



Биотехнологическая переработка водорослевых остатков, образующихся после извлечения сульфатированных полисахаридов из красных водорослей-макрофитов

Научная статья
УДК 668.393.51

<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-3-139-152>
EDN: LKFNWZ

Игнатова Татьяна Анатольевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий, Москва, Россия
E-mail: ignatova@vniro.ru

Межонов Андрей Викторович – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе
E-mail: mezhonov@vniro.ru

Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»)

Березина Марина Олеговна – ведущий специалист лаборатории прибрежных исследований, Государственный научный центр Российской Федерации Северный филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Архангельск, Россия
E-mail: berezina@severn.vniro.ru

Автор всех фотографий: Т.А. Игнатова

Адреса:

1. Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО») – Россия, 105187, г. Москва, Окружной проезд, 19
2. Государственный научный центр Российской Федерации Северный филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО») – Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 17

Аннотация. В работе представлены данные по исследованию химического состава водорослевых остатков, образующихся после извлечения из водорослей сульфатированных полисахаридов. Показана необходимость использования дополнительных компонентов для корректировки соотношения C:N, при составлении компостной смеси на основе водорослевых остатков. Установлено, что «всхожесть» семян и «масса салата» зависят от вида используемого водорослевого остатка, состава компостной массы и соотношения водорослевого остатка:грунт. Разработаны рецептуры компостных смесей на основе водорослевых остатков, тестирование которых показало эффективность их применения при выращивании кресс-салата, редьки и редиса.

Ключевые слова: водорослевые остатки, химический состав, биотехнология, микроорганизмы, компосты, всхожесть, кресс-салат, редис, редька

Для цитирования: *Игнатова Т.А., Межонов А.В. Березина М.О.* Биотехнологическая переработка водорослевых остатков, образующихся после извлечения сульфатированных полисахаридов из красных водорослей-макрофитов // Рыбное хозяйство. 2026. № 3. С. 139-152.
<https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-3-139-152>

BIOTECHNOLOGICAL PROCESSING OF ALGAL RESIDUES FORMED AFTER EXTRACTION OF SULFATED POLYSACCHARIDES FROM RED MACROPHYTE ALGAE

Tatiana A. Ignatova – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Moscow, Russia

Andrey V. Mezhonov – Candidate of Technical Sciences, deputy director for scientific work, Moscow, Russia

State Science Center of the Russian Federation Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO)

Marina O. Berezina – Leading specialist of the coastal research laboratory, State Science Center of the Russian Federation North branch of the Federal State Budget Scientific Institution «Russian Research Institute of Fisheries and oceanography» North branch of «VNIRO» («Severnnyy»), Arkhangelsk, Russia

Addresses:

1. **State Science Center of the Russian Federation Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO)** – Russia, 105187, Moscow, Okružnoy proezd, 19
2. **State Science Center of the Russian Federation North branch of the Federal State Budget Scientific Institution «Russian Research Institute of Fisheries and oceanography» North branch of «VNIRO» («Severnnyy»)** – Russia, 163002, Arkhangelsk, st. Uritskogo, 17

Annotation. This paper presents data on the chemical composition of algal residues formed after the extraction of sulfated polysaccharides from algae. The need for additional components to adjust the C:N ratio when composting algal residue-based mixtures is demonstrated. It was found that seed germination and lettuce yield depend on the type of algal residue used, the composition of the compost mass, and the algal residue-to-soil ratio. Recipes for compost mixtures based on algal residues were developed, and testing demonstrated their effectiveness in growing watercress, radishes, and horseradish.

Keywords: algal residues, chemical composition, biotechnology, microorganisms, composts, germination, watercress salad, radish

For citation: Ignatova T.A., Mezhonov A.V. Berezina M.O. 2026. Biotechnological processing of algal residues formed after extraction of sulfated polysaccharides from red macrophyte algae // Fisheries. No. 3. Pp. 139-152. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2026-3-139-152>

Рисунки и таблицы – авторские / The drawings and tables were made by the author

ВВЕДЕНИЕ

Основными продуктами переработки красных водорослей являются сульфатированные полисахариды, такие как агар и каррагинан. В результате извлечения из водорослей этих ценных полисахаридов образуются водорослевые остатки, выход которых изменяется от 16% до 89% сухого водорослевого остатка к массе сухой водоросли, в зависимости от вида водоросли. На сегодняшний день разработаны ряд технологий переработки водорослевых остатков. Из водорослевых остатков (ВО) анфельции, фуцеллярии и филлофоры можно получать порошок для силосования, содержащий 30% белка и такие элементы как кальций, магний, железо. ВО анфельции можно использовать для получения гидролизатов, испытание которых показало их успешное применение в кормлении сельскохозяйственных животных и в звероводстве пушных животных [1].

В сельском хозяйстве водоросли и водорослевые остатки также нашли применение [2]. Водоросли используют в качестве компонента, который стимулирует развитие, рост, продуктивность растений и повышает устойчивость их к болезням, а также способствует нормализации почвенного биотопа [3-6].

Одним из примеров использования водорослей и их экстрактов в качестве биостимуляторов являются препараты, полученные из *Karrarhynchus* sp. и *Eucheuma* sp., которые положительно показали себя в качестве средства против фунгицидного стресса в отношении риса [7]. Экстракт *A. tobuchiensis* эффективен для внекорневой обработки томата (гибрид Torrero F1) [8], а удобрение из штормовых выбросов этой водоросли благоприятно оказывает влияние на рост и развитие таких культур как кресс-салат, огурец, салат сорта Московский парниковый [9-12]. В отношении кресс-салата (*Lepidium sativum*) и редиса (*Raphanus sativus*) успешно показал себя компост из штормовых выбросов водорослей, собранных на побережье Балтийского моря [13].

При получении компоста из водорослей и водорослевых остатков эффективным является сочетание их с различными видами отходов,

такими как пшеничная солома, навоз куриный, биоуголь из соломы, сосновая кора, рыбные отходы, яичная скорлупа, меласса и т.д. [14-16]. Водоросли, по сравнению с химическими удобрениями, имеют ряд преимуществ. Они относятся к биоразлагаемым, нетоксичным и не загрязняющим окружающую среду компонентам [3; 17-18].

Таким образом, с целью рационального и комплексного использования водорослевого сырья актуальным является разработка способа биотехнологической переработки водорослевых остатков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении исследований использовали водорослевые остатки, образующиеся после извлечения сульфатированных полисахаридов из видов красных водорослей *Ahnfeltia plicata* (Ap), *Ahnfeltia tobuchiensis* (At), *Chondrus crispus* (Хон), *Furcellaria lumbricalis* (Фур), *Turnerella mertensiana* (Тур), *Coccotylus* sp. (Фил), *Odonthalia dentata* (ОДСе), *Odonthalia corymbifera* (ОДВ), *Vertebrata fucoides* (V), *Tichocarpus crinitus* (Тих), *Ptilota filicina*, *Ptilota asplenoides* (Ne), *Ptilota* sp. (природная смесь *Ptilota serrata* и *Ptilota gunneri*), штормовые выбросы водоросли *A. plicata* (Арв), смесь ВО красных водорослей (КР).

При составлении компостной смеси, кроме водорослевых остатков, использовали такие компоненты как: коровий навоз (нкор), куриный помет (нкур), конский навоз (нкон), опилки хвойные (ох), древесная пыль (пд), смесь рисовой шелухи и лузги подсолнечника (орп), солому пшеничную (сп) и ячменную (ся), шелуху фундука (шф) и арахиса (ша), костру льняную (кл), дробленые сосновые и еловые шишки (ш).

Содержание воды в образцах определяли по ГОСТ 33331 и ГОСТ 26713, а массовую долю общего азота по методу Кьельдаля с применением автоазотоанализатора шведской фирмы FOSS Analytical AB (модель FOSS 2300). Количественное содержание клетчатки в образцах устанавливали с применением метода Кюршнера и Ганека [19]. Определение содержания липидов в образцах проводили, с использо-

ванием метода Сокслета, на автоматическом экстракторе Сокслета фирмы VELP SER 148/6. Содержание золы в образцах определяли путем их сжигания при температуре 500-550 °C и определении массы золы взвешиванием. Содержание углерода в образцах проводили на спектрофотометре Cary 3500 Compact UV-Vis по методу Тюрина [20].

Определение объемной плотности

В стакан объемом 100 мл помещали водорослевый остаток в количестве – до достижения верхней отметки стакана. Затем, помещенные в стакан, водорослевые остатки извлекали и взвешивали. Объемную плотность водорослевого остатка вычисляли путем деления массы водорослевого остатка на объем стакана и выражали г/см³.

Определение водосвязывающей способности (ВСС) образцов проводили при температуре 22±3 °C, путем их замачивания в воде в течение 1 ч, после чего проводили процесс фильтрации через капроновую ткань. В набухших образцах определяли содержание воды. Водосвязывающую способность вычисляли как отношение содержания воды к содержанию сухих веществ в набухшем образце.

Получение водорослевого компоста

При получении компостов использовали коммерческие препараты для компостирования и созревания, применяемые для переработки растительных отходов. Водорослевые остатки смешивали с отходами растениеводства и навозом, в соответствии с рецептурой, а затем добавляли препарат для созревания компоста, предварительно подготовленного,

в соответствии с инструкцией производителя. Полученную смесь помещали в емкость и добавляли воду. В процессе компостирования содержание влаги в смеси поддерживали на уровне 60-70%, посредством дополнительного внесения в неё воды. При проведении компостирования осуществляли аэрирование смеси, путем её перемешивания. Общая продолжительность компостирования составляла двенадцать месяцев.

Тестирование компостов проводили как в работе [21]. В качестве тест-объектов, при тестировании водорослевых компостов, использовали кресс-салат (сорт Дукал), редис (сорт Санг), редька (сорт Чайна Роуз). В качестве контроля, при тестировании компоста, использовали торфяной грунт.

Распределение растений по высоте рассчитывали как процент количества растений конкретной категории высоты растения от общего количества растений в каждой чашке. Прирост биомассы растений вычисляли в процентах относительно контрольного образца. Всхожесть вычисляли в процентах относительно количества посаженных семян.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что выход сухого водорослевого остатка варьируется от 29,7 до 79,0%, в зависимости от вида водоросли (рис. 1).

Анализ химического состава водорослевых остатков показал: наличие в них клетчатки в 1,2-4,7 раз больше, и в 1,2-1,8 раза общего азота, чем в исходном водорослевом сырье (табл. 1).

Содержание золы в красных водорослях уменьшается после выделения из них сульфатированных полисахаридов в 1,2-4,3 раза. Наиболее богатые азотом – ВО *T. mertensiana*, *F. lumbricalis*, *P. filicina* и *O. corymbifera*.

Рациональным для получения компостов является использование штормовых выбросов *A. plicata* (Арв), которые не пригодны для получения агара. Также, в качестве сырья для компостирования, использована смесь водорослевых остатков красных водорослей (КР). По химическому составу КР содержит около 20% золы, 15% клетчатки и 2,85% общего азота, а объемная плотность – 0,176 г/см³.

Анализ элементного состава ВО показал, что наиболее богатыми по микроэлементам являются ВО *Ptilota sp.*, *C. crispus*, *V. fucoides* и Арв. Наибольшее содержание фосфора было установлено в Арв и ВО *F. lumbricalis* (табл. 2).

Для проведения биокомпостирования водорослевых остатков необходимо соблюдение соотношения C:N, составляющее 25-30 [14].

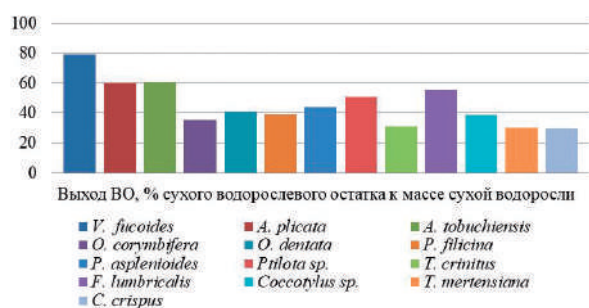


Рисунок 1. Выход водорослевых остатков, образующихся после извлечения из красных водорослей сульфатированных полисахаридов

Figure 1. The release of algal residues formed after extraction of sulfated polysaccharides from red algae

Таблица 1. Химический состав водорослей и водорослевых остатков /
Table 1. Chemical composition of algae and algal residues

Наименование остатка	Наименование показателя			
	воды, %	золы, сух. в-ва	клетчатки, % сух в-ва	общего азота, %
водоросли				
<i>Ahnfeltia plicata</i>	10,1	15,1	16,1	2,74
<i>A. tobuchiensis</i>	8,4	19,4	15,1	3,2
<i>Odonthalia corymbifera</i>	5,7	28,6	6,0	3,00
<i>O. dentata</i>	8,5	21,3	8,1	2,93
<i>Ptilota filicina</i>	7,3	31,0	9,2	3,67
<i>P. asplenioides</i>	7,6	29,1	9,7	3,79
<i>Ptilota sp.</i>	8,5	30,1	11,2	3,58
<i>Vertebrata fucoides</i>	7,3	29,7	13,7	2,63
<i>Tichocarpus crinitus</i>	8,4	30,6	4,6	2,57
<i>Furcellaria lumbricalis</i>	7,9	20,0	3,3	3,78
<i>Coccotylus sp.</i>	7,3	22,2	6,9	2,87
<i>Turnerella mertensiana</i>	9,8	21,7	3,2	3,45
<i>Chondrus crispus</i>	10,4	22,0	2,5	1,94
водорослевые остатки				
<i>A. plicata</i>	9,3	9,1	27,0	4,05
<i>A. tobuchiensis</i>	9,1	13,8	28,6	3,99
<i>O. corymbifera</i>	7,0	6,6	21,1	5,26
<i>O. dentata</i>	8,5	9,6	14,8	3,94
<i>P. filicina</i>	8,7	12,3	23,6	5,25
<i>P. asplenioides</i>	9,0	8,2	25,9	4,72
<i>Ptilota sp.</i>	8,5	15,8	22,0	4,72
<i>V. fucoides</i>	8,6	20,4	17,3	3,25
<i>T. crinitus</i>	4,4	9,4	11,6	3,89
<i>F. lumbricalis</i>	5,7	10,4	12,7	5,90
<i>Coccotylus sp.</i>	4,3	18,6	15,8	4,78
<i>T. mertensiana</i>	4,0	6,1	8,8	6,32
<i>C. crispus</i>	7,5	11,1	11,8	3,50



Таблица 2. Элементный состав водорослевых остатков и штормовых выбросов *A. plicata*, мкг/г / **Table 2.** Elemental composition of algal residues and storm emissions of *A. plicata*, mcg/g

ВО	Наименование элемента											
	K	Na	Ca	P	Mg	B	Cu	Fe	I	Mn	Ni	Zn
<i>F. lumbricalis</i>	22676,7	1613,3	4984,6	1434,1	3778,1	95,14	15,7	391	61,27	123,1	6,997	115
<i>T. crinitus</i>	17643,2	3941,5	3229,3	922,3	4687,3	65,58	14,65	249,6	18,75	32,61	1,335	83,7
<i>C. crispus</i>	15837,7	6515,9	18614,4	998,5	4262,6	57,42	10,79	705,3	102,5	71,13	11,36	179,6
<i>T. mertensiana</i>	18526,8	4362,6	3694,7	1223,1	2117,3	62,6	11,23	225,3	147,6	7,261	1,312	139,7
<i>V. fucoides</i>	14054,1	891,1	25069,6	940,2	1224,2	64,64	11,09	3035,7	163,7	1784,9	3,538	121
<i>A. plicata</i>	11428,6	544,8	9329,2	1175,5	2244,9	91,56	10,68	487,1	249,7	222,2	2,769	89,38
<i>A. tobuchiensis</i>	12188,4	385,6	11529,7	1016,5	1967,8	96,75	11,14	1097,3	771,5	494,1	3,351	49,31
<i>P. filicina</i>	7652,4	1576,1	8959,4	911,5	2405,8	66,35	16,33	1155,1	599,1	970,7	12,3	123,8
<i>Ptilota sp.</i>	8514,2	1071	12217	760,3	2994	65,68	16,49	2620,1	668,7	1654,4	18,31	106,7
<i>P. asplenioides</i>	14269,6	1047,8	6503,2	455,8	1762,8	57,57	10,7	367,4	636,4	126,1	6,51	59,03
<i>O. corymbifera</i>	7171,1	2112,9	5759,5	881,5	1225,3	57,39	12,7	195,6	512,9	18,38	5,6	60,12
<i>O. dentata</i>	11226,3	1099,6	4504,5	555,2	1913,4	51,42	11,43	611,2	386,2	185,5	5,405	67,55
Арв	23179,9	9652,9	4414,2	1530,9	3073,9	221,8	7,55	658,8	210,8	177	2,338	68,26

В связи с этим для исследуемых водорослевых остатков определено содержание общего углерода и азота (табл. 3).

В результате анализа установлено, что соотношение C:N в водорослевых остатках не превышает 8. Учитывая низкие значения данного показателя, необходим подбор определенных компонентов, которые позволят сбалансировать состав компостной смеси. Для обеспечения требуемого соотношения C:N, при составлении смеси для биокомпостирования, необходимо использовать компоненты с высоким содержанием углерода. Для этих целей исследован химический состав различных видов компонентов (табл. 4).

В результате, наибольшее содержание углерода было выявлено в опилках, пыли древесной и шишках. В качестве дополнительного источника микроорганизмов для компостирования целесообразно использовать различные виды навоза, поскольку содержание общего азота у данных компонентов сходно с показателями в водорослевых остатках.

Для обеспечения оптимальных условий протекания компостирования необходимо наличие в составе смеси содержание воды в количестве 60-70% [22]. Для расчета необходимого количества воды, для обеспечения протекания процессов биокомпостирования, определена водосвязывающая способность выбранных компонентов (рис. 2).

Установлено, что большая часть рассмотренных компонентов имеет низкие значения объемной плотности, что указывает на необходимость учитывать данный факт при составлении смеси для компостирования.

Используя значения соотношения C:N в водорослевых остатках и дополнительных компонентах, составлены различные варианты рецептур смесей для компостирования. Всего составлено 80 вариантов компостных смесей.

Проведенный анализ показал, что pH полученных компостов варьирует от 5,5 до 7,6, содержание азота – 0,095-0,419%, клетчатки – 8,6-47,0%, золы – 4,0-39,4%, в зависимости от рецептуры компостной смеси. Выход компостов составил 8-76%.

Из 80 полученных водорослевых компостов случайно выбраны образцы для тестирования



Рисунок 2. Водосвязывающая способность и объемная плотность компонентов для компостирования

Figure 2. Water binding capacity and bulk density of composting components

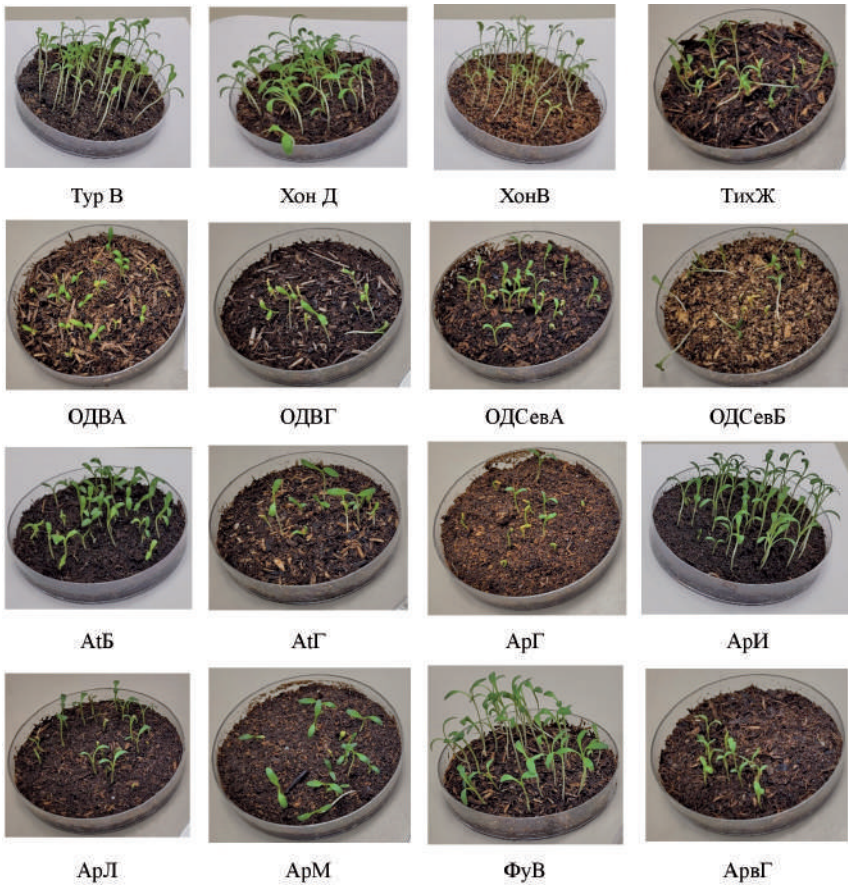


Рисунок 3. Внешний вид ювенильных растений кресс-салата сорта Дука́т при выращивании на разных видах компоста
Figure 3. The appearance of juvenile Ducat cress plants when grown on different types of compost

ния, которое проводили на кресс-салате сорта Дука́т (табл. 5).
Наилучшие результаты по «всхожести» и «массе салата» получены при использовании компостов, изготовленных с использованием водорослевых остатков каррагинофитов (*C. crispus*, *F. lumbricalis*, *T. mertensiana*, *Coccotylus sp.*), *P. asplenoides* и *A. plicata* по рецептуре Ар Д, а самые низкие из агарофитов – *A. plicata* (рецептуры Ар А, Ар Б), *A. tobuchiensis* (рецептуры At А, At В, AtД, At Ж) и штормовых выбросов *A. plicata* (рецептурам Арв Б, Арв Д) (табл. 5). В ходе проведения исследований установлено, что на показатели «масса салата» и его «всхожесть», также влиял состав рецептуры компостной смеси (рис. 3, табл. 5).
При смешивании компостов с грунтом наблюдалось увеличение прироста массы салата и его всхожесть. Следовательно, третьим фактором, оказывающим влияние на выращивание салата, яв-

Таблица 3. Соотношение C:N в водорослевых остатках и штормовых выбросах *A. plicata* / **Table 3.** C:N ratio in algal residues and storm emissions of *A. plicata*

Водорослевый остаток	Содержание, %		C:N
	C	N	
<i>A. plicata</i>	21	3,3	6,5
<i>A. tobuchiensis</i>	23	3,6	6,4
<i>P. filicina</i>	34	4,8	7,0
<i>Ptilota sp.</i>	31	4,3	7,3
<i>P. asplenoides</i>	26	4,3	5,9
<i>O. corymbifera</i>	23	5,1	4,5
<i>O. dentata</i>	21	3,9	5,4
<i>V. fucoides</i>	21	3,2	6,6
<i>T. crinitus</i>	29	3,7	7,8
<i>C. crispus</i>	25	3,2	7,8
<i>T. mertensiana</i>	35	6,1	5,8
<i>F. lumbricalis</i>	36	5,6	6,4
<i>Coccotylus sp.</i>	25	4,6	5,5
Арв	13	2,6	5,0

Таблица 4. Химический состав компонентов для компостирования /
Table 4. Chemical composition of composting components

Наименование компонента	Содержание						Соотношение C:N
	воды, %	золы, сух. в-ва	липиды, % сухого в-ва	клетчатки, % сух в-ва	общего азота, %	углерода, %	
Солома пшеничная	8,5	7,2	1,6	45,0	0,60	53	88
Солома ячменная	8,5	8,5	1,8	48,0	0,81	41	51
Рисовая шелуха+лузга подсолнечника	8,8	8,8	4,9	53,0	0,72	41	57
Шелуха фундука	5,6	1,1	19,1	26,7	1,38	48	35
Шелуха арахиса	3,5	2,1	26,0	19,6	2,21	53	24
Костра льняная	10,6	2,3	13,7	49,0	0,51	44	86
Опилки хвойных деревьев	8,0	0,3	8,2	66,3	0,07	56	800
Пыль древесная	15,5	0,4	4,5	63,0	0,08	46	575
Шишки сосновые и еловые дробленые	14,4	0,7	12,5	52,8	0,27	40	148
Коровий навоз	8,5	14,3	5,9	27,4	5,12	20	4
Конский навоз	9,7	6,6	9,6	37,8	5,23	19	4
Куриный помет	16,4	15,7	7,9	23,1	6,21	22	4

ляется соотношение водорослевого компоста с грунтом, используемого для посадки.

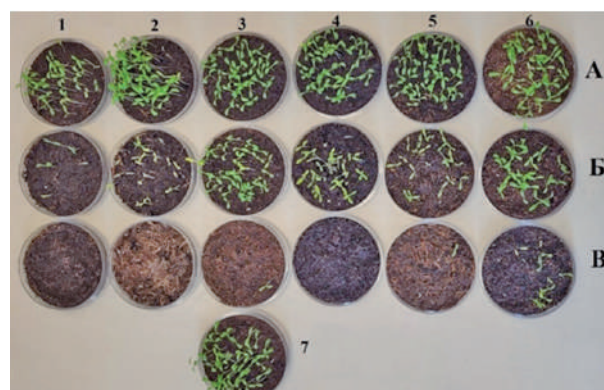
Для компостов, в отношении которых были получены низкие значения показателей «масса салата» и его «всхожесть», проведены исследования по подбору рационального соотношения компост:грунт. Исследования проводили для шести видов компостов, при соотношениях компост:грунт – 1:1, 1:4, 1:9 (рис. 4).

Анализ «всхожести» семян салата в смесях компост:грунт показал, что данный показатель возрастает при увеличении количества грунта. Отмечено превышение всхожести семян относительно контроля для образцов VE, AtM, АрВА, АрМ (рис. 5).

Прирост массы салата, относительно контроля, был отмечен у компостов ОДСевВ (6%), АрМ (8%), АрВА (16%), AtM (21%), VE (47%), при их разбавлении грунтом 1:9.

По показателю «высота растения» большинство проанализированных компостов, разбавленных грунтом, не уступали контролю. Наиболее крупные растения салата (высотой 30-40 мм) были получены при выращивании в компостной смеси с *Vertebrata fucoides* (VE) (табл. 6).

Анализ рядов распределения растений по высоте в пределах каждого образца компоста показал, что большая часть растений относится к двум категориям высоты, а у контрольного образца – к четырем. Данный факт указы-



Соотношение компост:грунт		Наименование образца	
A	1:9	1 - КрВ	4 - АрВА
Б	1:4	2 - VE	5 - AtM
В	1:1	3 - АрМ	6 - ОДСев В
7 - Контроль			

Рисунок 4. Внешний вид кресс-салата Дука́т, в зависимости от вида компоста и соотношения компост:грунт

Figure 4. The appearance of Ducat watercress, depending on the type of compost and the compost ratio:the ground

вает, что большинство растений, выращенных на разбавленном грунтом водорослевым компосте, имеют более однородную высоту, по срав-

Таблица 5. Масса и всхожесть растений кресс-салата /
Table 5. Weight and germination of watercress plants

Наименование компоста	Водорослевый компонент	Дополнительный компонент	Соотношение компост:грунт			
			1:0		1:1	
			Масса салата, г	Всхожесть, %	Масса салата, г	Всхожесть, %
ФурА	Фур (68,2)	сп (27,3), нкор (4,5)	0,1953	32	0,7093	68
ТурА	Тур (58,0)	пд (39,0), нкор (3,0)	0,6316	76	1,3793	86
Тих А	Тих (79,4)	пд (17,6), нкур (3,0)	0,265	42	0,693	75
Тих Б	Тих (79,4)	пд (17,6), нкор (3,0)	0,2506	48	0,4163	66
Тих В	Тих (79,4)	пд (17,6), нкон (3,0)	0,4499	44	0,592	62
Хон Б	Хон (88,0)	ох (10,0), нкон (2,0)	0,3601	70	0,5389	74
Хон Е	Хон (88,0)	ох (12,0)	0,127	44	0,7767	74
Ne	Ne (75,8)	кл (16,6), нкор (7,6)	0,458	72	0,5427	82
ОДСе В	ОДСе (77,0)	ох (25,3), нкур (5,7)	0,0368	14	0,484	28
At А	At (72,7)	шф (24,3), нкор (3,0)	0,1296	30	0,4593	66
At В	At (81,1)	кл (15,5), нкор (3,4)	0,0504	14	0,1552	24
At Д	At (77,4)	ох (19,4), нкор (3,2)	0,2350	32	0,1715	50
At Ж	At (75,0)	шф (25,0)	0,0219	6	0,1235	20
Арв Б	Арв (70,0)	ша (27,0), нкур (3,0)	0,0117	6	0,1351	22
Арв Д	Арв (77,4)	ох (19,4), нкур (3,2)	0,0035	2	0,0397	6
Ар А	Ар (70,4)	ш (25,4), нкур (4,2)	0,0678	14	0,1518	26
Ар Б	Ар (80,6)	кл (14,5), нкур (4,9)	0,0846	24	0,245	44
Ар Д	Ар (70,4)	ш (25,4), нкон (4,2)	0,4098	70	0,6779	78

Примечание: В скобках указано количество компонента в компостной смеси в %

нению с контролем. Также стоит отметить, что при увеличении соотношения водорослевый компост:грунт высота растений уменьшается, что указывает на ингибирующие свойства водорослевых компостов на ростовые процессы. Данный факт, вероятно, связан с высокими концентрациями элементов в водорослевом компосте, которые угнетают рост растений (табл. 6).

Зависимость изменения массы салата и высоты растения от разбавления водорослевого компоста грунтом справедливо не только для рассмотренных шести видов компостов (рис. 6).

Таким образом установлено, что водорослевый компост необходимо перед применением смешивать с грунтом.

Далее были проведены эксперименты по посеву редиса с использованием всех видов полученных компостов. Для каждой группы компостов применялись установленные оптимальные соотношения компост:грунт. Из полученного массива данных по показателям «всхожесть» и «масса салата» были отсеяны образцы компостов, для которых всхожесть растений составила менее 80% и масса салата – менее 3,5 грамм. В результате обработки данных, вы-

явлены восемь наиболее перспективных видов компоста (табл. 7).

Внешний вид растений, выращенных на водорослевых компостах, представлены на рисунке 7.

В результате тестирования компостов наилучшим образом, по показателям «всхожесть» и «масса растений» в отношении трех объектов тестирования, оказался образец компоста,

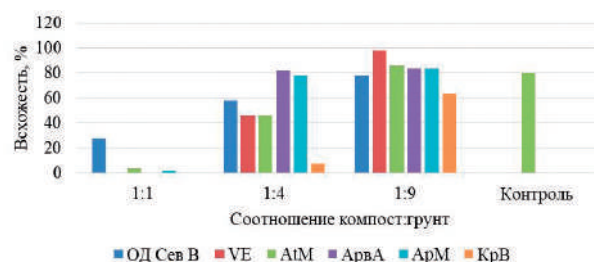


Рисунок 5. Всхожесть кресс-салата Дукал при разном соотношении водорослевого компоста и грунта

Figure 5. The germination of watercress is reduced with a different ratio of algae compost and soil

Таблица 6. Распределение растений салата по высоте в зависимости от вида компоста и его разбавления грунтом / **Table 6.** Distribution of lettuce plants by height depending on the type of compost and its dilution with soil

Компост	Соотношение компост:грунт	Высота растения, мм							
		5	10	15	20	25	30	35	40
ОДСев В	1:1	4	2	2	5	1			
	1:4			1	5	15	8		
	1:9	1			6	8	16	6	2
VE	1:4	1	6	12	3		1		
	1:9		2		6	3	14	11	13
	1:1		1	1					
AtM	1:4			1	14	8			
	1:9				7	17	16	3	
	1:4		5	9	12	4	11		
АрвА	1:9				4	16	20	1	
	1:1						1		
АрМ	1:4	1		3	10	19	6		
	1:9			2	12	26	2		
КрВ	1:4		1	1		1	1		
	1:9		1	2	12	10	7		
Контроль					8	9	14	8	1

полученный из смеси водорослевого остатка *Turnerella mertensiana*, древесной пыли и куриного помета. Элементный анализ данного компоста показал наличие в нем важных для роста растений элементов (табл. 8).

Важным для роста растений является наличие в субстрате для выращивания та-

ких элементов как азот, калий, фосфор. По содержанию данных элементов, полученный компост соответствует требованиям ГОСТ 34102. По содержанию токсичных металлов компост из *T. mertensiana* соответствует требованиям ГОСТ 34102 (табл. 9).



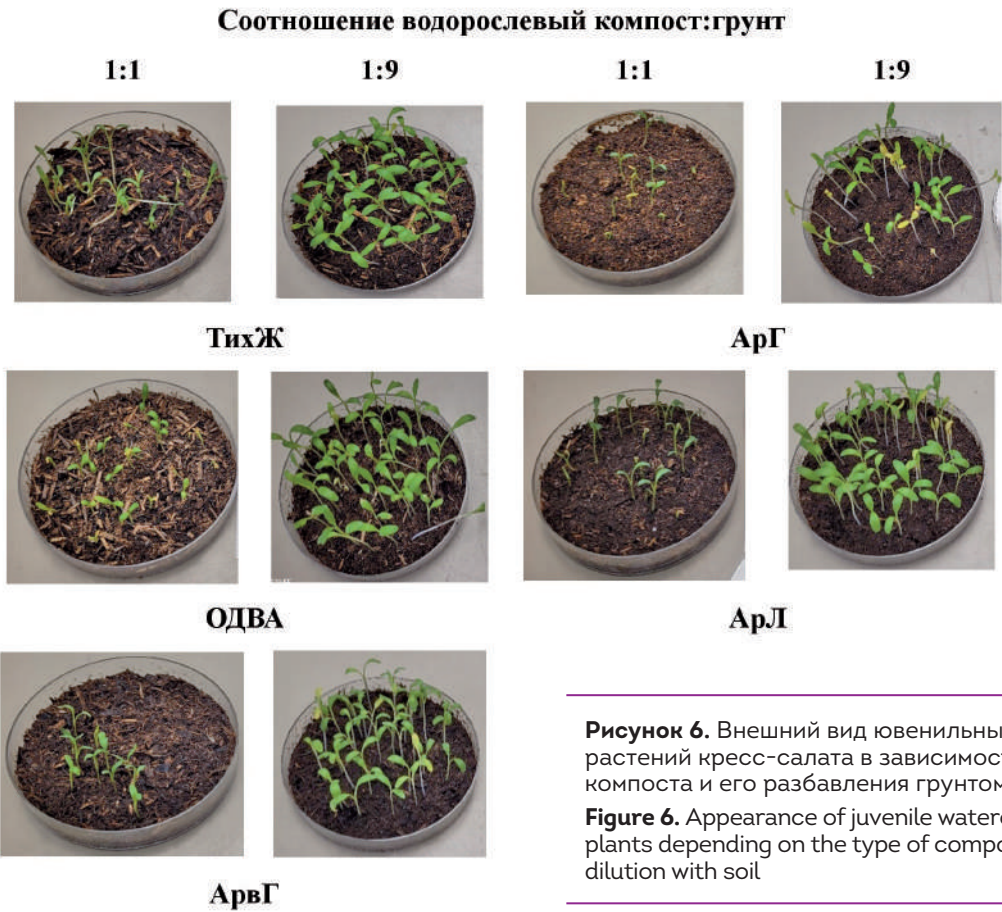


Рисунок 6. Внешний вид ювенильных растений кресс-салата в зависимости от вида компоста и его разбавления грунтом

Figure 6. Appearance of juvenile watercress plants depending on the type of compost and its dilution with soil

Таблица 7. Результаты тестирования восьми перспективных видов компоста на кресс-салате, редьки и редисе / **Table 7.** Results of testing of eight promising types of compost on watercress, radishes and radishes

Наименование компоста	Компонент компоста		Редис		Кресс-салат Дукал		Редька	
	водорослевый компонент	дополнительный компонент	Масса растений, г	Всхожесть, %	Масса растений, г	Всхожесть, %	Масса растений, г	Всхожесть, %
Фур Б	Фур (73,5)	сп (26,5)	4,329	85	1,631	85	1,986	85
Тур Б	Тур (57,2)	пд (39,8), нкор (3,0)	3,658	85	3,000	95	3,730	95
Хон А	Хон (88,0)	ох (10,0), нкор (2,0)	3,739	95	2,426	90	3,078	90
At 3	At (75,0)	ша (25,0)	3,746	100	2,819	75	3,062	95
At И	At (87,0)	кл (13,0)	3,946	85	3,040	80	1,904	80
АрвА	Арв (70,63)	шф (26,4), нкур (3,0)	4,596	100	3,031	100	2,723	85
АрвЗ	Арв (70,6)	ша (29,4)	3,671	80	2,207	80	2,709	90
АрБ	Ар (80,6)	кл (14,5), нкур (4,9)	3,625	85	2,669	70	1,219	75
Грунт			2,522	95	1,111	85	1,965	90

Примечание: : В скобках указано количество компонента в компостной смеси в %

ВЫВОДЫ

Анализ химического состава водорослевых остатков морских видов красных водорослей

показал, что наибольшее количество элементов, необходимых для роста и развития растений, содержится в *Ptilota sp.* (*Ptilota serrata*)

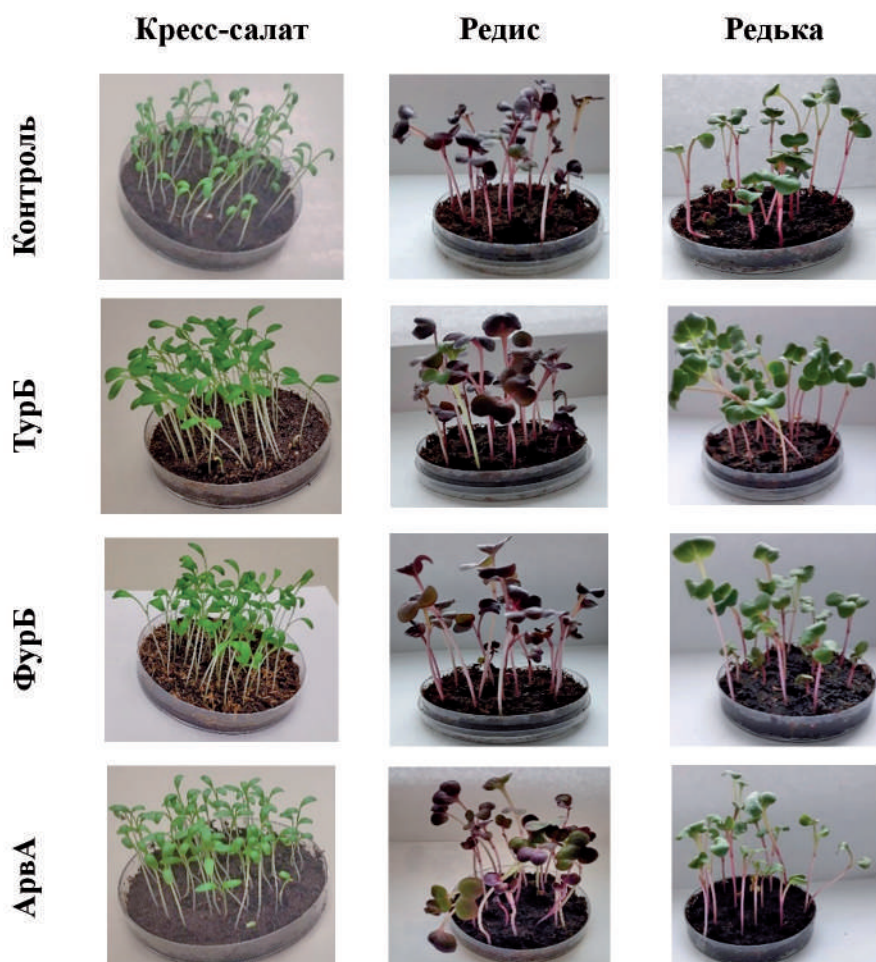


Рисунок 7. Внешний вид растений кресс-салата, редиса и редьки, выращенных на водорослевых компостах

Figure 7. Appearance of watercress, radish and radish plants grown on algae compost

и *Ptilota gunneri*), *Chondrus crispus*, *Vertebrata fucoides* и штормовой *Ahnfeltia plicata*.

Установлено, что соотношение С:N в водорослевых остатках составляет не более 8, что требует корректировки данного показателя при их использовании для получения компостов. Установлено, что содержание общего азота у водорослевых остатков *Turnerella mertensiana*, *Furcellaria lumbricalis*, *Ptilota filicina* и *Odonthalia corymbifera*

находится на том же уровне как у навоза и куриного помета. Для корректировки соотношения С:N, при использовании водорослей с целью получения компоста, необходимо использовать преимущественно такие компоненты как древесные опилки или пыль, а также – шишки.

В результате проведенной работы разработаны восемь рецептур компостных смесей на основе водорослевых остатков *F. lumbricalis*,

Таблица 8. Минеральный состав компоста из *Turnerella mertensiana*, мкг/г /
Table 8. Mineral composition of *Turnerella mertensiana* compost, mcg/g

Наименование элемента	Содержание	Наименование элемента	Содержание
Магний	1241	Бор	54
Железо	1055	Йод	40
Марганец	184	Медь	23
Цинк	82	Никель	2,2
Кальций	5895		

Таблица 9. Технические требования ГОСТ 34102 в отношении растительных компостов и их значения для компоста из *Turnerella mertensiana* / **Table 9.** Technical requirements of GOST 34102 for vegetable compost and their values for compost from *Turnerella mertensiana*

Наименование показателя	Единицы измерения	Содержание
водорослевый компост		
Фосфор	мкг/г	1670
Калий		5804
Общего азота		1,08
P ₂ O ₅	%	0,4
K ₂ O		0,7
Свинец	мг/кг	0,91
Кадмий		0,38
Ртуть		0,08
Мышьяк		1,1
требования ГОСТ 34102-2017		
Общего азота	% не менее	0,3
P ₂ O ₅		0,2
K ₂ O		0,3
Свинец	мг/кг не более	130
Кадмий		2,0
Ртуть		2,1
Мышьяк		10,0

T. mertensiana, *C. crispus*, *A. plicata*, *A. tobuchiensis* и штормовых выбросов водоросли *A. plicata*, которые можно эффективно применять для выращивания кресс-салата, редьки и редиса. Рекомендуются при использовании водорослевого компоста для выращивания кресс-салата, редьки и редиса смешивать его с грунтом.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Вклад авторов в работу: **Т.А. Игнатова** – идея статьи, проведение исследований, подготовка текста; **А.В. Межонов** – корректировка статьи и ее окончательная проверка; **М.О. Березина** – анализ данных, корректировка текста.

The authors advertise the rejection of the conflict of interests. The tab in the authors' work: **Ignatova T.A.** – idea Status, conducting research, preparation status; **Mezhonov A.V.** – texture correction and its window check; **Berezina M.O.** – analysis of data, texture correction.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ/ REFERENCES AND SOURCES

1. Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Игнатова Т.А. Кормовые добавки из морских водорослей и продуктов их переработки / Под редакцией Подкорытовой А.В. – М.: Изд-во ВНИРО. 2017. 70 с.
1. Podkorytova A.V., Vafina L.Kh., Ignatova T.A. 2017. Feed additives from seaweeds and their processed products / Edited by Podkorytova A.V. – Moscow: VNIRO Publishing House. 70 p.
2. Eyra M.C., Defosse G.E., Dellatorre F. 2008. Seaweed compost as an amendment for horticultural soils in Patagonia, Argentina // Compost Sci. V. 16. Pp. 119-124.
3. Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J., Prithiviraj B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development // J. Plant Growth Regul. V.28. Pp. 386-399.
4. Illera-Vives M., Seoane Labandeira S., Lopez-Mosquera M.E. 2013. Production of compost from marine waste: evaluation of the product for use in ecological agriculture // J. Appl. Phycol. V. 25. Pp. 1395-1403.
5. Winberg P.C., DeMestre C., Willis S. 2011. Evaluating Microdictyon umbilicatum bloom biomass as an agricultural compost conditioner for native and commercial plants // Report to Shoalhaven City Council. 30 p. <http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=smfc>
6. Basmal J., Munifah I., Rimmer M., Paul N. 2020. Identification and characterization of solid waste from Gracilaria sp. Extraction // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. doi:10.1088/1755-1315/404/1/012057
7. Banakar S.N., PrasannaKumar M.K., Mahesh H.B. et al. Banakar, S.N. 2022. Red-seaweed biostimulants differentially alleviate the impact of fungicidal stress in rice (*Oryza sativa* L.) // Scientific Reports. V. 12. Pp. 5993. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10010-8>
8. Калиман Н.С., Аминина Н.М., Кириленко Н.С. Изучение влияния экстракта анфельдии тобучин-

- ской на растение томата гибридного «Torrero F1» в условиях защищенного грунта // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока: материалы 4-й Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф.: в 4 ч. – Уссурийск: Приморская ГСХА. 2020. Ч. 3. С. 98-106.
8. Kaliman N.S., Aminina N.M., Kirilenko N.S. 2020. Study of the influence of *Ahnfeltia tobuchinensis* extract on the hybrid tomato plant "Torrero F1" in protected ground conditions // The role of agricultural science in the development of forestry and agriculture in the Far East: Proc. 4th National (All-Russian) scientific and practical. conf.: in 4 parts. - Ussuriysk: Primorskaya State Agricultural Academy. Part 3. Pp. 98-106. (In Russ.)
9. Aminina N.M., Kirtaeva T.N., Kadnikova I.A. et al. 2021. The influence of red algae *Ahnfeltia tobuchiensis* on the growth and development of cress salad under protected ground // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Iss. 723. Art. 022025. DOI: 10.1088/1755-1315/723/2/022025
10. Аминина Н.М., Акулин В.Н. Рациональное использование ресурсов красной водоросли анфельдии тобучинской // Известия ТИНРО. 2024. Т. 204, № 2. С. 339-354. DOI 10.26428/1606-9919-2024-204-339-354.
10. Aminina N.M., Akulin V.N. 2024. Rational use of the red alga *Ahnfeltia tobuchiensis* resources // Izvestiya TINRO. Vol. 204. No. 2. Pp. 339-354. DOI 10.26428/1606-9919-2024-204-339-354. (In Russ.)
11. Аминина Н.М., Киртаева Т.Н., Кадникова И.А., Дуденко Г.А. Влияние красной водоросли *Ahnfeltia tobuchiensis* на биометрические показатели и химический состав растений огурца сорта Восток // Аграрный вестник Приморья. 2022. № 2(26). С. 5-11.
11. Aminina N.M., Kirtaeva T.N., Kadnikova I.A., Dudenko G.A. 2022. Influence of the red alga *Ahnfeltia tobuchiensis* on the biometric indicators and chemical composition of cucumber plants of the Vostok variety // Agrarian Bulletin of Primorye. No. 2 (26). Pp. 5-11. (In Russ.)
12. Аминина Н.М., Киртаева Т.Н., Кадникова И.А. и др. Влияние удобрений из морских водорослей на биометрические показатели и химический состав растений салата московский парниковый // Современное состояние органического сельского хозяйства в мире [Электронный ресурс]: материалы Междунар. круглого стола / отв. ред. И.И. Бородин. – Уссурийск. 2023. С. 113-118. <http://www.primacad.ru/images/files/books/2023/OSH23.pdf>
12. Aminina N.M., Kirtaeva T.N., Kadnikova I.A. et al. 2023. The effect of fertilizers from seaweed on the biometric indicators and chemical composition of Moscow greenhouse lettuce plants // The current state of organic agriculture in the world [Electronic resource]: Proceedings of the International round table / ed. I.I. Borodin. Ussuriysk. Pp. 113-118. <http://www.primacad.ru/images/files/books/2023/OSH23.pdf>. (In Russ.)
13. Michalak I., Wilk R., Chojnacka K. 2017. Bioconversion of Baltic Seaweeds into Organic Compost // Waste Biomass Valor. V. 8. Pp. 1885-1895. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9738-3>
14. Lopez-Mosquera M.E., Fernandez-Lema E., Villares R., Corral R., Alonso B., Blanco C. 2011. Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture // Proc. Environ. Sci. V. 9. Pp. 113-117.
15. Jia H., Chu D., You X., Li Y., Huang C., Zhang J., Zeng X., Yao H., Zhou Z. 2022. Biochar improved the composting quality of seaweeds and cow manure mixture and altered the microbial community // Front Microbiol. V. 24. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1064252.
16. Yulistian A., Dewi E.N., Purnamayati L. 2025. Effect of Agar Industry Waste-Based Liquid Fertilizer on Growth and Nutrient Uptake in Red Lettuce // Journal of soil, plant and Environment. V. 4(1). Pp. 31-46. DOI:10.56946/jspae.v4i1.649
17. Selvam G.G., Sivakumar K. 2013. Effect of foliar spray from seaweed liquid fertilizer of *Ulva reticulata* (Forsk.) on *Vigna mungo* L. and their elemental composition using SEM – energy dispersive spectroscopic analysis // Asian Pac. J. Reprod. V. 2. Pp. 119-125.
18. Michalak I., Gorka B., Wiczorek P.P., Roj E., Lipok J., Leska B., Messyas B., Wilk R., Schroeder G., Dobrzynska Inger A., Chojnacka K. 2016. Supercritical fluid extraction of algae enhances levels of biologically active compounds promoting plant growth // Eur. J. Phycol. V. 51. Pp. 243-252.
19. Белозерский А.Н., Проскуряков Н.И. Практическое руководство по биохимии растений // М: Государственное издательство «Советская наука». 1951. 388 с.
19. Belozersky A.N., Proskuryakov N.I. 1951. Practical Guide to Plant Biochemistry // Publ.: State Publishing House "Soviet Science". Moscow. 388 p. (In Russ.)
20. Стандартная рабочая методика определения органического углерода почвы методом Уокли-Блэка [Электронный ресурс]. – URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e2a045d9-5f01-43e5-b363-b8bae3bae903/content> (дата обращения 01.04.2026).
20. Standard Working Method for Determining Soil Organic Carbon by the Walkley-Black Method [Electronic resource]. – URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e2a045d9-5f01-43e5-b363-b8bae3bae903/content> (date of access 01.04.2026). (In Russ.)
21. Michalak I., Miller U., Tuhy L., Sówka I., Chojnacka K. Characterisation of biological properties of co-composted Baltic seaweeds in germination tests // Eng Life Sci. 2016. V. 8;17(2). P. 153-164. – doi: 10.1002/elsc.201600012.
22. Антоненко Д.А. [и др.] Сложный компост и его влияние на свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур: монография; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ. 2015. 181 с.
22. Antonenko D.A. [and others]. 2015. Complex compost and its influence on soil properties and productivity of agricultural crops: monograph / edited by I.S. Belyuchenko. – Krasnodar: KubSAU. 181 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию / Received 08.04.2026
Принят к публикации / Accepted for publication 07.05.2026