

УДК 550.7:581.5

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ *LAMINARIA DIGITATA* (HUDSON) J.V. LAMOUREUX, 1813 И *FUCUS DISTICHUS* (LINNAEUS, 1767) ИЗ ЗАЛИВОВ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ (КАРСКОЕ МОРЕ)

© 2021 г. Н. В. Лобус^{1, *}, А. А. Удалов²

¹Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва 127276, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва 117997, Россия

*e-mail:lobus.nikolay@gmail.com

Поступила в редакцию 29.12.2020 г.

После доработки 22.03.2021 г.

Принята к публикации 22.04.2021 г.

Представлены первые данные по содержанию золы, органического углерода, белков, липидов, а также широкого спектра макро- (Na, Mg, P, S, K, Ca), микро- (Li, Be, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, Re, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U) и редкоземельных элементов (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) в бурых водорослях *Laminaria digitata* и *Fucus distichus* из заливов восточного побережья Архипелага Новая Земля (Карское море).

Ключевые слова: Арктика, бурые водоросли, зола, органический углерод, белки, липиды, химические элементы

DOI: 10.31857/S0134347521050107

Изучение химического состава макрофитов, а также оценка их роли в концентрировании и преобразовании форм нахождения и миграции макро- и микроэлементов в океане являются одним из приоритетных разделов морской биогеохимии (Саенко, 1992; Христофорова, Чернова, 2005). Несмотря на длительную историю исследований, получение новых данных до сих пор остается актуальной задачей. Это связано с широким использованием элементного состава водорослей в экологическом мониторинге и оценке антропогенного воздействия на морские экосистемы (Саенко, 1992; Чернова, Шулькин, 2019). Исторически в большинстве публикаций оценивалось содержание сравнительно небольшого набора элементов, как правило, макроэлементов и/или некоторых тяжелых металлов и металлоидов (Саенко, 1992; Чернова, Шулькин, 2019). Однако современное развитие высоких технологий, создание новых композитных материалов и сплавов определяют интенсивное промышленное использование широкого спектра микро- и редкоземельных элементов, которым до недавнего времени уделялось очень мало внимания со стороны исследователей в области экологического мониторинга и охраны морских экосистем (Adeel et al., 2019; Pooja et al., 2020). Из-за потенциальных экотоксикологических рисков, связанных с антропогенным поступлением в окружающую среду этой группы элементов, недавно она была определена как “новые возникающие загрязнители” (new

emerging pollutants) (MacMillan et al., 2017; Gwenzi et al., 2018). Необходимо отметить, что в настоящее время комплексные данные о фоновых концентрациях элементов, относящихся к новой группе загрязняющих веществ в морских организмах, ограничены единичными публикациями (Лобус, 2016; Лобус и др., 2018; Lobus et al., 2019), а роль первичных продуцентов в их биоаккумуляции и трофодинамике в морских экосистемах не исследована (Gwenzi et al., 2018; Pooja et al., 2020).

Целью нашей работы являлось комплексное изучение химического состава бурых водорослей *Laminaria digitata* (Hudson) J.V. Lamouroux, 1813 и *Fucus distichus* (Linnaeus, 1767) из заливов восточного побережья архипелага Новая Земля (Карское море).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал для исследований был собран в 128-м рейсе НИС “Профессор Штокман” (сентябрь 2014 г.) и 63-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” (сентябрь–октябрь 2015 г.) в поясе фитали четырех заливов восточного побережья архипелага Новая Земля (рис. 1).

Поселения макрофитов, основу которых составляли талломы *Laminaria digitata*, располагались в зоне верхней сублиторали на глубине от 2 до 20 м. Исключением являлся *Fucus distichus*, фрагментарные скопления которого также встре-

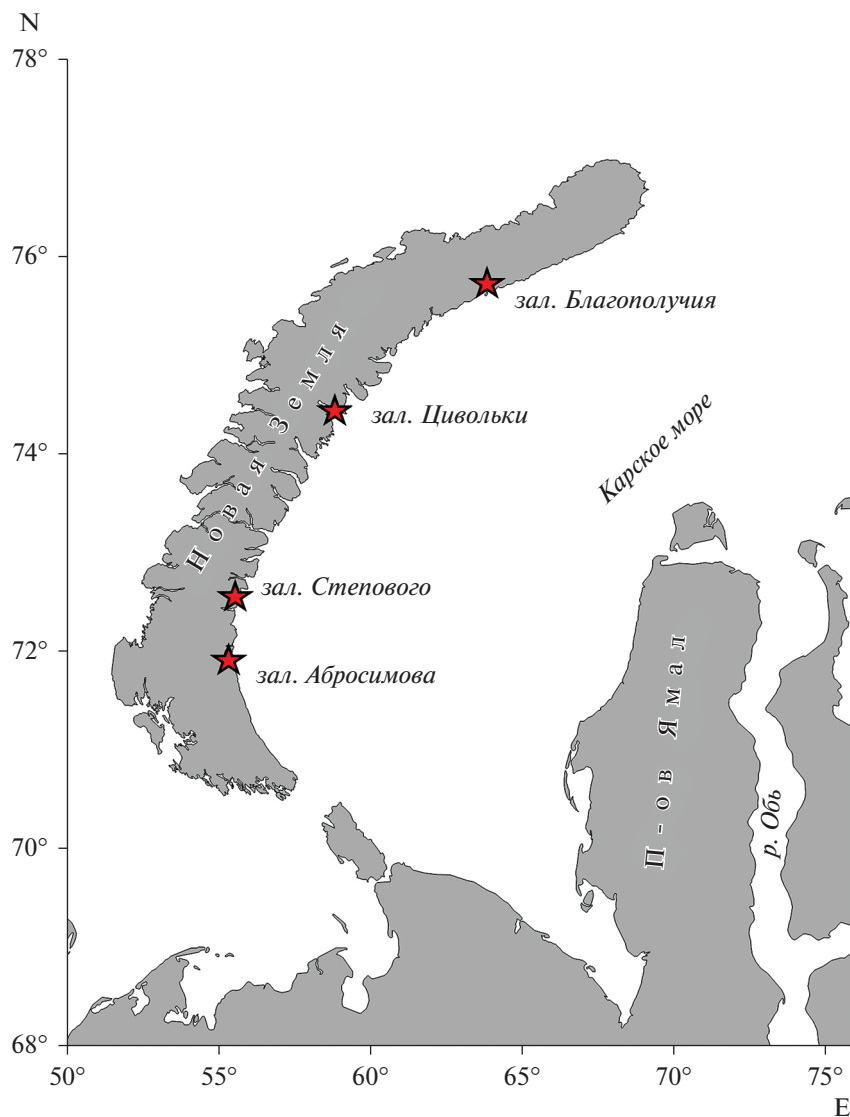


Рис. 1. Карта района исследований.

чались на более освещенных участках с глубинами до 0.5–1 м. Биотопические различия фитопланктона, определяющие поступление различных химических элементов, в том числе биогенных, связаны с особенностями питания и водообмена данных заливов. Заливы Благополучия и Цивольки (о-в Северный) характеризуются большей глубиной (до 180–200 м) и узкой сублиторальной зоной, а также ледниковым питанием и интенсивным поступлением мелкодисперсного терригенного материала. Это определяет высокое содержание взвешенного вещества в водах заливов и их очень низкую прозрачность. Макрофиты встречаются здесь достаточно фрагментарно. Заливы Степового и Абросимова (о-в Южный), напротив, обладают обширными мелководьями с глубиной от 5 до 30 м, что способствует развитию богатых поселений макрофитов. За счет впадения нескольких рек данные заливов характеризуются смешан-

ным типом питания. При этом для всех заливов характерен активный водообмен с прилегающей акваторией Карского моря (Недоспасов, Поярков, 2021).

В судовой лаборатории талломы водорослей тщательно промывали фильтрованной морской водой (Millipore, \varnothing 0.45 мкм) для удаления слизи и ассоциированных с ней частиц органо-минерального детрита. Затем пробы дважды промывали дистиллированной водой и однократно Milli-Q, высушивали в сушильном шкафу при температуре 50°C до постоянной массы и хранили в герметичных контейнерах. В стационарной лаборатории пробы водорослей измельчали в шаровой агатовой мельнице и разделяли на 5 равных частей. В каждом заливе было отобрано по 3 образца соответствующего вида водорослей.

Содержание золы определяли гравиметрическим методом. Пробы водорослей нагревали при

Таблица 1. Содержание органического углерода, золы, белков и липидов (в % сух. массы) в *Laminaria digitata* и *Fucus distichus* из заливов архипелага Новая Земля

Соединение	<i>Laminaria digitata</i>				<i>Fucus distichus</i>			
	зал. Благополучия	зал. Степового	зал. Абросимова	среднее*	зал. Цивольки	зал. Степового	зал. Абросимова	среднее*
ОУ	32.92	29.18	32.21	33.77 ± 3.19	34.89	36.54	33.68	35.04 ± 1.02
Зола	20.05	32.08	24.22	25.45 ± 4.32	15.02	14.92	20.37	16.77 ± 2.21
Белки	4.31	9.03	6.47	6.60 ± 1.67	5.94	6.01	9.77	7.24 ± 1.55
Липиды	1.31	1.01	1.49	1.27 ± 0.17	2.52	3.21	1.63	2.45 ± 0.56

Примечание (здесь и далее): * среднее значение и стандартная ошибка.

Таблица 2. Концентрация макроэлементов (в % сух. массы) в *Laminaria digitata* и *Fucus distichus* из заливов архипелага Новая Земля

Элемент	п/о × 10 ⁻⁴	<i>Laminaria digitata</i>				<i>Fucus distichus</i>			
		зал. Благополучия	зал. Степового	зал. Абросимова	среднее	зал. Цивольки	зал. Степового	зал. Абросимова	среднее
Na	1	1.85	2.83	1.71	2.13 ± 0.44	2.12	0.91	2.95	1.99 ± 0.72
Mg	0.2	0.46	0.85	0.64	0.65 ± 0.14	0.81	0.84	0.87	0.84 ± 0.02
P	0.6	0.26	0.32	0.21	0.26 ± 0.04	0.11	0.10	0.25	0.15 ± 0.06
S	1	0.48	0.92	1.03	0.81 ± 0.21	1.93	1.78	2.18	1.96 ± 0.14
K	0.2	2.86	6.0	11.86	6.91 ± 3.23	1.65	3.36	6.54	3.85 ± 1.75
Ca	1	0.62	0.97	1.12	0.91 ± 0.18	1.35	1.66	1.54	1.52 ± 0.11
Σ		6.53	11.88	16.53	11.65 ± 4.22	7.95	8.65	14.32	10.31 ± 2.47

Примечание (здесь и далее): п/о – предел обнаружения.

температуре 225 ± 25°C в течение 1 ч, а затем сжигали при температуре 525 ± 25°C в течение 5 ч (Лобус и др., 2020).

Содержание органического углерода (ОУ) рассчитывали по разности общего и неорганического углерода, концентрацию которых определяли высокотемпературным сжиганием на анализаторе TOC 5000-V-CPH с использованием приставки SSM-5000A (Shimadzu, Япония) по стандартной методике (Лобус, 2016; Lobus et al., 2019).

Общее содержание белков определяли спектрофотометрическим методом по Лоури (Postel et al., 2000), концентрацию липидов – гравиметрическим методом по Фолчу (Postel et al., 2000). Трехкратную экстракцию липидов проводили смесью растворителей метилен-метанол в соотношении 2 : 1 с использованием ультразвуковой бани "Branson-1210". Нелипидные примеси удаляли 0.05% раствором CaCl₂ (Лобус и др., 2018, 2020).

Содержание макро- (Na, Mg, P, S, K, Ca), микро- (Li, Be, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, Re, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U) и редкоземельных элементов (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) определяли, применяя методы атомно-эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с использованием спектрометров iCAP-6500 Duo и X-7 (Thermo Scientific, США). Разложение анализируемых образцов проводили в смеси концентрированных HNO₃ и H₂O₂ в соотношении 3 : 1 с ис-

пользованием автоклава Анкон-АТ-2 (Россия) (Лобус, 2016; Lobus et al., 2019). Пределы обнаружения содержания элементов представлены в таблицах 2–4. Для каждой пробы анализ содержания золы, белков, липидов, органического углерода и химических элементов выполнен в трех повторностях. Концентрацию определяемых показателей для отдельной пробы рассчитывали как среднее значение по трем параллельным измерениям.

Метрологический контроль полученных данных элементного анализа осуществляли с использованием стандартных сертифицированных образцов (Элодея канадская ГСО 8921-2007 ЭК-1; Листья табака восточного INCT-OBTL-5; Листья табака Вирджиния INCT-PVTL-5 и INCT-PVTL-6), которые случайным образом были распределены в каждой серии определений. Расхождение между сертифицированным и измеренным содержанием элементов во всех случаях находилось в пределах доверительных интервалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно полученным результатам, концентрация основных компонентов органического вещества у *Fucus distichus* была выше, а содержание золы было ниже, чем у *Laminaria digitata* (табл. 1). В элементном составе *L. digitata* и *F. distichus* наблюдались более существенные различия (табл. 2–4). Суммарная концентрация макроэлементов была примерно в 1.5 раза выше у *L. digitata*, тогда

Таблица 3. Концентрация микроэлементов (в мкг/г сух. массы) в *Laminaria digitata* и *Fucus distichus* из заливов архипелага Новая Земля

Элемент	п/о	<i>Laminaria digitata</i>				<i>Fucus distichus</i>				среднее
		зал. Благополучия	зал. Степового	зал. Абросимова	среднее	зал. Цивольки	зал. Степового	зал. Абросимова	зал. Абросимова	
Li	0.0004	0.26	0.57	0.52	0.45 ± 0.12	0.61	0.32	0.63	0.52 ± 0.12	
Be	0.0001	0.0014	<п/о	0.011	—	0.03	0.012	0.012	0.02 ± 0.01	
B	0.04	91.86	113	110	105.9 ± 8.1	67.1	147	101	105 ± 28.4	
Al	0.1	27.1	44.2	231	100.5 ± 80.2	510	280	327	372.2 ± 85.6	
Ti	0.03	<п/о	<п/о	<п/о	—	5.6	7.4	7.6	6.9 ± 0.78	
V	0.07	<п/о	<п/о	2.8	—	<п/о	<п/о	5.5	—	
Cr	0.04	<п/о	0.8	1.3	—	1.05	1.12	1.51	1.22 ± 0.16	
Mn	0.02	5.47	28.1	198.8	77.51 ± 75.7	82.87	61.1	90.2	78.1 ± 10.7	
Fe	0.4	32.5	125.3	301.4	152.8 ± 96.5	489	214	1276	660 ± 390	
Co	0.01	0.24	0.52	2.7	1.16 ± 0.95	5.12	2.14	2.83	3.33 ± 1.12	
Ni	0.03	0.42	0.91	2.1	1.15 ± 0.63	11.3	5.9	5.1	7.43 ± 2.39	
Cu	0.01	1.22	9.63	<п/о	—	10.1	4.9	6.2	7.08 ± 1.9	
Zn	0.09	26.6	65.9	85.5	59.3 ± 21.2	173.7	61.6	67.1	100.8 ± 44.7	
Ga	0.003	0.02	<п/о	<п/о	—	0.14	0.11	0.11	0.12 ± 0.02	
As	0.005	79.88	127.3	96.2	101.2 ± 17.1	31.33	49.1	66.8	49.1 ± 12.54	
Se	0.02	0.12	0.83	1.61	0.85 ± 0.53	0.52	0.73	0.78	0.68 ± 0.12	
Rb	0.003	22.3	23.1	40.3	28.51 ± 7.21	12.5	30.2	22.2	21.61 ± 6.25	
Sr	0.03	307.6	1280	768.3	785 ± 344	1237	1393	1291	1307 ± 56	
Mo	0.004	0.18	0.19	0.53	0.31 ± 0.14	0.28	0.51	0.6	0.46 ± 0.12	
Ag	0.002	0.013	0.95	1.18	0.71 ± 0.44	0.12	0.15	0.094	0.12 ± 0.02	
Cd	0.001	2.3	0.32	0.79	1.14 ± 0.73	0.53	0.35	0.64	0.51 ± 0.1	
Sn	0.005	0.011	<п/о	<п/о	—	0.02	0.022	<п/о	—	
Sb	0.001	0.023	<п/о	<п/о	—	0.14	0.16	0.15	0.15 ± 0.01	
Cs	0.0001	0.04	0.04	0.07	0.05 ± 0.01	0.07	0.075	0.066	0.07 ± 0.001	
Ba	0.01	3.82	17.3	15.6	12.25 ± 5.2	83.84	18.7	27.9	43.5 ± 24.9	
Re	0.0003	0.004	0.063	0.019	0.035 ± 0.02	0.05	0.007	<п/о	—	
Hg	0.001	0.018	<п/о	<п/о	—	0.02	0.0094	0.016	0.015 ± 0.004	
Tl	0.0001	0.0015	0.006	0.021	0.01 ± 0.008	0.008	0.0084	0.011	0.009 ± 0.001	
Pb	0.005	0.42	0.55	3.18	1.38 ± 1.11	1.28	0.34	0.72	0.78 ± 0.33	
Bi	0.0004	0.002	<п/о	0.024	—	0.009	0.0045	0.009	0.008 ± 0.002	
Th	0.0007	0.012	<п/о	0.018	—	0.056	0.031	0.042	0.043 ± 0.009	
U	0.0003	0.32	0.11	0.16	0.18 ± 0.08	2.37	2.12	0.53	1.65 ± 0.69	
Σ		602.7	1838.7	1863	1435 ± 510	2726	2281	3301	2770 ± 361	

Примечание (здесь и далее): прочерк — среднее значение не рассчитывали.

Таблица 4. Концентрация скандия, иттрия и редкоземельных элементов (в нг/г сух. массы) в *Laminaria digitata* и *Fucus distichus* из заливов архипелага Новая Земля

Элемент	п/о	<i>Laminaria digitata</i>				<i>Fucus distichus</i>			
		зал. Благополучия	зал. Степового	зал. Абросимова	среднее	зал. Цивольки	зал. Степового	зал. Абросимова	среднее
Sc	10	60	<п/о	<п/о	–	330	268	288	295 ± 22
Y	2	27	89	177	98 ± 53	930	1311	1198	1146 ± 139
La	1.5	90	105	295	162 ± 81	460	949	957	788 ± 201
Ce	0.4	210	364	2085	886 ± 736	840	1219	1583	1214 ± 263
Pr	0.1	13	17	55	28 ± 16	110	246	250	202 ± 56
Nd	0.2	47	93	248	129 ± 74	540	1052	1123	905 ± 225
Sm	0.2	7	15	46	23 ± 15	150	243	257	217 ± 41
Eu	0.3	2	<п/о	10	–	50	62	72	62 ± 8
Gd	0.3	7	19	49	25 ± 15	180	295	303	259 ± 49
Tb	0.2	1	<п/о	<п/о	–	30	41	43	38 ± 5
Dy	0.3	5	15	41	20 ± 13	160	230	226	205 ± 28
Ho	0.3	1.2	<п/о	<п/о	–	30	43	43	39 ± 5
Er	0.2	4	<п/о	26	–	100	125	121	115 ± 9
Tm	0.2	1	<п/о	<п/о	–	10	15	14	13 ± 2
Yb	0.1	3	<п/о	18	–	100	94	97	97 ± 2
Lu	0.2	1	<п/о	<п/о	–	15	13	12	14 ± 1
Σ		478	718	3050	1415 ± 1004	4035	6205	6587	5610 ± 973

как общее содержание микро- и редкоземельных элементов было выше у *F. distichus* (приблизительно в 2–4 раза). При этом суммарная концентрация макро-, микро- и редкоземельных элементов в исследованных видах водорослей у Южного острова архипелага Новая Земля (заливы Степового и Абросимова) была выше, чем в водорослях, произраставших у Северного острова (заливы Благополучия и Цивольки).

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных показал, что для химического состава бурых водорослей *Laminaria digitata* и *Fucus distichus* характерны как межвидовые, так и биотопические различия. Средняя концентрация белков, липидов и органического углерода, а также диапазон варьирования и видовые особенности содержания этих соединений в целом сопоставимы с ранее опубликованными данными. Среди бурых водорослей ламинариевые считаются наиболее богатым источником минеральных веществ и, по нашим данным, макроэлементов, а фукусовые могут служить источником разных биологически активных соединений (Боголицын и др., 2012).

Содержание золы и макроэлементов было более высоким в *L. digitata*, однако для *F. distichus* было характерно более интенсивное биоаккумулятивное широкое спектра микро- и редкоземельных элементов. Вероятно, это связано с различиями в накоплении разных групп элементов у гидробионтов (Лобус и др., 2018; Lobus et al., 2019), а также с разной биологической потребно-

стью в данных элементах у двух совместно обитающих видов водорослей (Саенко, 1992; Христофорова, Чернова, 2005). Наряду с этим у *L. digitata* и *F. distichus* отмечены сходные закономерности в формировании элементного состава, связанные с характером биотопа. В настоящее время нет оснований полагать, что концентрация и/или биодоступность растворенных форм элементов в заливах Степового и Абросимова выше, чем в заливах Благополучия и Цивольки (Лобус, 2016). Вероятно, установленные нами биотопические различия связаны с влиянием абиотических факторов среды на накопление элементов макрофитами и/или с химическим составом субстрата, к которому прикреплялись талломы исследованных водорослей (Саенко, 1992).

Несмотря на длительную историю изучения химического состава морских макрофитов, полученные результаты впервые дают комплексное представление о содержании широкого спектра макро-, микро- и редкоземельных элементов в двух видах бурых водорослей, обитающих в арктических условиях. В дальнейшем полученные сведения могут быть использованы при формировании баз данных химического состава живых организмов моря, для оценки динамики и флуктуации морских экосистем в изменяющихся климатических условиях среды, а также при проведении экологического мониторинга и разработке основ безопасности применения водорослей в качестве потенциальных природных источников функционального питания для человека и сельскохозяйственных животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Настоящая статья не содержит описания каких-либо исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят научного руководителя экспедиций академика М.В. Флинта и научный состав, а также команду НИС “Профессор Штокман” и НИС “Академик Мстислав Келдыш” за проявленный интерес к работе и за помощь при проведении исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Экспедиционные исследования выполнены в рамках государственного задания Института океанологии РАН (№ 0128-2021-0007). Исследование химического состава водорослей проведено в рамках государственного задания Института физиологии растений РАН (тема № 121041200194-7). Исследования видового состава и распределения макрофитов выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-60070).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Боголицын К.Г., Каплицын П.А., Ульяновский Н.В. и др. Комплексное исследование химического состава бурых водорослей Белого моря // *Химия растит. сырья*. 2012. № 4. С. 153–160.

Лобус Н.В. Элементный состав зоопланктона Карского моря и заливов восточного побережья Новой Земли // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 6. С. 890–900.

Лобус Н.В., Дриц А.В., Флинт М.В. Концентрирование химических элементов доминирующими видами

копепод в эстуарии реки Обь и на прилежащем шельфе Карского моря // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 3. С. 431–442.

Лобус Н.В., Флинт М.В., Флерова Е.А. и др. Биохимический состав и содержание энергии в зоопланктоне Карского моря // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 6. С. 889–898.

Недоспасов А.А., Поляков С.Г. Особенности гидрофизической структуры и переноса вод в заливах Южного острова архипелага Новая Земля // *Соврем. методы и средства океанол. исслед.* 2021. Т. 1. С. 120–124.

Саенко Г.Н. Металлы и галогены в морских организмах. М.: Наука. 1992. 200 с.

Христофорова Н.К., Чернова Е.Н. Сравнение содержания тяжелых металлов в бурых водорослях и морских травах // *Докл. Акад. наук*. 2005. Т. 400. № 4. С. 571–573.

Чернова Е.Н., Шулькин В.М. Концентрация металлов в воде и в водорослях: биоаккумуляционный фактор // *Биол. моря*. 2019. Т. 45. № 3. С. 177–187.

Adeel M., Lee J.Y., Zain M. et al. Cryptic footprints of rare earth elements on natural resources and living organisms // *Environ. Int.* 2019. V. 127. P. 785–800.

Gwenzi W., Mangori L., Danha C. et al. Sources, behavior, and environmental and human health risks of high-technology rare earth elements as emerging contaminants // *Sci. Total Environ.* 2018. V. 636. P. 299–313.

Lobus N.V., Arashkevich E.G., Flerova E.A. Major, trace, and rare-earth elements in the zooplankton of the Laptev Sea in relation to community composition // *Environ. Sci. Poll. Res.* 2019. V. 26. № 22. P. 23044–23060.

MacMillan G.A., Chételat J., Heath J.P. et al. Rare earth elements in freshwater, marine, and terrestrial ecosystems in the eastern Canadian Arctic // *Environ. Sci. Process. Impacts*. 2017. V. 19. P. 336–1345.

Pooja D., Kumar P., Singh P. et al. *Sensors in Water Pollutants Monitoring: Role of Material*. Singapore: Springer. 2020. 319 p.

Postel L., Fock H., Hagen W. Biomass and abundance // *Zooplankton Methodology Manual* / Eds. Harris R., Wiebe P., Lenz J. et al. London: Academic Press. 2000. P. 83–192.

Chemical Composition of Brown Algae *Laminaria digitata* (Hudson) J.V. Lamouroux, 1813 and *Fucus distichus* (Linnaeus, 1767) from the Bays of the Novaya Zemlya Archipelago (the Kara Sea)

N. V. Lobus^a and A. A. Udalov^b

^aTimiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow 127276, Russia

^bShirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow 117997, Russia

This article presents the first data on the content of ash, organic carbon, proteins, lipids, major (Na, Mg, P, S, K, and Ca), trace (Li, Be, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, Re, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, and U) and rare earth elements (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, and Lu) in two species of brown algae *Laminaria digitata* and *Fucus distichus* from four bays of the eastern coast of the Novaya Zemlya Archipelago (the Kara Sea).

Keywords: Arctic, brown algae, ash, organic, carbon, proteins, lipids, chemical elements