

УДК 574.5:546.3:581.526.323:577.118  
DOI: 10.7868/S25000640190205

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В БУРОЙ ВОДРОСЛИ *SACCHARINA LATISSIMA* БАРЕНЦЕВА И ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЕЙ

© 2019 г. Г.М. Воскобойников<sup>1</sup>, А.Л. Никулина<sup>2</sup>, Д.О. Салахов<sup>1</sup>, В.А. Шахвердов<sup>3</sup>

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ содержания тяжелых металлов (ТМ) в бурой водоросли сахарина большая *Saccharina latissima* из залива Грөнфьорд (Гренладское море) и губы Дроздовка (Баренцево море, Восточный Мурман). В водорослях из всех мест обитания отмечено содержание Cd, Pb, Hg, меньшее или незначительно превышающее предельно допустимые концентрации (ПДК), установленные для морских водорослей в Техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». В водорослях, особенно из Грөнфьорда, выявлено содержание As, значительно превышающее ПДК: в ризоидах оно составляет 145,2 мг/кг, в черешках – 56,67 мг/кг, в пластине – 50,79 мг/кг. Результаты проведенных параллельно анализов содержания ТМ в среде обитания (залив Грөнфьорд) позволили предположить, что данный феномен обусловлен более высоким содержанием мышьяка в грунте (6,2 мг/кг) по сравнению с водой (0,0116 мг/кг) и способностью ризоидов аккумулировать (всасывать) мышьяк и другие ТМ из грунта по аналогии с корнями высших растений. Возможно, что высокое содержание ТМ в ризоидах обусловлено большим присутствием в них, по сравнению с другими частями таллома, альгиновой кислоты. Также необходимо учитывать факт, что ризоиды являются наиболее старой частью таллома, не подверженной ежегодному разрушению, которое происходит с пластиной сахарины. Содержание всех тяжелых металлов, кроме мышьяка, в пробах водорослей из Грөнфьорда и с Мурманского побережья Баренцева моря в 2018 г. меньше, чем в 2003 г. Вопрос о возможном использовании *Saccharina latissima* в пищевых целях может решить анализ формы присутствия мышьяка. По данным проведенных исследований, большая часть мышьяка в промысловых водорослях находится в органической форме, что позволяет их рекомендовать для получения пищевой, лечебно-профилактической продукции, несмотря на превышение установленных ПДК по мышьяку.

**Ключевые слова:** сахарина большая, содержание и поглощение тяжелых металлов, мышьяк, Баренцево море, Гренладское море.

### CONTENT OF TRACE METALS IN THE BROWN ALGAE *SACCHARINA LATISSIMA* FROM THE BARENTS AND GREENLAND SEAS

G.M. Voskoboinikov<sup>1</sup>, A.L. Nikulina<sup>2</sup>, D.O. Salakhov<sup>1</sup>, V.A. Shakhverdov<sup>3</sup>

**Abstract.** The content of the trace metals (TM) in the brown algae *Saccharina latissima* has been compared with the algae from Grøn fjorden (the Greenland Sea), Drozdovka Bay of the Barents Sea. In all the habitats the content of Cd, Pb, and Hg in the algae was lower or slightly higher than the maximum permissible concentration (MPC) established for algae in the Technical Regulation of the Customs Union on Safety of Food Products (TR CU 021/2011). In all the algae, especially from Grøn fjorden, the content of As significantly

<sup>1</sup> Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, e-mail: grvosk@mail.ru

<sup>2</sup> Российская арктическая научная экспедиция на архипелаге Шпицберген, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (Russian Arctic Scientific Expedition at the Archipelago of Spitsbergen, Arctic and Antarctic Research Institute, St Petersburg, Russian Federation), Российская Федерация, 199397, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St Petersburg, Russian Federation), Российская Федерация, 199106, г. Санкт-Петербург, Средний пр., 74

exceeded the MPC: 145.20 mg/kg in rhizoids, 56.67 mg/kg in stem and 50.79 mg/kg in kelp. The analysis of the TM content in the habitat (Grøn fjorden) allowed us to suggest that this phenomenon was due to a higher content of As in the soil (6.20 mg/kg) comparing it to seawater content (0.0166 mg/kg) and due to the ability of rhizoids to accumulate (absorb) As and other TM from the soil similarly to the roots of higher plants. It is possible that the high content of TM in rhizoids was also due to the higher concentration of alginic acid compared to other parts of the thallus. It is also necessary to pay attention to the fact that rhizoids are the oldest part of the thallus, which is not being annually destroyed, as it occurs with the kelp. In 2018 the content of all heavy metals, except As, in the algae samples from Grøn fjorden and the East Murman Coast of the Barents Sea was lower than in 2003. The analysis of the As presence form may allow to use *Saccharina latissima* for food purposes. According to the conducted researches, the major part of As in the harvesting brown algae is presented in the organic form, which allows to use them in food, medical products, despite the excess of the established MPC for As.

**Keywords:** *Saccharina latissima*, content and absorption of heavy metals, arsenic, Barents Sea, Greenland Sea.

## ВВЕДЕНИЕ

Феномен накопления бурыми водорослями тяжелых металлов (ТМ), многократно превышающего их содержание в окружающей среде, привлекает внимание исследователей уже много лет [1–4]. Причины такого интереса несколько: 1) до настоящего времени остаются гипотетичными механизмы аккумуляции ТМ и их высокая концентрация длительное время в растениях; 2) неизвестно, существует ли видоспецифичность в аккумуляции различных металлов; 3) слабо изучено поглощение металлов макроводорослями в зависимости от стадии онтогенеза растения и факторов внешней среды; 4) не определены диапазоны толерантности к воздействию данных токсикантов у большого числа наиболее распространенных в Мировом океане видов водорослей-макрофитов. Наряду с теоретическими вопросами есть и практические аспекты, стимулирующие изучение ТМ в морских растениях. Многие исследователи предлагают использовать бурые водоросли как объекты мониторинга, отражающие состояние среды обитания растений. В ряде работ обсуждается возможность внедрения бурых водорослей, аккумуляторов металлов, в биоремедиацию в качестве биофильтров загрязненных прибрежных районов [5]. Несколько видов бурых водорослей, представителей родов *Laminaria*, *Saccharina*, *Fucus*, *Ascophyllum*, относят к числу промысловых. Эти водоросли служат ингредиентами для пищевой промышленности, сырьем для получения биотехнологической продукции, входят в состав биологически активных добавок. Отмечаемое в последние годы превышение содержания тяжелых металлов, особенно мышьяка, в водорос-

лях, в том числе из арктических морей, часто ставит под вопрос возможность их использования в пищевых целях [6–8].

Представленное исследование посвящено содержанию тяжелых металлов в *Saccharina latissima*, основном объекте водорослевого промысла и аквакультуры северных морей.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор водорослей *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders, 2006 для исследований осуществляли в заливе Грønфьорд Гренландского моря, в прибрежье пос. Баренцбург (78°03' с.ш., 14°12' в.д.), и в губе Дроздовка Баренцева моря (68°53' с.ш., 38°44' в.д.) в августе 2003 и 2018 г. Водоросли, прикрепленные к каменистому субстрату, доставали с глубины 3–4 м. Для исследования отбирали талломы возраста двух и более лет без признаков спороношения. Водоросли очищали от обрастателей, подвяливали на воздухе, досушивали в потоке теплого воздуха при температуре +20 °С. Часть талломов водорослей, собранных в 2018 г., разделяли на ризоиды, черешки и пластину.

Водоросли анализировали по содержанию тяжелых металлов, As, Cd, Hg, Pb, на предмет их соответствия предельно допустимым концентрациям (ПДК), утвержденным Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) [9].

Пробоотбор донных отложений (грунта) в сублиторали на глубине 3–5 м при полной воде проводили с борта судна с помощью дночерпателя Петерсена. Отбор проб воды осуществляли батометром

из зоны произрастания водорослей. Пробы воды для определения содержания тяжелых металлов сразу консервировали концентрированной азотной кислотой. Уровень кислотности (рН = 3–4) контролировали с помощью универсальной индикаторной бумаги.

Анализ геохимических проб, отобранных в ходе работ, выполнен в центральной лаборатории Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS) (<https://vsegei.ru/ru/activity/labanalytics>).

Для определения Zn, Cd, Pb при пробоподготовке использовали способ «полного» разложения проб смесью концентрированных кислот и окислителей, который основан на реакциях взаимодействия компонентов пробы с кислотами с образованием солей, растворимых в разбавленной азотной кислоте (<https://vsegei.ru/ru/activity/labanalytics>).

При подготовке проб для определения As применяли способ разложения проб «царской водкой», основанный на тех же принципах, что метод «полного» разложения, однако в данном случае возможно лишь частичное переведение в раствор большинства компонентов. Силикатная часть при этом не разлагается, что приводит к некоторому занижению значений для породообразующих элементов. Основное преимущество данного способа разложения – снижение пределов обнаружения элементов, в нашем случае мышьяка, что важно в связи с часто низким его содержанием в пробах (<https://vsegei.ru/ru/activity/labanalytics>).

Анализ подготовленных растворов проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на масс-спектрометре «Agilent 7700х» с использованием компьютерной программы обработки данных, включающей автоматический учет изотопных и молекулярных наложений на масс-спектральные аналитические линии определяемых элементов.

Для определения ртути применяли непламенный метод атомной абсорбции (<https://vsegei.ru/ru/activity/labanalytics>). Использовали навеску пробы в 1 г. Предел обнаружения ртути данным методом достигает 0,005 мг/кг.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для морских водорослей установлены следующие ПДК (мг/кг): Cd – 1,0; As – 5,0; Hg – 0,1;

Pb – 0,5. В пробах *Saccharina latissima* (пластина), отобранных в июле 2003 г. у побережья Шпицбергена, содержание ТМ, за исключением ртути, превышало ПДК. Причем если содержание кадмия превышало ПДК незначительно, то свинца было больше в 9, а мышьяка в 13 раз. В 2018 г. в сахарине большой отмечалось превышение ПДК только по мышьяку: в пластине в 10, в черешках в 11, а в ризоидах почти в 30 раз (табл. 1).

В пробах *S. latissima* (пластина), собранных в 2003 г. в губе Дроздовка (основной район промысла водорослей в Баренцевом море), содержание кадмия незначительно превышало ПДК, свинца было больше ПДК в 12 раз, а мышьяка в 16 раз. В 2018 г. пробы водорослей (пластина) с Мурманского побережья по содержанию ТМ не превышали ПДК, за исключением мышьяка, концентрация которого была в 10 раз больше ПДК (табл. 1).

Предельно допустимые концентрации ТМ в воде (мг/дм<sup>3</sup>) составляют: Cd – 0,001; Pb – 0,003; As – 0,05; Hg – 0,0005. Анализ содержания ТМ в воде в месте отбора проб водорослей в Грэнфьорде в 2003 и 2018 гг. не показали превышения ПДК тяжелых металлов. Содержание мышьяка в грунте в месте обитания водорослей в 2003 г. было 10,0 мг/кг, а в 2018 г. – 6,2 мг/кг (табл. 2).

В 2003 г. в воде губы Дроздовка было обнаружено незначительное превышение ПДК по всем элементам, а что касается грунта, то относительно высокие показатели были отмечены по мышьяку и свинцу (табл. 2).

В результате исследования обнаружено, что содержание ТМ в водорослях из одних и тех же мест обитания в 2018 г. по сравнению с 2003 г. уменьшилось в 2–4 раза. На Мурманском побережье (губа Дроздовка) это может быть связано с ослаблением антропогенного пресса: ликвидацией военно-морской базы в пос. Гремиха (= Йоконга = Островной), а также погранзаставы, воинской части и поселка на побережье губы Дроздовка, снижением интенсивности судоходства. Влиянием антропогенных факторов можно объяснить и большее содержание ТМ в 2003 г. в водорослях из губы Дроздовка по сравнению с пробами, отобранными в том же году в Грэнфьорде. В более ранних наблюдениях нами неоднократно отмечалось значительное превышение в пробах водорослей ПДК по свинцу, цинку, кадмию, что связывалось с присутствием данного элемента в горных породах [10]. Однако после ликвидации военных баз на Мурманском побережье содержание данных элементов значительно уменьшилось.

**Таблица 1.** Содержание тяжелых металлов в водорослях *Saccharina latissima* (мг/кг)  
**Table 1.** Content of heavy metals in algae *Saccharina latissima* (mg/kg)

Место и время отбора водорослей Place and time of algae gathering	Часть водоросли Part of algae	Cd	Pb	As	Hg
Грёнфьорд, Шпицберген, 2003 г. Grøn fjord, Svalbard, 2003	пластина / lamina	1,2	4,6	65,3	0,036
Губа Дроздовка, Баренцево море, 2003 г. Drozdovka Bay, the Barents Sea, 2003	пластина / lamina	1,64	6,2	82,0	0,042
Грёнфьорд, Шпицберген, 2018 г. Grøn fjord, Svalbard, 2018	пластина / lamina	0,586	0,399	50,79	0,0134
	черешок / stem	0,426	0,303	56,67	0,0108
	ризоид / rhizoid	1,367	1,053	145,2	0,0291
Губа Дроздовка, Баренцево море, 2018 г. Drozdovka Bay, the Barents Sea, 2018	пластина / lamina	0,845	0,127	50,49	0,0127

**Таблица 2.** Содержание тяжелых металлов в морской воде (мг/дм<sup>3</sup>) и грунте (мг/кг)  
**Table 2.** Heavy metal content in marine water (mg/dm<sup>3</sup>) and sediments (mg/kg)

Проба Sample	Место и время отбора проб Place and time of sampling	Cd	Pb	As	Hg
Вода Water	губа Дроздовка, Баренцево море, 2003 г. Drozdovka Bay, the Barents Sea, 2003	0,004	0,002	0,07	0,0009
	Грёнфьорд, Шпицберген, 2003 г. Grøn fjord, Svalbard, 2003	0,002	0,001	0,08	0,0002
	Грёнфьорд, Шпицберген, 2018 г. Grøn fjord, Svalbard, 2018	<0,0001	<0,002	0,0116	<0,00001
Грунт Soil	губа Дроздовка, Баренцево море, 2003 г. Drozdovka Bay, the Barents Sea, 2003	6,4	8,6	10,0	1,2
	Грёнфьорд, Шпицберген, 2017–2018 гг. Grøn fjord, Svalbard, 2017–2018	–	10,2*	6,2	0,04*

*Примечание.* \* – данные анализа проб, собранных в 2017 г.  
*Note.* \* – analysis of samples collected in 2017.

В связи с тем, что высокое содержание мышьяка негативно влияет на товарное качество водорослевой продукции, был проведен анализ накопления данного токсиканта разными частями таллома *S. latissima*. Место отбора проб в Грёнфьорде характеризуется высоким уровнем осадконакопления. Присутствие каменистых субстратов на глубине 3–5 м, где произрастали водоросли, незначительно, но даже они занесены илистым осадком, который покрывает ризоиды и нижнюю часть черешка водорослей.

Проведенные нами параллельно анализы содержания ТМ в водорослях и в среде обитания (Грёнфьорд) позволили предположить, что высокий уровень присутствия ТМ и особенно мышьяка в ризоидах (табл. 1) обусловлен его высоким содер-

жанием в грунте (6,2 мг/кг) по сравнению с водой (0,0116 мг/дм<sup>3</sup>) (табл. 2) и способностью ризоидов аккумулировать (всасывать) мышьяк и другие ТМ из грунта.

Ранее [10] при анализе распределения тяжелых металлов по таллому *S. latissima* из губы Ярнышная Баренцева моря (август 2001 г.) была также отмечена максимальная концентрация тяжелых металлов в ризоидах, наименьшая в меристеме и промежуточная в центральной части пластины. Разница в содержании отдельных элементов в ризоиде и пластине превышала 15 раз. Близкие результаты по распределению мышьяка по таллому *Laminaria japonica* (= *Saccharina japonica*) из прибрежной акватории Приморья (бухта Рудная пристань и пос. Глазковка), максимальной его концентрации

в ризоидах были представлены дальневосточными исследователями Л.Т. Ковековдой, В.В. Гершунской, А.В. Петрухановой [4; 7; 8].

А.Н. Камневым с коллегами [2] при исследовании накопления элементов различными органами *Phragmites australis* (прибрежно-водное высшее растение) были выявлены максимальные концентрации ряда тяжелых металлов, в том числе As, в корнях растения, а минимальные в живых листьях. Авторы считают, что элементное распределение среди различных образцов уменьшалось в следующем порядке: почвы, донные отложения, корни, листья. Наши результаты, полученные при исследовании *Saccharina latissima*, укладываются в представления, изложенные в работах [4; 11–13], что укорененные макрофиты поглощают больше элементов из донных отложений, чем из воды. По мнению А.Н. Камнева с коллегами [2], ряд водных макрофитов может являться корневыми биоаккумуляторами. Возможно, что выявленное нами содержание ТМ в ризоидах сахарины обусловлено большим присутствием в них, по сравнению с другими частями таллома, альгиновой кислоты [10; 14]. Также необходимо учитывать факт, что ризоиды являются наиболее старой частью таллома, не подверженной

ежегодному разрушению, которое происходит с пластиной сахарины.

Вопрос о возможном использовании в пищевых целях *Saccharina latissima* с превышением ПДК мышьяка может решить анализ формы его присутствия в водорослях. По данным многочисленных исследований, большая часть мышьяка в промысловых водорослях находится в органической форме [7; 8], что позволяет рекомендовать их для пищевой и лечебно-профилактической продукции, несмотря на превышение установленных ПДК по мышьяку.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность С.В. Зырянову (Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии – ПИНРО им. Н.М. Книповича, г. Мурманск) за помощь в сборе материала в губах Баренцева моря.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания ММБИ КНЦ РАН «Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камнев А.Н. 1989. *Структура и функции бурых водорослей*. М., изд-во МГУ: 200 с.
2. Камнев А.Н., Бунькова О.М., Богатырев Л.Г., Стуколова И.В., Яковлев А.С. 2015. Идеи Д.А. Сабинина и их воплощение. Минеральный состав макрофитов как важнейший показатель их вклада в биогеохимический обмен Мирового океана. *Вопросы современной альгологии*. 3(10): 75–126.
3. Христофорова Н.К. 1989. *Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами*. Л., Наука: 192 с.
4. Ковековдова Л.Т. 2011. *Микроэлементы в морских промысловых объектах Дальнего Востока России*. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владивосток: 40 с.
5. Возжинская В.Б., Камнев А.Н. 1994. *Эколого-биологические основы культивирования и использования морских донных водорослей*. М., Наука: 202 с.
6. Воскобойников Г.М. 2000. Тяжелые металлы в бурых морских водорослях северных морей России. В кн.: *Изучение и применение лечебно-профилактических препаратов на основе природных биологически активных веществ*. СПб., Эскулап: 74–78.
7. Гершунская В.В., Петруханова А.В. 2010. Сравнительное исследование химического состава и показателей безопасности коммерческих образцов *Laminaria japonica*, используемых при производстве диетических продуктов. В кн.: *Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана» (Владивосток, 17–21 мая 2010 г.)*. Часть II. Владивосток: Дальрыбвтуз: 29–32.
8. Петруханова А.В. 2012. *Обоснование технологии пищевых продуктов диетического лечебного питания – джемов на основе бурых водорослей*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: 24 с.
9. *Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011)*. Решение Комиссии Таможенного союза от 9.12.2011. № 880. М.: 224 с.
10. Воскобойников Г.М. 2006. *Механизмы адаптации, регуляции роста и перспективы использования макрофитов Баренцева моря*. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Мурманск: 45 с.
11. Baldantoni D., Ligrone R., Alfani A. 2009. Macro- and trace-element concentrations in leaves and roots of *Phragmites australis* in a volcanic lake in Southern Italy. *Journal of Geochemical Exploration*. 101(2): 166–174. doi: 10.1016/j.gexplo.2008.06.007
12. Bonanno G. 2011. Trace element accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) and biomonitoring applications. *Ecotoxicology and environmental safety*. 74(4): 1057–1064. 10.1016/j.ecoenv.2011.01.018
13. Bonanno G., Lo Giudice R. 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecological Indicators*. 10(3): 639–645. doi: 10.1016/j.ecolind.2009.11.002
14. Облущинская Е.Д., Воскобойников Г.М., Минина С.А. 2004. Количественное определение полисахаридов в бурых водорослях. *Фармация*. 45(3): 15–18.

## REFERENCES

1. Kamnev A.N. 1989. *Struktura i funktsii burykh vodorosley*. [Structure and functions of brown algae]. Moscow, Moscow State University: 200 p. (In Russian).
2. Kamnev A.N., Bunkova O.M., Bogatyrev L.G., Stukolova I.V., Yakovlev A.S. 2015. D.A. Sabinin's ideas and their embodiment. Mineral composition of macrophytes is one of the most important indicator of their contribution to a biogeochemical exchange of the World Ocean. *Voprosy sovremennoy al'gologii*. 3(10): 75–126. (In Russian).
3. Khristoforova N.K. 1989. *Bioindikatsiya i monitoring zagryazneniya morskikh vod tyazhelymi metallami*. [Bioindication and monitoring of marine pollution of heavy metals]. Leningrad, Nauka: 192 p. (In Russian).
4. Kovekovdova L.T. 2011. *Mikroelementy v morskikh promyslovykh ob'ektakh Dal'nego Vostoka Rossii*. [Trace elements in the offshore field facilities of the Russian Far East. SciD Abstract]. Vladivostok: 40 p. (In Russian).
5. Vozzhinskaya V.B., Kamnev A.N. 1994. *Ekologo-biologicheskiye osnovy kul'tivirovaniya i ispol'zovaniya morskikh donnykh vodorosley*. [Ecological-biological basis for the cultivation and use of marine algae]. Moscow, Nauka: 202 p. (In Russian).
6. Voskoboinikov G.M. 2000. [Heavy metals in the brown algae of the northern seas of Russia]. In: *Izucheniye i primeneniye lechebno-profilakticheskikh preparatov na osnove prirodnykh biologicheskii aktivnykh veshchestv*. [The study and application of therapeutic-prophylactic drugs based on natural biologically active substances]. St Petersburg, Eskulap: 74–78. (In Russian).
7. Gershunskaya V.V., Petrukhanova A.V. 2010. [Comparative study of the chemical composition and safety indicators of commercial *Laminaria japonica* samples used in the manufacture of dietary products]. In: *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Aktual'nyye problemy osvoyeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana"*. Chast' II. [Materials of International scientific and technical conference "Actual problems of the development of biological resources of the oceans" (Vladivostok, Russia, 17–21 May 2010). Part II]. Vladivostok: Dalrybvtuz: 29–32. (In Russian).
8. Petrukhanova A.V. 2012. *Obosnovaniye tekhnologii pishchevykh produktov diyeticheskogo lechebnogo pitaniya – dzhemov na osnove burykh vodorosley*. [The rationale for food technology diet medical nutrition – jams based on brown algae. PhD Abstract]. Moscow: 24 p. (In Russian).
9. *Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of food products" (TR CU 021/2011)*. Approved by the Decision of the Customs Union Commission dated December 9, 2011. N 880. 224 p.
10. Voskoboinikov G.M. 2006. *Mekhanizmy adaptatsii, regulyatsii rosta i perspektivy ispol'zovaniya makrofitov Barentseva morya*. [Mechanisms of adaptation, growth regulation and prospects for use of macrophytes of the Barents Sea. SciD Abstract]. Murmansk: 45 p. (In Russian).
11. Baldantoni D., Ligrone R., Alfani A. 2009. Macro- and trace-element concentrations in leaves and roots of *Phragmites australis* in a volcanic lake in Southern Italy. *Journal of Geochemical Exploration*. 101(2): 166–174. doi: 10.1016/j.gexplo.2008.06.007
12. Bonanno G. 2011. Trace element accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) and biomonitoring applications. *Ecotoxicology and environmental safety*. 74(4): 1057–1064. 10.1016/j.ecoenv.2011.01.018
13. Bonanno G., Lo Giudice R. 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecological Indicators*. 10(3): 639–645. doi: 10.1016/j.ecolind.2009.11.002
14. Obluchinskaya E.D., Voskoboinikov G.M., Minina S.A. 2004. [Quantitative determination of polysaccharides in brown algae]. *Farmatsiya*. 45(3): 15–18. (In Russian).

*Поступила 19.04.2019*