

## ЭКОЛОГО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬГОФЛОРЫ ОРЕНБУРЖЬЯ

Приводятся результаты анализа систематической структуры водорослей 1033 видов, разновидностей и форм, относящихся к 10 отделам, 15 классам, 33 порядкам, 85 семействам, 210 родам, вклада ведущих таксонов и пропорции альгофлоры водоемов Оренбургской области по оригинальным данным, а также качественная и экологическая характеристика флоры. Показано, что наряду с зелеными и диатомовыми, «лицо» изучаемой флоры определяют и эвгленовые водоросли.

### Введение

Термин «биоразнообразие» в последнее десятилетие стал одним из самых распространенных в науке, природоохранном движении и международных связях. В целом доказано, что необходимым условием нормального функционирования экосистем и биосферы является достаточный уровень природного разнообразия на нашей планете. Принимая во внимание, что биологическое разнообразие является одним из основных параметров, характеризующих состояние надорганизменных систем, в ряде стран именно оно положено в основу экологической политики государства, стремящегося сохранить свои биологические ресурсы для обеспечения устойчивого экономического развития [11].

Оценка современного биоразнообразия регионов, начинающаяся с таксономического анализа видового состава и качественной оценки флоры (составление различных спектров), позволяет решить проблему инвентаризации альгофлоры разнотипных водоемов в целом [24].

Оренбуржье – своеобразный регион, относящийся к зоне недостаточного увлажнения, расположенный не только на границе двух частей света – Европы и Азии, но и в трех природных странах: Русской равнине, Уральской горной стране и Тургайской столовой стране [5, 7]. Климат региона характеризуется суровой малоснежной зимой, знойным сухим летом, коротким весенним периодом, постоянно дующими ветрами, недостаточностью и неустойчивостью атмосферного увлажнения, интенсивным испарением и обилием солнечного освещения в весенне-летнее время [1]. Это предопределило значительное разнообразие природных характеристик региона, его ландшафтных зон и поясных экосистем [5], что нашло свое отражение и в биологическом разнообразии. Однако до настоящего момента анализа систематической структуры водорослей водоемов Оренбургской области не проводилось.

### Материалы и методы

Материалом для выполнения работы послужили данные о видовом разнообразии водорослей в водоемах Оренбургской области, полученные в результате многолетних исследований, как частично опубликованных [20, 21, 22, 23], так и новых. В работе использованы методы сравнительной флористики, разработанные для высших растений [25, 26, 27] и используемые в альгофлористических исследованиях [3, 8, 9, 14, 15, 17].

### Результаты исследования

Консервативность систематической структуры водорослей и определенная степень ее независимости от других показателей и факторов (степень полноты инвентаризации, различие площадей и флористического богатства регионов) делают ее одним из существеннейших «диагностических» признаков при исследовании и сравнении флор [6, 12, 13, 25, 26, 28]. При анализе систематической структуры принято оценивать долю и порядок расположения ведущих таксонов различного ранга.

Флора водорослей Оренбуржья включает 1033 видов разновидностей и форм, относящихся к 10 отделам, 15 классам, 33 порядкам, 85 семействам, 210 родам (табл. 1).

Из представленных в таблице данных видно, что наибольшим видовым и внутривидовым разнообразием характеризуются Chlorophyta (36,1% от общего числа таксонов ниже рода) и Bacillariophyta (31,0%). На долю Cyanophyta приходится 13,8% от общего разнообразия флоры, Euglenophyta – 11%. Количество видов и внутривидовых таксонов других отделов водорослей колеблется от 0,1% (Charophyta, Rhodophyta) до 3,2% (Chrysophyta).

При анализе флоры наибольшее значение имеют ведущие семейства, представленность которых отражает как комплекс почвенно-климатических факторов, историю, так и современное состояние флоры, испытывающей влияние человека. По предложению Толмачева А.И.

(1974) особое внимание уделяется первым десяти ведущим семействам, поскольку они объединяют около 50-60% видового разнообразия и составляют «лицо» любой флоры [25]. В спектре ведущих семейств альгофлоры водоемов Оренбургской области представлены четыре отдела, при этом максимальное число ранговых мест принадлежит Chlorophyta и Bacillariophyta. В целом доля ведущих семейств альгофлоры водоемов Оренбуржья составляет 56,4% от всего видового состава, на остальные 75 семейств приходится 43,6% от общего видового разнообразия водорослей (табл. 2).

Из не вошедших в таблицу данных следует упомянуть также следующие семейства: Gomphonemataceae (2,4%), Selenastraceae (2,3%), Surirellaceae (2,3%), Dinobryonaceae (1,7%), Microcystidaceae (1,5%), Peridiniaceae (1,5%),

Chlamydomonadaceae (1,5%), Hydrodictyaceae (1,4%), поскольку их доля в сообществе приближается к 10 рангу.

Одним из показателей особенностей флоры водорослей различных природных зон являются родовые спектры, отражающие основные типологические особенности водоемов конкретного региона. Отмечается, что, как правило, в родовые спектры входят наиболее крупные роды из разных отделов, однако помимо факта вхождения какого-либо рода в родовой спектр информативным является также ранговое место рода, число таксонов в нем, а также вклад этого рода в формирование флоры [18].

Анализ родового спектра флоры водорослей водоемов области показывает, что спектр десяти ведущих родов альгофлоры Оренбургской области включает представителей девяти ведущих се-

Таблица 1. Таксономический состав альгофлоры водоемов Оренбуржья

Отдел	Число					
	классов	порядков	семейств	родов	видов	видов, разновидностей и форм
Cyanophyta	3	5	17	30	120	143
Dinophyta	1	2	3	6	18	23
Cryptophyta	1	1	1	1	4	4
Chrysophyta	1	2	4	8	30	33
Xanthophyta	1	2	5	9	21	21
Bacillariophyta	2	7	19	42	245	320
Rhodophyta	1	1	1	1	1	1
Euglenophyta	1	1	1	6	81	114
Chlorophyta	3	11	33	106	333	373
Charophyta	1	1	1	1	1	1
ИТОГО	15	33	85	210	854	1033

Таблица 2. Спектр ведущих семейств альгофлоры водоемов Оренбургской области

Ранг, место	Семейства	Число видов и внутривидовых таксонов	% во флоре от общего числа таксонов рангом ниже рода
1	Euglenaceae	114	11,0
2	Naviculaceae	98	9,5
3	Scenedesmaceae	75	7,2
4	Oscillatoriaceae	66	6,4
5	Nitzschiaceae	54	5,2
6	Desmidiaceae	46	4,5
7	Oocystaceae	38	3,7
8	Fragilariaceae	35	3,4
9	Closteriaceae	30	2,9
10	Cymbellaceae	27	2,6
	Итого	583	56,4

мейств. Обращает на себя внимание тот факт, что из родового спектра выпали представители семейства Fragilariaceae (табл. 3). Другой особенностью является то, что ни один из десяти ведущих родов существенно не отличается по общему числу таксонов – этот показатель изменяется достаточно плавно в пределах всего родового спектра. Так, число таксонов в роде, занимающем десятое ранговое место (*Cymbella*), и число таксонов в роде, стоящем на первом ранговом месте (*Scenedesmus*), соотносится как 1:2,4. Головная и конечная часть спектра включает роды из зеленых и диатомовых водорослей, тогда как на средних ранговых местах располагаются роды из эвгленовых, сине-зеленых и зеленых. Наличие в родовом спектре двух родов эвгленовых *Trachelomonas* Ehr. и *Phacus* Duj. подтверждает вывод об активном участии Euglenophyta в формировании флоры данного региона, наряду с зелеными и диатомовыми водорослями.

Из не вошедших в десятку ведущих и не указанных в таблице родов следует упомянуть *Synedra* (2,0%) и *Euglena* (2,0%).

К группе количественных показателей систематического разнообразия относятся и «пропорции флоры» – среднее число видов (либо разновидностей и форм) в роде и в семействе, а также среднее число родов в семействе, которые представляют собой простые отношения соответствующих показателей флористического богатства данной флоры [26]. Известно, что более богатые флоры отличаются повышенными значениями этих показателей [26, 27].

Родовой коэффициент рассматривается как наиболее независимый от площади показатель систематического разнообразия [27]. Такие показатели, как среднее число видов в роде и среднее число родов в семействе, получают и эволюционную интерпретацию: чем больше родов в семействах, тем они древнее; чем больше ви-

Таблица 3. Спектр ведущих родов альгофлоры водоемов Оренбургской области

Ранг, место	Роды	Число видов, форм, разновидностей	% во флоре от общего числа таксонов рангом ниже рода
1	<i>Scenedesmus</i>	53	5,1
2	<i>Navicula</i>	49	4,7
3	<i>Nitzschia</i>	47	4,5
4	<i>Trachelomonas</i>	44	4,3
5	<i>Oscillatoria</i>	40	3,8
6	<i>Closterium</i>	30	2,9
7	<i>Phacus</i>	29	2,8
8	<i>Cosmarium</i>	25	2,4
9	<i>Gomphonema</i>	24	2,3
10	<i>Cymbella</i>	22	2,1
	Итого	363	34,9

Таблица 4. Пропорции флоры и родовая насыщенность альгофлоры водоемов Оренбургской области

Отдел	Пропорции флоры	Родовая насыщенность таксонами	
		видовыми	видовыми и внутривидовыми
Cyanophyta	1:1,8:7,1:8,4	1:4	1:4,8
Dinophyta	1:2:6:7,7	1:3	1:3,8
Cryptophyta	1:1:4:4	1:4	1:4
Chrysophyta	1:2:7,5:8,3	1:3,8	1:4,1
Xanthophyta	1:1,8:4,2:4,2	1:2,3	1:2,3
Bacillariophyta	1:2,2:12,9:16,8	1:5,8	1:7,6
Rhodophyta	1:1:1:1	1:1	1:1
Euglenophyta	1:6:81:114	1:13,5	1:19
Chlorophyta	1:3,2:10,1:11,3	1:3,1	1:3,5
Charophyta	1:1:1:1	1:1	1:1
Итого	1:2,5:10:12,2	1:4,1	1:4,9

дов в родах, тем, напротив, они отражают более поздние этапы эволюции [16].

Высокие значения общего родового коэффициента – 4,1, полученные для флоры водорослей водоемов области (табл. 4), свидетельствуют о богатстве изучаемой флоры. Такой вывод подтверждается при сравнении значений родового коэффициента, приводимых для флор системы озера Чаны (лесостепная зона Западной Сибири), где родовый коэффициент составил 2,8 [19], для водоемов Челябинской области – 3,7 [29], для водоемов Якутии – 3,8 [4], для водоемов Лазовского заповедника (Приморский край) – 4,1 [10], для водоемов Баргузинского заповедника (Байкальский регион) – 4,4 [2].

Сравнение значений родового коэффициента по отдельным таксонам водорослей в ранге отделов (табл. 4) показывает, что наибольшим богатством в водоемах области характеризуются *Euglenophyta* (родовой коэффициент 13,5) и *Vacillariophyta* (5,8). Зеленые водоросли, занимающие лидирующее положение в альгофлоре водоемов области по общему числу видов, разновидностей и форм, имеют родовый коэффициент ниже среднего значения – 3,1, что, вероятно, можно объяснить большим числом монотипных и маловидовых родов, формирующих этот отдел.

По родовой насыщенности внутривидовыми таксонами *Euglenophyta* (19) значительно превосходят *Vacillariophyta* (7,6). Экологические особенности эвгленовых водорослей определены в настоящее время довольно четко. Это преимущественно обитатели малых пресных водоемов, особенно стоячих, хорошо прогреваемых, обогащенных органическими веществами. Ведущее положение занимают эвгленовые в основном в прудах или пойменных озерах. Эвгленовые водоросли постоянно сопровождают человека в его хозяйственной деятельности. Озера, расположенные в поймах рек в местах выпаса скота и нагула водоплавающей птицы, участки небольших рек ниже животноводческих комплексов, рыбоводные пруды, водоемы, загрязняемые бытовыми стоками, значительно обогащены биогенами и органическими веществами. В связи с повышением эвтрофикации во многих водоемах увеличиваются как абсолютные показатели разнообразия эвгленовых, так и роль отдела в сложении общего состава и структуры альгоценозов, а также ранговое место среди других отделов.

По многочисленным литературным данным в общем составе фитопланктона других

регионов число видов эвгленовых не превышает обычно 5–6%, а отдел зачастую занимает четвертое и ниже место среди других отделов. Тем не менее, отмечается, что в наиболее заселенных и освоенных степях и лесостепях распространение эвгленовых не случайно и в значительной мере определяется влиянием антропогенного эвтрофирования [19]. Поэтому главенствующее положение *Euglenophyta* в показателях флористического разнообразия Оренбуржья может свидетельствовать о высокой степени эвтрофикации водоемов области в целом.

Экологический анализ показал, что по приуроченности к определенному местообитанию во флоре водорослей Оренбургской области 33,8% составляют планктонные формы, 32,5% планктонно-бентосные и 30% бентосные. На долю эпибионтов приходится 3,7%.

Основная масса водорослей Оренбуржья представлена видами-космополитами (75,1%), но заметна доля и бореальных видов – 23%. Были также выявлены не характерные для климата степной зоны арктоальпийские (1,5%) и арктические (0,3%) виды. К широко распространенным формам относятся *Navicula cryptocephala* Kutz., *Cyclotella meneghiniana* Kutz., *Trachelomonas planctonica* Swir. f. *planctonica*, *Microcystis pulverea* (Wood) Forti emend. Elenk. f. *pulverea*, *Anabaena scheremetievi* Elenk. f. *scheremetievi*, *Oocystis parva* W. et G.S. West., *Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) W. et G.S. West., *Coelastrum microporum* Näg. и многие другие.

Но есть и достаточно редкие формы, которые были обнаружены на территории Оренбуржья в одном – двух местах. Это *Anabaena scheremetievi* f. *ovalispora* Elenk., *Anabaena scheremetievi* f. *ovospora* (Kissel.) Elenk., *Dinobryon suecicum* var. *longispinum* Lemm., *Pseudopolyedriopsis skujae* Hollerb., *Tetraedriella spinigera* Skuja., *Dichotomococcus lunatus* Fott., *Euglena spirogyra* var. *laticlavus* Hubner., *Phacus hispidulus* f. *glabrus* Defl., *Pteromonas meyeriana* Kabanov., *Desmatractum spryii* Nich., *Chloromirus pauli* Hort., *Echinosphaerella limnetica* G.M. Smith., *Pinnularia molaris* var. *lapponica* (Grun.) Molder, *Cymbella capricornis* Skv., *Gomphonema constrictum* var. *hedinii* (Hust.) Zadel., *Neidium iridis* var. *diminutum* (Pant.) Wisl. Et Kolbe, *Navicula lacustris* var. *parallela* Wisl. Et Kolbe.

Распределение водорослей по категории галобности, т.е. степени минерализации среды обитания, выявило группы индикаторных таксонов – галофобы, олигогалофы, ме-

зогалобы, галофилы и индифференты. В результате проведенного анализа было выявлено значительное преобладание представителей группы индифферентов – 69,9%, далее по численности следуют галофилы – 11,4% и мезогалобы – 10,0%. Галофобы и олигогалобы составляют соответственно 4,7% и 3,9%. Такие показатели обусловлены наличием как пресных, так и солоноватоводных и ультрасоленых водоемов на территории области.

По отношению к рН среды 54,0% водорослей Оренбуржья являются индифферентами, 36,5% алкафилами, 5,8% и 3,6% приходится на долю ацидофилов и алкалобов соответственно. Достаточно высокий процент алкафилов в альгофлоре может свидетельствовать о наличии в области щелочных водоемов. К аналогичному результату может привести сдвиг редокс-потенциала в воде в сторону восстановительной среды, в этом случае полученные данные могут свидетельствовать о неблагоприятном состоянии водоемов.

Сапробиологический анализ выявил таксоны – индикаторы сапробности, из которых 76,2% относятся к категории  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\beta$ - $\alpha$ ,  $\alpha$ - $\alpha$  и  $\alpha$ - $\beta$  мезосапробов. Олигосапробы составили 21,6%. Преобладание мезосапробов свидетельствует о наличии растворенного органического вещества в основной массе водоемов области и средней степени загрязнения природных вод.

### **Заключение**

На основании анализа систематической структуры выявлено богатство флоры водорослей водоемов Оренбургской области, включающей 1033 видов, разновидностей и форм, относящихся к 10 отделам, 15 классам, 33 порядкам, 85 семействам, 210 родам.

Значения родового коэффициента, спектры ведущих семейств и родов подтверждают, что наряду с зелеными и диатомовыми «лицо» изучаемой флоры определяют и эвгленовые водоросли.

Основу флоры водорослей Оренбуржья практически в равной степени составляют планктонные, планктонно-бентосные и бентосные формы.

В составе географических элементов преобладают виды-космополиты, но встречаются также и не характерные для степной зоны арктические и арктоальпийские виды.

По отношению к солености воды и рН среды водоросли в подавляющем большинстве относятся к группе индифферентов.

Преобладание среди таксонов – индикаторов сапробности мезосапробов свидетельствует о наличии растворенного органического вещества в основной массе водоемов области и средней степени загрязнения природных вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05-04-49870-а) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Научные основы сохранения биоразнообразия России» (проект №БР-9-04).

### **Список использованной литературы:**

1. Атлас Оренбургской области. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1992. 40 с.
2. Бочка А.Б. Водоросли водоем Баргузинского биосферного державного природного заповидника (Росія).– Автореф. дис.... канд. биол. наук: Київ, 1995.– 25 с.
3. Бухтиярова Л.Н. Диатомовые водоросли Горного Крыма: Автореф. дис... канд. биол. наук.– Киев, 1992.– 18 с.
4. Васильева И.И. Анализ видового состава и динамики развития водорослей водоемов Якутии/Препринт.– Якутск: Изд-во ЯНЦ СО АН СССР.– 1989.– 48 с.
5. Географический Атлас Оренбургской области. М. 1999. 96с.
6. Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера(на примере Большеземельной тундры).– Л.: Наука, 1985.–165с.
7. Гидрогеология СССР. Оренбургская область. М. Наука. 1972. т.43. с. 120 -176.
8. Горбулин О.С. Анализ систематической структуры водорослей водоемов Харьковской области.– Биологический вестник(ХГУ), 1997.-Т.1,№1-С.78-83.
9. Горбулин О.С. Родовые спектры альгофлоры как тест-система состояния водоемов. Вісник ХНАУ. Серія «Біологія». Харків, 2004.-Вип.2.-с. 15-20
10. Догадина Т.В., Кухаренко Л.А. Водоросли. В кн.: Флора, мико- и лишенобиота Лазовского заповедника (Приморский край).– Владивосток: ДВО АН СССР, 1990.– с. 10-34.
11. Лебедева Н.В., Кривоуццкий Д.А. «Биологическое разнообразие и методы его оценки». В книге «География и мониторинг биоразнообразия». М. 2002. с 13 – 142.
12. Малышев Л.И. Флористические спектры Советского Союза // История флоры и растительности Евразии.– Л.: Наука, 1972.– С. 17-40.
13. Медведева Л.А. Систематическая структура альгофлоры Сихотэ-Алинского биосферного заповедника (Приморский край, Россия).– Альгология, 1999.– т. 9, №3.– с. 57-64.
14. Мельник С.П. Количественные показатели в сравнительной флористике и их использование в альгологии. В кн.: Развитие и значение водорослей в почвах нечерноземной зоны/Мат. межвуз. конф. (Киров, 24-27 мая 1977г.).– Пермь, 1977.– с. 157-158.
15. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов.– М.: Наука, 1975.– 240 с.
16. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И.. Современная наука о растительности. – М.: Логос, 2001. – 264с.
17. Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии.– М.: Наука, 1989.– 233 с.
18. Сафонова Т.А. Родовой спектр водорослей — показатель особенностей альгофлоры.– Мат. VI Закавказ. конф. по спор. раст. Тбилиси, 1983.– с. 35-36.

19. Сафонова Т.А., Ермолаев В.И. Водоросли водоемов системы озера Чаны.– Новосибирск: Наука, 1983.– 152 с.
20. Степанова Т.Н. Фитопланктон пойменных озер реки Урал // Оренбург. гос. пед. ин-т. Оренбург, 1989. 26 с. Деп. в ВИНТИ 27.04.89, N 2829-B89.
21. Степанова Т.Н. Систематическая структура альгофлоры Оренбуржья. // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий. Матер.международ.конфер. Оренбург. 2001. с. 43-45.
22. Степанова Т.Н. Шабанов С.В. К флоре водорослей Оренбургской области // Вопросы степной биоценологии. Сб.научн.тр. Екатеринбург 1995. с. 3-16.
23. Степанова Т.Н. Шабанов С.В. Альгофлора водоемов Оренбургской области (Россия) // Актуальные проблемы современной альгологии Тез. докл. II Междунар. конф. Альгология т.9. №2. 1999. с. 137.
24. Сытник К.М., Вассер С.П. Современные представления о биологическом разнообразии.– Альгология, 1992.– т. 2, №3.– с. 3-17.
25. Толмачев А.И. Введение в географию растений.– Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1974.– 243 с.
26. Шмидт В.М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980.– 176 с.
27. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984.– 288 с.
28. Юрцев Б.А., Толмачев А.И., Ребристая О.В. Флористические ограничения и разделение Арктики // Арктическая флористическая область. Л.: Наука, 1978.– С. 9-164.
29. Ярушина М.И., Танаева Г.В., Еремкина Т.В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 308с.