

ВОДОРΟΣЛИ РОДА *CLADOPHORA* КАК УДОБНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

А. Н. Камнев, О. М. Бунькова, И. П. Ермаков, И. В. Стуколова, А. С. Яковлев

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, РФ,
dr.kamnev@mail.ru

С помощью метода нейтронной активации проведено исследование минерального состава зелёной водоросли *Cladophora sericea* (Hudson) Kutz. Определены концентрации 41 химического элемента. Для большинства минеральных элементов разброс средних значений концентраций незначителен. Для Mn, Mo, Br диапазон концентраций может изменяться от 5 до 14 раз. Высокие концентрации S, As и Sr, вероятно, могут свидетельствовать о загрязнении этими элементами анапского района.

Ключевые слова: Чёрное море, зелёные водоросли, *Cladophora sericea*, минеральный состав, нейтронная активация

Важной задачей биогеохимического мониторинга является оценка диапазона аккумулятивных возможностей объектов-мониторов. Выбор макрофитов в качестве модельных объектов для биогеохимических исследований связан с их важнейшим значением для гидросферы как одних из основных первичных продуцентов шельфовой зоны Мирового океана. В настоящей работе исследовалось накопление минеральных элементов мелкой неприкрепленной (нитчатой) морской зелёной водорослью *Cladophora sericea* (Hudson) Kutz., обитающей на песчаном субстрате, в прибрежной зоне песчаных пляжей, и поглощающей элементы из водной среды всей поверхностью таллома. Работа представляет предварительные частичные результаты сложного исследования по оценке биогеохимической обстановки в регионе Анапы.

В табл. 1 приведены данные минерального состава *Cladophora sericea*, собранной в августе 2013 г. в черте г. Анапа. Для определения минерального состава был использован метод нейтронной активации, позволяющий единообразно определить 41 химический элемент.

Из полученных данных видно, что минеральные элементы по их среднему содержанию в талломах *Cladophora sericea* можно расположить в следующей убывающей последовательности: Ca>K>Cl>Al>S>Fe>Na>Mg>Sr>Br>Ti>Mn>Ba>I>Zn>V>As>Ce>Rb>Cr>Ni>La>Co>Sc>Th>Hf>W>Mo>Nb>Sm>Cs>U>Yb>Se>Sb>Tm>Gd>Eu>Tb ≈ Ta>Au.

Интересно отметить, что для основной массы определённых нами минеральных элементов серьёзных изменений в соотношении максимальных и минимальных концентраций у данного вида практически не наблюдается. Хотя для некоторых элементов, например, таких как Mn, Mo, Br, диапазон концентраций может изменяться в 5–14 раз. С одной стороны, это можно объяснить тем, что пробы брались в одном месте и в одно и то же время (т. е. не было сезонных и прочих изменений), а с другой – особенностью строения клеточной стенки и межклетников у этих видов зелёных макроводорослей.

Коэффициенты концентрирования и биологического поглощения. Одним из важнейших направлений в биогеохимии является концепция биогеохимических провинций, в основе разделения которых лежит специфика поведения элементов в пределах определённых территорий, связанная с избыточным содержанием элементов или их

дефицитом в окружающей среде. Поэтому установление содержания элемента по отношению к определённому стандарту является одним из важнейших приёмов в биогеохимии [1].

Табл. 1 Диапазон изменений содержания минеральных элементов в талломах *Cladophora sericea*

№ п/п	Атомный номер	Элемент	Средняя концентрация ± станд. отклонение (мкг/г сухого веса)	C (max)	C (min)	C (max) / C (min)
Щелочные металлы						
1	11	Na	6241,67 ± 167,73	7700,00	4590,00	1,68
2	19	K	22500,00 ± 2155,26	24200,00	19300,00	1,25
3	37	Rb	16,48 ± 1,66	18,30	13,70	1,34
4	55	Cs	0,48 ± 0,06	0,55	0,35	1,58
Щелочноземельные металлы						
5	12	Mg	3426,67 ± 467,29	4580,00	2560,00	1,79
6	20	Ca	81533,33 ± 8822,56	135000,00	38000,00	3,55
7	38	Sr	1253,33 ± 61,56	1630,00	904,00	1,80
8	56	Ba	181,83 ± 26,36	232,00	158,00	1,47
Редкоземельные металлы						
9	21	Sc	1,36 ± 0,170	1,57	0,93	1,70
10	22	Ti	439,17 ± 121,88	599,00	269,00	2,23
Лантаноиды						
11	57	La	7,55 ± 0,957	9,38	4,88	1,92
12	58	Ce	18,77 ± 2,82	21,50	11,50	1,87
13	62	Sm	0,52 ± 0,28	0,88	0,19	4,66
14	63	Eu	0,07 ± 0,01	0,10	0,05	2,25
15	64	Gd	0,07 ± 0,04	0,18	0,08	2,23
16	65	Tb	0,07 ± 0,01	0,08	0,05	1,52
17	69	Tm	0,08 ± 0,03	0,13	0,03	4,03
18	70	Yb	0,23 ± 0,04	0,33	0,14	2,32
Актиноиды						
19	90	Th	0,98 ± 0,16	1,14	0,68	1,68
20	92	U	0,26 ± 0,09	0,39	0,12	3,20
Благородные металлы						
21	79	Au	0,01 ± 0,001	0,01	0,003	3,63
Переходные элементы – тяжёлые металлы						
22	23	V	19,83 ± 1,99	22,20	17,70	1,25
23	24	Cr	9,97 ± 3,38	15,10	4,18	3,61
24	25	Mn	254,02 ± 46,32	477,00	78,70	6,06
25	26	Fe	6976,67 ± 750,42	8870,00	5530,00	1,60
26	27	Co	2,00 ± 0,22	2,32	1,45	1,60
27	28	Ni	8,82 ± 0,897	12,40	4,44	2,79
28	30	Zn	41,97 ± 3,15	53,80	31,30	1,72
29	41	Nb	0,62 ± 0,23	1,01	0,28	3,57
30	42	Mo	0,64 ± 0,09	1,16	0,22	5,35
31	72	Hf	0,80 ± 0,23	1,13	0,44	2,55
32	73	Ta	0,07 ± 0,01	0,08	0,05	1,74

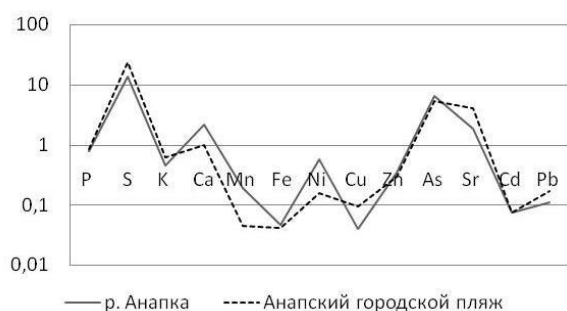
33	74	W	$0,67 \pm 0,19$	1,03	0,54	1,93
Лёгкий металл						
34	13	Al	$8358,33 \pm 1309,07$	9950,00	5250,00	1,90
Полуметаллы						
35	33	As	$19,32 \pm 0,16$	23,00	16,80	1,37
36	51	Sb	$0,22 \pm 0,01$	0,28	0,17	1,65
Неметаллы						
37	16	S	$8100,00 \pm 404,01$	8504,10	7695,91	1,1
38	34	Se	$0,23 \pm 0,08$	0,31	0,08	3,70
Галогены						
39	17	Cl	10785,00	13100,00	9020,00	1,45
40	35	Br	$469,15 \pm 74,96$	993,00	70,30	14,13
41	53	I	$125,17 \pm 3,01$	142,00	102,00	1,39

Существуют подходы интегрального рассмотрения данных по содержанию важнейших макро- и микроэлементов. К таким подходам относится построение геохимических спектров элементов (рис. 1, рис. 2). При их построении обычно на оси абсцисс последовательно помещают элементы согласно их порядковому номеру, а на оси ординат откладывают отношение содержания каждого элемента в исследуемом объекте к среднему содержанию в литосфере или земной коре (кларку). Когда показатели больше 1, говорят о концентрировании элемента, когда меньше – о рассеивании (табл. 2) [1, 2].

При антропогенном загрязнении окружающей среды опасным является не только превышение ПДК элементов, но и изменение соотношений элементов друг с другом, и это следует учитывать при проведении подобного рода работ. Для расчёта коэффициента концентрирования нами были использованы кларковые значения, установленные А. П. Виноградовым [3].

Табл. 2. Коэффициенты концентрирования и биологического поглощения элементов в *Cladophora sericea*

Элемент	Коэффициент концентрирования		Коэффициенты биологического поглощения	
	р. Анапка	Анапский городской пляж	р. Анапка	Анапский городской пляж
P	0,79	0,86	73804,10	79771,07
S	13,80	23,70	111,74	51,49
K	0,46	0,62	538,34	161,18
Ca	2,16	1,02	735,44	201,19
Mn	0,19	0,04	2311,48	723,64
Fe	0,05	0,04	5176,84	669,79
Ni	0,57	0,16	3309,02	920,21
Cu	0,04	0,09	173,31	176,86
Zn	0,35	0,29	143,01	231,50
As	6,61	5,49	3748,01	933,68
Sr	1,92	4,09	457,66	363,85



Cd	0,08	0,08	1,00	1,00
Pb	0,11	0,17	180,92	276,06

Рис.1 Коэффициенты концентрирования элементов в *Cladophora sericea*

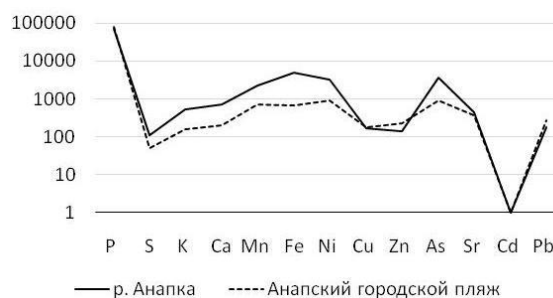


Рис. 2 Коэффициенты биологического поглощения *Cladophora sericea*

На примере демонстрации геохимических спектров, представленных выше, хорошо видно, что полученные в результате исследований данные показывают графическую однотипность поведения элементов, аккумулятированных в водорослях, собранных в одном регионе. На графиках чётко выделяются пики концентрирования серы, мышьяка и стронция. Эта тенденция поведения элементов наблюдается у *Cladophora*, собранной как в морской воде, так и в реке, впадающей в море. Скорее всего, эти данные могут свидетельствовать о повышенном содержании S, As и Sr в анапском регионе. Коэффициенты биологического поглощения указывают на более высокие значения этих параметров в реке по сравнению с морем. Не исключено, что это может свидетельствовать о несколько более высоком содержании данных элементов в пресной воде, и, кроме того, в морской и пресной воде они могут присутствовать в разных химических формах.

1. Богатырев Л. Г. Геохимические спектры как одна из форм анализа состояния объектов окружающей среды // Профессиональный лекторий Всероссийский молодежный научный форум «Шаг в будущее». Симпозиум 2. Естественные науки и современный мир. — РОО НТА АПФН, Москва, 2008. — С. 36–39.
2. Камнев А. Н., Бунькова О. М., Богатырев Л. Г., Стуколова И. В., Яковлев А. С. Идеи Д. А. Сабинина и их воплощение: Минеральный состав макрофитов как важнейший показатель их вклада в биогеохимический обмен Мирового океана // Материалы Международной конференции «Экологическая физиология водных фототрофов: распространение, запасы, химический состав и использование» III Сабининские чтения. Ч. 2. URL: <http://algology.ru/557>.
3. Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

ALGAE OF THE GENUS *CLADOPHORA* AS A CONVENIENT OBJECT FOR ENVIRONMENTAL DIAGNOSTICS

A. N. Kamnev, O. M. Bunkova, I. P. Yermakov, I. V. Stukolova, A. S. Yakovlev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, RF, dr.kamnev@mail.ru

With neutron activation method studied the mineral composition of the green algae *Cladophora sericea* (Hudson) Kutz. The concentrations of 41 chemical elements was determined. For most mineral elements variation of mean values is not significant concentrations. For Mn, Mo, Br concentration range may vary from 5 to 14 times. High concentrations of S, As and Sr, likely to be indicative of contamination by these elements Anapa district.

Key words: Black Sea, green algae, *Cladophora sericea*, mineral composition, neutron activation