

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-238-245>

Поступила 10.04.2024

Поступила после рецензирования 20.05.2024

Принята в печать 24.05.2024

© Барковская И. А., Кручинин А. Г., Рожкова И. В., 2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

ДЕФИЦИТ ЙОДА В РОССИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ, МИРОВАЯ ПРАКТИКА И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ТЕРАПИИ

Барковская И. А.*, Кручинин А. Г., Рожкова И. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

йод, цинк, дефицит
микроэлементов,
направленный
гидролиз,
сывороточные белки,
пищевая добавка

Йод выполняет ряд важных функций в организме, участвуя в процессе синтеза гормонов щитовидной железы, что создает необходимость постоянного восполнения элемента в адекватных количествах. Постоянный мониторинг дефицита микронутриентов в Российской Федерации выявляет низкое среднесуточное потребление йода и рост числа случаев заболеваний щитовидной железы в период с 2010 по 2020 гг. Это актуализирует необходимость разработки новых терапевтических и профилактических подходов к восполнению дефицита йода. Цель обзора — анализ проблемы дефицита йода в России и существующих практик его нивелирования для разработки нового подхода к профилактике и лечению йоддефицитных состояний. В выборку включены публикации на русском и английском языках в период с 2002 по 2023 гг. с применением ресурсов наукометрических баз данных Elibrary, Google Scholar, CyberLeninka, PubMed и ScienceDirect. Исследовательская работа показала, что общепринятая практика ликвидации дефицита йода заключается в повышении уровня потребления микроэлемента в рационе питания, следствием чего является наличие на рынке широкого спектра йодированных пищевых добавок и продуктов. Однако анализ современного сектора функционального питания выявил ряд недостатков, ассоциированных с низкой биодоступностью элемента и с его устойчивостью к технологическим факторам при производстве пищевой продукции. В статье представлены ключевые факторы, оказывающие влияние на эффективность пищевых добавок, разрабатываемых для коррекции питания при йоддефицитах. Они основаны на оценке существующих средств профилактики. В исследовании предложена разработка технологии гидролизатов молочной сыворотки, обогащенных йодом и цинком. Применение в производстве продуктов питания пищевой добавки на основе белковых компонентов молочной сыворотки открывает новые возможности для переработки вторичного молочного сырья и для полноценного использования всех компонентов молока. Богатый аминокислотный состав добавки способствует повышению концентрации эссенциальных микроэлементов в продуктах, поскольку аминокислотные остатки способны связывать йод и хелатировать цинк.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 24–26–00220.

Received 10.04.2024

Accepted in revised 20.05.2024

Accepted for publication 24.05.2024

© Barkovskaya I. A., Kruchinin A. G., Rozhkova I. V., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

IODINE DEFICIENCY IN RUSSIA: CURRENT STATE OF THE PROBLEM, GLOBAL PRACTICE AND NEW APPROACHES TO THERAPY

Irina A. Barkovskaya*, Alexander G. Kruchinin, Irina V. Rozhkova

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia

KEY WORDS:

iodine, zinc,
micronutrient
deficiency, directed
hydrolysis, whey
proteins, food additive

ABSTRACT

Iodine performs a number of important functions in the body, participating in the synthesis of thyroid hormones, which creates the need for constant replenishment of the element in adequate amounts. Continuous monitoring of micronutrient deficiency in the Russian Federation reveals low average daily iodine intake and an increase in the number of cases of thyroid diseases in the period from 2010 to 2020. This actualizes the need to develop new therapeutic and preventive approaches to replenish iodine deficiency. The aim of the review is to analyze the problem of iodine deficiency in Russia and existing practices of its leveling in order to develop a new approach to the prevention and treatment of iodine deficiency conditions. The sample includes publications in Russian and English in the period from 2002 to 2023, using the resources of scientific metric databases Elibrary, Google Scholar, CyberLeninka, PubMed and ScienceDirect. The research work showed that the common practice of eliminating iodine deficiency is to increase the level of consumption of the trace element in the diet, the consequence of which is the availability of a wide range of iodized food supplements and products on the market. However, the analysis of the current functional nutrition sector has revealed a number of drawbacks associated with low bioavailability of the element and its resistance to technological factors in the production of food products. The article presents the key factors influencing the effectiveness of nutritional supplements being developed for nutritional correction of iodine deficiency. They are based on the evaluation of existing means of prevention. The study proposes the development of the technology of whey hydrolysates enriched with iodine and zinc. Application in food production of a food additive based on protein components of milk whey opens new opportunities for processing of secondary dairy raw materials and for full utilization of all milk components. The rich amino acid composition of the additive helps to increase the concentration of essential trace elements in products, as amino acid residues are able to bind iodine and chelate zinc.

FUNDING: This work was performed under the Russian Science Foundation grant No. 24–26–00220.

1. Введение

Дефицит микронутриентов, в том числе йода, распространен среди всех возрастных групп населения Российской Федерации, при этом йоддефицитные состояния различной степени тяжести

встречаются у россиян повсеместно [1,2]. Согласно статистическим данным, потребление данного элемента в среднем составляет 40–80 мкг/сутки, что в 2–3 раза меньше рекомендуемой дневной нормы [3]. Недостаток микронутриента в организме ведет к формированию

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Барковская, И. А., Кручинин, А. Г., Рожкова, И. В. (2024). Дефицит йода в России: современное состояние проблемы, мировая практика и новые подходы к терапии. *Пищевые системы*, 7(2), 238–245. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-238-245>

FOR CITATION: Barkovskaya, I. A., Kruchinin, A. G., Rozhkova, I. V. (2024). Iodine deficiency in Russia: Current state of the problem, global practice and new approaches to therapy. *Food Systems*, 7(2), 238–245. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-238-245>

ряда негативных последствий, большая часть которых представлена патологиями щитовидной железы (ШЖ) и нарушениями в работе эндокринной системы (различные формы зоба, гипотиреоз, тиреотоксикоз и др.). Согласно данным Росстата, заболеваемость дисфункциями щитовидной железы в 2020 году увеличилась вдвое по сравнению с 2010 годом. Причем фактическая распространенность зоба в 10 раз превышает регистрируемые показатели [4]. Таким образом, сведения официальной государственной статистики актуализируют разработку новых подходов в профилактике и терапии дефицита йода.

Наиболее экономически эффективным и целесообразным подходом в решении проблемы восполнения эссенциального элемента в организме является включение в рацион питания продуктов с высоким содержанием йода [5]. Пищевая индустрия предлагает широкий спектр йодсодержащих продуктов и добавок, производимых из сельскохозяйственного сырья с применением механизмов образования комплекса «матрица-микроэлемент». В качестве наиболее простого и доступного средства для нивелирования йододефицитных состояний рекомендуют использовать йодированную соль [6]. Также существует множество других добавок на основе сырья растительного и животного происхождения [7–9]. Несмотря на их доступность, проблема дефицита йода остается актуальной, что может быть связано с недостатками состава обогащенных пищевых продуктов и добавок. Так, например, йодированная соль характеризуется низкой биодоступностью йода, содержание которого значительно снижается во время хранения, транспортировки и приготовления пищи [10]. Ряд органических источников данного микроэлемента (полисахариды, белки и др.) требуют длительной подготовки перед добавлением их в продукт. Кроме того, они не содержат элементов, необходимых для метаболизма йода в организме, таких как селен, цинк и кобальт [11].

Таким образом, разработка новых подходов к нивелированию и профилактике йододефицита считается актуальным направлением научных исследований. В этой связи целью работы является оценка современного состояния проблемы дефицита йода в Российской Федерации и его негативных последствий для разных групп населения. Для достижения поставленной цели представлены: описание роли данного микроэлемента в организме человека и особенности его метаболизма; анализ существующей практики терапии йододефицита; ключевые факторы, влияющие на разработку новых эффективных подходов к профилактике и коррекции йододефицита.

2. Объекты и методы

Для достижения поставленной цели проведен литературный обзор современного состояния описанной проблемы, а также мирового опыта ее решения с применением ресурсов электронных библиотек Elibrary, Google Scholar, CyberLeninka, PubMed и ScienceDirect. Анализ включал эмпирические и обзорные научные статьи, а также главы из книг на русском и английском языках за период 2002–2023 гг. Источники содержали информацию по вопросам обзора и описывали роль йода в организме человека, метаболизм органической и неорганической формы микроэлемента, в том числе участие других веществ в этом процессе. Также рассматривалась мировая практика терапии йододефицита и оценивался рынок йодированных продуктов и добавок. Ряд литературных источников содержал информацию о механизмах взаимодействия микроэлементов с органическими субстратами, позволяющую моделировать новые подходы к созданию средств профилактики дефицита йода. Поиск осуществлялся с использованием ключевых слов: «iodine deficiency», «дефицит йода», «iodine deficiency diseases», «йододефицитные заболевания», «amino acid-iodine interaction», «взаимодействие йода с аминокислотами», «whey production», «производство сыворотки», «protein hydrolysis», «гидролиз белков», «zinc chelation», «хелатирование цинка».

3. Результаты и обсуждение

3.1. Роль йода в организме человека и последствия его дефицита

Основная физиологическая роль йода в организме человека — участие в синтезе гормонов щитовидной железы, которые регулируют различные процессы, включая репродуктивную функцию, рост и развитие [организма]. Гормоны щитовидной железы увеличивают энергетический обмен в большинстве тканей и повышают базальный уровень метаболизма [12]. Ввиду того, что йод является важным эссенциальным микроэлементом для жизнедеятельности человека, следует осуществлять мониторинг уровня его потребления и проводить мероприятия, направленные на профилактику дефицита йода (информирование населения о важности потребления достаточного количества йода и разработка новых подходов к профилактике и лечению йододефицитных состояний).

Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлены нормы суточного потребления йода для каждой возрастной группы населения (Таблица 1), которые обусловлены различиями в биохимических и физиологических процессах, характерных для каждого возрастного периода. Например, в пожилом возрасте на фоне снижения скорости метаболизма потребность в микроэlemente уменьшается [13].

Таблица 1. Суточная потребность в йоде в зависимости от возраста и физиологического состояния человека
MP 2.3.1.0253–21 [14]

Группа	Потребность в йоде, мкг/сутки
Дети дошкольного возраста: 0–6 лет	90
Дети школьного возраста: 7–12 лет	120
Взрослые и подростки старше 12 лет	150
Пожилые люди	100
Беременные и кормящие женщины	250

Беременные и кормящие женщины нуждаются в повышенном потреблении йода. Это связано с тем, что развивающийся плод полностью зависит от гормонов щитовидной железы матери (трийодтиронина (Т3) и тироксина (Т4)) с эмбриональной фазы развития и до середины беременности, а новорожденный ребенок получает йод через грудное молоко [15]. Недостаток йода во время беременности может негативно сказаться на развитии нервной системы и когнитивных функций ребенка [16]. Это подтверждают мировые исследования [17–19], отражающие корреляцию между адекватным количеством потребления йода беременными женщинами и антропометрическими показателями (вес, размер конечностей и щитовидной железы) новорожденных детей, а также их уровнем развития. Данная особенность связана с тем, что дефицит микроэлемента (даже легкой степени) приводит к снижению уровня синтеза гормонов щитовидной железы, которые напрямую влияют на формирование нервной системы плода, активируя транскрипцию и экспрессию генов, участвующих в развитии аксонов и дендритов, в миграции клеток, в формировании синапсов и в миелинизации [20]. Исследование [19] также подчеркивает важность достаточного потребления йода еще на этапе планирования беременности, начиная с подросткового возраста (14–19 лет). Это способствует нормализации гормонального фона щитовидной железы и снижает риск развития ее патологий во время беременности.

Дети и подростки также наиболее подвержены негативным последствиям дефицита йода в рационе питания, так как данный микроэлемент необходим для соматического роста и развития их нервной системы. Рядом исследований [21–25] установлена причинно-следственная связь между нормальным потреблением йода детьми и их когнитивным развитием, а также риском возникновения йододефицитных заболеваний. Показано, что недостаток микроэлемента может индуцировать эндемический зоб, задержку роста и развития центральной нервной системы у детей (кретинизм), различные интеллектуальные нарушения [21].

Недостаток микронутриента у взрослых также ведет к формированию патологических процессов в организме, в число которых входят дисфункции щитовидной железы (тиреоидит, гипотиреоз, тиреотоксикоз, зоб), при которых орган адаптируется к дефициту йода. Орган обеспечивает снижение синтеза тироксина посредством повышения всасывания йодида и усиления внутреннего метаболизма в результате повышения уровня тиреотропного гормона, что в результате ведет к увеличению размеров железы [3,20,26]. Кроме того, в условиях йодного дефицита возрастает риск развития рака щитовидной и молочной желез и других тяжелых заболеваний, таких как поражения головного мозга [17]. Помимо этого, в работе [27] автор сообщает об U-образной зависимости нормального функционирования щитовидной железы от уровня потребления йода. Это означает, что как низкие, так и высокие концентрации потребляемого йода могут привести к дисфункциям систем организма и к различным патологиям. При этом в организме обнаружен защитный механизм (эффект Вольфа-Чайкова), регулирующий процесс избыточного синтеза гормонов щитовидной железы при высоком потреблении йода [28]. Однако при длительных нарушениях в работе эндокринной и других систем избыточные концентрации йода в организме потенцируют гипертиреоз и папиллярный рак [20]. Механизм ток-

сического действия избытка йода в настоящее время не определен. В некоторых исследованиях предполагается, что избыток йода может стимулировать синтез цитокинов и хемокинов, что приводит к миграции иммунокомпетентных клеток к щитовидной железе и к развитию тиреоидита. Другие механизмы формирования патологий щитовидной железы представлены утилизацией избытка йода в эпителиальных клетках органа, приводящей к повышению уровня окислительного стресса, к производству токсичных продуктов распада липидов и к повреждению тканей железы [29].

Исследованиями последних 20 лет, освещающими вопросы микронутриентной недостаточности, установлено, что среднесуточное потребление йода среди населения России составляет приблизительно 40–80 мкг/сутки, что значительно меньше рекомендованной нормы [30]. При этом специалисты НМИЦ эндокринологии Минздрава сообщают о более чем 14 млн граждан (на май 2022 года), страдающих заболеваниями щитовидной железы. Эти заболевания занимают второе место по распространенности среди эндокринных патологий после сахарного диабета [4].

Таким образом, выше представленные данные показывают важность нивелирования йододефицита у населения Российской Федерации. Это необходимо для предотвращения прогрессирования патологий щитовидной железы и сопутствующих осложнений в работе иных систем организма, а также с целью снижения численности пациентов, страдающих йододефицитными заболеваниями. При этом важно применять подходы, позволяющие предотвратить избыточное потребление йода, способного стимулировать развитие йодиндуцированных дисфункций.

3.2. Метаболизм йода в организме человека

Йод, поступающий из пищи в неорганической форме, всасывается в желудке и в верхних отделах кишечника в течение 30 минут, поступая в кровотока в форме йодид-иона [17,26]. Органический йод отщепляется от молекулы носителя в печени и поступает в кровь также в виде йода со степенью окисления «-1» [31]. Впоследствии йод из плазмы поглощается щитовидной железой, либо выводится почками. При этом клиренс микроэлемента почками стабилен, тогда как биотрансформация йода в железе имеет непостоянный характер. Поглощение йода щитовидной железой главным образом зависит от уровня его потребления и концентрации в плазме. Так, при достаточном потреблении йода органом утилизируется не более 10%, а при низкой концентрации микроэлемента в организме это значение может превышать 80% [32]. Сообщается, что более 90% микроэлемента в организме поступает в кровотока в виде йодида. Однако в некоторых случаях метаболизма йодтирозинов йодированная аминокислота поступает в кровотока без изменений. Данная особенность показана в работе [30] при исследовании переваривания йодированных молочных белков лабораторными животными.

Натрий-йодный симпортер, обнаруженный в базальной мембране клеток щитовидной железы (тироцитов), активно транспортирует йодиды к клеткам щитовидной железы по градиенту концентрации в 20–50 раз выше, чем в плазме. Далее ионы йодида переносятся в коллоид переносчиками пендрином и апикальным транспортером йодида, где фермент тиреоидная пероксидаза (тиреопероксидаза) в присутствии перекиси водорода на апикальной поверхности тироцита окисляет йодид до молекулярного йода. Затем с помощью фермента тиреопероксидазы йод присоединяется к тирозильным остаткам тиреоглобулина (около 120 остатков). Тиреоглобулин синтезируется в шероховатой эндоплазматической сети и транспортируется в коллоид путем экзоцитоза. В результате образуются монойодтирозин и дийодтирозин — предшественники гормонов щитовидной железы. Тиреопероксидаза и перекись водорода катализируют соединение фенильных групп йодтирозинов через диэфирный мостик, создавая гормоны щитовидной железы Т4 и Т3 [33]. Установлено, что процесс синтеза белков тиреоглобулина и тиреопероксидазы, а также натрий-йодного симпортера регулирует тиреотропный гормон [26].

Весь комплекс транспортируется в фолликулярную клетку путем эндоцитоза в цитоплазму, в которой под влиянием различных протеаз высвобождаются молекулы тироксина и трийодтиронина, поступающие в кровь через транспортер монокарбоксилата. Т4 является основным секреторным продуктом щитовидной железы: его суточная секреция составляет примерно 80 мкг, тогда как Т3 секретруется в количестве примерно 4–6 мкг/день и в основном вырабатывается в результате превращения из Т4, который является прогормоном. В тканях Т4 деиодинируется в 5'-положении до Т3 при участии ферментов дейодиназы типа 1 или типа 2 или до метаболически неактивного обратного Т3 под влиянием дейодиназы типа 1 или типа 3 [34]. Йод выделяется обратно в плазму в результате тка-

невого разложения свободных форм гормонов щитовидной железы и может быть повторно трансформирован щитовидной железой в гормоны, а может быть выведен из организма естественным путем [32,35]. При этом в условиях дефицита микроэлемента йод из гормонального обмена более эффективно повторно используется щитовидной железой, чем при достаточном его потреблении, а клиренс эссенциального элемента почками, соответственно, снижается [27].

Помимо этого, ряд исследований [36–38] отражает участие других веществ и микроэлементов в метаболизме йода в организме. Так, мио-инозитол регулирует усвоение йода в организме и биосинтез гормонов щитовидной железы посредством участия в регулировании активности тиреотропного гормона и выработке гормонов Т3 и Т4 [36]. Селен экспрессирует специфические селенопротеины (глутатионпероксидаза и йодтирониндейодиназа), принимающие участие в адекватном функционировании щитовидной железы [37]. Цинк также играет важную роль в синтезе гормонов щитовидной железы, контролируя активность тиреотропин-рилизинг-гормона, дейодирования ферментов и синтез тиреотропного гормона. Цинк формирует структуры важнейших транскрипторных факторов, принимающих участие в синтезе тиреоидных гормонов [38].

Исходя из вышесказанного, йод выполняет ряд жизненно важных функций в организме человека, обеспечивая адекватную работу эндокринной системы. Особенно критична недостаточность потребления микроэлемента для беременных женщин и детей до 12 лет. В связи с этим вопрос нивелирования йодного дефицита посредством разработки новых эффективных подходов приобретает высокую значимость.

3.3. Мировая практика в борьбе с дефицитом йода

В 1994 году ВОЗ призвала все государства внедрить программы всеобщего йодирования соли на законодательном уровне. Реализация масштабного распространения йодированной соли (с 1993 по 2019 год) показала резкое сокращение числа стран, классифицируемых как йододефицитные: со 116 стран в 1993 году до 19 в 2019 году [39,40]. Так, национальные и международные медицинские мониторинги, проводившиеся в 2016–2020 гг., оценивали медианные концентрации йода в моче у детей школьного возраста. Нормируемый диапазон, соответствующий достаточному потреблению йода, составляет 100–299 мкг/л. Результаты этих исследований показали, что благодаря программам всеобщего йодирования соли адекватный уровень потребления йода был достигнут в следующих странах: Армения (242 мкг/л), Беларусь (191 мкг/л), Северная Македония (236 мкг/л), Косово (148 мкг/л), Грузия (298 мкг/л), Сербия (187 мкг/л), Монте-Негро (173 мкг/л), Молдова (134 мкг/л), Киргизия (103 мкг/л), Албания (136 мкг/л) [41], Китай (207 мкг/л) [42], Канада (111 мкг/л) [43] и др. Однако, несмотря на значительный положительный эффект от употребления населением планеты йодированной соли, в ряде государств фиксируется как дефицит микроэлемента, так и его избыточное количество.

На Мадагаскаре уровень потребления йода характеризуется как самый низкий, поскольку программа йодирования соли была приостановлена ввиду политической нестабильности (53 мкг/л) [44]. Политическая и экономическая ситуации в Ираке способствовали нарушению внедрения и постоянного мониторинга йодного статуса населения, в связи с чем последние сведения об уровне потребления йода населением зафиксированы в 2012 году (92 мкг/л) [45]. Производство йодированной соли в Камбодже сократилось из-за недостаточного финансирования программы, следствием чего стало усугубление состояния вопроса дефицита йода. Во Вьетнаме снижение потребления йода возникло на фоне ослабления законодательства, обязывающего осуществлять обогащение всего объема реализуемой соли. Количество потребляемой йодированной соли в России варьируется в зависимости от региона, что приводит к различиям уровней потребления йода. В среднем по стране этот показатель составляет 78 мкг/л. [46,47]. В Норвегии медианное значение содержания йода в моче у молодых женщин (18–30 лет) снижено на фоне изменений в питании (включение в рацион заменителей продуктов животного происхождения, обедненные микро- и макронутриентами диеты) [48] и составляет 75 мкг/л [49], что на 25 мкг/л меньше нижнего порога нормы [50]. Кроме того, в результате мониторинга выявлены страны с избыточным потреблением йода, обусловленным высокими концентрациями йода в питьевой воде и пище, среди которых Южная Корея (449 мкг/л), Джибути (335 мкг/л), Камерун (> 300 мкг/л), Гондурас (356 мкг/л) и Колумбия (407 мкг/л) [40,51].

Следует обратить внимание на тот факт, что Российская Федерация не вводила на законодательном уровне программы всеобщего йодирования соли, однако начиная с 1997 года в различных регионах правительство проводит мероприятия, направленные на ликви-

дацию йододефицита. Так, в период 2016–2018 гг. были организованы региональные акции «Соль + йод IQ сэкономит», освещающие население о важности достаточного потребления микронутриента. В марте 2019 г. был разработан проект «О популяционной профилактике заболеваний, связанных с дефицитом йода», в рамках которого был создан проект Федерального Закона «О профилактике заболеваний, вызванных дефицитом йода». Данный проект подразумевает проведение профилактических действий по нивелированию дефицита путем повсеместного распространения пищевой соли, обогащенной йодатом калия. На данный момент проект находится на стадии устранения замечаний и последующего направления на рассмотрение в Правительство РФ.

Кроме того, с 2020 года в России в силу вступили СанПиН 2.3/2.4.3590–20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения», согласно которым для приготовления пищи в школьных столовых по всей стране обязательно использование йодированной соли [4]. Наряду с этим, в 2022 году Национальным медицинским исследовательским центром эндокринологии был представлен проект Региональной целевой программы «Профилактика йододефицитных заболеваний на 202х–202х годы», целью которой является разработка и обеспечение функционирования системы профилактики, диагностики и лечения заболеваний, обусловленных дефицитом йода, на территории Российской Федерации [52].

Несмотря на повсеместное распространение программ йодирования соли, существуют опасения относительно использования неорганической формы йода в качестве добавки. Длительное потребление йода в такой форме, даже в физиологических дозах, может привести к развитию йодизма, к токсическому поражению печени и почек, а также к йодиндуцированной патологии щитовидной железы [53]. Кроме того, некоторые группы населения исключают соль из рациона, что в свою очередь актуализирует ее замену на другие пищевые продукты, обогащенные микроэлементами [54]. В работе [55] сообщается о недостаточном уровне потребления йода с йодированной солью среди беременных и кормящих женщин. Однако исследование [56] демонстрирует, что обогащение пищевой соли йодом в концентрации 25 мг/кг обеспечивает кормящих матерей и детей до двух лет необходимым количеством микроэлемента. Кроме того, авторы работы [30] подчеркивают сниженный уровень утилизации йода из неорганических носителей в сравнении с органической формой микроэлемента. В связи с этим учеными разрабатываются новые, более эффективные технологии различных добавок и продуктов, содержащих йод в органической форме [9,57,58].

Органический йод связан с высокомолекулярными носителями, в связи с чем процесс отщепления микроэлемента замедлен. При этом риск передозировки отсутствует, так как излишний органический йод без метаболических изменений выводится из организма естественным путем [59]. На российском рынке представлен широкий спектр добавок как растительного, так и животного происхождения, обогащенных йодом: препараты на основе морских водорослей [7], «Йодонорм» [8], «Бийод», «Йод-гликозид», «Йодказеин», а также йодированные инулин, арабиногалактан, пищевые волокна пшеницы, растительные белки и белки животного происхождения [9,57,60]. Помимо пищевых добавок, на продовольственном рынке осуществляется продажа обогащенных рыбных [61], хлебобулочных и кондитерских [62,63], мясных [64] и молочных продуктов [54].

Представленные выше пищевые добавки имеют ряд недостатков: длительность подготовки перед внесением в пищевой продукт, низкая растворимость, низкое удельное содержание йода, присутствие неорганических форм йода, отсутствие сопутствующих метаболизму йода веществ (например, цинка) [11]. В этой связи актуальным вопросом для специалистов отрасли остается разработка новых подходов к профилактике и нивелированию дефицита йода, в том числе технологий пищевых добавок с использованием органических иммобилизованных матриц для эффективной коррекции йододефицитных состояний.

3.4. Разработка новых подходов к терапии дефицита йода

Анализ состояния рынка йодсодержащих добавок, их недостатков, а также рекомендаций по коррекции йододефицитных состояний позволил определить ключевые факторы, которые необходимо учитывать при разработке новых подходов к терапии дефицита йода.

1. Применение органического носителя микроэлемента;
2. Дополнительное обогащение субстрата веществами, участвующими в метаболизме йода в организме;
3. Использование безопасных источников микроэлементов;
4. Технологическая устойчивость пищевой добавки.

Наиболее перспективным носителем для обогащения йодом являются органические соединения, в том числе белки. При этом медицинское сообщество подчеркивает более эффективную терапию йододефицитных состояний при употреблении добавок и пищевых продуктов, содержащих не только органические формы микроэлемента, но и сопутствующие его метаболизму вещества, например, цинк. Исходя из этого, перспективным сырьем для обогащения эссенциальными микроэлементами являются сыровоточные белки молока ввиду наличия в них значительного количества аминокислотных остатков (глицин, пролин, аргинин, тирозин, фенилаланин, триптофан, метионин и др.), способных связывать йод и хелатировать цинк. Одновременно с этим применение сыровоточных белков для проектирования новой пищевой добавки открывает дополнительные возможности для переработки вторичного молочного сырья, что является актуальной задачей для молочной отрасли [65]. В исследовании [30] отражена возможность повышения способности молочных белков связывать ионы йода при частичном гидролизе, что может быть ассоциировано с увеличением количества ионогенных групп и сорбционной активности. На данный момент наиболее эффективным методом подбора ферментных препаратов или их комплексов для направленного гидролиза белков является биоинформатическое моделирование (*in silico*) [66]. При этом в аспекте настоящего исследования ключевым фактором при выборе ферментов является получение пептидов с наибольшей потенциальной способностью к связыванию ионов йода и хелатированию цинка. В связи с этим необходимо определение механизмов взаимодействия ионов микроэлементов с аминокислотными остатками белковых фрагментов.

Йод обладает специфическим распределением электронов, формирующих область анизотропного электрического потенциала вокруг атома, называемую δ -hole (δ -область). Исследованиями [67,68] белок-галогеновые взаимодействия рассматриваются как формирование галогеновой связи с участком δ -hole йода, поскольку считается, что именно эта зона способствует образованию нековалентных взаимодействий и реакционноспособных групп белковых соединений, боковые и главные цепи которых состоят из аминокислотных остатков, содержащих Льюисовские основания — S, O, N (карбонил, гидроксил, тиол, ароматическое кольцо, заряженный карбоксилат, группа фосфата или амин) [69,70]. При этом отмечается, что кислород является наилучшим донором с высокой электронной плотностью в сравнении с азотом, в особенности для галогенов с большим значением радиуса Ван-дер-Ваальса, таких как йод. Перечень аминокислотных остатков пептидной цепи представлен аланином, метионином, глицином, валином, треонином, аргинином. При этом сообщается, что прочность галогеновой связи в комплексе йод-белок является самой высокой по отношению к другим галогенам [67]. Перечисленные функциональные участки белковой цепи дополняются в исследованиях [71–73] пролином, гистидином, а также аспарагиновой и глутаминовой кислотами. Для данных аминокислот авторы описывают модель взаимодействия йода с азотом.

Помимо галогеновых связей йод способен формировать более прочные ковалентные взаимодействия с ароматическим кольцом аминокислот тирозина, фенилаланина и триптофана [58,64,74]. Большаковой Л. С. и соавторами [31] описан механизм ковалентного связывания иона йода с аминокислотными остатками ароматических аминокислот в молочных белках, основанный на встраивании галогена в молекулу с одновременным изменением отрицательного заряда на положительный (1^+) и с образованием моно- или дийод-производных. Реакция в щелочной среде протекает благодаря наличию в молекуле аминокислоты гидроксильной группы, которая является сильным орто-пара-ориентантом, способствующим протеканию процесса электрофильного замещения [31]. Однако авторами исследования [73] ставится под сомнение возможность присоединения йода к бензольному кольцу, поскольку данное взаимодействие не подтверждено по результатам ИК-спектрометрического анализа. Несмотря на подобное утверждение, при прогнозировании связывания иона йода с фрагментами сыровоточных белков ароматические аминокислоты будут также включены в модель, поскольку строение йодированных белковых молекул, представленных в базе данных Protein Data Base, отражает потенциальную возможность формирования ковалентных связей.

Цинк обладает способностью к формированию внутрикомплексных соединений (хелатов) с аминокислотными остатками белковых цепей. Металлы связывают аминокислотные остатки, содержащие кислород, азот или серу, входящие в состав белковой цепи (свободные остатки цистеина, не задействованные в формировании дисульфидных связей, гистидин, пролин). В исследованиях [75–78] также подтверждаются способности гистидина и цистеина к хелатирова-

нию ионов цинка. Мавлоновым Г. Т. с соавторами [75] приведены аффинные свойства цинксоодержащего сорбента на основе цинковой формы минерала бетонита по отношению к гистидин-богатым пептидам с применением коммерческих препаратов цинксвязывающих пептидов «Церебролизин» и рекомбинантного инсулина. Авторами показано, что насыщенные Zn^{2+} ионообменные центры селективно связывали белковые компоненты, содержащие по два остатка аминокислот цистеина и гистидина («цинковые пальцы») [75]. Кутяков В. А. и Салмина А. Б. описали механизм хелатирования цинка цистеином на примере белков металлотиионеинов, заключающийся в координации иона двухвалентного металла сульфгидрильными группами [77].

В работе [78] исследователи описывают механизм формирования амилоидных агрегатов в мозге при болезни Альцгеймера. Ключевую роль в этом процессе играет цинк, который связывается с боковыми группами аминокислотных остатков бета-амилоида: глутаминовой кислоты (положение 11), аргинина (положение 5) и трех остатков гистидина (положения 6, 13 и 14). Участие остатков глутаминовой кислоты, наряду с аминокислотными остатками аспарагиновой кислоты, цистеина и метионина, в хелатировании двухвалентных металлов, в том числе цинка, подчеркивается в исследовании [79]. Согласно описанному механизму, в хелатировании цинка участвуют минимум две аминокислоты с двумя функциональными группами: кислород карбоксильной группы и азот аминной группы (для глутаминовой кислоты), кислород гидроксильной группы и азот аминной группы (для аспарагиновой кислоты), азот аминной группы и кислород карбоксильной группы (для метионина). Важно отметить, что в координации цинка участвуют функциональные группы, обеспечивающие координационное число четыре. Такое координационное число характерно для комплексов цинка с белками и обуславливает их устойчивость [80].

Помимо вышеперечисленных аминокислот, авторами работы [73] отмечено формирование устойчивого хелатного комплекса цинка с четырьмя аминокислотными остатками аргинина при участии четырех атомов азота аминных групп, находящихся в молекуле кислоты рядом с карбоксильной группой. Кроме аргинина учеными также рассмотрены варианты хелатирования металла аспарагиновой, глутаминовой кислотами и фенилаланином по такой же схеме, как в случае с аргинином. Согласно данным, приведенным в исследовании [81], комплексы цинка с аминными группами аргинина обладают большим значением энергии связи, чем комплексы с азотом фенилаланина, глутаминовой и аспарагиновой кислот. Несмотря на меньшие значения энергии связи, данные аминокислотные остатки будут учитываться при *in silico* моделировании направленного гидролиза сывороточных белков ввиду способности хелатировать цинк, в том числе в комплексе с другими аминокислотными остатками. Кроме того, следует обратить внимание на противоречие данных в работах [79] и [81] в аспекте функциональных групп, участвующих в хелатировании цинка для глутаминовой и аспарагиновой кислот. В связи с этим можно предположить вероятность участия не только аминного азота, но и кислорода карбоксильной группы в хелатировании цинка аргинином и фенилаланином.

Важно подчеркнуть высокую биодоступность хелатов цинка для организма человека даже при условии нарушения метаболических процессов [82]. В исследовании [83] показана устойчивость координационных соединений с биоглигандами и высокая аффинность взаимодействия с белками катионами Zn^{2+} . Эти данные позволяют предположить потенциальную прочность хелата металла, формируемого с аминокислотными остатками белковых гидролизатов сывороточных белков.

Не менее важными факторами при разработке пищевой добавки, обогащенной йодом и цинком, являются подбор безопасного источника йода и цинка, а также определение последовательности и условий внесения препаратов микроэлементов в систему для обеспечения максимально возможной степени связывания ионов. По литературным данным, наиболее подходящими [для этих целей] источниками йода и цинка являются йодид калия и сульфат цинка [73]. Кроме того, полученная добавка должна обладать устойчиво-

стью к воздействию термомеханических факторов в условиях производственной среды, а также не терять своих свойств как при хранении в чистом виде, так и в составе обогащенного продукта. В работе [84] отражена устойчивость белковых веществ, обогащенных йодом, которая объясняется образованием прочной ковалентной связи C–I. Однако эта связь легко разрушается в процессе переваривания пищевой добавки в организме человека.

Представленные данные однозначно характеризуют белки молочной сыворотки как перспективные носители микронутриентов ввиду наличия в их структуре большого количества аминокислотных остатков, способных потенциально связать йод и хелатировать цинк. Кроме того, прочность химических связей соединений с биоглигандами предполагает возможность достижения необходимой технологической устойчивости разрабатываемой пищевой добавки. Имобилизованная матрица обладает высокой биологической доступностью, которая сохраняется даже при наличии метаболических нарушений в организме человека. При этом сывороточные белки являются органическими веществами, употребление которых в качестве пищевой добавки, обогащенной эссенциальными микроэлементами, не способно привести к их избыточному уровню в плазме крови.

4. Выводы

Последние статистические данные мониторинга йодной недостаточности и количества граждан, страдающих йоддефицитными заболеваниями, в Российской Федерации отражают низкое среднесуточное потребление йода и увеличение уровня заболеваемости патологиями щитовидной железы. Недостаток микронутриента в питании ведет к формированию ряда негативных последствий в работе эндокринной и других систем организма. При этом наиболее уязвимыми группами населения являются беременные и кормящие женщины, а также дети. В связи с этим актуализируется вопрос нивелирования дефицита йода.

Включение в диету пищевых продуктов и добавок с высоким содержанием микронутриента определяется как наиболее распространенный метод восполнения уровня йода в организме. При этом анализ рынка йодированных пищевых добавок и продуктов отражает необходимость разработки новых подходов к терапии и профилактике йоддефицитных состояний ввиду ряда недостатков существующих на данный момент средств ликвидации нехватки микроэлемента, снижающих их эффективность. В статье представлен перечень факторов, которые необходимо учитывать при разработке новых подходов предупреждения или устранения йоддефицитных состояний: использование в производстве органических субстратов для обогащения йодом и цинком и безопасных источников микроэлементов (йодид калия, сульфат цинка); обогащение матрицы не только йодом, но и веществами, участвующими в метаболизме йода в организме (например, цинк, селен, мио-инозитол). При этом готовая добавка должна обладать высокой устойчивостью к технологическим нагрузкам при условии ее использования в производстве пищевой продукции.

Сформированный перечень факторов, оказывающих влияние на эффективность алиментарных подходов в профилактике дефицита йода, позволяет рассматривать белки молочной сыворотки в качестве перспективного носителя эссенциальных микроэлементов. Это обосновано большим количеством аминокислотных остатков в пептидной последовательности, способных связывать йодид-ионы (аланин, метионин, глицин, валин, треонин, аргинин, пролин, гистидин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, тирозин, фенилаланин и триптофан) и хелатировать цинк-ионы (цистеин, гистидин, пролин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, аргинин, метионин, фенилаланин). Следует отметить потенциальную возможность повышения степени связывания микроэлементов с сывороточными белками при проведении процесса частичного гидролиза ввиду высвобождения большого количества реакционноспособных групп. Важным фактором также является высокая биодоступность йода и цинка, соединенных с биоглигандами, а также их устойчивость к технологическим факторам (температура, pH и т. д.) ввиду формирования прочных химических связей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Яшин, А. Н., Петров, А. Н. (2023). Актуальность разработки обогащенных микроэлементами продуктов питания для диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях. *Пищевые системы*, 6(3), 272–278. [Yashin, A. N., Petrov, A. N. (2023). The relevance of the development of food products enriched with trace elements for diet therapy in cardiovascular disease. *Food Systems*, 6(3), 272–278. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278>
2. Коденцова, В. М., Вржесинская, О. А., Рисник, Д. В., Никитюк, Д. Б., Тутельян, В. А. (2017). Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы. *Вопросы питания*, 86(4), 113–124. [Kodentsova, V. M., Vrzhesinskaya, O. A., Risnik, D. V., Nikityuk, D. B., Tutelyan, V. A. (2017). Micronutrient status of population of the Russian Federation and possibility of its correction. State of the problem. *Voprosy*

- Pitaniia (*Problems of Nutrition*), 86(4), 113–124. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00067>
3. Абдулхабилова, Ф. М., Безлепкина, О. Б., Бровин, Д. Н., Вадина, Т. А., Мельниченко, Г. А., Нагаева, Е. В. и др. (2021). Клинические рекомендации «Заболевания и состояния, связанные с дефицитом йода». *Проблемы эндокринологии*, 67(3), 10–25. [Abdulhabirova, F. M., Bezlepina, O. B., Broyvin, D. N., Vadina, T. A., Melnichenko, G. A., Nagaeva, E. V. et al. (2021). Clinical practice guidelines "Management of iodine deficiency disorders". *Problems of Endocrinology*, 67(3), 10–25.] <https://doi.org/10.14341/probl12750>
 4. Трошина, Е. А. (2022). Устранение дефицита йода – забота о здоровье нации. Экскурс в историю, научные аспекты и современное состояние правового регулирования проблемы в России. *Проблемы эндокринологии*, 68(4), 4–12. [Troshina, E. A. (2022). Elimination of iodine deficiency – care for the health of the nation. Elimination of iodine deficiency is a concern for the health of the nation. An excursion into the history, scientific aspects and the current state of the legal regulation of the problem in Russia. *Problems of Endocrinology*, 68(4), 4–12. (In Russian)] <https://doi.org/10.14341/probl13154>
 5. Маюрикова, Л. А., Кокшаров, А. А., Крапива, Т. В., Новоселов, С. В. (2020). Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности. *Техника и технология пищевых производств*, 50(1), 124–139. [Mayurnikova, L. A., Koksharov, A. A., Krapiva, T. V., Novoselov, S. V. (2020). Food fortification as a preventive factor of micronutrient deficiency. *Food Processing: Techniques and Technologies*, 50(1), 124–139. (In Russian)] <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-124-139>
 6. Трошина, Е. А., Мазурина, Н. В., Сеньюшкина, Е. С., Маколина, Н. П., Галиева, М. О., Никанкина, Л. В. и др. (2021). Мониторинг эффективности программы профилактики заболеваний, связанных с дефицитом йода в Республике Тыва. *Проблемы эндокринологии*, 67(1), 60–68. [Troshina, E. A., Mazurina, N. V., Senyushkina, E. S., Makolina, N. P., Galieva, M. O., Nikankina, L. V. et al. (2021). Monitoring of iodine deficiency disorders in the Republic of Tyva. *Problems of Endocrinology*, 67(1), 60–68. (In Russian)] <https://doi.org/10.14341/probl12715>
 7. Blikra, M. J., Altintzoglou, T., Løvdal, T., Rognsæ, G., Skipnes, D., Skåra, T. et al. (2021). Seaweed products for the future: Using current tools to develop a sustainable food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 118 (Part B), 765–776. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.002>
 8. Поповичева, Н. Н. (2021). Функциональный обогащенный кисломолочный напиток с йодированным пищевым композитом. *Пищевые системы*, 4(3S), 228–231. [Popovicheva, N. N. (2021). Functional fortified fermented milk drink with iodized food composite. *Food Systems*, 4(3S), 228–231. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-228-231>
 9. Dydykin, A. S., Zubarev, Y. N., Logunova, E. I., Kuzlyakina, Y. A. (2023). Modern forms of iodine-containing food components. *Theory and Practice of Meat Processing*, 8(3), 172–182. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-3-172-182>
 10. Szymandera-Buszkka, K., Waszkowiak, K., Kaczmarek, A., Zaremba, A. (2021). Wheat dietary fibre and soy protein as new carriers of iodine compounds for food fortification — the effect of storage conditions on the stability of potassium iodide and potassium iodate. *LWT*, 137, Article 110424. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110424>
 11. Мамцев, А. Н., Козлов, В. Н., Динякова, М. В. (2016). Технология производства кисломолочного напитка, обогащенного йодом. *Переработка молока*, 11(205), 42–45. [Mamtsev, A. N., Kozlov, V. N., Dinyakova, M. V. (2016). Technology of production of fermented milk drink enriched with iodine. *Milk Processing*, 11(205), 42–45. (In Russian)]
 12. Grouff-Jacobsen, S., Hess, S. Y., Aakre, I., Gjengedal, E. L. F., Pettersen, K.B., Henjum, S. (2020). Vegans, vegetarians and pescatarians are at risk of iodine deficiency in Norway. *Nutrients*, 12(11), Article 3555. <https://doi.org/10.3390/nu12113555>
 13. Tattari, S., Gavaravarapu, S. M., Pullakhandam, R., Bhatia, N., Kaur, S., Sarwal, R. et al. (2022). Nutritional requirements for the elderly in India: A status paper. *Indian Journal of Medical Research*, 156(3), 411–420. https://doi.org/10.4103/ijmr.ijmr_2784_21
 14. Попова, А. Ю., Тутельян, В. А., Никитюк, Д. Б. (2021). О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*, 90(4), 6–19. [Popova, A. Yu., Tutelyan, V. A., Nikityuk, D. B. (2021). On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Voprosy Pitaniia (Problems of Nutrition)*, 90(4), 6–19. (In Russian)] <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
 15. Torres-Sánchez, L., Gamboa, R., Bassol-Mayagoitia, S., Huesca-Gómez, C., Nava, M. P., Vázquez-Potisek, J. I. et al. (2019). Para-occupational exposure to pesticides, PON1 polymorphisms and hypothyroxinemia during the first half of pregnancy in women living in a Mexican floricultural area. *Environmental Health*, 18(1), Article 33. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0470-x>
 16. Bertinato, J. (2021). Iodine nutrition: Disorders, monitoring and policies. Chapter in the book: *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press, 2021. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.01.004>
 17. Krela-Kaźmierczak, I., Czarnywojtek, A., Skoracka, K., Rychter, A. M., Ratajczak, A. E., Szymczak-Tomczak, A. et al. (2021). Is there an ideal diet to protect against iodine deficiency? *Nutrients*, 13(2), Article 513. <https://doi.org/10.3390/nu13020513>
 18. Censi, S., Watutantrige-Fernando, S., Groccia, G., Manso, J., Plebani, M., Fagiani, D. et al. (2019). The effects of iodine supplementation in pregnancy on iodine status, thyroglobulin levels and thyroid function parameters: Results from a randomized controlled clinical trial in a mild-to-moderate iodine deficiency area. *Nutrients*, 11(11), Article 2639. <https://doi.org/10.3390/nu11112639>
 19. Мохорт, Т. В. (2021). Йодный дефицит и беременность: проблема и решения. *Репродуктивное здоровье. Восточная Европа*, 11(4), 410–421. [Mokhort, T. V. (2021). Iodine deficiency and pregnancy: Problem and solutions. *Reproductive Health. Eastern Europe*, 11(4), 410–421. (In Russian)] <http://doi.org/10.34883/PI.2021.11.4.005>
 20. Hatch-McChesney, A., Lieberman, H. R. (2022). Iodine and iodine deficiency: A comprehensive review of a re-emerging issue. *Nutrients*, 14(17), Article 3474. <https://doi.org/10.3390/nu14173474>
 21. Дедов И. И., Трошина Е. А., Платонова Н. М., Маколина Н. П., Беловалова И. М., Сеньюшкина Е. С. и др. (2022). Профилактика йоддефицитных заболеваний: в фокусе региональные целевые программы. *Проблемы эндокринологии*, 68(3), 16–20. [Dedov I. I., Troshina E. A., Platonova N. M., Makolina N. P., Belovalova I. M., Senyushkina E. S. et al. (2022). Prevention of iodine deficiency diseases: Focus on regional targeted programs. *Problems of Endocrinology*, 68(3), 16–20. (In Russian)] <https://doi.org/10.14341/probl13119>
 22. Дракина, С. А., Перевощикова, Н. К., Бурмистрова, Е. Ю., Зинчук, С. Ф. (2022). Состояние здоровья организованных детей раннего возраста в зависимости от уровня обеспечения йодом. возможности коррекции. *Вопросы практической педиатрии*, 17(1), 128–134. [Drakina, S. A., Perevoschikova, N. K., Burmistrova, E. Yu., Zinchuk, S. F. (2022). Health status of young children depending on their iodine level. Opportunities for correction. *Clinical Practice in Pediatrics*, 17(1), 128–134. (In Russian)] <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2022-1-128-134>
 23. Cesar, A. J., Santos, S. I., Black, E. R., Chrestani, D. M. A., Duarte, A. F., Nilson, F. E. A. (2020). Iodine status of Brazilian school-age children: A national cross-sectional survey. *Nutrients*, 12(4), Article 1077. <https://doi.org/10.3390/nu12041077>
 24. Цукарева, Е. А., Авчинникова, Д. А. (2021). Сравнительная характеристика фактического питания младших школьников с различными показателями пищевого статуса. *Гигиена и санитария*, 100(5), 512–518. [Tsukareva, E. A., Avchinnikova, D. A. (2021). Comparative characteristics of the actual nutrition of younger schoolchildren with different indices of nutritional status. *Hygiene and Sanitation*, 100(5), 512–518. (In Russian)] <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-512-518>
 25. Manousou, S., Andersson, M., Eggertsen, R., Hunziker, S., Hulthén, L., Nyström, H. F. (2020). Iodine deficiency in pregnant women in Sweden: a national cross-sectional study. *European Journal of Nutrition*, 59, 2535–2545. <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02102-5>
 26. Lisco, G., De Tullio, A., Triggiani, D., Zupo, R., Giagulli, V. A., De Pergola, G. et al. (2023). Iodine Deficiency and Iodine Prophylaxis: An Overview and Update. *Nutrients*, 15(4), Article 1004. <https://doi.org/10.3390/nu15041004>
 27. Zimmermann, M. B. (2019). Iodine deficiency. Chapter in the book: *The thyroid and its diseases: A comprehensive guide for the clinician*. Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72102-6_8
 28. Karbownik-Lewińska, M., Stepniak, J., Iwan, P., Lewiński, A. (2022). Iodine as a potential endocrine disruptor — a role of oxidative stress. *Endocrine*, 78(2), 219–240. <https://doi.org/10.1007/s12020-022-03107-7>
 29. Saha, A., Mukherjee, S., Bhattacharjee, A., Sarkar, D., Chakraborty, A., Banerjee, A. et al. (2019). Excess iodine-induced lymphocytic impairment in adult rats. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 29(2), 110–118. <https://doi.org/10.1080/1576516.2018.1528647>
 30. Bolshakova, L. S., Lukin, D. E. (2020). Absorption of iodotyrosine from iodized milk protein in animals. *Foods and Raw Materials*, 8(1), 60–66. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-60-66>
 31. Большакова, Л. С., Лисицын, А. Б., Чернуха, И. М., Зубцов, Ю. Н., Лукин, Д. Е., Люблинский, С. Л. (2018). Исследование метаболизма йодтирозинов, входящих в состав молочного йодированного белка, у крыс. *Вопросы питания*, 87(3), 12–17. [Bolshakova, L. S., Lisitsyn, A. B., Chernukha, I. M., Zubtsov, Y. N., Lukin, D. E., Lyublinsky, S. L. (2018). The study of the metabolism of iodotyrosines included in the iodized milk protein in rats. *Voprosy pitaniia (Problems of Nutrition)*, 87(3), 12–17. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10026>
 32. Zimmermann, M. B. (2020). Iodine and the iodine deficiency disorders. Chapter in the book: *Present Knowledge in Nutrition: Basic Nutrition and Metabolism*. Academic Press, 2020.
 33. Barbaro, D., Orrù, B., Unfer, V. (2019). Iodine and myo-inositol: A novel promising combination for iodine deficiency. *Frontiers in Endocrinology*, 10, Article 457. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00457>
 34. Winder, M., Kosztyla, Z., Boral, A., Kocełak, P., Chudek, J. (2022). The impact of iodine concentration disorders on health and cancer. *Nutrients*, 14(11), Article 2209. <https://doi.org/10.3390/nu14112209>
 35. Rayman, M. P. (2019). Multiple nutritional factors and thyroid disease, with particular reference to autoimmune thyroid disease. *Proceedings of the Nutrition Society*, 78(1), 34–44. <https://doi.org/10.1017/S0029665118001192>
 36. Bonofiglio, D., Catalano, S. (2020). Effects of iodine intake and nutraceuticals in thyroidology: Update and prospects. *Nutrients*, 12(5), Article 1491. <https://doi.org/10.3390/nu12051491>
 37. Gharibzadeh, S. M. T., Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nano-encapsulation. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
 38. Arias-Borrego, A., Velasco, I., Gómez-Ariza, J. L., García-Barrera, T. (2022). Iodine deficiency disturbs the metabolic profile and elemental composition of human breast milk. *Food Chemistry*, 371, Article 131329. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131329>
 39. Shaaban, E. S., Yamamah, G. A. N., Bassuoni, R. A., Hussien, L., Mohamed, M. S., Gad, M. (2022). Iodine deficiency and anemia levels of urban and rural Egyptian children: Follow up study. *Advances in Public Health Communication and Tropical Medicine*, 2022(6), 1–7. <https://doi.org/10.37722/APHCTM.2022601>
 40. Суплотова, Л. А., Макарова, О. Б., Трошина, Е. А. (2022). Неонатальный тиреотропный гормон-индикатор мониторинга тяжести йодного дефицита. Что считать «точной отсечкой»? *Проблемы эндокринологии*, 68(6), 12–21. [Suplotova, L. A., Makarova, O. B., Troshina, E. A. (2022). Neonatal thyrotropin — indicator of monitoring of iodine deficiency severity. What's level is considered a «cutoff point»? *Problems of Endocrinology*, 68(6), 12–21. (In Russian)] <https://doi.org/10.14341/probl12892>
 41. Цуркан Л., Герасимов Г. А., Парванта И., Тиммер А. (2021). Прогресс в профилактике и устранении йоддефицитных заболеваний (ЙДЗ) в регионе Европы и Центральной Азии (ЕЦАЯ) в 2010–2020 годах. *Клиническая и экс-*

- периментальная тиреоидология, 17(4), 4–16. [Turcan, L., Gerasimov, G. A., Parvanta, I., Timmer, A. (2021). Progress in Iodine Deficiency Disorders (IDD) Control and Elimination in Europe and Central Asia Region (ECAR) in 2010–2020. *Clinical and Experimental Thyroidology*, 17(4), 4–16. (In Russian)] <https://doi.org/10.14341/ket12713>
42. Liu, P., Fan, L., Meng, F., Su, X., Liu, S., Shen, H. et al. (2020). Prevention and control of iodine deficiency disorders — China, 1995–2020. *China CDC Weekly*, 2(20), 345–349. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2020.090>
 43. Mathiaraman, S., de Macedo, A. N., Mente, A., Poirier, P., Lear, S. A., Wielgosz, A. et al. (2022). The prevalence and risk factors associated with iodine deficiency in Canadian adults. *Nutrients*, 14(13), Article 2570. <https://doi.org/10.3390/nu14132570>
 44. Randremanana, R. V., Bastaraud, A., Rabarijaona, L. P., Piola, P., Rakotonirina, D., Razafimanana, J. O. et al. (2019). First national iodine survey in Madagascar demonstrates iodine deficiency. *Maternal and Child Nutrition*, 15(2), Article e12717. <https://doi.org/10.1111/mcn.12717>
 45. World Health Organization. (2024). Microelements Data Base. Retrieved from <https://platform.who.int/nutrition/micronutrients-database/search-by-micronutrient> Accessed January 28, 2024
 46. Zimmermann, M. B. (2023). The remarkable impact of iodisation programmes on global public health. *Proceedings of the Nutrition Society*, 82(2), 113–119. <https://doi.org/10.1017/S0029665122002762>
 47. Адельмурзина, А. И., Викторов, В. В., Билалов, Ф. С., Тимофеева, Е. А. (2023). Результаты скрининга на врожденный гипотиреоз и транзиторные формы гипотиреоза у новорожденных в условиях йододефицитного региона-Республики Башкортостан. *Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования*, 2, 9–13. [Adelmurzhina, A. I., Viktorov, V. V., Bilalov, F. S., Timofeeva, E. A. (2023). Screening results for congenital hypothyroidism and transitional forms of hypothyroidism in newborn in iodine-deficient region of the Republic of Bashkortostan. *Medicine. Sociology. Philosophy. Applied Research*, 2, 9–13. (In Russian)]
 48. Henjum, S., Brantsæter, A. L., Kurniasari, A., Dahl, L., Aadland, E. K., Gjengedal, E. L. F. et al. (2018). Suboptimal iodine status and low iodine knowledge in young Norwegian women. *Nutrients*, 10(7), Article 941. <https://doi.org/10.3390/nu10070941>
 49. Vasiljev, V., Subotić, A., Glavić, M. M., Juraga, D., Bilajac, L., Jelaković, B. et al. (2022). Overview of iodine intake. *Southeastern European Medical Journal*, 6(1), 12–20. <https://doi.org/10.26532/seemedj.v6i1.241>
 50. Гerasимов, Г. А., Цуркан, Л. Г., Асланян, Г., Шалару, И., Демискан, Д. (2021). Моделирование потребления йода с пищевыми продуктами промышленного производства, изготовленными с йодированной солью, у взрослого населения и беременных в Армении и Молдове. *Вопросы питания*, 90(1), 49–56. [Gerasimov, G. A., Tsurkan, L., Aslanian, H., Salaru, I., Demiscan, D. (2021). Modeling of iodine consumption with industrial processed foods made with iodized salt in the adults and pregnant in Armenia and Moldova. *Voprosy Pitaniia (Problems of Nutrition)*, 90(1), 49–56. (In Russian)] <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-49-56>
 51. Koukkou, E. K., Roupas, N. D., Markou, K. B. (2017). Effect of excess iodine intake on thyroid on human health. *Minerva Medica*, 108(2), 136–146. <https://doi.org/10.23736/S0026-4806-17-04923-0>
 52. Трошина, Е. А., Дедов, И. И., Платонова, Н. М., Маколина, Н. П., Беловалова, И. М., Сенюшкина, Е. С. и др. (2022). Региональная целевая программа «Профилактика йододефицитных заболеваний на 202X–202X годы» (Проект). *Проблемы эндокринологии*, 68(3), 21–29. [Troshina, E. A., Dedov, I. I., Platonova, N. M., Makolina, N. P., Belovalova, I. M., Senyushkina, E. S. et al. (2022). Regional target program «Prevention of iodine deficiency diseases for 202X–202X» (Draft). *Problems of Endocrinology*, 68(3), 21–29. (In Russian)] <https://doi.org/10.14341/probl13120>
 53. Беспалов, В. Г., Туманян, И. А. (2019). Дефицит йода в питании как мультидисциплинарная проблема. *Лечащий врач*, 3, 8–13. [Bespalov, V. G., Tumanyan, I. A. (2019). Iodine deficiency in the diet as a multidisciplinary problem. *Lechaschi Vrach*, 3, 8–13. (In Russian)]
 54. Зобкова, З. С. (2020). Внедрение и коммерциализация результатов научно-исследовательских работ в целномолочной отрасли. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*, 1(1), 199–204. [Zobkova, Z. S. (2020). Implementation and commercialization of the investigations results in whole milk branch. *Current Issues in the Dairy Industry, Intersectoral Technologies and Quality Management Systems*, 1(1), 199–204. (In Russian)] <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-199-204>
 55. Trofimiuk-Müldner, M., Konopka, J., Sokołowski, G., Dubiel, A., Kieć-Klimczak, M., Kluczyński, Ł. et al. (2020). Current iodine nutrition status in Poland (2017): Is the Polish model of obligatory iodine prophylaxis able to eliminate iodine deficiency in the population? *Public Health Nutrition*, 23(14), 2467–2477. <https://doi.org/10.1017/S1368980020000403>
 56. Rodriguez-Diaz, E., Pearce, E. N. (2020). Iodine status and supplementation before, during, and after pregnancy. *Best Practice and Research Clinical Endocrinology and Metabolism*, 34(4), Article 101430. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2020.101430>
 57. Антипова, Л. В., Чубирко, М. И., Кульнева, Н. Г., Сторублевцев, С. А. (2018). Обеспечение безопасности и функциональности пищевых систем на основе сорбционных свойств коллагеновых белков. *Гигиена и санитария*, 97(8), 772–777. [Antipova, L. V., Chubirko, M. I., Kulneva, N. G., Storublevyev, S. A. (2018). Ensuring the safety of food systems based on the sorption properties of collagen proteins *Hygiene and Sanitation*, 97(8), 772–777. (In Russian)] <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-8-772-777>
 58. Куликовский, А. В., Лисицын, А. Б., Кузнецова, О. А., Вострикова, Н. Л., Горлов, И. Ф. (2016). Методические аспекты определения органического йода (йодтирозина) в пищевых продуктах. *Вопросы питания*, 85(4), 91–97. [Kulikovsky, A. V., Lisitsyn, A. B., Kuznetsova, O. A., Vostrikova, N. L., Gorlov, I. F. (2016). Methodological aspects of determining organic iodine (iodotyrosines) in food products. *Voprosy Pitaniia (Problems of Nutrition)*, 85(4), 91–97. (In Russian)]
 59. Савлукова, Ю. О., Ковалева, Е. Г. (2023). Получение функционального йогурта, обогащенного йодом в биодоступной форме. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 11(2), 83–92. [Savlukova, Y. O., Kovaleva, E. G. (2023). Production of functional yogurt enriched with iodine in a bioavailable form. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 11(2), 83–92. (In Russian)]
 60. Хотимченко, С. А., Шарафетдинов, Х. Х. (2020). О профилактике йоддефицитных состояний. Сообщение 2. *Вопросы питания*, 89(3), 126–128. [Khotimchenko, S. A., Sharafetdinov, Kh. Kh. (2020). On the prevention of iodine deficiency. Message 2. *Voprosy Pitaniia (Problems of Nutrition)*, 89(3), 126–128. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10037>
 61. Кобзева, С. Ю., Жмурина, Н. Д., Подкопаева, З. П., Ашихина, Л. А., Тихойкина, И. М. (2016). Применение порошка ламинарии для повышения качества кулинарных изделий. *Вопросы питания*, 85(52), 193–193. [Kobzeva, S. Yu., Zhmurina, N. D., Podkopaeva, Z. P., Ashikhina, L. A., Tikhoykina, I. M. (2016). Application of the kelp powder to increase quality of culinary products. *Voprosy Pitaniia (Problems of Nutrition)*, 85(52), 193–193. (In Russian)]
 62. Табаторович, А. Н., Резниченко, И. Ю. (2016). Технология и оценка качества пастыли, обогащенной органическим йодом. *Техника и технология пищевых производств*, 1(40), 61–67. [Tabatorovich, A. N., Reznichenko, I. Yu. (2016). Technology and quality estimation of marshmallow enriched with organic iodine. *Food Processing: Techniques and Technology*, 1(40), 61–67. (In Russian)]
 63. Славянский, А. А., Грибова, В. А., Николаева, Н. В., Митрошина, Д. П. (2021). Исследование возможности применения гранулированного сахара содержащего продукт с функциональными добавками при производстве жележых начинок. *Техника и технология пищевых производств*, 51(4), 859–868. [Slavyanskiy, A. A., Gribova, V. A., Nikolaeva, N. V., Mitroshina, D. P. (2021). Granulated sugar-containing functional products in jelly fillings. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(4), 859–868. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-859-868>
 64. Giro, T. M., Kulikovskiy, A. V., Andreeva, S. V., Gorlov, I. F., Giro, A. V. (2020). Production of enriched lamb in biodegradable packaging. *Foods and Raw Materials*, 8(2), 312–320. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-312-320>
 65. Кручинин, А. Г., Бигаева, А. В., Туровская, С. Н., Илларионова, Е. Е. (2022). Современное состояние рынка вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности. *Ползуновский вестник*, 4(1), 140–148. [Kruchinin, A. G., Bigaeva, A. V., Turovskaya, S. N., Illarionova, E. E. (2022). Current state of the market of secondary raw material resources of the dairy industry. *Polzunovskiy Vestnik*, 4(1), 140–148. (In Russian)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018>
 66. Kruchinin, A. G., Bolshakova, E. I. (2022). Hybrid strategy of bioinformatics modeling (in silico): Biologically active peptides of milk protein. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(1), 46–57. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-46-57>
 67. Sirimulla, S., Bailey, J. B., Vegesna, R., Narayan, M. (2013). Halogen interactions in protein–ligand complexes: Implications of halogen bonding for rational drug design. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(11), 2781–2791. <https://doi.org/10.1021/ci400257k>
 68. Shinada, N. K., de Brevin, A. G., Schmidtke, P. (2019). Halogens in protein–ligand binding mechanism: A structural perspective. *Journal of Medicinal Chemistry*, 62(21), 9341–9356. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.8b01453>
 69. Costa, P. J., Nunes, R., Vila-Viçosa, D. (2019). Halogen bonding in halocarbon–protein complexes and computational tools for rational drug design. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 14(8), 805–820. <https://doi.org/10.1080/17460441.2019.1619692>
 70. Nunes, R. S., Vila-Viçosa, D., Costa, P. J. (2021). Halogen bonding: An underestimated player in membrane–ligand interactions. *Journal of the American Chemical Society*, 143(11), 4253–4267. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c12470>
 71. Ибрагимова, З. Р., Базрова, Ф. С. (2007). Обогащение йодом полуфабрикатов из пресноводной рыбы. *Пищевая промышленность*, 3, 59–60. [Ibragimova, Z. R., Baerova, F. S. (2007). Iodine enrichment of semi-finished products from freshwater fish. *Food Industry*, 3, 59–60. (In Russian)]
 72. Lukin, D. E., Utyanov, D. A., Milushev, R. K., Vostrikova, N. L., Knyazeva, A. S. (2023). Effect of organically bound iodine in cattle feed on health indicators. *Theory and Practice of Meat Processing*, 8(1), 26–33. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-1-26-33>
 73. Сордонова, Е. В., Жамсаранова, С. Д., Лыгденов, Д. В. (2018). Разработка и характеристика органических производных йода и цинка. *Вестник ВСИТУ*, 2(69), 73–79. [Sordonova, E. V., Zhamsaranova, S. D., Lygdenov, D. V. (2018). Development and characterization of organic iodine and zinc derivatives. *ESSUTM Bulletin*, 2(69), 73–79. (In Russian)]
 74. Лескова, С. Ю., Данилов, М. Б., Гомбожапова, Н. И. (2016). Создание обогащенной белково-жировой эмульсии для мясopодуков. *Техника и технология пищевых производств*, 2(41), 55–61. [Leskova, S. Yu., Danilov, M. B., Gombozhapova, N. I. (2016). Creation of enriched protein-and-fat emulsion for meat products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2(41), 55–61. (In Russian)]
 75. Мавлонов, Г. Т., Рустамов, Н. Ф., Шарипов, А. Т., Аминов, С. Н. (2019, 29 ноября). Активированный цинком бентонит–природный неорганический сорбент для гистидин содержащих пептидов. Материалы международной научно-практической конференции (67-й годичной), посвященной 80-летию ТГМУ им. Абули ибни Сино и «Годам развития села, туризма и народных ремесел (2019–2021)», Душанбе, Таджикистан. Электронный ресурс: https://www.researchgate.net/profile/Ruslan-Aminov/publication/337843573/IMMUNE_SYSTEM_OF_MALE_RAT_AFTER_HIRUDOLOGICAL_INTERVENTION/links/5dee94af92851c8364704b3c/IMMUNE-SYSTEM-OF-MALE-RAT-AFTER-HIRUDOLOGICAL-INTERVENTION.pdf?page=186 Дата доступа 10.03.2024 [Mavlonov, G. T., Rustamov, N. F., Sharipov, A. T., Aminov, S. N. (November 19, 2019). Zinc-activated bentonite — a natural inorganic sorbent for histidine-containing

peptides. Proceedings of the International scientific-practical conference (67th annual) dedicated to the 80th anniversary of Avicenna Tajik State Medical University and "Years of the development of rural areas, tourism and folk crafts (2019–2021)", Dushanbe, Tajikistan. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Ruslan-Aminov/publication/337843573_IMMUNE_SYSTEM_OF_MALE_RAT_AFTER_HIRUDOLOGICAL_INTERVENTION/links/5dee94af92851c8364704b3c/IMMUNE-SYSTEM-OF-MALE-RAT-AFTER-HIRUDOLOGICAL-INTERVENTION.pdf#page=186 Accessed March 10, 2024 (In Russian)]

76. Кельсиева, О. А., Гладилович, В. Д., Подольская, Е. П. (2013). Металл-аффинная хроматография. Основы и применение. *Научное приборостроение*, 23(1), 74–85. [Keltsieva, O. A., Gladilovich, V. D., Podolskaya, E. P. (2013). Immobilized metal ion affinity chromatography (imac). principle and applications. *Scientific Instrumentation*, 23(1), 74–85. (In Russian)]

77. Кутяков, В. А., Салмина, А. Б. (2014). Металлотионеины как сенсоры и регуляторы обмена металлов в клетках. *Бюллетень сибирской медицины*, 13(3), 91–99. [Kutyakov, V. A., Salmina, A. B. (2014). Metallothioneins as sensors and controls exchange of metals in the cells. *Bulletin of Siberian Medicine*, 13(3), 91–99. (In Russian)]

78. Popov I. A., Indeikina M. I., Kononikhin A. S., Starodubtseva N. L., Nikolaev E. N., Kozin S. A. et al. (2013). ESI–MS identification of the minimal zinc-binding center in natural isoforms of β -amyloid domain 1–16. *Molecular Biology*, 47(3), 440–445. <https://doi.org/10.1134/S002689331302012X>

79. Pinto, L. D., Puppini, P. A., Behring, V. M., Alves, O. C., Rey, N. A., Felcman, J. (2012). Solution and solid state study of copper (II) ternary complexes containing amino acids of interest for brain biochemistry-2: Homocysteine with aspartate, glutamate or methionine. *Inorganica Chimica Acta*, 386, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2012.01.025>

80. Скугорева, С. Г., Ашихмина, Т. Я., Фокина, А. И., Лялина, Е. И. (2016). Химические основы токсического действия тяжёлых металлов (обзор). *Теоретическая и прикладная экология*, 1, 4–13. [Skugoreva, S. G., Ashihmina, T. Y., Fokina, A. I., Lyalina, E. I. (2016). Chemical groups of toxic effect of heavy metals (review). *Theoretical and Applied Ecology*, 1, 4–13. (In Russian)]

81. Жамсаранова, С. Д., Лыгденов, Д. В., Соколов, Д. В., Болхонов, Б. А. (2019). Создание гипотетической компьютерной модели органических форм микроэлементов. *Вестник ВСГТУ*, 3(74), 26–34. [Jamsaranova, S. D., Lygdenov, D. V., Sokolov, D. V., Bolkhonov, B. A. (2019). Creation of a hypothetical computer model of organic forms of microelements. *ESSUTM Bulletin*, 3(74), 26–34. (In Russian)]

82. Шишкова, В. Н., Нарциссов, Я. Р., Титова, В. Ю., Шешегова, Е. В. (2022). Молекулярные механизмы, определяющие применение комбинации глицина и цинка в коррекции основных проявлений стресса и тревоги. *Фармация и фармакология*, 10(5), 404–415. [Shishkova, V. N., Narcissov, Y. R., Titova, V. Y., Sheshegova, E. V. (2022). Molecular mechanisms defining application of glycine and zinc combination in correction of stress and anxiety main manifestations. *Pharmacy and Pharmacology*, 10(5), 404–415. (In Russian)] <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2022-10-5-404-415>

83. Чекнев, С. Б. (2021). Белки γ -глобулиновой фракции, хелатирующие катионы металлов, в физиологической иммунорегуляции. Сонаправленное действие меди и цинка. *Иммунология*, 42(5), 546–551. [Cheknyov, S. B. (2021). The proteins of γ -globulin fraction binding metal ions, in physiological immune regulation. Mutual action of copper and zinc. *Immunologiya*, 42(5), 546–551. (In Russian)] <https://doi.org/10.33029/0206-4952-2021-42-5-546-551>

84. Цыб, А. Ф., Тутельян, В. А., Онищенко, Г. Г., Шахтарин, В. В., Силаев, А. В., Розиев, Р. А. и др. (2004). Новые подходы к решению проблемы ликвидации йоддефицитных состояний. *Пищевая промышленность*, 11, 84–86. [Tsib, A. F., Tutelyan, V. A., Onishchenko, G. G., Shakhtarin, V. V., Silaev, A. V., Rozyev, R. A. et al. (2004). A new approach to settling the problem of liquidation Iodium deficit. *Food Industry*, 11, 84–86. (In Russian)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Барковская Ирина Александровна — аспирант, младший научный сотрудник, Лаборатория технологий биотрансформации и консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности 115093, Москва, ул. Люсиновская, 35/7 Тел.: +7–499–236–02–36 E-mail: i_barkovskaya@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4779-1076 * автор для контактов	Irina A. Barkovskaya , Postgraduate Student, Junior Researcher, Laboratory of Biotransformation and Preservation Technologies, All-Russian Dairy Research Institute 35/7, Lyusinovskaya str., 115093, Moscow, Russia Tel: +7–499–236–02–36 E-mail: i_barkovskaya@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4779-1076 * corresponding author
Кручинин Александр Геннадьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория технологий биотрансформации и консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности 115093, Москва, ул. Люсиновская, 35/7 Тел.: +7–499–236–02–36 E-mail: a_kruchinin@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3227-8133	Alexander G. Kruchinin , Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biotransformation and Preservation Technologies, All-Russian Dairy Research Institute 35/7, Lyusinovskaya str., 115093, Moscow, Russia Tel: +7–499–236–02–36 E-mail: a_kruchinin@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3227-8133
Рожкова Ирина Владимировна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория прикладной микробиологии и геномики микроорганизмов, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности 115093, Москва, ул. Люсиновская, 35/7 Тел.: +7–499–236–72–16 E-mail: i_rozhkova@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4441-4515	Irina V. Rozhkova , Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Applied Microbiology and Genomics of Microorganisms, Laboratory of Applied Microbiology and Microbial Genomics, All-Russian Dairy Research Institute 35/7, Lyusinovskaya str., 115093, Moscow, Russia Tel: +7–499–236–72–16 E-mail: i_rozhkova@vnimi.org ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4441-4515
Критерии авторства	Contribution
Концептуализация — Кручинин А. Г. и Барковская И. А. ; Обработка данных — Кручинин А. Г. и Барковская И. А. ; Исследование — Барковская И. А. ; Управление проектом — Кручинин А. Г. и Рожкова И. В. ; Контроль — Кручинин А. Г. и Рожкова И. В. ; Написание — первоначальная версия — Барковская И. А. и Кручинин А. Г. ; Написание — рецензирование и редактирование — Кручинин А. Г. и Рожкова И. В.	Conceptualization — Kruchinin A. G. и Barkovskaya I. A. ; Data curation — Kruchinin A. G. и Barkovskaya I. A. ; Investigation — Barkovskaya I. A. ; Project administration — Kruchinin A. G. и Rozhkova I. V. ; Supervision — Kruchinin A. G. и Rozhkova I. V. ; Writing — original draft — Barkovskaya I. A. и Kruchinin A. G. ; Writing — review and editing — Kruchinin A. G. и Rozhkova I. V.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.