

## СУБКРИТИЧЕСКИЕ ВОДНЫЕ ЭКСТРАКТЫ ЛАМИНАРИИ ЯПОНСКОЙ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ОСНОВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

**Л.В. Павлова** — Самарский государственный национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. Самара, Россия. ORCID: 0000-0003-1741-1845. Эл. почта: loga-pavlova@mail.ru (для переписки)

**И.А. Платонов** — Самарский государственный национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. Эл. почта: pia@ssau.ru

**Г.А. Пушкарев** — Самарский государственный национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. Самара, Россия. Эл. почта: pushkarevga@gmail.ru

© 2023 г. Поступила в редакцию 18.08.2023 г. Прошла рецензирование 03.09.2023 г.  
Принята к публикации 03.09.2023 г.

Проведена оценка эффективности извлечения иода и альгиновых кислот из сухих слоевищ ламинарии японской (*Saccharina japonica*) субкритической водой при 130, 150 и 170 °С в режиме динамической экстракции. Установлено, что в ходе экстракции происходит полное извлечение иода из слоевищ ламинарии японской, однако в режиме динамической экстракции только около 45 % иодсодержащих соединений переходят в экстракт, остальная часть остается в слизи, формирующейся вокруг частиц ламинарии в ходе экстракции. Полученные экстракты ламинарии японской содержат жирные и фенольные кислоты, спирты, углеводы. Мармелад, изготовленный на основе субкритического водного экстракта ламинарии массой около 6 г, содержит около 20 суточных доз иода и может применяться в качестве продукта функционального питания.

**Ключевые слова:** ламинария японская *Saccharina japonica*, иод, альгиновая кислота, субкритическая вода, экстракция, функциональное питание.

### ВВЕДЕНИЕ

Иод, поступающий с пищей в наш организм в качестве микроэлемента, играет важную роль в его нормальном функционировании. Недостаток иода негативно влияет на работу эндокринной и нервной систем; при этом более миллиарда человек живут в местах с низким уровнем иода в окружающей среде и продуктах питания [1]. Для предупреждения последствий иододефицита применяют масштабную профилактику — обогащение иодом широко потребляемых продуктов питания: соли, хлеба, воды и др., которые в современном контексте приобрели название «функциональные продукты питания» [1—4]. Природным источником иода являются морские водоросли, например, ламинария, блюда из которой относятся к функциональному питанию, содержащему иод. В слоевищах ламинарии содержится 360 мкг иода на 100 г продукта [5]. Широкий спектр фармакологической активности водорослей семейства *Laminariae* обусловлен особенностями химического состава, который включает ламинарин, маннит, альгиновую кислоту, белки, стерины, следы жирного масла, макро- и микроэлементы, в том числе и иод, в виде иодидов и иодорганических

соединений, пигменты, витамины В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, С, F, D, каротиноиды, пантотеновую кислоту, холин, биотин, аминокислоты [4, 6—12]. В ламинарии могут присутствовать такие комплексы аминокислот и иода, как тироксин, диодтиронин, моно- и диодтирозин, которые хорошо усваиваются организмом человека [4].

В настоящее время ламинария в сухом виде добавляется в хлеб, молочные продукты, разрабатываются мясные полуфабрикаты с добавлением ламинарии, желе из водорослей, на основе которого предложены рецептуры жележных конфет и десертов, паштетов к завтраку, мясных соусов [3, 4, 13]. На основе водного экстракта ламинарии были разработаны рецептуры приготовления морского чая «Фитомарина», который является источником фукоидана, ламинарана, иода, моносахаридов, аминокислот и альгинатов [13]. Учитывая популярность ламинарии японской в пищевой индустрии, мы предлагаем использовать для получения функциональных продуктов питания экстракт ламинарии, полученный в среде субкритической воды (СВЭ). Такой тип экстракции не вносит дополнительных загрязнений в продукт, отвечает принципам «зеленой химии». Использование новых методов изготовления продукта предусматривает исследование компонентного состава для предотвращения нежелательных последствий употребления.

Цель настоящего исследования — оценка извлечения иода, альгиновых кислот и других биологически активных веществ (БАВ) из ламинарии японской при экстракции водой в субкритических условиях, а также получение мармелада на основе субкритических экстрактов ламинарии.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования являлись сухие слоевища ламинарии японской, приобретенные в аптечной сети, производства АО «Красногорсклексредства».

Экстракцию водой из сухих слоевищ ламинарии проводили в динамическом режиме на установке, описанной в [14]. Установка состояла из насоса высокого давления, подающего экстрагент, термостата, в котором размещался нагреваемый капилляр и экстрактор. На выходе из экстрактора после охлаждаемого капилляра установлен кран тонкой регулировки и манометр для фиксации противодействия. Для заполнения экстрактора объемом 20 мл навеску сухих слоевищ ламинарии, массой  $4,6 \pm 0,05$  г с размерами частиц 1—3 мм смешивали с частицами карбида кремния размером около 3 мм в соотношении 1:1 по объему. После подключения экстрактора к нагреваемому капилляру в систему подавали экстрагент. Когда экстрагент полностью заполнял экстрактор, перекрывали выход из экстрактора и систему выдерживали 20 мин при давлении  $14,0 \pm 0,1$  МПа. Далее подсоединяли к экстрактору охлаждаемый капилляр, закрывали кран тонкой регулировки, включали насос высокого давления и начинали нагрев термостата, в котором находились обогреваемый капилляр и экстрактор. Давление поддерживали на уровне  $5,0 \pm 0,1$  МПа, поток экстрагента составлял 1,7 мл/мин. Экстракт отбирали фракциями по 6 мл. Общий объем полученного экстракта составил 30 мл.

Определение содержания иода проводили по ГОСТ [15] методом, основанным на образовании окрашенного комплексного соединения иода с азотистокислым натрием в кислой среде и его титриметрическом определении. Содержание альгиновых кислот определяли по ГОСТ [15] методом обратной титриметрии при титровании избытка гидроксида натрия серной кислотой

с использованием в качестве индикатора фенолфталеина. Расчет массовой доли иода и альгиновых кислот (% от сухого вещества) выполняли по формулам, приведенным в [15].

Влажность сырья, необходимую для расчета содержания иода определяли гравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ [16].

Для характеристики динамики извлечения использовали понятие модуль экстракции (мл/г), как отношение объема пропущенного экстрагента к массе сырья, загруженного в экстрактор.

Для определения качественного состава экстрактов применяли метод газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС). Анализ проводили на хроматографе Agilent Technologies 7890A-5975С, колонка HP-5ms 30 м×250 мкм×0,25 мкм. Анализ субкритических водных экстрактов ламинарии осуществляли после переэкстракции этилацетатом с последующей дериватизацией N,O-бис(триметилсилил)трифторацетамидом (БСТФА).

Для приготовления мармелада к 20 мл экстракта добавляли 3,75 г агара-агара, настаивали 15 мин до набухания агара. Затем смесь доводили до кипения на водяной бане, дожидаясь растворения агара. После в кипящую агаро-экстрактную смесь небольшими порциями добавляли 2,5 г сахара, смешанного с 0,75 г пектина и 0,75 г лимонной кислоты при постоянном перемешивании. После внесения сахаро-пектиновой смеси раствор кипятили 5 мин, затем разливали по формам и остужали на воздухе. Масса полученной единицы продукта составила 6 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экстракты ламинарии, полученные в среде субкритической воды, были буро-зеленого цвета, имели рыбный запах и слизеподобную консистенцию. Особенностью экстракции являлось то, что при проведении опрессовки сырья, вбирая влагу, набухало, значительно увеличиваясь в объеме, что приводило к непроходимости экстрактора и резкому повышению давления в системе. Согласно исследованиям [3], степень набухания сырья составляет 682 %; в нашем случае объем сырья не увеличился в 6 раз, но это связано с ограниченным временем контакта сырье—экстрагент, а также повышенным давлением. Поэтому карбидно-сырьевой смесью экстрактор заполняли не полностью, оставляя свободный объем для набухания частиц ламинарии. Подобное действие позволило проводить экстракцию в нормальном режиме.

Сведений о поведении иодсодержащих соединений ламинарии и альгиновой кислоты при температурах выше 100 °С в публикациях не встречается. В то же время ранее установлено, что при температурах ниже 100 °С отмечен рост извлечения иода и альгиновых кислот с увеличением температуры [9, 10]. В отношении аминокислот и углеводов в публикации [7] отмечается повышение эффективности экстракции субкритической водой с ростом температуры.

Суммарная оценка содержания иода в образцах сухого растительного сырья и в жидких экстрактах показывает, что весь иод не переходит в экстракт. Содержание иода в навеске сухих слоевищ ламинарии (загрузка экстрактора) составляет 0,69 %. Максимальное извлечение иода происходит при 150 °С. Дальнейшее повышение температуры экстракции приводит к резкому снижению содержания иода в экстрактах. Степень извлечения иода составляет 40, 45 и 14 % в ходе экстракции при 130, 150 и 170 °С, соответственно. Таким образом, экстракцию

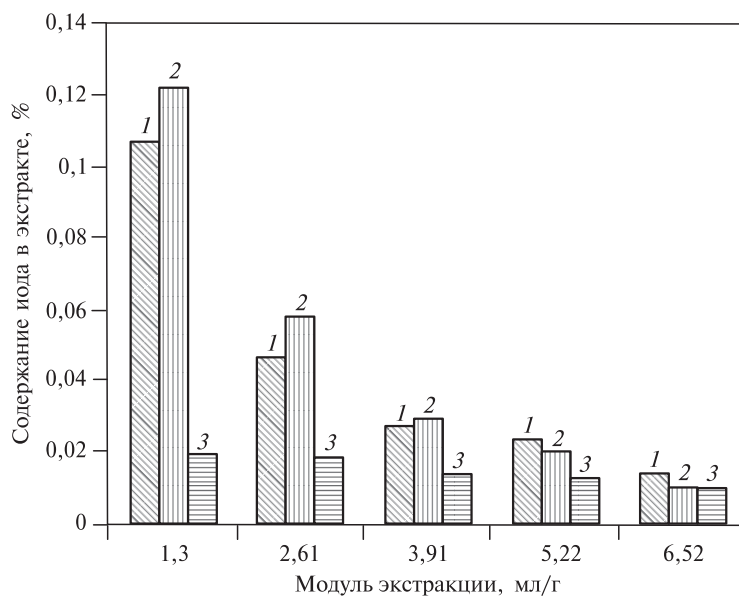
субкритической водой из слоевищ ламинарии японской целесообразно проводить при 150 °С; при этом средняя концентрация иода равна 0,48 мг/мл при получении 30 мл экстракта в условиях проведения эксперимента.

Как показал анализ отработанного шрота и смыва с экстрактора, иод из растительного сырья при 130 и 150 °С извлекается полностью, однако соединения иода «застревают» в остаточной жидкости экстрактора, имеющей слизеподобную густую консистенцию.

Изучение динамики извлечения иода в процессе экстракции показало, что максимальное количество иода экстрагируется при значении модуля экстракции 1,30 мл/г (рисунок). С повышением значения модуля экстракции до 5,22 мл/г содержание иода в экстракте, полученном при 170 °С, стабилизируется на уровне 0,01 %, а в остальных экстрактах продолжает снижаться.»

Содержание альгиновых кислот в экстрактах определяли для оценки возможности частичной замены агар-агара при приготовлении мармелада. Установлено, что температура незначительно влияет на извлечение альгиновых кислот: при повышении температуры со 130 до 170 °С их извлечение остается на уровне 11 % от массы экстракта. Такая зависимость от температуры, вероятно, связана с тем, что альгиновая кислота нерастворима в воде, а температура экстракции в экспериментальном диапазоне незначительно меняет физические свойства воды.

Для установления качественного состава полученных экстрактов проводили анализ методом ГХ-МС, который показал, что наибольшая интенсивность пиков и максимальное число обнаруженных соединений характерно для экстракта, полученного при 150 °С, а наименьшая — при 170 °С. Оказалось, что в ламинарии содержатся жирные и фенольные кислоты, также были идентифицированы фитостеролы, углеводы и спирты (таблица). По составу полученных соединений заметно, что при субкритической экстракции в основном



**Рисунок.** Содержание иода в экстрактах ламинарии японской, полученных при разных температурах, °С:

1 — 130; 2 — 150; 3 — 170

Таблица

Вещество	Анализ без гидролиза	Анализ с гидролизом
Кислоты		
Гондоиновая кислота	–	+
Кротоновая кислота	–	+
Глутаконовая кислота	–	+
Пироглутаминовая кислота	–	+
Акриловая кислота	–	+
2-Этилгексановая кислота	+	+
Винилуксусная кислота	–	+
Мидовая кислота	–	+
$\alpha$ -Гидроксимасляная кислота	+	+
Азелаиновая кислота	+	+
Арахидоновая кислота	–	+
Ацетоуксусная кислота	+	+
Бегеновая кислота	+	+
Гексакозановая кислота	+	+
Генейкозановая кислота	+	+
Гептадекановая кислота	+	+
Гептандиовая кислота	–	+
Гидантоиновая кислота	–	+
Глутаровая кислота	+	+
Каприловая кислота	+	+
Каприновая кислота	+	+
Капроновая кислота	+	+
Коричная кислота	+	+
Лауриновая кислота	+	+
Левулиновая кислота	+	+
Линолевая кислота	+	+
Масляная кислота	+	+
Миристиновая кислота	+	+
Нонадекановая кислота	+	+
Олеиновая кислота	+	+
Пальмитиновая кислота	–	+
Пальмитолеиновая кислота	+	+

## Окончание таблицы

Вещество	Анализ без гидролиза	Анализ с гидролизом
Пеларгоновая кислота	+	+
Пентадекановая кислота	+	+
Пентокозановая кислота	+	+
Пропановая кислота	+	+
Себациновая кислота	–	+
Сорбиновая кислота	–	+
Стеариновая кислота	+	+
Субериновая кислота	+	+
Тетрадеценная кислота	+	+
Элаидиновая кислота	+	+
<i>транс</i> -Аконитовая кислота	–	+
Тридекановая кислота	+	+
Уксусная кислота	+	–
Циклогексанкарбоксии кислота	–	+
Циклопропанкарбоновая кислота	+	–
<i>цис</i> -10-Гептадеценная кислота	+	+
<i>цис</i> -10-Нонадеценная кислота	+	+
Петрозелиновая кислота	+	+
Щавелевая кислота	+	+
Яблочная кислота	+	+
Янтарная кислота	+	+
Спирты		
L-Треитол	–	+
Бутандиол-1,2	+	+
Бутандиол-1,4	+	–
Маннит	+	+
Стигмастерол	+	+
Сахара		
L-Фукоза	–	+
Фураноза	–	+
Другие вещества		
$\gamma$ -Кротонолактон	+	+
Ацетамид	+	+
Эрукамид	+	+
Этаноламин	–	+

извлекаются кислоты. В данном случае нельзя однозначно сказать, что кислоты содержатся в слоевищах ламинарии японской в свободном виде, так как в условиях СВЭ мог протекать гидролиз липидов. Установлено [17], что ламинария вносит некоторый вклад в появление жирных пятен на поверхности моря за счет имеющихся в ней жиров. Согласно [18], в ламинарии содержится порядка 0,2—0,9 % жирного масла. Вероятность гидролиза липидов во время СВЭ отчасти подтверждается наличием в экстрактах помимо жирных кислот двух-, четырех- и шестиатомных спиртов. Четырехатомный спирт трейтол идентифицируется только после гидролиза, это говорит о том, что в экстракте он присутствует в виде сложных эфиров.

Состав обнаруженных в экстрактах кислот разнообразен: обнаружены насыщенные, моно-, ди- и триненасыщенные карбоновые кислоты, фенольные кислоты, аминокислоты, двух- трехосновные кислоты. В составе ламинарии японской описано 27 средне- и длинноцепочечных жирных кислот, содержащих 12—24 углеродных атома, идентифицированных в хлороформно-метанольном экстракте [10]. В нашей работе в СВЭ обнаружено более 40 жирных кислот (см. таблицу). Интересно то, что были найдены редко встречающиеся в растительном сырье пентадекановая и мидовая кислоты. Сорбиновая и азе-лаиновая кислоты придают СВЭ ламинарии способность сохраняться продолжительное время без добавления искусственных консервантов. В [9] говорится об обнаружении в экстракте ламинарии японской 18 аминокислот. В СВЭ мы определили только глутаминовую кислоту из указанных в [7, 9], а также пироглутаминовую кислоту, которую ранее не описывали в составе экстракта ламинарии японской. Вполне вероятно, что использованная методика анализа не позволила обнаружить другие аминокислоты.

Найденная после гидролиза L-фукоза говорит о присутствии в экстрактах полисахарида фукоидина, который состоит из молекул L-фукозы, связанных  $\alpha$ -1,2-гликозидной связью [6]. Также в полученных водных экстрактах был обнаружен спирт маннит, присутствие которого характерно для ламинарии японской [6, 9, 10]. Интересно присутствие в водном экстракте ламинарии эрукамида, который является липидным биорегулятором. Этаноламин, идентифицированный после гидролиза, участвует в образовании амидов жирных кислот [19].

Наличие в составе экстракта иода и других ценных компонентов переводит продукты, получаемые из ламинарии японской, в разряд необходимых для употребления. К сожалению, ламинария и продукты на ее основе имеют специфический запах и вкус, поэтому многим они не нравятся, и особенно детям. Хорошим вариантом иодсодержащего продукта является мармелад, который можно приготовить из полученных СВЭ ламинарии, модифицировав состав ягодными соками или экстрактами трав, перебивающими специфический вкус ламинарии.

Попытка изготовить мармелад без дополнительного добавления агар-агара оказалась неудачной. При этом объемный продукт не образовывался, экстракт высыхал с образованием толстой пленки, поскольку количества альгиновых кислот и агар-агара, содержащихся в экстракте, было недостаточно для получения мармелада. Поэтому мармелад был изготовлен по описанному выше классическому рецепту, но вместо воды использовали субкритический водный экстракт ламинарии. В результате получен мармелад, обладающий плотной студенистой структурой, сохраняющий свою форму, имеющий запах и цвет СВЭ ламинарии.

Из 20 см<sup>3</sup> экстракта изготовлено 4 единицы мармеладного продукта со средней массой 6 г. Содержание иода в полученных образцах равно 2,40 мг при использовании неразбавленного экстракта. Учитывая нормы суточной потребности организма в йоде (120–150 мкг) [20], количество безопасного употребления полученного мармелада ограничено 1/20 шт. в день.

Поэтому можно с успехом разбавлять экстракт ламинарии при изготовлении мармелада, например, соками. Они улучшат вкус и запах продукта и придадут такому мармеладу дополнительные полезные свойства.

Кроме того, на основе субкритического водного экстракта ламинарии можно изготавливать морской чай «Фитомарин», рецепт которого описан в публикации [13].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максимальное извлечение иода происходит при экстракции водой при температуре 150 °С и давлении 5 МПа; при этом средняя концентрация иода составляет 0,48 мг/мл экстракта.

Установлено, что в ходе экстракции происходит полное извлечение иода из слоевищ ламинарии японской, однако в режиме динамической экстракции только около 45 % иодсодержащих соединений переходят в экстракт, остальная часть остается в слизи, формирующейся вокруг частиц ламинарии при проведении процесса экстракции.

На извлечение альгиновых кислот температура не оказывает особого влияния, их содержание в полученных экстрактах составляет 11 %.

Качественный анализ полученных экстрактов показал, что помимо иода и альгиновых кислот субкритическая вода извлекает из ламинарии японской жирные и фенольные кислоты, полисахариды, спирты.

При реализации функциональных продуктов питания на основе субкритических водных экстрактов ламинарии необходимы обязательные рекомендации по объему потребления готового продукта.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы развития Самарского университета на 2021–2030 гг. в рамках программы «Приоритет-2030».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дефицит иода — угроза здоровью и развитию детей России. Национальный доклад / И.И. Дедов, Г.А. Мельниченко, Е.А. Трошина, Н.М. Платонова, Ф.М. Абдулхабирова, Л.Н. Шатнюк, Б.П. Апанасенко, С.Р. Кавтарадзе, М.И. Арбузова, Ф.А. Джатоева. НИИ питания РАМН. М., 2006. 124 с.
2. Герасимов Г.А. // Проблемы Эндокринологии. 2002. Т. 48. № 6. С. 7. DOI: 10.14341/probl11695.
3. Волощенко Л.В., Шевченко Н.П. // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. Т. 66. № 12. Ч. 5. С. 68. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.143
4. Орлова О.Ю., Пилипенко Т.В., Нилова Л.П., Никулина М.В. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 4. С. 26.
5. Маюрникова Л.А., Кожевникова А.Ю., Килина И.А., Новоселов С.В. // Ползуновский вестник. 2019. № 3. С. 63.

6. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара: ООО «Офорт», 2007.
  7. Saravana P.S., Jae Hyung Choi, Yong Beom Park, Hee Chul Woo, Byung-Soo Chun // Algal Research. 2016. V. 13. P. 246. DOI: 10.1016/j.algal.2015.12.004
  8. Hervé C., De Franco P.-O., Groisillier A., Tonon T., Boyen C. // Biochem. J. 2008. Vol. 412. No 3. P. 535. DOI: 10.1042/BJ20071464
  9. Савчук И.А. // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 20.
  10. Клочков А.А., Клочкова Н.Г. // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 5—6. С. 19.
  11. Аминина Н.М. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2007. № 1. С. 24.
  12. Боголищын К.Г., Каплищын П.А., Ульяновский Н.В., Пронина О.А. // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 153. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-issledovanie-himicheskogo-sostava-buryh-vodorosley-belogo-morya>.
  13. Вафина Л.Х., Подкорытова А. В. // Известия ТИПРО. 2009. Т. 156. С. 348. <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-produkty-funktsionalnogo-pitaniya-na-osnove-bioaktivnyh-komponentov-buryh-vodorosley>.
  14. Платонов И.А., Никитченко Н.В., Онучак Л.А., Арутюнов Ю.И., Куркин В.А., Смирнов П.В. // Сверхкритические Флюиды: Теория и Практика. 2010. Т. 5. № 3. С. 67.
  15. ГОСТ 26185-84. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. Введение. 1984-01-01. М.: Стандартиформ, 1984. 34 с.
  16. ГОСТ 33331-2015. Водоросли, травы морские и продукция из них. Методы определения массовой доли воды, золы и посторонних примесей. Введение. 2017-01-01. М.: Стандартиформ, 2017. 10 с.
  17. Barbosa M., Fernandes F., Pereira D.M., Azevedo I. C., Sousa-Pinto I., Andrade P.B., Valentão P. // Arab. J. Chem. 2020. Vol. 13. No 1. P. 45.
  18. Velimirov B. // Botanica Marina. 1979. Vol. 22. P. 237. DOI: 10.1515/botm.1979.22.4.237.
  19. Безуглов В.В., Бобров М.Ю., Арчаков А.В. // Биохимия. 1998. Т. 63. № 1. С. 27.
  20. <https://77.rospotrebnadzor.ru/index.php/press-centr/186-press-centr/10285-jod-v-organizme-cheloveka>.
- 
- 

## SUBCRITICAL WATER EXTRACTS OF LAMINARIYA JAPANESE AS A POTENTIAL BASIS FOR FUNCTIONAL NUTRITION

**L.V. Pavlova** — Samara University. Samara, Russia. ORCID: 0000-0003-1741-1845. E-mail: [lora-pavlova@mail.ru](mailto:lora-pavlova@mail.ru) (for correspondence).

**I.A. Platonov** — Samara University. Samara, Russia. E-mail: [pia@ssau.ru](mailto:pia@ssau.ru)

**G.A. Pushkarev** — Samara University. Samara, Russia. E-mail: [pushkarevga@gmail.ru](mailto:pushkarevga@gmail.ru)

---

---

Within the framework of this work, the efficiency of extracting iodine and alginic acids from dry thalli of laminariya japonica (*Saccharina japonica*) with subcritical water at temperatures of 130, 150 and 170 °C in the dynamic extraction mode was evaluated. It has been established that during extraction, iodine is completely extracted from the thallus of laminariya japonica, however, in the dynamic extraction mode, only about 45 % of iodine-containing compounds pass into the extract, the rest remains in the mucus that forms around the particles of laminariya during the extraction process. The obtained extracts of laminariya japonica contain fatty and phenolic acids, alcohols, carbohydrates. Marmalade, made on the basis of a subcritical water extract of kelp weighing about 6 g, contains about 20 daily doses of iodine, can be used as a functional food product.

**Key words:** laminariya japonica *Saccharina japonica*, iodine, alginic acid, subcritical water, extraction, functional nutrition.

---

---

## ACKNOWLEDGMENTS

The work was supported by the funds of the Samara University Development Program for 2021–2030 within the framework of the «Priority 2030» program.

## REFERENCES

1. Deficit ioda — ugroza zdorov'yu i razvitiyu detej Rossii. Nacional'nyj doklad / I.I. Dedov, G.A. Mel'nichenko, E.A. Troshina, N.M. Platonova, F.M. Abdulhabirova, L.N. SHatnyuk, B.P. Apanasenko, S.R. Kavtaradze, M.I. Arbizova, F.A. Dzhatoeva. NII pitaniya RAMN. M., 2006 (*in Russ.*).
2. Gerasimov G.A. // Problemy Endokrinologii. 2002. Vol. 48. No 6. P. 7. DOI: 10.14341/probl11695 (*in Russ.*)
3. Voloshchenko L.V., Shevchenko N.P. // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2017. Vol. 66. № 12. Ch. 5. P. 68. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.143 (*in Russ.*)
4. Orlova O.Yu., Pilipenko T.V., Nilova L.P., Nikulina M.V. // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv», 2015. No 4. P. 26 (*in Russ.*).
5. Mayurnikova L.A., Kozhevnikova A.Yu., Kilina I.A., Novoselov S.V. // Polzunovskiy Bulletin. 2019. No 3. P. 63 (*in Russ.*).
6. Kurkin V.A. Pharmacognosy. Samara: OOO «Ofort», 2007 (*in Russ.*).
7. Saravana P.S., Jae Hyung Choi, Yong Beom Park, Hee Chul Woo, Byung-Soo Chun // Algal Research. January 2016. Vol. 13. P. 246. DOI: 10.1016/j.algal.2015.12.004
8. Hervé C., De Franco P.-O., Groisillier A., Tonon T., Boyen C. // Biochem. J. 2008. Vol. 412. No 3. P. 535. DOI: 10.1042/BJ20071464
9. Savchuk I.A. // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. No 4. P. 20 (*in Russ.*).
10. Klochkov A.A. Klochkova N.G. // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. 2007. No 5–6. P. 19 (*in Russ.*).
11. Aminina N.M. // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya. Food technology. 2007. No 1. P. 24 (*in Russ.*).
12. Bogolitsyn K.G., Kaplitsin P.A., Ulyanovsky N.V., Pronina O.A. // Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 2012. No 4. P. 153. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-issledovanie-himicheskogo-sostava-buryh-vodorosley-belogo-morya> (*in Russ.*).
13. Vafina L.Kh., Podkorytova A.V. // Izvestiya TINRO. 2009. Vol. 156. P. 348. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-produkty-funktsionalnogo-pitaniya-na-osnove-bioaktivnyh-komponentov-buryh-vodorosley> (*in Russ.*).
14. Platonov I.A., Nikitchenko N.V., Onuchak L.A., Arutyunov Yu.I., Kurkin V.A., Smirnov P.V. // Russ. J. Phys. Chem. B. 2010. Vol. 4. No 8. P. 1211.
15. GOST 26185—84. Vodorosli morskije, travy morskije i produkty ih pererabotki. Metody analiza. Vvedeniye. 1984-01-01. Moskva: Standartinform, 1984, 34 p. (*in Russ.*).
16. GOST 33331—2015. Vodorosli, travy morskije i produkcija iz nih. Metody opredeleniya massovoj doli vo-dy, zoly i postoronnih primesej. Vvedeniye. 2017-01-01. Moskva: Standartinform, 2017, 10 p. (*in Russ.*).
17. Barbosa M., Fernandes F., Pereira D.M., Azevedo I. C., Sousa-Pinto I., Andrade P.B., Valentão P. // Arabian J. Chemistry. 2020. Vol. 13. Iss. 1. P. 45. DOI: 10.1016/j.arabjc.2017.01.015.
18. Velimirov B. // Botanica Marina. 1979. Vol. 22. P. 237. DOI: 10.1515/botm.1979.22.4.237
19. Bezuglov V.V., Bobrov M.Yu., Archakov A.V. // Biochemistry. 1998. Vol 63. No 1. P. 27 (*in Russ.*).
20. <https://77.rospotrebnadzor.ru/index.php/press-centr/186-press-centr/10285-jod-v-organizme-cheloveka> (*in Russ.*).