

**КАМЧАТСКАЯ ЛАМИНАРИЕВАЯ ВОДОРΟΣЛЬ *HEDOPHYLLUM BONGARDIANUM*, КАК ИСТОЧНИК ЙОДА ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РАСТЕНИЕВОДСТВА**

**Н.Г. Ключкова<sup>1</sup>, Н.А. Сизенцов<sup>2</sup>, С.В. Рогатых<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Камчатский государственный университет им В. Беринга,  
г. Петропавловск-Камчатский

**Аннотация.** Рассмотрена функциональная роль йода в жизни растений, животных и человека и причины, вызывающие его дефицит в почвенном покрове Камчатского края и выращиваемой здесь растительной продукции. Решить проблему йодного статуса камчатского населения можно путем использования в региональном растениеводстве местного водорослевого сырья. Изучение содержания йода у одного из массовых видов камчатских ламинариевых – *Hedophyllum bongardianum*, методом спектрофотометрии на фотометре КФК-3-ЗОМЗ показало, что его содержание у растений первого, второго и третьего годов жизни в октябре, в период полной зрелости, составляет в среднем 62,05, 61,52 и 51,57 мг/100 г сырой массы, соответственно. Плотный водный экстракт этого вида, полученный при гидромодуле 1:5, содержал 8 мг/л или 13% от его количества в свежесобранных пластинах второгогодних растений. На основе проведенных исследований *Hedophyllum bongardianum* рекомендован для использования в региональном растениеводстве в качестве источника йода и сырья для получения водных водорослевых экстрактов.

**Ключевые слова:** органический йод, йододефицит, порядок *Laminariales*, *Hedophyllum bongardianum*, йодонакопление

**KAMCHATKA LAMINARIACEAN ALGAE *HEDOPHYLLUM BONGARDIANUM* AS A SOURCE OF IODINE FOR REGIONAL CROP PRODUCTION**

**N.G. Klochkova<sup>1</sup>, N.A. Sizentsov<sup>2</sup>, S.V. Rogatykh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky,  
Partizanskaya Str. 6.

<sup>2</sup> Kamchatsky State Vitus Bering University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranichnaya Str. 4.

**Annotation.** The functional role of iodine in the life of plants, animals, and humans, and the causes of its deficiency in the soil cover of Kamchatka Krai and plant products grown here are considered. The problem of iodine status of the Kamchatka population can be solved by using local algal raw materials in regional crop production. A study of the iodine content of *Hedophyllum bongardianum*, a common Kamchatka laminaria species, using spectrophotometry on a KFK-3-ZOMZ photometer showed that its content in first-, second-, and third-year plants in October, at full maturity, averages 62.05, 61.52, and 51.57 mg/100 g of wet weight, respectively. A dense aqueous extract of this species, obtained at a water ratio of 1:5, contained up to 8 mg/l. Extracts diluted to 0.005-0.01% have a positive growth-stimulating effect on plants. Based on the data obtained, *Hedophyllum bongardianum* is recommended for use in plant growing as a source of iodine.

**Keywords:** organic iodine, iodine deficiency, order *Laminariales*, *Hedophyllum bongardianum*, iodine accumulation

**Введение.** Йод играет важную функциональную роль в жизни подавляющего большинства живых организмов. В растения он поступает, главным образом, из почвы, а к животным и человеку – через воду и продукты питания. В животных организмах и у человека, несмотря на присутствие йода во всех органах и тканях, он концентрируется в щитовидной железе и входит в состав ее тиреоидных гормонов тироксина и трийодтиронина. Функции этих гормонов в настоящее время хорошо известны. Они контролируют рост и дифференцировку тканей, поглощение кислорода, состояние центральной и периферической нервной системы, влияют на скорость метаболизма, теплообразования, жировой, углеводный и белковый обмены, обмен витаминов воды и многих электролитов, повышают тонус мышц, нормализуют когнитивные функции мозга [1].

У наземных растений йод регулирует работу хлоропластов и повышает эффективность усвоения света. Он оказывает заметное влияние на азотный, углеводный, энергетический и водный обмены, повышая в тканях и клетках растений содержание связанной воды. Он также оказывает существенное влияние, окислительно-восстановительные процессы, биосинтез пигментов, рост и плодоношение растений, на ферментативную активность, особенно в самые ранние периоды онтогенеза, повышает устойчивость сельскохозяйственных культур к неблагоприятным факторам среды и фитопатогенам [2].

Дефицит йода также обладает многочисленными негативными последствиями на развитие и формирования живых организмов [3]. У человека и сельскохозяйственных животных он приводит к возникновению эндемических заболеваний. Их широкое распространение в отдельных регионах представляет собой большую медико-социальную проблему и влечет за собой негативные последствия. Возникает йододефицит, прежде всего, в районах с низким содержанием этого элемента в окружающей среде, где йод встречается в виде органических соединений, йодитов и самостоятельных минералов: йодидов металлов, полигалитов, йодатов и периодатов, поступающих из приходящих от океанов воздушных масс [4]. На развитие растений основное воздействие оказывает его содержание в почвенном покрове, где его концентрация зависит от географических, климатических и экосистемных факторов. В связи с высокой пестротой почв разные их типы содержат разное количество йода. Его содержание менее 1 мг/кг, говорит о крайнем йододефиците. На Камчатке, где в почвенном покрове равнин доминируют слоисто-охристые, слоисто-пепловые вулканические почвы [5], его содержание, сопоставимо или даже еще меньше, чем в дерново-подзолистых супесчаных почвах, где оно достигает в среднем всего 0,86 мг/кг [6].

Дефицит йода особенно характерен для кислых, слабо гумифицированных, легких почв. На Камчатке его усиливает затяжное весеннее снеготаяние и обильные летние осадки, способствующие активному выщелачиванию этого элемента. При постоянном дефиците йода в почвах, естественно, уменьшается его содержание в продуктах растениеводства камчатских производителей. Это, наряду с крайне низкой минерализацией природных вод обостряет проблему йодного статуса камчатского населения.

Одним из наиболее рациональных и экологически безопасных путей решения проблемы дефицита йода является широкое применение в региональном растениеводстве природной органики, в частности водорослевых удобрений из местных камчатских водорослей, характеризующихся высоким разнообразием биологически активных органических и минеральных веществ, а также производство на основе местного водорослевого сырья йодсодержащих микроудобрений и стимуляторов роста растений. В качестве последних могут использоваться водные экстракты морских макрофитов. Определенным препятствием для решения этой задачи является слабая изученность химического состава у видов камчатской альгофлоры и отсутствие информации по содержанию йода у разных видов, разновозрастных генераций, сезонной динамики его накопления.

Эффективность использования водорослевых препаратов, в частности жидких экстрактов в качестве источников йода напрямую зависит от его содержания у представителей

камчатской альгофлоры и полученных из них водных экстрактах. С целью получения информации по этим вопросам было определено содержания йода у разновозрастных представителей одного из наиболее массовых видов ламинариевых *Hedophyllum bongardianum* (Postels et Ruprecht) Yendo в фазу активного спороношения. В настоящей статье обсуждаются результаты, полученные в ходе этого исследования.

**Материалы и методы.** Свежие образцы упомянутого выше вида были собраны 2.10.2025 г. у побережья юго-восточной Камчатки в горле Авачинской губы в районе кекуров Три Брата на глубине 6 м. В ходе их камеральной обработки они были разделены на три возрастные группы. Каждая из них далее была подвергнута морфометрической обработке, в ходе которой у растений измеряли длину, максимальную ширину и массу пластинчатой части слоевищ, длину, толщину и массу черешков, массу ризоидов. Далее из собранных растений каждой возрастной группы были подготовлены пробы для определения содержания в них йода и пробы для получения водного экстракта. Для этого использовали среднюю часть пластин фертильных растений второго года жизни. Оставшиеся образцы были высушены до содержания в них влаги 18-20% и отправлены на хранение.

Для получения водного экстракта использовали замороженные пластины *H. bongardianum* второго года жизни. Предварительно их измельчили. Полученную водорослевую массу залили подогретой до 40°C дистиллированной деионизированной водой в соотношении 1: 3 и экстрагировали при той же температуре в течение суток. Полученный экстракт до проведения анализа на содержание в нем йода хранился в холодильнике.

Определение йода было проведено методом йодометрии и спектрофотометрии на фотометре КФК-3-ЗОМЗ в соответствии с ГОСТ 28458-90 [7]. При этом вместо хлороформа использовали четыреххлористый углерод.

**Результаты и их обсуждение.** Морская бурая водоросль *H. bongardianum* принадлежит порядку Laminariales, семейству Laminariaceae. Она – одна из четырех известных для прикамчатских вод видов рода *Hedophyllum* и 18 распространенных здесь видов ламинариевых водорослей. Ее слоевище представлено упругой, эластичной, рассеченной на лопасти пластиной до 5,4 м длины и 60 см ширины и не более 3 мм толщины. При этом краевая часть пластин всегда толще, чем центральная. Черешок, упругий, шероховатый, в зависимости от условий обитания и возраста его длина меняется, но он всегда вальковатый или слегка уплощенный в самой верхней трети. Ризоиды хрящеватые, компактные, отходят по всей окружности черешка, имеют вееровидно расширяющиеся концы.

В ненарушенной среде *H. bongardianum* вегетирует три года [8]. Пика созревания и спороношения достигает в октябре. Пластины, сформировавшиеся в текущем году в поздне-осенний и зимний периоды, в отличие от большинства других ламинариевых водорослей не подвергаются разрушению. Их деградация наблюдается только в конце мая – начале июня следующего года после высыпания из них созревших зооспор и формирования новой сеголетней пластины. В связи с такими особенностями биологии развития вид имеет растянутый период спороношения и не столь выраженные сезонные колебания индивидуальной массы пластин. В течение всего года *H. bongardianum* постоянно присутствует и доминирует в береговых выбросах. Этому способствуют механизмы саморегуляции плотности популяций и гидродинамическое воздействие, особенно сильное в весеннее и осеннее время.

Определением общих запасов данного вида по всему его ареалу специально никто не занимался. По неопубликованным данным сотрудников ВНИРО В.А. Штрика и Д.М. Милютина, максимальная биомасса *H. bongardianum* в Олюторском заливе достигает 52 кг /м<sup>2</sup>, плотность поселения – 80 экз. /м<sup>2</sup>, а запасы оценены в 20 тыс. т [9]. У северных Курильских островов эти показатели достигают 128 кг /м<sup>2</sup>, 60-75 тыс. т (Огородников, 2003). У побережья юго-восточной Камчатки плотность поселения достигает 5-50 экз./м<sup>2</sup>, а масса одного зрелого слоевища – 2,5 кг [10]. Эти данные свидетельствуют о том, что Камчатский регион в

достаточной мере обеспечен водорослевым сырьем. К этому добавим, что в ряде районов его добычу во время отливов можно вести с берега, а выбросы этого вида, даже потрепанные и потерявшие свежесть, можно собирать для компостирования и получения йодсодержащих, ростостимулирующих и адаптогенных водорослевых препаратов. Ниже в таблице приведены результаты изучения размерно-массовых характеристик разновозрастных растений *H. bongardianum*, использовавшихся нами для определения йода и данные по его у них содержанию. Из нее видно, что в середине осени, в октябре, разные по возрасту представители вида достаточно заметно различались размерами и массой разных частей слоевища. Разным у них оказалось и содержание йода. Оно, как это видно из табл. 1, уменьшается по мере увеличения возраста растений. Так, разница в количестве между сеголетами и растениями второго года жизни составляет всего 0,5291 мг/100 г, а между сеголетками и трехлетними растениями – 10,4755 мг/100 г, что составляет 17%.

Таблица 1

Содержание йода в пластинах разновозрастных представителей *Hedophyllum bongardianum* и ее средние размерно-массовые показатели в горле Авачинской губы в период полной зрелости

Возрастная группа	Содержание йода в 100 г сырой массы пластин, мг	Размерно-массовые показатели слоевищ				
		Длина пластины, см	Длина черешка, см	Ширина пластины, см	Масса пластины, г	Масса черешка, г
Первый год	62,0476	73-299	6,5-16,0	7-19	55-177	2-8
		150,3±7,2	8,13±2,2	11,56±	106,5±	3,3
Второй год	61,5185	69-227	7-14,5	9-23,5	95-305	2,5-9,5
		168±6,4	8,9±2,6	15,2±	192,6	3,1
Третий год	51,5721	67-187	7-22,5	15,2-48	103-461	5-26,5
		103± 5,6	9,6±1,9	23,9±	242,6	9,7

Объяснить такие возрастные изменения в содержании йода можно особенностями биологии развития *H. bongardianum*. Ее изучение, проведенное Т.Н. Королевой [8], показало, что к концу вегетации растения третьего года жизни вступают в размножение намного раньше, чем сеголетки и второгодние растения. При этом они имеют самый высокий коэффициент фертильности пластин, отражающий соотношение площади спороносной ткани к общей площади фотосинтетической поверхности пластин. По мере выхода зооспор пластинчатая часть слоевища этого вида постепенно, в большей мере, чем в тоже самое время растения других возрастных групп, теряет накопленные в период созревания пластические вещества. Завершая цикл развития, пластины *H. bongardianum* активно экскретируют их в окружающую среду как экзометаболиты. В самом конце вегетации – последней декаде ноября, начале декабря, плотность сцепления трехлетних слоевищ с субстратом сильно ослабевает и волнением они выбрасываются на берег. К этому времени количество пластических веществ у них становится самым минимальным за весь сезон вегетации. Такая стратегия популяционного развития вида обеспечивает его потомство и остающуюся часть попяляции полноценным видоспецифическим органотрофным питанием.

Логично предположить, что с зооспорами и экзометаболитами пластины трехлетних растений в первую очередь теряют низкомолекулярные соединения, к числу которых относятся вещества, аккумулирующие основное количество органического йода – аминокислота **L-Тирозин** и содержащие ее водорастворимые белки. Возможно, именно поэтому в октябре количество йода у самой взрослой генерации меньше, чем у остальных. Высокое содержание у *H. bongardianum* йода в осеннее время позволяет использовать их для получения йодсодержащих водорослевых препаратов. Это могут быть компостированные под воздействием микробного консорциума и некомпостированные водорослевые удобрения

[11] и сухие и жидкие экстракты. В последние, судя по полученным нами данным, может переходить до 8% от количества, содержащегося в свежих образцах *H. bongardianum*.

Благотворное воздействие экстрактов на развитие самых разных наземных растений было показано множеством авторов [12]. Заметное положительное воздействие на наземные растения, в частности на всхожесть и энергию прорастания семян зерновых культур, оказывает их стимуляция растворами йодида калия в концентрации 0,005-0,02% [13]. Наши ранее проведенные исследования по определению ростостимулирующего воздействия экстракта *H. bongardianum* на развитие семян *Vigna radiata* показали его наибольшую ростостимулирующую активность при разведении до 10% [14].

### Заключение

Проведенное нами исследование, таким образом, свидетельствуют о том, что камчатский вид *H. bongardianum* к концу вегетации накапливает значительное количество йода, в том числе органически связанного, переходящего в водорослевые экстракты. Его содержание у разновозрастных растений в это время разное, но достаточное для того, чтобы считать данный вид ценным сырьем для использования в региональном растениеводстве для устранения йоддефицита в производимой на Камчатке растительной продукции.

**Благодарность.** Настоящая работа выполнена по теме гранта РФФИ «Разработка технологии извлечения биостимуляторов роста растений из камчатских морских водорослей. Апробация их роста- и иммунопротекторного воздействия на выращиваемые на Камчатке тепличные культуры» (№ 25-26-20128; eLIBRARY ID: 80590890, EDN: DASANC).

### Литература

1. Delange F. Iodine requirements during pregnancy, lactation and the neonatal period and indicators of optimal iodine nutrition // Public Health Nutr. – 2007. – Vol. 10. – Pp. 1571-1580.
2. Анслок П.И. Микроудобрения: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
3. Свиридонова М.А. Дефицит йода, формирование и развитие организма. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. – 2014. – Т. 10. – №1. – С. 9-20.
4. Шеуджен А.Х. Агробиогеохимия. 2-е изд., перераб. и доп. – Краснодар: КубГАУ. 2010. 877 с.
5. Соколов И.А. Вулканизм и почвообразование (на примере Камчатки). М.: Наука. 1973. 224 с.
6. Побилат А.Е., Волошин Е.И. Мониторинг йода в системе «почва – растение» (Обзор). Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 10. – С. 101-108.
7. ГОСТ 28458-90. Корма растительные. Метод определения йода. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 8 с.
8. Королева Т.Н. Развитие бурой водоросли *Saccharina bongardiana* и адаптация к антропогенному загрязнению. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2010. 122 с.
9. Суховеева М.В., Подкорытова А.В. Промысловые водоросли и травы морей Дальнего Востока: биология, распространение, запасы, технология переработки. – Владивосток: ТИНРО-центр, 2006. – 243 с.
10. Огородников В.С. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов. Дис. ... канд. биол. наук. – Петропавловск-Камчатский, 2007. – 174 с.
11. Ключкова Н.Г., Березовская В.А. Водоросли Камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 153 с.
12. Ржевская В.С., Омельченко С.О., Омельченко А.В. Влияние компоста черноморских водорослей на рост и развитие гороха. Материалы конференции «Экологическая физиология

водных фототрофов: распространение, запасы, химический состав и использование» // X Сабининские чтения. 2023. URL: <http://algology.ru/599>.

13. Шибаета Т.Г., Шерудило Е.Г., Титов А.Ф. Экстракты морских водорослей как биостимуляторы растений // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2021. № 3. С. 36-67.

14. Степанова О.В., Синдирева А.В., Вешкурцева С.С., Вранеско В.С. Экологическая оценка действия йода на начальные показатели роста и развития зерновых культур // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 2. – С. 33-38.

15. Клочкова Н.Г., Матвеева Е.В. Воздействие водного экстракта камчатской бурой водоросли *Hedophyllum bongardinum* (Laminariales) на прорастание семян *Vigna radiata* (Fabales). Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: сб. науч. статей XXVI Всерос. научн. конф. (г. Петропавловск-Камчатский, 12-13 ноября 2025). Петропавловск-Камчатский; М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2025. С. 205-210.