

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение водорослей – часть комплексных исследований, связанных с оценкой биологического разнообразия и экологического состояния водных объектов. Фитоэпилитон (водоросли, вегетирующие на каменистом субстрате) является основной по обилию и таксономическому разнообразию группой в горных и, в меньшей степени, предгорных водных объектах. Индикаторная значимость водорослей твердых субстратов общепризнанна (Руководство ..., 1992). Кроме того, высокий уровень метаболизма водорослей (Сиренко, Козицкая, 1988) определяет существенную роль фитоэпилитона в трансформации вещества и энергии в водных экосистемах. Его значимость как первичного продуцента органического вещества и компонента процесса самоочищения возрастает в горных водотоках и озерах в связи с незначительным развитием в них фитопланктона и высшей водной растительности.

Из 20 тысяч рек и 7 тыс. озер в горной части бассейна Верхней Оби в научных публикациях данные о фитоэпилитоне приведены для немногим более 20 водных объектов на основе альгологических сборов в 1902, 1928-1931, 1948, 1949, 1963, 1966 и 1989 гг. (Скворцов, 1930; Воронихин, 1940; Порецкий, Шешукова, 1953; Возженникова, 1958; Якубова, 1961; Левадная, 1970; Куксн, 1973; Сафонова, 1996-1998).

Таким образом, незначительная изученность фитоэпилитона в водных объектах бассейна Верхней Оби, его высокая индикаторная и трофическая значимость, обуславливают актуальность данного исследования. Помимо необходимости изучения региональных особенностей фитоэпилитона важным представляется исследование на их примере фундаментальных задач гидробиологии (особенности адаптации и распределения водорослей в зависимости от разных факторов окружающей среды, динамика структуры сообществ микроскопических организмов).

Цель работы состояла в изучении пространственно-временной организации, процессов формирования и функционирования фитоэпилитона в водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби.

Задачи:

1. Выявить таксономический состав и структуру фитоэпилитона;
2. Изучить первичную продукцию и процессы деструкции органического вещества;
3. Оценить пространственную неоднородность состава, структуры и продукционных характеристик альгоценозов;

4. Изучить сезонную и межгодовую динамику состава и структуры фитоэпилитона;

5. Определить связь биомассы фитоэпилитона с различными экологическими факторами;

6. Оценить трофический статус и качество воды водных объектов по составу, количеству и продукционным характеристикам сообществ водорослей каменистого субстрата.

Положения, выносимые на защиту:

- в водотоках и на литорали озер горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби определяющим по воздействию на развитие фитоэпилитона, а также постоянным дестабилизирующим фактором является гидродинамический;

- состав, структура, продуктивность, отсутствие четко выраженной сезонной и межгодовой динамики, выявленные при изучении фитоэпилитона горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби, характерны для фитоэпилитона водных объектов Голарктики, в которых развитие водорослей зависит, главным образом, от гидродинамической нагрузки на них;

- сообщества водорослей каменистого субстрата олиготрофных водных объектов, обладая высокими темпами восстановления (приблизительно 20 суток) и высокой интенсивностью функционирования ($3,6-5,6 \text{ гС/м}^2\text{сут}^{-1}$), обуславливают наличие высокопродуктивной мезотрофно-эвтрофной зоны на фоне низкого содержания биогенов в толще воды.

Научная новизна и практическая значимость работы. Впервые исследован фитоэпилитон 30 водных объектов в горной и 7 – в предгорной частях бассейна Верхней Оби. Впервые оценена многолетняя динамика структуры фитоэпилитона Телецкого озера и пяти его притоков за почти 100-летний период. Впервые оценено влияние притоков на фитоэпилитон литорали Телецкого озера. Альгоценозы охарактеризованы как экотональные сообщества. Впервые проанализированы сезонные и межгодовые изменения структуры фитоэпилитона в водных объектах горной части бассейна Верхней Оби. Впервые оценена скорость формирования и определена продуктивность фитоэпилитона литорали Телецкого озера и некоторых его притоков. Впервые оценено качество воды по фитоэпилитону в 39 водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби.

Выдвинута гипотеза о сходстве пространственно-временной организации фитоэпилитона водных объектов Голарктики, в которых гидродинамический фактор является преобладающим по воздействию на развитие водорослей. Это дает возможность экстраполировать данные на

альгоценозы твердого субстрата ранее не исследованных водных объектов.

Полученные материалы могут быть частью информационной базы для экологического мониторинга изученных водотоков и озер, а также для экстраполяции данных при восстановлении фонового или ретроспективного состояния водных объектов как изучаемого, так и других регионов; для прогнозирования биологических процессов при изменении уровня антропогенной нагрузки или естественных изменений природной среды; для «привязки» альгологических данных к водным объектам при создании экологических информационных систем. Полученные результаты могут стать составной частью фундаментальных экологических исследований при обсуждении вопросов о сукцессии, экотонах. Сведения о таксономическом составе могут быть использованы при подготовке региональных флор.

Данные по продуктивности фитоэпиплтона использованы для расчета элементов биотического баланса Телецкого озера. Материалы диссертации вошли в отчеты ИВЭП СО РАН по Программам фундаментальных научных исследований 2004-2014 гг.

Апробация работы. В период 1992-2014 гг. материалы диссертации были представлены:

- на межрегиональных и всероссийских научных конференциях: «Экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики» (Томск, 2001), «Изучение и охрана природы Алтае-Саянской горной страны» (Горно-Алтайск, 2002), «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» (Барнаул, 2010 г.);

- на международных научных конференциях и конференциях с международным участием: «Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия» (Борок, 2002), «Актуальные проблемы современной альгологии» (Харьков, 2005), «Водная экология на заре XXI века» (СПб, 2005), «Автотрофные микроорганизмы» (Москва, 2005), «Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии» (Барнаул, 2005, 2008), на X конференции диатомологов стран СНГ (Минск, 2007), «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды» (Минск–Нарочь, 2007), на конференции, посвященной 75-летию юбилею Алтайского заповедника (Горно-Алтайск, 2008), «Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований» (Борок, 2013), «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» (Борок, 2014), «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (Барнаул, 2014);

- на VIII-X съездах Гидробиологического общества (Калининград, 2001; Тольятти, 2006; Владивосток, 2009);

- на международных симпозиумах: 16th Annual International Symposium on Lake, Reservoir and Watershed Management (St.Paul, 1996), «Biodiversity and dynamics of ecosystems in North Eurasia» (Novosibirsk, 2000), «Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований» (Тюмень, 2003), 18-й Диатомовый симпозиум в Польше (Miedzyzdroje, 2004);

- на IX школе диатомологов России и стран СНГ «Морфология, систематика, онтогенез, экология и биогеография диатомовых водорослей» (Борок, 2005).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 208 страницах, содержит 38 рисунков и 42 таблицы. Список литературы включает 267 наименований, в том числе 54 на иностранных языках. По теме диссертации опубликована 41 работа.

Глава 1. Основные физико-географические характеристики водосборных бассейнов исследованных водотоков и водоемов

Приведено описание природных условий формирования альгоценозов водных объектов горной (территория Республики Алтай), предгорной и равнинной (прилегающие к Республике районы Алтайского края) территорий. Дана характеристика рельефа, климата, растительности, почв водосборных бассейнов практически каждого исследуемого водного объекта с целью отразить их разнообразие.

Глава 2. Материал и методы исследования

Наиболее подробно исследован фитоэпипитон Телецкого озера и 16 его притоков (март-октябрь 1991-2007 гг.), р. Катунь и 3 ее притоков в горной части (июль 1989 г., апрель-октябрь 1990 г., июнь 2008 г.). Обследовано 9 озер (август, сентябрь 2007 г.), 10 горных водотоков бассейнов рек Бия и Катунь (июль 1990 г., сентябрь 2002 г., август 2007 г.), 7 водотоков бассейнов рек Катунь, Чарыш, Алей в предгорной части (октябрь 2006 г., июль 2008 г., сентябрь 2008 г.) (рис. 1). На основе литературных и оригинальных данных (любезно предоставленных сотрудниками ИВЭП СО РАН Т.В. Кирилловой, А.В. Котовщиковым, Л.В. Яныгиной, Л.А. Долматовой, М.И. Ковешниковым, Т.С. Папиной, Е.И. Третьяковой, С.С. Эйрих составлен реестр исследованных водных объектов за период 1928-2008 гг. Длина водотоков варьирует от 4 до 688 км, площадь озер – от 0,6 до 227,3 км². Температура воды в период открытой воды составляла 0,1-22,8 °С, скорость течения – 0,1-5,3 м/с в горных водотоках, 0,1-1,0 м/с в предгорных; общая минерализация воды – 12,0-300,0 мг/дм³ в горных и 80,0-568,0 мг/дм³ в предгорных водных

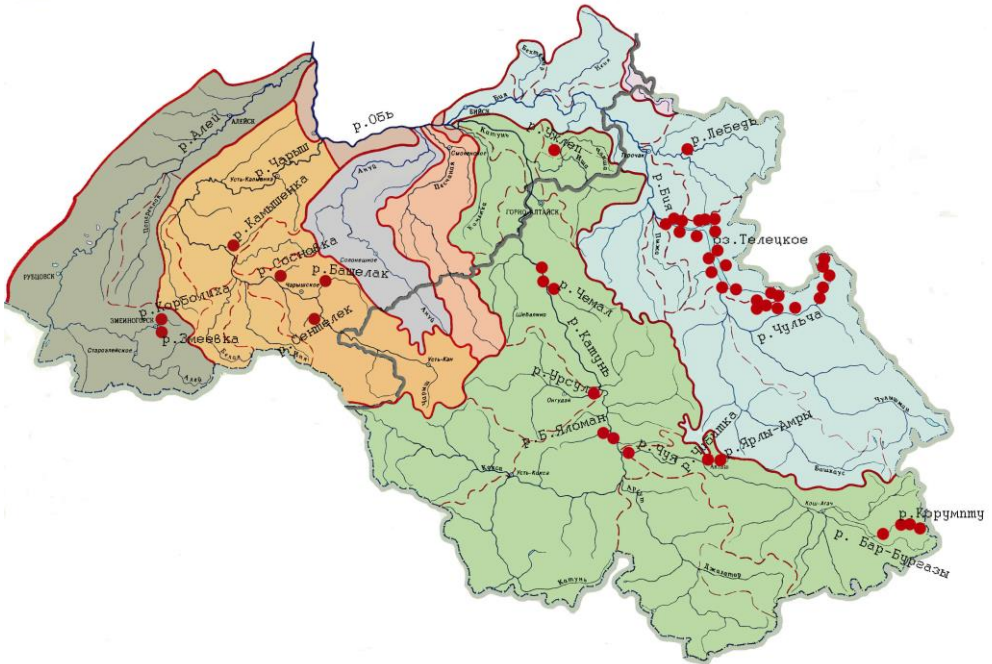


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб фитоэпилитона в водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби, 1989-2008 гг.

объектах, рН – 5,1-8,7, содержание O_2 – 5,4-18,1 мг/дм³, CO_2 – 0,5-15,9, NO_3^- – 0,03-0,80, PO_4^{3-} – 0,00-0,08, Si – 1,1-5,2 мг/дм³.

Пробы отбирали на глубине 0,3-0,5 м и 1,5 м. Отбор проб проводили стандартными методами (Руководство ..., 1992) с камней, на которых тип обрастания и интенсивность развития водорослей были наиболее характерны для данного участка водного объекта. Численность (N) и биомасса (B) водорослей определены счетно-объемным методом и методом прямого взвешивания макроскопических обрастаний. Валовая первичная продукция фитоэпилитона (A) и деструкция органического вещества (R) измерены скляночным методом в кислородной модификации (Руководство ..., 1992). Для определения темпа формирования сообществ на естественных (камни) и искусственных (стекло) субстратах поставлен эксперимент с использованием установки, предложенной А.Ф. Антипчуком (1977). В целом проанализировано более 320 проб фитоэпилитона, поставлено 112 экспериментов для определения продукционных характеристик и 15 экспериментов для изучения сукцессии.

Частоту встречаемости вида оценивали как отношение числа проб, в которых он присутствовал, к общему числу проб, частоту доминирования вида – как отношение числа проб, в которых данный вид доминировал к общему числу проб. В доминирующий комплекс включены виды, *N* и *B* которых была не менее 10 % от общей *N* и *B* водорослей в пробе (Кузьмин, 1975). Сравнение альгофлор проведено на основе «попарных мер включения» (Андреев, 1980). Для определения экологической характеристики водорослей использованы сведения из определителей и ряда работ (Баринова, Медведева 1996; Баринова и др., 2006). Доля водорослей-индикаторов оценена относительно полного списка водорослей. Качество воды определяли по индексам сапробности (S_N и S_B) (Оксинок и др., 1993). Трофический статус оценивали по шкале трофности по фитоперифитону (Сиротский, 1998). Статистический и корреляционный анализ проведен с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Глава 3. Пространственно-временная организация фитоэпилитона водотоков и водоемов бассейна Верхней Оби

3.1. Телецкое озеро. В фитоэпилитоне литорали выявлено 446 видов (538 таксонов рангом ниже рода) водорослей из 156 родов, 79 семейств, 34 порядков, 18 классов, 9 отделов. Наиболее разнообразно представлены отделы Bacillariophyta (42,0 % от общего видового состава), Cyanoprokaryota (30,0 %), Chlorophyta (19,5 %); семейства *Oscillatoriaceae* (9,9 %), *Naviculaceae* (8,1 %), *Cymbellaceae*, *Nitzschiaceae* (по 6,7 %), *Fragilariaceae* (6,5 %) и рода *Nitzschia* (6,5 %), *Navicula* (5,6 %), *Cymbella* (5,4 %), *Oscillatoria* (4,5 %), *Synedra* (3,4 %). Соотношение числа видов Cyanoprokaryota/Chlorophyta составило 1,5-14 раз в 75 % наблюдений. Одно-двухвидовые семейства составляют 48,1 % общего числа семейств, одно-двухвидовые рода – 76,9 % от общего числа родов. Наибольшая частота встречаемости отмечена для *Achnanthes minutissima* Kütz. (88 %), *Cymbella ventricosa* (Ag.) Kütz. (86 %), *Synedra pulchella* (Ralfs) Kütz., *S. ulna* (Nitzsch) Ehr. (по 72 %), *Cymbella cistula* (Hempr.) Grun. (68 %), *Gomphonema olivaceum* (Lyngb.) Kütz. (66 %), *Navicula radiosa* Kütz. (62 %), *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr., *Cymbella helvetica* Kütz. (по 60 %), *Asterionella formosa* Hass. (58 %), *Synedra acus* Kütz., *Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib. (по 50 %). Наибольшая частота доминирования по *N* отмечена для *A. minutissima* (40,6 %), *S. pulchella* (32,8 %), *C. ventricosa* (25 %), по *B* – для *C. cistula* (18,2 %), *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M.Schmidt (16,1 %), *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr) Kütz. (19,7 %). В доминантный комплекс входило 1-3 вида (в 92,2 % наблюдений по *N* и в 87,5 % – по *B*).

При сравнении видового состава вдоль береговой линии выявлено, что сходство альгофлоры определяют в основном Bacillariophyta, различия – Cyanoprokaryota и Chlorophyta.

Выявлено изменение структуры фитозепилитона по глубине. По направлению к урезу воды уменьшается:

- число видов, численность, биомасса водорослей (табл. 1), что может свидетельствовать о возрастании нестабильности среды;
- средний объем клеток доминирующих по численности видов (*A. minutissima*: 517 мкм³ на 1,5 м и 120 мкм³ на 0,5 м; *S. pulchella*: – 1365 и 1096 мкм³ соответственно);
- число видов из родов *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Phormidium*;
- размеры колоний *Microcystis* и *Gloeocapsa*;

По направлению к урезу воды увеличивается число видов из родов *Microcystis*, *Gloeocapsa*; *Scenedesmus* и *Crucigenia*. На глубине 0,5 м *U. zonata* представлен зиготами и прорастающими нитями, на 1,5 м – в основном зрелыми нитями.

Таблица 1. Структура фитозепилитона литорали Телецкого озера на разной глубине, июль 1998 г.

Число видов, обилие		Глубина, м	Участок озера					
			Чеченек	Камгинский залив	Кокши	Б.Чили	М.Чили	
Число видов	Bacillariophyta	0,5	22	26	14	14	14	
		1,5	57	50	21	26	17	
	Cyanoprokaryota	0,5	17	11	6	6	22	
		1,5	19	19	17	3	3	
	Chlorophyta	0,5	6	3	5	–	3	
		1,5	4	6	3	4	2	
	Другие отделы	0,5	3	–	–	–	–	
		1,5	1	1	–	–	–	
	Общее	0,5	48	40	25	20	39	
		1,5	81	76	41	33	22	
	Биомасса, г/м ²		0,5	1,10	0,17	0,11	0,12	0,36
			1,5	6,32	5,14	6,94	73,0	14,38
Численность, млрд кл./м ²		0,5	0,75	0,23	0,03	0,09	0,31	
		1,5	2,00	2,62	1,10	6,82	5,00	

Примечание: – не выявлено.

Сезонная динамика. На протяжении всего периода открытой воды доминируют, как правило, одни и те же виды. Количественные параметры фитозепилитона характеризуются значительными колебаниями величин. Тем не менее, при обобщении данных за длительный период времени (13 лет) проявляется тенденция увеличения *B* в осеннюю межень (табл. 2). Для **межгодовой динамики** фитозепилитона характерны сходство доминантного комплекса и варьирование *N* и *B* (табл. 3). Не

Таблица 2. Количественные характеристики фитозепилитона Телецкого озера в разные месяцы, 1991-2004 гг.

Обилие	Май	Июнь-август	Сентябрь-октябрь
Численность, млрд кл./м ²	0,00-0,75	0,00-24,20	0,00-2,80
Биомасса, г/м ²	0,03-0,85	0,00-424,60	0,00-295,40
Средняя биомасса, г/м ²	0,12±0,07	17,87±10,0	33,41±24,04

установлено изменение структуры фитозепилитона за 73-102 года (по ретроспективным данным 1902 г. (Скворцов, 1930) и 1928-1931 гг. (Воронихин, 1940; Порецкий, Шешукова, 1953). Постоянной характеристикой является «малодоминантность» (1-3 вида) сообществ.

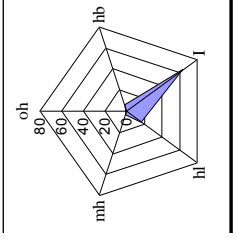
Таблица 3. Обилие фитозепилитона Телецкого озера в разные годы в июле-августе

Обилие	1998	2002	2003	2004
Численность, млрд кл./м ²	0,03-6,82	0,00-5,90	0,30-24,20	0,18-8,64
Биомасса, г/м ²	0,31-8,55	0,20-424,62	0,03-23,52	0,85-20,90
Средняя биомасса, г/м ²	5,25±3,20	45,52±35,09	10,52±3,24	6,67±4,78

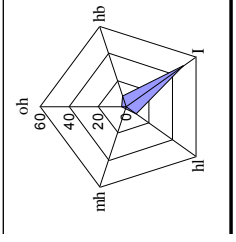
Экологическая характеристика. Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды озера (рис. 2), слабощелочную реакцию среды и незначительное содержание растворенных органических веществ. В 90,1 % случаев по S_N и в 77,0 % случаев по S_B озеро характеризуется как очень и вполне чистое (класс II, разряды 2а, 2б). Отмечено ухудшение качества воды в мае (класс III, разряд 3а). По B водорослей озеро характеризуется как предельно-вполне чистое.

3.2. Горные водотоки бассейна р. Бия. В фитозепилитоне выявлено 242 вида (263 таксона рангом ниже рода) из 83 родов, 49 семейств, 22 порядков, 12 классов, 6 отделов. Наиболее разнообразно представлены Bacillariophyta (45,9 % общего видового состава), Cyanoprokaryota (33,5 %), Chlorophyta (17,8 %), семейства *Cymbellaceae* (10,0 %), *Oscillatoriaceae* (9,2 %), *Fragilariaceae* (6,3 %), *Nitzschiaceae* (5,9 %), *Naviculaceae* (5,0 %) и рода *Cymbella* (8,7 %), *Oscillatoria* (6,2 %), *Nitzschia* (5,8 %). Соотношение числа видов Cyanoprokaryota/Chlorophyta варьировало в пределах 1,5-22 раза в 67,4 % наблюдений. Одно-двухвидовые семейства составляли 44,9 % общего числа семейств, одно-двухвидовые рода – 65,0 % от общего числа родов. Наиболее высокая частота встречаемости отмечена для видов *Achnanthes minutissima* (86 %), *Cymbella ventricosa* (80), *Gomphonema olivaceum* (76), *Hannaea arcus* (68 %). Наибольшая частота доминирования по N отмечена для *A. minutissima* (52,0 %), *G. olivaceum* (20,0 %), *C. ventricosa* (10,0 %), по B –

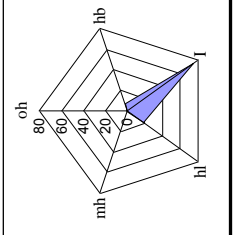
предгорные водотоки



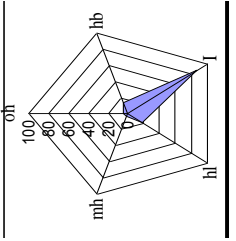
горные озера



водотоки бас. р.Катунь



водотоки бас. р.Бия



Телецкое озеро

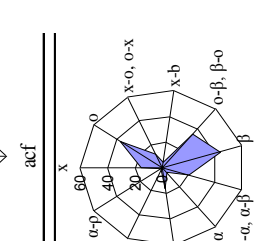
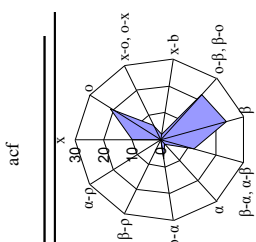
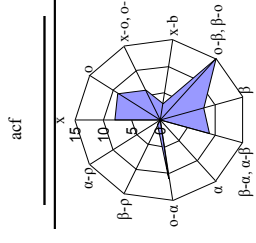
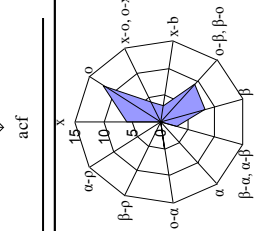
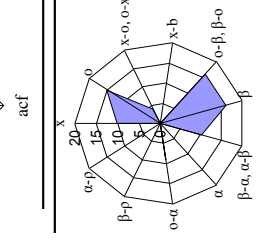
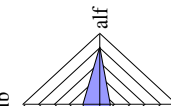
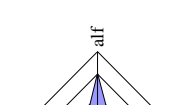
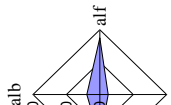
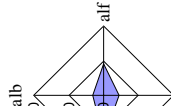
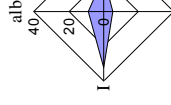
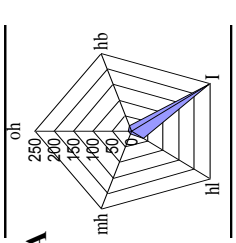


Рис. 2. Экологический спектр фитоэпилитона водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби.
 Примечание: А – отношение к минерализации (i-индифференты, oh-олигогалобы, hl-галофилы, hb-галофобы, mh-мезогалобы); Б – отношение к рН (i-индифференты, alf-алкалофилы, acf-ацидофилы); В – отношение к содержанию органических веществ (χ-ксено-, o-олигосапробионты, β-бета-, α-альфамезосапробионты, ρ-полисапробионты). На диаграммах представлено число таксонов.

для *Ulothrix zonata* (24,0 %). В доминантный комплекс входило 1-3 вида (в 95,7 % случаев по *N* и в 93,9 % – по *B*). Не отмечено четких закономерностей в *сезонной* и *межгодовой* динамике количественных показателей (табл. 4, 5).

Таблица 4. Обилие фитоэпилитона водотоков бассейна р. Бия в разные месяцы, 1991-2007 гг.

Обилие	Март	Май	Июнь-август	Октябрь
Численность, млрд кл./м ²	65,00-105,38	0,004-29,36	0,01-5,25	0,01-17,39
Биомасса, г/м ²	252,38-267,81	0,01-1,99	0,02-278,35	0,002-54,4
Средняя биомасса, г/м ²	260,10±7,71	0,41±0,32	17,92±9,80	9,19±6,66

Практически одинаково высокие значения отмечены в марте и июле-августе. Структура фитоэпилитона в период исследования не отличалась от таковой в 1928-1931, 1949, 1963 годах (Воронихин, 1940; Порецкий, Шешукова, 1953; Якубова, 1961; Левадная, 1970).

Таблица 5. Обилие фитоэпилитона водотоков бассейна р. Бия в разные годы в июле-августе

Обилие	1998	2002	2003	2004
Численность, млрд кл./м ²	0,01-2,64	0,04-3,00	0,23-5,24	0,09-0,11
Биомасса, г/м ²	0,02-278,35	0,06-6,90	0,11-32,48	0,30-0,53
Средняя биомасса, г/м ²	74,678±44,13	3,00±1,21	5,16±2,41	0,42±0,12

Экологическая характеристика. Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды, слабощелочную реакцию среды и незначительное содержание растворенных органических веществ (см. рис. 2). *S_B* в 95,8 % случаев находится в пределах, характеризующих водотоки как предельно чистые (класс I) и чистые (класс II, разряды 2а, 2б). Высокие значения *S_{N,B}* (1,8-2,0) и, соответственно, ухудшение качества воды (класс III, разряд 3а) отмечено в мае и сентябре-октябре. По *B* фитоэпилитона водотоки характеризуются как предельно-вполне чистые.

3.3. Горные водотоки бассейна р. Катунь. В фитоэпилитоне выявлено 159 видов (179 таксонов рангом ниже рода) водорослей из 62 родов, 39 семейств, 19 порядков, 12 классов, 7 отделов. Наиболее разнообразно представлены Bacillariophyta (58,5 % общего видового состава), Cyanoprokaryota (20,8 %), Chlorophyta (17,6 %), семейства *Cymbellaceae* (12,6 %), *Naviculaceae* (11,3 %), *Oscillatoriaceae* (9,4 %), *Fragilariaceae* (6,9 %), роды *Cymbella* (10,7 %), *Navicula* (8,2 %). Соотношение *n* Cyanoprokaryota/Chlorophyta варьировало в пределах 1,2-9 раз в 50 % наблюдений. Одно-двухвидовые семейства составляют 64,1 % общего числа семейств, одно-двухвидовые рода – 72,6 % от общего числа родов. Наибольшая частота встречаемости отмечена для *Cymbella ventricosa* (96,8 %), *Gomphonema olivaceum* (90,3 %), *Hannaea arcus* и *Achnanthes minutissima* (по 87,1 %), *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Ag. (74,2 %), *D. hiemale* и *Cymbella sinuata* Greg. (по 64,5 %), *Synedra ulna*

(58,1 %), *S. goulardii* var. *telezkoënsis* Poretzky (54,8 %), *Didymosphenia geminata* (51,6 %). Наибольшая частота доминирования по *N* отмечена для *A. minutissima* (57,7 %), *D. elongatum* (38,5 %), *C. ventricosa* (23,1 %), по *B* – для *D. elongatum* (30,8 %), *D. geminata* (23,1 %), *G. olivaceum* (15,4 %), *Ulothrix zonata* (11,5 %). В доминантный комплекс с мая по октябрь входило 1-3 вида за единичным исключением.

Пространственное распределение. С увеличением водности реки в направлении от притока III порядка до р. Катунь (Ярлы-Амры–Чибитка–Чуя–Катунь) средняя для водотока *B* фитопилитона за период открытой воды уменьшается (42,33–23,97–0,95–16,79 г/м²).

Четких **сезонных** закономерностей в изменении видового состава не выявлено. В р. Чибитка в течение всего периода открытой воды в 1990 г. доминировала *D.geminata*. Для *N* и *B* отмечена тенденция увеличения значений осенью (табл. 6). Структура фитопилитона в период исследования соответствовала таковой в р. Катунь и ее притоках (Чемал, Куба, Эликмонар) в 1948 (Возженникова, 1958), 1949 (Якубова, 1961), 1963 (Левадная, 1970), 1966 и 1989 годах (Сафонова, 1996-1998).

Таблица 6. Обилие фитопилитона водотоков бассейна р. Катунь в разные месяцы, 1989-2007 гг.

Обилие	Апрель	Июнь-август	Сентябрь-октябрь
численность, млрд кл./м ²	0,30-1,23	0,01-2,90	0,02-4,24
биомасса, г/м ²	0,02-75,6	0,01-210,10	0,03-584,70
средняя биомасса, г/м ²	10,29±8,23	36,76±24,92	61,37±58,15

Экологическая характеристика. Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды, слабощелочную реакцию среды и незначительное содержание растворенных органических веществ (см. рис. 2). *S_N* в 88,1 % случаев и *S_B* в 80,0 % случаев характеризуют водотоки как предельно (класс I), очень (класс II, разряд 2а) и вполне чистые (класс II, разряд 2б). Максимальное значение *S_B* (2,3) (соответственно слабозагрязненная вода (класс III, разряд 3б)) зарегистрировано на р. Катунь в апреле 1990 г. По *B* фитопилитона вода исследованных рек характеризуется как «предельно-вполне чистая».

3.4. Горные озера бассейнов рек Бия и Катунь. В фитопилитоне озер выявлено 133 вида (135 таксонов рангом ниже рода) водорослей из 50 родов, 34 семейств, 16 порядков, 11 классов, 6 отделов. Наиболее разнообразно представлены отделы Bacillariophyta (54,9 % общего видового состава), Cyanoprokaryota (31,6 %), Chlorophyta (11,3 %), семейства Naviculaceae (12,0 %), Fragilariaceae (9,0 %), Cymbellaceae (8,3 %) и рода Gloeocapsa (7,5 %), Cymbella (6,8 %), Navicula (6,0 %). Соотношение *n* Cyanoprokaryota/Chlorophyta составило 1,3-16,0 раз в 80 % наблюдений. Одно-двухвидовые семейства составляют 52,9 % общего числа семейств, одно-двухвидовые рода – 64,0 % от общего числа

родов. Согласно множеству мер включения описаний видового состава, сходство фитоэпилитона озер, находящихся на одинаковой высоте над уровнем моря составило 50-89 %. Наибольшая частота встречаемости отмечена для *Gomphonema olivaceum* (77,8 %), *Synedra vaucheriae* Kütz. (66,7), *Gloeocapsa magma* (Bréb.) Kutz. emend. Hollerb. и *Microcystis pulverea* (H.Wood) Forti emend. Elenk. (по 55,6 %). Наибольшая частота доминирования по *N* отмечена для *G. magma* (30 %), *S. vaucheriae*, *A. minutissima* (по 20 %). *N* водорослей варьировала в пределах 0,03-4,60 млрд кл./м², *B* – 0,10-9,70 г/м². Соответствующие средние значения составили 1,22±0,48 млрд кл./м² и 4,21±1,21 г/м².

Экологическая характеристика. Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды, слабощелочную реакцию среды и незначительное содержание растворенных органических веществ (см. рис. 2). По *S_{N,В}* вода озер бассейнов рек Кыга и Кайру характеризуется как чистая (класс качества II, разряд качества 2а, 2б), а вода озер бассейна р. Чульча – как удовлетворительной чистоты (класс качества III, разряд 3а). По *B* водорослей озера характеризуются как предельно чистые.

3.5. Предгорные водотоки бассейнов рек Чарыш, Алей, Катунь. В фитоэпилитоне выявлено 129 видов (140 таксонов рангом ниже рода) водорослей из 51 рода, 36 семейств, 18 порядков, 12 классов, 6 отделов. Наибольшее видовое богатство характерно для отделов Bacillariophyta (63,6 % общего видового состава), Chlorophyta (17,8 %), Cyanoprokaryota (14,7 %), семейств *Nitzschiaceae* (17,8 %), *Naviculaceae* (10,9 %), *Fragilariaceae* (7,8 %), родов *Nitzschia* (17,1 %), *Navicula* (6,2 %). Соотношение *n* Cyanoprokaryota/Chlorophyta составило 1,5-3,5 раза в 75 % наблюдений. Одно-двухвидовые семейства составляют 58,3 % от общего числа семейств, одно-двухвидовые рода 72,5 % от общего числа родов. Высокая частота встречаемости отмечена для *Navicula cryptocephala* Kütz. и *S. ventricosa* (по 87,5 %), *Achnanthes minutissima*, *Gomphonema olivaceum* (по 75,0 %), *Amphora ovalis* Kütz. (62,5 %), *Navicula rhynchocephala* Kütz., *N. viridula* Kütz., (по 57,1 %), *Nitzschia dissipata* (Kütz.) Grun. (50,0 %), *Cymatopleura solea* (Bréb.) W. Sm. (42,9 %). Наибольшая частота доминирования по *N* отмечена для *N. dissipata* (37,5 %), *Navicula viridula* (25,0 %), *G. olivaceum* (22,2 %) по *B* – для *S. solea* (25,0 %). В составе доминантного комплекса, как правило, присутствовало 1-3 вида. *N* водорослей варьировала в пределах 0,15-4,32 млрд кл./м², *B* – 0,70-17,70 г/м². Соответствующие средние значения составили 1,14±0,48 млрд кл./м² и 4,55±1,94 г/м².

Экологическая характеристика. Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды, слабощелочную реакцию среды и незначительное содержание растворенных органических веществ (см.

рис. 2). Повышенная доля галофилов и мезогалобов в предгорных водотоках по сравнению с горными свидетельствует о более высокой минерализации воды. По $S_{N,B}$ вода практически всех водотоков предгорной части бассейна в осенний период характеризовалась как удовлетворительно чистая (класс качества III, разряд 3а, 3б), за исключением р. Сентелек, в которой вода являлась чистой (класс качества II, разряд 2б). По B водотоки являются предельно чистыми.

Глава 4. Функциональная организация фитоэпилитона

4.1. Продуктивность, оценка трофического статуса.

Интенсивность функционирования рассмотрена на примере фитоэпилитона Телецкого озера и его притоков.

Телецкое озеро. Валовая первичная продукция варьировала в диапазоне $0,25-139,67 \text{ мгО}_2/\text{м}^2 \text{ час}^{-1}$ (июль-сентябрь 2002 г.), $4,91-168,22$ (июль 2003 г.), $4,09-81,06 \text{ мгО}_2/\text{м}^2 \text{ час}^{-1}$ (август 2004 г.). Средняя суточная за 2002-2004 гг. величина валовой первичной продукции составила $0,97 \pm 0,16 \text{ гС}/\text{м}^2$, наибольшая часть значений (82,5 %) находилась в интервале $0,14-5,60 \text{ гС}/\text{м}^2$. Согласно шкале оценки трофического статуса водных объектов по первичной продукции фитоперифитона (Сиротский, 1998) литораль озера является мезотрофно-эвтрофной. Деструкция органического вещества эпилитоном варьировала в диапазоне $0,11-227,44 \text{ мгО}_2/\text{м}^2 \text{ час}^{-1}$. Так как чистая первичная продукция в 62,2 % измерений отрицательна и коэффициент A/R в 68,9 % измерений меньше 1, то баланс органического вещества в толще фитоэпилитона имеет гетеротрофный характер.

Притоки озера. Валовая первичная продукция варьировала в пределах $6,38-108,10 \text{ мгО}_2/\text{м}^2 \text{ час}^{-1}$ (июль 2003 г.), средняя суточная за 2003 г. величина составила $1,61 \pm 0,31 \text{ гС}/\text{м}^2$. Эти значения позволяют отнести горные водотоки к мезотрофно-эвтрофным. Деструкция органического вещества изменялась от 23,45 до $150,15 \text{ мгО}_2/\text{м}^2 \text{ час}^{-1}$. Чистая первичная продукция в 90,0 % измерений отрицательна, коэффициент A/R в 90,0 % меньше 1. Соответственно, баланс органического вещества имеет гетеротрофный характер.

По физико-химическим и гидробиологическим характеристикам толщи воды Телецкое озеро и горные водотоки являются олиготрофными. Наиболее часто встречающиеся значения N и B фитоэпилитона относятся к категории низких и ниже средних (Жукинский и др., 1976). Но интенсивность фотосинтеза водорослей эпилитона настолько высока, что каменистая литораль озера и рипаль горных водотоков можно считать высокопродуктивными мезотрофно-эвтрофными зонами.

4.2. Факторы и процесс формирования фитоэпилитона. Цель данной части исследований состояла в выявлении факторов, оказывающих наибольшее влияние на фитоэпилитон. Биомасса фитоэпилитона выбрана для сравнения как величина, отражающая продуктивность первого трофического уровня экосистемы.

Можно предполагать отсутствие лимитирующего *влияния освещенности*, так как: 1) сумма прямой солнечной радиации в изучаемом регионе летом (18-19 ккал/см² в месяц (Модина, 2007)) в пересчете на интенсивность освещения, достигающую поверхности фитоэпилитонных матов (200-300 мкмоль/м²·сек⁻¹) относится к категории средняя (Boima, 2006); 2) ультрафиолетовые лучи проникают в чистую пресную воду не глубже нескольких мм; 3) берега водотоков и озер не были затенены прибрежной растительностью, прозрачность воды (до 15 м в Телецком озере (Селегей, Селегей, 1978), до 7,5 м в горных озерах (Иоганзен и др., 1950), до дна – в водотоках) превышает глубину отбора проб.

Гидродинамический фактор. Рассмотрено влияние скорости течения и колебание уровня воды в водотоках; ветроволновое воздействия на литораль и колебание уровня воды в озерах на развитие фитоэпилитона. Отмечена тенденция увеличения *B* фитоэпилитона при увеличении скорости течения воды от 0,1 до 2,0 м/с. По литературным данным оптимальная для развития водорослей скорость течения 1,2-2,0 м/с (Kahlert et al., 2002). Достоверная зависимость биомассы от гидродинамического фактора получена при работе с обобщенными данными: по мере увеличения водности реки уменьшается средняя за вегетационный сезон биомасса фитоэпилитона (рис. 3).

Из выявленных в озерах типов течений водной массы (Китаев, 2007) для развития фитоэпилитона литорали могут иметь значение постоянные течения, возникающие при впадении реки в озеро, и временные, непериодические течения под действием ветра и сейш. Влияние волн на водоросли проявляется как давление водной массы при накате волн. При откате волны высотой 20 см на глубине 1 м в 5-ти мм слое воды над поверхностью субстрата скорость придонного течения составляет 0,1 м/с (Lorke et al., 2006; Hofmann, 2008). Постоянный волноприбойный процесс отмечен на литорали Телецкого озера (Селегей, Селегей, 1978)]. В горных озерах волноприбойный процесс связан как с общей, так и с местной циркуляцией воздушных масс (фены, горно-долинные ветры, имеющие суточный характер (Иоганзен и др., 1950; Модина, 1997).

Для водотоков горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби характерно ежесуточное изменение уровня (0,01-2,00 м) в период открытой воды (Государственный ..., 1982-1986). Уровень воды в

Телецком озере меняется на 0,1 м за 7-12 минут и на 6,0 м в половодье (Селегей, Селегей, 1978).

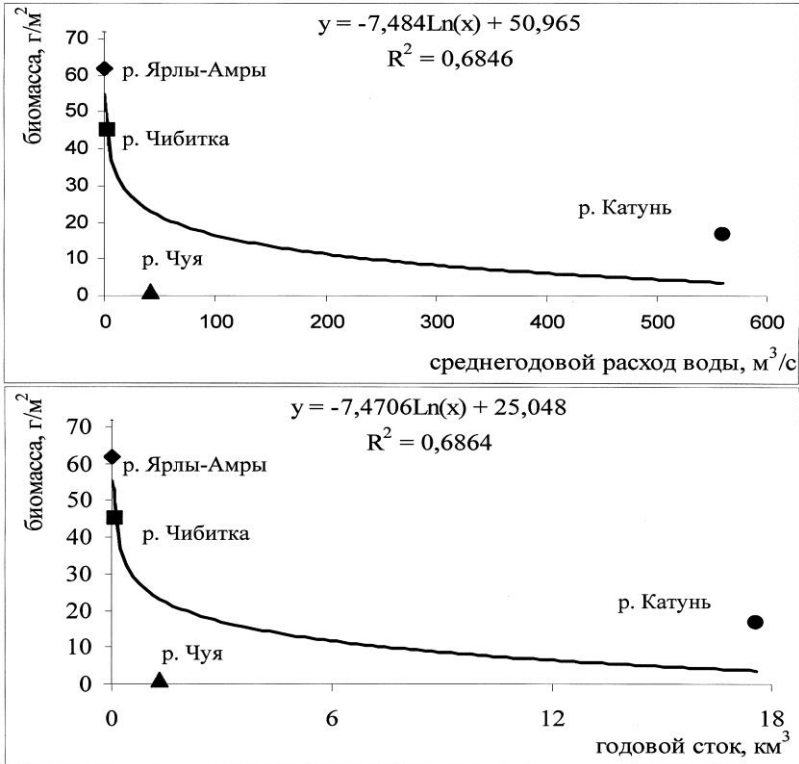


Рис. 3. Связь между биомассой фитоэпилитона и некоторыми гидрологическими характеристиками горных водотоков бассейна р. Катунь, апрель-октябрь 1990 г. *Примечание:* приведены средние за период открытой воды значения биомассы.

Таким образом, микроскопические водоросли эпилитона как в горных водотоках, так и на литорали озер на глубине до 1,5 м развиваются в условиях движения воды и колебания уровня. На фоне постоянства гидродинамической нагрузки на протяжении всего периода открытой воды, изменение силы ее проявления носит нерегулярный и мало предсказуемый характер. Возможно поэтому, в альгоценозах отмечена высокая частота встречаемости широко распространенных и устойчивых к гидродинамической нагрузке воды видов. Для многих из них характерна высокая частота доминирования. Эта же причина может объяснить отсутствие четко выраженной сезонной и годовой динамики. С нестабильностью среды обитания, возможно, связана асимметричность структуры фитоэпилитона, значительная амплитуда колебаний

количественных параметров, преобладание Cyanoprokaryota над Chlorophyta в видовом разнообразии.

При том сочетании абиотических условий, которые сложились в исследуемых водных объектах, не выявлено зависимости величины *B* многовидовых сообществ (85,5 % альгоценозов эпилитона состояло из 10-84 видов) от **температуры** воды в пределах 0,1-18,7 °С.

Не выявлено зависимости *B* фитоэпилитона от **pH** в пределах 7,40-8,65. Но отмечены изменения в спектре водорослей-индикаторов: при увеличении pH увеличивается соотношение (alf+alb)/acf.

Выявлена тенденция увеличения *B* фитоэпилитона при увеличении **общей минерализацией** воды в пределах 12,0-568,0 мг/дм³. Однонаправленное изменение этих показателей, возможно, определяется тем, что в межлетний период *B* увеличивается при стабилизации гидрологического режима, а увеличение минерализации происходит за счет увеличения доли грунтовых вод. Отмечены изменения в спектре водорослей-индикаторов: при увеличении общей минерализации увеличивается соотношение hl/hb.

Содержание растворенного **O₂** в исследуемых водных объектах высоко (до 18 мг/дм³). Содержание **CO₂** (до 16 мг/дм³) может не иметь для водорослей лимитирующего значения, т.к. фотосинтетическое поглощение углерода в воде, относящейся к гидрокарбонатному классу и имеющей слабощелочную реакцию среды, происходит как в форме растворенного CO₂, так и в форме HCO₃⁻ (Moroney, 1999).

В р. Катунь и ее притоках в апреле-октябре 1990 г. содержание биогенов **NO₃⁻**, **PO₄³⁻**, **Si** составляло 0,1-2,6 мг/дм³, 0,005-0,025 мг/дм³ и 1,1-5,2 мг/дм³ соответственно. При сравнении средних за период открытой воды 1990 г. значений выявлена достоверная отрицательная корреляция между *B* и содержанием NO₃⁻ ($r=-0,95$, $p\leq 0,05$), PO₄³⁻ ($r=-0,51$, $p\leq 0,05$), Si ($r=-0,93$, $p\leq 0,05$). Отсутствие зависимости между содержанием биогенов в воде и обилием водорослей в перифитоне отмечено в олиготрофных водных объектах Северной Америки, Исландии, Швеции (Kahlert, 1987; Burkholder, Wetzel, 1989; Jonsson, 1992; Kahlert et al., 2002). Полученный результат можно объяснить двумя причинами: 1) увеличение содержания биогенов в воде горных водотоков происходит в половодье и паводки в результате смыва с территории водосборного бассейна, а уменьшение *B* фитоэпилитона в эти периоды связано со смывом водорослей с камней при увеличении скорости воды; 2) из-за особенностей микроструктуры перифитонных матов и внутреннего «круговорота» веществ в них водоросли эпилитона в меньшей степени зависят от содержания биогенов в толще воды, чем водоросли планктона

(Hayes, 2002). Не было отмечено уменьшения биомассы фитоэпилитона при увеличении **биомассы водных беспозвоночных**.

В эксперименте по заселению стеклянных пластин и камней выявлено, что доминирующий комплекс состоял из тех же видов Bacillariophyta, что и в естественных условиях. В начале эксперимента и после смыва волнами на камнях отмечено большие n и B водорослей родов *Microcystis*, *Gloeocapsa*, *Ulothrix*, *Scenedesmus*, на стеклах – водорослей родов *Gloeocapsa*, *Gomphosphaeria*, *Phormidium*, *Scenedesmus*. На глубине 0,5 м величина B подвержена значительным колебаниям. На 1,5 м ее резких изменений не наблюдалось, что, возможно, связано с более стабильными условиями. Для формирования фитоперифитона в этих условиях потребовалось около 23 суток.

Глава 5. Общие черты фитоэпилитона водных объектов Голарктики

5.1. Общая характеристика фитоэпилитона водных объектов бассейна Верхней Оби. Дифференциация наземной растительности Алтая следует за дифференциацией климатических условий (Куминова, 1950). В альгофлоре горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби подобной дифференциации не выявлено, несмотря на разнообразие гидрографических параметров, типов питания рек, характера распределения годового стока, различия в климате, рельефе, высоте водосборных бассейнов. В целом, в водотоках и водоемах бассейна Верхней Оби за период 1989-2008 гг. в фитоэпилитоне выявлено 628 видов (741 таксон рангом ниже рода) водорослей из 9 отделов. Видовое богатство определяют диатомовые (262 вида), цианопрокариоты (178) и зеленые (136) водоросли. Число видов водорослей других отделов значительно меньше: Chrysophyta – 21, Xanthophyta – 8, Cryptophyta – 7, Dinophyta – 3, Euglenophyta – 10, Rhodophyta – 3 вида. Пропорции флоры составляют 1,0:2,1:7,6:8,9, родовая насыщенность – 3,7, варибельность вида – 1,2. Видовое разнообразие Cyanoprokaryota превышает таковое Chlorophyta в 1,3 в альгофлоре в целом. Асимметричность структуры фитоэпилитона проявляется в следующем:

- основную долю составляют одно-трехвидовые семейства (50,6 %) и роды (75,7 %);
- широко распространены шесть из 628 выявленных видов: *Achnanthes minutissima*, *Cymbella ventricosa*, *Gomphonema olivaceum*, *Hannaea arcus*, *Synedra ulna*, *Diatoma hiemale*. Остальные виды встречаются единично и редко: 96,2 % видов отмечены менее чем в 10 % проб;

- в составе доминантных по *N* комплексов из встреченных 71 видов, пять имеют высокую частоту доминирования: *A. minutissima*, *C. ventricosa*, *S. pulchella*, *G. olivaceum*, *Diatoma elongatum*. В составе доминантных по *B* комплексов три из 89 видов имеют высокую частоту доминирования: *Ulothrix zonata*, *Didymosphenia geminata*, *S. ulna*;

- доля сообществ, в которых доминантный комплекс состоял из 1-3 видов равна 89,2 % по *N* и 90,4 % по *B*.

Значительная амплитуда колебания количественных показателей во все периоды вегетационного сезона не позволяет проследить четких сезонных и межгодовых закономерностей.

5.2. Структурно-функциональная организация фитоэпилитона водных объектов Голарктики с преобладающим воздействием гидродинамического фактора. В научных исследованиях для наиболее полной характеристики альгофлоры авторы объединяют данные по водорослям разных экотопов, в результате чего теряются особенности альгоценозов каждого из них. Для данного обзора выбрана информация только о водорослях каменистого субстрата. В результате выявлены общие черты пространственно-временной организации фитоэпилитона в водных объектах Голарктики, в которых гидродинамический фактор является определяющим для развития водорослей.

Структура. В водотоках Алтае-Саянской горной провинции, бассейнов Японского, Охотского моря, Верхней Колымы, Печоры, в водотоках Карелии, Северной Америки, Польши, Швейцарии, Швеции, Норвегии, Великобритании лишь 5-6 из более 300 видов достигали массового развития. Доминантный комплекс состоял, как правило, из *Hannaea arcus*, *D. hiemale*, *A. minutissima*, *C. ventricosa*, *G. olivaceum*, *Meridion circulare*, *S. ulna*, *Amphora ovalis*, *Cocconeis placentula*, *U. zonata*. Состав доминантного комплекса практически постоянен в течение вегетационного сезона, на протяжении десятков лет и многих километров вдоль рек. Различия в структуре сообществ определены видами, встречающимися эпизодически и в небольшом количестве. Структура фитоэпилитона литорали олиготрофных и некоторых мезотрофных озер, подверженных волноприбойной деятельности, схожа между собой и идентична таковой в горных реках. Сходные черты имеют *сукцессионные процессы*. В нестабильных условиях колонизация субстрата начинается мелкоклеточными водорослями *A. minutissima*, *A. microcephala*, *C. ventricosa*, *C. microcephala*, *G. olivaceum*. Период формирования сообществ составляет 15-25 суток (Кожов, 1969; Ижболдина, 1971; Комулайнен, 2002, 2004; Antoine, Benson-Evans, 1986; Antoniades, Douglas, 2002 и др.). Отсутствует четко выраженная *сезонная и межгодовая*

динамика структуры фитоэпилитона в реках Енисей, Кедровая, Кольма и ее притоках, реках бассейна Охотского моря, Восточного Забайкалья, в р. Атна (Норвегия), в водотоках Северной Америки (Кухаренко, 1964, Потапова, 1993; Куклин, 2002; Barbiero, 2000; Lindstrom et al., 2004 и др.). В водорослей достигает 1500 г/м^2 в период низких уровней воды в реках и 700 г/м^2 при ослаблении ветроволновой нагрузки на открытой литорали озер. Валовая первичная продукция фитоэпилитона достигает $8,8 \text{ гO}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ (Вотякова, 1992; Потапова, 1993; Комулайнен, 2005; Izaguirre, Pizarro, 1998; Lay, Ward, 1987 и др.). Полученный результат можно использовать для экстраполяции данных на альгоценозы твердого субстрата ранее не исследованных водных объектов, для которых характерна динамика водной массы, температура воды не превышает $20 \text{ }^\circ\text{C}$, минерализация и содержание биогенов невысоко. Этот же принцип применим к ретроспективному восстановлению состояния водных объектов.

Выводы

1. В фитоэпилитоне разнотипных водных объектов бассейна Верхней Оби за период 1989-2008 гг. выявлено 628 видов водорослей из 9 отделов, ведущими из которых являются Bacillariophyta, Cyanoprokaryota, Chlorophyta. Соотношение Cyanoprokaryota/Chlorophyta по числу видов составляет 1,3 для альгофлоры в целом и от 1,3 до 22,0 – для конкретных альгоценозов. Основную долю в альгофлоре составляют одно-трехвидовые семейства (50,6 % всех семейств) и рода (75,7 % всех родов).

2. В водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби широко распространены шесть видов: частота встречаемости *Achnanthes minutissima* – 85,3 %, *Cymbella ventricosa* – 80,7 %, *Gomphonema olivaceum* – 75,7 %, *Hannaea arcus* – 62,6 %, *Synedra ulna* – 51,3 %, *Diatoma hiemale* – 45,8 %. Остальные виды встречаются единично и редко.

3. Из 71 вида-доминанта по численности только пять имеют высокую частоту доминирования (*A. minutissima*, *C. ventricosa*, *Synedra pulchella*, *G. olivaceum*, *Diatoma elongatum* var. *capitellatum*). Из 89 видов-доминантов по биомассе высокую частоту доминирования имеют три вида (*Ulothrix zonata*, *Didymosphenia geminata*, *Synedra ulna*).

4. Максимальная численность водорослей составила 105,4 млрд кл./ м^2 , максимальная биомасса – $584,7 \text{ г/м}^2$. Наиболее часто встречающиеся значения численности (65 %) и биомассы (45 %) относятся к категории «предельно низкие-ниже средних». Величина валовой первичной продукции фитоэпилитона Телецкого озера достигает $5,6 \text{ гC/м}^2 \text{ сут}^{-1}$, горных водотоков – $3,6 \text{ гC/м}^2 \text{ сут}^{-1}$. Литораль озера и рипаль водотоков соответствуют мезотрофно-эвтрофным зонам по

наиболее часто встречающимся значениям валовой первичной продукции (82,5-100,0 % соответственно).

5. Определяющим по воздействию на развитие фитоэпилитона и постоянным дестабилизирующим фактором является гидродинамический (волноприбойный процесс на литорали озер, высокая скорость течения воды в водотоках, суточные колебания уровня воды).

6. Пространственно-временная организация фитоэпилитона водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби имеет значительное сходство с другими водными объектами Голарктики, в которых развитие водорослей зависит, главным образом, от гидродинамической нагрузки на них.

7. Экологический спектр видов фитоэпилитона отражает низкую минерализацию воды и слабощелочную реакцию среды в водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби. Основная доля водорослей-индикаторов органического загрязнения (53,4-68,0 % от числа таксонов с известной характеристикой) относится к индикаторам чистой воды (от ксено- до ксено-бета-олигосапробионтов).

Качество воды Телецкого озера и горных водотоков по индексу сапробности в большинстве случаев соответствует I-II классу. Повышение содержания растворенных органических веществ отмечено в апреле-мае и сентябре-октябре (III класс, разряды 3а, 3б). Качество воды большинства горных озер в августе-сентябре соответствовало II-III классу, разрядам 2б и 3а, предгорных водотоков в сентябре-октябре – III классу, разрядам 3а и 3б.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Ким, Г.В. Флора диатомовых водорослей Телецкого озера (Алтай, Россия) / Е.Ю. Митрофанова, Н.А. Скабичевская, Г.В. Ким, Р.Е. Романов // Новости систематики низших растений, 2007. – Т. 41. – С. 41–59.
2. Ким, Г.В. Водоросли перифитона Телецкого озера / Г.В. Ким // Сибирский экологический журн., 2011. – № 1. – С. 33–41.
3. Ким, Г.В. Некоторые вопросы функционирования фитоэпилитона олиготрофных водоемов и горных водотоков (обзор) / Г.В. Ким // Гидробиол. журн., 2011. – Т.47, № 1. – С. 15–23.
4. Ким, Г.В. Морфологические аномалии диатомовых водорослей фитоэпилитона как индикаторы качества воды водотоков и водоемов Горного Алтая / Г.В. Ким // Мир культуры, науки, образования, 2013. – № 5(42). – С. 444–449.

Прочие публикации:

5. Ким, Г.В. Фитоперифитон горных водотоков бассейна Верхней Оби / Г.В. Ким // Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований: тезисы междунаро. симп. (г. Тюмень, 3–5 февраля 2003 г.). – Тюмень: Изд-во ТГУ, 2003. – С. 35.