risk Assessment Division 6850 Versar Center. Springfield, VA 22151. 2010.
6. Leo M.L. Analysis of endocrine disrupting compounds in food. Iowa: Blackwell Publishing, 2011: 491 p.
7. Cao X. Phthalate esters in foods: sources, occurrence, and analytical methods. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2010; 9: 21–43.
8. Adibi J., Perera F., Jedrychowski W., Camann D., et al. Prenatal exposures to phthalates among women in New York City and Krakow, Poland. *Environ Health Perspect.* 2003; 111 (14): 1719–22.
9. Albert O., Jegou B. A critical assessment of the endocrine susceptibility of the human testis to phthalates from fetal life to adulthood. *Hum Reprod Update.* 2014; 20 (2): 231–49.
10. Braun J., Sathyanarayana S., Hauser R. Phthalate exposure and children's health. *Curr Opin Pediatr.* 2013; 25 (2): 247–54.
11. Valvi D., Casas M., Romaguera D., Monfort N., et al. Prenatal phthalate exposure and childhood growth and blood pressure: evidence from the Spanish INMA-Sabadell Birth Cohort Study. *Environ Health Perspect.* 2015; 123 (10): 1022–9. doi: 10.1289/ehp.1408887.
12. Polanska K., Ligocka D., Sobala W., Hanke W. Phthalate exposure and child development: the Polish Mother and Child Cohort Study. *Early Hum Dev.* 2014; 90 (9): 477–85.
13. Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment. COT statement on dietary exposure to phthalates – data from the Total Diet Study (TDS). 2011: 28 p.
14. Sun J., Wu X., Gan J. Uptake and metabolism of phthalate esters by edible plants. *Environ Sci Technol.* 2015; 49: 8471–8.
15. Giam C., Chan H., Neff G. Sensitive method for determination of phthalate ester plasticizers in open-ocean biota samples. *Anal Chem.* 1975; 47 (13): 2225–9.
16. Jen J., Liu T. Determination of phthalate esters from food-contacted materials by on-line microdialysis and liquid chromatography. *J Chromatogr A.* 2006; 1130: 28–33.
17. Castle L., Gilbert J., Eklund T. Migration of plasticizer from poly(vinyl chloride) milk tubing. *Food Addit Contam.* 1990; 7 (5): 591–6.
18. Xin Sun, Wenwen Wang. Determination of 19 Phthalic Acid Esters (PAEs) in Vegetables Using Modified QuEChERS and Gas Chromatography-Triple Quadrupole Mass Spectrometry (GC/MS/MS). Application Note Agilent Technologies, Inc. 2014. URL: [www.agilent.com/chem](http://www.agilent.com/chem).
19. Wang Li-Xia, Kou Li-Juan, Pan Feng-Yun, Wang Ming-Lin. Determination of phthalates in vegetables by liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry with matrix solid phase dispersion. *Chin J Anal Chem.* 2007; 35 (11): 1559–64.
20. Du Q., Shen L., Jerz G., Winterhalter P. Di-2-ethylhexyl phthalate in the fruits of *Benincasa hispida*. *Food Addit Contam.* 2006; 23: 552–5.
21. Al-Saleh I., Elkhatib R. Analysis of phthalates residues in apple juices produced in Saudi Arabia. *Food Measure.* 2014; 8: 373–80. doi: 10.1007/s11694-014-9202-7.
22. Guo Z., Wei D., Wang M., Wang S. Determination of six phthalic acid esters in orange juice packaged by PVC bottle using SPE and HPLC-UV: application to the migration study. *J Chromatogr Sci.* 2010; 48: 760–5.
23. Ma Y., Hashi Y., Ji F., Lin J. Determination of phthalates in fruit jellies by dispersive SPE coupled with HPLC-MS. *J Separ Sci.* 2010; 33: 251–7.

**Для корреспонденции**

Макаренко Мария Андреевна – младший научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

Телефон: (495) 698-57-36

E-mail: dragon.soul92@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1688-6304>

Макаренко М.А., Малинкин А.Д., Бессонов В.В., Саркисян В.А., Кочеткова А.А.

## Продукты вторичного окисления пищевых масел и жиров. Оценка рисков для здоровья человека (Сообщение 1)

Secondary lipid oxidation products. Human health risks evaluation (Article 1)

Makarenko M.A., Malinkin A.D., Bessonov V.V., Sarkisyan V.A., Kochetkova A.A.

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», Москва  
Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow

*Первая публикация этого цикла посвящена обзору современных подходов к использованию двух вариантов спектроскопий – протонного ядерного магнитного резонанса (<sup>1</sup>H ЯМР) и инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (Фурье-ИКС) – в анализе термического окисления пищевых масел и жиров различного происхождения. В процессе термической деградации образуются соединения различной природы, и некоторые из них, например окисленные α,β-ненасыщенные альдегиды (Оα,β-НА) или эпоксилированные производные линолевой кислоты, являются токсичными. На сегодняшний день известно, что рутинные неспецифические методы анализа показателей окисления пищевых масел дают недостаточную информацию об окислительном состоянии липидного образца, их результаты могут быть спорными, а процедуры подготовки проб и проведения измерений имеют значимые методические недостатки. В этой связи представляется необходимым поиск более надежных, точных и информативных физико-химических методов оценки степени окисленности пищевых масел и жиров. С этой позиции рассматриваются возможности применения наиболее широко используемых в липидном анализе методов спектроскопии – <sup>1</sup>H ЯМР и Фурье-ИКС. Показано, что в отличие от рутинных химических методов <sup>1</sup>H ЯМР и Фурье-ИКС предоставляют информацию о видах образующихся соединений, времени их появления и разрушения. <sup>1</sup>H ЯМР позволяет проводить качественный и количественный анализ динамики функциональных групп, а посредством Фурье-ИКС возможно определение стандартных показателей окисленности с высокой точностью всего за один анализ. Оба*

**Для цитирования:** Макаренко М.А., Малинкин А.Д., Бессонов В.В., Саркисян В.А., Кочеткова А.А. Продукты вторичного окисления пищевых масел и жиров. Оценка рисков для здоровья человека (Сообщение 1) // Вопр. питания. 2018. Т. 87, № 6. С. 125–138. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10074.

**Статья поступила в редакцию** 01.12.2017. **Принята в печать** 13.11.2018.

**For citation:** Makarenko M.A., Malinkin A.D., Bessonov V.V., Sarkisyan V.A., Kochetkova A.A. Secondary lipid oxidation products. Human health risks evaluation (Article 1). Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (6): 125–38. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10074. (in Russian)

**Received** 01.12.2017. **Accepted for publication** 13.11.2018.

метода позволяют наблюдать эволюцию функциональных групп липидных матриц в реальном времени. Отмечены их преимущества в рутинном лабораторном анализе.

**Ключевые слова:** спектроскопия ядерного магнитного резонанса, вторичные продукты окисления, окисленные  $\alpha,\beta$ -ненасыщенные альдегиды, инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье, термическое окисление липидов, перекисное число, степень окисления

*The first article of the series describes possible applications of both proton nuclear magnetic resonance spectroscopy ( $^1\text{H NMR}$ ) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) in food lipid thermo-oxidation analysis. Thermo-oxidation process is a source of various oxidation products. Some of them are known to be toxic, such as oxidized  $\alpha,\beta$ -unsaturated aldehydes and epoxidized linoleic acid derivatives. Today we know that routine nonspecific methods in lipid oxidation analysis are not informative, may provide incorrect results and procedures are long and laborious. Therefore it might be useful to find more reliable, accurate and informative physico-chemical methods measuring food lipid oxidation status. This paper is devoted to the most widely used in lipid analysis spectroscopic methods such as  $^1\text{H NMR}$  and FTIR. It has been shown that  $^1\text{H NMR}$  and FTIR provide more information on the types, formation and degradation time of compounds formed than wet chemistry methods.  $^1\text{H NMR}$  gives qualitative and quantitative information on degraded and newly formed compounds and FTIR is able to measure a lot of standard oxidation indices with high accuracy. Both of them allow us to trace any compounds' evolution in lipid matrices in real time. Mention is made of their advantages for routine laboratory analysis.*

**Keywords:** nuclear magnetic resonance spectroscopy, secondary oxidation products, oxidized  $\alpha,\beta$ -unsaturated aldehydes, Fourier transform infrared spectroscopy, thermal lipid oxidation, peroxide value, oxidation level

Пищевые масла и жиры представляют собой сложные многокомпонентные системы, каждый элемент которых в условиях окисления изменяется в соответствии с кинетикой проходящих в данный момент времени реакций. На первом этапе формируются первичные продукты окисления, среди которых гидрокси- и гидропероксисоединения, дигидропероксиды и системы *цис,транс*-(Z,E) и *транс,транс*-(E,E) конъюгированных диенов. Затем из них образуются вторичные, третичные и т.д. соединения, и их скорость образования, виды и количественные соотношения определяются природой липидного образца, условиями окисления и наличием антиокислителей. Среди представителей вторичных продуктов основными являются альдегиды, моно- и диэпоксиды, кетоны, первичные, вторичные спирты и их димеры, оксикислоты и др. [1]. Особый интерес с точки зрения безопасности масел и жиров для здоровья человека представляет изучение эндогенного образования и поступления в организм соединений с доказанной или потенциальной токсичностью и высокой реакционной способностью – окисленных  $\alpha,\beta$ -ненасыщенных альдегидов ( $\text{O}\alpha,\beta$ -НА) [2], некоторых спиртов, оксо-, диоксо- и эпоксикислот [3].

Представителей  $\text{O}\alpha,\beta$ -НА от других альдегидов отличает наличие системы конъюгированных двойных связей и иногда присутствие гидрокси- [4], гидроперокси- групп в 4-м положении или оксогрупп в 4–5-м положении [5], что объясняет их высокую реакционную способность [6]. К  $\text{O}\alpha,\beta$ -НА относят акролеин, малоновый диальдегид,

кродональдегид, глиоксаль и метилглиоксаль, а также семейства (E)-2-алкеналей, (Z,E)- и (E,E)-2,4-алкадиеналей, 4,5-эпокси-2-алкеналей, 4-гидрокси- и 4-гидроперокси-(E)-2-алкеналей, 4-оксо-(E)-2-алкеналей и др. [1, 5]. Для многих из них в токсикологических исследованиях была показана цито- и генотоксичность [5], канцерогенность и мутагенность [7]. Некоторые спирты, например эпоксилированные производные линолевой кислоты [3], при гидролизе могут образовывать токсичные вещества. Так, 9,10-эпокси-12-октадецеаноат является предшественником лейкотоксина, 9,10-дигидрокси-12-октадецеаноат – лейкотоксиндиола, 12,13-эпокси-9-октадецеаноат – изолейкотоксина, способных вызывать дегенерацию и некроз лейкоцитов, нарушать деятельность эндокринной системы, блокировать эстральный цикл у крыс, стимулировать пролиферацию раковых клеток молочной железы человека MCF-7 и пр. [8].

Официальные методы анализа пищевых масел и жиров в условиях термического окисления условно можно разделить: 1) тесты устойчивости липидной матрицы к окислению и 2) определение различных интегральных показателей. К первым относятся так называемый метод активного кислорода (active oxygen method – AOM), индекс стабильности масла (Oil Stability Index – OSI) и некоторые другие. Вторая группа показателей включает перекисное число (ПЧ), кислотное число (КЧ), тиобарбитуровое число (ТЧ), пара-анизидиновое число (п-АЧ), йодное число (ИЧ), общее число окисления

(ТОТОХ), конъюгированные диены и триены и др. Некоторые из них в соответствии с ТР ТС 024/2011 относятся к показателям безопасности пищевых масел [9].

Применение таких методов широко распространено, хотя и имеет определенные неудобства [10–12]. Основной их недостаток заключается в том, что они нацелены на количественное определение общего пула первичных или вторичных соединений с определенными функциональными группами (ФГ) или их системами. Такие ФГ, однако, не всегда характерны только для первичных или только для вторичных продуктов окисления [13, 14], что при определении интегральных показателей может привести к получению неверных результатов [12]. Кроме того, интегральные показатели довольно малоинформативны [15], так как не позволяют регистрировать разницу в механизмах окисления [5] и проследить эволюцию отдельных соединений [12].

Все это обуславливает необходимость в поиске подхода, который был бы более точен, информативен и удобен в применении к анализу деградации и безопасности пищевых масел и жиров. Одним из потенциальных решений может стать использование спектроскопии, которая удобна при определении, например, отдельных групп соединений [4], для мониторинга общего состояния липидной матрицы [6], а также поисков и расчетов интегральных показателей [16]. В общем липидном анализе применяют различные варианты спектроскопий [17–20]. При исследовании термически окисленных масел довольно часто используют методы протонного ядерного магнитного резонанса ( $^1\text{H}$  ЯМР) (варианты ЯМР на других ядрах также находят применение [18], хотя и обладают более низкой чувствительностью [21]), и различные варианты инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием [6]. Таким образом, **целями** настоящего обзора стали обобщение и анализ имеющейся на сегодняшний день информации по возможностям и ограничениям применения данных методов в оценке окислительного изменения пищевых масел и жиров, в том числе в рутинном лабораторном анализе.

### Мониторинг окисления масел с помощью протонного ядерного магнитного резонанса

В спектроскопии ЯМР аналитическим откликом является химический сдвиг  $\delta$ , который выражается как одна миллионная доля напряженности поля или резонансной частоты (м.д. или ppm) и считается относительно сигнала какого-либо эталонного соединения. Таким соединением может быть остаточный недегидрированный хлороформ или метанол (в зависимости от используемого дегидрированного растворителя [22]), но чаще используют тетраметилсилан (ТМС), химический сдвиг сигнала которого считается равным 0. Сигналы в спектре ЯМР связаны с наличием у соединений исследуемой матрицы определенных ФГ [26]. Такие ФГ основных компонентов различных пищевых масел и жиров представлены на рис. 1.

Регистрация сигналов отдельных ФГ позволяет проследить их эволюцию во времени: так, на начальных этапах окисления уменьшается интенсивность аллильных, бисаллильных и олефиновых протонов в цепях ненасыщенных жирных кислот (ЖК) (см. табл. 1: F, I-J' и M соответственно, см. рис. 1), в спектре появляются сигналы ФГ первичных продуктов окисления – гидропероксидов и гидроксидов с системами конъюгированных двойных связей различных конформаций [6]. При низкотемпературном окислении сначала регистрируются сигналы соединений с *цис, транс*-сопряженными двойными связями и группой –ОН на 6,58, 6,00, 5,56, 5,51 м.д. или –ОН на 6,45, 5,94, 5,64, 5,40 м.д. Затем они исчезают и появляются сигналы на 6,27, 6,06, 5,76, 5,47 м.д., относящиеся к *транс, транс*-сопряженным двойным связям. Это может свидетельствовать об изменении их конфигурации на энергетически более выгодную [26].

Позднее (при высокотемпературной обработке масла практически сразу) на спектрах появляются сигналы ФГ, относящихся ко вторичным продуктам (рис. 2) [26, 27].

Величина химического сдвига будет отличаться у соединений с одинаковыми ФГ, если у одного из них присутствует хотя бы одна дополнительная ФГ или, например, сопряженная связь. Поэтому могут быть идентифицированы различные группы альдегидов, спиртов, кетонов и др., в том числе и токсичные [6].

Отдельно стоит отметить возможность применения спектроскопии  $^1\text{H}$  ЯМР при определении структуры неизвестных продуктов окисления липидов. Так, с помощью различных вариантов двумерной спектроскопии ЯМР и некоторых других методов были идентифицированы ФГ и типы связей в молекулах димеров растительных стероидов, которые были получены при термическом окислении смеси стероидов и разделении полученных продуктов по полярности [33].

*Особенности проведения  $^1\text{H}$  ЯМР-анализа липидов.* В спектроскопии  $^1\text{H}$  ЯМР время анализа лимитируется временем регистрации спектра. На продольную релаксацию протонов ацильных цепей триглицеридов (ТАГ) требуется относительно немного времени (больше всего занимает релаксация протонов терминальной группы – $\text{CH}_3$  – 1,51 с) и существенно меньше, чем в  $^{13}\text{C}$  ЯМР [18], поэтому количественный  $^1\text{H}$  ЯМР-спектр липидного образца можно получить за 5–15 мин [12, 28, 34].

В качестве растворителя чаще всего используют дегидрированный хлороформ ( $\text{CDCl}_3$ ) [28, 34], реже метанол ( $\text{CD}_3\text{OH}$ ) [22]. Важно, чтобы его количество было достаточным, так как высокая концентрация образца может привести к снижению разрешения, искажениям спектров и ложным сигналам и в конечном итоге к ненадежным результатам количественной оценки [35]. Иногда улучшение сигнала можно получить, используя смесь хлороформа  $\text{CDCl}_3$  с диметилсульфоксидом  $\text{DMSO}-d_6$  в объемном соотношении 5:1 [18], однако при этом следует учитывать возможность изменения значений химических сдвигов некоторых ФГ [35]. Несмотря на сложный состав пищевых масел и жиров, специальная очистка или фракционирование компонентов требуются обычно

лишь в особых случаях, например, при определении структуры неизвестных компонентов [33]. В скрининговом анализе подготовка пробы состоит обычно только в разведении исследуемого образца.

Для извлечения необходимой информации из ЯМР-спектров важно корректное соотнесение сигналов с соответствующими протонами. Поскольку корректировка величин химических сдвигов происходит во многих слу-

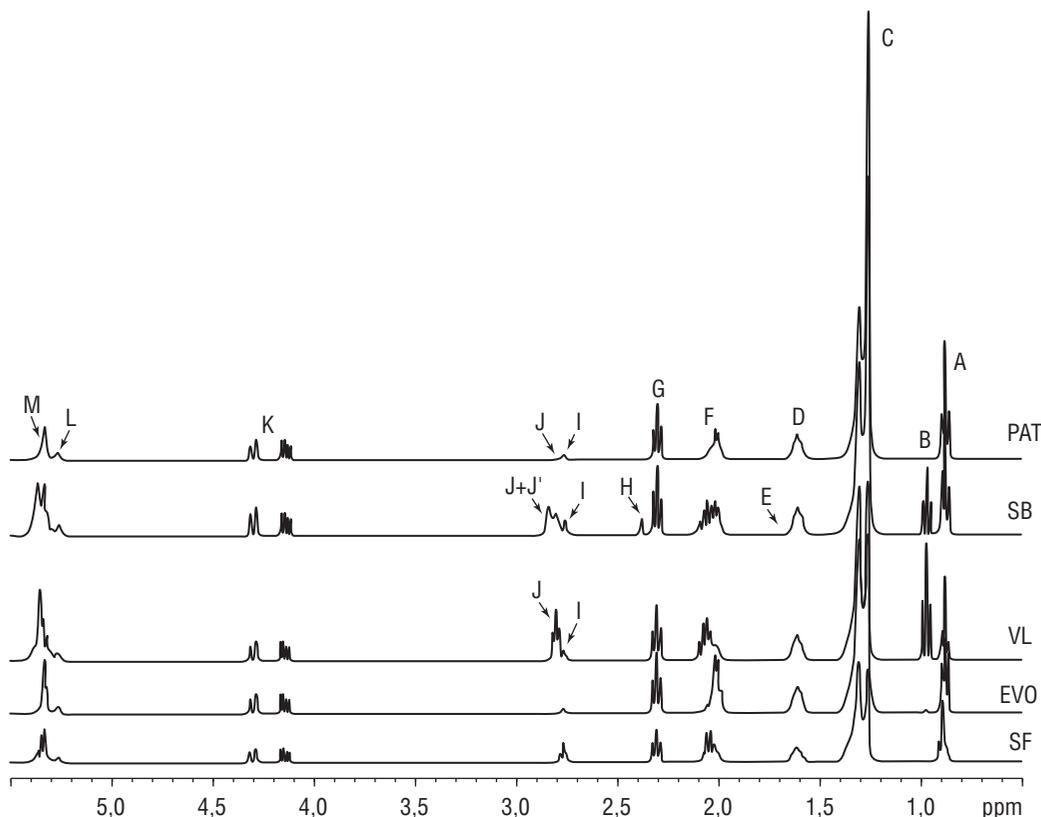


Рис. 1. <sup>1</sup>H ЯМР-спектры свиной жировой ткани (PAT), морского окуня (*D. labrax*; SB), льняного масла первого отжима (VL), оливкового масла первого отжима экстра-класса (EVO) и масла подсолнечника (SF). Буквенные обозначения согласуются с таковыми в табл. 1. Объединенные данные рис. 1, а также табл. 1 составлены авторами [6] на основании работ [23–25]

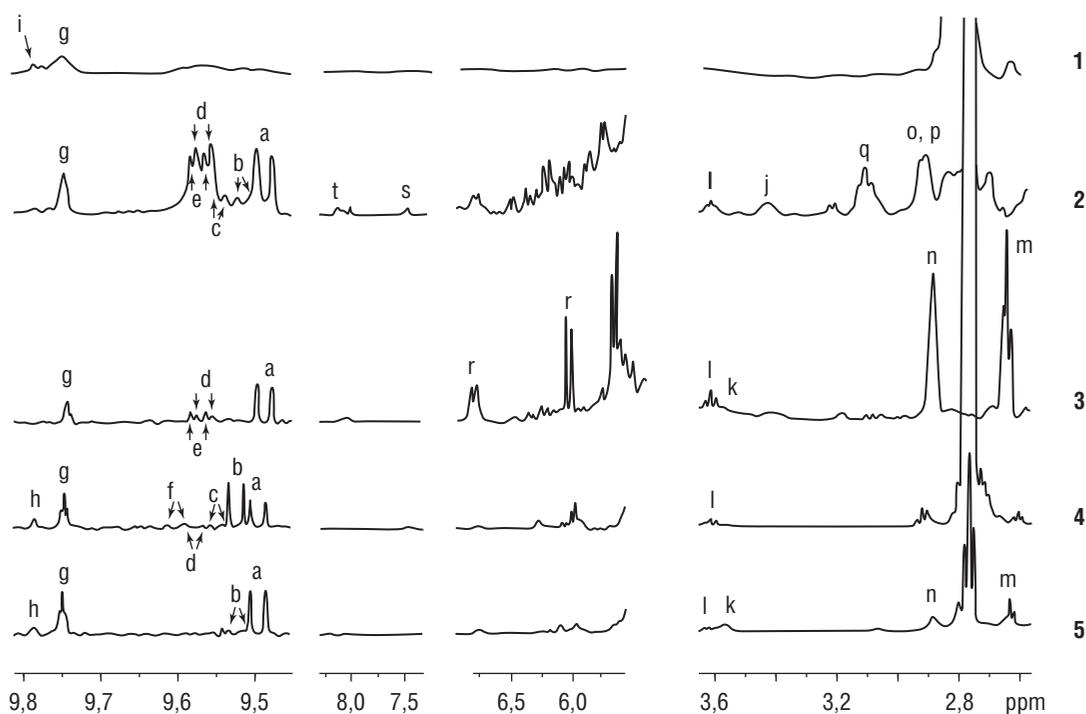
Таблица 1. Химические сдвиги и мультиплетность <sup>1</sup>H ЯМР-сигналов основных функциональных групп компонентов пищевых масел и жиров в дейтерированном хлороформе

Сигнал	Химический сдвиг, м.д.	Мультиплетность*	Функциональная группа	Название
A	0,879	t	-CH <sub>3</sub>	Насыщенные, мононенасыщенные ω-9 и/или ω-7 ацильные группы
A	0,889	t	-CH <sub>3</sub>	Ненасыщенные ω-6 ацильные группы
B	0,972	t	-CH <sub>3</sub>	Ненасыщенные ω-3 ацильные группы
C	1,221–1,419	m	-(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -	Ацильные группы
D	1,522–1,700	m	-OCO-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -	Ацильные группы за исключением ДГК, ЭПК и АРК
E	1,661–1,743	m	-OCO-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -	ЭПК и АРК
F	1,941–2,139	m	-CH <sub>2</sub> -CH=CH-	Ацильные группы за исключением -CH <sub>2</sub> - ацильной группы ДГК в β-позиции по отношению к карбонильной группе
G	2,305	dt	-OCO-CH <sub>2</sub> -	Ацильные группы за исключением ДГК
H	2,364–2,421	m	-OCO-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -	Ацильные группы ДГК
I	2,765	t	=HC-CH <sub>2</sub> -CH=	Диненасыщенные ω-6 ацильные группы
J	2,801	t	=HC-CH <sub>2</sub> -CH=	Триненасыщенные ω-3 ацильные группы
J'	2,773–2,895	m	=HC-CH <sub>2</sub> -CH=	ДГК, ЭПК, АРК и другие ацильные группы ПНЖК ω-3
K	4,139–4,303	dd,dd	-CH <sub>2</sub> OCOR	Глицеридные группы
L	5,225–5,296	m	>CHOCOR	Глицеридные группы
M	5,296–5,470	m	-CH=CH-	Ацильные группы

Примечание.\* - t - триплет; m - мультиплет; d - дублет; dt - дублет и триплет; dd,dd - двойной дублет; ДГК - докозагексаеновая кислота; ЭПК - эйкозапентаеновая кислота; АРК - арахидоновая кислота; ПНЖК - полиненасыщенные жирные кислоты.

**Таблица 2.** Химические сдвиги и мультиплетность <sup>1</sup>H ЯМР-сигналов некоторых вторичных продуктов окисления пищевых масел и жиров в дейтерированном хлороформе

Сигнал	Химический сдвиг, м.д.	Мультиплетность	Функциональная группа	Название
<i>Альдегиды</i>				
a	9,49	d	-CHO	Транс-2-алкенали
b	9,52	d	-CHO	Транс, транс-2,4-алкадиенали
c	9,55	d	-CHO	4,5-эпокси-2-алкенали
d	9,57	d	-CHO	4-гидрокси-транс-2-алкенали
e	9,58	d	-CHO	4-гидроперокси-транс-2-алкенали
f	9,60	d	-CHO	Цис, транс-2,4-алкадиенали
g	9,75	t	-CHO	n-Алканаля
h	9,78	t	-CHO	4-оксо-2-алканаля
i	9,79	t	-CHO	Низкомолекулярные n-алканаля (этаналь и пропаналь)
<i>Спирты</i>				
j	3,43	m	-CHOH-CHOH-	9,10-дигидрокси-12-октадецеаноат (при гидролизе дает лейкотоксиндиол)
k	3,54-3,59	m	-CHOH-	Вторичные спирты
l	3,62	t	-CH <sub>2</sub> OH-	Первичные спирты
<i>Эпоксиды</i>				
m	2,63	m	-CHOHC-	Транс-9,10-эпоксистеарат
n	2,88	m	-CHOHC-	Цис-9,10-эпоксистеарат
o	2,90	m	-CHOHC-	9,10-эпокси-октадеcanoат, 9,10-эпокси-12-октадецеаноат (лейкотоксин); 12,13-эпокси-9-октадецеаноат (изолейкотоксин)
p	2,90	m	-CHOHC-CHOHC-	9,10-12,13-диэпокси-октадеcanoат
q	3,10	m	-CHOHC-CH <sub>2</sub> -CHOHC-	9,10-12,13-диэпокси-октадецеаноат
<i>Кетоны и неидентифицированные соединения</i>				
r	6,08	dt	O=C<CH=CH-	Двойная связь, конъюгированная с кетогруппой
r	6,82	m		
s	7,50	?	?	-
t	8,10	?	?	-



**Рис. 2.** <sup>1</sup>H ЯМР-спектры вторичных продуктов окисления некоторых масел и жиров

1 – экстрагированный жир лосося, окисленный при 50 °С 768 ч; 2 – подсолнечное масло, окисленное при 70 °С 216 ч; 3 – оливковое масло первого отжима, окисленное при 70 °С 1560 ч; 4 – подсолнечное масло, окисленное при 190 °С 32,5 ч; 5 – оливковое масло первого отжима, окисленное при 190 °С 32,5 ч. Расшифровка буквенных обозначений приведена в табл. 2. Объединенные данные рис. 2, а также табл. 2 составлены авторами [6] на основании работ [3, 28–32].

чаяя относительно ТМС, при надлежащем выполнении анализа химические сдвиги сигналов протонов от одних и тех же ФГ, даже полученные на разных ЯМР-спектрометрах, совпадают. Это позволяет накладывать такие спектры друг на друга и в некоторых случаях использовать данные литературы при первичной идентификации наблюдаемых сигналов исследуемого масла, хотя и не с такой точностью, как при использовании стандартных веществ [22, 36]. Получению характерных м.д. известных ФГ может мешать присутствие в пробе воды [37] или некоторые другие факторы [38].

*Особенности количественного анализа.* Количественный и полуколичественный расчет содержания интересующих компонентов можно проводить относительно собственных компонентов липидных матриц или добавленных соединений. Таким добавленным соединением может служить остаточный хлороформ (7,26 ppm) [12, 38], если его концентрация в дейтерированном аналоге достоверно известна [12] и одинакова во всех ЯМР-экспериментах [28]. Его использование требует создания условий, нивелирующих риск испарения растворителя [12]. Кроме этого, удобно считать относительно какой-либо не меняющейся в условиях окисления ФГ самой липидной матрицы. Такие свойства были показаны для глицеридных групп (К, см. табл. 1) [6, 34]. Таким образом можно исследовать эволюцию интересующих групп соединений, если их сигналы и сигналы сопутствующих компонентов не накладываются [39]. При этом принимается, что площадь сигнала отдельной ФГ пропорциональна числу соответствующих протонов и константа пропорциональности всегда одна и та же [6, 28, 34].

Расчеты могут проводиться для основных деградирующих компонентов масел, соединений, образующихся в процессе окисления (первичных или вторичных продуктов) или и тех и других одновременно. В случае разрушающихся компонентов количественную оценку проводят для аллильных (ПНЖК) [34], бис-аллильных (линолевая,  $\alpha$ -линоленовая ЖК) и олефиновых протонов, так как они претерпевают наиболее отчетливые изменения в процессе окислительного разрушения [35]. Полученные результаты выражают в мольных процентах [5], ммоль/моль ТАГ [34] или в других относительных величинах. Расчеты в абсолютных величинах проводятся реже. В качестве примера можно привести  $^1\text{H}$  ЯМР-метод определения эпоксидов в различных маслах (линейный диапазон 6,7–841,6 ммоль/кг масла, LOQ 6,3 ммоль/кг масла), который был разработан в качестве альтернативы официально принятому методу АОАС [12].

Иногда полученные подобным образом результаты могут оказаться точнее в сравнении с результатами, полученными, например, хроматографически: спектроскопия ЯМР позволяет учитывать одновременно содержание всех изомеров с интересующей ФГ. При этом совсем отсутствует необходимость в стандартных веществах для идентификации каждого изомера [12] и часто в построении калибровочных кривых [40].

Получаемая количественная информация по содержанию различных групп соединений может использоваться при моделировании эволюции процессов окисления масел [28]. Выбираются определенные сигналы, относящиеся к исследуемой ФГ, и из значений их площадей строится матрица данных. Она обрабатывается с помощью хемометрических инструментов, что позволяет оценивать и предсказывать влияние продолжительности нагрева и температуры на эволюцию отдельных компонентов масел. Такой подход был продемонстрирован на примере альдегидных групп [38]. При этом полученные результаты хорошо соотносились с данными расчетов предложенной теми же авторами константы термической стабильности  $K_{TS}$  для рапсового, подсолнечного и оливкового масла первого отжима. Такая константа, а также полученные с помощью хемометрики результаты позволили ранжировать исследованные масла по их стабильности к окислению.

*Недостатки и ограничения метода.* Как видно, спектроскопия  $^1\text{H}$  ЯМР интересна тем, что подходит как для оценки общей стабильности масел к окислению [38], так и для количественного определения отдельных ФГ [12]. Однако попытки применить  $^1\text{H}$  ЯМР для определения некоторых показателей окисленности, например ПЧ, конъюгированных диенов и  $n$ -АЧ масел и др., не были успешными. К сожалению,  $^1\text{H}$  ЯМР менее чувствителен при исследовании начальных этапов процесса окисления по сравнению с хроматографическими [21] и химическими методами [41]. На более поздних этапах окисления корреляция между данными  $^1\text{H}$  ЯМР и, например, тиобарбитурового числа может быть более отчетлива [42].

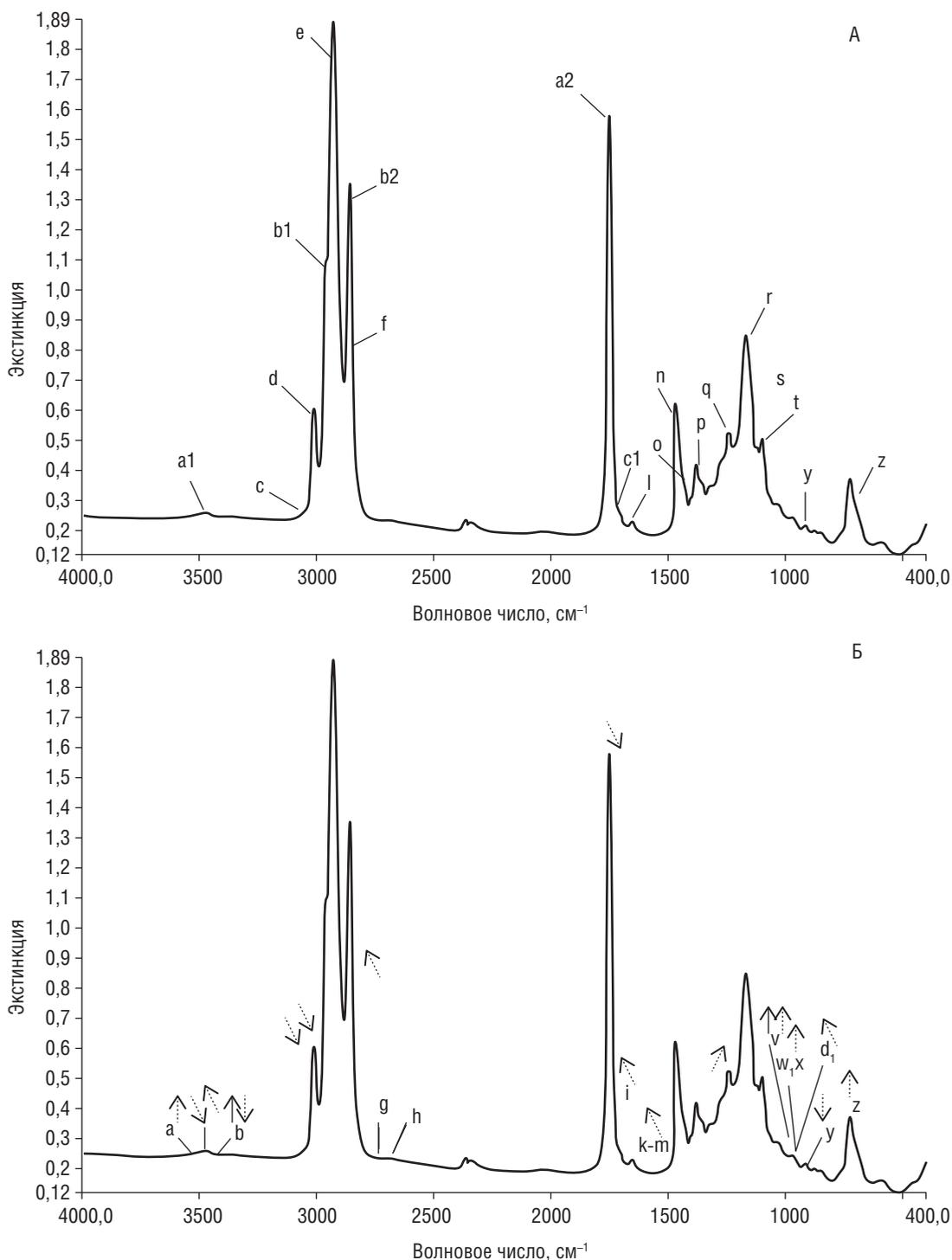
Наложение сигналов также может ограничивать количественный анализ некоторых ФГ: так, присутствие конъюгированных структур в карбонильной группе затрудняет наблюдение кетоновой [21], а сигналы глицеридных протонов могут перекрываться и искажать количественные результаты при использовании последних в качестве внутреннего стандарта [12].

### Регистрация окислительного изменения состава масел методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье

Одним из наиболее удобных аналитических методов, используемых в контроле качества пищевых продуктов, является инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье [43]. Окислительные изменения липидов исследуют с помощью различных ее вариантов, которые могут различаться спектральными диапазонами, способами калибровки, видами кювет и т.д. Данные спектров в различных областях поглощения дополняют друг друга, что может быть полезным при решении исследовательских задач. Несмотря на это, большее количество исследований проводится в среднем диапазоне 4500–400 см<sup>-1</sup>, в котором изменения максимумов и интенсивностей полос поглощения по сравнению, например, с ближней областью видны наиболее отчетливо [16].

Спектральная область I: 3700–3100 см<sup>-1</sup>. Окислительные изменения в составе масел начинают проявляться после окончания индукционного периода, или так называемого **первого этапа**, длительность которого зависит от вида исследуемого масла. На ИК-спектрах это отражается в снижении максимума волнового

числа эфирной группы триглицеридов, регистрируемой при 3475 см<sup>-1</sup> (полоса a1) (рис. 3А): сигнал становится более интенсивным и широким. Этому способствует появление гидропероксидов при 3450 см<sup>-1</sup> (полоса b, рис. 3Б), с которого начинается **второй этап** окисления. Он характеризуется возвращением максимума полосы a1



**Рис. 3.** Пример общего вида спектрограммы и окислительных изменений пищевого масла  
 А – инфракрасный спектр неокисленного кукурузного масла (при 25 °С) [11]; Б – общие регистрируемые изменения сигналов при окислении липидов на примере кукурузного масла. Условные обозначения: ↑ – увеличение или уменьшение интенсивности полосы в I фазе; ⤴ – увеличение или уменьшение интенсивности полосы во II фазе; ↖ – сдвиг максимума в направлении стрелки в I фазе; ↗ – сдвиг максимума в направлении стрелки во II фазе. Буквенные обозначения – см. табл. 3. По горизонтали – волновые числа, см<sup>-1</sup>; по вертикали – интенсивность поглощения.

Таблица 3. Основные Фурье-инфракрасные полосы поглощения различных компонентов пищевых масел\*

Сигнал	Волновое число, см <sup>-1</sup>	Функциональная группа/связь		Тип колебания	Принадлежность к группе соединений
<i>Спектральная область I: 3700–3100 см<sup>-1</sup></i>					
a	~3535	ОН (R-ОН)	Гидроксильная	Валентное	Спирты и вторичные продукты окисления
a1	~3475	C=O	Сложноэфирная (O-C=O)	Обертон	Триглицериды
b	~3450	ОН	Гидроксильная	Валентное (межмолекулярная связь)	Гидропероксиды (ROOH) и свободные жирные кислоты
<i>Спектральная область II: 3030–2600 см<sup>-1</sup></i>					
c	~3025	СН	<i>Транс</i> -олефиновая (-СН=СН-)	–	–
b1	~3008	СН	<i>Цис</i> -олефиновая (-СН=СН-)	Валентное	ПНЖК
b2	~2962	СН	Алифатическая (-СН <sub>3</sub> )	Асимметричное валентное	Терминальные метильные группы ЖК
d	~2925	СН	Алифатическая (-СН <sub>2</sub> )	Асимметричное валентное	–
b2	~2872	СН	Алифатическая (-СН <sub>3</sub> )	Асимметричное валентное	Терминальные метильные группы ЖК
e	~2854	СН	Алифатическая (-СН <sub>2</sub> )	Симметричное валентное	–
f	~2730	–	–	–	Возможно, альдегиды или димеры карбоновых кислот
g	~2678	–	–	–	–
<i>Спектральная область III: 1800–1500 см<sup>-1</sup></i>					
a2	~1750	C=O	Сложноэфирная ν(-C=O)	Валентное	Карбонильная группа триглицеридов
h	~1728	C=O	Сложноэфирная ν(-C=O)	Валентное	Альдегиды и насыщенные и ненасыщенные кетоны
c1	~1711	–	(RCOOH)	Валентное	Плечо СЖК или ненасыщенные кетоны
i	~1685	–	(RR'C=C-CHO)	–	Ненасыщенные альдегиды
j	~1672	–	–	–	Конъюгированные алифатические альдегиды
k	~1654	–	<i>Цис</i> -олефиновая (-C=C-)	Валентное	Ненасыщенные карбонильные соединения
l	~1630	–	–	–	α,β-Ненасыщенные альдегиды, кетоны
<i>Спектральная область IV: 1500–1000 см<sup>-1</sup></i>					
m	~1463	СН	Алифатическая (-СН <sub>2</sub> )	Ножничное	–
n	~1417	СН	–	Маятниковое	<i>Цис</i> -дизамещенные олефины
o	~1376	СН	Алифатическая (-СН <sub>3</sub> )	Симметричное валентное	–
p	~1238	СН	Алифатическая (-СН <sub>2</sub> )	Деформационное в разных плоскостях	Насыщенные ацильные группы
q	~1164	C-O	Эфирная ν(-C-O-)	Валентное	Насыщенные ацильные группы
r	~1119	–	–	–	–
s	~1099	–	–	–	–
t	~1025	C-O-C	Эфирная ν(-C-O-C-)	Валентное	–
<i>Спектральная область V: 1000–700 см<sup>-1</sup></i>					
u	~987	СН	Конъюгированная <i>транс,транс</i> - и <i>цис,транс</i> -двойная (-C=СН-)	Деформационное в разных плоскостях	–
v	~976	СН	Изолированная <i>транс,транс</i> -двойная (-C=СН-)		Альдегиды и кетоны
d1	~967	СН	Изолированная <i>транс,транс</i> -двойная (-C=СН-)		<i>Транс</i> -изомеры ЖК
w	~950	СН	Конъюгированная <i>цис,транс</i> -двойная (-C=СН-)		–
x	~914	–	(-СН=СН <sub>2</sub> )		Виниловые углеводороды
y	~722	СН	(-СН <sub>2</sub> ) и (-НС=СН-) (наложение полос)	Маятниковое (-СН <sub>2</sub> ) и деформационное в разных плоскостях (-НС=СН-)	Алифатические и <i>цис</i> -дизамещенные олефины

Примечание. \* – указаны примерные значения максимумов поглощения, так как они могут колебаться в зависимости от вида масла [44]; СЖК – свободные жирные кислоты.

к исходному [44]. По мере разрушения гидропероксидов полоса b исчезает [45], а у полосы эфирной группы триглицеридов появляется плечо на 3535 см<sup>-1</sup> (полоса a, см. рис. 3Б), которое является следствием присутствия спир-

тов или вторичных соединений с гидроксильной группой [46, 47]. Период времени, начиная с появления полосы, условно можно отнести к **третьему этапу** окисления, который заканчивается полимеризацией образца [44].

*Спектральная область II: 3030–2600 см<sup>-1</sup>.* Одним из характеристических показателей стадии окисления пищевых масел является площадь полосы поглощения при ~3008 см<sup>-1</sup> (полоса b1, см. рис. 3А). Эта полоса обусловлена валентными колебаниями *цис*-двойных связей [47, 48] и снижение ее максимума относительно начального уровня в конце первого и начале второго этапов отражает потерю двойных связей в молекулах ПНЖК. Другие полосы в данном регионе, относящиеся к алифатическим ФГ компонентов масел, в процессе термического окисления не меняются или меняются мало [44].

*Спектральная область III: 1800–1500 см<sup>-1</sup>.* В данной области находится полоса поглощения ~1750 см<sup>-1</sup> (полоса a2, см. рис. 3А), которая в неокисленных маслах относится исключительно к карбонильной ФГ триглицеридов. Появляющиеся при окислении соединения с насыщенной альдегидной ФГ при ~1728 см<sup>-1</sup> (полоса i, см. рис. 3Б) перекрывают эту полосу в спектре, уширяют [45] и снижают ее максимум, причем снижение тем больше, чем выше степень окисления [46]. Несмотря на то что сама по себе эта полоса обнаруживается только по разнице спектров масел до и после окисления, скорость ее изменения можно рассматривать как скорость образования альдегидов в образце [44]. Диапазон 1728–1630 см<sup>-1</sup> в целом отражает присутствие карбонильных продуктов окисления – насыщенных, ненасыщенных, альдегидов, О<sub>α</sub>,β-НА, кетонов [15] и свободных жирных кислот (~1700 см<sup>-1</sup>, полоса c1). На более поздних этапах окисления эта полоса начинает перекрываться сигналами при ~1685–1630 см<sup>-1</sup> (полосы j-l), относящимися к различным вторичным продуктам окисления. Полоса при 1654 см<sup>-1</sup> уменьшается и исчезает в процессе термического окисления, и появляется новый сигнал при 1630 см<sup>-1</sup>. Он тоже отражает присутствие насыщенных и ненасыщенных альдегидов и кетонов [17, 43], возможно, О<sub>α</sub>,β-НА [44].

*Спектральная область IV: 1500–1000 см<sup>-1</sup>.* Данная область характеризуется присутствием сигналов алифатических (диапазон 1463–1238 см<sup>-1</sup>) и сложнэфирных связей (~1164, ~1025 см<sup>-1</sup>) триглицеридов. Их изменение в течение первого этапа окисления либо отсутствует, либо незначительно, поэтому некоторые из них, например сигналы q при ~1164 см<sup>-1</sup> и r ~1119 см<sup>-1</sup>, могут служить еще одной мерой окислительной стабильности [44]. Изменение данных полос во втором этапе окисления если и происходит, то не имеет общих для всех масел закономерностей.

*Спектральная область V: 1000–800 см<sup>-1</sup>.* В данной области наблюдается поглощение сопряженных и изолированных *транс,транс*- и *цис,транс*-двойных связей. Наличие сопряженной связи и ее максимум в свежих маслах зависит от вида масла, а интенсивность растет по мере процесса окисления. Обычно появление сигналов сопряженных *транс,транс*-двойных связей наблюдается в конце первого этапа окисления, а с исчезновением гидропероксидов в конце второго этапа их интенсивность снижается [44]. При появлении эта полоса, наряду с сигналом v при ~975 см<sup>-1</sup> (изолированные

*транс,транс*-двойные связи), перекрывает полосу при ~967 см<sup>-1</sup> (сигнал d1), которая относится к изолированным *транс,транс*-двойным связям *транс*-изомеров ЖК [15]. На ИК-спектрах это регистрируется как уширение сигнала d1 [44]. *Цис,транс*-двойные связи помимо сигнала u дают сигнал w, однако на поздних этапах окисления он может перекрываться поглощением изолированных *транс,транс*-двойных связей при ~967 см<sup>-1</sup>, как было показано для окисленного подсолнечного масла [46]. Полоса при ~914 см<sup>-1</sup> может не наблюдаться в некоторых видах масла, однако для тех образцов, где она есть, скорость ее исчезновения может служить мерой скорости образования вторичных продуктов окисления [44]. Полоса при ~722 см<sup>-1</sup> (сигнал y) обычно видна как группа неразрешенных сигналов, относящаяся к различным видам колебаний *цис*-двойных связей ЖК. По мере образования вторичных продуктов окисления она увеличивается [44].

*Мониторинг изменения масел в процессе окисления.* Процесс окисления пищевых масел в целом методом Фурье-ИКС можно регистрировать путем расчета спектроскопического индекса, характеризующего изменение интенсивности поглощения *цис*-двойных связей ЖК относительно интенсивности других связей диапазона 3050–2750 см<sup>-1</sup> [45]:

$$-C=C- = \frac{(sp2/(sp2+sp3))^*T_0}{(sp2/(sp2+sp3))^*T_t}, \quad (1)$$

sp2 – площадь валентного колебания *цис*-СН-связи при 3008 см<sup>-1</sup> и sp2 + sp3 – площадь диапазона 3050–2750 см<sup>-1</sup>, включая *цис*-СН-полосу и несимметричную и симметричную полосы валентного колебания СН алифатических СН<sub>3</sub> и СН<sub>2</sub> в начальном T<sub>0</sub> и конечном T<sub>t</sub> периодах времени.

На основе этого показателя удобно сравнивать стадии окисления различных масел между собой вне зависимости от вида масла и толщины слоя в кювете, поскольку в расчете используются абсолютные значения площадей. Эти стадии представляют собой фазу индукции (время от начала эксперимента до начала окисления), когда значение индекса стабильно, и фазу окисления (деградация ЖК), когда значение индекса уменьшается от 1 до 0. Последнюю фазу можно условно разделить на 2 периода: период полураспада (T<sub>1/2</sub>), который соответствует требуемому времени для получения значения индекса 0,5, и период времени (T<sub>t</sub>) до полного исчезновения полосы при 3008 см<sup>-1</sup> (нулевое значение индекса).

*Сравнение метода Фурье-ИКС с официальными методами определения показателей окисленности масел.* Ввиду относительной простоты и удобства метода Фурье-ИКС [48], были предприняты попытки вычислять некоторые показатели качества и безопасности на основе данных ИК-спектров. Было показано, что всего один анализ позволяет получить следующую информацию об образце (рис. 4).

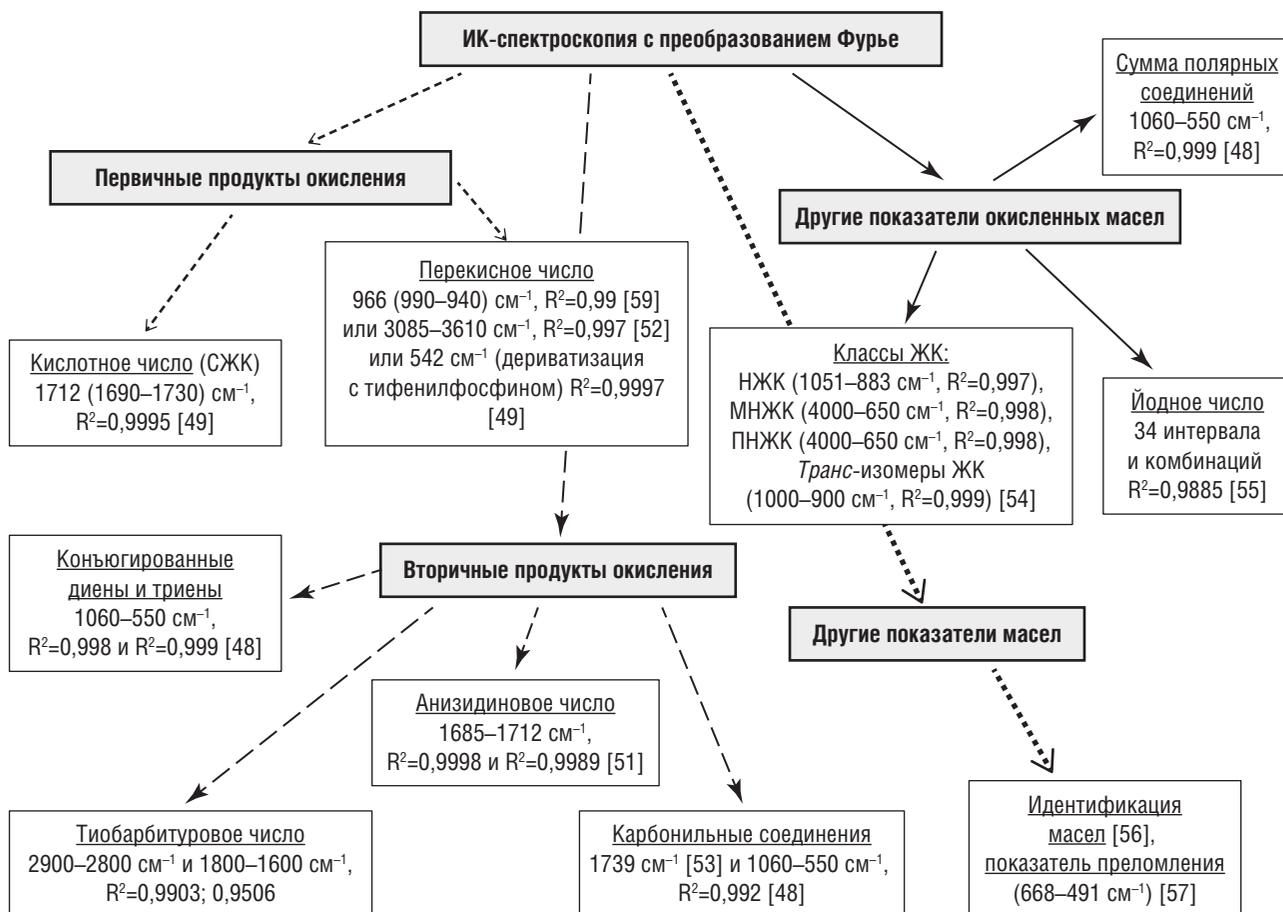


Рис. 4. Возможности применения инфракрасной спектроскопии в анализе показателей окисления пищевых масел

На рис. 4 видно, что большинство показателей рассчитывается на основе определенного диапазона поглощения, причем диапазон отдельного показателя не всегда соответствует интервалу (или одному волновому числу) ожидаемых компонентов этого показателя (см. табл. 3). Этот диапазон обычно вычисляется при помощи различных хемометрических инструментов [48, 49], при этом основные изменяющиеся компоненты спектра объединяются в группы на основе схожего признака – в главные компоненты, которые, в отличие от первоначальных спектральных данных, уже могут использоваться для извлечения количественной информации об интересующей группе веществ [17]. Сравнение получаемых значений со значениями, полученными официальными методами, позволяет сделать вывод о высокой предсказательной способности таких моделей (см. рис. 4).

## Заключение

Анализ возможностей спектроскопий <sup>1</sup>H ЯМР и Фурье-ИКС для характеристики окисления пищевых масел и жиров позволяет выделить следующие общие преимущества:

1) одновременная регистрация сигналов основных компонентов липидной матрицы, а также первичных и вторичных продуктов окисления масел, в том числе в реальном времени;

2) простота подготовки проб [6, 59] по сравнению с химическими и хроматографическими методами;

3) меньшее время анализа, высокая воспроизводимость, информативность и надежность методов [18].

Дополнительно спектроскопия <sup>1</sup>H ЯМР позволяет количественно измерять динамику деградации ЖК, образования и разрушения первичных и вторичных продуктов окисления, в том числе токсичных [6]. При этом в ЯМР-анализе пищевых масел, как правило, отсутствует перекрывание сигналов [60], количественное определение не требует использования стандартов веществ [12, 16] и дает возможность ранжировать пищевые масла и жиры по стабильности к окислению [38].

Ранжирование также возможно на основе Фурье-ИКС-спектров [43]. Для применения Фурье-ИКС в качестве альтернативы химическим методам определения показателей окисленности требуется предварительное изучение состава липидной матрицы. При этом результаты могут быть выражены в общепринятых единицах измерения [15].

Таким образом, получаемая с помощью  $^1\text{H}$  ЯМР и Фурье-ИКС [58] спектральная информация может быть с успехом использована для мониторинга окислительного изменения пищевых масел, измерения существующих показателей окисленности и поиска новых, более достоверных показателей степени окисления.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-16-00055)

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## Сведения об авторах

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (Москва):

*Макаренко Мария Андреевна* – младший научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов

E-mail: dragon.soul92@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1688-6304>

*Малинкин Алексей Дмитриевич* – кандидат фармацевтических наук, научный сотрудник лаборатории химии пищевых продуктов

E-mail: malinkin@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0370-4500>

*Бессонов Владимир Владимирович* – доктор биологических наук, руководитель лаборатории химии пищевых продуктов

E-mail: bessonov@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3587-5347>

*Саркисян Варужан Амбарцумович* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов

E-mail: sarkisyan@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5911-610X>

*Кочеткова Алла Алексеевна* – доктор технических наук, профессор, руководитель лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов

E-mail: kochetkova@ion.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9821-192X>

## Литература

- Schaich K. Lipid oxidation: theoretical aspects // Bailey's Industrial Oil and Fat Products. New York : Wiley, 2005.
- Goicoechea E., Brandon E.F., Blokland M.H., Guillen M.D. Fate in digestion in vitro of several food components, including some toxic compounds coming from omega-3 and omega-6 lipids // Food Chem. Toxicol. 2011. Vol. 49. P. 115–124.
- Goicoechea E., Guillen M.D. Analysis of hydroperoxides, aldehydes and epoxides by  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance in sunflower oil oxidized at 70 and 100 °C // J. Agric. Food Chem. 2010. Vol. 58. P. 6234–6245.
- Guillen M.D., Goicoechea E. Detection of primary and secondary oxidation products by fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance (NMR) in sunflower oil during storage // J. Agric. Food Chem. 2007. Vol. 55. P. 10 729–10 736.
- Guillen M.D., Goicoechea E. Toxic oxygenated  $\alpha$ ,  $\beta$ -unsaturated aldehydes and their study in foods. A review // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2008. Vol. 48. P. 119–136.
- Martéñez-Yusta A., Goicoechea E., Guillen M.D. A review of thermo-oxidative degradation of food lipids studied by  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy: influence of degradative conditions and food lipid nature // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2014. Vol. 13. P. 838–859.
- Саркисян В.А., Кочеткова А.А., Бессонов В.В., Глазкова И.В. Токсикологическая характеристика основных продуктов окисления липидов // Вопр. питания. 2016. № 6. С. 80–85.
- Barry M., Markaverich B.M., Crowley J.R., Alejandro M.A. et al. Leukotoxin diols from ground corn cob bedding disrupt estrous cyclicity in rats and stimulate MCF-7 breast cancer cell proliferation // Environ. Health Perspect. 2005. Vol. 113, N 12. P. 1698–1704.
- ТР ТС 024/2011. Технический регламент на масложировую продукцию, 2011.
- Williamson S. Detection of Rancidity in Peanuts. Edith Cowan University. Research Online, 1998. 56 p. URL: [http://ro.ecu.edu.au/theses\\_hons/745](http://ro.ecu.edu.au/theses_hons/745). (дата обращения: 01.04.2018)
- Vlachos N., Skopelitis Y., Psaroudaki M., Konstantinidou V. et al. Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils // Anal. Chim. Acta. 2006. Vol. 573. P. 459–465.
- Xia W., Budge S. M., Lumsden M. D. New  $^1\text{H}$  NMR-based technique to determine epoxide concentrations in oxidized oil // J. Agric. Food Chem. 2015. Vol. 63, N 24. P. 5780–5786.
- Semb T.N. Analytical Methods for Determination of the Oxidative Status in Oils. Norway : Department of Biotechnology, Norwegian University of Science and Technology, 2012. 115 p.
- Silvagni A., Franco L., Bagno A., Rastrelli F. Thermoinduced lipid oxidation of a culinary oil: a kinetic study of the oxidation products by magnetic resonance spectroscopies // J. Phys. Chem. A. 2010. Vol. 114. P. 10 059–10 065.
- Li-Chan E., Chalmers J., Griffiths P. Applications of Vibrational Spectroscopy in Food Science. New York : John Wiley and Sons, 2011. 872 p.
- Wojcicki K., Khmelinskii I., Sikorski M., Sikorska E. Near and mid infrared spectroscopy and multivariate data analysis in studies of oxidation of edible oils // Food Chem. 2015. Vol. 187. P. 416–423.
- Muik B., Lendl B., Molina-Diaz A., Valcarcel M. et al. Two-dimensional correlation spectroscopy and multivariate curve resolution for the study of lipid oxidation in edible oils monitored by FTIR and FT-Raman spectroscopy // Anal. Chim. Acta. 2007. Vol. 593. P. 54–67.
- Alexandri E., Ahmed R., Siddiqui H., Choudhary M.I. et al. High resolution NMR spectroscopy as a structural and analytical tool for unsaturated lipids in solution // Molecules. 2017. Vol. 22. P. 1663–1671.

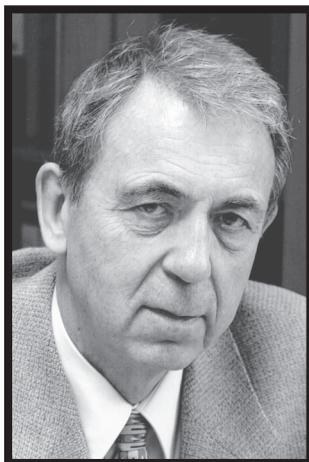
19. Castejon D., Herrera A., Heras A. et al. Oil quality control of culinary oils subjected to deep-fat frying based on NMR and EPR spectroscopy // *Food Anal. Methods*. 2017. Vol. 10, N 7. P. 2467–2480.
20. Sikorska E., Khmelinskii I., Sikorski M. Characterization of edible oils using synchronous scanning fluorescence spectroscopy // *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 2003. Vol. 12, N 53. P. 108–112.
21. Xia W., Budge S.M. Techniques for the analysis of minor lipid oxidation products derived from triacylglycerols: epoxides, alcohols, and ketones // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2017. Vol. 16, N 4. P. 735.
22. Silwood C.J., Grootveld M. Application of high-resolution, two-dimensional <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance techniques to the characterization of lipid oxidation products in autoxidized linoleoyl/linolenoylglycerols // *Lipid*. 1999. Vol. 34, N 7. P. 741–775.
23. Guillen M.D., Ruiz A. High resolution <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance in the study of edible oils and fats // *Trends Food Sci. Technol.* 2001. Vol. 12, N 9. P. 328–338.
24. Vidal N.P., Manzanos M.J., Goicoechea E., Guillen M.D. Quality of farmed and wild sea bass lipids studied by <sup>1</sup>H NMR: usefulness of this technique for differentiation on a qualitative and a quantitative basis // *Food Chem.* 2012. Vol. 135, N 3. P. 1583–1591.
25. Guillen M.D., Carton I., Goicoechea E., Uriarte P.S. Characterization of cod liver oil by spectroscopic techniques. New approaches for the determination of compositional parameters, acyl groups, and cholesterol from <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance and Fourier transform infrared spectral data // *J. Agric. Food Chem.* 2008. Vol. 56, N 19. P. 9072–9079.
26. Silvagni A., Franco L., Bagno A., Rastrelli F. Thermoinduced lipid oxidation of a culinary oil: a kinetic study of the oxidation products by magnetic resonance spectroscopies // *J. Phys. Chem. A*. 2010. Vol. 114. P. 10 059–10 065.
27. Yang C.M., Grey A.A., Archer M.C., Bruce W.R. Rapid quantitation of thermal oxidation products in fats and oils by <sup>1</sup>H-NMR spectroscopy // *Nutr. Cancer*. 1998. Vol. 30, N 1. P. 64–68.
28. Guillen M.D., Uriarte P.S. Study by <sup>1</sup>H NMR spectroscopy of the evolution of extra virgin olive oil composition submitted to frying temperature in an industrial fryer for a prolonged period of time // *Food Chem.* 2012. Vol. 134. P. 162–172.
29. Guillen M.D., Ruiz A. Study of the oxidative stability of salted and unsalted salmon fillets by <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance // *Food Chem.* 2004. Vol. 86, N 2. P. 297–304.
30. Guillen M.D., Ruiz A. Study by proton nuclear magnetic resonance of the thermal oxidation of oils rich in oleic acyl groups // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2005. Vol. 82, N 5. P. 349–355.
31. Guillen M.D., Goicoechea E. Oxidation of corn oil at room temperature: primary and secondary oxidation products and determination of their concentration in the oil liquid matrix from <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance data // *Food Chem.* 2009. Vol. 116, N 1. P. 183–192.
32. Guillen M.D., Uriarte P.S. Simultaneous control of the evolution of the percentage in weight of polar compounds, iodine value, acyl groups proportions and aldehydes concentrations in sunflower oil submitted to frying temperature in an industrial fryer // *Food Control*. 2012. Vol. 24, N 2. P. 50–56.
33. Sosinska E., Przybylski R., Aladedunye F., Hazendonk P. Spectroscopic characterisation of dimeric oxidation products of phytosterols // *Food Chem.* 2014. Vol. 151. P. 404–414.
34. Martinez-Yusta A., Guillen M.D. Deep-frying food in extra virgin olive oil: a study by <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance of the influence of food nature on the evolving composition of the frying medium // *Food Chem.* 2014. Vol. 150. P. 429–437.
35. Hwang H.-S. NMR spectroscopy for assessing lipid oxidation // *Lipid Technol.* 2015. Vol. 27, N 8. P. 187–189.
36. Bising A., Ternes W. Separation of  $\alpha$ -tocotrienol oxidation products and eight tocopherols by HPLC with DAD and fluorescence detection and identification of unknown peaks by DAD, PBI-EIMS, FTIR, and NMR // *Anal. Bioanal. Chem.* 2011. Vol. 401. P. 2843–2854.
37. Sopelana P., Ibargoitia M. L., Guillen M.D. Influence of fat and phytosterols concentration in margarines on their degradation at high temperature. A study by <sup>1</sup>H Nuclear Magnetic Resonance // *Food Chem.* 2016. Vol. 197. P. 1256–1263.
38. Cordella C.B., Tekye T., Rutledge D.N., Leardi R. A multiway chemometric and kinetic study for evaluating the thermal stability of edible oils by <sup>1</sup>H NMR analysis: comparison of methods // *Talanta*. 2012. Vol. 88. P. 358–368.
39. Pauli G.F., Gudecke T., Jaki B.U., Lanki D.C. Quantitative <sup>1</sup>H NMR: development and potential of an analytical method – an update // *J. Nat. Prod.* 2012. Vol. 75, N 4. P. 834–851.
40. Mo H., Harwood J. S., Rafferty D. Receiver Gain Function: the Actual NMR Receiver Gain // *Magn. Reson. Chem.* 2010. Vol. 48, N 3. P. 235–238.
41. Harris E. Improving lipid oxidation measurements: investigating a <sup>1</sup>H NMR alternative to and evaluating the assumptions of standard chemical methods. Halifax: Dalhousie University, 2017. 70 p.
42. Silva A.C.O., Mórscico E.T., Oliveira de Jesus E.F., Guimaraes C.F. et al. Effect of gamma radiation on lipids by the TBARS and NMR // *Braz. Arch. Biol. Technol.* 2011. Vol. 54, N 6. P. 1343–1348.
43. Le Dreau Y., Dupuya N., Artauda J., Ollivier D. et al. Infrared study of aging of edible oils by oxidative spectroscopic index and MCR-ALS chemometric method // *Talanta*. 2009. Vol. 77. P. 1748–1756.
44. Guillen M.D., Cabo N. Usefulness of the frequency data of the Fourier transform infrared spectra to evaluate the degree of oxidation of edible oils // *J. Agric. Food Chem.* 1999. Vol. 47. P. 709–719.
45. Rutckeviski R., Xavier-Junior F.H. et al. Thermo-oxidative stability evaluation of bullfrog (*Rana catesbeiana* shaw) oil // *Molecules*. 2017. Vol. 22, N 4. P. 606.
46. Guillen M.D., Goicoechea E. Detection of primary and secondary oxidation products by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance (NMR) in sunflower oil during storage // *J. Agric. Food Chem.* 2007. Vol. 55. P. 10 729–10 736.
47. Yahuaca-Juarez B., Martinez-Flores H.E., Huerta-Ruelas J.A., Pless R.C. et al. Oil oxidation in corn flour from grains processed with alkaline cooking by use of peroxide value, UV and FTIR // *Plant Foods Hum. Nutr.* 2013. Vol. 68. P. 65–71.
48. Younis Talpur M., Sara Hassan S., Sherazi S.T.H., Mahesar S.A. et al. A simplified FTIR chemometric method for of four oxidation parameters of frying canola oil simultaneous determination // *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2015. Vol. 149. P. 656–661.
49. Xiuzhu Y., Shuangkui D.U., van de Voort F.R., Tianli Y. et al. Automated and simultaneous determination of free fatty acids and peroxide values in edible oils by FTIR spectroscopy using spectral reconstruction // *Anal. Sci.* 2009. Vol. 25. P. 627–632.
50. Mirghani M.E.S., Che Man Y.B., Jinap S., Baharin B.S. et al. Multivariate calibration of Fourier transform spectra in determining the thiobarbituric acid-reactive substance content in palm oil // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2001. Vol. 78, N 11. P. 1127–1131.
51. Andina L., Riyanto R., Rohman A. Determination of anisidine value of red fruit oil under elevated temperature using FTIR spectroscopy and multivariate calibration // *Int. Food Res. J.* 2014. Vol. 21, N 6. P. 2325–2330.
52. Andina L., Riyanto S., Rohman A. Determination of peroxide value of red fruit oil by FTIR spectroscopy and multivariate calibration // *Int. Food Res. J.* 2017. Vol. 24, N 6. P. 2312–2316.
53. Rohman A., Kuwat T., Retno S., Sisindari Y.E. et al. Fourier Transform Infrared Spectroscopy applied for rapid analysis of lard in palm oil // *Int. Food Res. J.* 2012. Vol. 19, N 3. P. 1161–1165.
54. Sherazi S.T.M., Talpur M., Mahesar S., Kandhro A. et al. Main fatty acid classes in vegetable oils by SB-ATR-Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy // *Talanta*. 2009. Vol. 80, N 2. P. 600–606.
55. Meng X., Ye Q., Nie X., Jiang L. Iodine value determination of edible oils using ATR-FTIR and chemometric methods // *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2017. Vol. 119, N 9. Article ID 1600323.
56. Mueller D., Ferrao M., Marder L., da Costa A. et al. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and multivariate analysis for identification of different vegetable oils used in biodiesel production // *Sensors (Basel)*. 2013. Vol. 13, N 4. P. 4258–4271.

57. Yunus W.M.M., Fen Y.Y.W., Yee L.M. Refractive index and Fourier transform infrared spectra of virgin coconut oil and virgin olive oil // *Am. J. Appl. Sci.* 2009. Vol. 6, N 2. P. 328–331.
58. Wojcicki K., Khmelinskii I., Sikorski M., Sikorska E. Near and mid infrared spectroscopy and multivariate data analysis in studies of oxidation of edible oils // *Food Chem.* 2015. Vol. 187. P. 416–423.
59. Cebi N., Yilmaz M.T., Sagdic O., Yuces H. et al. Prediction of peroxide value in omega-3 rich microalgae oil by ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometrics // *Food Chem.* 2017. Vol. 225. P. 188–196.
60. Aerts H.A.J., Jacobs P.A. Epoxide yield determination of oils and fatty acid methyl esters using  $^1\text{H}$  NMR // *J. Am. Oil Chem.* 2004. Vol. 81. P. 841–846.

## References

1. Schaich K. Lipid oxidation: theoretical aspects. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. New York: Wiley, 2005.
2. Goicoechea E., Brandon E.F., Blokland M.H., Guillen M.D. Fate in digestion in vitro of several food components, including some toxic compounds coming from omega-3 and omega-6 lipids. *Food Chem Toxicol.* 2011; 49: 115–24.
3. Goicoechea E., Guillen M.D. Analysis of hydroperoxides, aldehydes and epoxides by  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance in sunflower oil oxidized at 70 and 100 °C. *J Agric Food Chem.* 2010; 58: 6234–45.
4. Guillen M.D., Goicoechea E. Detection of primary and secondary oxidation products by fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance (NMR) in sunflower oil during storage. *J Agric Food Chem.* 2007; 55: 10 729–36.
5. Guillen M.D., Goicoechea E. Toxic oxygenated  $\alpha$ ,  $\beta$ -unsaturated aldehydes and their study in foods. A review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2008; 48: 119–36.
6. Martínez-Yusta A., Goicoechea E., Guillen M.D. A review of thermoxidative degradation of food lipids studied by  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy: influence of degradative conditions and food lipid nature. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2014; 13: 838–59.
7. Sarkisjan V.A., Kochetkova A.A., Bessonov V.V., Glazkova I.V. Toxicological characteristics of the main lipid oxidation products. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 2016; 85 (6): 80–5. (in Russian)
8. Barry M., Markaverich B.M., Crowley J.R., Alejandro M.A., et al. Leukotoxin diols from ground corn cob bedding disrupt estrous cyclicity in rats and stimulate MCF-7 breast cancer cell proliferation. *Environ Health Perspect.* 2005; 113 (12): 1698–704.
9. TR TS 024/2011. Technical regulations for oil and fat products. 2011. (in Russian)
10. Williamson S. Detection of rancidity in peanuts. Edith Cowan University. Research Online, 1998: 56 p. URL: [http://ro.ecu.edu.au/theses\\_hons/745](http://ro.ecu.edu.au/theses_hons/745). (date of access April 01, 2018)
11. Vlachos N., Skopelitis Y., Psaroudaki M., Konstantinidou V., et al. Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils. *Anal Chim Acta.* 2006; 573: 459–65.
12. Xia W., Budge S. M., Lumsden M. D. New  $^1\text{H}$  NMR-based technique to determine epoxide concentrations in oxidized oil. *J Agric Food Chem.* 2015; 63 (24): 5780–6.
13. Semb T.N. Analytical methods for determination of the oxidative status in oils. Norway: Department of Biotechnology, Norwegian University of Science and Technology, 2012: 115 p.
14. Silvagni A., Franco L., Bagno A., Rastrelli F. Thermoinduced lipid oxidation of a culinary oil: a kinetic study of the oxidation products by magnetic resonance spectroscopies. *J Phys Chem A.* 2010; 114: 10 059–65.
15. Li-Chan E., Chalmers J., Griffiths P. Applications of vibrational spectroscopy in food science. New York: John Wiley and Sons, 2011: 872 p.
16. Wojcicki K., Khmelinskii I., Sikorski M., Sikorska E. Near and mid infrared spectroscopy and multivariate data analysis in studies of oxidation of edible oils. *Food Chem.* 2015; 187: 416–23.
17. Muik B., Lendl B., Molina-Diaz A., Valcarcel M., et al. Two-dimensional correlation spectroscopy and multivariate curve resolution for the study of lipid oxidation in edible oils monitored by FTIR and FT-Raman spectroscopy. *Anal Chim Acta.* 2007; 593: 54–67.
18. Alexandri E., Ahmed R., Siddiqui H., Choudhary M.I., et al. High resolution NMR spectroscopy as a structural and analytical tool for unsaturated lipids in solution. *Molecules.* 2017; 22: 1663–71.
19. Castejon D., Herrera A., Heras A., et al. Oil quality control of culinary oils subjected to deep-fat frying based on NMR and EPR spectroscopy. *Food Anal Methods.* 2017; 10 (7): 2467–80.
20. Sikorska E., Khmelinskii I., Sikorski M. Characterization of edible oils using synchronous scanning fluorescence spectroscopy. *Pol J Food Nutr Sci.* 2003; 12 (53): 108–12.
21. Xia W., Budge S.M. Techniques for the analysis of minor lipid oxidation products derived from triacylglycerols: epoxides, alcohols, and ketones. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2017; 16 (4): 735.
22. Silwood C.J., Grootveld M. Application of high-resolution, two-dimensional  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  nuclear magnetic resonance techniques to the characterization of lipid oxidation products in autoxidized linoleoyl/linolenoylglycerols. *Lipid.* 1999; 34 (7): 741–75.
23. Guillen M.D., Ruiz A. High resolution  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance in the study of edible oils and fats. *Trends Food Sci Technol.* 2001; 12 (9): 328–38.
24. Vidal N.P., Manzanos M.J., Goicoechea E., Guillen M.D. Quality of r farmed and wild sea bass lipids studied by  $^1\text{H}$  NMR: usefulness of this technique for differentiation on a qualitative and a quantitative basis. *Food Chem.* 2012; 135 (3): 1583–91.
25. Guillen M.D., Carton I., Goicoechea E., Uriarte P.S. Characterization of r cod liver oil by spectroscopic techniques. New approaches for the determination of compositional parameters, acyl groups, and cholesterol from  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance and Fourier transform infrared spectral data. *J Agric Food Chem.* 2008; 56 (19): 9072–9.
26. Silvagni A., Franco L., Bagno A., Rastrelli F. Thermoinduced lipid oxidation of a culinary oil: a kinetic study of the oxidation products by magnetic resonance spectroscopies. *J Phys Chem A.* 2010; 114: 10 059–65.
27. Yang C.M., Grey A.A., Archer M.C., Bruce W.R. Rapid quantitation of thermal oxidation products in fats and oils by  $^1\text{H}$ -NMR spectroscopy. *Nutr Cancer.* 1998; 30 (1): 64–8.
28. Guillen M.D., Uriarte P.S. Study by  $^1\text{H}$  NMR spectroscopy of the evolution of extra virgin olive oil composition submitted to frying temperature in an industrial fryer for a prolonged period of time. *Food Chem.* 2012; 134: 162–72.
29. Guillen M.D., Ruiz A. Study of the oxidative stability of salted and unsalted salmon fillets by  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance. *Food Chem.* 2004; 86 (2): 297–304.
30. Guillen M.D., Ruiz A. Study by proton nuclear magnetic resonance of the thermal oxidation of oils rich in oleic acyl groups. *J Am Oil Chem Soc.* 2005; 82 (5): 349–55.
31. Guillen M.D., Goicoechea E. Oxidation of corn oil at room temperature: primary and secondary oxidation products and determination of their concentration in the oil liquid matrix from  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance data. *Food Chem.* 2009; 116 (1): 183–92.
32. Guillen M.D., Uriarte P.S. Simultaneous control of the evolution of the percentage in weight of polar compounds, iodine value, acyl groups proportions and aldehydes concentrations in sunflower oil submitted to frying temperature in an industrial fryer. *Food Control.* 2012; 24 (2): 50–6.
33. Sosinska E., Przybylski R., Aladedunye F., Hazendonk P. Spectroscopic characterisation of dimeric oxidation products of phytosterols. *Food Chem.* 2014; 151: 404–14.
34. Martínez-Yusta A., Guillen M.D. Deep-frying food in extra virgin olive oil: a study by  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance of the influence of food nature on the evolving composition of the frying medium. *Food Chem.* 2014; 150: 429–37.

35. Hwang H.-S. NMR spectroscopy for assessing lipid oxidation. *Lipid Technol.* 2015; 27 (8): 187–9.
36. Busing A., Ternes W. Separation of  $\alpha$ -tocotrienol oxidation products and eight tocopherols by HPLC with DAD and fluorescence detection and identification of unknown peaks by DAD, PBI-EIMS, FTIR, and NMR. *Anal Bioanal Chem.* 2011; 401: 2843–54.
37. Sopelana P., Ibarra M. L., Guillén M.D. Influence of fat and phytosterols concentration in margarines on their degradation at high temperature. A study by  $^1\text{H}$  Nuclear Magnetic Resonance. *Food Chem.* 2016; 197: 1256–63.
38. Cordella C.B., Tekye T., Rutledge D.N., Leardi R. A multiway chemometric and kinetic study for evaluating the thermal stability of edible oils by  $^1\text{H}$  NMR analysis: comparison of methods. *Talanta.* 2012; 88: 358–68.
39. Pauli G.F., Gudecke T., Jaki B.U., Lanki D.C. Quantitative  $^1\text{H}$  NMR: development and potential of an analytical method – an update. *J Nat Prod.* 2012; 75 (4): 834–51.
40. Mo H., Harwood J. S., Raftery D. Receiver gain function: the actual NMR receiver gain. *Magn Reson Chem.* 2010; 48 (3): 235–8.
41. Harris E. Improving lipid oxidation measurements: investigating a  $^1\text{H}$  NMR alternative to and evaluating the assumptions of standard chemical methods. Halifax: Dalhousie University, 2017: 70 p.
42. Silva A.C.O., Marsico E.T., Oliveira de Jesus E.F., Guimaraes C.F., et al. Effect of gamma radiation on lipids by the TBARS and NMR. *Braz Arch Biol Technol.* 2011; 54 (6): 1343–8.
43. Le Dreau Y., Dupuya N., Artauda J., Ollivier D., et al. Infrared study of aging of edible oils by oxidative spectroscopic index and MCR-ALS chemometric method. *Talanta.* 2009; 77: 1748–56.
44. Guillen M.D., Cabo N. Usefulness of the frequency data of the Fourier transform infrared spectra to evaluate the degree of oxidation of edible oils. *J Agric Food Chem.* 1999; 47: 709–19.
45. Rutkevicki R., Xavier-Junior F.H., et al. Thermo-oxidative stability evaluation of bullfrog (*Rana catesbeiana* shaw) oil. *Molecules.* 2017. Vol. 22, N 4. P. 606.
46. Guillen M.D., Goicoechea E. Detection of primary and secondary oxidation products by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance (NMR) in sunflower oil during storage. *J Agric Food Chem.* 2007; 55: 10 729–36.
47. Yahuaca-Juarez B., Martínez-Flores H.E., Huerta-Ruelas J.A., Pless R.C., et al. Oil oxidation in corn flour from grains processed with alkaline cooking by use of peroxide value, UV and FTIR. *Plant Foods Hum Nutr.* 2013; 68: 65–71.
48. Younis Talpur M., Sara Hassan S., Sherazi S.T.H., Mahesar S.A., et al. A simplified FTIR chemometric method for of four oxidation parameters of frying canola oil simultaneous determination. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2015; 149: 656–61.
49. Xiuzhu Y., Shuangkui D.U., van de Voort F.R., Tianli Y., et al. Automated and simultaneous determination of free fatty acids and peroxide values in edible oils by FTIR spectroscopy using spectral reconstitution. *Anal Sci.* 2009; 25: 627–32.
50. Mirghani M.E.S., Che Man Y.B., Jinap S., Baharin B.S., et al. Multivariate calibration of Fourier transform spectra in determining the thiobarbituric acid-reactive substance content in palm oil. *J Am Oil Chem Soc.* 2001; 78 (11): 1127–31.
51. Andina L., Riyanto R., Rohman A. Determination of anisidine value of red fruit oil under elevated temperature using FTIR spectroscopy and multivariate calibration. *Int Food Res J.* 2014; 21 (6): 2325–30.
52. Andina L., Riyanto S., Rohman A. Determination of peroxide value of red fruit oil by FTIR spectroscopy and multivariate calibration. *Int Food Res J.* 2017; 24 (6): 2312–6.
53. Rohman A., Kuwat T., Retno S., Sismindari Y.E., et al. Fourier Transform Infrared Spectroscopy applied for rapid analysis of lard in palm oil. *Int Food Res J.* 2012; 19 (3): 1161–5.
54. Sherazi S.T.M., Talpur M., Mahesar S., Kandhro A., et al. Main fatty acid classes in vegetable oils by SB-ATR-Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Talanta.* 2009; 80 (2): 600–6.
55. Meng X., Ye Q., Nie X., Jiang L. Iodine value determination of edible oils using ATR-FTIR and chemometric methods. *Eur J Lipid Sci Technol.* 2017; 119 (9): 1600323.
56. Mueller D., Ferrao M., Marder L., da Costa A., et al. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and multivariate analysis for identification of different vegetable oils used in biodiesel production. *Sensors (Basel).* 2013; 13 (4): 4258–71.
57. Yunus W.M.M., Fen Y.Y.W., Yee L.M. Refractive index and Fourier transform infrared spectra of virgin coconut oil and virgin olive oil. *Am J Appl Sci.* 2009; 6 (2): 328–31.
58. Wojcicki K., Khmelinskii I., Sikorski M., Sikorska E. Near and mid infrared spectroscopy and multivariate data analysis in studies of oxidation of edible oils. *Food Chem.* 2015; 187: 416–23.
59. Cebi N., Yilmaz M.T., Sagdic O., Yuca H., et al. Prediction of peroxide value in omega-3 rich microalgae oil by ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometrics. *Food Chem.* 2017; 225: 188–96.
60. Aerts H.A.J., Jacobs P.A. Epoxide yield determination of oils and fatty acid methyl esters using  $^1\text{H}$  NMR. *J Am Oil Chem.* 2004; 81: 841–6.



## Владимир Борисович Спиричев

26 ноября на 89-м году жизни скончался выдающийся ученый, заслуженный деятель науки РФ, доктор биологических наук, профессор Владимир Борисович Спиричев.

В течение почти 40 лет В.Б. Спиричев возглавлял лабораторию витаминов и минеральных веществ Института питания (в настоящее время – ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»). Он был ведущим специалистом страны в области витаминологии, гигиены и биохимии витаминов, масштабным организатором, объединившим в единый коллектив специалистов в области химии, биологии, медицины и технологии. Его научная деятельность была посвящена изучению обмена и механизма действия витаминов, развитию биохимических методов оценки витаминной обеспеченности. Выполненные под руководством Владимира Борисовича эпидемиологические исследования обеспеченности витаминами взрослого и детского населения нашей страны были положены в основу государственных программ по производству обогащенных витаминами и минеральными веществами пищевых продуктов.

В.Б. Спиричев создал научную школу специалистов в области витаминологии. Он подготовил 7 докторов и 23 кандидата наук. Он был автором более 400 научных работ, в том числе монографий, справочников, учебных пособий, методических рекомендаций, авторских свидетельств, научно-популярных брошюр, посвященных теоретическим и практическим аспектам современной витаминологии. Наряду с научно-исследовательской деятельностью В.Б. Спиричев принимал активное участие в научно-общественной деятельности. Он был членом Ученого совета, Диссертационного совета при ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», членом

Комитета «Функциональные последствия витаминных недостаточностей» Международного союза наук о питании, членом Группы европейских специалистов по питанию, членом редколлегий ряда журналов, в течение ряда лет был главным редактором журнала «Вопросы питания».

В.Б. Спиричев был активным пропагандистом научных знаний в области витаминологии, он часто выступал в печати и на телевидении, всегда был полон творческих сил и замыслов, воплощал на практике свои знания в области биохимии витаминов, его консультативная помощь медицинским учреждениям и производственным предприятиям была чрезвычайно востребована.

Последние 25 лет Владимир Борисович успешно руководил компанией «Валетек Продимпэкс», основным направлением деятельности которой стала организация промышленного производства отечественных обогащенных и специализированных пищевых продуктов, содержащих витамины, каротиноиды, минеральные вещества, пищевые волокна, полиненасыщенные жирные кислоты семейства  $\omega$ -3 и полноценные белки, рецептуры которых были разработаны с учетом пищевых дефицитов и потребностей населения России. По инициативе и при непосредственном участии В.Б. Спиричева была разработана серия так полюбившихся взрослым и детям обогащенных микронутриентами напитков и киселей. Он являлся автором научной концепции «D<sub>3</sub> + 12 витаминов».

За многолетний и плодотворный труд В.Б. Спиричев был награжден правительственными наградами, среди которых медаль «Ветеран труда», юбилейная медаль «В память 850-летия Москвы», значок «Отлич-

ику здравоохранения». Работы В.Б. Спиричева отмечены бронзовой и серебряной медалями ВДНХ. В 2010 г. он был награжден высшей общественной наградой РФ в сфере производства продовольствия «За изобилие и процветание России» в номинации «Достижения науки в производство» (Ассоциация отраслевых союзов АПК, АССАГРОС).

Владимир Борисович имел огромный авторитет и пользовался большим уважением среди коллег.

Перестало биться сердце этого удивительного человека, но в наших сердцах всегда будет жить светлая память о нем.

*Коллектив ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», редколлегия журнала «Вопросы питания», ученики скорбят о потере уникального человека с большим сердцем и душой, всегда восхищавшего своей стойкостью и жизнелюбием.*

# Указатель статей, опубликованных в журнале «Вопросы питания» за 2018 год

## № 1

### ОБЗОРЫ

**Храмцов А.Г., Рябцева С.А., Будкевич Р.О., Ахмедова В.Р., Родная А.Б., Маругина Е.В.**

Пребиотики как функциональные пищевые ингредиенты: терминология, критерии выбора и сравнительной оценки, классификация

**Исаева А.П., Гаппарова К.М., Чехонина Ю.Г., Лапик И.А.**

Свободные жирные кислоты и ожирение: состояние проблемы

### ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ПИТАНИЯ

**Колесникова Л.И., Рычкова Л.В., Колесников С.И., Даренская М.А., Гаврилова О.А., Кравцова О.В., Гребенкина Л.А., Осипова Е.В.**

Оценка системы липопероксидации и антиоксидантной защиты у мальчиков-подростков с экзогенно-конституциональным ожирением с использованием коэффициента окислительного стресса

**Лебедева С.Н., Жамсаранова С.Д., Чукаев С.А., Дымшеева Л.Д.**

Оценка рациона питания и антиоксидантной активности биологических жидкостей организма студентов

**Сидорова Ю.С., Мазо В.К., Зорин С.Н., Стефанова И.Л.**

Оценка биологической ценности и антигенности коагулированного белка куриного яйца

**Апрятин С.А., Мжельская К.В., Балакина А.С., Сото С.Х., Бекетова Н.А., Ковшелева О.В., Коденцова В.М., Гмошинский И.В.**

Линейные и гендерные различия в биохимических показателях и показателях обеспеченности жирорастворимыми витаминами у крыс на *in vivo* модели метаболического синдрома

### ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

**Тышко Н.В., Садыкова Э.О., Тимонин А.Н., Шестакова С.И., Мустафина О.К., Сото С.Х.**

Изучение влияния интоксикации кадмием на модели витаминно-минеральной недостаточности у крыс

**Мажаева Т.В., Дубенко С.Э., Погожева А.В., Хотимченко С.А.**

Характеристика питания и пищевого статуса рабочих различных промышленных предприятий Свердловской области

**Меликян И.А., Ахмедов Г.Д., Гуревич К.Г., Ханферьян Р.А., Бургасова О.А., Никитюк Д.Б., Заборова В.А.**

Особенности питания пожилых пациентов со съёмными стоматологическими ортопедическими конструкциями

### ЛЕЧЕБНОЕ ПИТАНИЕ

**Москвичева Ю.Б., Гусев Д.В., Табеева Г.И., Чернуха Г.Е.**

Оценка питания, состава тела и особенности диетологического консультирования пациенток с функциональной гипоталамической аменореей

**Цыбикова Г.Ц., Разуваева Я.Г., Торопова А.А., Николаев С.М.**

Антимутагенные и антиоксидантные свойства кондитерского изделия, содержащего порошок из листьев *Hippophae rhamnoides L.*

### СПОРТИВНОЕ ПИТАНИЕ

**Литвин Ф.Б., Брук Т.М., Клочкова С.В., Калоша А.И., Никитюк Д.Б.**

Использование специализированного пищевого продукта на основе ферментированной молочной сыворотки для повышения адаптационного потенциала спортсменов (лыжников-гонщиков)

## № 2

### ОБЗОРЫ

**Медведев О.С., Иванова А.Ю., Медведева Н.А.**

Биологические свойства токотриенолов

### ВИТАМИНОЛОГИЯ

**Сорокина Е.Ю., Погожева А.В., Аристархова Т.В., Батурич А.К., Тутельян В.А.**

Оценка обеспеченности фолиевой кислотой населения Москвы в зависимости от сочетанного влияния полиморфизма генов *MTHFR* и *FTO*

### ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

**Мартинчик А.Н., Кешабянц Э.Э., Камбаров А.О., Пескова Е.В., Брянцева С.А., Базарова Л.Б., Семенова Я.А.**

Кальций в рационе детей дошкольного и школьного возраста: основные пищевые источники и факторы, влияющие на потребление

**Евстратова В.С., Раджабканиев Р.М., Ханферьян Р.А.**

Структура потребления макронутриентов населением различных регионов Российской Федерации

**Ханферьян Р.А., Раджабканиев Р.М., Евстратова В.С., Галстян А.Г., Хуршудян С.А., Семин В.Б., Вржесинская О.А., Акимов М.Ю.**

Потребление углеводсодержащих напитков и их вклад в общую калорийность рациона

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Зобкова З.С., Федулова Л.В., Фурсова Т.П., Зенина Д.В., Котенкова Е.А.**

Биологическая ценность белка творога, изготовленного с применением трансглутаминазы, и особенности его влияния на растущих крыс

**Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Бекетова Н.А.**

Нутриентный профиль томатного сока

### ЛЕЧЕБНОЕ ПИТАНИЕ

**Писков С.И., Тимченко Л.Д., Ржепаковский И.В., Аванесян С.С., Сизоненко М.Н., Арешидзе Д.А., Ковалев Д.А.**

Влияние способа сушки на пищевые свойства и гиполлипидемический потенциал вешенки (*Pleurotus ostreatus*)

**Сидорова Ю.С., Мазо В.К., Кочеткова А.А.**

Экспериментальная оценка гиполлипидемических свойств белков сои, риса и их ферментативных гидролизатов.

Краткий обзор литературы

**Антипова Л.В., Оботурова Н.П., Климов Л.Я., Стоян М.В., Масалова В.В.**

Разработка и оценка эффективности использования специализированных мясных полуфабрикатов в рационе детей и подростков с целиакией

**Неповинных Н.В., Новокшанова А.Л., Могильный М.П., Лямина Н.П., Семина А.И., Абабкова А.А., Широков А.А., Гринев В.С., Птичкина Н.М.**

Разработка и оценка возможности применения нового кислородного коктейля с повышенным содержанием белка в диетотерапии пациентов кардиологического профиля

### СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПИТАНИЯ

**Мигунова Ю.В., Садыков Р.М.**

Питание детей в современной российской семье: социально-экономический аспект

## ЮБИЛЕИ

**Хотимченко Сергей Анатольевич**  
(к 65-летию со дня рождения)

**Конь Игорь Яковлевич**  
(к 75-летию со дня рождения)

## № 3

### ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ПИТАНИЯ

**Саркисян В.А., Коденцова В.М., Бессонов В.В., Кочеткова А.А.**

Витаминные и антиоксидантные свойства токоферолов: характеристика молекулярных механизмов действия

**Большакова Л.С., Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Зубцов Ю.Н., Лукин Д.Е., Люблинский С.Л.**

Исследование метаболизма йодтирозинов, входящих в состав молочного йодированного белка, у крыс

### ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

**Багрянцева О.В., Евстратова А.Д., Хотимченко С.А.**

Йессотоксины: оценка риска для здоровья населения. Обоснование регламентов содержания в морепродуктах

**Тармаева И.Ю., Ефимова Н.В., Ханхареев С.С., Богданова О.Г.**

Особенности фактического питания взрослого населения Республики Бурятия в современных условиях

### СПОРТИВНОЕ ПИТАНИЕ

**Мартинчик А.Н., Баева В.С., Пескова Е.В., Кудрявцева К.В., Денисова Н.Н., Лавриненко С.В., Камбаров А.О., Бадтиева В.А., Никитюк Д.Б.**

Фактическое потребление жидкости спортсменами высокой квалификации в режиме тренировочного процесса

### ЛЕЧЕБНОЕ ПИТАНИЕ

**Яцына И.В., Истомин А.В., Погожева А.В., Сааркопель Л.М.**

Применение специализированного пищевого продукта при профессиональной экземе у работающих на перлитном производстве

**Деревицкая О.К., Дыдыкин А.С., Асланова М.А., Сергеев В.Н., Зохранян П.Р.**

Разработка продукта для энтерального питания на мясной основе

### ДЕТСКОЕ ПИТАНИЕ

**Краснов М.В., Боровкова М.Г., Николаева Л.А.**

Вскармливание детей грудного возраста в сельской местности Чувашской Республики и Нижегородской области

### КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Тимакова Р.Т.**

Оценка антиоксидантной активности свежих яблок разных помолологических сортов после обработки ионизирующим излучением

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Щетинин М.П., Ходырева З.Р.**

Научно-гигиенические подходы к разработке замороженного десерта

**Перова И.Б., Малинкин А.Д., Бессонов В.В., Эллер К.И.**

Исследование лигнанов и антоцианинов как основных биологически активных веществ полифенольной природы плодов лимонника китайского

## ЮБИЛЕИ

**Шарафетдинов Хайдер Хамзярович**  
(к 60-летию со дня рождения)

## № 4

### ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ПИТАНИЯ

**Сидорова Ю.С., Шипелин В.А., Петров Н.А., Фролова Ю.В., Кочеткова А.А., Мазо В.К.**

Экспериментальная оценка *in vivo* гипогликемических свойств функционального пищевого ингредиента – полифенольной пищевой матрицы

**Апратин С.А., Бекетова Н.А., Вржесинская О.А., Ригер Н.А., Евстратова В.С., Трусов Н.В., Сото Х.С., Мжельская К.В., Шумакова А.А., Коденцова В.М., Гмошинский И.В.**

Влияние В-витаминного дефицита на биохимические, иммунологические показатели и микроэлементный статус крыс и мышей различных линий

### ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

**Тышко Н.В., Садыкова Э.О., Сухачева М.В., Батурич А.К.**

Молекулярно-генетические исследования генно-инженерно-модифицированного картофеля: трансформационное событие РН05-026-0048

**Сазонова О.В., Горбачев Д.О., Нурдина М.С., Купаев В.И., Бородин Л.М., Гаврюшин М.Ю., Фролова О.В.**

Гигиеническая характеристика фактического питания трудоспособного населения Самарской области

**Мартинчик А.Н., Кешабянц Э.Э., Пескова Е.В., Михайлов Н.А., Батурич А.К.**

Молочные продукты и ожирение: *pro* и *contra*, российский опыт

**Красникова Е.С., Ларионова О.С., Красников А.В., Казиева Г.Х.**

Молоко-сырье от коров, инфицированных возбудителями ретровирусных инфекций крупного рогатого скота: вопросы безопасности и качества вырабатываемой продукции

**Солнцева Т.Н., Ханферьян Р.А., Раджабакиев Р.М., Евстратова В.С.**

Источники добавленного сахара и их возможное значение в формировании ожирения и избыточной массы тела

### ВИТАМИНОЛОГИЯ

**Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А.**

Витаминная обеспеченность взрослого населения Российской Федерации: 1987–2017 гг.

### ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ

**Пузин С.Н., Погожева А.В., Потапов В.Н.**

Оптимизация питания пожилых людей как средство профилактики преждевременного старения

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И.**

Нутриентный профиль вишневого сока

**Слободчикова М.Н., Васильева В.Т., Иванов Р.В., Лебедева У.М.**

Новые аспекты безотходного использования вторичного сырья коневодства в Якутии

### РЕЦЕНЗИИ

Рецензия на атлас «Качество жизни. Здоровье и питание»

(авторы: Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Буряк Д.А., Акользина С.Е., Батурич А.К., Погожева А.В., Камбаров А.О., Кишко О.Н., Абалина А.Л., Слободянина М.С.)

## ЮБИЛЕИ

**Кочеткова Алла Алексеевна**  
(к 65-летию со дня рождения)

## № 5

### БИОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ПИТАНИЯ

**Аксенов И.В., Авреньева Л.И., Гусева Г.В., Трусов Н.В., Балакина А.С., Мжельская К.В., Сото С.Х., Кравченко Л.В., Тутельян В.А.**

Влияние кверцетина на защитный потенциал крыс при повышенном содержании фруктозы в рационе

**Колесникова Л.И., Рычкова Л.В., Даренская М.А., Гребенкина Л.А., Гаврилова О.А., Жданова Л.В., Булдаева Е.А., Колесников С.И.**

Показатели редокс-статуса у подростков-монголоидов при развитии экзогенно-конституционального ожирения и жирового гепатоза

#### ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

**Кирпиченкова Е.В., Королев А.А., Онищенко Г.Г., Никитенко Е.И., Липатов Д.В., Кузьмин А.Г., Дыскин Ю.А., Денисова Е.Л., Фетисов Р.Н.**

Изучение содержания лютеина и зеаксантина в рационе с оценкой взаимосвязи уровня алиментарного поступления невитаминных каротиноидов и плотности макулярной области сетчатки в молодом возрасте

**Суплотова Л.А., Макарова О.Б., Шарухо Г.В., Ковальжина Л.С.**

Роль питания в профилактике и коррекции йододефицитных состояний на эндемичной территории

**Ларионова Т.К., Бакиров А.Б., Даукаев Р.А.**

Оценка питания взрослого населения Республики Башкортостан

#### ВИТАМИНОЛОГИЯ

**Раджабадиев Р.М., Вржесинская О.А., Бекетова Н.А., Кошелева О.В., Выборная К.В., Коденцова В.М.**

Содержание некоторых витаминов в рационе питания и сыворотке крови высококвалифицированных спортсменов

#### ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ

**Семенихина В.Ф., Рожкова И.В., Бегунова А.В., Федорова Т.В.,**

**Ширшова Т.И.**

Разработка биотехнологии кисломолочного продукта с *Lactobacillus reuteri* LR1 и исследование его функциональных свойств в эксперименте *in vitro* и *in vivo*

#### ЛЕЧЕБНОЕ ПИТАНИЕ

**Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Шарафетдинов Х.Х., Кочеткова А.А.**

Метаболические эффекты ферментоллизатов белка куриного яйца: перспективы использования у лиц с метаболическим синдромом (краткий обзор)

**Кручинина Т.В., Махова А.А., Ших Е.В., Дроздов В.Н.**

S-метилметионин (витамин U): экспериментальные исследования и клинические перспективы

#### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Фисинин В.И., Лукашенко В.С., Салеева И.П., Чернуха И.М., Волик В.Г., Исмаилова Д.Ю., Овсейчик Е.А., Журавчук Е.В.**

Качество мяса бройлеров при различных способах выращивания

**Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И.**

Нутриентный профиль грейпфрутового сока

#### КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Почицкая И.М., Росляков Ю.Ф., Литвяк В.В., Комарова Н.В., Юденко А.Н.**

Исследование влияния реакции меланоидинообразования на содержание аминокислот в модельных пищевых системах

**Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Нурисламова Т.В., Попова Н.А., Мальцева О.А.**

Разработка и использование метода хромато-масс-спектрометрии для количественного определения летучих N-нитрозоаминов в копченых мясных продуктах

#### ПАМЯТИ ПОЛЯКОВА ВИКТОРА АНТОНОВИЧА

## № 6

#### ОБЗОРЫ

**Шарафетдинов Х.Х., Шехетов А.А., Плотникова О.А.**

Современные подходы к диетической поддержке больных с диабетической нефропатией

**Никитин Н.С., Кузнецов С.Л.**

Влияние кверцетина на морфологические изменения при неалкогольной жировой болезни печени у крыс

#### ГИГИЕНА ПИТАНИЯ

**Денисова Е.Л., Королев А.А., Никитенко Е.И., Кирпиченкова Е.В., Фетисов Р.Н., Козлов В.В., Онищенко Г.Г.**

Гигиеническая оценка содержания индолов в рационе студентов медицинского университета

**Шарманов Т.Ш., Салханова А.Б., Датхабаева Г.К.**

Сравнительная характеристика фактического питания детей в возрасте 9–10 лет

**Скребнева А.В., Попов В.И., Алексеев Н.Ю.**

Оценка риска развития недостаточности питания у лиц старшей возрастной группы Воронежской области

**Лебедева У.М., Баттахов П.П., Степанов К.М., Лебедева А.М., Занковский С.С., Булгакова Л.И.**

Организация питания детей и подростков на региональном уровне

#### ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ПИТАНИЕ

**Мазо В.К., Сидорова Ю.С., Саркисян В.А., Киселева Т.Л., Кочеткова А.А.**

Перспективы использования растительных полифенолов в качестве функциональных пищевых ингредиентов

**Римарева Л.В., Фурсова Н.А., Соколова Е.Н., Волкова Г.С., Борщева Ю.А., Серба Е.М., Кривова А.Ю.**

Биодеструкция белков зернового сырья для получения новых хлебобулочных изделий

#### ЛЕЧЕБНОЕ ПИТАНИЕ

**Кочеткова А.А., Воробьева И.С., Воробьева В.М., Шарафетдинов Х.Х., Плотникова О.А., Пилипенко В.В., Алексеева Р.И., Сасунова А.Н.**

Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем для диетической коррекции рациона больных сахарным диабетом 2 типа

#### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Сенькевич О.А., Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А.**

Мониторинг содержания селена в некоторых пищевых продуктах Хабаровска

**Иванова Н.Н., Хомич Л.М., Перова И.Б., Эллер К.И.**

Нутриентный профиль виноградного сока

#### КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

**Жилинская Н.В., Бессонов В.В., Громовых П.С., Богачук М.Н.**

Развитие современной методической базы контроля содержания витаминов в пищевой продукции

**Зайцева Н.В., Уланова Т.С., Карнажицкая Т.Д., Зорина А.С., Пермякова Т.С.**

Определение фталатов в соковой продукции методом высокоэффективной жидкостной хроматографии/масс-спектрометрии

**Макаренко М.А., Малинкин А.Д., Бессонов В.В., Саркисян В.А.**

Продукты вторичного окисления пищевых масел и жиров. Оценка рисков для здоровья человека (Сообщение 1)

#### ПАМЯТИ СПИРИЧЕВА ВЛАДИМИРА БОРИСОВИЧА

**ЗАКАЖИ МЕДИЦИНСКУЮ ЛИТЕРАТУРУ**

**МЕД**  **КНИГА**  
**С Е Р В И С**

**8-800-555-999-2**

[www.medknigaservis.ru](http://www.medknigaservis.ru)

- ⇒ Более **5000** наименований книг
- ⇒ Подписка на медицинские журналы
- ⇒ Акции, скидки и подарки покупателям
- ⇒ Электронные библиотеки
- ⇒ Заказ товара **24 часа** в сутки  
**7 дней** в неделю
- ⇒ Быстрая доставка
- ⇒ Разные способы оплаты