

УДК 581.1

О ВОЗМОЖНОМ ПРИМЕНЕНИИ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ *LAMINARIA DIGITATA* ИЗ БЕЛОГО МОРЯ В КАЧЕСТВЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ РАСТЕНИЙ

Т. Г. Шибаева*, Е. Г. Шерудило, А. А. Рубаева, И. А. Лёвкин,
А. Ф. Титов

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *shibaeva@krc.karelia.ru

В отечественной промышленности основными компонентами, извлекаемыми из бурых водорослей, являются манит, альгиновая кислота и ее соли. Остальные компоненты водорослей в настоящее время классифицируют как отходы. Однако вторичные продукты переработки бурых водорослей, как показывает мировая практика, вполне пригодны для дальнейшей биотехнологической переработки и использования. Учитывая это, нами в условиях контролируемой внешней среды исследовано влияние экстракта ламинарии (отхода производства) (ТУ 10.39.30-025-41669896-2019) на прорастание семян и рост проростков огурца и пшеницы, используемых в качестве тест-объектов, в оптимальных условиях и в условиях солевого стресса (NaCl 150 mM). Сбор ламинарии пальчаторассеченной *Laminaria digitata* (Huds.) Lamouroux производился в акватории Соловецкого архипелага в Белом море. Результаты экспериментов выявили потенциально возможный биостимулирующий эффект экстракта применительно к растениям. Эффект проявлялся при малых концентрациях раствора экстракта (0,25–10 мл/л) и зависел от способа воздействия на растения (предпосевная обработка семян, внесение в среду при проращивании семян или в раствор для гидропонного выращивания). При использовании более высоких концентраций раствора экстракта (50 мл/л и выше) у растений наблюдалось выраженное ингибирование ростовых процессов. Обсуждаются возможные причины стимулирующего и ингибирующего действия экстракта ламинарии на прорастание семян и рост проростков растений и сделан вывод о необходимости дальнейшей проработки ряда методических вопросов, касающихся их применения на практике.

Ключевые слова: Белое море; биостимуляторы растений; *Laminaria digitata*; отходы производства; экстракти водорослей

Для цитирования: Шибаева Т. Г., Шерудило Е. Г., Рубаева А. А., Лёвкин И. А., Титов А. Ф. О возможном применении отходов переработки *Laminaria digitata* из Белого моря в качестве биостимуляторов растений // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 8. С. 196–204. doi: 10.17076/eco2253

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0004) и научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

**T. G. Shibaeva*, E. G. Sherudilo, A. A. Rubaeva, I. A. Levkin, A. F. Titov.
ON THE POSSIBLE USE OF WHITE SEA *LAMINARIA DIGITATA* PROCESSING
WASTES AS PLANT BIOSTIMULANTS**

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *shibaeva@krc.karelia.ru*

In the Russian industry, the main components extracted from brown seaweeds are manitol, alginic acid, and its salts. Other seaweed components are currently classified as waste. However, by-products of brown seaweed processing, as demonstrated by global practice, are quite suitable for further biotechnological processing and use. The effect of kelp extract (industrial waste, specifications TU 10.39.30-025-41669896-2019) on seed germination and growth of seedlings in cucumber and wheat, used as test objects, was studied in a controlled environment, both under optimal conditions and under salt stress (NaCl 150 mmol). *Laminaria digitata* (Huds.) Lamouroux were collected in waters of the Solovetsky Archipelago in the White Sea. The experimental results indicate a potential biostimulating effect of the extract on plants. The effect was evident at low concentrations (0.25–10 ml/L) and depended on the method of application (seed priming, addition to the seed germination medium, or hydroponic growing solution). Higher concentrations (50 ml/L and above) caused significant inhibition of plant growth. Possible causes of the stimulating and inhibiting effects of kelp extract on seed germination and plant seedling growth are discussed.

Keywords: industrial waste; kelp; plant biostimulant; seaweed extract; White Sea

For citation: Shibaeva T. G., Sherudilo E. G., Rubaeva A. A., Levkin I. A., Titov A. F. On the possible use of White Sea *Laminaria digitata* processing wastes as plant biostimulants. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 8. P. 196–204. doi: 10.17076/eco2253

Funding. This study was supported by the federal budget (Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, FMEN-2022-0004) and the Center of Excellence in Research and Education “Russian Arctic: New Materials, Technologies and Research Methods”.

Введение

Одним из способов минимизации негативного влияния растениеводства на окружающую среду является повышение эффективности химических удобрений и, соответственно, снижение объемов их применения. Для достижения этой цели возможно использование вспомогательных веществ биологического происхождения – биостимуляторов, применение которых в растениеводстве позволяет увеличивать продуктивность растений и улучшать качество урожая. В последние годы в группе веществ, являющихся природными биостимуляторами, заметно усиливается внимание к экстрактам морских водорослей [Rouphael, Colla, 2020; Arioli et al., 2015], которые уже сейчас занимают около 15 % объема мирового рынка биостимулирующих препаратов. В частности, они хорошо известны как вещества, способные не только повышать продуктивность растений, но и смягчать действие абиотических стрессов. В настоящее время экстракты морских водорослей получают из нескольких видов макроводорослей, которые в зависимости от применяемых методов и способов экстракции позво-

ляют получать сложные смеси биологически активных веществ. Наиболее часто в сельском хозяйстве используются бурые водоросли родов *Ascophyllum*, *Fucus* и *Laminaria* [Du Jardin, 2015]. В России имеются большие запасы различных видов морских водорослей, добыча которых традиционно осуществляется на Дальнем Востоке (Японское море), Курильских островах, Сахалине, в Приморье, Охотском и Белом морях. Исследования ламинариевых и фукусовых водорослей Белого и Японского морей подтвердили общее сходство их химического состава с характерным для этих таксономических групп содержанием полисахаридов, витаминов, жирных полиеновых кислот, ауксинов и гиббереллинов, практически одинаковых и тех же первичных и вторичных метаболитов, богатого состава микро- и макроэлементов [Боголицын и др., 2012; Клочкова и др., 2019]. Это дает основание считать, что беломорские водоросли являются хорошим ресурсом для производства экстрактов со свойствами биостимуляторов растений. Однако при общем сходстве химического состава бурых водорослей из разных морей есть определенные различия, имеющие принципиальное значение

при оценке перспектив применения их экстрактов в сельском хозяйстве. Так, установлено, что содержание в них полифенольных соединений значительно варьирует в зависимости не только от вида бурых водорослей, но и от места их произрастания [Боголицын и др., 2019]. Например, виды, произрастающие в водах арктических морей, отличаются высоким содержанием флотанниновой фракции. При этом содержание полифенолов в арктических водорослях может в десятки раз превышать таковое в водорослях тех же видов из южных морей [Клиндух, Облучинская, 2013; Боголицын и др., 2018]. Это обстоятельство делает арктические водоросли потенциально ценным сырьем и говорит о перспективности использования содержащихся в них полифенольных соединений в пищевой и косметической промышленности, а также в фармакологии. В то же время высокое содержание полифенолов и их выраженная биологическая активность, характер которой весьма разнообразен, требуют особого внимания и тщательной разработки способов и методов применения экстрактов бурых водорослей в сельском хозяйстве (с учетом возможного ингибирования роста растений под влиянием содержащихся в экстрактах фенолов).

В российской промышленности основными компонентами, извлекаемыми из бурых водорослей, являются манит, альгиновая кислота и ее соли. Остальные компоненты водорослей в настоящее время классифицируют как отходы [Наумов и др., 2015]. Однако вторичные продукты переработки бурых водорослей, как показывает мировая практика, вполне пригодны для дальнейшей биотехнологической переработки и использования.

Учитывая вышесказанное, нами в условиях контролируемой внешней среды исследовано влияние экстракта ламинарии (отхода альгинатного производства) (ТУ 10.39.30-025-41669896-2019) на прорастание семян и рост проростков огурца и пшеницы, используемых в качестве тест-объектов, в оптимальных условиях и в условиях солевого стресса.

Материалы и методы

Экстракт ламинарии (ТУ 10.39.30-025-41669896-2019) является отходом производства и представляет собой темно-коричневую жидкость плотностью 1,3–1,4 г/см³ с pH 4 и массовой долей золы к сухому веществу 34 %. Сбор ламинарии пальчаторассеченной *Laminaria digitata* (Huds.) Lamouroux производился в акватории Соловецкого архипелага в Белом море. *Laminaria digitata* – вид бурых водорослей из

рода ламинария, образующий обширные заросли у открытых берегов на глубине 4–10 м. Высокая биологическая активность ламинарии обусловлена органическими и минеральными соединениями: полисахаридами, аминокислотами, витаминами A, D, B₂, E, минеральными веществами (I, Br, Fe, Ca, Mg, P, S), а также хлорофиллом и жирными кислотами [Боголицын и др., 2012].

В качестве тест-объектов использовали огурец *Cucumis sativus* L. с. Кураж и пшеницу *Triticum aestivum* L. с. Алтайская 70.

Эксперименты с семенами проводили двумя способами: 1) путем замачивания сухих семян в растворах экстракта (концентрации 0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 100 мл/л), 2) путем проращивания семян, предварительно обработанных растворами экстракта (концентрации 1, 5, 10, 50, 100 мл/л) на дистиллированной воде. В первом случае сухие семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге на растворах экстрактов разной концентрации. Во втором случае предпосевную обработку семян осуществляли путем их механического перемешивания в растворах экстрактов в объеме 200 и 400 мкл на 2,5 г семян пшеницы и 100 мкл на 0,25 г семян огурца соответственно до равномерного распределения раствора на поверхности. Затем семена выдерживали при температуре 23 °C в течение 24 ч, после чего их помещали в чашки Петри с 5 мл дистиллированной воды.

Для создания солевого стресса применяли 150 mM раствор NaCl. Семена проращивали в чашках Петри с 5 мл дистиллированной воды (контроль) или раствора NaCl без или с добавлением экстрактов.

Растения пшеницы выращивали в течение двух недель в гидропонных сосудах, заполненных растворами экстракта в разных концентрациях (0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2,5; 5 мл/л). В каждом сосуде было по 16 растений. В качестве контроля использовали дистиллированную воду.

Все эксперименты проводили в климатических камерах Vötsch (Германия) при температуре 23 °C, влажности воздуха 70 %; интенсивность света в разных опытах составляла 0 (при проращивании семян) или 150 мкмоль/(м² с) ФАР (при выращивании растений на гидропонике).

Электропроводность растворов измеряли с помощью кондуктометра Эксперт-002 («Эконикс-Эксперт», Россия), а pH – с помощью pH-метра Hanna HI-98199 (Hanna Instruments Ltd., Великобритания).

Биометрические измерения растений включали определение длины корня и гипокотиля, высоты растения, сырого и сухого веса побегов и корней. Биометрические параметры оценивали

на 3, 5 (нормальные условия) и 8-е сутки (стрессовые условия). Энергию прорастания семян определяли на третьи сутки в двух пробах по 50 семян.

В работе представлены средние значения и их стандартные ошибки. Достоверность различий между средними значениями определяли на основе дисперсионного анализа (LSD-тест) при $p < 0,05$ с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Для установления концентрационной зависимости влияния экстракта ламинарии на рост и развитие растений изучали его влияние в диапазоне концентраций 0–100 мл/л (табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют о том, что растворы экстракта ламинарии

в концентрации 1–5 мл/л оказывают ростостимулирующий эффект, что проявилось в увеличении длины гипокотиля и сырого веса проростков огурца. Растворы экстракта в концентрации от 5, 10 и 25 мл/л замедляли рост корней проростков по сравнению с контролем, раствор экстракта в концентрации 50 мл/л ингибировал рост корней и побега, а при использовании концентрации 100 мл/л наблюдалось полное подавление прорастания семян (рис. 1).

Изучение влияния экстракта ламинарии на всхожесть семян и ростовые показатели проростков в условиях солевого стресса (150 mM NaCl) показало, что присутствие в солевом растворе экстракта ламинарии в диапазоне концентрации от 0,25 до 1 мл/л ослабляет негативное действие хлорида натрия на рост проростков (рис. 2, 3).

Таблица 1. Значения pH, электропроводности растворов и биометрические показатели проростков *Cucumis sativus* в зависимости от концентрации раствора экстракта ламинарии

Table 1. The values of pH, electrical conductivity of solutions and biometric parameters of *Cucumis sativus* seedlings depending on the concentration of the *Laminaria* extract solution

Концентрация раствора экстракта, мл/л Concentration of extract solution, ml/l	pH	Электропроводность раствора, мСм/см Electrical conductivity of the solution, mS/cm	Длина корня, мм Root length, mm	Длина гипокотиля, мм Hypocotyl length, mm	Сырой вес проростка, г Fresh weight of seedling, g
0 – контроль 0 – control	6,3	0,07	70,5 ± 2,3 ^a	24,6 ± 1,9 ^b	0,75 ± 0,03 ^b
0,5	6,1	0,23	70,2 ± 2,0 ^a	24,5 ± 1,7 ^b	0,73 ± 0,02 ^b
1	6,1	0,42	67,0 ± 6,0 ^a	29,4 ± 2,6 ^a	1,08 ± 0,15 ^a
2,5	6,0	1,08	61,8 ± 4,6 ^a	30,3 ± 3,7 ^a	0,97 ± 0,16 ^a
5	5,9	2,13	40,8 ± 2,3 ^b	27,4 ± 2,1 ^a	0,81 ± 0,03 ^a
10	5,8	4,10	36,2 ± 2,2 ^b	25,3 ± 2,3 ^b	0,67 ± 0,05 ^b
25	5,5	9,48	21,6 ± 1,0 ^c	8,2 ± 1,2 ^c	0,36 ± 0,03 ^c
50	5,4	14,9	2,0 ± 1,0 ^d	-	-
100	5,1	29,2	-	-	-

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 разные буквы указывают на достоверность различий между средними значениями при $p < 0,05$.

Note. Here and in Tables 2, 3 different letters for each plant species indicate significant differences between the mean values at $p < 0.05$.



Рис. 1. Проростки *Cucumis sativus* в оптимальных условиях (23 °C) при проращивании в чашках Петри с растворами экстракта ламинарии разной концентрации (5 сут)

Fig. 1. *Cucumis sativus* seedlings under optimal conditions (23 °C) during germination in Petri dishes with *Laminaria* extract solutions of various concentrations (5 days)

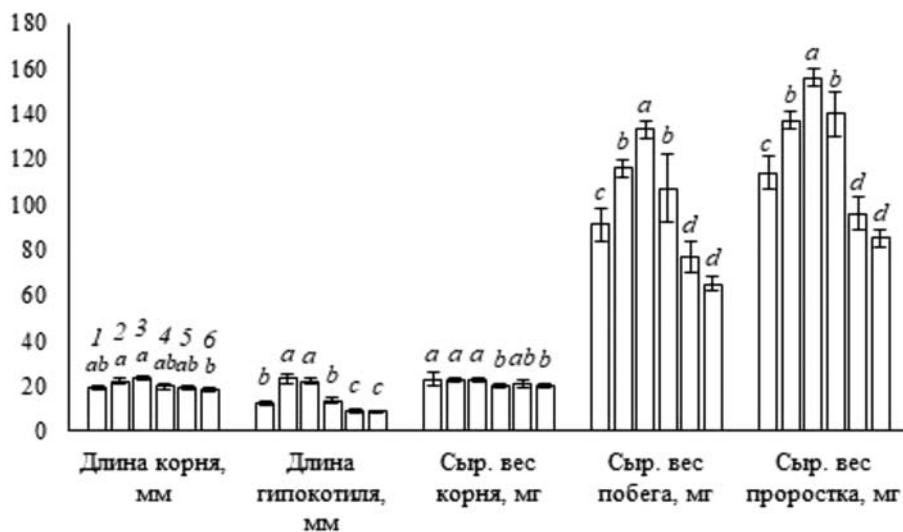


Рис. 2. Биометрические показатели проростков *Cucumis sativus* в условиях солевого стресса при проращивании в чашках Петри с раствором NaCl (150 мМ) (1) и с добавлением раствора экстракта ламинарии разной концентрации (мл/л): 2 – 0,25; 3 – 0,5; 4 – 1; 5 – 2; 6 – 3

Fig. 2. Biometric parameters of *Cucumis sativus* seedlings under salt stress during germination in Petri dishes with NaCl (150 mmol) (1) and with the addition of *Laminaria* extract solutions of various concentrations (ml/l): 2 – 0.25; 3 – 0.5; 4 – 1; 5 – 2; 6 – 3



Рис. 3. Проростки *Cucumis sativus* в условиях солевого стресса при проращивании в чашках Петри с раствором NaCl (150 мМ) и раствором экстракта ламинарии разной концентрации (8 сут)

Fig. 3. *Cucumis sativus* seedlings under salt stress during germination in Petri dishes with NaCl (150 mmol) and *Laminaria* extract solutions of various concentrations (8 days)

Результаты опытов с предпосевной обработкой семян (семена обрабатывали растворами экстракта в течение 24 ч и затем прорашивали на дистиллированной воде) показали значительный ростостимулирующий эффект такой обработки семян огурца и пшеницы при использовании концентрации раствора 1, 5 и 10 мл/л, тогда как растворы в концентрации 50 и 100 мл/л хотя и не снижали энергию прорастания по сравнению с контролем, но оказывали ингибирующее действие на рост корня и побегов огурца и пшеницы (табл. 2, рис. 4).

Серия экспериментов, проведенная на растениях пшеницы, выращенных гидропонным способом в контейнерах, при добавлении экстрактов в водную среду показала, что растворы экстрактов в концентрации 0,25–0,5 мл/л оказывают небольшое ростостимулирующее действие, которое проявилось в увеличении сырого и сухого веса побега (табл. 3, рис. 5). Растворы экстрактов в концентрации 0,75–5 мл/л оказывали ингибирующее действие на рост корней.

Таким образом, результаты экспериментов указывают на наличие биостимулирующего

Таблица 2. Энергия прорастания семян, длина корня и длина побега проростков *Cucumis sativus* и *Triticum aestivum*, выросших из семян, прошедших предпосевную обработку растворами экстракта ламинарии разной концентрации

Table 2. Seed germination energy, root length and shoot length of *Cucumis sativus* and *Triticum aestivum* seedlings grown from seeds pre-treated with *Laminaria* extract solutions of various concentrations

Концентрация раствора экстракта, мл/л Concentration of extract solution, ml/l	Энергия прорастания семян, % Seed germination energy, %	Длина корня, мм Root length, mm	Длина побега, мм Shoot length, mm
<i>Cucumis sativus</i>			
0 – контроль 0 – control	70 ± 2 ^b	56,5 ± 2,1 ^b	14,5 ± 1,3 ^b
1	91 ± 3 ^a	69,1 ± 2,0 ^a	19,2 ± 1,2 ^a
5	92 ± 3 ^a	66,9 ± 2,8 ^a	21,8 ± 1,6 ^a
10	87 ± 2 ^a	69,2 ± 2,6 ^a	21,7 ± 1,7 ^a
50	81 ± 3 ^a	58,2 ± 2,3 ^b	13,0 ± 2,1 ^b
100	73 ± 4 ^b	50,4 ± 2,2 ^c	9,9 ± 2,2 ^c
<i>Triticum aestivum</i>			
0 – контроль 0 – control	82 ± 4 ^a	35,9 ± 2,2 ^a	23,7 ± 1,3 ^b
1	87 ± 4 ^a	39,6 ± 2,7 ^a	26,9 ± 0,9 ^a
5	80 ± 5 ^a	43,3 ± 2,0 ^b	27,4 ± 0,8 ^a
10	88 ± 7 ^a	42,9 ± 1,9 ^b	21,2 ± 1,0 ^b
50	87 ± 2 ^a	31,6 ± 1,3 ^b	21,7 ± 1,5 ^b
100	83 ± 8 ^a	27,9 ± 1,9 ^c	18,3 ± 0,7 ^c



Рис. 4. Проростки *Cucumis sativus* (слева) и *Triticum aestivum* (справа), выросшие из семян, прошедших предпосевную обработку растворами экстракта ламинарии разной концентрации (5 сут)

Fig. 4. *Cucumis sativus* (left) and *Triticum aestivum* (right) seedlings grown from seeds pre-treated with *Laminaria* extract solutions of various concentrations (5 days)

Таблица 3. Биометрические показатели растений *Triticum aestivum*, выращенных на гидропонике с использованием растворов экстракта ламинарии разной концентрации

Table 3. Biometric parameters of *Triticum aestivum* plants grown hydroponically using *Laminaria* extract solutions of various concentrations

Концентрация раствора экстракта, мл/л Concentration of extract solution, ml/l	Высота растения, см Plant height, cm	Длина корня, см Root length, cm	Сырой вес побега, мг Fresh weight of shoot, mg	Сухой вес побега, мг Dry weight of shoot, mg	Сырой вес корня, мг Fresh weight of root, mg	Сухой вес корня, мг Dry weight of root, mg
0 (K)	20,9 ± 0,5 ^a	16,3 ± 0,8 ^a	134 ± 8 ^b	22 ± 2 ^b	91 ± 6 ^a	10 ± 1 ^a
0,1	19,6 ± 0,5 ^a	15,1 ± 0,5 ^a	139 ± 6 ^b	26 ± 3 ^{ab}	80 ± 5 ^a	11 ± 2 ^a
0,25	19,7 ± 0,7 ^a	13,9 ± 0,7 ^a	150 ± 12 ^a	33 ± 3 ^a	84 ± 7 ^a	11 ± 1 ^a
0,5	20,3 ± 0,3 ^a	13,2 ± 0,9 ^a	160 ± 8 ^a	30 ± 3 ^a	76 ± 5 ^a	10 ± 1 ^a
0,75	21,7 ± 0,5 ^a	6,9 ± 0,4 ^c	150 ± 11 ^a	34 ± 3 ^a	66 ± 5 ^b	8 ± 1 ^a
1	19,0 ± 0,4 ^{ab}	5,6 ± 0,3 ^c	150 ± 7 ^b	35 ± 6 ^a	60 ± 6 ^b	8 ± 1 ^a
2,5	18,6 ± 0,6 ^{ab}	6,3 ± 0,3 ^c	145 ± 7 ^b	31 ± 2 ^a	60 ± 4 ^b	9 ± 1 ^a
5	17,4 ± 0,7 ^b	6,2 ± 0,4 ^c	124 ± 6 ^c	24 ± 1 ^b	55 ± 5 ^b	7 ± 1 ^a

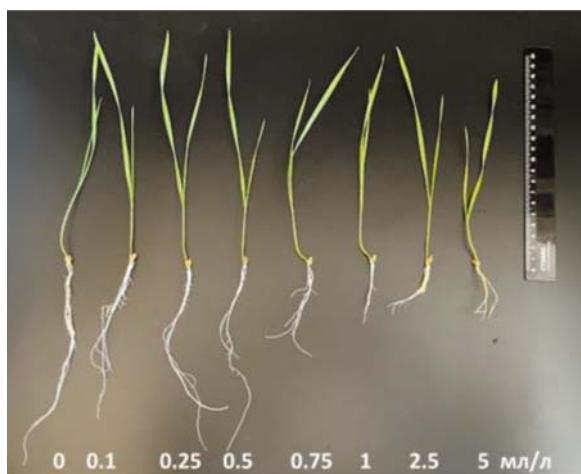


Рис. 5. Растения *Triticum aestivum*, выращенные на гидропонике с использованием растворов экстракта ламинарии разной концентрации

Fig. 5. *Triticum aestivum* plants grown hydroponically using *Laminaria* extract solutions of various concentrations

эффекта экстракта, являющегося продуктом переработки ламинарии, применительно к растениям. Эффект проявляется при использовании малых концентраций раствора экстракта (0,25–10 мл/л) и зависит от способа воздействия на растения (предпосевная обработка семян, внесение в среду при проращивании семян или в раствор для гидропонного выращивания). Важно, что при более высоких концентрациях раствора экстракта (50 мл/л и выше) у растений наблюдается выраженное ингибирование ростовых процессов. Сложность состава биостимуляторов на основе морских водорослей затрудняет прямую его связь с наблюдаемыми полезными свойствами [Di Stasio et al., 2020]. Они обычно содержат, в зависимости от способа экстракции, различные количества незаменимых или полезных минеральных питательных веществ, пигментов, витаминов, аминокислот, бетаинов и других растворенных веществ, таких как маннит, фенольные соединения, включая флоротаннины с антиоксидантной и металлохелатирующей активностью, фитогормоны и фитогормоноподобные соединения, а также растворимые биоактивные полисахариды, наиболее важными из которых являются фукоиданы, ламинарины и альгиновая кислота [Battacharyya et al., 2015; El Boukhari et al., 2020; Ali et al., 2021; Nanda et al., 2022]. В нашем случае экстракт ламинарии содержал в своем составе набор минеральных веществ (K, Mg, Ca, Fe, Na, Mn, Cd) и 16 аминокислот. Необходимо обратить внимание, что электропро-

водность растворов экстракта при концентрации 2,5–5 мл/л (1,1–2,1 мСм/см) соответствует диапазону этого показателя для питательного раствора, подходящего для выращивания растений (0,5–2,5 мСм/см), но более высокие концентрации раствора экстракта значительно выходят за пределы нормального диапазона. Так, раствор экстракта в концентрации 10 мл/л имел электропроводность 4,1 мСм/см, а 100 мл/л – 29,2 мСм/см. Это означает, что одна из причин положительного влияния экстракта ламинарии на рост растений может быть связана с обеспечением их необходимым комплексом макро- и микроэлементов, отсутствующим в дистиллированной воде (контроле). В то же время это не исключает влияния биологически активных веществ, содержащихся в экстракте. Что касается ингибирующего действия экстракта в более высоких концентрациях, то это может быть связано с чрезмерно высокой электропроводностью раствора, обусловленной высоким содержанием веществ в экстракте, а возможно, является результатом экзогенного действия на растения полифенолов, содержащихся в экстракте. Как уже отмечалось, содержание полифенолов в арктических водорослях может в десятки раз превышать таковое в водорослях тех же видов в более южных водах произрастания [Клиндух, Облучинская, 2013; Боголицын и др., 2018]. Например, содержание полифенолов в фукусе пузырчатом в прибрежных водах Дании составляет 1 мас. %, Норвегии – 11–13 мас. %, а в Баренцевом и Белом морях – 15,4–18,6 мас. %. Стоит также отметить, что в большинстве описанных в литературе и в настоящем исследовании случаев положительного или отрицательного влияния экстрактов или отходов альгинатного или маннитного производства на растения надежно не установлено, какое именно вещество, содержащееся в водорослевом экстракте, вызвало ту или иную реакцию растений. Не исключено, что их воздействие было комплексным. Это обуславливает необходимость дальнейшего накопления научных данных относительно тех или иных свойств биостимуляторов из отечественного водорослевого сырья и проведения лабораторных и полевых испытаний на местных сельскохозяйственных культурах с целью дальнейшего их использования в практическом растениеводстве.

Заключение

Быстрый рост населения, наблюдавшийся во второй половине XX и начале XXI веков, сопровождается, с одной стороны, увеличением

потребностей в продуктах питания, а с другой, значительным сокращением пахотных земель и деградацией почв. Так, согласно отчету ООН, только в Европе ежегодно теряется 970 миллионов тонн плодородных почв, а во всем мире – примерно 24 миллиарда тонн из-за эрозии и методов, не отвечающих современным требованиям ведения сельского хозяйства. Для того чтобы минимизировать негативные последствия действия указанных факторов, требуется разработка новых агрорешений, направленных на создание функциональных и устойчивых систем ведения сельского хозяйства. В последние годы они постоянно предлагаются, расширяя набор способов и методов, повышающих эффективность сельскохозяйственного производства. К их числу можно отнести и применение экстрактов морских водорослей, представляющих собой новый класс агроресурсов, который вызывает особый интерес как у производителей сельскохозяйственной продукции, так и ученых. Источниками экстрактов являются, как отмечено во введении, макрофиты, населяющие прибрежные районы Мирового океана, где существуют подходящие для них субстраты и условия внешней среды. Однако, как показывают исследования, в том числе и наше, использование экстрактов, являющихся отходами переработки водорослей, требует серьезной методической проработки. Она, в частности, включает в себя выявление эффективных концентраций растворов экстрактов, способа обработки ими растений, установление особенностей в реакции разных культур на обработку, включая возможные отдаленные во времени последствия. Наконец, очень важно установление того вещества (или группы веществ), которое обуславливает эффект биостимуляции. Только получение такого рода данных, позволяющих обоснованно судить о всех аспектах влияния экстрактов бурых водорослей Белого моря на растения, позволит в дальнейшем успешно применять их на практике.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Литература

Боголицын К. Г., Дружинина А. С., Овчинников Д. В., Каплицин П. А., Шульгина Е. В., Паршина А. В. Полифенолы бурых водорослей // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 5–21. doi: 10.14258/jcprm.2018031898

Боголицын К. Г., Дружинина А. С., Овчинников Д. В., Паршина А. В., Шульгина Е. В., Турова П. Н., Ставрианиди А. Н. Полифенолы арктических бурых водорослей: выделение, полимолекулярный состав // Химия растительного сырья. 2019. № 4. С. 65–75. doi: 10.14258/jcprm.2019045135

Боголицын К. Г., Каплицин П. А., Ульяновский Н. В., Пронина О. В. Комплексное исследование химического состава бурых водорослей Белого моря // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 153–160.

Клиндух М. П., Облучинская Е. Д. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 3. С. 466–471.

Клочкива Т. А., Климова А. В., Клочкива Н. Г. Перспективы использования камчатских ламинариевых водорослей в региональном растениеводстве // Вестник КамчатГТУ. 2019. № 48. С. 90–103. doi: 10.17217/2079-0333-2019-48-90-103

Наумов И. А., Буркова Е. А., Канарская З. А., Канарский А. В. Водоросли – источник биополимеров, биологически активных веществ и субстрат в биотехнологии. Часть 2. Биотехнологическая переработка водорослей // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 2. С. 198–203.

Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production // Plants. 2021. Vol. 10. Art. 531. doi: 10.3390/plants10030531

Arioli T., Mattner S. W., Winberg P. C. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future // J. Appl. Phycol. 2015. Vol. 27. P. 2007–2015. doi: 10.1007/s10811-015-0574-9

Battacharyya D., Babgohari M. Z., Rathor P., Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture // Sci. Hortic. 2015. Vol. 196. P. 39–48. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.012

El Boukhari M. E. M., Barakate M., Bouhia Y., Lyamlouli K. Trends in seaweed extract based biostimulants: manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems // Plants (Basel). 2020. Vol. 9(3). Art. 359. doi: 10.3390/plants9030359

Di Stasio E., Cirillo V., Raimondi G., Giordano M., Esposito M., Maggio A. Osmo-priming with seaweed extracts enhances yield of salt-stressed tomato plants // Agronomy. 2020. Vol. 10(10). Art. 1559. doi: 10.3390/agronomy10101559

Du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation // Sci. Hortic. 2015. Vol. 196. P. 3–14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

Nanda S., Kumar G., Hussain S. Utilization of seaweed-based biostimulants in improving plant and soil health: current updates and future prospective // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2022. Vol. 19. P. 12839–12852. doi: 10.1007/s13762-021-03568-9

Rouphael Y., Colla G. Editorial: biostimulants in agriculture // Front. Plant Sci. 2020. Vol. 11. doi: 10.3389/fpls.2020.00040

References

Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications

towards sustainable crop production. *Plants*. 2021;10:531. doi: 10.3390/plants10030531

Arioli T., Mattner S. W., Winberg P. C. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *J. Appl. Phycol.* 2015;27:2007–2015. doi: 10.1007/s10811-015-0574-9

Battacharyya D., Babgohari M. Z., Rathor P., Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic.* 2015;196:39–48. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.012

Bogolitsyn K. G., Druzhinina A. S., Ovchinnikov D. V., Kaplitsin P. A., Shul'gina E. V., Parshina A. V. Polyphenols of brown seaweeds. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chem. Plant Raw Materials*. 2018;3:5–21. (In Russ.). doi: 10.14258/jcprm.2018031898

Bogolitsyn K. G., Druzhinina A. S., Ovchinnikov D. V., Parshina A. V., Shul'gina E. V., Turova P. N., Stavridi A. N. Polyphenols of Arctic brown seaweeds: extraction and polyphenol composition. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chem. Plant Raw Materials*. 2019;4:65–75. (In Russ.). doi: 10.14258/jcprm.2019045135

Bogolitsyn K. G., Kaplitsyn P. A., Ul'yanovskii N. V., Pronina O. V. Comprehensive study of the chemical composition of brown seaweed in the White Sea. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chem. Plant Raw Materials*. 2012;4:153–160. (In Russ.)

El Boukhari M. E. M., Barakate M., Bouhia Y., Lyamlioui K. Trends in seaweed extract based biostimulants: manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plants (Basel)*. 2020;9(3):359. doi: 10.3390/plants9030359

Di Stasio E., Cirillo V., Raimondi G., Giordano M., Esposito M., Maggio A. Osmo-priming with seaweed extracts enhances yield of salt-stressed tomato plants. *Agronomy*. 2020;10(10):1559. doi: 10.3390/agronomy10101559

Du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.* 2015;196:3–14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

Klindukh M. P., Obluchinskaya E. D. Comparative study of the chemical composition of brown seaweeds *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*. *Vestnik MGTU = Herald of MSTU*. 2013;16(3):466–471. (In Russ.)

Klochkova T. A., Klimova A. V., Klochkova N. G. Prospects of using laminarian algae from Kamchatka in the regional horticulture. *Vestnik KamchatGTU = Bulletin of Kamchatka State Technical University*. 2019;48: 90–103. (In Russ.)

Nanda S., Kumar G., Hussain S. Utilization of seaweed-based biostimulants in improving plant and soil health: current updates and future prospective. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2022;19:12839–12852. doi: 10.1007/s13762-021-03568-9

Naumov I. A., Burkova E. A., Kanarskaya Z. A., Kanarsky A. V. Algae – a source of biopolymers, biologically active substances and a substrate in biotechnology. Part 2. Biotechnological processing of algae. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin Kazan Technol. Univ.* 2015;18(2):198–203.

Rouphael Y., Colla G. Editorial: Biostimulants in agriculture. *Front. Plant Sci.* 2020;11. doi: 10.3389/fpls.2020.00040

Поступила в редакцию / received: 07.11.2025; принята к публикации / accepted: 26.11.2025.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Шибаева Татьяна Геннадиевна

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: shibaeva@krc.karelia.ru

Шерудило Елена Георгиевна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: sherudil@krc.karelia.ru

Рубаева Александра Александровна

аспирант

e-mail: arubaeva@krc.karelia.ru

Лёвкин Илья Александрович

аспирант

e-mail: levkin-556@mail.ru

Титов Александр Федорович

чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, профессор, руководитель лаборатории экологической физиологии растений

e-mail: titov@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Shibaeva, Tatyana

Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher

Sherudilo, Elena

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

Rubaeva, Alexandra

Doctoral Student

Levkin, Ilya

Doctoral Student

Titov, Alexander

RAS Corr. Fellow, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Head of Laboratory