

На правах рукописи

Ким Галина Владимировна

**ФИТОЭПИЛИТОН ВОДОТОКОВ И ВОДОЕМОВ ГОРНОЙ И
ПРЕДГОРНОЙ ЧАСТЕЙ БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОБИ**

03.02.10 – Гидробиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Новосибирск 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель – кандидат биологических наук, доцент
Романов Роман Евгеньевич

Официальные оппоненты: **Баженова Ольга Прокопьевна**,
доктор биологических наук, ФГБОУ ВПО
Омский государственный аграрный
университет имени П.А. Столыпина,
профессор кафедры экологии,
природопользования и биологии

Куклин Алексей Петрович,
кандидат биологических наук, ФГБУН
Институт природных ресурсов, экологии и
криологии СО РАН, научный сотрудник
лаборатории водных экосистем

Ведущая организация – ФГБУН Институт биологии Коми
научного центра УрО РАН

Защита диссертации состоится «16» января 2015 г. в 10⁰⁰ часов
на заседании диссертационного совета ДМ220.048.06, созданного на
базе ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный
университет» по адресу: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова,
160.

Телефон/факс» 8(383) 267-05-10, e-mail: kropachev@ngs.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте:
по адресу: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160.
<http://www.nsau.edu.ru>

Автореферат разослан «4» декабря 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Кропачев Д.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Изучение водорослей – часть комплексных исследований, связанных с оценкой биологического разнообразия и экологического состояния водных объектов. Фитозепилитон (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 фитозепилитона 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 тысяч озер в горной части бассейна Верхней Оби в научных публикациях данные о фитозепилитоне 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).

Незначительная изученность фитозепилитона в водных объектах бассейна Верхней Оби, его высокая индикаторная и трофическая значимость, обуславливают актуальность данного исследования. Помимо выявления региональных особенностей фитозепилитона важным представляется изучение на их примере фундаментальных задач гидробиологии, таких как распределение 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 фитозепилитона в водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби.

Задачи

1. Выявить таксономический состав и структуру фитозепилитона.
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:

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

– 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 приводятся сведения о составе и структуре фитоэпилитона 40 водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби. Проанализировано влияние гидрологических, гидрофизических и гидрохимических факторов среды на развитие фитоэпилитона. Изучена сезонная и межгодовая динамика структуры сообществ. Дана оценка экологического состояния водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби по фитоэпилитону. 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 и определителей.

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 27 межрегиональных, всероссийских, международных научных конференциях и съездах Гидробиологического общества, в том числе: «Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований» (Тюмень, 2003), «Автотрофные микроорганизмы» (Москва, 2005), IX съезд Гидробиологического общества (Тольятти, 2006), «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды» (Минск, 2007), «Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии» (Барнаул, 2008), «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» (Борок, 2014), «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (Барнаул, 2014).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 205 страницах, содержит 39 рисунков и 42 таблицы. Список литературы включает 256 наименований, 55 из них – на иностранных языках. По теме диссертации опубликовано 40 работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность: научному руководителю к.б.н. Р.Е. Романову (ЦСБС СО РАН, НГУ) и заведующему ЛВЭ ИВЭП СО РАН к.б.н. В.В. Кириллову за советы и поддержку на протяжении всех этапов работы, д.б.н. Ю.В. Науменко (ЦСБС СО РАН) за ценные замечания и конструктивную критику, всем коллегам ИВЭП СО РАН за полезные замечания, полученные при обсуждении результатов исследования, данные по гидрохимии, гидробиологии, помощь в статистической обработке данных и отборе проб.

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 Алтай 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 фитоэпилитон Телецкого озера и 16 его притоков (март-октябрь 1991-2007 гг.) (рис. 1), 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

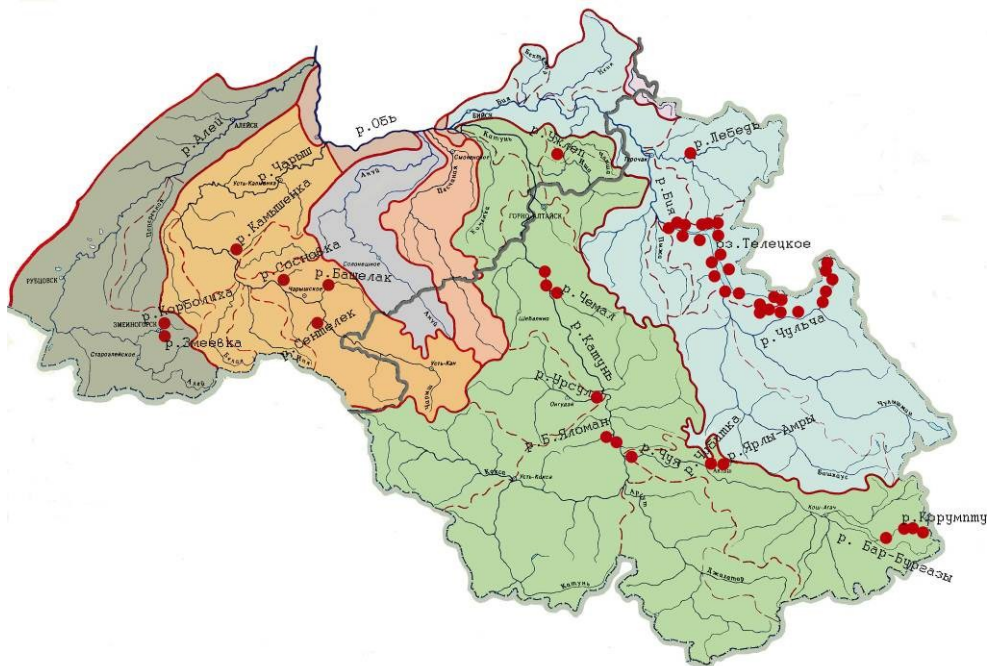


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб фитоэпилитона в водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби, 1989-2008 гг.

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.). На основе литературных и оригинальных данных составлен реестр исследованных водных объектов за период 1928-2008 гг. Длина водотоков варьирует от 4 до 688 км, площадь озера – 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, общая минерализация воды – 12,0-568,0 мг/дм³, рН – 5,1-8,7, содержание O₂ – 6,4-18,1 мг/дм³, CO₂ – 0,5-15,9 мг/дм³, NO₃⁻ – 0,03-11,03 мг/дм³, PO₄³⁻ – 0,005-0,08 мг/дм³, Si – 1,2-7,0 мг/дм³.

Пробы отбирали на глубинах 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 фитопланктона (*A*) и деструкция органического вещества (*R*) измерены скляночным методом в кислородной модификации. 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 фитопланктона, 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 (Баранова 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 специализированных программ.

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

3.1. Телецкое озеро. В фитопланктоне 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 % 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 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 фитоэпиплтона 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.

Сезонная динамика. На протяжении всего периода открытой воды доминируют, как правило, одни и те же виды. Количественные параметры фитоэпиплтона характеризуются значительными колебаниями

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	
	Cуанопрокaryota	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.

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 характерно сходство доминантного комплекса и варьирование *N* и *B* (табл. 3). Не 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 2. Количественные характеристики фитозепилитона Телецкого озера в разные месяцы, 1991-2004 гг.

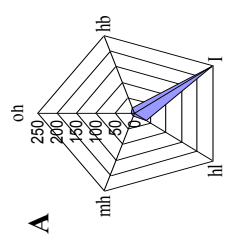
Обилие	Май	Июнь-август	Сентябрь-октябрь
Численность, млрд кл./м ²	0,00-0,75	0,00-24,20	0,00-2,80
Биомасса, г/м ²	0,03-0,85	0,00-424,60	0,00-295,40
Средняя биомасса, г/м ²	0,12±0,07	17,87±10,0	33,41±24,04

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

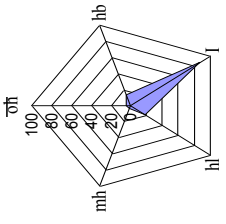
Обилие	1998	2002	2003	2004
Численность, млрд кл./м ²	0,03-6,82	0,00-5,90	0,30-24,20	0,18-8,64
Биомасса, г/м ²	0,31-8,55	0,20-424,62	0,03-23,52	0,85-20,90
Средняя биомасса, г/м ²	5,25±3,20	45,52±35,09	10,52±3,24	6,67±4,78

Спектр водорослей-индикаторов (рис. 2) отражает низкую минерализацию воды озера, слабощелочную реакцию среды, незначительное содержание растворенных органических веществ.

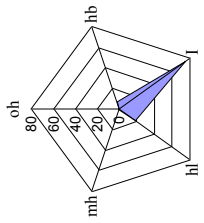
Телецкое озеро



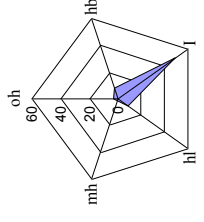
горные водотоки бас. р. Бия



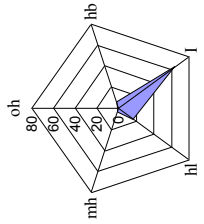
горные водотоки бас. р. Катунь



горные озера

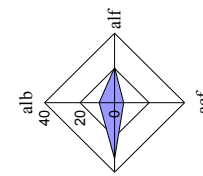
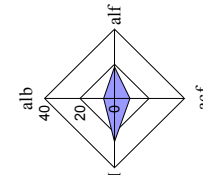
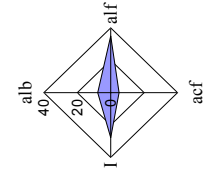
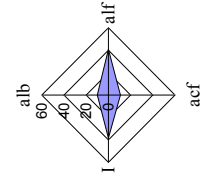
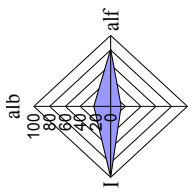


предгорные водотоки



А

Б



10

В

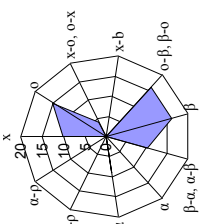
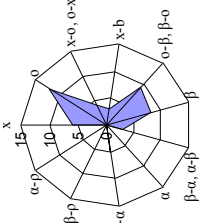
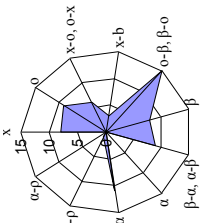
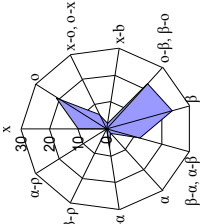
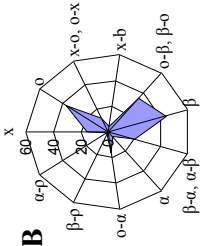


Рис. 2. Экологический спектр фитозпилитона водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби.
Примечание: А – отношение к минерализации (i-индифференты, oh-олигогалобы, hl-галлофилы, hb-галофобы, mh-мезогалобы); Б – отношение к рН (i-индифференты, alf-алкалифилы, alb-алкалофилы, acf-ацидофилы);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

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 фитоэпилитоне 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 1,5-22,0 в 67,4 % наблюдений. Одно-двухвидовые семейства составляли 44,9 % от общего числа семейств, одно-двухвидовые рода – 65,0 % от общего числа родов. Наиболее высокая частота встречаемости отмечена для видов *Achnanthes minutissima* (86,0 %), *Cymbella ventricosa* (80,0), *Gomphonema olivaceum* (76,0), *Hannaea arcus* (68,0 %). Наибольшая частота доминирования по N отмечена для *A. minutissima* (52,0 %), *G. olivaceum* (20,0), *C. ventricosa* (10,0 %), по B – 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

Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды, слабощелочную реакцию среды, незначительное содержание растворенных органических веществ (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 числа видов Cyanoprokaryota/Chlorophyta варьировало в пределах 1,2-9,0 в 50 % наблюдений. Одно-двухвидовые семейства составляют 64,1 % от 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. Четких **сезонных** закономерностей в изменении видового состава не выявлено. Для N и B отмечена тенденция увеличения значений осенью (табл. 6). Структура фитоэпилитона в период исследования соответствовала таковой в р. Катунь и ее притоках в 1948 (Возженникова, 1958), 1949 (Якубова, 1961), 1963 (Левадная, 1970), 1966 и 1989 годах (Сафонова, 1996-1998).

Таблица 6. Обилие фитоэпилитона 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

Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды, слабощелочную реакцию среды, незначительное содержание растворенных органических веществ (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) (класс III, разряд 3б – слабозагрязненная вода) зарегистрировано на р. Катунь в апреле 1990 г. По B фитоэпилитона вода исследованных рек характеризуется как «предельно-вполне чистая».

3.4. Горные озера бассейнов рек Бия и Катунь. В фитоэпилитоне 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 числа видов Cyanoprokaryota/Chlorophyta составило 1,3-16,0 в 80 % наблюдений. Одно-двухвидовые семейства составляют 52,9 % от 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 pulvereae* (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 $1,22 \pm 0,48$ млрд кл./м² и $4,21 \pm 1,21$ г/м².

Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды, слабощелочную реакцию среды, незначительное содержание растворенных органических веществ (рис. 2). По $S_{N,B}$ вода озер бассейнов рек Кыга и Кайру характеризуется как чистая (класс качества II, разряд качества 2а, 2б), 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 числа видов Cyanoprokaryota/Chlorophyta составило 1,5-3,5 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 *C. 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 *C. 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.

Спектр водорослей-индикаторов отражает низкую минерализацию воды, слабощелочную реакцию среды, незначительное содержание растворенных органических веществ (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 (II, 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 мгО₂/м² час⁻¹ (июль-сентябрь 2002 г.), 4,91-168,22 (июль 2003 г.), 4,09-81,06 мгО₂/м² час⁻¹ (август 2004 г.). Средняя суточная за 2002-2004 гг. величина валовой первичной продукции составила 0,97±0,16 гС/м², наибольшая часть значений (82,5 %) находилась в интервале 0,14-5,60 гС/м². Согласно шкале оценки трофического статуса водных объектов по первичной продукции фитоперифитона (Сиротский, 1998) литораль озера является мезотрофно-эвтрофной. Деструкция органического вещества эпилитомом варьировала в диапазоне 0,11-227,44 мгО₂/м² 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 $6,38-108,10 \text{ мгO}_2/\text{м}^2 \text{ час}^{-1}$ (июль 2003 г.). Средняя суточная за 2003 г. величина составила $1,61 \pm 0,31 \text{ гC}/\text{м}^2$. Эти значения позволяют отнести горные водотоки к мезотрофно-эвтрофным. Деструкция органического вещества изменялась от 23,45 до $150,15 \text{ мгO}_2/\text{м}^2 \text{ час}^{-1}$. 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 ($18-19 \text{ ккал}/\text{см}^2$ в месяц (Модина, 2007)) в пересчете на интенсивность освещения, достигающую поверхности матов фитоэпилитона ($200-300 \text{ мкмоль}/\text{м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$) относится к категории средняя (Воща, 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 (Йоганзен 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). При работе с обобщенными данными показано, что по мере увеличения водности реки уменьшается средняя за вегетационный сезон V фитозэпилитона.

Из выявленных в озерах типов течений водной массы (Китаев, 2007) для развития фитозэпилитона 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 ..., 1984-1986). Уровень воды в Телецком озере меняется на 0,1 м за 7-12 минут и на 6,0 м в половодье (Селегей, Селегей, 1978).

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 фитозэпилитона, 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 V многовидовых сообществ (85,5 % альгоценозов эпилитона состояло из 10-84 видов) от **температуры** воды в пределах 0,1-18,7 °С. Не выявлено зависимости V от **pH** в пределах 7,40-8,65, но отмечено изменение в

спектре водорослей-индикаторов: при увеличении рН увеличивается соотношение $(alf+alb)/acf$. Выявлена тенденция увеличения B при увеличении **общей минерализации** воды в пределах 12,0-568,0 мг/дм³. Однонаправленное изменение этих показателей, возможно, определяется тем, что в меженный период B увеличивается при стабилизации гидрологического режима, а увеличение минерализации происходит за счет увеличения доли грунтовых вод. При увеличении общей минерализации увеличивается соотношение hl/hb . Содержание растворенного O_2 в исследуемых водных объектах высоко (до 18 мг/дм³). Содержание CO_2 (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 CO_2 , так и в форме HCO_3^- (Moroney, 1999). В р. Катунь и ее притоках в апреле-октябре 1990 г. выявлена отрицательная корреляция между B и содержанием NO_3^- ($r=-0,95$, $p\leq 0,05$), PO_4^{3-} ($r=-0,51$, $p\leq 0,05$), 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 течения; 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 большее 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 фитоэпилитона в этих условиях потребовалось около 23 суток.

Глава 5. Общие черты фитоэпилитона водных объектов Голарктики

5.1. Общая характеристика фитоэпилитона водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби. Дифференциация наземной растительности Алтая следует за дифференциацией климатических условий (Куминова, 1960). В фитоэпилитоне 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. Видовое богатство фитоэпилитона определяют диатомовые (262 вида), зеленые (136) водоросли и цианопрокариоты (178). 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 раза. 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 фитозепилитона в водных объектах Голарктики, в которых гидродинамический фактор является определяющим для развития водорослей.

Структура. В водотоках Алтае-Саянской горной провинции, бассейнов Японского, Охотского морей, Верхней Колымы, Печоры, в водотоках Карелии, Северной Америки, Польши, Швейцарии, Швеции, Норвегии, Великобритании из 300-700 видов менее 10 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 фитозепилитона открытых участков литорали 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, 2004; Antoine, Benson-Evans, 1986; Antoniadis, Douglas, 2002 и др.). Отсутствует четко выраженная *сезонная и межгодовая динамика* структуры фитозепилитона в реках Енисей, Кедровая, Колыма и ее притоках, реках бассейна Охотского моря, Восточного Забайкалья, в р. Агна (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* фитозепилитона достигает $8,8 \text{ гO}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ (Волякова, 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 $23 \text{ }^\circ\text{C}$, минерализация – 300 мг/дм^3 , содержание фосфатов – $0,03 \text{ мг/дм}^3$). Этот же принцип применим к ретроспективному восстановлению состояния водных объектов.

Выводы

1. В фитоэпилитоне водотоков и водоемов горной и предгорной частей 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 %, *Symbella 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./м², максимальная биомасса – 584,7 г/м². Наиболее часто встречающиеся значения численности (65,0 %) и биомассы (45,0 %) относятся к категории «предельно низкие-ниже средних». Величина валовой первичной продукции фитоэпилитона Телецкого озера достигает 5,6 гС/м² сут⁻¹, горных водотоков – 3,6 гС/м² 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. Гидродинамический фактор (волноприбойный процесс на литорали озер, высокая скорость течения воды в водотоках, суточные колебания уровня воды) является постоянным дестабилизирующим и определяющим по воздействию на развитие фитоэпилитона.

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. Качество воды в водных объектах горной части бассейна по индексу сапробности в большинстве случаев соответствовало I-II классу. Повышение содержания растворенных органических веществ (III класс, разряды 3а, 3б) отмечено в апреле-мае и сентябре-октябре. Качество воды в водотоках предгорной части бассейна соответствовало III классу, разрядам 3а и 3б.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Зарубина Е.Ю. Литоральные биоценозы как один из факторов устойчивости экосистемы Телецкого озера / Е.Ю. Зарубина, Л.В. Яныгина, О.С. Бурмистрова, Е.Ю. Митрофанова, **Г.В. Ким**, А.В. Котовщиков, Е.Н. Крылова, М.И. Ковешников // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4, ч.2. – С. 201–207.
2. **Ким Г.В.** Водоросли перифитона Телецкого озера / Г.В. Ким // Сиб. экол. журн. – 2011. – № 1. – С. 33–41.
3. **Kim G.V.** Some Problems of the Functioning of Phytoepilithon in Oligotrophic Water Bodies and Mountain Water Courses (Review) / G.V. Kim // Hydrobiological Journal. – 2011. – V. 47, № 3. – P. 14–20.
4. **Ким Г.В.** Морфологические аномалии диатомовых водорослей фитозепилитона как индикаторы качества воды водотоков и водоемов Горного Алтая / Г.В. Ким // Мир науки, культуры, 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: тез. Междунар. симп. (г. Тюмень, 3–5 февраля 2003 г.). – Тюмень: Изд-во ТГУ, 2003. – С. 35.
6. **Ким Г.В.** Цианобактерии перифитона литорали Телецкого озера / Г.В. Ким // Автотрофные микроорганизмы: материалы симп. (21–24 декабря 2005 г.). – М.: МАКС Пресс, 2005. – С. 40.
7. **Ким Г.В.** Формирование и функционирование фитоперифитона литорали Телецкого озера в экспериментальных условиях / Г.В. Ким, А.В. Котовщиков, Т.В. Кириллова // тез. док. IX съезда Гидробиол. о-ва (г. Тольятти, 18–22 сентября 2006 г.). – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. – Т. 1. – С. 210.
8. Митрофанова Е.Ю. 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.
9. **Ким Г.В.** Новые данные об экологии *Nannaea arcus* (Ehr.) Patr. / Г.В. Ким // Морфология, клеточная биология, экология, флористика и история развития диатомовых водорослей: материалы конф. (9–14 сентября 2007 г.). – Минск: БГПУ, 2007. – С. 85–86.
10. **Ким Г.В.** Определение первичной продукции и деструкции органического вещества эпиплитическим фитоперифитоном Телецкого озера / Г.В. Ким //

Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: материалы конф. (17-22 сентября 2007 г.). – Минск: Изд-во БГУ, 2007. – С. 145.

11. **Ким Г.В.** Особенности пространственно-временной организации литофильных альгоценозов в горных водотоках (обзор) / Г.В. Ким // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: материалы конф. (21-24 октября 2008 г.). – Барнаул: Изд-во АГУ, 2008. – С. 133–136.

12. **Ким Г.В.** Факторы формирования фитоэпилитона разнотипных водных объектов бассейна Верхней Оби / Г.В. Ким // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: материалы конф. (24-29 августа 2014 г.). – Ярославль, 2014. – С. 64–65.

13. **Ким Г.В.** Водоросли твердого субстрата разнотипных водных объектов бассейна Верхней Оби / Г.В. Ким // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. II Всерос. конф. (25–29 августа 2014 г.). – Барнаул, 2014. – С. 59–65.