

Технология переработки
водных биоресурсов

УДК 582.273

Перспективные направления рационального использования
промысловых красных водорослей рода *Ahnfeltia*,
добываемых в прибрежных зонах морей РоссииА.В. Подкорытова¹, Т.А. Игнатова¹, Н.В. Бурова¹, А.И. Усов²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

²Институт органической химии имени Н.Д. Зелинского РАН (ФГБУН «ИОХ РАН»), г. Москва
E-mail: podkor@vniro.ru

Красные водоросли рода *Ahnfeltia* — ценный биологический ресурс и традиционное сырьё, используемое для производства агара в России с начала 30-х гг. XX века. В настоящее время уровень освоения промысловых запасов анфельции крайне незначителен. В работе представлена техникохимическая характеристика воздушно-сухих водорослей *A. tobuchiensis*, заготовленных в заливе Измены о. Кунашир, заливе Петра Великого Японского моря способом активного лова, а также *A. plicata* — у Соловецких островов, в Сорокской и Онежской губах Белого моря собранных из штормовых выбросов в 2013—2017 гг. В образцах анфельции было определено содержание посторонних примесей, общее содержание минеральных веществ, протеина, полисахаридов, таких как агар, целлюлоза, флоридный крахмал, маннан и ксилан, а также проведён анализ моносахаридного и аминокислотного составов гидролизатов биомассы. Представленная характеристика *A. tobuchiensis* и *A. plicata* позволяет определить направления их рациональной переработки с целью получения комплекса ценных продуктов.

Ключевые слова: *Ahnfeltia tobuchiensis*, *Ahnfeltia plicata*, биомасса, общий химический, моно- и полисахаридный, аминокислотный составы.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным таксономическим данным род *Ahnfeltia* класса Florideophyceae насчитывает 21 вид водорослей, широко распространённых в умеренных и холодных водах обоих полушарий [Algaebase, 2018]. Красные водоросли морских акваторий России, имеющие практическое значение для производства агара, представлены двумя видами макрофи-

тов этого рода: *Ahnfeltia tobuchiensis* (Kanno & Matsubara) Makienko и *Ahnfeltia plicata* (Hudson) Fries. Запасы *A. plicata* в Белом море к настоящему времени истощены и её активный лов запрещён. Однако сбор штормовых выбросов, представляющих собой полноценное сырьё для производства гелеобразователей, разрешён и неограничен [Об утверждении правил..., 2014; Подкорытова и др., 2016]. В настоящее

время основной сырьевой базой анфельции (*A. tobuchiensis*) является Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн (ДВРБ) — это зал. Петра Великого, лаг. Буссе о. Сахалин и зал. Измены о. Кунашир. Возможный вылов анфельции только в Южно-Курильской зоне (зал. Измены о. Кунашир) составляет около 9 тыс. т [Глубоковский и др., 2012]. В целом по ДВРБ рекомендуемый вылов (РВ) анфельции в 2017 г. составлял около 10,8 тыс. т [Материалы, обосновывающие ..., 2016]. В результате корректировки объемов рекомендованной добычи (вылова) анфельции в подзоне Приморье южнее 47°20' с. ш. в 2017 г. в сторону увеличения на 0,500 тыс. т объем РВ соста-

вил 1499 т, освоение РВ анфельции в подзоне Приморье — 71,38% [СКТУФАР, 2018]. При этом объем вылова по ДВРБ, согласно данным таблицы 1, составил 11298,60 т.

Несмотря на достаточные для промысла и производства агара запасы анфельции, особенно, в Южно-Курильской зоне (ЮКЗ), Восточно-Сахалинской подзоне Охотского моря (ВСП) и подзоне Приморье (южнее 47°20' с. ш.) Японского моря (ПП), уровень освоения её РВ незначителен. За последние пять лет опубликованы следующие данные: в 2013–2015 гг. запасы не осваивались, в 2016 г. уровень освоения составил 69,37%, а в 2017 г. общий уровень освоения снизился

Таблица 1. Освоение РВ анфельции в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в период 2013–2017 гг. [ФАР, 2018; СКТУФАР, 2018]

Промысловые зоны (подзоны)	Рекомендованные объёмы вылова, т	Вылов, т	Освоение, %
<i>2013 г.</i>			
ЮКЗ	8900,00		
ВСП	800,00	2,00	0,02
ПП	1000,00		
Всего	10700,00	2,00	0,02
<i>2014 г.</i>			
ЮКЗ	8900,00	0,00	0,00
ВСП	899,00	0,00	0,00
ПП	998,55	0,00	0,00
Всего	10797,55	0,00	0,00
<i>2015 г.</i>			
ЮКЗ	8900,00	1,31	0,01
ВСП	899,00	0,00	0,00
ПП	998,50	0,00	0,00
Всего	10797,50	1,31	0,01
<i>2016 г.</i>			
ЮКЗ	8899,60	6536,00	73,44
ВСП	899,80	0,00	0,00
ПП	998,50	954,40	95,58
Всего	10797,90	7490,40	69,37
<i>2017 г.</i>			
ЮКЗ	8899,80	0,00	0,00
ВСП	899,80	0,10	0,01
ПП	1499,00	1069,93	71,38
Всего	11298,60	1070,03	9,47

до 9,47% (табл. 1) [Статистические сведения..., 2015; ФАР, 2018].

В последние годы рыбохозяйственная отрасль демонстрирует возрастающий интерес к данному сырью, но, несмотря на это, уровень освоения запасов анфельции не увеличивается. Данный факт, а также отсутствие на сегодняшний день надлежащей практики сбора штормовых выбросов и производства высококачественного агара позволяют отнести анфельцию к недоиспользуемым видам ценного отечественного сырья. В свою очередь известно, что водоросли *A. tobuchiensis* и *A. plicata* содержат не только уникальный гелеобразующий полисахарид, но и другие ценные компоненты, которые представляют значительный интерес для перерабатывающей промышленности [Подкорытова, 2005; Подкорытова и др., 2017].

Вопросы комплексной переработки анфельции освещены ещё в ранних работах Кизеветтера И.В., Шмельковой Л.П., Зиминной Л.С. К настоящему времени в связи с развитием современной науки и получением новых данных о содержании, строении и свойствах органических веществ анфельции и других красных водорослей появились новые возможности в осуществлении идей, описанных в работах этих учёных.

Изучение технотехимических характеристик макрофитов рода *Ahnfeltia*, основанных на данных, полученных с использованием дополнительных, расширенных исследований и применением современных методов и подходов, является актуальной задачей, решение которой позволит выявить новые перспективные направления рационального использования этого ценного сырья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

В качестве объектов исследований использовали воздушно-сухие красные водоросли, заготовленные в 2013–2017 гг., *A. tobuchiensis* в заливе Измены о. Кунашир, в заливе Петра Великого Японского моря способом активного лова, а также *A. plicata* — у Соловецких островов, в Сорокской и Онежской губах Белого моря из штормовых выбросов. Отбор проб проводили по ГОСТ 31413. Среднюю пробу сушёной водоросли измельчали на лабораторной мельнице и помещали в чистую сухую ёмкость

с плотно закрывающейся крышкой [ГОСТ 33331, 2015].

Содержание посторонних примесей, воды, золы, общего азота определяли в соответствии с методиками испытаний, изложенными в государственных отраслевых стандартах [ГОСТ 33331, 2015; ГОСТ 26185, 2010]. Общее содержание азотистых веществ (сырого протеина) определяли методом Кьельдаля, рассчитывая по содержанию общего азота с применением коэффициента 6,25 [ГОСТ 2618, 2010].

Аминокислотный состав биомассы анфельции определяли после её кислотного гидролиза [Tsugita, Scheffler, 1982]. Последующий анализ проб проводили на аминокислотном анализаторе L-8800 (Hitachi Ltd., Япония). В соответствии с рекомендациями ФАО содержание «истинного протеина» рассчитывали из суммы всех аминокислот биомассы анфельции после её гидролиза [FAO, 2003].

Моносахаридный состав гидролизатов биомассы анфельции определяли после восстановительного гидролиза образцов [Усов, Элашвили, 1991] методом количественной газожидкостной хроматографии (ГЖХ) ацетатов полиолов с использованием хроматографа Agilent 7820A [Лопатина и др., 2017]. За содержание агара в анфельции принимали сумму 3,6-ангидрогалактозы и галактозы с учётом поправочного коэффициента, найденного при построении калибровочного графика для заведомого бактериологического агара Дифко. За содержание флоридного крахмала, маннана и ксилана в анфельции принимали данные о содержании глюкозы, маннозы и ксилозы, полученные при гидролизе её биомассы [Усов, 2001].

Для определения технологического выхода агара его получение из *A. plicata* проводили путём экстракции подготовленного сырья в растворе гидроксида натрия [Кизеветтер и др., 1967; Куприна, Малыгина, 2010]. Прочность геля водного раствора агара определяли в соответствии с ГОСТ 26185.

Массовую долю целлюлозы устанавливали по содержанию глюкозы в пробах после удаления прочих полисахаридов [Updegraff, 1969]. Для этого проводили экстракцию растворимых полисахаридов из образцов анфельции (легко

гидролизуемых полисахаридов (ЛГП)) смесью азотной и уксусной кислот, а затем растворяли остаток (целлюлозу — трудно гидролизуемый полисахарид (ТГП)) в серной кислоте. Содержание глюкозы в полученных растворах определяли колориметрическим методом по цветной реакции с фенолом [Dubois и др., 1956].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На технологические показатели водорослей отрицательное влияние оказывает присутствие в воздушно-сухой биомассе большого количества посторонних примесей, от которых следует избавиться в процессе предобработки анфельдии. При этом количество посторонних примесей в анфельдии в большой степени зависит от тщательности промывки водорослей морской или пресной водой после их добычи. Лучшие результаты даёт промывка в пресной воде [Кизеветтер и др., 1981; Подкорытова, 2005]. Исследуемые нами образцы анфельдии содержали 11,1–27,2% органических и неорганических посторонних примесей, таких как раковины двустворчатых и брюхоногих моллюсков, другие виды водорослей, ил, песок. Наименьшее количество примесей было обнаружено в образцах *A. tobuchiensis*, заготовленных водолазным способом в заливе Петра Великого Японского моря, и у *A. plicata*, со-

бранной из штормовых выбросов в летний период в Белом море (табл. 2).

Результаты анализа химического состава *A. tobuchiensis* и *A. plicata*, заготовленных в разные периоды и в разных местах обитания, показали, что эти виды различаются по содержанию минеральных веществ, протеина, агара и флоридного крахмала (табл. 3).

Для *A. tobuchiensis* было отмечено более высокое содержание минеральных веществ (до 21,70% СВ) и сырого протеина (до 26,48% СВ) по сравнению с *A. plicata* (до 16,90 и 22,27% СВ, соответственно). Изученные водоросли можно отнести к растительному сырью с достаточно высоким содержанием белка. По содержанию сырого протеина и «истинного протеина» нами установлено, что практически весь азот, содержащийся в биомассе анфельдии (в среднем 95%), представлен азотом аминокислот (табл. 3).

Главный структурный компонент анфельдии — гелеобразующий полисахарид — агар, и именно поэтому она является ценным сырьём для получения этого уникального гидроколлоида. В связи с этим анфельдия до настоящего времени рассматривается как основное отечественное сырьё, используемое для производства пищевого и микробиологического агара, а также агарозы, которая пригодна для применения в биохимии, иммунохимии, молекулярной биологии, микро-

Таблица 2. Условия заготовки *A. tobuchiensis*, *A. plicata* и содержание в них посторонних примесей

Образец, №	Месяц/год сбора	Район сбора	Способ заготовки	Посторонние примеси, %
<i>Ahnfeltia tobuchiensis</i> (Kanno & Matsubara) Mak.				
1	Август 2014	Тихий океан, зал. Измены	Водолазный, сбор до 7 м	27,2
2	Август 2015	Японское море, зал. Петра Великого	Водолазный, сбор до 8 м	19,7
3	Июль 2017	Японское море, зал. Петра Великого	Водолазный, сбор до 35 м	11,1
<i>Ahnfeltia plicata</i> (Hudson) Fries.				
4	Сентябрь 2013	Белое море, Соловецкие о-ва		16,5
5	Август 2016	Белое море, Сорокская губа	Сбор штормовых выбросов	13,5
6	Октябрь 2017	Белое море, Онежская губа		26,3

Таблица 3. Химический состав *A. tobuchiensis*, *A. plicata*

Образец, № 1	Вода, %	Содержание, % сухого вещества (СВ)								
		зола	СП ²	ИП ³	Полисахариды					
					агар	целлюлоза	ФК ⁴	ксилан	маннан	
<i>A. tobuchiensis</i>										
1	8,3	17,39	26,12	24,68	27,95	10,12	6,75	0,65	0,55	
2	7,5	21,70	20,98	19,70	28,68	10,99	9,58	0,90	0,74	
3	11,9	15,81	26,48	-	30,50	10,92	9,09	0,50	0,56	
<i>A. plicata</i>										
4	7,6	16,90	10,36	10,02	41,85	10,03	6,93	0,85	0,35	
5	10,8	11,27	22,27	-	48,93	10,51	7,04	0,58	0,49	
6	12,1	13,26	20,18	-	52,81	11,63	4,29	0,58	0,43	

Примечания: 1 — Нумерация образцов дана в соответствии с таблицей 2; 2 — СП — сырой протеин; 3 — ИП — «истинный протеин»; 4 — ФК — флоридный крахмал.

биологии и для получения антибактериальных препаратов [Пат. № 2189990, 2002].

По данным моносахаридного состава гидролизатов биомассы анфельции установлено высокое содержание агара для всех исследованных образцов, при этом *A. plicata* содержала больше гелеобразователя (41,85–52,81% СВ), чем *A. tobuchiensis* (27,95–30,50% СВ). Также стоит отметить, что данный показатель был достаточно стабилен для образцов *A. tobuchiensis*. Анфельция (*A. plicata*), заготовленная в прибрежной зоне южной части Белого моря, характеризовалась наибольшим содержанием агара (табл. 3).

Технологический выход агара из беломорской анфельции, полученного нами в лабораторных условиях, составил в среднем 19,0% от массы сухой водоросли. Прочность геля 0,85%-ного водного раствора агара в среднем составляла 340±10 г, что соответствует требованиям ГОСТ 16280 «Агар пищевой. Технические условия». Полученные нами данные по выходу агара из беломорской анфельции, собранной из штормовых выбросов, и прочности геля водного раствора агара приведены в публикации [Бурова и др., 2018].

Кроме сульфатированных галактанов, полисахариды красных водорослей представлены целлюлозой, флоридным крахмалом, ксиланом и маннаном [Cole, Sheath, 1990; Usov, 2011; Dominguez, 2013]. Флоридный крахмал — это резервный полисахарид, отрицательно влияющий на выход агара и затрудняющий очистку

его экстрактов [Rincones и др., 1993]. Отмечено, что в *A. tobuchiensis* содержание флоридного крахмала достигает 9,58% СВ, а в *A. plicata* — 7,04% СВ. Установлены низкие массовые доли маннана и ксилана (менее 2%) во всех образцах водорослей. Содержание целлюлозы практически не различалось в зависимости от вида агарофитов, а также от времени и района их сбора. По сравнению с наземными растениями, в основном состоящими из целлюлозы, такими как хлопок, лён, древесина [Плешков, 1965], анфельцию стоит отнести к сырью с низким содержанием целлюлозы, в среднем 10,7% СВ (табл. 3). При этом существует определённое преимущество технологии целлюлозы из анфельции относительно получения этого полисахарида из наземных растений, так как во втором случае необходимо применять делигнификацию и удаление гемицеллюлоз, данные процессы проводят с применением агрессивных химических реагентов (кислот, щелочей, окислителей) [Иванов, Никандров, 2014]. Отсутствие полимерного соединения лигнина и незначительное содержание гемицеллюлоз в анфельции позволяет исключить делигнификацию из технологического процесса при получении целлюлозы, что определяет возможность проведения этого процесса экологически безопасным путём. Кроме того, известно, что в процессе промышленной переработки агарсодержащих красных водорослей образуется большое количество твёрдых волокнистых отходов, утилизация которых является

серьёзной экологической проблемой. Ранее было предложено остатки красных водорослей *Gelidium sesquipedale* после извлечения агара использовать в качестве сырья для получения нанокристаллов целлюлозы и создания на их основе полимерных нанокомпозитов [Achaby и др., 2018]. В связи с этим, очевидно, что одним из перспективных направлений переработки водорослевых остатков после экстракции агара из анфельции (*Ahnfeltia* spp.) может быть получение микрокристаллической целлюлозы и наноцеллюлозы.

Изучение моносахаридного состава биомассы *A. plicata* показало, что в её гидролизатах содержится больше 3,6-ангидрогалактозы и галактозы, чем в таковых биомассы *A. tobuchiensis*. Молярное отношение А/Г находится в диапазоне 0,44–0,83, что свидетельствует о значительном отклонении полисахаридов изученных водорослей от идеальной агарозы (А/Г → 1) по регулярности структуры (табл. 4). Данный факт определяет необходимость применения щелочной обработки анфельции для улучшения качественных характеристик агара.

Содержание глюкозы, образующейся в результате гидролиза целлюлозы и флоридного крахмала, составило 16,50–20,16% для

A. tobuchiensis и 15,13–17,95% для *A. plicata* (табл. 4), что, очевидно, может служить обоснованием для использования водорослевых остатков после экстракции агара из анфельции с целью производства этанола. Ранее было предложено получение этанола из отходов агарового производства других видов красных водорослей, таких как *Gracilaria verrucosa* и *Gelidium latifolium* [Meinita и др., 2017].

Высокое содержание полисахаридов и присутствие фенольных соединений в водорослях являются основными факторами, отрицательно влияющими на усвоение этих растений животными [Wong, Cheung, 2001; Joubert, Fleurence, 2008]. Однако исследований *in vivo* в отношении перевариваемости и биодоступности белков водорослей существует недостаточно, что ограничивает возможность сравнения их пищевой ценности с другими продуктами из водорослей [Misurcova и др., 2010]. В связи с этим рациональным является использование белковой составляющей макрофитов и других биологически активных веществ в рационах сельскохозяйственных животных и рыб в виде пептидов и комплексов аминокислот, получаемых методами их глубокой переработки, такими как гидролиз или экстракция [Bleakley, Hayes, 2017; Подкорытова и др., 2017].

Таблица 4. Моносахаридный состав и соотношение А/Г в биомассах *A. tobuchiensis* (1,2,3) и *A. plicata* (4,5,6)

Образец, № ¹	Содержание, %								А/Г ²
	2-О-Ме-3,6-AGal	3,6-AGal	6-О-Ме-Gal	Gal	Glc	Man	Xyl	Glc'	
1	0,96 ³	6,30 ³	–	12,99 ³	6,32 ³	0,47 ³	0,60 ⁴	10,31	0,63 ³
	0,96 ⁴	5,70 ⁴		14,74 ⁴	6,19 ⁴	0,50 ⁴			0,51 ⁴
2	1,03 ³	6,48 ³	–	13,32 ³	6,92 ³	0,53 ³	0,83 ⁴	11,30	0,44 ³
	1,03 ⁴	5,65 ⁴		15,80 ⁴	8,86 ⁴	0,68 ⁴			0,48 ⁴
3	1,03 ³	6,50 ³	–	13,00 ³	7,46 ³	0,47 ³	0,44 ⁴	10,69	0,65 ³
	1,03 ⁴	6,06 ⁴		13,88 ⁴	8,01 ⁴	0,49 ⁴			0,57 ⁴
4	–	12,00 ³	0,26 ³	18,55 ³	7,65 ³	0,32 ³	0,79 ⁴	10,30	0,73 ³
		11,21 ⁴	0,26 ⁴	18,48 ⁴	6,40 ⁴	0,32 ⁴			0,67 ⁴
5	–	13,51 ³	Следы	19,84 ³	7,35 ³	0,50 ³	0,52 ⁴	10,42	0,77 ³
		12,99 ⁴		17,67 ⁴	6,28 ⁴	0,44 ⁴			0,83 ⁴
6	–	12,18 ³	Следы	23,29 ³	3,82 ³	0,43 ³	0,51 ⁴	11,36	0,59 ³
		11,67 ⁴		22,04 ⁴	3,77 ⁴	0,38 ⁴			0,60 ⁴

Примечания: 1 — Нумерация образцов дана в соответствии с таблицей 2; 2 — А/Г — молярное отношение производных 3,6-ангидрогалактозы и галактозы; 3 — Данные полного восстановительного гидролиза биомассы; 4 — Данные полного гидролиза биомассы без восстановителя; Glc — глюкоза, образующаяся в результате гидролиза флоридного крахмала, Glc' — глюкоза, образующаяся, в результате гидролиза целлюлозы.

Большинство растительных белков относят к неполноценным, поскольку в них обычно отсутствуют или находятся в недостаточном количестве одна или несколько незаменимых аминокислот [Миусова и др., 2010]. Данные по аминокислотному составу белка *A. tobuchiensis* ранее были приведены в ряде работ [Зиминая и др., 1972; Кадникова и др., 2015]. Результаты хроматографического исследования аминокислотного состава белка *A. plicata* приводятся впервые (рис. 1, 2).

В составе белка анфельдии после гидролиза её биомассы было обнаружено 18 аминокис-

лот в том числе 7 эссенциальных (незаменимых) аминокислот и 11 — заменимых. Данные по содержанию триптофана отсутствуют, поскольку аминокислота полностью разрушается при кислотном гидролизе (рис. 1, 2; табл. 5).

Белки *A. tobuchiensis* и *A. plicata* по качественному аминокислотному составу практически не отличаются. Содержание незаменимых и заменимых аминокислот представлено в среднем соотношением 0,6:1. Белки анфельдии характеризуются высоким содержанием незаменимой аминокислоты валина (1,07–2,37%), а также заменимых — аргинина (1,11–3,48%)

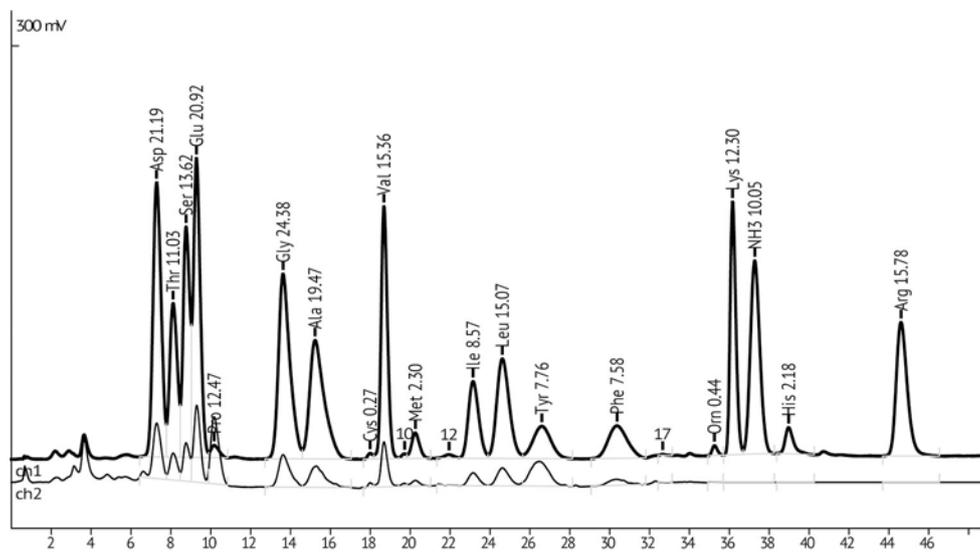


Рис. 1. Хроматограмма аминокислотного состава белка биомассы *A. tobuchiensis* (образец № 2), нмоль в пробе

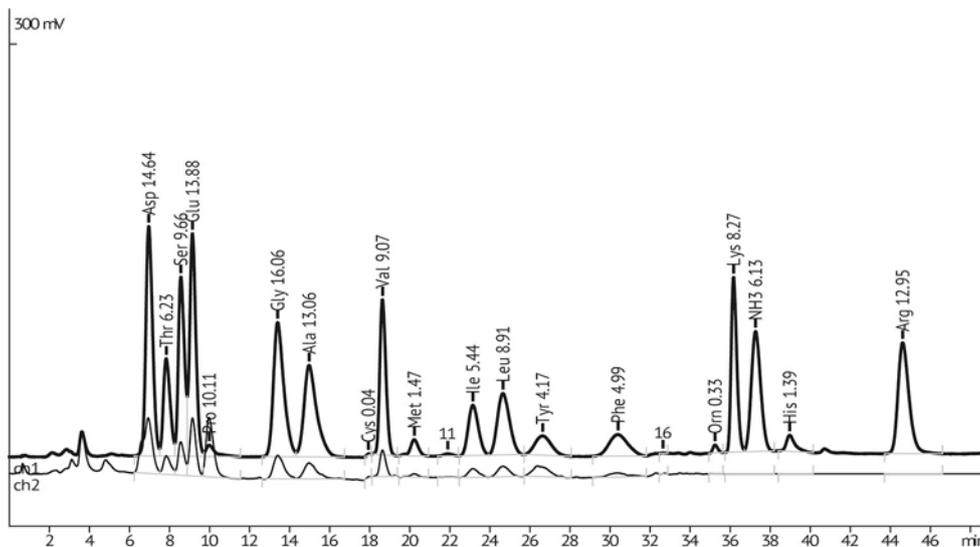


Рис. 2. Хроматограмма аминокислотного состава белка биомассы *A. plicata* (образец № 4), нмоль в пробе

Таблица 5. Аминокислотный состав белков *A. tobuchiensis*, *A. plicata*

Наименование аминокислот (АК)	Наименование водорослей, дата сбора					
	<i>A. tobuchiensis</i> (август 2014 г.)		<i>A. tobuchiensis</i> (август 2015 г.)		<i>A. plicata</i> (сентябрь 2013 г.)	
	%	% Σ АК	%	% Σ АК	%	% Σ АК
<i>Незаменимые аминокислоты (НЗАК)</i>						
Val	2,28	10,08	2,37	13,01	1,07	11,56
Lys	1,71	7,56	1,15	6,31	0,59	6,37
Leu	1,28	5,66	1,27	6,97	0,57	6,16
Phe	0,79	3,49	0,80	4,39	0,40	4,32
Thr	0,78	3,45	0,84	4,61	0,36	3,89
Ile	0,71	3,14	0,72	3,95	0,35	3,78
Met	0,20	0,88	0,22	1,21	0,11	1,19
Σ НЗАК	7,75	34,25	7,37	40,45	3,45	37,26
<i>Заменимые аминокислоты (ЗАК)</i>						
Arg	3,48	15,38	1,76	9,66	1,11	11,99
Glu	2,35	10,38	1,97	10,81	1,00	10,80
Asp	1,91	8,44	1,81	9,93	0,96	10,37
Pro	1,55	6,85	0,92	5,05	0,57	6,16
Tyr	1,39	6,14	0,90	4,94	0,37	4,00
Gly	1,36	6,01	1,17	6,42	0,59	6,37
Ser	1,27	5,61	0,92	5,05	0,50	5,40
Ala	1,15	5,08	1,11	6,09	0,57	6,16
His	0,22	0,97	0,22	1,21	0,11	1,19
Orn	0,17	0,75	0,05	0,27	0,03	0,32
Cys	0,03	0,13	0,02	0,11	0,00	0,00
Σ ЗАК	14,88	65,75	10,85	59,55	5,81	62,74
Σ АК	22,63	100,00	18,22	100,00	9,26	100,00

и дикарбоновых аминокислот. В свою очередь гистидин, метионин и цистин присутствуют в минорных количествах (табл. 5).

Таким образом, результаты исследований показали, что ввиду истощения запасов *A. plicata* в акватории Белого моря и запрета её активной добычи необходимо заготовку для агаровых заводов сырья из штормовых выбросов проводить в период шторма или сразу после его окончания, используя пресс-подборщики и другие механизмы, как было рекомендовано Кизеветтером И.В. [Кизеветтер, 1966]. Своевременность заготовки анфельдии из штормовых выбросов позволяет её использовать, как полноценное сырьё для получения агара и других сопутствующих продуктов [Кизеветтер и др., 1981].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведённых исследований химического состава *A. tobuchiensis* отмечено более высокое содержание минеральных веществ — до 21,70%, фторидного крахмала — до 9,58% и сырого протеина — до 26,48%, по сравнению с таковыми показателями у *A. plicata* (16,90, 7,04 и 22,27% соответственно).

По данным моносахаридного состава биомассы анфельдии установлено, что *A. plicata* содержит значительно больше агара от 41,85 до 52,81%, чем *A. tobuchiensis* — от 27,95 до 30,50%, что предполагает его более высокий выход из *A. plicata*. Молярное соотношение А/С по данным моносахаридного состава

биомассы анфельдии колеблется в диапазоне 0,44–0,83, что свидетельствует об отличии галактанов изученных водорослей от идеальной агарозы по регулярности структуры и необходимости её модификации. Также установлено низкое содержание гемицеллюлоз — маннана и ксилана (менее 2%) в образцах анфельдии.

Проведёнными исследованиями установлено, что в анфельдии содержится около 11% целлюлозы. Отсутствие полимерного соединения лигнина и низкое содержание гемицеллюлоз в анфельдии позволяет исключить делигнификацию из технологического процесса при получении целлюлозы. Этот показатель определяет возможность проведения технологического процесса экологически безопасным путём и получения мелкокристаллической целлюлозы из остатков после извлечения агара.

Содержание глюкозы, образующейся в результате гидролиза целлюлозы и флоридного крахмала в биомассе анфельдии, определено в интервале от 16,50 до 20,16% для *A. tobuchiensis* и от 15,13 до 17,95% для *A. plicata*, что определяет возможность использования отходов анфельдии после экстракции агара в технологическом процессе производства биоэтанола.

В белковых гидролизатах биомассы анфельдии определено 18 аминокислот, соотношение незаменимых и заменимых аминокислот 0,6:1. Кроме того, белковые гидролизаты анфельдии характеризуются высоким содержанием аргинина (1,11–3,48%) и валина (1,07–2,37%), а также дикарбоновых аминокислот, в свою очередь гистидин, метионин и цистин присутствуют в минорных количествах. Полученные данные показали, что практически весь азот, содержащийся в биомассе анфельдии, представлен белковым азотом. Аминокислотный состав гидролизатов биомассы анфельдии определяет возможность использования отходов от переработки анфельдии после экстракции агара в технологическом процессе производства аминокислотных и пептидных препаратов.

Представленная химико-технологическая характеристика *A. tobuchiensis* и *A. plicata* показывает возможность рациональной безотходной переработки анфельдии, как активной добычи, так и собранной из штормовых выбросов с целью получения комплекса ценных продуктов, таких как агар, агароза, микрокристалли-

ческая целлюлоза, этанол, пептидные и аминокислотные продукты кормового назначения.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 16280-2002. 2003. Агар пищевой. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов. 5 с.
- ГОСТ 26185-84. 2010. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. М.: ФГУП «Стандартинформ». 34 с.
- ГОСТ 31413-2010. 2011. Водоросли, травы морские и продукция из них. Правила приёмки и методы отбора проб. М.: ФГУП «Стандартинформ». 9 с.
- ГОСТ 33331-2015. 2015. Водоросли, травы морские и продукция из них. Методы определения массовой доли воды, золы и посторонних примесей. М.: ФГУП «Стандартинформ». 8 с.
- Бурова Н.В., Игнатова Т.А., Подкорытова А.В., Усов А.И. 2018. Химический состав и технологические свойства красной водоросли *Ahnfeltia plicata*, собранной из штормовых выбросов прибрежной зоны Онежского залива Белого моря // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. Мат. VI науч. — практ. конф. молодых учёных с межд. участием. М.: Изд-во ВНИРО. С. 35–41.
- Глубоковский М.К., Тарасюк С.Н., Зверькова Л.М., Семеняк Л.В., Мурзов Н.Н., Петрова Н.В., Бражник С.Ю., Скакун В.А. 2012. Сырьевая база российского рыболовства в 2012 году (районы российской юрисдикции). Справочно-аналитические материалы. М.: Изд-во ВНИРО. 512 с.
- Зимина Л.С., Наседкина Е.А., Шмелькова Л.П. 1972. Аминокислотный состав некоторых красных водорослей // Исследования по технологии рыбных продуктов. Вып. 3. С. 40–45.
- Иванов Ю.С., Никандров А.Б. 2014. Технология целлюлозы. Варочные растворы, варка и отбелка целлюлозы. СПб.: СПбГТУРП. 41 с.
- Кадникова И.А., Аминина Н.М., Мокрецова Н.Д., Рогов А.М. 2015. Применение разных видов водорослей в составе кормов для молоди трепанга // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. № 4. С. 62–68.
- Кизеветтер И.В. 1966. Промысел и переработка морских растений в Приморье. Владивосток: Дальневосточное книжное издательство. 103 с.
- Кизеветтер И.В., Грюнер В.С., Евтушенко В.А. 1967. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений. М.: Пищевая промышленность. 416 с.
- Кизеветтер И.В., Суховеева М.В., Шмелькова Л.П. 1981. Промысловые морские водоросли и травы дальневосточных морей. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 113 с.

- Куприна Е.Э., Малыгина М.А. 2010. Теория и практика переработки водорослей электрохимическим способом // Рыбпром. № 3. С. 36-42.
- Лопатина Н.А., Клочкова Н.Г., Усов А.И. 2017. Полисахариды водорослей. Сообщение 69. Моносахаридный состав полисахаридов некоторых тихоокеанских красных водорослей по данным восстановительного гидролиза биомассы // Известия АН. Серия химическая. № 5, С. 915–921.
- Материалы, обосновывающие рекомендованные объемы добычи (вылова) водных биоресурсов, общий допустимый улов которых не устанавливается, во внутренних водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях на 2017 год. 2016. Часть 3-Беспозвоночные и водоросли, Том 4: Водоросли и морские травы. М.: Изд-во ВНИРО. 135 с.
- Об утверждении правил рыболовства для Северного рыбохозяйственного бассейна: Приказ Минсельхоза России от 30.10.2014 N414 // Российская газета. Спец. вып. 23 янв. 2015. № 12/1 (6583/1). С. 2–10.
- Плешков Б.П. 1965. Биохимия сельскохозяйственных растений. М.: Колос. 447 с.
- Подкорытова А.В. 2005. Морские водоросли-макрофиты и травы. М.: Изд-во ВНИРО. 174 с.
- Подкорытова А.В., Игнатова Т.А., Родина Т.В. 2016. Комплексная ресурсосберегающая технология переработки красных водорослей *Ahnfeltia plicata*, Белое море: получение агара, пищевых волокон и кормовых продуктов // Труды ВНИРО. Т. 159. С. 130–142.
- Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Игнатова Т.А. 2017. Кормовые добавки из морских водорослей и продуктов их переработки. М.: Издательство ВНИРО. 70 с.
- Подкорытова А.В., Кадникова И.А., Кушева О.А., Соколова В.М., Суховерхов С.В. 2002. Способ получения высокоочищенного агара и агарозы из красной водоросли анфельдии тобучинской: Пат. № 2189990. ИБ № 27.
- СКТУФАР. Сахалино-Курильское территориальное управление Федерального агентства по рыболовству. Доступно через: <http://sktufar.ru>. 22.03.2018.
- Статистические сведения по рыбной промышленности России 2013–2014 гг. 2015. М.: ВНИРО. 76 с.
- Усов А.И. 2001. Проблемы и достижения в структурном анализе сульфатированных полисахаридов красных водорослей // Химия растительного сырья. № 2. С. 7–20.
- Усов А.И., Элашвили М.Я. 1991. Количественное определение производных 3,6-ангидрогалактозы и специфическое расщепление галактанов красных водорослей в условиях восстановительного гидролиза // Биоорганическая химия. Т. 17. № 6. С. 839–848.
- ФАР. Федеральное агентство по рыболовству. Доступно через: <http://fish.gov.ru>. 22.03.2018.
- Achaby M. El., Kassab Z., Aboulkas A., Gaillard C., Barakat A. 2018. Reuse of red algae waste for the production of cellulose nanocrystals and its application in polymer nanocomposites // International J. of Biological Macromolecules. V. 106. P. 681–691.
- AlgaeBase. Accessible via: <http://www.algaebase.org>. 22.03.2018.
- Bleakley S., Hayes M. 2017. Algal Proteins: extraction, application and challenges concerning production // Foods. № 6. P. 1–34.
- Cole K.M., Sheath R.G. 1990. Biology of the red algae. Cambridge: Cambridge university press. 517 p.
- Dominguez H. 2013. Functional ingredients from algae for foods and nutraceuticals. Cambridge: Woodhead publishing limited. 734 p.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances // Analytical Chemistry. V. 28. P. 350–356.
- FAO. 2003. Food and agriculture organization of the United Nations. Food energy — methods of analysis and conversion factors. Report of a technical workshop. Rome: FAO food and nutrition paper. 87 p.
- Joubert Y., Fleurence J. 2008. Simultaneous extraction of proteins and DNA by an enzymatic treatment of the cell wall of *Palmaria palmata* (Rhodophyta) // J. of applied phycology. № 20. P. 55–61.
- Meinita M.D., Marhaeni B., Hong Y. — K., Jeong G. — T. 2017. Enzymatic saccharification of agar waste from *Gracilaria verrucosa* and *Gelidium latifolium* for bioethanol production // J. of applied phycology. V. 29. I. 6. P. 3201–3209.
- Misurcova L., Kracmar S., Klejduš B., Vacek J. 2010. Nitrogen content, dietary fiber, and digestibility in algal food products // Czech J. of food sciences. № 28. P. 27–35.
- Rincones R.E., Yu S., Pedersen M. 1993. Effect of dark treatment on the starch degradation and the agar quality of cultivated *Gracilariopsis lemaneiformis* from Venezuela // Hydrobiologia. V. 260. I. 1. P. 633–640.
- Tsugita A., Scheffler J. — J. 1982. A rapid method for acid hydrolysis of protein with a mixture of trifluoroacetic acid and hydrochloric acid // European J. of biochemistry. V. 124. I. 3. P. 585–588.

Updegraff M.D. 1969. Semimicro determination of cellulose in biological material // Analytical biochemistry. V. 32. I. 3. P. 420–424.

Usov A.I. 2011. Polysaccharides of the red algae // Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry. V. 65. P. 115–217.

Wong K., Cheung P.C. 2001. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds part II. In vitro

protein digestibility and amino acid profiles of protein concentrates // Food chemistry. № 72. P. 11–17.

Поступила в редакцию 20.04.2018 г.

Принята после рецензии 18.03.2019 г.

Trudy VNIRO

2019. Vol. 176

Aquatic bioresources processing technologies

Perspective directions of efficient utilization of commercial red seaweeds of the genus *Ahnfeltia* collected from the coastal waters of Russia's Seas

A.V. Podkorytova¹, T.A. Ignatova¹, N.V. Burova¹, A.I. Usov²

¹Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow

²N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry Russian Academy of Sciences (FSBIS «ZIOC RAS»), Moscow

Red algae of the genus *Ahnfeltia* are valuable biological resources and a traditional raw material used for agar production in Russia since the 30's of the 20th century. Nowadays the level of their commercial utilization is rather low. The technochemical characteristics of the air-dry red alga *A. tobuchiensis* of the Izmena Bay in the Pacific ocean and Peter the Great Bay in the Sea of Japan, as well as the characteristics of storm emissions *A. plicata* of the Solovetsky Islands, the Soroca Bay and the Onega Bay in the White Sea, harvested in 2013–2017, are presented in order to identify new promising directions for the efficient use of *Ahnfeltia*. The content of impurities, the total content of mineral substances, proteins and polysaccharides, such as agar, cellulose, floridean starch, mannan and xylan, were estimated in *Ahnfeltia*, together with monosaccharide and amino acid composition of the biomass hydrolyzates. The presented characteristics of *A. tobuchiensis* and *A. plicata* illustrate the possibility of the efficient processing of these algae to obtain a set of valuable products.

Keywords: *Ahnfeltia tobuchiensis*, *Ahnfeltia plicata*, biomass, chemical composition, mono- and polysaccharide compositions, amino acid composition of proteins.

REFERENCES

GOST 16280-2002. 2003. Agar pishchevoj. Tekhnicheskie usloviya [Food grade agar. Specifications]. M.: IPK Izdatel'stvo standartov. 5 s.

GOST 26185-84. 2010. Vodorosli morskije, travy morskije i produkty ikh pererabotki. Metody analiza [Marine algae,

sea herbs and products of their processing. Methods of analysis]. M.: FGUP «Standartinform». 34 s.

GOST 31413-2010. 2011. Vodorosli, travy morskije i produkcija iz nikh. Pravila priemki i metody otbora prob [Marine algae, sea herbs and products from them. Acceptance rules and methods of sampling]. M.: FGUP «Standartinform». 9 s.

- GOST 33331-2015. 2015. Vodorosli, travy morskije i produktsiya iz nikh. Metody opredeleniya massovoj doli vody, zoly i postoronnikh primesej [Marine algae, sea herbs and products from them. Methods for determining the mass fraction of water, ash and impurities]. M.: FGUP «Standartinform». 8 s.
- Burova N.V., Ignatova T.A., Podkorytova A.V., Usov A.I. 2018. Khimicheskij sostav i tekhnologicheskie svoystva krasnoj vodorosli *Ahnfeltia plicata*, sobrannoj iz shtormovykh vybrosov pribrezhnoj zony Onezhskogo zaliva Belogo morya [Chemical composition and technological properties of the red algae *Ahnfeltia plicata*, collected from drift algae the coastal zone of the Onega Bay, White Sea] // *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozyajstvennogo kompleksa: Mat. VI nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh s mezhd. uchastiem*. M.: Izd-vo VNIRO. S. 35–41
- Glubkovskij M.K., Tarasyuk S.N., Zver'kova L.M., Semenyak L.V., Murzov N.N., Petrova N.V., Brazhnik S.Yu., Skakun V.A. 2012. Syr'evaya baza rossijskogo rybolovstva v 2012 godu (rajony rossijskoj yurisdiksii). Spravochno-analiticheskie materialy [The raw material base of the Russian fishery in 2012 (Russian jurisdiction areas). Reference and analytical materials]. M.: Izd-vo VNIRO. 512 s.
- Zimina L.S., Nasedkina E.A., Shmel'kova L.P. 1972. Aminokislotnyj sostav nekotorykh krasnykh vodoroslej [Amino acid composition of some red algae] // *Issledovaniya po tekhnologii rybnykh produktov*. Vyp. 3. S. 40–45.
- Ivanov Yu.S., Nikandrov A.B. 2014. Tekhnologiya tsellyulozy. Varochnye rastvory, varka i otbelka tsellyulozy: uchebno-prakticheskoe posobie [Technology of cellulose. Solutions, pulping and bleaching of pulp]. SPb.: SPbGTURP. 41 s.
- Kadnikova I.A., Aminina N.M., Mokretsova N.D., Rogov A.M. 2015. Primenenie raznykh vidov vodoroslej v sostave kormov dlya molodi trepanga [Use of various algae species in the feed composition for sea cucumber juvenils] // *Vestnik AGTU. Ser.: Rybnoe khozyajstvo*. № 4. S. 62–68.
- Kizevter I.V. 1966. Promysel i pererabotka morskikh rastenij v Primor'e [Fishing and processing of marine plants in Primorye]. Vladivostok: Dal'nevostochnoe knizhnoe izdatel'stvo. 103 s.
- Kizevter I.V., Gryuner V.S., Evtushenko V.A. 1967. Pererabotka morskikh vodoroslej i drugikh promyslovyykh vodnykh rastenij [Processing of marine algae and other aquatic plants]. M.: Pishchevaya promyshlennost'. 416 s.
- Kizevter I.V., Sukhoveeva M.V., Shmel'kova L.P. 1981. Promyslovye morskije vodorosli i travy dal'nevostochnykh morej [Marine algae and grasses of the Far Eastern seas]. M.: Leg. i pishch. prom-st'. 113 s.
- Kuprina E.Eh., Malygina M.A. 2010. Teoriya i praktika pererabotki vodoroslej ehlektrokhimicheskim sposobom [Theory and practice of algae processing by electrochemical method] // *Rybprom*. № 3. S. 36–42.
- Lopatina N. A., Klochkova N. G., Usov A. I. 2017. Polisakharidy vodoroslej. Soobshchenie 69. Monosakharidnyj sostav polisakharidov nekotorykh tikhookeanskikh krasnykh vodoroslej po dannym vosstanovitel'nogo gidroliza biomassy [Polysaccharides of algae. 69. Monosaccharide composition of polysaccharides of several Pacific red algae studied by reductive hydrolysis of biomass] // *Izvestiya AN. Seriya khimicheskaya*. № 5. S. 915–921.
- Materialy, obosnovyvyayushchie rekomendovannye ob»emy dobychi (vylova) vodnykh bioresursov, obshchij dopustimyj ulov kotorykh ne ustanavlivaetsya, vo vnutrennikh vodakh Rossijskoj Federatsii, v territorial'nom more Rossijskoj Federatsii, na kontinental'nom shel'fe Rossijskoj Federatsii i v isklyuchitel'noj ehkonomicheskoy zone Rossijskoj Federatsii, v Azovskom i Kaspijskom moryakh na 2017 god*. 2016. Chast' 3: Bespozvonochnye i vodorosli, Tom 4: Vodorosli i morskije travy [Materials justifying the recommended volumes of production (catch) of aquatic biological resources, the total allowable catch of which is not established, in the inland waters of the Russian Federation, in the territorial sea of the Russian Federation, on the continental shelf of the Russian Federation and in the exclusive economic zone of the Russian Federation, in the Azov and Caspian Seas 2017 year]. M.: Izd-vo VNIRO. 135 s.
- Ob utverzhdenii pravil rybolovstva dlya Severnogo rybokhozyajstvennogo bassejna: Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 30.10.2014 N414* [On the approval of fishing rules for the Northern fisheries basin: Order No. 414 of the Ministry of Agriculture of Russia of October 30, 2014] // *Rossiyskaya gazeta. Spets. vyp. 23 yanv. 2015. № 12/1 (6583/1)*. S. 2–10.
- Pleshkov B.P. 1965. Biokhimiya sel'skokhozyajstvennykh rastenij [Biochemistry of agricultural plants]. M.: Kolos. 447 s.
- Podkorytova A.V. 2005. Morskije vodorosli-makrofity i travy [Marine macrophytic algae and grasses]. M.: Izd-vo VNIRO. 174 s.
- Podkorytova A.V., Vafina L.Kh., Ignatova T.A. 2017. Kormovye dobavki iz morskikh vodoroslej i produktov ikh pererabotki [Feed additives from seaweed and their products]. M.: Izdatel'stvo VNIRO. 70 s.
- Podkorytova A. V., Ignatova T. A., Rodina T. V. 2016. Kompleksnaya resursoberegayushchaya tekhnologiya pererabotki krasnykh vodoroslej *Ahnfeltia plicata*, Beloe more: poluchenie agara, pishchevykh volokon i kormovykh produktov [Complex resource-saving technology of red alga *Ahnfeltia plicata* from the White Sea: obtaining of agar, food fiber and feeding products] // *Trudy VNIRO*. T. 159. S. 130–142.
- Podkorytova A.V., Kadnikova I.A., Kusheva O.A., Sokolova V.M., Sukhoverkhov S.V. 2002. Sposob polucheniya vysokochishchennogo agara i agarozy iz krasnoj vodorosli anfel'tsii tobuchinskoj [Method of preparing highly purified agar and agarose from red alga *Ahnfeltia tobuchiensis*]. Pat. № 2189990. IB № 27.

- SKTUFAR. Sakhalino-Kuril'skoe territorial'noe upravlenie Federal'nogo agentstva po rybolovstvu [Sakhalin-Kuril territorial administration of the Federal Agency for fisheries]. Accessible via: <http://sktufar.ru>. 22.03.2018.
- Statisticheskie svedeniya po rybnoj promyshlennosti Rossii 2013–2014 gg. [Statistical information on the fishing industry in Russia 2013–2014]. 2015. M.: VNIRO. 76 s.
- Usov A.I. 2001. Problemy i dostizheniya v strukturnom analize sul'fatirovannykh polisakharidov krasnykh vodoroslej [Problems and achievements in the structural analysis of red algae sulfated polysaccharides] // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. № 2. S. 7–20.
- Usov A.I., Ehlahshvili M. Ya. 1991. Kolichestvennoe opredelenie proizvodnykh 3,6-angidrogalaktozy i spetsificheskoe rasshcheplenie galaktanov krasnykh vodoroslej v usloviyakh vosstanovitel'nogo gidroliza [Quantitative determination of 3,6-anhydrogalactose derivatives and specific cleavage of galactans of red algae under conditions of reconstructive hydrolysis] // *Bioorganicheskaya khimiya*. T. 17. № 6. S. 839–848.
- FAR. Federal'noe agentstvo po rybolovstvu [Federal agency for fishery]. Accessible via: <http://fish.gov.ru>. 22.03.2018.
- Achaby M. El., Kassab Z., Aboulkas A., Gaillard C., Barakat A. 2018. Reuse of red algae waste for the production of cellulose nanocrystals and its application in polymer nanocomposites // *International J. of Biological Macromolecules*. V. 106. P. 681–691.
- AlgaeBase. Accessible via: <http://www.algaebase.org>. 22.03.2018.
- Bleakley S., Hayes M. 2017. Algal Proteins: extraction, application and challenges concerning production // *Foods*. № 6. P. 1–34.
- Cole K.M., Sheath R.G. 1990. *Biology of the red algae*. Cambridge: Cambridge university press. 517 p.
- Dominguez H. 2013. *Functional ingredients from algae for foods and nutraceuticals*. Cambridge: Woodhead publishing limited. 734 p.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances // *Analytical Chemistry*. V. 28. P. 350–356.
- FAO. 2003. Food and agriculture organization of the United Nations. Food energy — methods of analysis and conversion factors. Report of a technical workshop. Rome: FAO food and nutrition paper. 87 p.
- Joubert Y., Fleurence J. 2008. Simultaneous extraction of proteins and DNA by an enzymatic treatment of the cell wall of *Palmaria palmata* (Rhodophyta) // *J. of applied phycology*. № 20. P. 55–61.
- Meinita M.D., Marhaeni B., Hong Y. — K., Jeong G. — T. 2017. Enzymatic saccharification of agar waste from *Gracilaria verrucosa* and *Gelidium latifolium* for bioethanol production // *J. of applied phycology*. V. 29. I. 6. P. 3201–3209.
- Misurcova L., Kracmar S., Klejduš B., Vacek J. 2010. Nitrogen content, dietary fiber, and digestibility in algal food products // *Czech J. of food sciences*. № 28. P. 27–35.
- Rincones R.E., Yu S., Pedersen M. 1993. Effect of dark treatment on the starch degradation and the agar quality of cultivated *Gracilariopsis lemaneiformis* from Venezuela // *Hydrobiologia*. V. 260. I. 1. P. 633–640.
- Tsugita A., Scheffler J. — J. 1982. A rapid method for acid hydrolysis of protein with a mixture of trifluoroacetic acid and hydrochloric acid // *European J. of biochemistry*. V. 124. I. 3. P. 585–588.
- Updegraff M.D. 1969. Semimicro determination of cellulose in biological material // *Analytical biochemistry*. V. 32. I. 3. P. 420–424.
- Usov A.I. 2011. Polysaccharides of the red algae // *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*. V. 65. P. 115–217.
- Wong K., Cheung P.C. 2001. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds part II. In vitro protein digestibility and amino acid profiles of protein concentrates // *Food chemistry*. № 72. P. 11–17.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Development of catch rates of *Ahnfeltia* in the Far Eastern fisheries basin in 2013–2017

Table 2. Conditions of *A. tobuchiensis*, *A. plicata* collection and the content of impurities in them

Table 3. Chemical composition of *A. tobuchiensis*, *A. plicata*

Table 4. Monosaccharide composition of *A. tobuchiensis*, *A. plicata* biomass and the ratio A/G

Table 5. Amino acid composition of *A. tobuchiensis*, *A. plicata* proteins

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Chromatogram of amino acid composition of *A. tobuchiensis* protein (sample No. 2), nmol in the sample

Fig. 2. Chromatogram of amino acid composition of *A. plicata* protein (sample No. 4), nmol in the sample