

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-575-584>

Поступила 15.07.2024

Поступила после рецензирования 13.12.2024

Принята в печать 17.12.2024

© Дыдыкин А. С., Зубарев Ю. Н., Логунова Е. И., Самойлова А. М., Калугина З. И., 2024

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

Научная статья

Open access

ВЛИЯНИЕ СРОКА ХРАНЕНИЯ НА КОЛИЧЕСТВО ЙОДА В ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТАХ

Дыдыкин А. С.¹, Зубарев Ю. Н.¹, Логунова Е. И.^{1,*}, Самойлова А. М.², Калугина З. И.²¹Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия²Всероссийский научный центр исследовательский институт технологии консервирования, Видное, Московская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

йодированная
соль, ламинария,
йодтирозины,
вольтамперметрия,
хроматография,
спектрофотометрия

Йод оказывает неоспоримое воздействие на жизненно важные системы человеческого организма, и его недостаток или переизбыток могут нести пагубные последствия. Мероприятия по массовому предотвращению йододефицитных заболеваний главным образом включают в себя обогащение общедоступных продуктов питания йодсодержащими пищевыми ингредиентами. Результаты исследования показали, что количество йода в таких ингредиентах, как йодированная соль и сушеная ламинария может снижаться в процессе хранения, даже при соблюдении условий хранения и сроков годности. Количественный анализ йода и йодтирозинов в БАД с органической формой йода показал хорошую устойчивость соединений на протяжении всего срока годности. Количественный анализ молекулярного йода в объектах выполнялся вольтамперметрическим методом, по результатам которого были составлены диаграммы вида «ящик с усами», отображающие погрешность измерения и тенденцию снижения количества йода в объектах исследования в процессе хранения. Количественный анализ органической формы йода — йодтирозинов — выполнялся методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрофотометрическим детектированием. На основе полученных результатов были составлены гистограммы, отражающие изменения соотношения монойодтирозинов и дийодтирозинов, а также снижение концентрации йодтирозинов в зависимости от срока годности.

Received 15.07.2024

Accepted in revised 13.12.2024

Accepted for publication 17.12.2024

© Dydykin A. S., Zubarev Yu. N., Logunova E. I., Samoylova A. M., Kalugina Z. I., 2024

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

Original scientific article

Open access

INFLUENCE OF STORAGE DURATION ON THE AMOUNT OF IODINE IN FOOD INGREDIENTS

Andrey S. Dydykin¹, Yuri N. Zubarev¹, Evlaliya I. Logunova^{1,*}, Anastasiya M. Samoylova², Zoya I. Kalugina²¹V. M. Gorbatov Federal Research Center of Food System, Moscow, Russia²All-Russian Research Institute of Canning Technology, Vidnoe, Moscow region, Russia

KEY WORDS:

iodized salt, laminaria,
iodothyrosines,
voltampermetry,
chromatography,
spectrophotometry

ABSTRACT

Iodine has an undeniable effect on the vital systems of the human body, and its deficiency or excess can have harmful consequences. Measures for the mass prevention of iodine deficiency diseases mainly include the fortification of publicly available food products with iodine-containing food ingredients. The results of the study showed that the amount of iodine in ingredients such as iodized salt and dried kelp can decrease during storage, even if storage conditions and expiration dates are met. Quantitative analysis of iodine and iodotyrosines in dietary supplements containing the organic form of iodine showed good stability of the compounds throughout the shelf life. Quantitative analysis of molecular iodine in the objects was carried out using the voltammetric method, based on the results of which “box-and-whisker” diagrams were compiled, displaying the measurement error, with a tendency for iodine in the research objects to decrease during storage. Quantitative analysis of the organic form of iodine (iodotyrosines) was carried out by high-performance liquid chromatography with mass spectrophotometric detection. Based on the results obtained, histograms were compiled, reflecting changes in the ratio of monoiodotyrosines and diiodotyrosines and a decrease in the concentration of iodotyrosines depending on the shelf life.

1. Введение

Йод является важным микроэлементом, необходимым для синтеза гормонов щитовидной железы: тироксина (Т4) и трийодтиронина (Т3). Для обеспечения нормальной работы щитовидной железы и всех систем организма важно поддерживать адекватный уровень йода. Регулярное потребление йода выше допустимого верхнего уровня чревато развитием гипотиреоза и аутоиммунных заболеваний щитовидной железы, в то время как хронический йододефицит может привести к развитию эндемического зоба и гипертиреозу [1]. В группу риска по данным заболеваниям входят беременные и кормящие женщины, дети, подростки, пожилые люди, а также лица, придерживающиеся различных диет, ввиду повышенных потребностей в эссенциальных нутриентах [2,3]. Кроме того, существует теория так называемой йод-центрированной модели, в соответствии с которой йод участвует в метаболизме других микронутриентов (витамины группы В, витамин А, цинк, селен, медь и железо), влияя на их усвоение организмом человека [4].

Профилактика йододефицитных заболеваний (далее — ЙДЗ) и эндемического зоба на территории РФ осуществляется в рамках Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года¹. К наиболее доступным способам массовой профилактики йододефицитных заболеваний сегодня можно отнести использование йодированной соли для обогащения пищевых продуктов промышленной переработки и досаливание готовых блюд на предприятиях общественного питания. Индивидуальная профилактика йододефицитных состояний осуществляется тремя способами: разработка рационов, включающих продукты с повышенным содержанием йода, досаливание готовых блюд йодированной солью, а также применение витаминно-минеральных комплексов (по рекомендации врача). Суточная потребность в йоде в соответ-

¹ Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года (утверждена Распоряжением Правительства РФ № 1364-р от 29.06.2016 г.). Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/420363999>. Дата доступа 15.06.2024

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дыдыкин, А. С., Зубарев, Ю. Н., Логунова, Е. И., Самойлова, А. М., Калугина, З. И. (2024). Влияние срока хранения на количество йода в пищевых ингредиентах. *Пищевые системы*, 7(4), 575–584. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-575-584>

FOR CITATION: Dydykin, A. S., Zubarev, Yu. N., Logunova, E. I., Samoylova, A. M., Kalugina, Z. I. (2024). Influence of storage duration on the amount of iodine in food ingredients. *Food Systems*, 7(4), 575–584. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-4-575-584>

ствии с Методическими рекомендациями 2.3.1.0253–21² составляет 60–120 мкг для детей, 130–150 мкг для подростков, 150 мкг для взрослых и 220–290 мкг для беременных и кормящих женщин. Поскольку экскреция йода с мочой достигает 90%, уровень йода в организме оценивается с помощью показателя йодурии — количественного анализа йода в суточном объеме мочи [5]. Согласно литературным данным, применение данного метода эффективно в отношении гигиенической оценки массового потребления йода, в то время как при определении индивидуальных показателей должны учитываться особенности метаболизма конкретного организма [6,7,8].

Программы обязательного йодирования соли приняты в 126 странах мира, в то время как в Российской Федерации и еще в 20 странах йодирование соли является добровольным. В 2019 году Минздравом РФ была предпринята попытка законодательно³ обязать производителей обогащать соль йодом посредством добавления в пищевую соль йодида или йодата калия, а также обязать производителей переработанных пищевых продуктов использовать йодированную соль в рецептурах вместо обычной пищевой соли (если это не приводит к изменениям органолептических свойств готового продукта). Однако Комитет Государственной Думы по охране здоровья принял решение отклонить данный законопроект. Причинами отклонения законопроекта, согласно заключению, послужили ограничение конституционных прав граждан на свободный выбор товаров потребления, ограничение прав граждан на свободное осуществление предпринимательской деятельности, а также существование ряда заболеваний, при которых противопоказано поступление йода в организм человека [9].

Тем не менее йодированная соль повсеместно используется в качестве функционального пищевого продукта для профилактики йододефицитных состояний и сопутствующих заболеваний, несмотря на то что, Всемирная организация здравоохранения рекомендовала всем государствам-членам стремиться сократить потребление соли населением на 30% к 2025 году [10]. Вместе с тем с 2016 года распоряжением Правительства Российской Федерации утверждены Рекомендации по рациональным нормам потребления продуктов, отвечающие современным нормам здорового питания⁴. Согласно этим рекомендациям, количество соли, в том числе йодированной, не должно превышать 4 г в сутки, что затрудняет реализацию йодной профилактики через употребление йодированной соли.

Кроме потенциальной опасности употребления чрезмерного количества соли существует вероятность снижения содержания йода в йодированной соли до значений, не способных удовлетворить суточную потребность человека в йоде при употреблении соли в безопасных количествах. Многими авторами опубликованы исследования, доказывающие высокую летучесть соединений йодида и йодата калия [11,12,13]. Также показана их низкая устойчивость к термической обработке и продолжительному хранению в составе йодированной соли и продуктов, ее содержащих [14,15,16].

Для корректной оценки содержания йода и йодтирозинов в функциональных пищевых ингредиентах необходимы методы приемлемого и точного количественного определения. В зарубежной практике для определения йода в пищевых продуктах и биологически активных добавках используют пять методов анализа, которые включают спектрофотометрию, титрование, жидкостную хроматографию, ионселективный электрод и масс-спектрометрию с индуктивно связанной плазмой [17]. Российские лаборатории проводят определение массовой доли йода в пищевых и биологически активных добавках стандартизированными методами количественного анализа йода: вольтамперометрическим методом⁵ и титриметрическим методом⁶, однако применение последнего метода для анализа

биологически активных добавок нецелесообразно вследствие высоких пределов обнаружения. Для определения массовой доли йодтирозинов в мясных продуктах сотрудниками ВНИИМП им. В. М. Горбатова был разработан метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором⁷, который применим и к другим пищевым продуктам, а также к йодированным молочным белкам и БАД на их основе, при условии соблюдения⁸

В предыдущей обзорной публикации авторами исследованы различные источники йода, приведена классификация йодсодержащих пищевых ингредиентов и сделаны выводы о перспективах в области обогащения переработанных продуктов йодом [18]. По мнению авторов, наиболее подходящим способом обогащения йодом пищевых продуктов является применение органических форм йода форм йода, входящих в состав йодсодержащих пищевых ингредиентов природного и синтетического происхождения. Доклинические исследования, проведенные на базе Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, подтвердили низкую токсичность йодказеинов по сравнению с йодидом калия [19,20], а также их высокую эффективность в профилактике и лечении гипотиреоза [21]. Целью данной работы являлось определение изменения количества йода и йодтирозина в йодсодержащих ингредиентах различной природы в процессе хранения.

2. Объекты и методы

Объектами исследования являлись йодсодержащие ингредиенты различной природы: йодированная соль, сушеная ламинария и биологически активная добавка на основе молочных белков. Для исследования объекты были заложены на хранение с целью изучения в них уровня йода на протяжении всего срока годности. Контрольные точки отбора проб были определены экспертным путем и составляли следующие сроки годности: в начале срока годности, 80%, 50%, 20% от установленного срока годности и дата окончания срока годности. Все объекты хранились с учетом рекомендаций изготовителя без нарушения целостности упаковок.

Йодированная соль представляет собой кристаллический сыпучий продукт бежевого цвета с вкраплениями частиц КИО₃ (йодат калия) белого цвета, вкус — соленый, без посторонних привкусов, запах со слабой примесью йода. Содержание влаги в продукте — не более 1,00%, гранулометрический состав: до 0,8 мм включительно — не менее 75%, от 0,8 до 1,2 мм включительно — не более 25%. Срок годности для йодированной соли до недавнего времени составлял 6 месяцев в связи с высокой летучестью йода. По истечении 6 месяцев йодированная соль использовалась до окончания срока годности, установленного для пищевой соли, как соль без добавок. Однако с 2018 года Техническим комитетом по стандартизации ТК 154 в обновленный стандарт ГОСТ Р 51574–2018⁹ на пищевую соль с некоторыми примечаниями включена йодированная соль, и тем самым установлен увеличенный срок годности для данного ингредиента вплоть до 18 месяцев.

Сушеная ламинария (морская капуста) является продуктом переработки слоевища бурых водорослей видов *Laminaria Japonica Aresch* и *Laminaria saccharina*, полученным путем высушивания и последующего измельчения. Данные растения широко распространены в северных водах Атлантического и Тихого океанов, а также выращиваются в условиях аквакультуры на водорослевых комбинатах. Готовый продукт представляет собой дробленые листья ламинарии средней фракции, без посторонних примесей, в том числе без плесени и признаков порчи, цвет от зеленого до бурого или коричневого цвета. Вкус горький, с ощущением слизистости, с характерным запахом йода. Содержание влаги не более 10%. Срок годности сушеной ламинарии в виде БАД составляет 36 месяцев.

Биологически активная добавка на основе молочных белков «Йодонорм» — органическая форма йода в виде йодтирозинов. В основе технологии получения БАД лежит ферментативное йодирование аминокислотных остатков сывороточных белков коровьего молока, с последующей очисткой от остатков неорганического йода

² МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.). Электронный ресурс: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/>. Дата доступа 15.06.2024

³ Проект федерального закона от 26 марта 2019 г. «О популяционной профилактике заболеваний, связанных с дефицитом йода». Электронный ресурс: <https://base.garant.ru/56813924/>. Дата доступа 15.06.2024

⁴ Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614 «Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания». Электронный ресурс: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/>. Дата доступа 15.06.2024

⁵ МУК 4.1.1481–03 «Определение массовой концентрации йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, пищевых и биологически активных добавках вольтамперометрическим методом». Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200032528>. Дата доступа 15.06.2024

⁶ МУК 4.1.1106–02 «Определение массовой доли йода в пищевых продуктах и сырье титриметрическим методом». Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200030203>. Дата доступа 15.06.2024

⁷ ГОСТ 33422–2015 «Мясо и мясные продукты. Определение массовой доли йодтирозинов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором». Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200127209?ysclid=m4chbil8u9904339296>. Дата доступа 15.06.2024

⁸ МИ 103.5–132–2012/01.00225–2011 «Определение содержания йодтирозинов в йодированных молочных белках и БАДах на их основе методом высокоэффективной жидкостной хроматографии». Утверждена: 17.04.2011 г. Лисицыным А. Б., директором ВНИИМП им. В. М. Горбатова. Свидетельство об аттестации № 103.5–132–2012/01.00225–2011 от 6.04.2012.

⁹ ГОСТ Р 51574–2018 «Соль пищевая. Общие технические условия». М.: Стандартинформ, 2018. — 8 с.

методом ультрафильтрации или сублимационной/распылительной сушкой. Химический состав йодтирозинов представлен смесью моноидотиозина (3-йодтирозин, далее — МИТ) и дийодтиозина (3,5-дийодтирозин, далее — ДИТ). Йодтирозины являются порошкообразными веществами, хорошо растворимыми в щелочах и в метиловом спирте. Пищевая ценность БАД «Йодонорм» в соответствии с технической документацией составляет на 100 г: белки — 80 г, жиры — 2 г, углеводы — 5 г, ковалентно-связанный йод — 2,5 г. Срок годности — 24 месяца.

Количественное определение неорганического йода в опытных образцах соли и БАДов проводили по МУК 4.1.14281–03 на анализаторе TA-Lab (ООО НПФ «Томьаналит», Россия) с трехэлектродными ячейками. В качестве рабочего электрода использовали амальгамные электроды, на которые предварительно наносили тонкую пленку ртути электрохимическим способом. В качестве электродов сравнения и вспомогательных применяли хлорсеребряные электроды, которые предварительно заполняли электролитом. В качестве электролита готовили 1М водный раствор хлорида калия (Panreac, Испания).

Суть данного метода заключается в накоплении определяемого элемента на индикаторном электроде в течение заданного времени и при заданном потенциале. Затем происходит растворение этого элемента с регистрацией максимального тока, который прямо пропорционален его концентрации. Этот процесс можно наблюдать по виду вольтамперметрической кривой, на которой виден характерный пик для определяемого элемента [22]. Концентрация йода рассчитывается исходя из величины катодного тока электрохимического растворения йодсодержащих продуктов.

Кварцевые стаканчики объемом 20 мл предварительно протирали пищевой содой, промывали бидистиллированной водой и прокаливали в муфельной печи ПМ-16П-1200 («Электроприбор», Россия) при температуре 550 °С в течение 1 часа. Для исследований отбирали по 0,1–0,2 г образцов йодированной соли и БАДов. Далее в пробы добавляли по 1 см³ 10%-го раствора гидроксида калия (Merck, Германия) и выдерживали в течение получаса. После этого полученные растворы выпаривали на электрической плитке ES-NA3040 («ЭКРОСХИМ», Россия) при температуре 120 °С в течение 30 минут. В охлажденные кварцевые стаканчики добавляли по 1 см³ дистиллированной воды и 0,5 см³ 10%-го раствора цинка сернокислого («Ленреактив», ХЧ, Россия) и вновь проводили выпаривание при температуре 150 °С в течение 30 минут. Далее проводили озонение проб при 500 °С в муфельном шкафу в течение 20 минут. Полученные озоненные пробы растворяли в 10 мл бидистиллированной воды и отбирали аликваты в объемах 0,05–1 см³ на анализ.

Расчет концентрации йода проводили методом стандартной добавки. В качестве аттестационной смеси использовали готовый основной водный раствор ионов йода с концентрацией 1 мг/дм³ (ЭАА «Эко-аналитика»).

При определении искомого микронутриента сначала регистрировали вольтамперограмму фонового раствора, затем исследуемого раствора. После чего вносили добавку аттестационной смеси и регистрировали вольтамперограмму добавки.

Определение йодтирозинов в исследуемых опытных образцах БАД проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором (далее — ВЭЖХ–МС) по МИ 103.5–132–2012/01.00225–2011 на системе ВЭЖХ Agilent 1200 series (Agilent Technologies, США) в режиме мониторинга множественных реакций на масс-спектрометре Agilent 6410 Triple Quadrupole (Agilent Technologies, США). После проведения дериватизации методом обращенно-фазной хроматографии проводили хроматографическое разделение гидролизата смеси на колонке с фазой C18 (Agilent Eclipse XDB C18, 4,6x50 мм, 1,8 мкм).

Суть данного метода заключается в многократном повторении процессов сорбции и десорбции, происходящих между подвижной фазой и растворенной в ней пробой. Далее проводится идентификация йодтирозинов на основе времени удерживания и отношения площадей пиков ионов-продуктов в сравнении со стандартными образцами [23,24,25].

Предварительно готовили градуировочные растворы следующим образом: взвешивали 20 мг 3-йод-L-тирозина (МИТ) и 20 мг 3,5-дийод-L-тирозина дигидрата (ДИТ) (Sigma Aldrich, США), переносили их в мерные колбы вместимостью 100 см³ и добавляли метанол (V&J Brand, Канада) до метки. Затем колбы помещали на 20–25 минут в ультразвуковую баню (Branson, США) до полного растворения, после чего дозатором переносили по 0,5 см³ каждого раствора в виалы из темного стекла объемом 2 см³. Подготовленную виалу со смесью градуировочных растворов переносили в автосамплер системы

ВЭЖХ Agilent 1200 series (Agilent Technologies, США) и записывали хроматограмму при длине волны 285 нм, при температуре колонки 25 °С и при объеме пробы 20 мкл в градиентном режиме. При получении трех последовательных измерений со стандартным отклонением времени удерживания йодтирозинов не более 5% и при коэффициенте асимметрии пика хроматограммы не более 2% градуировку аналитической системы считали завершенной.

Для исследований отбирали по 0,1–0,2 г сушеной ламинарии и БАД «Йодонорм» в соответствии с Р 4.1.1672–03¹⁰, с точностью до 0,0001 г, и помещали в стеклянные термоустойчивые флаконы. Пробу сушеной ламинарии высушивали обезжиривали на аппарате Сокслета Behr R106 S (Behr Labor-Technik, Германия). Навеску образца переносили в микроцентрифужные пробирки вместимостью 1,5 см³, растворяли в буферном растворе соляной кислоты молярной концентрацией 0,1 моль/дм³ («Ленреактив», ХЧ, Россия) до массовой концентрации 2 мг/см³, затем добавляли протеазу (CAS9036–06–0 протеаза из *Streptomyces griseus*, тип XIV, >3,5 Ед/мг, Китай) в количестве 0,01 г и инкубировали при 37 °С в течение 16 часов в температурном реакторе Reacti-Therm TS-18823 (Thermo Fisher Scientific, США). По прошествии заданного времени термостатирования осуществляли очистку целевых веществ методом центрифугирования в течение 5 мин при 4000 об/мин на центрифуге Supra R17 (Hanil, Республика Корея), пропускали через фильтр с порами Ø 0,45 мкм и хранили гидролизат при 4–6 °С.

Патрон твердофазной экстракции (далее — ТФЭ) предварительно кондиционировали последовательным пропуском 2 см³ элюента для ВЭЖХ и 2 см³ бидистиллированной воды. Отбирали 0,4 см³ гидролизата пробы, приливали 0,1 см³ ацетонитрила, наносили смесь на патрон. Экстракцию патрона проводили в две стадии, последовательно элюируя 1 см³ элюента для ВЭЖХ и 1,5 см³ смеси ацетонитрила с 0,1 М соляной кислотой («Ленреактив», ХЧ, Россия), собирая смывы. Элюент переносили в круглодонную колбу вместимостью 10 см³ и упаривали досуха в муфельной печи NABERTHERM L(T) 40/11 (Nabertherm, Германия) при 60 °С.

Сухой остаток гидролизованной пробы растворяли в 0,3 см³ смеси бутанол — хлористый ацетил (4:1) и термостатировали при 60 °С в течение 15 мин для дериватизации йодтирозинов. Растворитель упаривали досуха при 60 °С и растворяли остаток в 0,4 см³ ацетонитрила в воде. Перед анализом дериват пропускали через фильтр с порами Ø 0,45 мкм и хранили при 4–6 °С.

Для проведения хроматографического анализа использовали двухкомпонентную подвижную фазу: элюент А — ацетонитрил для ВЭЖХ (Pallav Chemicals, Индия) и элюент В — буферный раствор трифторуксусной кислоты, доведенный до метки дистиллированной водой в мерной колбе вместимостью 1000 см³.

Разделение на хроматографической колонке проводили с использованием параметров и условий ВЭЖХ, изложенных в Таблице 1, в режиме градиентного элюирования при объеме вводимой пробы 10 мкл.

Таблица 1. Параметры и условия ВЭЖХ

Table 1. Parameters and conditions of HPLC

Время, мин	Соотношение компонентов подвижной фазы		Скорость потока, см ³ /мин	Температура колонки, °С
	А, %	В, %		
0,0	20	80	0,6	30
2,0	90	10	0,6	30
5,0	90	10	0,6	30

Подготовленную пробу в количестве 10 мкл вносили в две виалы вместимостью 2 см³ и анализировали в системе ВЭЖХ–МС при заданных градуировочных условиях. Расчет содержания йодтирозинов в образцах и площадей пиков выполняли системой обработки данных (Masshunter Quantitative Analysis (Version Build 4.0.225.0) в автоматическом режиме в соответствии с данными, полученными при анализе градуировочных растворов.

Для осуществления анализа применяли следующие параметры масс-спектрометрического детектирования:

- Температура источника 100 °С;
- Температура газа десольвации 320 °С;
- Скорость потока газа десольвации 8 л/мин;
- Давление иглы распылителя — 30 psi (~2,07 Бар).

¹⁰ Р 4.1.1672–03 «Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище» Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200034795>. Дата доступа 15.06.2024

Условия регистрации аналитических сигналов в режиме мониторинга множественных реакций (далее — МРМ) представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Параметры воздействия на ионы в режиме МРМ и условия ионизации распылением в электрическом поле с регистрацией положительных ионов

Table 2. Parameters of an impact on ions in the MRM mode and conditions of electrospray ionization with the registration of positive ions

Аналит	Ион предшественник, m/z	Дочерние ионы, m/z	Напряжение на фрагменторе (Frag), В	Энергия диссоциации (CE), В
3-йодтирозин (МИТ)	364,0	134,9	112	30
	364,0	261,9	112	13
3,5-дийодтирозин (ДИТ)	489,9	387,8	116	17
	489,9	260,9	116	30

Для обеспечения условий детектирования использовали градуировочные растворы с концентрацией 100, 10 и 1 нанограмм/см³.

Для каждой аминокислоты (МИТ и ДИТ) были получены четко определенные профили элюирования с использованием линейного градиента фаз от 20 до 80%, элюированных в течение 40 мин. Автоматическое детектирование и спектральный анализ проводили по значению площади хроматографического пика с использованием программы Spectrum Index с учетом времени удержания и спектральных характеристик. Этот метод позволил идентифицировать и количественно определить йодоаминокислоты МИТ и ДИТ из двух объектов в диапазоне от 0,012 до 12 мг/кг.

Эксперименты проводились в трехкратной повторности. Полученные данные выражали в виде среднего значения трех повторностей ± стандартное отклонение. Статистический анализ экспериментальных данных проводили методом вариационной статистики при использовании t-теста Стьюдента с применением программы Microsoft Excel 2010. Уровень значимости для всех статистических тестов составлял 5% ($p < 0,05$).

3. Результаты и обсуждение

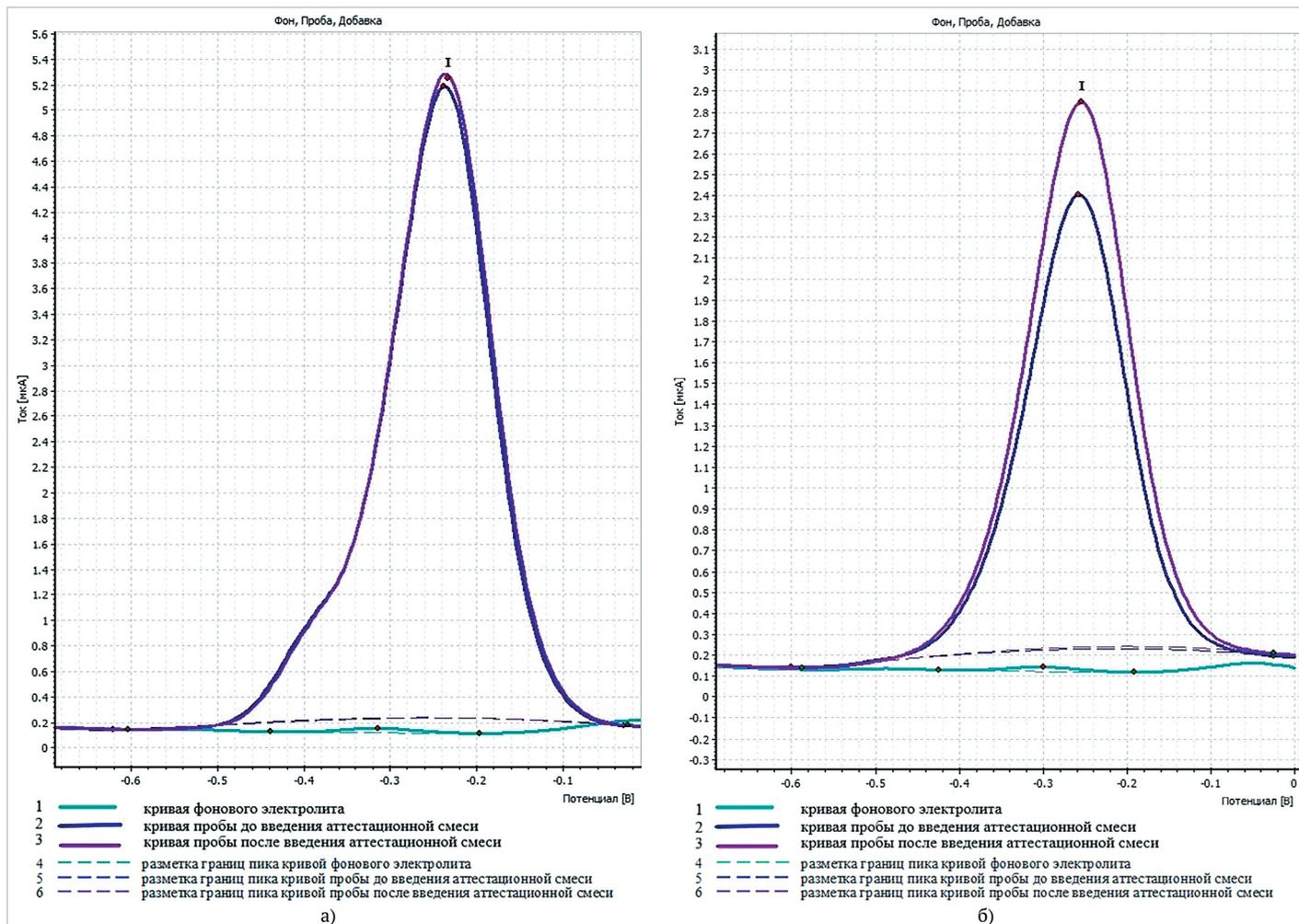
3.1. Количественное определение молекулярного йода

На Рисунках 1–3 представлены хроматограммы, полученные при определении искомого нутриента в образцах «Соль йодированная», «Сушеная ламинария» и «БАД Йодонорм» в контрольных точках измерения «В начале срока годности» и «В конце срока годности». Значения, полученные в граничных и промежуточных контрольных точках, даны в Таблице 3.

На кривой 1 фоновый электролит отсутствуют пики токов окисления. Это говорит о том, что искомые элементы отсутствуют в фоне. На кривой 2 пробы присутствуют пики искомого элемента при потенциале (В) — 0,216, что свидетельствует о присутствии в растворе ионов йода. После введения аттестационной смеси в раствор на анодной кривой 3 максимальное значение силы тока увеличивается пропорционально концентрации добавки, достигая значения 5,3 мкА на Рисунке 1(а) и значения 2,8 мкА на Рисунке 1(б). Анализ графиков показал снижение концентрации йода пропорционально значению силы тока в образце от начала срока годности к его окончанию на 54%.

На кривой 1 фоновый электролит отсутствуют пики токов окисления. Это говорит о том, что искомые элементы отсутствуют в фоне. На кривой 2 пробы присутствуют пики искомого элемента при потенциале (В) — 0,262, что свидетельствует о присутствии в растворе ионов йода. После введения аттестационной смеси в раствор на анодной кривой 3 максимальное значение силы тока увеличивается пропорционально концентрации добавки, достигая значения 3,75 мкА на Рисунке 2(а) и значения 1,49 мкА на Рисунке 2(б). Анализ графиков показал снижение концентрации йода пропорционально значению силы тока в образце от начала срока годности к его окончанию на 60%.

На кривой 1 фоновый электролит отсутствуют пики токов окисления. Это говорит о том, что искомые элементы отсутствуют в фоне. На кривых 2 пробы присутствуют пики искомого элемента при потенциале (В) — 0,315, что свидетельствует о присутствии в растворе ионов йода. После введения аттестационной смеси в раствор на анодной кривой 3 максимальное значение силы тока увеличивается



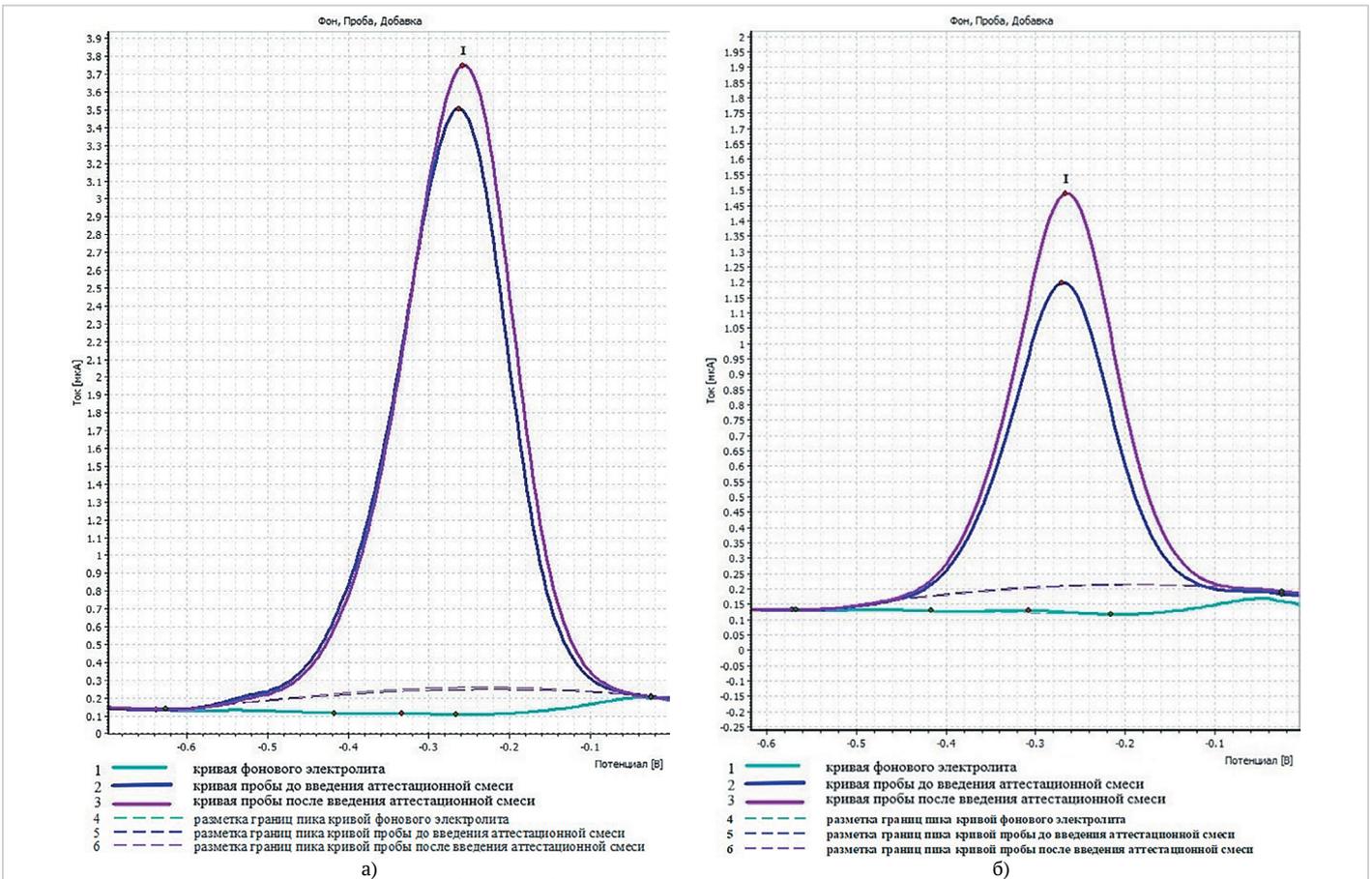


Рисунок 2. Вольтамперограммы образца «Сушеная ламинария» в контрольных точках измерения № 1 и № 5
 Figure 2. Voltammograms of the sample "Dried kelp" in the control points of measurement No. 1 and No. 5

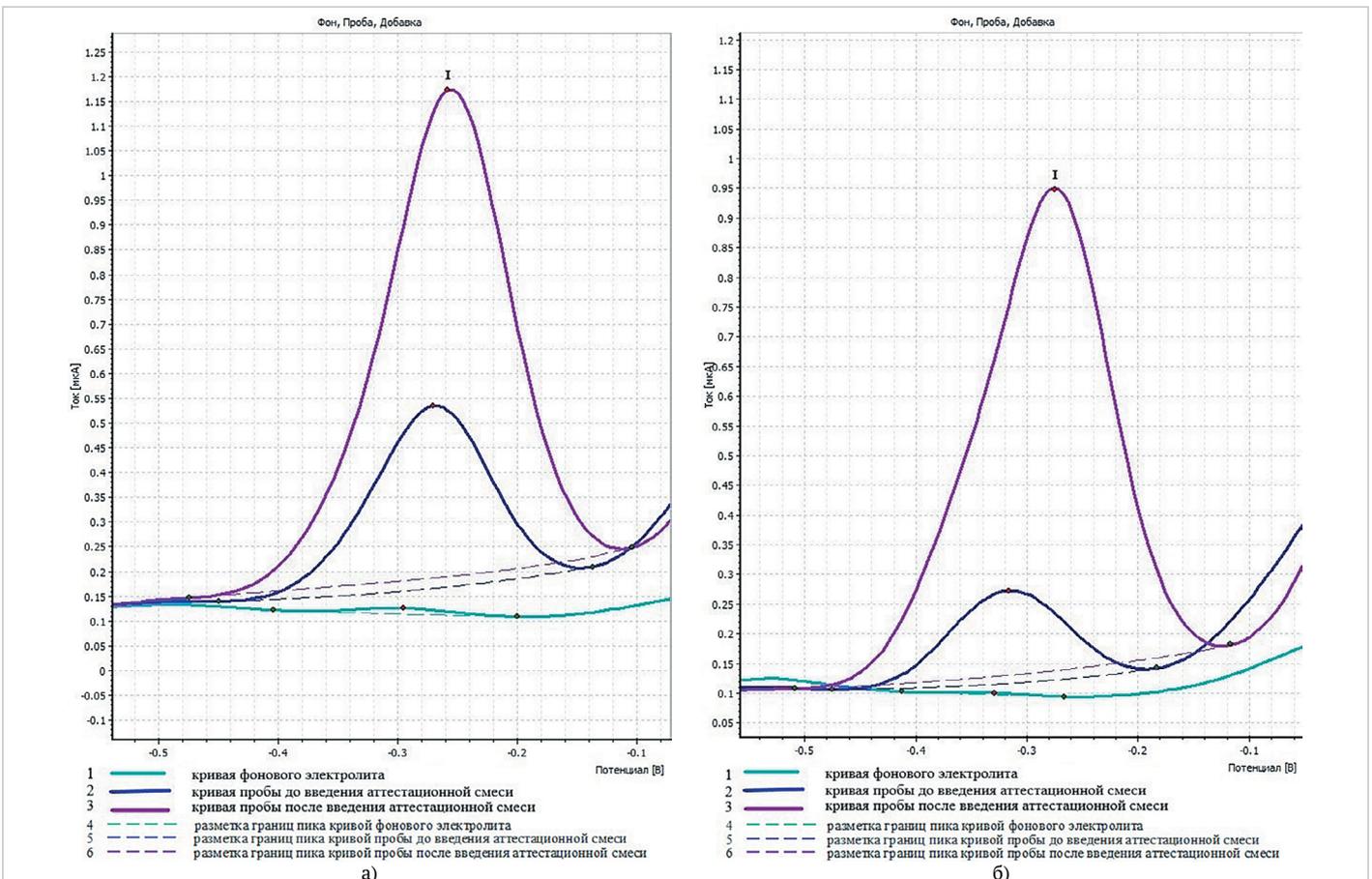


Рисунок 3. Вольтамперограммы образца «БАД "Йодонорм"» в контрольных точках измерения № 1 и № 5
 Figure 3. Voltammograms of the sample of dietary supplement "Iodonorm" in the control points of measurement No. 1 and No. 5

Таблица 3. Результаты анализов пищевых йодсодержащих ингредиентов на остаточное количество молекулярного йода в процессе хранения

Table 3. Results of the analysis of iodine-containing ingredients on the residual quantity of molecular iodine during storage

Контрольная точка	№ опыта	Содержание йода, мг/кг		
		Соль йодированная	Ламинария сушеная	БАД «Йодонорм»
В начале срока годности	1	30 ± 8 ^a	15469 ± 4808 ^a	20553 ± 6382 ^a
	2	30 ± 8	15469 ± 4808	20553 ± 6382
	3	30 ± 8	15502 ± 4808	20499 ± 6382
80% от срока годности	1	31 ± 8 ^a	15457 ± 4808 ^a	20587 ± 6382 ^a
	2	26 ± 7	10563 ± 3654	20101 ± 6235
	3	27 ± 7	10536 ± 3654	19987 ± 6235
50% от срока годности	1	25 ± 7 ^b	10510 ± 3654 ^b	20065 ± 6235 ^b
	2	22 ± 7	6675 ± 2075	19630 ± 6136
	3	23 ± 7	6469 ± 2075	19637 ± 6136
20% от срока годности	1	26 ± 7 ^b	6725 ± 2075 ^b	19687 ± 6136 ^c
	2	22 ± 7	5508 ± 1712	18345 ± 5627
	3	21 ± 7	5534 ± 1712	18320 ± 5627
С истекшим сроком годности	1	20 ± 7 ^c	5478 ± 1712 ^c	18267 ± 5627 ^d
	2	14 ± 7	4143 ± 1295	17140 ± 5331
	3	13 ± 7	4168 ± 1295	17178 ± 5331

Примечание: различные буквы a, b, c, d обозначают значительную разницу между образцами в разное время хранения при $p < 0,05$.

пропорционально концентрации добавки, достигая значения 1,18 мкА на Рисунке 3(а) и значения 0,68 мкА на Рисунке 3(б). Анализ графиков показал снижение концентрации йода пропорционально значению силы тока в образце от начала срока годности к его окончанию на 16%.

В Таблице 3 представлены результаты полученных данных по содержанию йода в образцах йодированной соли и БАД в процессе хранения с момента выработки до окончания срока годности в 5 контрольных точках измерения. Измерения проводились трехкратно, за истинное было принято медианное значение. Все образцы хранились с учетом подходящих условий окружающей среды без нарушения целостности упаковки.

Погрешность измерения при выполнении количественного анализа йода вольтамперометрическим методом составила 31%. По результатам количественного анализа йода вольтамперометрическим методом были составлены диаграммы «ящик с усами», отражающие погрешность измерения в виде диаграммы размаха данных. На диаграммах красной линией отмечена концентрация йода в объектах, заявленная производителем, и на Рисунке 4 оранжевым пунктиром отмечено минимальное содержание йода в йодированной соли по рекомендациям ВОЗ.

Анализ данных, приведенных на Рисунке 4, показал снижение в объекте «Йодированная соль» от начального уровня в 30 мг/кг в процессе хранения:

80% от срока годности — до 27 мг/кг, что на 10% ниже начального уровня; 50% от срока годности — до 23 мг/кг, что на 23% ниже начального уровня; 20% от срока годности — до 22 мг/кг, что на 27% ниже начального уровня; С истекшим сроком годности — до 14 мг/кг, что на 54% ниже начального уровня. В последней точке измерения на момент окончания срока годности концентрация йода в йодированной соли не соответствовала рекомендациям ВОЗ¹¹ по уровню обогащения соли йодом в количестве не менее 20 мг/кг.

Данные в отношении снижения концентрации йода в образцах йодированной соли, полученные в ходе исследования, коррелируют с данными из других научных источников [26]. Потери йода из йодированной соли в процессе хранения могут происходить по нескольким причинам. Например, это связано с хранением соли, расфасованной в крупную тару [27], с расположением точек сброса соли на открытых пространствах и с воздействием солнечных лучей на йодированную соль [28]. Также потери могут быть вызваны хранением соли в помещениях с повышенной влажностью [29] или в бытовых условиях в открытой упаковке потребителями после покупки [30]. Обеспечение сохранения йода в йодированной соли на протя-

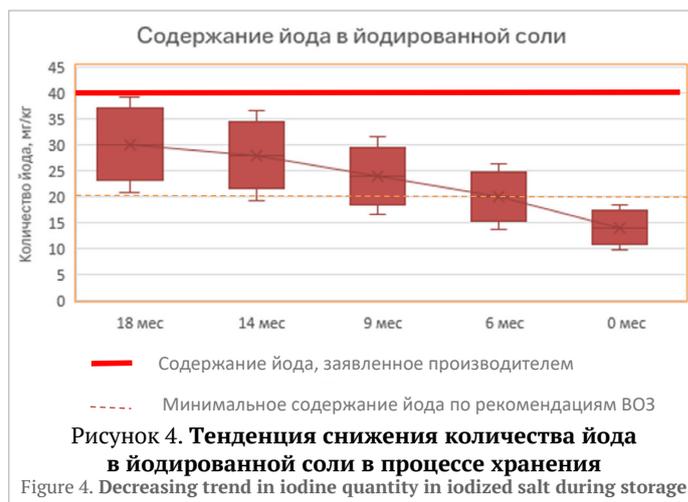


Рисунок 4. Тенденция снижения количества йода в йодированной соли в процессе хранения
Figure 4. Decreasing trend in iodine quantity in iodized salt during storage

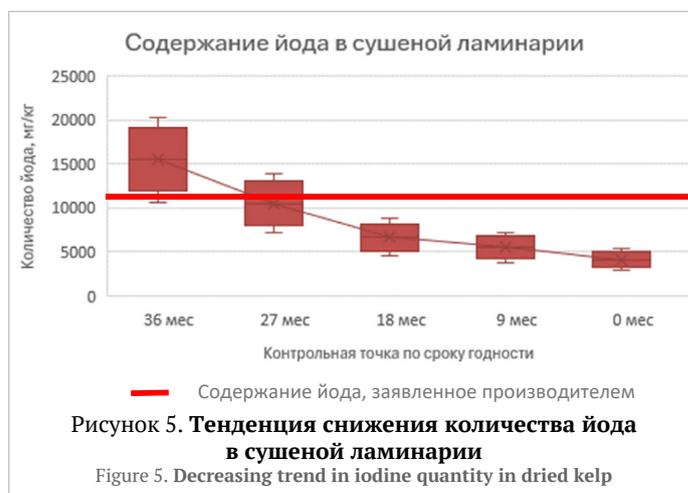


Рисунок 5. Тенденция снижения количества йода в сушеной ламинарии
Figure 5. Decreasing trend in iodine quantity in dried kelp

жении всего срока годности может быть реализовано посредством герметичной свето- и паронепроницаемой упаковки и соблюдения режимов хранения, в том числе потребителями в бытовых условиях.

Анализ данных, приведенных на Рисунке 5, показал снижение в объекте «Сушеная ламинария» от начального уровня в 15469 мг/кг в процессе хранения:

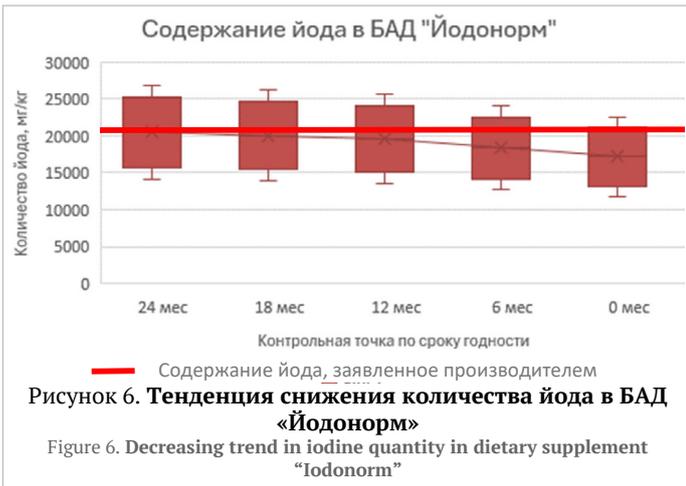
- 80% от срока годности — до 10536 мг/кг, что на 32% ниже начального уровня;
- 50% от срока годности — до 6675 мг/кг, что на 57% ниже начального уровня;
- 20% от срока годности — до 5534 мг/кг, что на 64% ниже начального уровня;
- С истекшим сроком годности — до 4168 мг/кг, что на 73% ниже начального уровня.

Исследуемые образцы ламинарии были упакованы в двухслойную упаковку из бумаги и картона. Это, возможно, стало причиной потерь йода в процессе хранения. Данная гипотеза подтверждается исследованиями норвежских ученых, которые проанализировали образцы ламинарии, приобретенные в точках розничных продаж. Результаты показали широкий диапазон содержания йода в образцах, а также несоответствие фактической концентрации йода, заявленной на маркировке [31]. Кроме того, существуют исследования, доказывающие зависимость концентрации йода в сушеной ламинарии от способа высушивания исходного сырья [32], при этом самым щадящим способом признается вакуумная сушка с предварительным замораживанием до -25°C .

Анализ данных, представленных на Рисунке 6, показал снижение содержания йода в объекте «БАД «Йодонорм»» в процессе хранения. Начальный уровень составлял 20553 мг/кг, а его снижение на различных этапах хранения распределилось следующим образом:

- 80% от срока годности — до 20101 мг/кг, что на 2% ниже начального уровня;
- 50% от срока годности — до 19637 мг/кг, что на 4% ниже начального уровня;
- 20% от срока годности — до 18345 мг/кг, что на 11% ниже начального уровня;

¹¹ WHO. Recommended iodine levels in salt and guidelines for monitoring their adequacy and effectiveness. Электронный ресурс: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-NUT-96.13>. Дата доступа 12.04.2024



С истекшим сроком годности — до 17178 мг/кг, что на 16% ниже начального уровня.

Настоящие исследования доказывают эффективность пробоподготовки БАД «Йодонорм», содержащего йод в органической форме с целью количественного анализа неорганического йода. Стабильность органической формы йода, связанного с молочными белками, неоднократно доказана в исследованиях продуктов, обогащенных БАД «Йодонорм» в процессе хранения [18,33–36].

3.2. Количественное определение йодтирозинов

Объект «Йодированная соль» не подвергался анализу, поскольку не содержит в составе йодказеина, а содержит йодид и йодат калия. На Рисунках 7 и 8 представлены хроматограммы йодтирозинов, полученные при анализе образцов «БАД «Йодонорм»» и «Сушеная ламинария». Определение искомого нутриента проводилось в гра-

ничных контрольных точках измерения — в начале и в конце срока годности.

На кривой хроматограммы присутствуют пики ионов-продуктов моноидотирозинов и дийодтирозинов (Рисунок 7). Показания площадей пиков при измерении моноидотирозинов суммарно составляют 27058 mAU, а дийодтирозинов — 5416 mAU на Рисунке 7(а). На Рисунке 7(б) эти значения составляют 22447 mAU и 9951 mAU соответственно. Анализ графиков показал снижение суммарной концентрации йодтирозинов пропорционально значению площадей пиков в образце от начала срока годности к его окончанию на 2%.

На кривой хроматограммы присутствуют пики ионов-продуктов моноидотирозинов и дийодтирозинов (Рисунок 8). Показания площадей пиков при измерении моноидотирозинов составляют 12715 mAU, а дийодтирозинов — 9951 mAU на Рисунке 8(а). На Рисунке 8(б) эти значения равны 1956 mAU и 305 mAU соответственно. Анализ графиков показал снижение суммарной концентрации йодтирозинов пропорционально значению площадей пиков в образце от начала срока годности к его окончанию на 90%.

В Таблице 4 представлены результаты полученных данных по содержанию йодтирозинов (МИТ, ДИТ и их сумма) в образцах БАД в процессе хранения с момента выработки до окончания срока годности в 5 контрольных точках измерения. Каждый опыт проводился троекратно, за истинное было принято медианное значение полученных результатов в рамках одного опыта.

По результатам количественного анализа йодтирозинов методом ВЭЖХ–МС были составлены столбчатые диаграммы зависимости концентрации йодтирозинов от срока годности объектов. На диаграммах пунктирной линией была отмечена экспоненциальная линия, отражающая тенденцию снижения концентрации йодтирозинов в объектах.

Анализ данных, приведенных на Рисунке 9, показал снижение йодтирозинов в процессе хранения БАД «Йодонорм» от начального уровня в 14% от массы БАД:

80% от срока годности — до 13,95%, что на 0,7% ниже начального уровня;

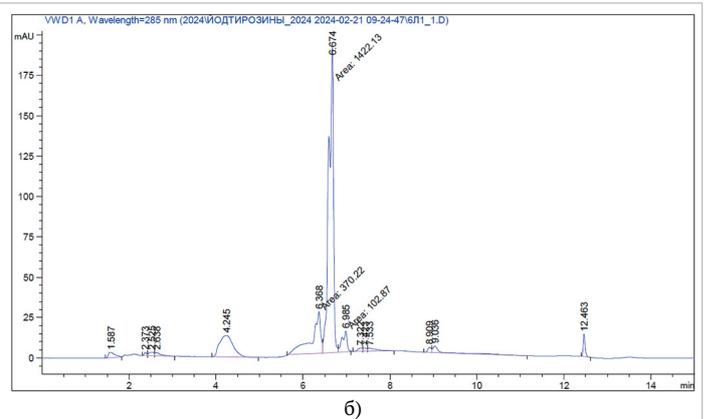
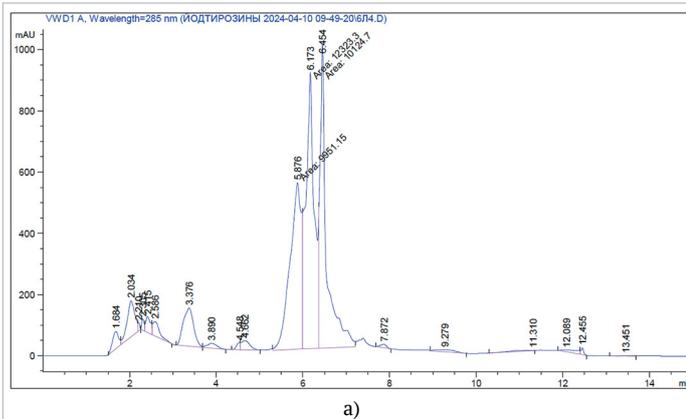


Рисунок 7. Хроматограммы концентрации йодтирозинов в образце «БАД «Йодонорм»», полученные в контрольных точках № 1 и № 5

Figure 7. Chromatograms of the iodotyrosine concentration in the sample of dietary supplement "Iodonorm" obtained in the control points No. 1 and No. 5

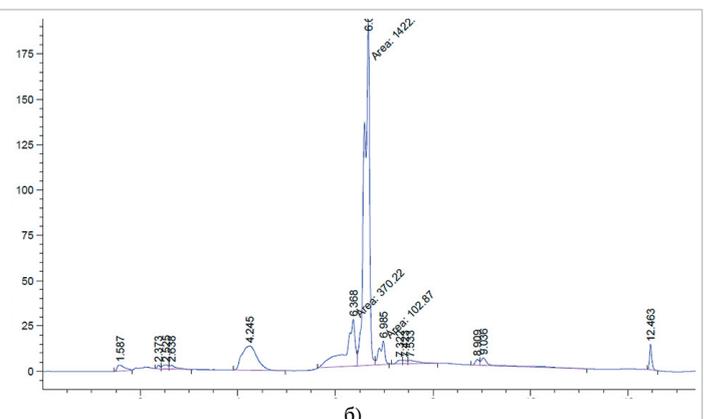
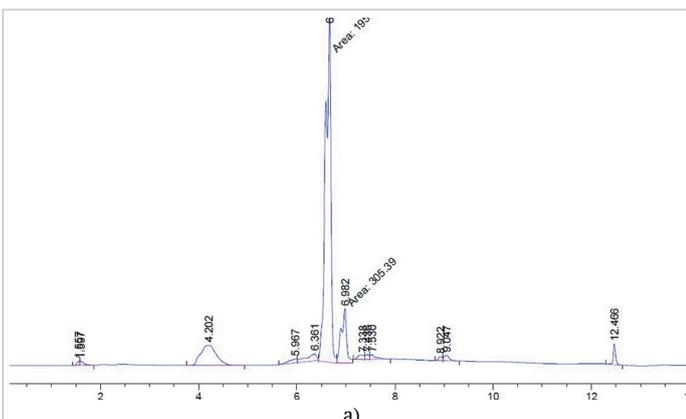


Рисунок 8. Хроматограммы концентрации йодтирозинов в образце «Сушеная ламинария», полученные в контрольных точках № 1 и № 5

Figure 8. Chromatograms of the iodotyrosine concentration in the sample "Dried kelp" in the control points of measurement No. 1 and No. 5

Таблица 4. Результаты анализов БАД на остаточное количество йодтирозинов в процессе хранения

Table 4. Results of the analyses of dietary supplements on the residual quantity of iodotyrosines during storage

Контроль-ная точка	№ опыта	Показатель, %	БАД «Йодонорм»	БАД «Сушеная ламинария»
В начале срока годности	1.1	МИТ	10,57±0,16 ^a	0,39±0,01 ^a
		ДИТ	3,03±0,01 ^a	< 0,012
		суммарно	13,6±0,017	0,4±0,01
	1.2	МИТ	11,12±0,16	0,54±0,01
		ДИТ	2,98±0,07	< 0,012
		суммарно	14,1±0,23	0,55±0,01
1.3	МИТ	11,47±0,16	0,69±0,01	
	ДИТ	2,93±0,07	< 0,012	
	суммарно	14,4±0,23	0,7±0,01	
80% от срока годности	2.1	МИТ	10,46±0,17 ^a	0,29±0,01 ^b
		ДИТ	3,49±0,05 ^b	< 0,012
		суммарно	13,95±0,12	0,3±0,01
	2.2	МИТ	10,73±0,18	0,31±0,01
		ДИТ	3,57±0,05	< 0,012
		суммарно	14,3±0,23	0,32±0,01
2.3	МИТ	10,3±0,15	0,36±0,01	
	ДИТ	3,51±0,05	< 0,012	
	суммарно	13,81±0,2	0,37±0,01	
50% от срока годности	3.1	МИТ	10,5±0,16 ^a	0,16±0,01 ^c
		ДИТ	3,5±0,06 ^b	< 0,012
		суммарно	14±0,22 ^a	0,17±0,01
	3.2	МИТ	10,49±0,16	0,19±0,01
		ДИТ	3,31±0,05	< 0,012
		суммарно	13,8±0,21	0,2±0,01
3.3	МИТ	10,2±0,16	0,26±0,01	
	ДИТ	3,41±0,05	< 0,012	
	суммарно	13,61±0,21	0,27±0,01	
20% от срока годности	4.1	МИТ	10,5±0,15 ^a	0,15±0,01 ^c
		ДИТ	3,11±0,05 ^c	< 0,012
		суммарно	13,6±0,2	0,16±0,01
	4.2	МИТ	11,2±0,15	0,13±0,01
		ДИТ	2,79±0,04	< 0,012
		суммарно	13,99±0,19	0,12±0,01
4.3	МИТ	10,27±0,15	0,13±0,01	
	ДИТ	3,13±0,05	< 0,012	
	суммарно	13,7±0,2	0,14±0,01	
С истекшим сроком годности	5.1	МИТ	10,2±0,15 ^a	0,044±0,0 ^d
		ДИТ	3,4±0,05 ^d	< 0,012
		суммарно	13,6±0,2	0,055±0,01
	5.2	МИТ	9,9±0,15	0,050±0,01
		ДИТ	3,11±0,05	< 0,012
		суммарно	13,01±0,2	0,06±0,01
5.3	МИТ	10,58±0,16	0,055±0,01	
	ДИТ	3,62±0,06	< 0,012	
	суммарно	14,2±0,22	0,065±0,01	

Примечание: различные буквы a, b, c, d обозначают достоверные изменения остаточного количества йодтирозинов в образцах в процессе хранения при $p < 0,05$.

- 50% от срока годности — до 13,8%, что на 1,2% ниже начального уровня;
- 20% от срока годности — до 13,7%, что на 1,6% ниже начального уровня;
- С истекшим сроком годности — до 13,6%, что на 2% ниже начального уровня.

Количественное определение йодтирозинов в БАД «Йодонорм» является наиболее точным способом анализа для данной формы йода. Стабильность концентрации йода в йодированных белках неоднократно доказана исследованиями функциональных пищевых продуктов, обогащенных добавками с йодированными белками [33–36]. Использование БАД «Йодонорм» в составе ФПП допустимо



Рисунок 9. Концентрация йодтирозинов в БАД «Йодонорм»

Figure 9. Concentrations of iodotyrosines in dietary supplement “Iodonorm”

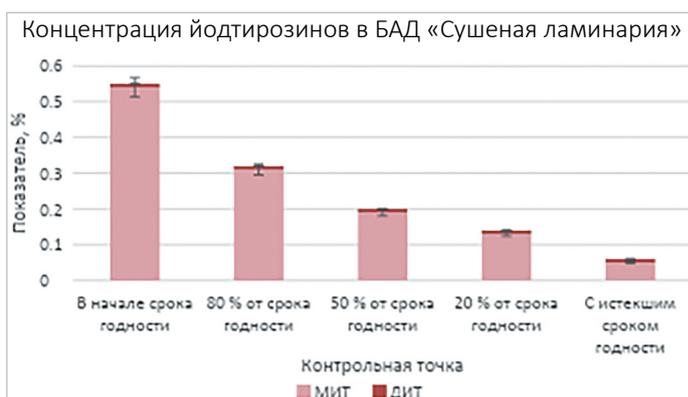


Рисунок 10. Концентрация йодтирозинов в БАД «Сушеная ламинария»

Figure 10. Concentrations of iodotyrosines in dietary supplement “Dried kelp”

на любом сроке годности обогащающей добавки без потери отличительных свойств готового продукта.

Анализ данных, приведенных на Рисунке 10, показал снижение йодтирозинов в процессе хранения БАД «Сушеная ламинария» от начального уровня в 0,54% от массы БАД:

- 80% от срока годности — до 0,32%, что на 37% ниже начального уровня;
- 50% от срока годности — до 0,2%, что на 60% ниже начального уровня;
- 20% от срока годности — до 0,13%, что на 76% ниже начального уровня;
- С истекшим сроком годности — до 0,05%, что на 90% ниже начального уровня.

Результаты количественного анализа неорганического йода оказались выше, чем результаты анализа йодтирозинов в пересчете на неорганический йод. Это позволяет сделать вывод, что в сушеной ламинарии преобладает неорганическая форма йода. Свежие исследования, полученные при помощи ИВА-определения йода, доказывают присутствие большого количества неорганического йода в образцах водорослей, аналогичных сушеной ламинарии [37]. Использование БАД «Сушеная ламинария» в составе ФПП для обогащения йодтирозинами должно сопровождаться входным контролем с целью обеспечения качества готового продукта, включающим проверку добавки на концентрацию йодтирозинов.

4. Выводы

Результаты показали, что исходная концентрация йода в начале срока годности в образцах йодированной соли и сушеной ламинарии, в отличие от БАД «Йодонорм», не соответствовала данным, заявленным производителем. Все образцы в процессе эксперимента хранились при соблюдении условий и в течение срока годности, заявленного производителем. В ходе эксперимента образцы отбирались на повторный анализ для отслеживания тенденции снижения количества йода в процессе хранения в следующих контрольных точках: 80%, 50%, 20% от срока годности и по окончании срока годности.

Исследование всех образцов включало вольтамперметрический метод определения молекулярного йода, по результатам которого были составлены диаграммы вида «ящик с усамми», отражающие изменение концентрации йода в процессе хранения с погрешностями

измерения в виде размаха данных. Дополнительно было осуществлено исследование концентрации органического йода в виде йодтирозинов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрофотометрическим детектированием в образцах сухой ламинарии и БАД «Йодонорм», по результатам которого были составлены столбчатые диаграммы, включающие экспоненциальные зависимости снижения концентрации йодтирозинов от срока хранения. Для образца «Соль йодированная» метод ВЭЖХ–МС не применялся по причине отсутствия в составе каких-либо органических веществ, а значит, из-за отсутствия каких-либо следов йодтирозинов.

Количественный анализ йода в объекте «Соль йодированная» показал, что фактическая концентрация йода в начале срока годности, меньше заявленной производителем, а ее снижение в процессе хранения происходит более чем в 2 раза и не соответствует рекомендациям Комитета по контролю за профилактикой ЙДЗ. Применение данного объекта с целью профилактики ЙДЗ будет неэффективным, а превышение рекомендуемой нормы потребления соли с целью увеличения количества потребляемого с солью йода может быть чревато развитием других алиментарно-зависимых заболеваний.

Количественный анализ йода в объекте «Сушеная ламинария» показал, что фактическая концентрация йода в начале срока годности, значительно выше заявленной производителем, и стремительно снижается в зависимости от срока хранения, а к концу срока годности и вовсе приближается к нулю. Применение данного объекта в качестве средства профилактики ЙДЗ должно сопровождаться строгим контролем йода в пищевом ингредиенте с целью недопущения передозировки йода со всеми вытекающими последствиями.

Количественный анализ йода в объекте БАД «Йодонорм» показал, что фактическая концентрация йода в начале срока годности соответствует заявленной производителем, а снижение ее в процессе хранения происходит плавно. На конец срока годности концентра-

ция йода в объекте составляла не менее 85% от концентрации в начале срока годности, что свидетельствует о высокой устойчивости данного соединения.

Исследования концентрации йодтирозинов в объекте БАД «Йодонорм» показали высокие значения определяемого вещества, что подтверждает результаты исследований концентрации неорганического йода в объекте. В течение срока годности концентрация йодтирозинов изменилась не более чем на 2%. Сделан вывод о возможности применения двух методов определения концентрации йода для ингредиентов, содержащих йодтирозины, с пересчетом на молекулярный йод.

Дополнительные исследования концентрации йодтирозинов в объекте «Сушеная ламинария» показали небольшое количество определяемого вещества, что свидетельствует о наличии органической формы йода в природном источнике и о высоком потенциале применения данного ингредиента в производстве функциональных пищевых продуктов. Однако к концу срока годности концентрация йодтирозинов в ламинарии снизилась на 90%, что ограничивает использование добавки с истечением срока годности.

Таким образом, сделаны следующие выводы:

- мероприятия по профилактике ЙДЗ с применением йодсодержащих ингредиентов должны включать обязательный контроль концентрации йода в объектах;
- применение йодированной соли может быть неэффективным при профилактике ЙДЗ вследствие значительного снижения концентраций йода в процессе хранения;
- органическая форма йода в виде йодтирозинов более устойчива в хранении, чем неорганическая форма йода в виде йодата калия;
- метод ВЭЖХ–МС по определению йодтирозина в пищевых ингредиентах может применяться для вычисления молекулярного йода с коэффициентом пересчета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Pearce, E. N., Zimmermann, M. B. (2023). The prevention of iodine deficiency: history. *Thyroid*, 33(2), 143–149. <https://doi.org/10.1089/thy.2022.0454>
2. Bailey, R. L., Pac, S. G., Fulgoni III, V. L., Reidy, K. C., Catalano, P. M. (2019). Estimation of total usual dietary intakes of pregnant women in the United States. *JAMA Network Open*, 2(6), Article e195967. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.5967>
3. Sebastiani, G., Barbero, A. H., Borrás-Novell, C., Casanova, M. A., Aldecoa-Bilbao, V., Andreu-Fernández, V. et al. (2019). The effects of vegetarian and vegan diet during pregnancy on the health of mothers and offspring. *Nutrients*, 11(3), Article 557. <https://doi.org/10.3390/nu11030557>
4. Коденцова, В. М., Рисник, Д. В. (2020). Микронутриентные метаболические сети и множественный дефицит микронутриентов: обоснование преимуществ витаминно-минеральных комплексов. *Микроэлементы в медицине*, 21(4), 3–20. [Kodentsova, V. M., Risnik, D. V. (2020). Micronutrient metabolic networks and multiple micronutrient deficiency: A rationale for the advantages of vitamin-mineral supplements. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*, 21(4), 3–20. (In Russian)] <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2020-21-4-3-20>
5. Campanozzi, A., Rutigliano, I., Macchia, P. E., De Filippo, G., Barbato, A., Iacone, R. et al. (2019). Iodine deficiency among Italian children and adolescents assessed through 24-hour urinary iodine excretion. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 109(4), 1080–1087. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy393>
6. Fernández, M. R., Torre, E. M., Cadórniga, F. D., Fernández, J. C. F., Álvarez, E. D. (2017). Iodine nutritional status in Asturian schoolchildren. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*, 64(9), 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2017.06.003>
7. Wei, R., Wang, Z., Zhang, X., Wang, X., Xu, Y., Li, Q. (2023). Burden and trends of iodine deficiency in Asia from 1990 to 2019. *Public Health*, 222, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2023.06.034>
8. Беспалов, В. Г., Туманян, И. А. (2019). Дефицит йода в питании как мультидисциплинарная проблема. *Лечащий врач*, 3, 8–12. [Bespalov, V. G., Tumanian, I. A. (2019). Iodine deficiency in nutrition as a multidiscipline problem. *Lechashchii Vrach*, 3, 8–12. (In Russian)]
9. 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 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>
10. Santos, J. A., Tekle, D., Rosewarne, E., Flexner, N., Cobb, L., Al-Jawaldeh, A. et al. (2021). A systematic review of salt reduction initiatives around the world: A midterm evaluation of progress towards the 2025 global non-communicable diseases salt reduction target. *Advances in Nutrition*, 12(5), 1768–1780. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab008>
11. Fallah, S. H., Khalilpour, A., Amouei, A., Rezapour, M., Tabarinia, H. (2020). Stability of iodine in iodized salt against heat, light and humidity. *International Journal of Health and Life Sciences*, 6(1), Article e100098. <https://doi.org/10.5812/ijhls.100098>
12. Pehrsson, P. R., Roseland, J. M., Patterson, K. Y., Phillips, K. M., Spungen, J. H., Andrews, K. W. et al. (2022). Iodine in foods and dietary supplements: A collaborative database developed by NIH, FDA and USDA. *Journal of Food Composition and Analysis*, 109, Article 104369. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104369>
13. Abdurrahim, Md., Haque, S. E. M., Roy, D. C., Arefin, P., Ruchita, F. F., Sarkar, M. R. et al. (2023). Iodine concentration in edible salt from production to retail level in Bangladeshi territory: A comparative study following standard regulations. *Journal of Food Composition and Analysis*, 120, Article 105334. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105334>
14. Dydykin, A. S., Aslanova, M. A., Derevitskaya, O. K., Soldatova, N. E. (September 22–25, 2019). *Effectiveness of using iodine-containing additives in meat products for child nutrition*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The 60th International Meat Industry Conference MEATCON. Kopaonik, Serbia, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012060>
15. Meinhardt, A.-K., Müller, A., Purca, A., Greiner, R. (2019). Influence of cooking in the iodine content in potatoes, pasta and rice using iodized salt. *Food Chemistry*, 301, Article 125293. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125293>
16. Meinhardt, A.-K., Müller, A., Lohmayer, R., Dederer, I., Manthey-Karl, M., Münch, S. et al. (2022). Influence of processing and storage on the iodine content of meat and fish products using iodized salt. *Food Chemistry*, 389, Article 133092. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133092>
17. Judprasong, K., Jongjaithe, N., Chavasi, V. (2016). Comparison of methods for iodine analysis in foods. *Food Chemistry*, 193, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.058>
18. Dydykin, A. S., Zubarev, Yu. N., Logunova, E. I., Kuzlyakina, Yu. 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>
19. Князева, А. С., Вострикова, Н. Л., Куликовский, А. В., Гиро, Т. М. (2018). Влияние продолжительности хранения и тепловой обработки на сохранность йодтирозинов в мясных продуктах. *Все о мясе*, 2, 24–27. [Knyazeva, A. S., Vostrikova, N. L., Kulikovskii, A. V., Giro, T. M. (2018). Effect of shelf life and heat treatment on the preservation of iodine tyrosines in meat products. *Vsyo o Myase*, 2, 24–27. (In Russian)]
20. Дыдыкин, А. С., Устинова, А. В., Федулова, Л. В., Вострикова, Н. Л. (2013). Перспективы применения йодсодержащих добавок в мясных продуктах детского питания. *Все о мясе*, 4, 28–32. [Dydykin, A. S., Ustinova, A. V., Fedulova, L. V., Vostrikova, N. L. (2013). Prospects of additives in meat iodine-containing baby foods. *Vsyo o Myase*, 4, 28–32. (In Russian)]
21. Богатырев, А. Н., Дыдыкин, А. С., Асланова, М. А., Федулова, Л. В., Устинова, А. В. (2016). Оценка эффективности использования йодсодержащих добавок в мясных кулинарных изделиях для детского питания. *Вопросы питания*, 4, 68–75. [Bogatyrev, A. N., Dydykin, A. S., Aslanova, M. A., Fedulova, L. V., Ustinova, A. V. (2016). Assessment of the using effectiveness of iodine containing additives in development of meat products for child nutrition. *Problems of Nutrition*, 4, 68–75. (In Russian)]
22. Espada-Bellido, E., Bi, Z., Salaün, P., van den Berg, C. M. G. (2017). Determination of iodide and total iodine in estuarine waters by cathodic stripping voltammetry using a vibrating silver amalgam microwave electrode. *Talanta*, 174, 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.06.004>
23. Куликовский, А. В., Лисицын, А. Б., Кузнецова, О. А., Вострикова, Н. Л., Горлов, И. Ф. (2016). Методические аспекты определения органического йода (йодтирозинов) в пищевых продуктах. *Вопросы питания*, 85(4), 91–97. [Kulikovskiy, A. V., Lisitsyn, A. B., Kuznetsova, O. A., Vostrikova, N. L., Gorlov, I. F.

- (2016 Method of determination organic iodine (iodotyrosines) in food. *Problems of Nutrition*, 85(4), 91–97. (In Russian))
24. Kulikovskii, A. V., Lisitsyn, A. B., Chernukha, I. M., Gorlov, I. F., Savchuk, S. A. (2016). Determination of iodotyrosines in food. *Journal of Analytical Chemistry*, 71(12), 1215–1219. <https://doi.org/10.1134/s1061934816100087>
 25. Гиро, Т. М., Куликовский, А. В., Князева, А. С., Утьянов, Д. А., Гиро, А. В. (2021). Методические подходы определения органического йода в виде йодтирозиннов в пищевых продуктах. *Все о мясе*, 5, 46–48. [Gyro, T. M., Kulikovskii, A. V., Knyazeva, A. S., Utyanov, D. A., Gyro, A. V. (2021). Methodology for the determination of organic iodine in the form of iodotyrosines in foods. *Vsyo o Myase*, 5, 46–48. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-5-46-48>
 26. Маркова, Д. А. Некрасов, М. Ю. Дьяков, А. А. Данилов (2022). Определение содержания йода, йодидов и йодатов в пищевых продуктах. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*, 22(4), 373–381. [Markova, E. O., Nekrasov, D. A., Dyaakov, M. Yu., Danilov, A. A. (2022). Determination of the content of iodine, iodides and iodates in food products. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 22(4), 373–381. (In Russian)] <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-4-373-381>
 27. Tafesse, W. (2022). The effect of Universal Salt Iodization on cognitive test scores in rural India. *World Development*, 152(2), Article 105796. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105796>
 28. Ariyo, O., Akintimehin, O., Taiwo, A. F., Nwandu, T., Olaniyi, B. (2023). Awareness, practices and perspectives on ensuring access to ideally packaged iodized salt in Nigeria. *Dialogues in Health*, 20(3), Article 100148. <https://doi.org/10.1016/j.dialog.2023.100148>
 29. Mahwera, D., Killel, E., Jonas, N., Nancy, A., Zangira, A., Lekey, A. et al. (2024). Evaluation of the Universal Salt Iodization (USI) surveillance system in Tanzania, 2022. *PLoS One*, 19(4), Article e0299025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299025>
 30. 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>
 31. Aakre, I., Solli, D. D., Markhus, M. W., Mæhre, H. K., Dahl, L., Henjum, S. et al. (2021). Commercially available kelp and seaweed products—valuable iodine source or risk of excess intake? *Food and Nutrition Research*, 30, Article 65. <https://doi.org/10.29219/fnr.v65.7584>
 32. Nielsen, C. W., Holdt, S. L., Sloth, J. J., Marinho, G. S., Sæther, M., Funderud, J. et al. (2020). Reducing the high iodine content of Saccharina latissima and improving the profile of other valuable compounds by water blanching. *Foods*, 9(5), Article 569. <https://doi.org/10.3390/foods9050569>
 33. Морозова, В. В., Коломыцева, О. Ф. (2019). Исследование свойств кисло-молочного продукта, обогащенного добавкой «Йодонорм», *Переработка молока*, 11, 64–67. [Morozova, V. V., Kolomytseva, O. F. (2019). Study of the properties of the fermented product enriched with the additive “Iodonorm”. *Milk Processing*, 11, 64–67. (In Russian)]
 34. Поповичева, Н. Н. (2021). Функциональный обогащенный кисло-молочный 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>
 35. Ladnova, O. L., Bolshakova, L. S., Kuzina, A. V., Izvekova, E. V., Merkulova, E. G., Ashikhina, L. A. (February 26–29, 2020). *Development of technology of cottage cheese enriched with iodine and succinic acid*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials. Voronezh, Russian Federation, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032016>
 36. Еримбетов, К. Т., Розиев, Р. А., Гончарова, А. Я., Земляной, Р. А. (2020). Йодказеин-устойчивый функциональный ингредиент для профилактики йодной недостаточности. *Хлебопродукты*, 10, 33–37. [Erimbetov, K.T., Roziev, R.A., Goncharova, A. Ya., Zemlyanoy, R. A. (2020). Iodine casein — stable functional ingredient for prevention of iodine deficiency. *Khleboprodukty*, 10, 33–37. (In Russian)]
 37. Никулин, А. В., Мартынов, Л. Ю., Габаева, Р. С., Лазов, М. А. (2024). Разработка новой инверсионно-вольтамперометрической методики определения неорганического йода в слоевищах ламинарии (*Laminariae thalli L.*) для контроля качества сырья в условиях заводских лабораторий. *Тонкие химические технологии*, 19(4), 372–383. [Nikulin, A. V., Martynov, L. Y., Gabaeva, R. S., Lazov, M. A. (2024). Development of a new inversion-voltammetric technique in determining inorganic iodine in *Laminariae thalli L.* for the quality control of raw materials in factory laboratories. *Fine Chemical Technologies*, 19(4), 372–383. (In Russian)] <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2024-19-4-372-383>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Дыдыкин Андрей Сергеевич — доктор технических наук, доцент, заведующий отделом функционального и специализированного питания, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26. Тел.: +7-495-676-95-11 (264) E-mail: a.didikin@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0208-4792</p>	<p>Andrey S. Dydykin — Doctor of Technical Sciences, Docent, Chief of the Department Functional and Specialized Nutrition, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhin str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (264) E-mail: a.didikin@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0208-4792</p>
<p>Зубарев Юрий Николаевич — заместитель директора, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26. Тел.: +7-495-676-95-11 E-mail: yu.zubarev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6519-4553</p>	<p>Yuriy N. Zubarev — Deputy Director, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhin str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 E-mail: yu.zubarev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6519-4553</p>
<p>Логунова Евлалия Игоревна — инженер-исследователь отдела функционального и специализированного питания, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26. Тел.: +7-495-676-95-11 (114) E-mail: e.logunova@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6631-6305 * автор для контактов</p>	<p>Evlaliya I. Logunova, Research Engineer of the Department Functional and Specialized Nutrition, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhin str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (114) E-mail: e.logunova@fncps.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6631-6305 * corresponding author</p>
<p>Самойлова Анастасия Михайловна — кандидат биологических наук, руководитель Научно-исследовательского испытательного центра, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., Видное, Школьная ул., 78 Тел.: +7-495-541-08-92 E-mail: a.filippova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0003-7433-7116</p>	<p>Anastasiya M. Samoylova, PhD in Biology, Head of the Research and Testing Center, Research Institute of Canning Technology — branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the RAS. 78, Shkol'naya str., Vidnoe, 142703, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-08-92 E-mail: a.filippova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0003-7433-7116</p>
<p>Калугина Зоя Ивановна — младший научный сотрудник Научно-исследовательского испытательного центра, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., Видное, Школьная ул., 78 Тел.: +7-495-541-08-92 E-mail: z.kalugina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0007-9254-6009</p>	<p>Zoya I. Kalugina, Junior Researcher, Research and Testing Center, All-Russian Scientific Research Institute of Preservation Technology 78, Shkol'naya str., Vidnoe, 142703, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-08-92 E-mail: z.kalugina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0007-9254-6009</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.</p>	<p>The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>