

УДК 581.9: 582.3/99:581.132:574.58 (470.13-25)

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКС МАКРОФИТОВ ВОДОЕМОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ г. СЫКТЫВКАРА (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

© 2012 г.

Т.В. Новаковская¹, О.В. Дымова²

¹Сыктывкарский госуниверситет

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

dymovao@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 30.05.2012

Исследовано видовое разнообразие высших водных растений (макрофитов) четырех водоемов окрестностей г. Сыктывкара. Выявлены 46 видов из 37 родов и 27 семейств. Эколого-географический анализ показал, что в широтном соотношении основу флоры составляют бореальные виды, в долготном – голарктические. По отношению к фактору увлажнения в водоемах преобладают гигрофиты и гелофиты.

Впервые изучен пигментный комплекс 34 видов высших водных растений. Определен качественный состав и количественное содержание зеленых и желтых пигментов в листьях водных и прибрежно-водных растений. Виды гидрофильной флоры, такие как *Alisma plantago-aquatica*, *Elodea canadensis* и *Hydrocharis morsus-ranae*, могут использоваться в целях биоиндикации водных объектов.

Ключевые слова: макрофиты, водоемы, хлорофиллы и каротиноиды, биоиндикация.

Введение

Интерес к высшим водным растениям (макрофитам) обусловлен их ролью в водных экосистемах. Считается, что высшая водная растительность в водоемах играет двойную роль: положительную – обогащение водной массы кислородом, органическими и минеральными веществами, и отрицательную – накопление в период распада растительных остатков в воде легкоокисляющихся органических и токсических веществ, природа которых до настоящего времени окончательно не выяснена.

Высшие водные и прибрежно-водные растения играют важную роль в формировании растительного покрова умеренных широт. Сведения о растительности и видовом составе макрофитов водоемов Республики Коми (РК) представлены в работах [1–6]. Согласно [7], гидрофильная флора РК насчитывает 200 видов. Структурно-функциональный подход в изучении макрофитов позволяет оценить адаптационный потенциал растений, а также использовать их индикаторные свойства при биологическом анализе и проведении санитарно-гидробиологических исследований.

Наличие устойчивого механизма гомеостаза позволяет высшим водным растениям захватывать значительные территории и иметь широкое географическое распространение. Такие виды создают популяции, приспособленные к крайним условиям ареала, к значительным колебаниям света, температуры и др. Важное свойство

водных растений – способность легко образовывать экологические формы в зависимости от условий среды, в которые они попадают [8].

Свет является необходимым условием существования всех фотосинтезирующих организмов, в том числе и гидрофитов. Солнечные лучи, падающие на водную поверхность, частично отражаются от нее, другая часть, преломляясь, проникает вглубь. В связи с жесткими световыми условиями, водные растения обитают на небольших глубинах, при высокой прозрачности могут проникать до 8 м [9]. Световой режим водоемов характеризуется рядом особенностей, заключающихся не только в ослаблении, но и в изменении спектрального состава света, проникающего в водную толщу. Обитание в таких условиях привело к некоторым адаптивным изменениям пигментного комплекса гидрофитов, типичным также для наземных растений из затененных обитаний [10]. Абсолютное количество пигментов – величина наследственно обусловленная, связанная со структурно-анатомическими особенностями листьев конкретных видов. Условия произрастания, в первую очередь, сказываются на функционально значимых показателях пигментного аппарата (доле хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК), соотношении хлорофиллов *a* и *b*, сумме зеленых и желтых пигментов). Согласно имеющимся в литературе немногочисленным данным по содержанию пигментов у погруженных растений умеренного пояса [11–13], для этой экологической группы характерны высокая

доля хлорофиллов в ССК (около 68%), низкие отношения хлорофиллов a и b (в среднем 2.7), небольшое содержание хлорофиллов (1–3 мг/г сырой массы). Исследование содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в листьях макрофитов важно с точки зрения мониторинга состояния гидроценоза, поскольку параметры пигментного комплекса служат важными биоиндикаторами на изменяющиеся условия и диагностическими показателями фотосинтетических реакций листьев [14].

В настоящее время степень изученности флоры и растительности водоемов Северо-Востока европейской части России крайне недостаточна [15, 16]. Пигментный состав прибрежно-водных и водных растений подзоны средней тайги европейского Северо-Востока также остается не изученным. Цель настоящей работы – изучение видового разнообразия и оценка состояния пигментного комплекса гидрофильной флоры водоемов окрестностей г. Сыктывкара.

Материал и методы исследования

Объектом исследования служила гидрофильная флора водоемов окрестностей г. Сыктывкара (61°06' с.ш., 50°07' в.д.) в бассейне р. Сысолы. Сбор материала проводили в вегетационные периоды 2008–2010 гг. Исследованы четыре водоема: 1 – водоем на территории Ботанического сада Сыктывкарского госуниверситета (СыктГУ), 2 – озеро Выль-ты (пос. Краснозатонский), 3 – сточный водоем вблизи птицефабрики (с. Выльгорт), 4 – озеро Еля-ты (с. Выльгорт). Водоемы имеют удлиненную форму, в них преобладают илистые или илисто-песчаные донные субстраты. Глубина водоемов варьирует в диапазоне 0.5–6.0 м, прозрачность составляет 0.2–1.0 м. Наибольшая глубина озера Еля-ты достигает 6 м, прозрачность – до 1.5 м [17].

На основе собранного материала проведен анализ систематической, географической и экологической структуры изученной флоры. Систематический анализ флоры изученной территории включал учет количества видов, родов и семейств высших сосудистых растений. Для всех видов указаны латинские названия по систематической сводке С.К. Черепанова [18]. Для географического анализа был использован метод биогеографических координат [19]. Экологический анализ растений проводили по отношению к условиям увлажнения [20]. Для оценки сходства парциальных флор использовали коэффициент сходства Жаккара [21].

Образцы листьев для определения содержания пигментов отбирали с 15–20 растений в 3–5-кратной биологической повторности. Для анализа брали растения преимущественно в фазе цветения. В исследованиях использовали функционально зрелые листья. Навеску свежего растительного материала фиксировали жидким азотом и хранили при -76°C . Содержание зеленых и желтых пигментов определяли спектрофотометрически на приборе UV-1700 (Shimadzu, Япония) в ацетоновой вытяжке при длинах волн 662, 644 нм (хлорофиллы) и 470 нм (каротиноиды) [22]. Долю хлорофиллов светособирающего комплекса (ССК) рассчитывали по формуле [23]: $[(1.2 \text{ хл } b + \text{ хл } b) / \sum(\text{хл } a + \text{ хл } b)]$.

Данные обрабатывали статистически. В таблицах и на рисунках приведены средние величины со стандартной ошибкой.

Результаты и их обсуждение

Характеристика обследованных водоемов. По уровню жесткости и pH воды водоем СыктГУ, оз. Выль-ты и оз. Еля-ты можно отнести к мягким и нейтрально-щелочным ($pH = 6.5–7.0$). По ионному составу они практически однотипны, относятся к гидрокарбонатно-кальциевым. Концентрация гидрокарбонатов достигала 52, катионов Ca^{2+} – 13 мг/дм³. Водоем в Ботсаду СыктГУ относится к условно чистым водоемам. Высокий показатель химического потребления кислорода (ХПК = 108 мг/дм³) свидетельствует о быстром расходовании O_2 в воде и указывает на то, что в воде данного водоема содержится большее количество органического вещества по сравнению с другими водоемами. Озера Выль-ты и Еля-ты относятся к водоемам со смешанным типом загрязнения, они испытывают разнообразную антропогенную нагрузку: нарушенные берега, транспортное загрязнение, бытовой мусор, кострища и др.

Сточным водоем вблизи птицефабрики загрязняется стоками сельскохозяйственного производства. Также в него стекает вода от помехохранилища Сыктывкарской птицефабрики и, следовательно, попадает большое количество биогенных веществ и минеральных удобрений. Это подтверждает и химический анализ воды: показатель pH , близкий к 8, и высокое содержание HCO_3^- (211 мг/дм³) указывают на подщелачивание воды, которая также была обогащена фосфатами. Высокая степень жесткости воды в этом водоеме была обусловлена значительными количествами катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (63 и 12 мг/дм³ соответственно).

Общая характеристика макрофитов в исследованных водоемах. Всего исследованы 46

Таблица 1

Видовой состав и встречаемость макрофитов в исследованных водоемах

№№	Таксон	Водоемы			
		1	2	3	4
	Alismataceae Vent.				
1	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	+	+	+	+
2	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	-	+	-	+
	Apiaceae Lindl.				
3	<i>Sium latifolium</i> L.	+	+	-	+
	Araceae Juss.				
4	<i>Calla palustris</i> L.	+	-	-	+
	Brassicaceae Burnett.				
5	<i>Cardamine amara</i> L.	+	+	-	-
6	<i>Rorippa palustris</i> (L.) Bess.	-	+	+	-
	Ceratophyllaceae S.F. Grau				
7	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	+	+	-	+
	Cyperaceae Juss.				
8	<i>Carex acuta</i> L.	+	+	-	+
9	<i>Carex cinerea</i> Poll.	+	-	+	+
10	<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	+	-	-	+
11	<i>Carex rostrata</i> Stokes	+	+	-	+
12	<i>Carex vesicaria</i> L.	+	-	-	-
13	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. et Schult	-	-	+	-
	Equisetaceae Rich. ex DC.				
14	<i>Equisetum fluviatile</i> L.	+	+	-	+
15	<i>Equisetum palustre</i> L.	+	-	-	+
	Hydrocharitaceae Juss.				
16	<i>Elodea canadensis</i> Michx.	+	+	-	+
17	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	+	+	+	+
18	<i>Stratiotes aloides</i> L.	-	-	-	+
	Juncaceae Juss.				
19	<i>Juncus bufonius</i> L.	+	-	-	-
20	<i>Juncus filiformis</i> L.	+	-	-	+
21	<i>Juncus nodulosus</i> Wahlenb.	+	-	-	-
	Lamiaceae Lindl.				
22	<i>Stachys palustris</i> L.	+	-	-	-
	Lemnaceae S.F. Grau				
23	<i>Lemna trisulca</i> L.	+	+	-	+
24	<i>Lemna minor</i> L.		-	+	-
25	<i>Spirodela polyrhiza</i> (L.) Schleid	+	-	+	+
	Lentibulariaceae Rich.				
26	<i>Utricularia vulgaris</i> L.	-	+	-	+
	Menyanthaceae Dumort				
27	<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	-	-	-	+
	Numpheaceae Salisb.				
28	<i>Numphar lutea</i> (L.) Smith	+	+	-	+
29	<i>Nymphaea candida</i> Presl	-	+	-	-
	Onagraceae Juss.				
30	<i>Epilobium palustre</i> L.	+	+	+	+
	Parnassiaceae S.F. Grau				
31	<i>Parnassia palustris</i> L.	+	-	-	+
	Primulaceae Vent.				
32	<i>Trientalis europaea</i> L.	+	-	-	-
33	<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	-	+	-	-
34	<i>Naumburgia thyrsoflora</i> (L.) Reichenb.	-	+	+	-
	Poaceae Barnhart				
35	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	-	-	+	-
36	<i>Calamagrostis purpurea</i> (Trin.) Trin.	-	+	-	-
	Ranunculaceae Juss.				
37	<i>Thalictrum flavum</i> L.	-	+	-	-
	Rosaceae Juss.				
38	<i>Comarum palustre</i> L.	-	+	-	+
	Rubiaceae Juss.				
39	<i>Galium uliginosum</i> L.	+	-	-	-
40	<i>Galium palustre</i> L.	+	+	-	-
	Salicaceae Mirb.				
41	<i>Salix triandra</i> L.	+	-	-	-
	Saxifragaceae Juss.				
42	<i>Chrysosplenium alternifolium</i> L.	+	-	-	-
	Sparganiaceae Rudolphi				
43	<i>Sparganium emersum</i> Rehm.	-	-	+	-
	Lythraceae J.St.-Hil.				
44	<i>Lythrum salicaria</i>	-	+	-	-
	Scheuchzeriaceae Rudolphi				
45	<i>Scheuchzeria palustris</i> L.	-	-	-	+
	Typhaceae Juss.				
46	<i>Typha angustifolia</i> L.	+	-	-	+
	Всего:	28	23	11	26

Примечание. Латинские названия таксонов приведены по сводке С.К. Черепанова [18].

Водоемы: 1 – водоем в Ботсаду СыктГУ, 2 – оз. Виль-ты, 3 – водоем у птицефабрики, 4 – оз. Еля-ты.

высших сосудистых растений из 37 родов и 27 семейств. Общий список обнаруженных нами растений представлен в табл. 1. Большинство из них является травами и относится к бореальной широтной группе.

В систематическом отношении преобладают семейства *Cyperaceae*, *Hydrocharitaceae*, *Juncaceae*, *Lemnaceae*, *Primulaceae* (включают 39% видового состава), что характерно, в целом, для водоемов европейского Северо-Востока. Большинство семейств (15 из 27) является одновидовыми. Слабая видовая насыщенность семейств обусловлена тем, что представители семейств не обладают специализированностью к существованию в гидроморфных условиях.

Анализ родов показывает, что наибольшим разнообразием представлен род *Carex* (пять видов), три вида содержит род *Juncus*. Виды этих родов имеют выраженные адаптивные приспособления к существованию в условиях высокого увлажнения. Остальные роды одно- и двувидовые.

Географический анализ показал, что флору составляют бореальная (67.4%) и пльоризональная (32.6%) широтные группы. Обилие видов, относящихся к пльоризональной группе, связано с тем, что водная среда сглаживает колебания внешних факторов и создает условия для широкого распространения растений.

Наибольшим видовым разнообразием среди долготных групп является голарктическая группа, к ней относится половина всех водных и прибрежно-водных растений района исследования. Это *Ceratophyllum demersum*, *Caltha palustris*, *Epi-lobium palustre* и др. На втором месте – евразийская группа (30.4%): *Hydrocharis morsus-ranae*, *Trientalis europaea*, *Numphar lutea* и др. Эти две группы – самые многочисленные и составляют вместе 80.4% от общего состава всех видов. Космополитов – пять видов (10.9%): *Spirodela polyrhiza*, *Lemna minor*, *L. trisulca*, *Typha angustifolia*, *Elo-dea canadensis*. Виды-космополиты составляют неотъемлемую часть гидрофильной флоры, но доля их в нашем районе, по сравнению с другими группами, невелика.

Таким образом, основу гидрофильной флоры изучаемых водоёмов составляют бореальные (до 70%) и голарктические (50%) виды, что, по данным В.А. Мартыненко [24], является характерной чертой флоры таежной зоны европейского Северо-Востока.

Эколого-ценотический анализ выявил преобладание (34.8%) растений сырых мест обитания – гидрофитов. Это такие виды как *Carex acuta*, *Galium uliginosum*, *Chrysosplenium alternifolium* и др. Второе место (30.4%) занимают гелофиты – растения береговых и прибрежных местообитаний с избыточным или пе-

ременным увлажнением. Сюда относятся цено-тически значимые виды *Carex rostrata*, *C. vesicaria*, *Equisetum fluviatile*, а также часто встречающиеся, но не имеющие высокой цено-тической значимости *Juncus bufonius*, *Sium latifolium* и др. Гидрофиты – комплексная по биоморфологическому составу группа. Они включают прикрепленные ко дну растения с плавающими на поверхности воды листьями – плейстофиты: *Numphar lutea*, *Nymphaea candida*, *Sparganium emersum*, и гидатофиты – полностью погруженные растения: *Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis*, *Utricularia vulgaris*. Американский вид *Elodea canadensis* широко распространен по всей планете, благодаря быстрому росту и физиологической пластичности. Два вида относятся к мезофитам, это *Agrostis stolonifera* и *Thalictrum flavum*, причем второй вид довольно часто встречается в сообществах гидрофитов.

Сходство и различие видового состава изученных водоемов окрестностей г. Сыктывкара определяли по коэффициенту Жаккара. Наибольший процент сходства (55%) наблюдается для водоема Ботсада СыктГУ (1) и оз. Еля-ты (4), несколько меньший – для оз. Еля-ты (4) и оз. Виль-ты (2) (рис. 1). Сравнительно невысокие значения коэффициентов сходства обусловлены разными гидрохимическими показателями водной среды и степенью антропогенного воздействия на них, а также, по-видимому, недостаточно полным выявлением видов в изученных водоемах.

По данным литературы известны виды прибрежно-водных растений, которые можно считать индикаторами определенного состояния и трофности водной среды. О наличии антропо-

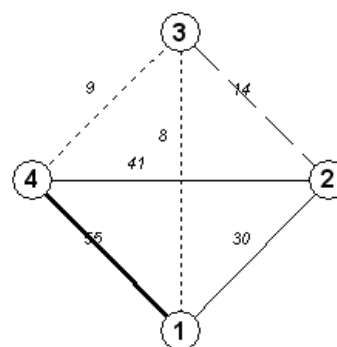


Рис. 1. Граф сходства видового состава исследованных водоемов. Жирная черта указывает на значительное сходство видового состава. Тонкая черта – сходство видового состава меньше, пунктирная линия означает слабое сходство. Цифры обозначают степень сходства видового состава отдельных водоемов. Водоёмы: 1 – водоем в Ботсаду СыктГУ, 2 – озеро Виль-ты, 3 – водоем у птицефабрики, 4 – озеро Еля-ты

Таблица 2

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях макрофитов из исследованных водоемов

№№	Таксон	Хлорофилл <i>a+b</i> , мг/г сух. м.	Доля хл в ССК, %	Хлорофилл <i>a/b</i>	Каротиноиды, мг/г сух. м.
Водные виды					
1	<i>Ceratophyllum demersum</i>	15.57±1.02	57.6	2.8±0.1	2.94±0.20
2	<i>Elodea canadensis</i>	10.90±0.78	58.1	2.7±0.1	1.96±0.03
3	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	13.04±0.97	56.2	2.9±0.1	2.92±0.30
4	<i>Stratiotes aloides</i>	7.21±0.58	66.2	2.4±0.3	1.27±0.04
5	<i>Lemna trisulca</i>	5.34±0.20	59.3	2.7±0.1	1.28±0.06
6	<i>Lemna minor</i>	2.87±0.09	71.3	2.1±0.2	0.73±0.02
7	<i>Numphar lutea</i>	5.38±0.89	58.5	2.9±0.1	1.40±0.26
8	<i>Nymphaea candida</i>	4.08±0.08	49.7	4.4±0.1	1.16±0.03
Прибрежно-водные виды					
9	<i>Agrostis stolonifera</i>	8.21±0.36	54.4	3.0±0.1	2.01±0.06
10	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	15.88±2.69	60.3	2.7±0.1	2.46±0.31
11	<i>Callapalustris</i>	9.91±0.21	54.6	3.1±0.1	2.34±0.08
12	<i>Carex acuta</i>	6.21±0.24	46.1	3.8±0.2	1.93±0.08
13	<i>Carex cinerea</i>	7.81±0.65	50.7	3.3±0.2	2.12±0.07
14	<i>Carex nigra</i>	7.96±1.21	50.5	3.4±0.1	1.74±0.15
15	<i>Carex rostrata</i>	8.91±0.19	58.0	2.8±0.2	1.68±0.11
16	<i>Comarum palustre</i>	7.40±0.55	49.6	3.4±0.1	1.58±0.18
17	<i>Eleocharis palustris</i>	7.13±1.84	52.4	3.2±0.1	1.55±0.41
18	<i>Epilobium palustre</i>	5.91±0.33	55.8	3.0±0.4	1.37±0.06
19	<i>Equisetum fluviatile</i>	4.90±0.21	49.8	3.4±0.2	1.35±0.02
20	<i>Equisetum palustre</i>	3.66±0.10	54.5	3.1±0.5	0.68±0.02
21	<i>Galium palustre</i>	10.41±0.39	55.6	3.0±0.1	2.64±0.15
22	<i>Juncus filiformis</i>	5.80±0.25	54.2	3.1±0.4	1.29±0.04
23	<i>Juncus nodulosus</i>	5.98±0.12	47.1	3.6±0.1	1.53±0.03
24	<i>Lythrum salicaria</i>	9.51±0.23	49.5	3.5±0.2	2.34±0.03
25	<i>Menyanthes trifoliata</i>	8.54±0.44	56.2	2.9±0.1	1.51±0.08
26	<i>Naumburgiathyrsiflora</i>	5.31±0.24	55.1	3.0±0.3	1.45±0.01
27	<i>Rorippa palustris</i>	7.99±0.21	53.9	3.1±0.1	1.74±0.02
28	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	8.38±0.37	44.4	4.0±0.2	2.09±0.06
29	<i>Salix triandra</i>	5.31±0.38	46.4	3.7±0.1	1.35±0.07
30	<i>Sium latifolium</i>	11.74±0.74	56.0	2.9±0.1	2.18±0.15
31	<i>Sparganium emersum</i>	5.77±0.28	54.1	3.1±0.1	1.49±0.10
32	<i>Stachys palustris</i>	9.53±0.33	51.9	3.2±0.1	2.11±0.05
33	<i>Thalictrum flavum</i>	7.45±0.08	48.7	3.5±0.1	2.37±0.03
34	<i>Utricularia vulgaris</i>	14.13±1.38	69.4	2.8±0.1	3.50±0.29

генного воздействия на водные экосистемы Еля-ты и Выль-ты свидетельствует пышное развитие *Alisma plantago-aquatica*, *Sagittaria sagittifolia*, *Elodea canadensis*, *Hydrocharis morsus-ranae*.

В водоеме у птицефабрики (3) отмечено минимальное число видов (табл. 1). В нем не найдены такие виды как *Nymphaea candida*, *Stratiotes aloides*, которые обычны в условно чистых водоемах, и, наоборот, здесь обильно растут *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza*. По данным [25] известно, что массовое развитие рясковых указывает на неблагоприятие в экосистеме и говорит о большом количестве в среде биогенных веществ и, помимо эвтрофирования, свидетельствует о сельскохозяйственном загрязнении.

Наличие и обилие видов свидетельствует о состоянии и качестве водной среды. Полученные нами данные подтверждают имеющиеся в

литературе сведения о том, что наиболее устойчивыми к антропогенному воздействию являются виды *Alisma plantago-aquatica*, *Elodea canadensis*, *Hydrocharis morsus-ranae*. Они широко распространены во всех водоемах независимо от степени загрязнения воды. Виды, которые встречаются только в условно чистых водоемах, являются наиболее чувствительными к антропогенному воздействию. Это такие виды как *Nymphaea candida*, *Stratiotes aloides*, *Calla palustris*.

Пигментный комплекс макрофитов. Показатели пигментного комплекса многие авторы рассматривают как один из возможных путей адаптации растений к условиям среды [12, 13, 26]. Нами исследовано содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях 8 видов высших водных и 26 видов прибрежно-водных растений. Установлено, что содержание зеленых пигментов в листьях исследованных видов варьировало в широких пределах, от 1.3 до 17.1

мг/г сухой массы (табл. 2). Содержание желтых пигментов было в 4–6 раз ниже, чем зеленых. Наибольшее содержание зеленых пигментов (в расчете на сухую массу листьев) среди водных видов выявлено у *Utricularia vulgaris* (17 мг/г), среди прибрежно-водных – у *Alisma plantago-aquatica* (16 мг/г), наименьшее – у *Spirodela polyrhiza* (1.3 мг/г) и *Equisetum fluviatile* (5 мг/г) соответственно. В целом, листья прибрежно-водных растений накапливали существенно больше зеленых и желтых пигментов, имели более высокие значения соотношения хл *a/b* (3–4), но мало различались от водных по доле хлорофиллов, принадлежащих светособирающему комплексу. В листьях водных растений пониженное соотношение хл *a/b* (2.1–2.8) означает, что значительная часть хлорофиллов принадлежит ССК фотосистем. Как показали наши данные, доля хлорофиллов, локализованных в ССК, у исследованных водных видов превышала 55% от общего фонда зеленых пигментов. Согласно [27], повышенное содержание антенного хлорофилла компенсирует низкий уровень накопления зеленых пигментов.

Благодаря высокой доле хлорофиллов в ССК, листья погруженных гидрофитов способны осуществлять ассимиляционную деятельность при дефиците света и недостатке CO_2 , имеющего низкий коэффициент диффузии в воде [28]. Надводные листья способны функционировать в воздушной среде при высокой освещенности.

На примере растения *Sium latifolium* L., имеющего и надводные, и погруженные листья, показаны различия по содержанию хлорофиллов *a* и *b*, их соотношению (рис. 2). Несмотря на то, что погруженные листья при низкой освещенности в толще воды имели более низкое содержание хлорофиллов, у них возрастала доля хлорофилла *b*, о чем свидетельствуют соотношения хлорофиллов *a* и *b* (2.5) и доля хлорофиллов в ССК (63%). Структура пигментного комплекса погруженных листьев в значительной степени направлена на усиление светособирающей функции в условиях ослабления и изменения спектрального состава проникающего в толщу воды света. Такие же результаты были получены ранее [13] для пигментного аппарата погруженных листьев трех видов *Potamogeton* по мере естественного снижения освещенности при увеличении глубины расположения листьев. Таким образом, у погруженных листьев относительно большое содержание хлорофилла *b* обеспечивает эффективный светосбор в условиях низкой освещенности в толще воды.

Сравнение одних и тех же видов из разных водоемов показало (рис. 3), что высоким накоплением зеленых пигментов характеризовались ли-

стья *Elodea canadensis* и *Hydrocharis morsus-ranae* из оз. Еля-ты, и *Alisma plantago-aquatica*, произрастающего в водоеме Ботсада СыктГУ. В оз. Выль-ты исследованные виды характеризовались меньшим значением отношения хлорофиллы/каротиноиды (3.3–3.8), что свидетельствует об относительно высоком уровне желтых пигментов в листьях и обусловлено адаптацией фотосинтетического аппарата растений к световым условиям водоема.

В целом, для некоторых изученных гидрофитов подзоны средней тайги европейского Северо-Востока (*Calla palustris*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Lemna trisulca*, *Lemna minor*, *Nymphaea lutea*, *Elodea canadensis*) было характерно пониженное содержание хлорофиллов (3–10 мг/г сухой массы) по сравнению с одноименными гидрофитами из рек Свердловской области (5–17 мг/г сухой массы) [12]. Исключение составил широко представленный во флоре среднего течения р. Сысолы гидрофит с над-

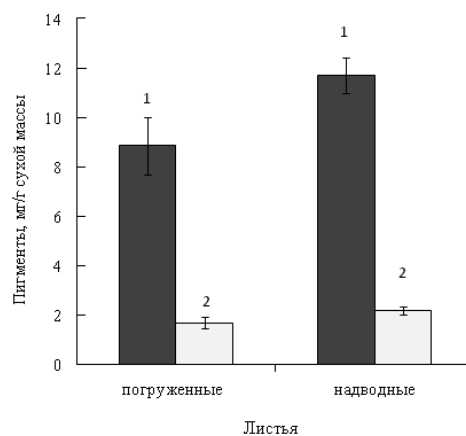


Рис. 2. Содержание хлорофиллов (1) и каротиноидов (2) в листьях растений *Sium latifolium* L.

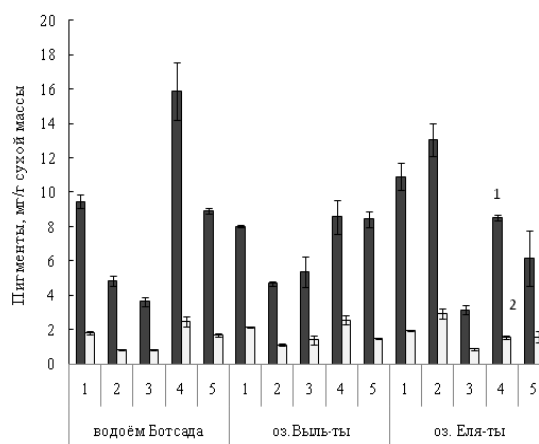


Рис. 3. Содержание хлорофиллов (1) и каротиноидов (2) в листьях водных (1 – *Elodea canadensis*, 2 – *Hydrocharis morsus-ranae*, 3 – *Nymphaea lutea*) и прибрежно-водных видов (4 – *Alisma plantago-aquatica*, 5 – *Carex rostrata*), произрастающих в разных водоемах

водными листьями *Alisma plantago-aquatica*, содержание зеленых пигментов у которого варьировало в диапазоне 6–16 мг/г сухой массы в зависимости от состояния водной среды в водоеме. Присутствие в видовом составе прибрежно-водной растительности *Alisma plantago-aquatica* свидетельствует о наличии антропогенного воздействия на водные экосистемы. Полученные данные показали, что в изученных водоемах накапливалось больше зеленых пигментов в листьях водных растений (*E. canadensis*, *H. morsus-ranae*) и прибрежно-водного вида (*A. plantago-aquatica*).

Таким образом, нами выявлено видовое разнообразие, проведен эколого-географический анализ и впервые дана характеристика пигментного комплекса представителей гидрофильной флоры водоемов окрестностей г. Сыктывкара. Гидрофильная флора исследуемых водоемов окрестностей г. Сыктывкара насчитывает 46 видов высших сосудистых растений из 37 родов и 27 семейств. В широтном отношении основу флоры составляют бореальные (67,4%), в долготном – голарктические (50%) виды. По отношению к фактору увлажнения большинство видов относится к гигрофитам (34,8%) и гелофитам (30,4%). На долю собственно водных растений (плейстофитов и гидатофитов) приходится 19,5%. Анализ пигментного комплекса 34 представителей гидрофильной флоры показал, что листья прибрежно-водных видов накапливали больше хлорофиллов (до 17 мг/г сухой массы) и каротиноидов (до 3,5 мг/г сухой массы), чем листья водных растений. Сравнение одних и тех же видов из разных водоемов выявило зависимость содержания и соотношения фотосинтетических пигментов в листьях водных и прибрежно-водных растений от состояния водной среды. Виды гидрофильной флоры (*E. canadensis*, *H. morsus-ranae* и *A. plantago-aquatica*) могут использоваться в целях биоиндикации водных объектов.

Список литературы

1. Попова Э.И., Соловкина Л.Н. Озера долины р. Усы // Изв. Коми фил. ВГО. 1957. № 4. С. 93–109.
2. Хантимер И.С. Водная растительность р. Усы // Изв. Коми фил. АН СССР. 1964. № 9. С. 55–60.
3. Гецен М.В. О водной флоре притоков Печоры в области Тимана // Ботан. журн. 1968. Т. 53. № 7. С. 967–970.
4. Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР (методы исследования). Л.: Наука, 1981. 188 с.
5. Вехов В.Н., Кулиев А.Н. Распространение гидрофильных растений на Северном Тимане, в Малоземельской и на западе Большеземельской тундр // Ботан. журн. 1986. Т. 71. № 9. С. 1241–1248.
6. Тетерюк Б.Ю. Флора древних озер европейского северо-востока России // Изв. Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1. С. 82–90.
7. Тетерюк Б.Ю. Высшие водные растения Республики Коми // Экология: Матер. IV Пушинского конф. молодых ученых. Пушино: Изд-во Пушинского гос. ун-та, 1999. С. 14–15.
8. Воронихин Н.Н. Растительный мир континентальных водоемов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 30 с.
9. Кокин К.А. Экология высших водных растений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 158 с.
10. Попова И.А., Маслова Т.Г., Попова О.Ф. и др. Особенности фотосинтетического аппарата крапивы двудомной, произрастающей в различных световых условиях // Физиол. раст. 1982. Т. 29. С. 1102–1108.
11. Некрасова Г.Ф., Ронжина Д.А., Коробицина Е.Б. Формирование фотосинтетического аппарата в период роста погруженного, плавающего и надводного листа гидрофитов // Физиол. раст. 1988. Т. 35. С. 539–548.
12. Ронжина Д.А., Некрасова Г.Ф., Пьянков В.И. Сравнительная характеристика пигментного комплекса надводных, плавающих и погруженных листьев гидрофитов // Физиол. раст. 2004. Т. 51. № 1. С. 27–34.
13. Шерстнева О.А. Пигментный комплекс подводных листьев некоторых видов Potamogeton (Potamogetonaceae) в разных условиях освещенности // Ботан. журн. 2004. Т. 89. № 5. С. 821–829.
14. Мэннинг У.Д., Федер У. Биомониторинг загрязнений атмосферы с помощью растений. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 143 с.
15. Кузьмичев А.И. Сосудистые гидрофильные растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / Ретроспективный указатель научной литературы (1853–2001 гг.). Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2002. 267 с.
16. Гарин Э.В. Водные и прибрежно-водные макрофиты России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / Ретроспективный библиографический указатель. Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2006. 180 с.
17. Фефилова Е.Б., Кононова О.Н. Сезонные изменения зоопланктона в высокотрофных малых водоемах // Изв. Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12. № 1 (4). С. 974–979.
18. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
19. Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята. Проблемы истории высокогорных ландшафтов северо-востока Сибири. Л.: Наука, Ленингр. отд., 1968. 235 с.
20. Распопов И.М. Высшая водная растительность больших озер Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1985. 200 с.
21. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике: Учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. 288 с.
22. Маслова Т.Г., Попова И.А., Попова О.Ф. Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов // Физиол. раст. 1986. Т. 33. С. 615–619.
23. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes // In: Methods in Enzymology / Eds. S.P. Colowick, N.O. Kaplan. San Diego: Acad. Press, 1987. V. 148. P. 350–382.

24. Мартыненко В.А. Флора северо-востока Европейской части СССР как ботанико-географическая система. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1987. 135 с.
25. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности. М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИА, 2004. 220 с.
26. Зауралова Н.О. Содержание пластидных пигментов в надводных и подводных листьях некоторых видов пресноводных гетерофильных растений // Вестн. ЛГУ. Сер. биол. 1980. Т. 15. С. 42–45.
27. Maslova T.G., Popova I.A. Adaptive properties of the pigment systems // Photosynthetica. 1993. V. 29. P. 195–203.
28. Smith F.A., Walker N.A. Photosynthesis by aquatic plants: effects of unstirred layers in relation to assimilation of CO₂ and HCO₃⁻ isotopic discrimination // New Phytol. 1981. V. 86. P. 245–259.

SPECIES DIVERSITY AND PIGMENT COMPLEX OF MACROPHYTES FROM WATER RESERVOIRS IN THE SYKTYVKAR (KOMI REPUBLIC) NEIGHBOURHOOD

T.V. Novakovskaya, O.V. Dymova

Species diversity of higher aquatic plants (macrophytes) of four water reservoirs in the Syktyvkar neighbourhood has been studied. 46 species from 37 genera and 27 families have been identified. Ecogeographical analysis has shown that in the latitudinal pattern, boreal species are dominant in the flora, while holarctic species dominate in the longitudinal pattern. In relation to moisture, hydrophytes and halophytes dominate in the reservoirs studied.

The pigment complex of 34 higher aquatic plant species has been examined for the first time. Qualitative and quantitative composition of green and yellow pigments in the leaves of aquatic and coastal water plants have been defined. *Alisma plantago-aquatica*, *Elodea canadensis* and *Hydrocharis morsus-ranae* can be used for bioindication of aquatic ecosystems.

Keywords: macrophytes, water reservoirs, chlorophylls and carotenoids, bioindication.