

**ФИТОПЕРИФИТОН РЕКИ ЕНИСЕЙ
В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**Т.Н. Ануфриева, Т.Б. Горбанева,
Н.А. Гаевский, Н.Е. Коваленко***

*Изучался фитоперифитон различных по степени антропогенного воздействия участков реки Енисей от плотины Красноярской ГЭС до г. Сосновоборска в период с мая по сентябрь 2002 г. Определены таксономический состав и структурные характеристики фитоперифитонных сообществ, изучена пространственно-временная динамика физиологических характеристик водорослей. Проведен ряд экспериментов для оптимизации температурных условий при экстракции хлорофилла *a* из клеток водорослей.*

Биоценозы перифитона представляют собой примеры очень динамичных биологических систем, весьма ценное свойство перифитонных сообществ - их приуроченность к субстратам, к определенным локализованным участкам, что позволяет с большой надежностью проводить пространственную экологическую бонитировку (биологическое зонирование) водосборов по показателям перифитона.

В основе наших исследований фитоперифитона различных по антропогенному воздействию участков реки Енисей лежат следующие принципы: комплексность и систематичность наблюдений, согласованность сроков их проведения с характерными гидрологическими ситуациями, определение показателей перифитонного сообщества как едиными стандартными, так и оригинальными методами, что позволило получить легко сравнимые результаты.

Для экосистем рек с высокой скоростью течения перифитон - типичное сообщество. Руслу рек - многообразные места обитания, формируемые сочетанием условий субстрата и течения. Перифитон в целом и его составляющая, фитоперифитон, может являться показателем эвтрофикации водоемов и водотоков, и его состояние достойно дополняет мониторинговые программы.

Анализ публикаций российских и зарубежных коллективов и авторов позволил выделить следующие приоритетные направления в изучении перифитонных сообществ (в порядке убывания): действие химических веществ, структура и функционирование, действие абиотических факторов, индикаторные свойства, действие биотических факторов. Таким образом, наша работа затрагивает сразу несколько приоритетных направлений исследований в данной области (структура и функционирование, действие абиотических факторов и действие биотических факторов) и полученные результаты сопоставимы с результатами исследований, проводимыми на высоком научном, методическом и техническом уровнях, за счет комплексного подхода к изучаемой проблеме.

Целью работы являлось изучение пространственно-временной динамики характеристик фитоперифитонных сообществ на различных по воздействию антропогенных факторов участках реки Енисей с использованием комплекса гидробиологических, физиологических и биофизических методов. Для этого были определены таксономический состав и структурные характеристики (численность и биомасса общие и по группам) фитоперифитонных сообществ в соответствии с общепринятыми рекомендациями для обработки проб перифитона, а также с помощью дифференциального флуоресцентного анализа, изучена пространственно-временная динамика физиологических характеристик водорослей, таких как потенциальная и реальная фотосинтетическая активность и содержание хлорофилла *a*.

Для оптимизации температурных условий при экстракции хлорофилла *a* из клеток водорослей был проведен ряд экспериментов, позволивших скорректировать методику определения хлорофилла *a* спектрофотометрическим методом в соответствии с предложенным [1] способом.

Материалы и методы

Материалом для данной работы послужили исследования сообществ фитоперифитона на участке реки Енисей от плотины Красноярской ГЭС до г. Сосновоборска (35 км ниже г. Красноярска) в период с мая по сентябрь 2002 г. Наблюдения велись на четырех станциях (рис. 1):

- станция № 1 - 0,5 км ниже плотины Красноярской ГЭС, выше г. Красноярска и г. Дивногорска;
- станция № 2 - ниже г. Дивногорска, дер. Слизнево;
- станция № 3 - ниже г. Красноярска, пос. Березовка;
- станция № 4 - ниже г. Сосновоборска.

* © Т.Н. Ануфриева, Т.Б. Горбанева, Н.А. Гаевский, Красноярский государственный университет; Н.Е. Коваленко, Среднесибирское УГМС ГУ Красноярский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями, 2003

Станции отбора проб отличаются друг от друга по своим морфологическим, гидрологическим и гидрохимическим показателям (рис. 2). Так, станции №1 и №3 имеют высокий берег и каменистое дно, станции №2 и №4 - пологий берег с песчаным, заиленным, малокаменистым дном.

Отбор и обработку проб для изучения пространственно-временной динамики таксономического состава и структурных характеристик водорослей проводили стандартными гидробиологическими методами [2] и с помощью дифференциального флуоресцентного анализа с применением флуориметра ПФЛЗ004 собственной разработки согласно описанной методике [3]. В ходе работы определяли потенциальную фотосинтетическую активность водорослей образцов, а также содержания хлорофилла *a* в основных таксономических группах. Содержание хлорофилла *a* в основных таксономических группах оценивали как флуоресцентным методом, так и спектрофотометрическим [4].

Результаты и обсуждение

Таксономический состав. За период исследований в составе фитоперифитона р. Енисей обнаружено 62 вида и разновидности организмов, принадлежащих к трем таксономическим группам - *Chlorophyta*, *Cyanophyta* и *Bacillariophyta*. В пространственном аспекте и на протяжении всего времени наблюдения количество видов и качественный состав альгоценозов значительно менялись.

В видовом разнообразии фитоперифитонных сообществ ведущее место занимали диатомовые водоросли - 80,5 % от общего числа видов, сине-зеленые и зеленые водоросли - 6,5 и 13 % соответственно.

Наиболее распространенными биоценозами на верхнем участке реки являлись диатомово-улотриксый и, в меньшей степени, диатомово-кладофорный. Доминирующий комплекс видов составляли зеленые водоросли *Ulothrix zonata*, *U. tenerrima* и *Cladophora fracta*. Эти водоросли, наряду с камнями, служили субстратом для прикрепления диатомей, в основном *Didymosphenia geminata*, *Cymbella hebridica* и видов родов *Fragilaria*, *Diatoma*, *Melosira*. Представители отдела *Cyanophyta* присутствовали в пробах только в мае на станциях, расположенных выше г. Красноярск, на станциях, расположенных ниже г. Красноярск, они не были обнаружены.

Пространственно-временная динамика таксономического состава фитоперифитона представлена в табл. 1.

Станция № 1. На протяжении всего исследуемого периода в сообществе доминировали виды рода *Ulothrix*, исключение составлял август - зеленые водоросли в пробах отсутствовали, преобладали диатомовые

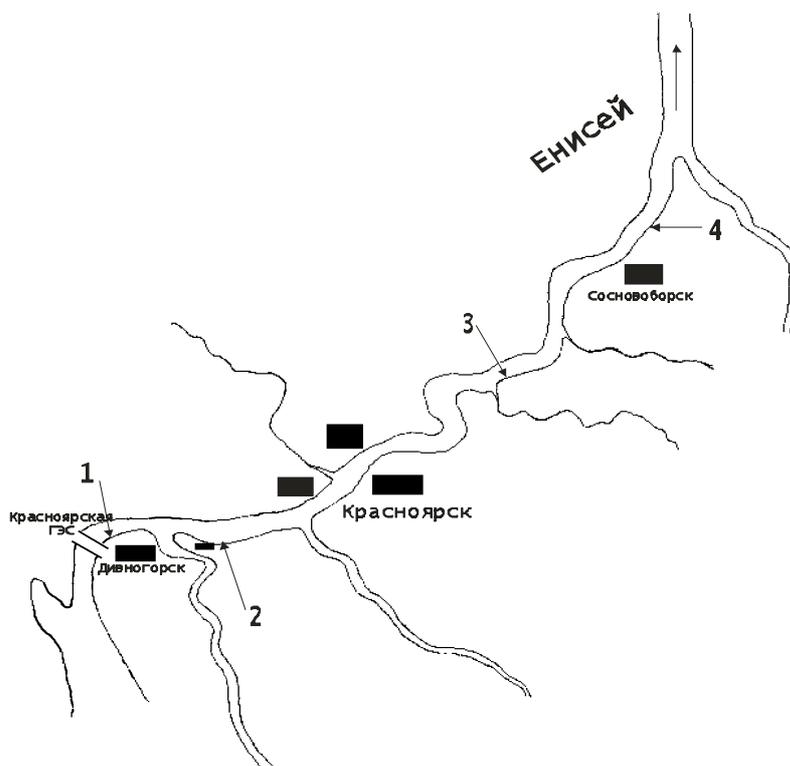


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб на реке Енисей.
Условные обозначения: 1 - 4 – станции отбора проб.

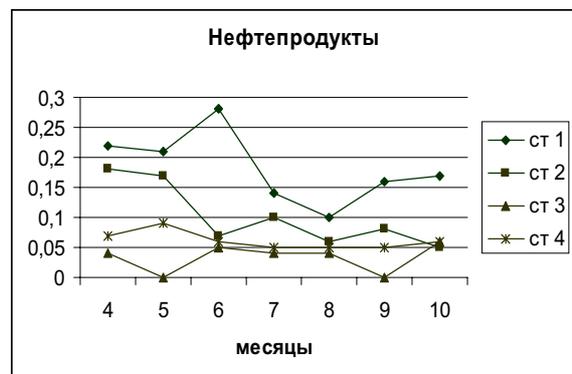
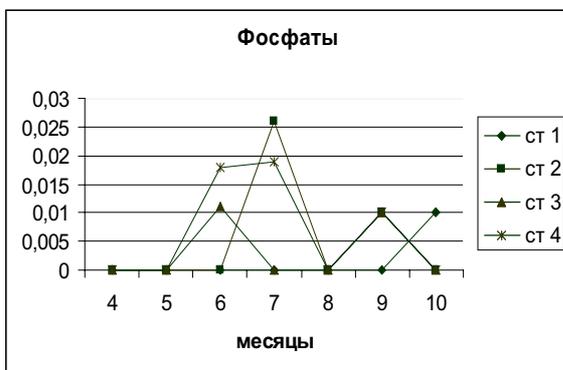
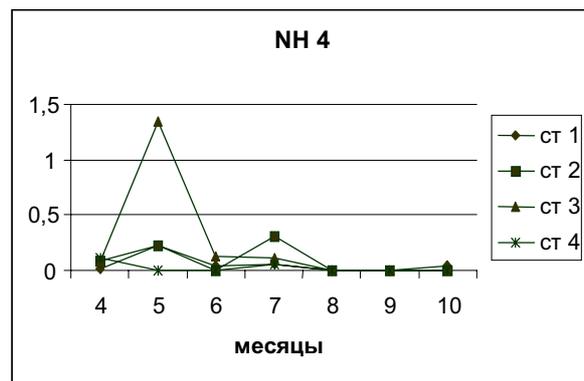
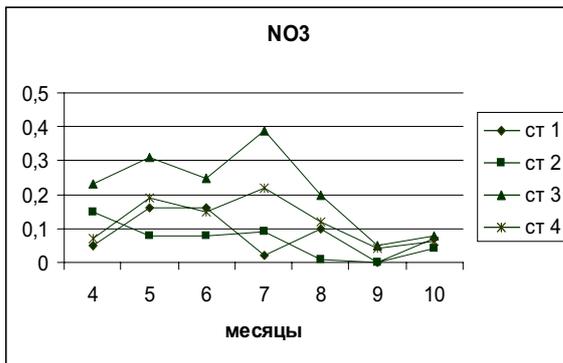
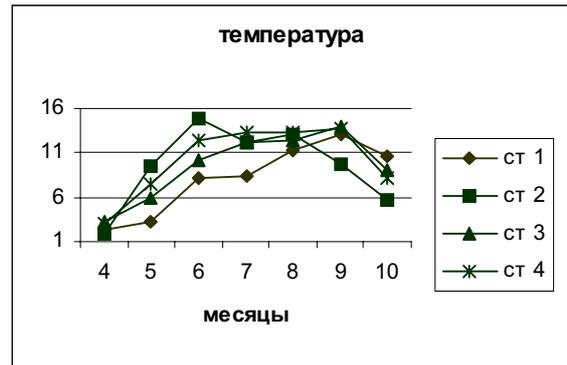
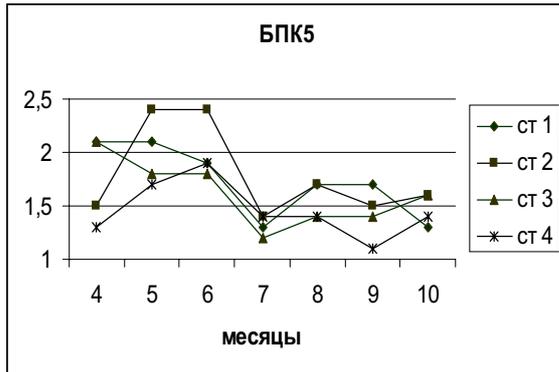
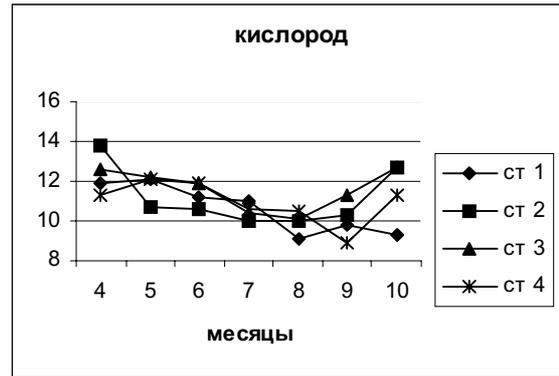
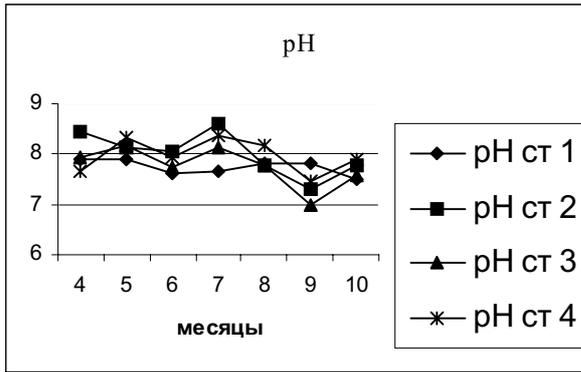


Рис. 2. Гидрохимические и гидрологические показатели станций отбора проб на реке Енисей, 2002 г.

Cyclotella comta. Общее количество видов – 26, из них *Bacillariophyta* - 21 вид (81 % от общего числа видов), *Chlorophyta* – 3 (11 %) и *Cyanophyta* – 2 вида (8 % от общего числа видов).

Станция №2. В течение всего периода исследований общее количество видов и форм фитоперифитона было 31, из них *Chlorophyta* и *Cyanophyta* - по 3 (10% от общего числа видов), *Bacillariophyta* – 25 видов и форм (80% от общего числа видов). В мае по численности доминировали водоросли р. *Oscillatoria*, но в последующий период они полностью исчезли из обрастаний. С июня по сентябрь в сообществе преобладали различные виды диатомовых водорослей. В июле обрастания на каменистых субстратах отсутствовали. Количество видов диатомовых водорослей постепенно снижалось от мая к сентябрю с максимумом в июне.

Станция №3. Количество зарегистрированных видов и форм фитоперифитона - 41, из них *Chlorophyta* - 3 (7% от общего числа видов), *Bacillariophyta* – 38 (93 % от общего числа видов), водоросли отд. *Cyanophyta* отсутствовали. В мае доминировали диатомовые *Diatoma elongatum var. tenue*, в июне и июле – зеленые *Ulothrix zonata*, в августе - диатомовые *Synedra ulna* (зеленые водоросли в пробах отсутствовали), в сентябре лидирующее положение занимали зеленые водоросли *Cladophora fracta*. Количество видов и форм диатомовых водорослей по сравнению с вышерасположенными станциями резко увеличилось и достигло максимальных величин в июле – 21, в августе и сентябре произошло уменьшение их количества до 9 видов и форм.

Станция №4. Зарегистрировано 35 видов и форм водорослей, из них *Chlorophyta* - 4 (11,5 % от общего числа видов), *Bacillariophyta* – 31 (88,5 %). В мае и в июне обрастания на каменистых субстратах отсутствовали. В июле и сентябре преобладали зеленые водоросли, в августе - диатомовые. Количество видов диатомовых достигают максимальных величин к сентябрю – 23, минимальное число видов было отмечено в августе (табл. 1).

Характеристика организации сообщества обязательно предполагает выделение доминирующих или структурообразующих видов. Данные световой микроскопии показали, что на фоновом участке реки (станция №1) доминирующая группа зеленых водорослей представлена, в основном, родом *Ulothrix*, количество цианобактерий и диатомовых водорослей не велико. Лишь в августе, когда зеленые водоросли в обрастаниях не были представлены, их заменили диатомовые водоросли р. *Cyclotella*.

На условно загрязненном участке реки ниже г. Дивногорска и прилегающих поселков (станция №2) фитоперифитон весной был представлен в большинстве своем цианобактериями родов *Oscillatoria* и *Calothrix clavata*, летом их сменяли диатомовые и к концу лета - началу осени - зеленые водоросли. На участках реки ниже г. Красноярска (станции №3 и №4) в течение всего сезона основу фитоперифитона составлял зелено-диатомовый комплекс, с преобладанием весной диатомовых, а летом и в сентябре - зеленых водорослей родов *Ulothrix*, *Cladophora*, *Oedogonium*.

Для характеристики сложности структуры биоценоза, связанной с видовым составом, нами использован индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера, который показывает упрощение или усложнение структуры сообщества и используется как дополнительный информационный коэффициент при исследованиях биоты водоемов и водотоков.

В течение сезона самые низкие величины индекса видового разнообразия наблюдались на станции №1, на станциях №2 и №3 происходило резкое увеличение индекса в июне по сравнению с маем, в июле наблюдалось снижение с последующим незначительным увеличением в августе и сентябре (рис. 3). Станция №4 характеризовалась самыми высокими величинами индекса видового разнообразия, возрастание происходило с июля по сентябрь.

Нами был рассчитан индекс общности Чекановского - Сьеренсена (I_{cs}) с целью определить сходство либо различия в видовом составе фитоперифитона для станций. В целом, сходство альгоценозов не высоко: между станциями №1 и №2 $I_{cs} = 0,40$, станциями №2 и №4 $I_{cs} = 0,48$; величины индекса общности увеличиваются при сравнении станций №1 и №4 - $I_{cs} = 0,55$ и станций №2 и №3 - $I_{cs} = 0,51$. Достаточно высокое сходство наблюдалось между станциями №1 и №3 - $I_{cs} = 0,75$ и станциями №3 и №4 - $I_{cs} = 0,75$. В данном случае сходство либо различия в видовом составе альгоценозов, вероятнее всего, зависят от субстратов и взаиморасположения станций отбора проб.

Пространственно-временная динамика численности и биомассы фитоперифитона представлена в табл. 2. Величины плотности фитоперифитона в среднем за вегетационный сезон были максимальными на станции №1 и составляли $7234,9 \pm 4566,3$ млн кл/м² и $28,1 \pm 15,6$ г/м² соответственно. В пространственном аспекте величины численности уменьшались к нижерасположенным станциям в 17 - 2,5 раза, биомассы - в 23 - 2,1 раза. Минимальные величины плотности фитоперифитона зарегистрированы на станции №2 - $402,5 \pm 217,3$ млн кл/м² и $1,2 \pm 0,8$ г/м².

Пространственная динамика отделов водорослей внутри сообщества была аналогична вышеописанной - для диатомовых и зеленых водорослей максимальная плотность отмечена на станции №1, минимальная - на станции №2 (табл. 2). Плотность цианобактерий незначительна - в среднем $0,9 \pm 0,9$ млн кл/м² и $1,3 \pm 1,3$ мг/м², в пространственном аспекте они были зарегистрированы в пробах только на станциях, расположенных выше г. Красноярска.

Таблица 1

Видовой состав фитоперифитона реки Енисей, 2002 г.

Вид водорослей \ месяц	Станция 1					Станция 2					Станция 3					Станция 4				
	05	06	07	08	09	05	06	07	08	09	05	06	07	08	09	05	06	07	08	09
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Bacillariophyta																				
<i>Achnanthes exigua</i> var. <i>constricta</i> Torka						+														
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Breb.) Grun.					+				+	+				+	+			+	+	+
<i>Achnanthes linearis</i> (W.Sm.) Grun										+										
<i>Achnanthes minutissima</i> Kutz.					+															
<i>Asterionella gracilima</i> (Hantzsch) Heib.												+								
<i>Ceratoneis arcus</i> (Ehr.) Kutz.		+	+		+						+	+	+							
<i>Ceratoneis arcus</i> var. <i>linearis</i> Holmboe		+									+	+								
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehr.																				
<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.																				
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglipta</i> (Ehr.) Cl.	+																			
<i>Cydotella comta</i> (Ehr.) Kutz.					+															
<i>Cydotella Kuetzingiana</i> Thwait.																				
<i>Cydotella ocellata</i> Pant.																				
<i>Cymbella cymbiformis</i> (Ag.Kutz.) V.H.	+																			
<i>Cymbella hebridica</i> (Greg.) Grun.		+	+	+	+															
<i>Cymbella prostrata</i> (Berkley) Cl.																				
<i>Cymbella sinuata</i> Greg.																				
<i>Cymbella Stuxbergii</i> Cl.																				
<i>Cymbella tumida</i> (Breb.) V. H.																				
<i>Cymbella ventricosa</i> Kutz.												+								
<i>Diatoma anceps</i> (Ehr.) Kirchn.																				
<i>Diatoma elongatum</i> var. <i>tenuis</i> (Ag.) V.H.	+	+																		
<i>Diatoma hiemale</i> (L-yngb.) Heib.																				
<i>Diatoma hiemale</i> var. <i>mesodon</i> (Ehr.) Grun.																				
<i>Diatoma vulgare</i> Borg																				
<i>Diatoma vulgare</i> var. <i>productum</i> Grun.		+																		
<i>Didymosphenia geminata</i> (L-yngb.) Schmidt																				

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<i>Fragilaria capucina</i> Desm.							+						+							
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitt.				+									+					+		
<i>Fragilaria intermedia</i> Grun.																				
<i>Fragilaria virescens</i> var. <i>oblongella</i> Grun.					+	+			+	+	+	+	+	+						
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Lyngb.) Kutz.																				
<i>Gomphonema quadripunctatum</i> (Qstr.) Wisl.		+																		
<i>Gomphonema ventricosum</i> Greg.									+	+				+						+
<i>Melosira varians</i> Ag.		+											+							+
<i>Meridion circulare</i> Ag.						+														
<i>Navicula gradilis</i> Ehr.							+		+											
<i>Navicula cryptocephala</i> Kutz.					+		+					+	+					+	+	+
<i>Navicula pseudogracilis</i> Skv.													+					+	+	
<i>Navicula radiosa</i> Kutz.												+								
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kutz.) Grun.						+					+		+							
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch.																				+
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Ehr.) W. Sm.											+	+								
<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kutz.) Grun.						+	+		+	+		+			+			+	+	+
<i>Stephanodiscus astraea</i> (Ehr.) Grun.																				
<i>Synedra acus</i> Kutz.							+					+							+	+
<i>Synedra Goulardii</i> (Breb.) Grun.							+					+	+					+		
<i>Synedra tabulata</i> (Ag.) Kutz.				+									+					+	+	+
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.					+	+					+	+		+				+		+
<i>Synedra Vaucheriae</i> Kutz.					+	+					+	+								
Boero	4	6	4	5	9	13	11	-	8	7	16	21	19	9	10	-	-	20	12	23
Chlorophyta																				
<i>Ankistrodesmus pseudomirabilis</i> Korschik.																		+		
<i>Chaetophora elegans</i> (Roth.)										+										
<i>Chaetophora pisiformis</i> (Roth.)									+											
<i>Cladophora fracta</i> (Mull.ex Vahl) Kutz.															+					+
<i>Oedogonium</i> sp. L. ink.																				+
<i>Ullothrix tenerima</i> Kutz.		+				+														+

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<i>Ulothrix variabilis</i> Kutz.	+	+	+								+	+								
<i>Ulothrix zonata</i> Kutz.		+	+		+							+	+					+		
Всего	2	2	2	0	1	1	1	-	1	1	1	2	1	0	1	-	-	2	1	2
Суанопфита																				
<i>Calothrix clavata</i> G. S. West						+														
<i>Oscillatoria irrigua</i> (Kutz.) Gom.	+																			
<i>Oscillatoria limosa</i> Ag.	+					+														
<i>Oscillatoria simplicissima</i> Gom.						+														
Всего	2	0	0	0	0	3	0	-	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0
Общее количество видов	8	8	6	5	10	17	12	-	9	8	17	23	20	9	11	-	-	22	13	25

В сезонной динамике плотности фитоперифитонного сообщества реки Енисей были отмечены следующие тенденции: общие величины численности водорослей возрастают от мая к июню и достигают максимума в июле. К августу происходит резкое снижение плотности фитоперифитона - так называемая летняя депрессия; в сентябре, в большинстве случаев, наблюдается второй пик массового развития обрастаний, но величины численности, по сравнению с первым, менее высоки. Сезонная динамика биомассы на станциях выше г. Красноярска аналогична уже описанной для численности - постепенное возрастание величин с максимумом в июле, затем резкий спад и второй максимум, менее выраженный, в сентябре. На станциях №3 и №4 (ниже г. Красноярска) в динамике величин общей биомассы наблюдалось постепенное их возрастание с максимумом в июле и снижении к августу и сентябрю. Таким образом, сезонная кривая величин общей биомассы на станциях №1 и №2 носит двувёршинный характер, а на станциях №3 и №4 - одновершинный.

Нами были проанализированы соотношения величин плотности отделов водорослей внутри сообщества. По численности на станции №1 преобладают зеленые водоросли, на остальных исследуемых станциях - диатомеи (табл. 2). Биомассу же фитоперифитонных сообществ на всех станциях, кроме станции №2, где наибольшая биомасса диатомовых, определяют зеленые водоросли. Отмечено, что максимальные величины численности диатомей в сезонном аспекте в большинстве случаев приходятся на сентябрь, зеленых водорослей - на июль. Цианобактерии были зарегистрированы только в весенний период.

Флуоресцентные характеристики. Одним из оперативных методов оценки состояния альгоценоза является регистрация флуоресценции. Разработанная методология позволяет проводить количественную оценку таксономической структуры альгоценоза на уровне трех основных отделов (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanophyta*), определять потенциальную и реальную валовую первичную продукцию. В отношении альгоценоза перифитона эти методы требуют дополнительной разработки и проверки.

Для оценки таксономической структуры фитоперифитона использовали отношения сигналов флуоресценции, возбуждаемой тремя участками видимого спектра с максимумами при 410, 510 и 540 нм. Таксономически закрепленные различия фотосинтетических пигментов проявляются через отношения сигналов F_{410}/F_{510} и F_{540}/F_{510} . Визуализация полученных при изучении всех проб перифитона пар значений, выполненная согласно работе [5], показала, что в большинстве проб альгоценоз представлен водорослями двух отделов - *Chlorophyta* и *Bacillariophyta*. Точки расположены на основании построенного треугольника (рис. 4), соединяющего вершины, координаты которых соответствуют установленным ранее флуоресцентным отношениям водорослей двух указанных отделов. Среди зарегистрированных пар отношений одна соответствовала альгоценозу, в котором доминировали сине-зеленые и две - зеленые водоросли.

Координаты вершин треугольника (рис. 4) легли в основу системы линейных алгебраических уравнений, с помощью которой регистрируемый сигнал F_{510} каждой пробы был дифференцирован на три составляющие, соответствующие флуоресценции водорослей каждого из указанных отделов. Их величины были соотнесены с суммарной концентрацией хлорофилла *a*, определенной спектрофотометрическим методом, и на основе метода множественной линейной регрессии были получены необходимые коэффициенты для определения дифференцированной по трем отделам концентрации хлорофилла *a*. Проверка адекватности решения показала, что между сопряженными значениями концентрации хлорофилла, определенной двумя методами, существует достоверная линейная связь ($S_{хл(фл)}=0,95 S_{хл(сф)}$, $R^2=0,64$). Дифференцированный по отделам сигнал флуоресценции (F_{510})

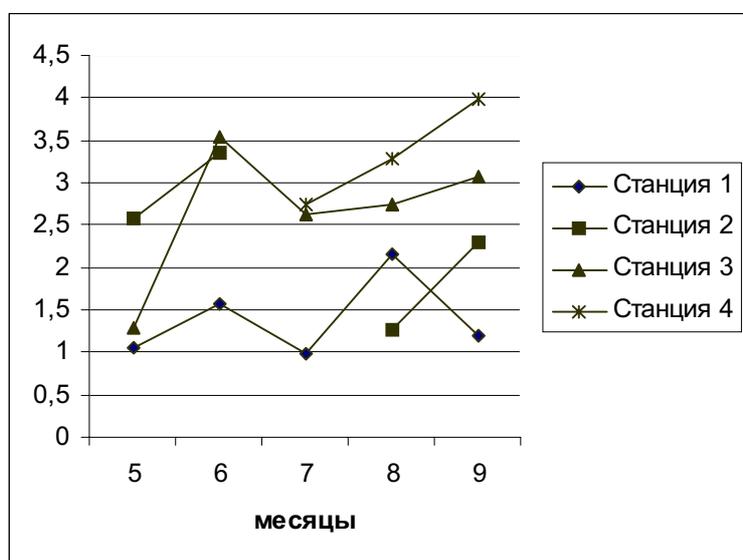


Рис. 3. Динамика индекса видового разнообразия Шеннона-Уивера

Таблица 2

Структурные характеристики фитоперифитона реки Енисей, 2002 г.

Станция	Месяц	Численность, млн. кл/м ²				Биомасса, мг/м ²			
		Диатомовые	Зеленые	Сине-зеленые	Всего	Диатомовые	Зеленые	Сине-зеленые	Всего
1	05	0,7	12,4	4,3	17,4	4,0	5,8	6,3	16,1
	06	180,5	1861,1	0	2041,6	655,1	7313,6	0	7968,7
	07	400,0	23500,0	0	23900,0	1232,8	67413,5	0	68646,3
	08	48,6	0	0	48,6	95,3	0	0	95,3
	09	1944,4	8222,2	0	10166,6	4959,5	58594,4	0	63543,9
	Средн.	514,8±364,0	6719,1±4458,6	0,9±0,9	7234,9±4566,3	1389,3±919,3	26663,5±14959,1	1,3±1,3	28054,0±15618,1
	05	2,9	1,6	15,4	19,9	4,2	0,6	10,8	15,6
	06	263,9	13,9	0	277,8	1344,5	5,6	0	1350,1
	07	-	-	-	-	-	-	-	-
2	08	204,9	79,9	0	284,8	152,9	22,6	0	175,5
	09	513,9	513,9	0	1027,8	1337,2	1937,3	0	3274,5
	Средн.	246,4±105,2	152,3±121,7	3,8±3,8	402,5±217,3	709,7±365,7	491,5±482,0	2,7±2,7	1203,9±751,6
	05	30,8	4,7	0	35,5	31,5	5,5	0	37,0
	06	1847,2	458,3	0	2305,5	7382,6	2274,5	0	9657,1
	07	1472,2	1541,7	0	3013,9	3231,8	10984,6	0	14216,4
	08	277,8	0	0	277,8	783,4	219,9	0	1003,3
	09	135,4	24,3	0	159,7	211,2	55,0	0	266,2
	Средн.	752,7±377,0	405,8±297,0	0	1158,5±624,2	2328,1±1387,6	2707,9±2112,1	0	5036,0±2912,4
3	05	-	-	-	-	-	-	-	-
	06	-	-	-	-	-	-	-	-
	07	2416,5	1598,9	0	4015,4	6033,2	11263,2	0	17296,4
	08	1833,3	111,1	0	1944,4	4765,6	8238,8	0	13004,4
	09	2541,7	347,2	0	2888,9	6854,5	2059,7	0	8914,2
	Средн.	2263,8±218,3	685,7±461,6	0	2949,6±598,6	5884,4±607,6	7187,2±2708,3	0	13071,7±2420,0
	05	-	-	-	-	-	-	-	-
	06	-	-	-	-	-	-	-	-
	07	1598,9	1598,9	0	3197,8	6033,2	11263,2	0	17296,4
08	1833,3	111,1	0	1944,4	4765,6	8238,8	0	13004,4	
09	2541,7	347,2	0	2888,9	6854,5	2059,7	0	8914,2	
Средн.	2263,8±218,3	685,7±461,6	0	2949,6±598,6	5884,4±607,6	7187,2±2708,3	0	13071,7±2420,0	

Примечание: (-) - данные отсутствуют.

коррелировал с биомассой зеленых ($r=0,66$) и диатомовых ($r=0,61$) водорослей. В полученной выборке оказалось недостаточно проб перифитона с достоверным присутствием сине-зеленых водорослей.

Таксономическая структура фитоперифитона на изученных станциях, полученная на основе регистрации флуоресценции и микрофотоирования, показана на рис. 5.

Максимальные плотности хлорофилла a были зарегистрированы у зеленых водорослей (29 мг/м^2) на станции №1 в мае, у сине-зеленых (27 мг/м^2) - на станции №2 в мае и у диатомовых (475 мг/м^2) - на станции №3 в июне. В июле - августе по сравнению с маем, июнем и сентябрем была отмечена депрессия хлорофилла a у всех изученных отделов водорослей.

Вариабельная флуоресценция хлорофилла, характеризующая потенциальную фотохимическую активность фотосистемы 2, значительно колебалась. В большинстве случаев с ростом интенсивности возбуждающего света ее величина уменьшалась, что указывает на возможность фотоингибирования фотосинтеза при облученности ФАР выше $450 \text{ мкмоль фотонов на м}^2$. Средняя валовая первичная продукция фитоперифитона, рассчитанная на основе вариабельной флуоресценции ($F_{var}=0,25$), плотности хлорофилла a (90 мг/м^2) и облученности ($233 \text{ мкмоль фотонов на м}^2$), составила около $1 \text{ г O}_2/\text{м}^2 \text{ ч}$. Пик первичной продукции фитоперифитона наблюдали на станциях №1 и №2 в июне ($1,8$; $1,4 \text{ г O}_2/\text{м}^2 \text{ ч}$, соответственно), на станции №3 в мае - июне ($2,7$ - $2,6 \text{ г O}_2/\text{м}^2 \text{ ч}$), на станции №4 - в сентябре ($4,1 \text{ г O}_2/\text{м}^2 \text{ ч}$). Минимальная первичная продукция ($0,06 \text{ г O}_2/\text{м}^2 \text{ ч}$) зарегистрирована на станции №1 в сентябре при высокой плотности хлорофилла (198 мг/м^2) и доминировании диатомовых и субдоминировании зеленых водорослей (рис. 5).

Экспериментально-методическая работа. При определении содержания хлорофилла a фитоперифитона спектрофотометрическим методом уточнен ряд методических вопросов: шведскими учеными (Lars-Anders Hansson, 1988) рекомендован метод замораживания проб и экстракция хлорофилла в 90 %-м ацетоне как лучший доступный метод для определения концентрации хлорофилла. Нами проведен ряд экспериментов, в которых исследовалось содержание хлорофилла a в свежееотобранных пробах, обработанных по стандартной методике, а также при замораживании их в течение 1 ч при температуре -70°C и дальнейшей обработке стандартными методами. В пробах фитоперифитона эффективность экстракции хлорофилла a менялась в зависимости от времени отбора и расположения станций отбора проб (рис. 6).

Содержание хлорофилла a в «свежих» и «замороженных» пробах достоверно различалось в июне на станциях №1, №2 и №3, в июле - на станциях №3 и №4, в сентябре - на станциях №1 и №2. Наибольшая вероятность различий наблюдалась при высоких величинах общей биомассы фитоперифитона в пробе. В целом, методика работает а мае - июле, когда экстракция была выше на 10 - 180%, в августе - сентябре, с сезонной перестройкой в структуре доминирующих видов, экстракция оставалась на уровне свежееотобранных проб.

Была отмечена достоверная положительная корреляция соотношения пигментов в «замороженных»/«свежих» образцах с содержанием суммарного хлорофилла a диатомовых и зеленых водорослей и отрицательная

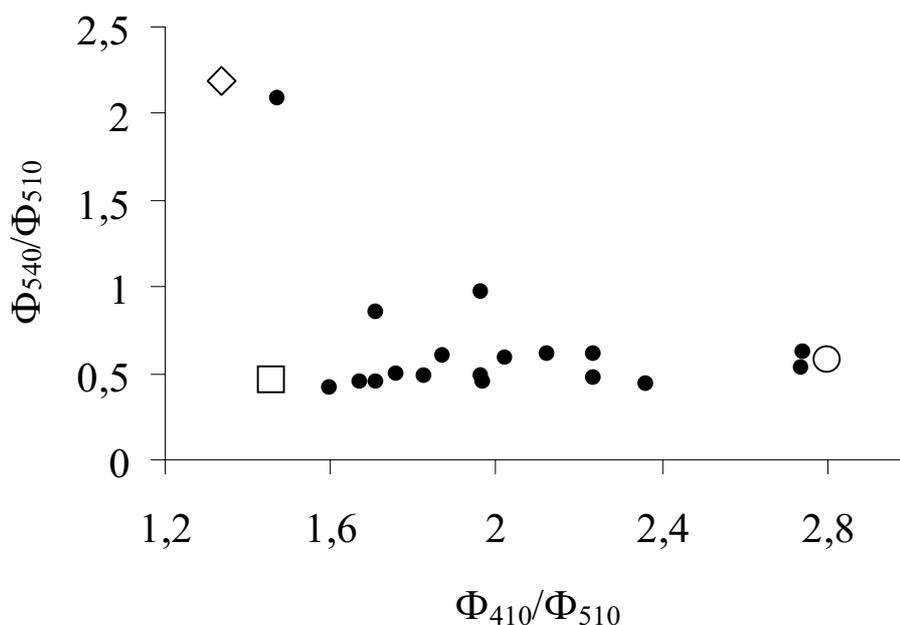


Рис. 4. Сопряженные отношения сигналов флуоресценции проб фитоперифитона, возбуждаемой тремя участками видимого света. Обозначены опорные отношения зеленых (●), диатомовых (□) и синезеленых (◇) водорослей.

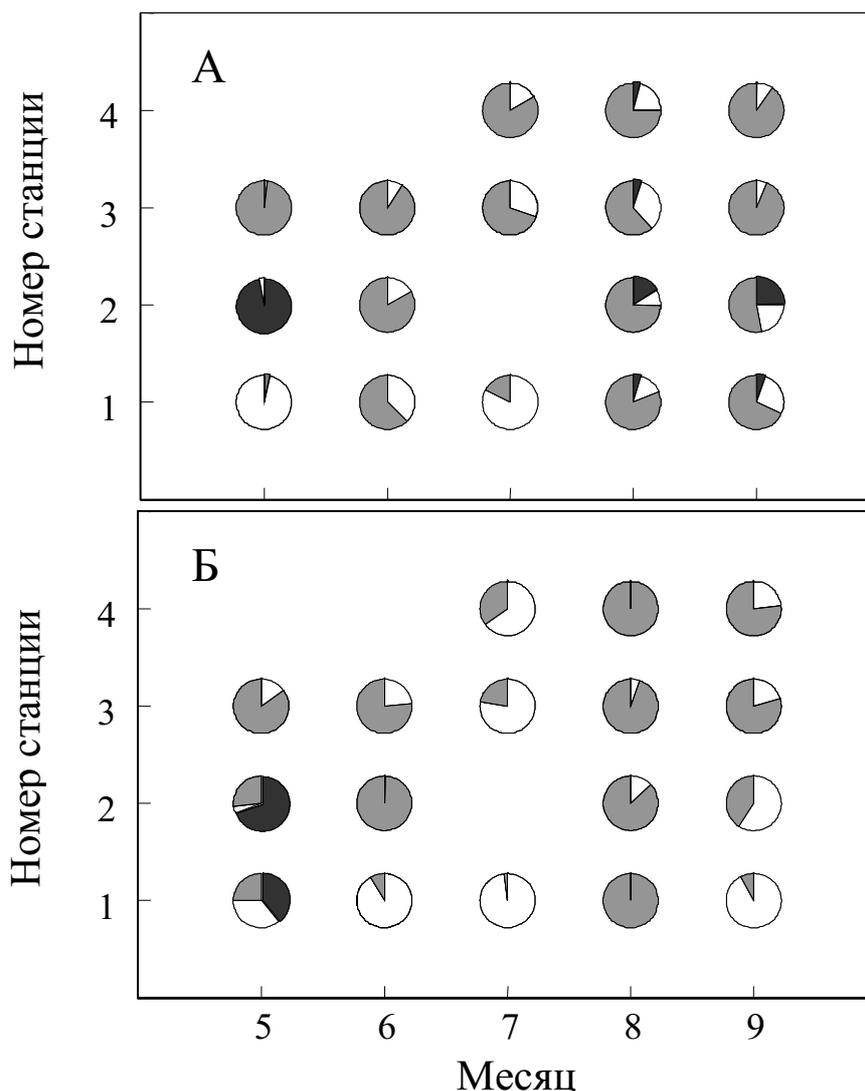


Рис. 5 Диаграммы таксономической структуры фитоперифитона.
 А - на основе флуоресцентного анализа; Б - на основе микроскопирования.
 □ - зеленые; ▨ - диатомовые; ■ - сине-зеленые.

корреляция - с содержанием хлорофилла *a* в сине-зеленых водорослях. Также зарегистрирована достоверная обратная связь между содержанием хлорофилла *a* зеленых и диатомовых водорослей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lars-Anders Hansson. Chlorophyll *a* determination of periphyton on sediments: identification of problems and recommendation of method // *Freshwater Biology*.- 1988.-V.20.- P. 347-352.
2. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений.-Л.: Гидрометеиздат, 1983.
3. Экспрессное флуориметрическое определение концентрации хлорофилла А и фотосинтетической активности фитопланктона // Методические рекомендации по дистанционным методам контроля качества поверхностных вод суши. -Л.: Гидрометеиздат, 1989. - Вып. 3.- 48 с.
4. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения. - М.: ВО «Агропромиздат», 1989. - С. 367-370.
5. Гаевский Н.А., Горбанева Т.Б., Колмаков В.И. Визуализация алгоритма флуоресцентной оценки таксономической структуры альгоценоза (в печати).

PHYTOPERIPHYTON OF THE RIVER YENISEI IN CONDITIONS OF COMPLEX ANTHROPOGENOUS EFFECT

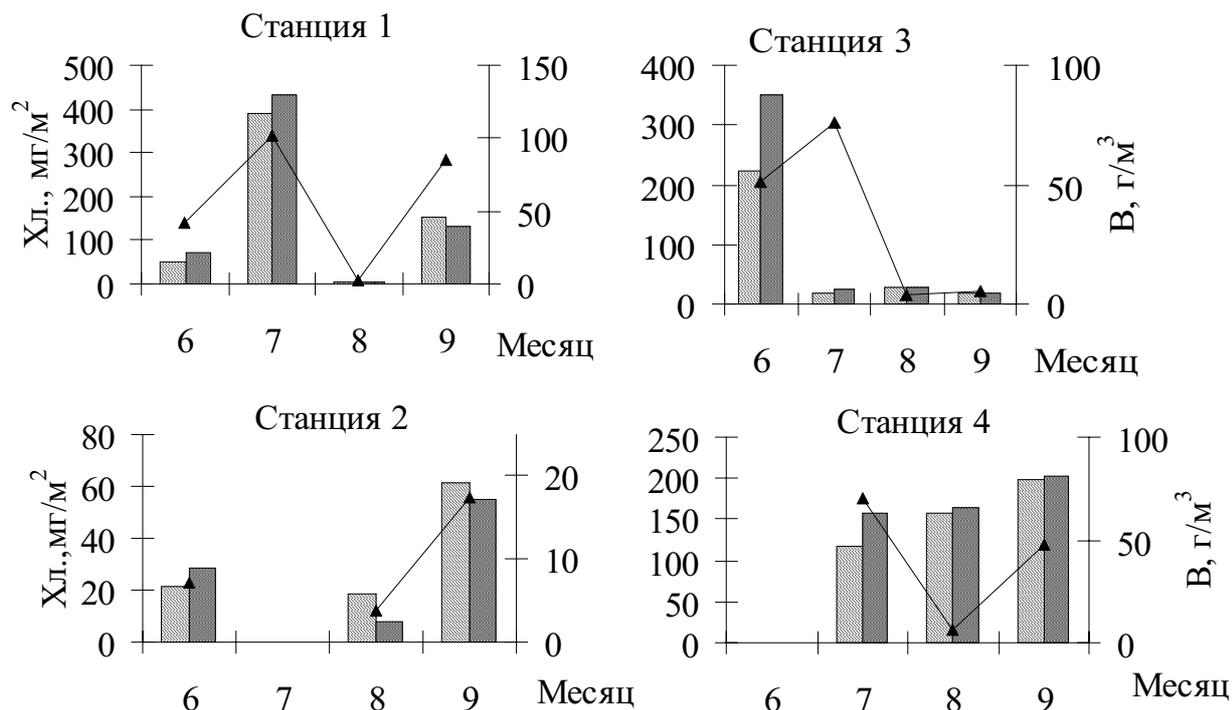


Рис. 6. Концентрация хлорофилла а («свежие» и «замороженные» пробы) и биомасса фитоперифитона реки Енисей, 2002 г.

T.N. Anufrieva, T.B. Gorbaniova,
N.A. Gaevsky, N.E. Kovalenko

Abstract

It was studied phytoperiphyton various on a degree of anthropogenous influence of sites of the river Yenisei from a dam of Krasnoyarsk hydroelectric power station up to Sosnovoborsk in period May - September, 2002. Are determined taxonomy structure and structural characteristics phytoperiphyton communities, existential dynamics of physiological characteristics of algae is investigated. A line of experiments for optimization of temperature conditions is lead at extraction chlorophyll a from cells of algae.