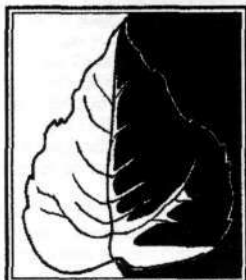


ОБЩЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



Проблемы Региональной Экологии

Журнал издается при поддержке
Института географии Российской академии наук

№ 6
2008 г.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПИГМЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИТОПЛАНКТОНА РАЗНОТИПНЫХ РЕК БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОБИ

А.В. Котовщиков, Т.В. Кириллова

Институт водных и экологических проблем СО РАН

Впервые сделано сравнение сезонной динамики пигментных характеристик фитопланктона горных и равнинных рек бассейна Верхней Оби. Выявлены особенности развития фитопланктона в различные сезоны, включая зимний период и факторы, определяющие его количество (гидрологические и гидрофизические характеристики водотоков). Установлено, что сезонная динамика фитопланктона в реках в целом соответствует таковой в водоемах умеренной зоны и может быть использована для оценки трофического статуса и качества воды рек.

For the first time the seasonal dynamics of pigment characteristics of phytoplankton in mountain and lowland rivers of the Upper Ob river basin was compared. The peculiarities of algae development in different seasons including winter as well as the main factors determining the phytoplankton quantity were revealed (hydrological and hydrophysical characteristics of the streams). By and large, seasonal dynamics of riverine algae is similar to the one of limnetic phytoplankton in lakes of temperate zone and can be used for assessment of trophic status and water quality of streams.

Ключевые слова: хлорофилл, фитопланктон, горные реки, равнинные реки, река Обь, сезонная динамика.

В функционировании водных экосистем ведущая роль принадлежит фитопланктону. Водоросли планктона, как правило, не достигают значительного обилия в горных реках, где преобладает фитоперифитон. Но в нижнем течении малых водотоков, а также в крупных реках формируются планктонные альгоценозы с высоким флористическим содержанием и обилием [1]. Для определения уровня развития и физиологического состояния фитопланктона исследуют содержание и соотношение фотосинтетических пигментов водорослей. Известно, что сезонная динамика пигментных характеристик фитопланктона отличается в озерах и водохранилищах различного трофического статуса [2]. Пигментные характеристики фитопланктона рек и их сезонная динамика в настоящее время изучены недостаточно.

Цель исследования. Сравнительный анализ сезонной динамики пигментных характеристик и уровня развития фитопланктона в горных и равнинных (малых и крупных) реках бассейна Верхней Оби.

В 2001–2003 гг. исследованы устьевые участки малых равнинных рек Барнаулка, Большая Лосиха и Чесноковка, в мае–октябре 2004–2006 гг. – устьевые участки горных притоков Телецкого озера, в 2005–2007 гг. – река Обь в период открытой воды в 10 пунктах на участке протяженностью около 30 км в районе города Барнаула.

Пробы воды из притоков Телецкого озера и малых равнинных рек отбирали из поверхностного горизонта. в реке Оби исследовали 3 горизонта: 0–0,2 м, 0,6 м глубины и придонный. Воду объемом 0,15–3,00 дм³ фильтровали через мембранные фильтры «Владипор» типа МФАС-ОС-3 с диаметром пор 0,8 мкм. Ацетоновый экстракт пигментов анализировали спектрофотометрированием [3–4].

Горные реки. Исследованные горные реки – притоки Телецкого озера, характеризуются низкими температурами воды и высокими скоростями течения [5, 6]. Вследствие этого планктонные альгоценозы в таких реках развиты очень слабо.

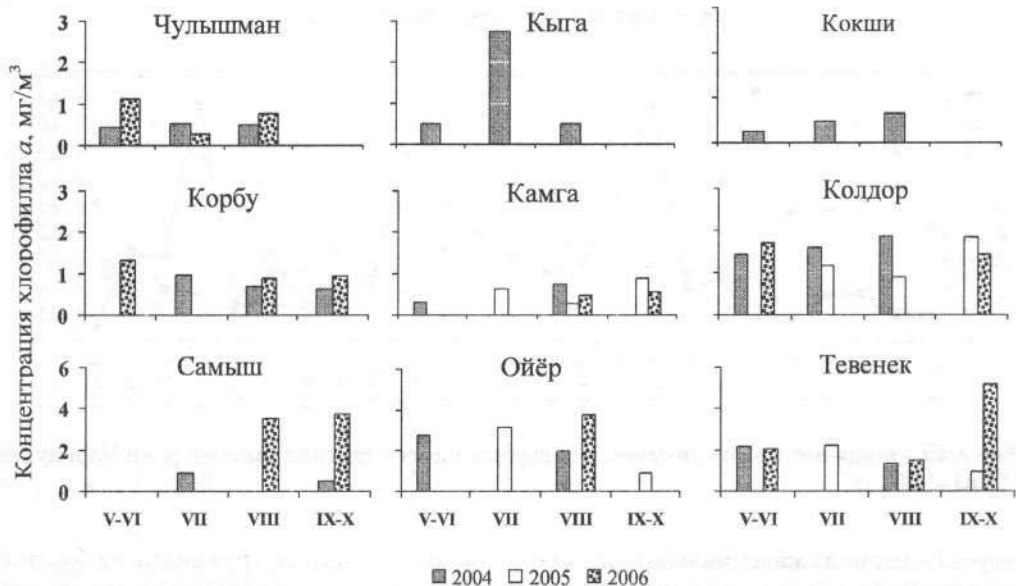


Рис. 1. Содержание хлорофилла «а» в воде притоков Телецкого озера в 2004–2006 гг.

Основным первичным продуцентом органических веществ в этих реках является литофильный фитоперифитон [7]. Бедный фитопланктон притоков формируется, в основном, из клеток водорослей обрастаний, отрывающихся от субстрата [8], и частично за счет стока из горных озер, расположенных в верховьях большинства исследованных рек. Исключение составляет самый крупный приток озера – река Чулышман, в нижнем течении которой получает развитие и собственный фитопланктон. Обилие водорослей планктона исследованных рек, оцененное по концентрации хлорофилла «а» (Схл) в воде, соответствует водотокам олиготрофного и олиготрофно-мезотрофного типа [9]. В притоках меридиональной и центральной частей озера (Чулышман, Кыга, Кокши, Корбу, Колдор), а также в реке Камге содержание хлорофилла не превышает 2 мг/м^3 , за исключением реки Кыги, где в июле 2004 г. показатель достиг $2,7 \text{ мг/м}^3$ (рис. 1).

Притоки широтной части озера (реки Самыш, Ойёр, Тевенек) имеют более высокие концентрации хлорофилла «а» – от $0,5$ до $5,2 \text{ мг/м}^3$. Такое различие подтверждается данными по количеству клеток и видовому разнообразию водорослей, которые в западных притоках выше [8]. Различия в содержании хлорофилла в течение вегетационного периода (май-

октябрь) проявляются очень слабо, что обусловлено низким обилием водорослей. Отсутствие какой-либо тенденции изменений Схл в устьях притоков аналогично слабо выраженной сезонной динамике фитопланктона озера. В летние месяцы участки озера в районе устья притоков выделяются пониженным по сравнению с открытой частью содержанием пигментов, весной – картина обратная [10]. Наблюдавшиеся в отдельные сроки подьемы концентрации пигмента в притоках носят неопределенный характер и, возможно, зависят от гидрологических факторов: скорости течения, расходов воды, наличия подпора озера. Эти факторы могут влиять на поступление водорослей из горных озер, перифитона и Телецкого озера.

Преобладание зеленых пигментов (хлорофиллов) над желтыми (каротиноидами) рассматривают как признак физиологического благополучия водорослей, обитающих при достаточной обеспеченности биогенным питанием [11]. Наибольшая часть значений отношения каротиноидов к хлорофиллу «а» (Ск/Схл) для исследованных горных рек превышает единицу, что свидетельствует о пониженном потенциале фотосинтетической активности водорослей. Различия по этому показателю в течение летне-осеннего сезона также выражены слабо. Единичные значения $\text{Ск/Схл} < 1$ были характерны для июля-

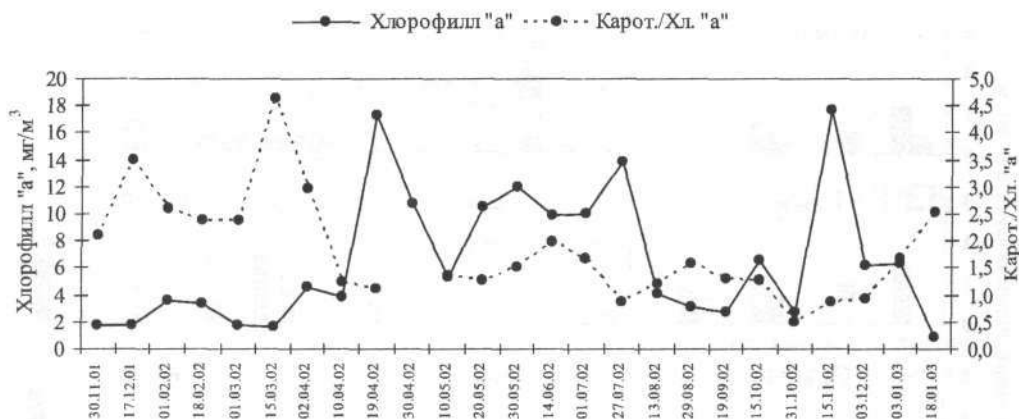


Рис. 2. Сезонная динамика пигментных характеристик фитопланктона реки Барнаулка в 2001–2003 гг.

августа – периода максимального прогрева воды. В это время содержание продуктов распада хлорофилла – феопигментов было минимальным (21–50 %).

Малые равнинные реки. Устьевой участок реки Барнаулка исследовали ежедекадно с ноября 2001 г. по январь 2003 г. Уровень развития фитопланктона, оцененный по содержанию хлорофилла "а", характеризовался 3 максимумами (рис. 2).

Первый пик (17,2 мг/м³) наблюдали весной сразу после освобождения реки ото льда, обуславливающего резкое изменение режима освещения при значительном поступлении поверхностных стоков с территории города, богатых биогенами. В середине мая наблюдали уменьшение Схл, затем концентрация хлорофилла достигала 12,0 мг/м³ и в течение периода июль–август не опускалась ниже 9,9 мг/м³. Третий максимум был отмечен в период осенней межени, непосредственно перед ледоставом. Средневзвешенное за год значение Схл – 6,4 мг/м³ характеризует устьевой участок реки как мезотрофный. Сезонная динамика Схл в реке Барнаулка аналогична описанной И.С. Трифионовой [2] для мезотрофных озер.

Динамика отношения С_к/Схл характеризуется достаточно четко выраженным увеличением значений до 4,5 в период ледостава. Значения ниже единицы, характеризующие состояние сообщества планктонных водорослей как благополучное и косвенно свидетельствующие о положительном

продукционно-деструкционном балансе [12], зарегистрированы во время летнего максимума хлорофилла и в период осенней межени.

Динамика Схл в реке Большая Лосиха в целом отличается от таковой в реке Барнаулка (рис. 3). Отличие заключается в отсутствии первого весеннего максимума. Абсолютное значение летнего пика (39,0 мг/м³) превысило таковое в реке Барнаулка и достигло уровня гиперэвтрофных водных объектов. Осенью Схл не превышала 7,5 мг/м³.

Отношение желтых и зеленых пигментов было минимальным в период наибольшего обилия водорослей в июне–июле, а также в конце осенней межени. По средневзвешенному за год значению Схл – 7,7 мг/м³ исследованный участок реки Большая Лосиха можно отнести к мезотрофному.

В реке Чесноковка, также характеризующейся наибольшими из исследованных равнинных рек значениями Схл, в летне-осенний период прослеживалось постепенное нарастание содержания хлорофилла в фитопланктоне, которое закончилось высоким осенним максимумом (38,9 мг/м³), что соответствует гиперэвтрофным водоемам. Высокое обилие водорослей может быть связано с влиянием водохранилища, расположенного в среднем течении реки. Свою роль может играть город Новоалтайск с его промышленными и хозяйственно-бытовыми стоками, повышающими биогенную нагрузку на водоток.

Хлорофилл "а", мг/м³

Рис. Лос

тел
вып
Ср
(14
ни
кто
с и

Д
2
1
2
2
2
1

Карот./Хл. "а"

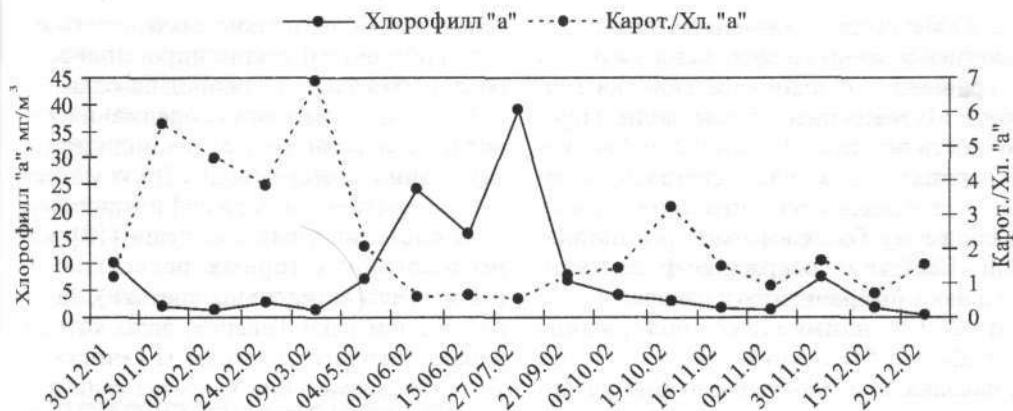


Рис. 3. Сезонная динамика пигментных характеристик фитопланктона реки Большая Лосиха в 2001–2002 гг.

Характер сезонной динамики показателя Ск/Схл в реке Чесноковка не имеет выраженных отличий от предыдущих рек. Средневзвешенное за год значение Схл (14,0 мг/м³) характеризует участок реки ниже г. Новоалтайска как эвтрофный.

Река Обь. В 2005 г. обилие фитопланктона значительно увеличилось в период с июля по сентябрь (табл.). Значения от-

ношение Ск/Схл практически не изменялись и в среднем по всем пунктам исследования не превышали единицы, что является признаком физиологического благополучия фитопланктона. Это подтверждается и низким количеством продуктов деградации хлорофиллов – феопигментов, среднее содержание которых увеличивалось в осенний период.

Таблица

Пигментные характеристики фитопланктона реки Оби в районе г. Барнаула в 2005–2007 гг.

Дата	Хлорофилл "а", мг/м ³	Каротиноиды/Хлорофилл	Феопигменты, %
20.07.2005	$\frac{6,27 - 12,6}{9,43 \pm 0,56}, n = 10$	$\frac{0,56 - 0,97}{0,79 \pm 0,04}, n = 10$	$\frac{11,3 - 33,7}{22,2 \pm 2,65}, n = 9$
15.09.2005	$\frac{10,5 - 44,7}{22,2 \pm 3,25}, n = 16$	$\frac{0,73 - 1,16}{0,90 \pm 0,04}, n = 16$	$\frac{4,76 - 58,3}{30,6 \pm 3,15}, n = 16$
14.06.2006	$\frac{9,48 - 12,8}{11,1 \pm 0,30}, n = 12$	$\frac{0,91 - 1,11}{1,01 \pm 0,02}, n = 12$	$\frac{13,4 - 47,7}{35,6 \pm 3,32}, n = 10$
20.07.2006	$\frac{20,4 - 79,1}{32,5 \pm 6,4}, n = 9$	$\frac{0,67 - 0,86}{0,79 \pm 0,02}, n = 9$	$\frac{10,7 - 25,9}{16,8 \pm 1,99}, n = 9$
29.05–19.06.2007	$\frac{3,56 - 13,4}{6,46 \pm 0,59}, n = 18$	$\frac{1,04 - 3,01}{1,65 \pm 0,14}, n = 18$	$\frac{28,6 - 64,3}{42,4 \pm 2,55}, n = 18$
24–25.07.2007	$\frac{12,2 - 28,0}{19,6 \pm 1,03}, n = 18$	$\frac{0,74 - 1,31}{0,94 \pm 0,04}, n = 1$	$\frac{14,3 - 50,6}{33,1 \pm 2,37}, n = 18$
15.10.2007	$\frac{7,46 - 30,1}{19,2 \pm 3,29}, n = 7$	$\frac{0,74 - 1,30}{0,89 \pm 0,08}, n = 7$	$\frac{12,4 - 50,2}{28,2 \pm 4,35}, n = 7$

Примечание: в числителе – пределы колебания, в знаменателе – среднее; n – количество наблюдений.

В 2006 г. среднее значение Схл в период летней межени увеличивалось в 3 раза по сравнению с периодом паводка (см. табл.). Мутные паводковые воды (прозрачность по диску Секки 0,3–0,4 м) неблагоприятно изменяют световые условия для водорослей, что определило, по-видимому, более высокие средние значения Ск/Схл и содержание феопигментов в июне по сравнению с июлем.

В 2007 г. наименьшее содержание хлорофилла "а" было отмечено в период паводка, в летнюю межень оно увеличивалось и оставалось на том же уровне в осеннюю межень. При этом физиологическое состояние фитопланктона было угнетенным во время паводка, улучшаясь в период летне-осенней межени. Среднее количество феопигментов также было максимальным в мае–июне, снижаясь в октябре.

Планктонные водоросли на исследованном участке реки достигают значительного обилия. По наиболее часто встречающимся значениям концентрации хлорофилла "а" в 2005–2007 гг. водоток на этом участке можно охарактеризовать как эвтрофный [9]. По данным за 2001–2002 гг., сезонная динамика содержания хлорофилла "а" в районе нового моста характеризовалась одновершинной кривой с максимальными значениями до 15 мг/м³ [12].

Таким образом, характер сезонной динамики фитопланктона в реках разного типа имеет свои особенности. В горных водотоках с крайне низким уровнем развития планктонных альгоценозов изменения его количественных характеристик незначительны. Наличие колебаний определяется в первую очередь гидрологическими факторами, а не сменой сезонов. В равнинных реках с небольшими скоростями течения (менее 0,5 м/с) планктонные водоросли могут достигать значительного обилия. Сезонные изменения обилия фитопланктона в таких реках хорошо выражены. В подледный период содержание хлорофилла опускается до уровня горных водотоков (олиготрофного), летом поднимается до уровня эвтрофных и даже гиперэвтрофных вод. В такой большой реке, как Обь, фитопланктон в безледный период развивается до эвтрофного уровня, при этом существуют отличия в разные фазы гидрологического

цикла. Наиболее низкие значения показателей обилия и функционирования водорослей отмечаются в период паводка.

Сезонные изменения содержания хлорофилла в водных объектах индицируют изменения качества воды. По комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши [13] вода исследованных горных рек относится к I классу («предельно чистая»), за исключением реки Тевенек, воды которой характеризуются классом II («чистая»). Сезонные изменения качества воды этих рек в безледный период практически отсутствуют. В малых равнинных реках качество воды, оцененное по содержанию пигментов фитопланктона, значительно изменяется в течение года. Вода этих рек является наиболее чистой в период ледостава и соответствует I и II классам. Сразу после освобождения рек ото льда вода в них характеризуется классом III («удовлетворительной чистоты»), за исключением зарегулированной реки Чесноковки, разбавляемой весной водами водохранилища. В летнюю межень (июль) вода относится к III классу, разряду 3б – «слабозагрязненная». В зарегулированной реке ухудшение качества воды до слабозагрязненной происходит в осеннюю межень, совпадающую с периодом «цветения» водохранилища, в незарегулированных реках некоторое ухудшение качества воды происходит непосредственно перед ледоставом.

В реке Оби по наиболее часто встречающимся величинам концентрации хлорофилла качество речной воды относится к разрядам «очень чистые» – «достаточно чистые». В соответствии с классификацией, предложенной С.С. Бариновой [14], экосистема р. Оби на исследованном участке способна к самоочищению до природного фона, происходящие в ней изменения по своему характеру обратимы, но существует вероятность перехода в кризисное состояние на наиболее загрязненном участке – в устье затона Ковш, где расположен городской грузовой порт.

Заключение. В целом в горных реках и притоках Телецкого озера сезонные различия характеристик фитопланктона незначительны и определяются, главным образом, гидрологическими и гидрофи-

зиче
ных
и Че
пла
или
мум
дер
В ре
биол
с ок

Био

1. К
- Г
- Т
- 1
- Г
- ф
- С
- Р
- Р
- А
- д
- С
- С
- К
- ф
- д
- Л
- М
- С
- ч
- Н
- С
- н
- з
- !!
- К
- тс
- W
- тс
- Р
- К
- тс
- н
- Б
- О
- к
- н
- Б
- дс
- М

ачения показаны физическими факторами. в малых равнин-
прования водных реках – Барнаулке, Большой Лосихе
д Паводка. Чесноковке – сезонная динамика фито-
держания хлорофилла хорошо выражена, имеет один
х индигирует несколько летне-осенних макси-
По комплексным условиям, которые могут определяться со-
икации качдержанием биогенных элементов в воде.
ши [13] водВ реке Оби при достаточном количестве
к относительности биогенов в начале лета, совпадающем
тая»), за ис окончанием половодья, максимум со-
оды которого
(«чистая»)
за воды эти

стически от
ых реках ка
одержание
начительно
да этих рек
период ле-
II классам.
к ото льда
классом III
оты»), за
ной реки
есной во-
ю межень
ассу, раз-
р. В заре-
качества
исходит
ую с пе-
нилица,
которое
одит не-
стреча-
хлоро-
осится
статоч-
сифи-
новой
дован-
дению
ящие
ру об-
пере-
более
гона
узо-
еках
ные
гона
ым
фи-

держания хлорофилла отсутствует при
пониженной температуре воды и повы-
шенной мутности. При увеличении тем-
пературы и прозрачности воды в летне-
осеннюю межень водоросли достигают
значительного развития. В исследован-
ных реках проявляется зависимость се-
зонной динамики фитопланктона от
трофического статуса водотока, ранее
установленная для водоемов.

Библиографический список

1. Ключенко П.Д., Медведь В.А. Хлорофилл «а» в фитопланктоне притоков Днепра // Гидробиологический журнал. – 1995. – Т. 31. – № 3. – С. 76–84.
2. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.
3. ГОСТ 17.1.4.02-90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – С. 587–600.
4. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 320 с.
5. Алекин О.А. К исследованию притоков Телецкого озера // Работы Телецкой экспедиции / Исследования озер СССР. – Л.: Изд-во ГГИ, 1934. – Вып. 7. – С. 101–120.
6. Селегей, В.В., Селегей Т.С. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Телецкое озеро. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 141 с.
7. Ким Г.В., Котовщиков А.В., Кириллова Т.В. Формирование и функционирование фитоперифитона литорали Телецкого озера в экспериментальных условиях // Тез. докл. IX Съезда Гидробиологического общества РАН, 18-22 сентября 2006 г., г. Тольятти. – Тольятти, 2006. – Т. 2. – С. 210.
8. Митрофанова Е.Ю. Влияние притоков на формирование фитопланктона озера // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды // Матер. II Междунар. науч. конф., 22–26 сентября 2003 г., Минск – Нарочь. – Минск, 2003. – С. 314–317.
9. Оуэнс М. Биогенные элементы, их источники и роль в речных системах // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Тр. Сов.-амер. семина, 12–14 июля 1976 г, Валдай. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – С. 54–65.
10. Кириллова Т.В. Пигментные характеристики фитопланктона Телецкого озера: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Красноярск, 2006. – 24 с.
11. Watson R.A., Osborne P.L. An algal pigment ratio as an indicator of the nitrogen supply to phytoplankton in three Norfolk broads // Freshwater Biol. – 1979. – V. 9. – No 6. – P. 585–594.
12. Кириллова Т.В., Котовщиков А.В., Кириллов В.В. Содержание хлорофилла «а» фитопланктона как индикатор многолетней динамики качества воды реки Оби в районе г. Барнаула // Питьевые воды Сибири – 2007: Матер. IV Науч.-практ. конфер. – Барнаул: Пять плюс, 2007. – С. 115–120.
13. Оксийук О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62–76.
14. Баринаева С.С. Методические аспекты анализа биологического разнообразия водорослей // Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. Ч. I. – М.: Изд. ВНИИ природы, 2000. – С. 6–50.