

УДК 582.2:581.9 (571.6)

Л.А. ЩУР¹, В.Н. ЛОПАТИН^{1,2}

¹Ин-т вычислительного моделирования СО РАН,

Россия, 660036 Красноярск, академгородок

²Ин-т экологии рыбохозяйственных водоемов и наземных биосистем,

Россия, 660097 Красноярск, ул. Парижской Коммуны, 33

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО САНИТАРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДЫ НИЖНЕЙ ЧАСТИ Р. АНГАРЫ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ) ПО ФИТОПЛАНКТОНУ И МИКРОФИТОПЕРИФИТОНУ

В фитопланктоне и микрофитоперифитоне нижней части р. Ангара в июле-октябре 2002 г. и мае-июне 2003 г. обнаружено 184 вида и внутривидовых таксона из 7 отделов. Наиболее многообразно были представлены *Bacillariophyta* (83 вида и разновидности) и *Chlorophyta* (54 вида). На большинстве станций сообщества фитопланктона отличались высокой степенью сложности и высокими значениями индекса Шеннона (H') (2,00-3,54), сообщества микрофитоперифитона – низкими значениями H' (0,01-1,43). Оценка качества воды в соответствии с эколого-санитарной классификацией при использовании биомассы и индексов сапробности фитопланктона и микрофитоперифитона (ранговые оценки) соответствует 3-му классу удовлетворительной чистоты, достаточно чистая (лето, осень), слабо загрязненная (весна), β -мезосапробная зона. Категория трофности воды по среднему значению биомассы фитопланктона ($0,59 \pm 0,09$ мг/л) соответствует олиготрофному классу, олиго-мезотрофному разряду; по средним значениям биомассы микрофитоперифитона ($48 \pm 9,37$ мг/10 см²) – эвтрофному классу, эв-политрофному разряду.

Ключевые слова: фитопланктон, микрофитоперифитон, численность, биомасса, индекс сапробности, трофность водоема.

Введение

Исследования р. Ангара в связи с перспективным использованием ее гидроэнергетических ресурсов начали проводиться еще в 30-х гг. XX в. Ангара (до ее впадения) почти в 1,5 раза более многоводнее, чем р. Енисей имеет ряд особенностей, отличающих ее от других рек бассейна. Уникальность реки в отношении гидроэнергетического использования заключается в равномерности водного режима как в годовом, так и в многолетнем плане. Максимальный расход воды в истоке Ангара превышает минимальный в 11 раз (на Волге – в 81 раз), что обусловлено регулирующим влиянием оз. Байкал. Эта особенность в сочетании с большим напором воды на отдельных порожистых участках, создала благоприятные условия для использования огромных запасов гидро-электроэнергии (около 10,7 млн квт) с ее стоимостью в 2-2,5 раза дешевле, чем в смежных районах. После сооружения новых гидростанций многочисленные пороги Ангара окажутся затопленными и река может быть использована как транспортная магистраль из Енисея через Ангару в Байкал и в Селенгу.

© Л.А. Щур, В.Н. Лопатин, 2005

Все это приведет к трансформации свойств воды, в существенной степени формирующихся под воздействием жизнедеятельности гидробионтов; при зарегулировании рек изменяется их гидробиологический режим (Гольшких и др., 1973).

Зарегулирование стока, влияние антропогенных факторов в силу пониженной самоочищающей способности водохранилищ Сибири и Севера из-за низких температур воды могут привести к сильно выраженным негативным процессам, проявляющимся длительный период времени.

В настоящее время на р. Ангаре уже созданы Иркутское (1956-1960 гг.), Братское (1961-1967 гг.), Усть-Илимское (1975-1977 гг.) водохранилища, строится Богучанская ГЭС. В результате зарегулирования стока обедненный исходный биофонд реки подвергается влиянию сточных вод городов Иркутска, Ангарска, Усолья-Сибирского, Коршунхи, Рудогорска и др.

Цель данной работы – оценка современного состояния фитопланктона и микрофитоперифитона и определение качества воды р. Ангары в районе формирования Богучанского водохранилища по их свойствам.

Материалы и методы

Отбор проб фитопланктона проводили в поверхностном слое воды, концентрирование осуществляли фильтрационным методом. Пробы обростаний (перифитон), развивающихся преимущественно на субстратах, введенных в воду искусственно (буи, бакены, мостки, бревна, стекла и др.), отбирали в трех повторностях, площадь 16 см², глубина 0,2-0,6 м. Численность водорослей подсчитывали в камере Нажотта в микроскопе Peraval при общем увеличении $\times 400$, для мелких форм – $\times 1000$ при использовании фазово-контрастной приставки. Биомассу рассчитывали по среднему объему близких геометрических тел (Методики ..., 1975; Левадная, 1986).

Значение отдельных таксонов в формировании водорослевого сообщества рассчитывали по частоте встречаемости и индексу доминирования по биомассе (Кожова, 1973; Воробьева, 1995). Степень сложности водорослевых сообществ определяли по разнообразию их структуры, рассчитываемые через индекс Шеннона (H_b) по биомассе; степень флористического сходства ценозов определяли по Серенсену (КФС) (Методики ..., 1975). Эколого-санитарное состояние качества и категории трофности воды оценивали при изучении качественного и количественного состояния фитопланктона и микрофитоперифитона, индекс сапробности вычисляли по индикаторным видам (Унифицированные ..., 1977; Гольд, 1980; Жукинский и др., 1981; Водоросли, 1989; Оксийк и др., 1993; Оксийк, Зимбалевская, 1994).

Сбор материала проводили в нижней части р. Ангары на участке от верхней границы формирующегося Богучанского водохранилища (700 км) до 338 км, считая от устья р. Ангары, на одиннадцати разрезах с правого, левого берегов и середины реки (от 1 до 5 проб на каждой станции), с учетом морфометрических и гидробиологических особенностей реки, в июле-августе, сентябре-октябре 2002 г., мае-июне 2003 г.

Результаты и обсуждение

Состав фитопланктона и микрофитоперифитона в исследуемом районе р. Ангары представлен 184 видами и внутривидовыми таксонами водорослей из 7 отделов. Наиболее многообразно были представлены *Bacillariophyta* (83 вида и разновидности) и *Chlorophyta* (54 вида) (табл. 1). Коэффициент флористического сходства (КФС) между фитопланктоном и микрофитоперифитоном за весь период исследования составлял 0,51.

В летнем фитопланктоне (июль-август) определено 86 видов и внутривидовых таксонов водорослей, основной видовой состав которых определяли *Bacillariophyta* (40 видов и разновидностей) и *Chlorophyta* (24 вида); по количеству видов и внутривидовых таксонов на 20 станциях из 24 доминировали *Bacillariophyta*. Осенний фитопланктон (сентябрь-октябрь) формировали 65 видов и внутривидовых таксонов водорослей, в т.ч. 36 видов и разновидностей *Bacillariophyta* и 11 видов *Chlorophyta*; диатомовые водоросли по количеству видов и разновидностей преобладали в 9 пробах из 17. Весенний фитопланктон (май-июнь) представлен 50 видами и внутривидовыми таксонами водорослей, из которых – 26 видов и разновидностей *Bacillariophyta* и 11 видов *Chlorophyta*; по количеству видов и разновидностей на 14 станциях из 15 доминировали *Bacillariophyta* (см. табл. 1).

Таблица 1. Число видов и внутривидовых таксонов основных групп водорослей фитопланктона (ф) и микрофитоперифитона (мфп)

Отдел	2002 г.						2003 г.			Всего
	Июль-август			Сентябрь-октябрь			Май-июнь			
	ф	мфп	общ.	ф	мфп	общ.	ф	мфп	общ.	
<i>Cyanophyta</i>	10	18	22	7	7	10	2	6	6	26
<i>Chroococcophyceae</i>	7	7	10	5	5	6	2	2	2	10
<i>Hormogoniophyceae</i>	3	11	12	2	2	4	-	4	4	16
<i>Euglenophyta</i>	1	3	3	-	-	-	-	-	-	3
<i>Dinophyta</i>	-	-	-	2	-	2	2	-	2	4
<i>Cryptophyta</i>	7	1	7	7	-	7	5	2	5	8
<i>Chrysophyta</i>	4	1	4	2	1	2	4	1	4	6
<i>Bacillariophyta</i>	40	42	58	36	36	50	26	45	48	83
<i>Centropheceae</i>	5	5	6	4	3	6	3	3	4	8
<i>Pennatophyceae</i>	35	37	52	32	33	44	23	42	44	75
<i>Chlorophyta</i>	24	21	36	11	16	24	11	10	20	54
<i>Volvocales</i>	3	1	3	3	-	3	2	-	2	5
<i>Chlorococcales</i>	15	9	19	6	6	10	8	4	11	26
<i>Ulothrichales</i>	1	4	4	-	6	6	-	2	2	9
<i>Cladophorales</i>	-	1	1	-	1	1	-	1	1	2
<i>Conjugatophyceae</i>	5	6	9	2	3	4	1	3	4	12
Всего	86	86	130	65	60	95	50	64	85	184

Примечание. Знак «-» в графе означает отсутствие в пробе данной группы водорослей.

Летом к наиболее часто встречающимся видам (более 50%). Осенью частоту встречаемости водорослей (более 50%) обеспечивали 8 видов. В весенний период такая же частота встречаемости в пробах была характерна для 12 видов. Исследования этого района р. Ангары в августе 1990-1992 гг. (Щур и др., 1998) показали следующее: в 1990 и 1992 гг. у 5 видов частота встречаемости составляла более 50%. К наиболее часто встречаемым видам в 1990, 1992 и 2002-2003 гг. относились 8 видов: *Chroomonas acuta* Hansg., *Rhodomonas pusilla* (Bachm.) Javorn. var. *pusilla*¹, *Chromulina* sp., *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., мелкие виды *Stephanodiscus*, *Cocconeis placentula* Ehr., *Gomphonema olivaceum* (Horn.) Bréb., *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm., *Synedra acus* Kütz.

Воробьевой С.С. (1995) в 1972-1987 гг. на участке Ангары в районе Богучанского водохранилища определены 14 видов, имеющих высокую частоту встречаемости: *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt., *F. virescens* Ralfs., *Synedra ulna* var. *danica* (Nitzsch.) Ehr., *S. minutulus* (Kütz.) Cleve et Moller, *Diatoma vulgare* Bory, *D. elongatum* (Lyngb.) Ag., *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *Cryptomonas marssonii* Skuja, *C. erosa* Ehr., *C. curvata* Troitz., *Chroomonas acuta* Hansg. sp., *Gymnodinium coeruleum* Ant., *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Schrank

Исходя из литературных данных (Воробьева, 1995) и наших исследований, высокой частотой встречаемости характеризовались следующие водоросли: *D. vulgare* (бентосный вид, присутствующий в планктоне водоемов благодаря наличию участков с повышенными скоростями течения), *Chroomonas acuta*, и *Ch. curvata*. К этому списку можно причислить определенные нами мелкие виды рода *Stephanodiscus*. У Воробьевой С.С. (1995) из рода *Stephanodiscus* определен в списке часто встречаемых *S. minutulus*.

В летних пробах КФС фитопланктона между левым берегом-серединой реки, серединой реки-правым берегом составляли 0,65; 0,58 соответственно; осенью КФС по продольным разрезам – 0,68; 0,69; в весенних пробах КФС между левым и правым берегами составлял 0,71.

На большинстве станций фитоценозы отличались высокой степенью сложности и высокими значениями индекса Шеннона (H_b) (2,00-3,54), что обусловлено равноценным вкладом видов в общую биомассу. В летнем планктоне исключение составлял разрез 1 (700 км, правый берег), где со значением H_b , равным 1,07, доминантом по биомассе была *Cocconeis placentula* (86% общей биомассы) (табл. 2). В весенних пробах 2003 г. на разрезах 5 (540 км), 6 (480 км) и 8 (447 км) вдоль левого берега при значениях $H_b = 0,95-1,53$ доминировала *Aulacoseira granulata* (74-82% общей биомассы).

Летом по биомассе от разреза 1 (700 км) до разреза 4 (599 км) доминировала *C. placentula* (случайно планктонная водоросль-обрастатель) и ее преобладание отмечено на 29% станций. На разрезах 8-10 (447-360 км) доминировали мелкие виды *Stephanodiscus* (планктонная форма). На отдельных станциях доминантами выступали случайно планктонные формы водорослей-обрастателей: *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. (разрез 5, 540 км, правый берег), *Epitemia sorex* Kütz. (разрез 6, 480 км, правый берег), *E. zebra* (Ehr.) Kütz. (разрез 7, 457 км, правый берег). В осенних пробах доминирование *C. placentula* в пробах

¹ Достоверность определения данного вида подтвердила Т.М. Михеева.

увеличилось до 38%, и ее присутствие регистрировалось на всем участке исследования. Из всех таксонов водорослей в летнем и осеннем планктоне *C. placentula* относится к наиболее высоко встречаемым видам, но при формировании фитопланктона водохранилища в результате снижения течения ее положение в планктоне, очевидно, может измениться. В осенних пробах в планктоне среди доминантов выявлены представители *Cryptophyta*, это наблюдалось в 31% проб. На постоянное присутствие представителей *Cryptophyta* в планктоне р. Ангары как в водохранилищах, так и на речном Богучанском участке, особенно в весеннем и осеннем планктоне, ссылается Воробьева С.С. (1995). В течение наших исследований доминирующим видом в весенних пробах вдоль всего русла предполагаемого Богучанского водохранилища до строящейся плотины по биомассе преобладала *Aulacoseira granulata*, субдоминантами на большинстве станций были *Asterionella formosa* и *Synedra acus* (табл. 2).

Таблица 2. Комплексы доминирующих и субдоминирующих таксонов фитопланктона по биомассе

Разрез (расстояние, км)	2002 г.				2003 г.	
	Июль-август		Сентябрь-октябрь		Май-июнь	
	Доминанты	Субдоминанты	Доминанты	Субдоминанты	Доминанты	Субдоминанты
1 (700)	<i>Cocconeis placentula</i> Ehr.	<i>Cymbella ventricosa</i> Kütz.	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Cymbella lanceolata</i> (Ehr.) Kirch.	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Diatoma vulgare</i>
2 (663)	<i>C. placentula</i>	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Sim.	- "	<i>Diatoma vulgare</i> Bory	-	-
3 (625)	- "	<i>Stephanodiscus</i>	- "	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.	<i>A. granulata</i>	<i>Cymbella stuxbergii</i> Cl.
4 (599)	- "	<i>Cymbella ventricosa</i>	<i>Cryptomonas reflexa</i> Skuja	<i>Cryptomonas curvata</i> Troitz.	- "	<i>Asterionella formosa</i> Hass., <i>Cocconeis placentula</i>
5 (540)	<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>C. marssonii</i> Skuja	<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Bréb.	- "	<i>Synedra acus</i>
6 (480)	<i>Eptemia sorex</i> Kütz.	<i>Rhodomonas pusilla</i> (Bachm.) Javorn. var. <i>pusilla</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Cyclotella radiosa</i> (Grunow) Lemm.	- "	<i>S. acus</i>
7 (457)	<i>E. zebra</i> (Ehr.) Kütz.	<i>Stephanodiscus</i>	- "	<i>Anabaena flos-aquae</i>	-	-
8 (447)	<i>Stephanodiscus</i>	<i>Synedra acus</i>	<i>Cryptomonas reflexa</i>	<i>Diatoma vulgare</i>	<i>A. granulata</i>	-
9 (442)	- "	<i>S. acus</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Spirogyra tenuissima</i> (Hass.) Kütz.	- "	<i>Asterionella formosa</i>
10 (360)	- "	<i>Rhodomonas pusilla</i> var. <i>pusilla</i>	<i>Cryptomonas reflexa</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	-	-
11 (338)	<i>Synedra acus</i> Kütz.	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>C. placentula</i>	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) O. Müll.	<i>Cocconeis placentula</i>

Биомасса фитопланктона на большинстве станций формировалась из диатомовых водорослей, которые составляли от 51 до 99% общей биомассы. В летних исследованиях в 83% проб в биомассе доминировали *Bacillariophyta*; в осенних пробах они составляли 53%. В оставшихся пробах преобладали *Chlorophyta*: *Sphaerocystis schroeteri* Chod. (разрез 11, 338 км, правый берег), *Spirogyra* sp. (разрез 9, 442 км, правый берег) и представители *Cryptophyta* (*C. marssonii*, *C. curvata*, *C. reflexa*, *Rh. pusilla* var. *pusilla*). В мае-июне 2003 г. во всех пробах доминантами по биомассе выступали *Bacillariophyta*.

В величину общей численности основной вклад вносили мелкие формы водорослей, а в биомассу – крупные. В летних пробах численность водорослей в основном формировалась за счет представителей *Cyanophyta* и *Cryptophyta*, тогда как в осенних – за счет *Bacillariophyta* и *Cryptophyta*. В весенних пробах численность водорослей в 8 пробах из 15 формировалась *Bacillariophyta*.

Взаимосвязь между численностью и биомассой фитопланктона носит положительный характер (Михеева, 1992). Но эта связь не всегда однозначна и зависит от размерной структуры водорослей. В нашем случае (летние пробы) достоверная положительная связь между численностью и биомассой наблюдалась у *Cyanophyta* и других групп водорослей (*Dinophyta*, *Cryptophyta*, *Chrysophyta*, *Euglenophyta*); в осенних – у *Cyanophyta*, *Bacillariophyta* и «прочих» (это *Dinophyta*, *Cryptophyta*, *Chrysophyta*, *Euglenophyta*), а также для общих показателей. В группах, где отсутствовала положительная связь, биомасса складывалась из крупных малочисленных клеток, а численность определялась мелкоразмерными организмами (табл. 3).

Таблица 3. Значения коэффициентов корреляции между численностью и биомассой для каждой группы водорослей и общей

Сезоны	Параметры	<i>Cyanophyta</i>	<i>Bacillariophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>	Прочие*	Общ.
Июль-август, 2002 г.	<i>r</i>	0,54	0,33	-0,14	0,52	0,21
	<i>t_{ст}</i>	2,11	1,42	0,69	2,52	0,18
	<i>n</i>	24	24	24	24	24
Сентябрь- октябрь, 2002 г.	<i>r</i>	0,72	0,82	-0,28	0,69	0,73
	<i>t_{ст}</i>	3,27	4,17	0,29	3,06	3,35
	<i>n</i>	16	16	16	16	16
Май-июнь, 2003 г.	<i>r</i>	0,99	0,86	0,75	0,55	0,53
	<i>t_{ст}</i>	8,37	4,48	3,08	2,14	2,04
	<i>n</i>	13	15	13	15	15

* Это – *Dinophyta*, *Cryptophyta*, *Chrysophyta*, *Euglenophyta*.

Максимальные значения биомассы фитопланктона в летних пробах были на 700 км (разрез 1) и 540 км (разрез 5) (рис. 1). Средние значения биомассы вдоль левого берега, середины реки и правого берега составляли 0,44; 0,61 и 0,48 мг/л соответственно; среднее значение биомассы до плотины – 0,54 мг/л. Средние значения численности вдоль левого берега, середины реки и правого берега составляли 1,78; 1,80 и 2,19 млн кл/л соответственно.

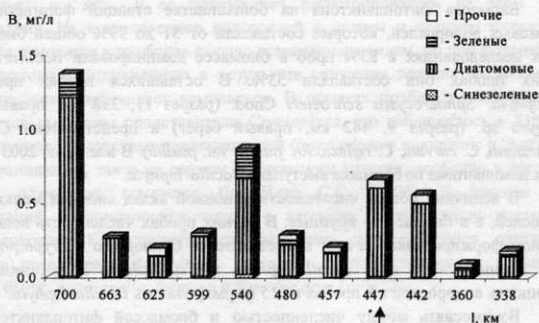


Рис. 1. Распределение биомассы (B , мг/л) летнего фитопланктона 2002 г. вдоль исследуемого участка р. Ангары. Стрелка указывает нахождение строящейся плотины Богучанской ГЭС.

В осенних пробах максимальные значения численности и биомассы фитопланктона наблюдали на 599 км (разрез 4), далее вниз по течению эти параметры уменьшались (рис. 2). Средние значения биомассы вдоль левого берега, середины реки и правого берега составляли 0,44; 0,32 и 0,78 мг/л соответственно, среднее значение биомассы до плотины – 0,42 мг/л. Средние значения численности вдоль левого берега, середины реки и правого берега составляли 0,52; 0,55 и 0,74 млн кл/л соответственно.

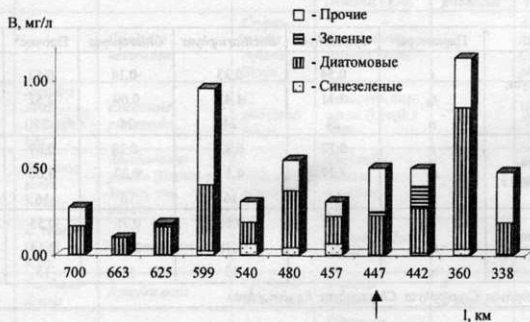


Рис. 2. Распределение биомассы (B , мг/л) фитопланктона вдоль исследуемого участка р. Ангары в осенний период 2002 г.

Характер распределения биомассы в августе 1990 и 1992 гг. (Шур и др., 1998) вдоль маршрута от 705 км до 390 км был аналогичен нашим данным 2002 г., их значения составляли $0,13 \pm 0,02$ и $0,15 \pm 0,05$ мг/л соответственно. По данным

Воробьевой С.С. (1995), величины биомассы фитопланктона в летний период были в пределах 0,18-0,44 мг/л, в осенний – 0,17-0,26 мг/л.

Максимальные значения биомассы в весенних пробах 2003 г. были на разрезах 5 (540 км), 6 (480 км) (рис. 3). Ниже по течению значения биомассы уменьшались. Средние значения биомассы вдоль левого и правого берегов составляли 1,08 и 0,77 мг/л соответственно, среднее значение биомассы фитопланктона до плотины – 1,02 мг/л. Средние значения численности вдоль левого и правого берегов составляли 1,17 и 1,52 млн кл/л соответственно.

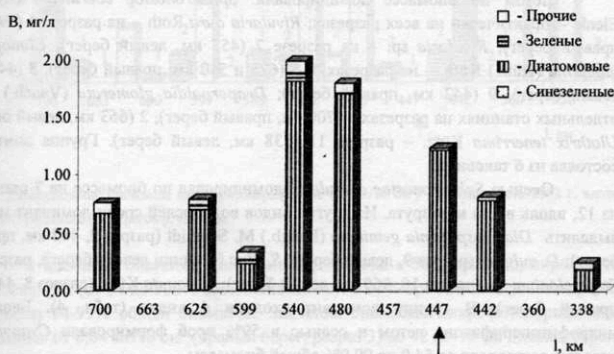


Рис. 3. Распределение биомассы (B , мг/л) весеннего фитопланктона 2003 г. вдоль исследуемого участка р. Ангары.

Состав микрофитоперифитона на исследуемом участке р. Ангары представлен 130 видами и внутривидовыми таксонами водорослей из 6 отделов. Наиболее многочисленными по видовому разнообразию были *Bacillariophyta* (69 видов) и *Chlorophyta* (33 видов). Микрофитоперифитон летних проб состоял из *Bacillariophyta* (42 вида и разновидности) и *Chlorophyta* (21 вид) при общем количестве 86 видов и внутривидовых таксонов водорослей; по количеству видов на 24 станциях из 25 доминировали *Bacillariophyta*; в формировании флористического спектра водорослей возле левого берега принимали участие 70 видов, на правом – 53. В осенних пробах микрофитоперифитон характеризовался наличием 60 видов и внутривидовых таксонов, из которых 36 – это диатомовые и 16 – зеленые водоросли; *Bacillariophyta* по количеству видов доминировали во всех 12 пробах; количество видов на левом берегу составляло 41, на правом – 38. В весенних пробах микрофитоперифитон представлен 63 видами и внутривидовыми таксонами водорослей, из которых 45 – диатомовые и 10 – зеленые. Диатомовые водоросли по количеству видов доминировали на всех 18 станциях; левый берег формировали 43 вида, правый – 50 видов водорослей. Значение КФС между левым и правым берегами летом составляло 0,65, осенью – 0,58, весной – 0,61; между летними и осенними пробами – 0,46; между 2002 г. и 2003 г. – 0,51.

Летние и осенние пробы на большинстве станций отличались низкими значениями H_b (0,01-0,82 в июле-августе, 84% всех проб; 0,12-1,42 в сентябре-

октябре, 75%); максимальные значения H_b находились в пределах 1,98-2,85. Весной низкие значения H_b (0,11-1,43) наблюдались в 7 из 18 проб, максимальные значения H_b были в пределах 2,09-3,08.

В летних пробах высокой частотой встречаемости (более 50%) характеризовалось 7 видов, тогда как осенью – 11, а весной – 10 видов. Общих видов за период наблюдения с указанной выше частотой встречаемости было отмечено 7: *C. placentula*, *D. vulgare*, *G. olivaceum*, *Navicula cryptocephala* Kütz., *N. palea*, *Rhoicosphenia curvata* (Kütz.) Grun., *S. ulna*.

Летом по биомассе доминировали: *Sphaeronostoc coeruleum* (Lyngb.) Elenk. – практически на всех разрезах; *Rivularia dura* Roth – на разрезе 4 (599 км, правый берег); *Rivularia* sp. – на разрезе 7 (457 км, левый берег); *Cladophora globulina* (Kütz.) Kütz. – на разрезах 3, 5 (625 и 540 км, правый берег), 8 (447 км, левый берег), 9 (442 км, правый берег); *Draparnaldia glomerata* (Vauch.) – на отдельных станциях на разрезах 1 (700 км, правый берег), 2 (663 км, левый берег); *Ulothrix tenerrima* Kütz. – разрезе 11 (338 км, левый берег). Группа доминант состояла из 6 таксонов.

Осенью *Sphaeronostoc coeruleum* доминировал по биомассе на 7 станциях из 12, вдоль всего маршрута. Из других видов водорослей среди доминант можно выделить *Didymosphaenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt (разрез 9, 442 км, правый берег); *D. vulgare* (разрез 9, левый берег); *S. ulna* (станции левого берега, разрез 1); *Stigeoclonium* sp. (разрез 10, 360 км, левый берег); *U. zonata* Kütz. (разрез 8, 447 км, правый берег). В группу доминант входили 6 видов (табл. 4). Биомассу микрофитоперифитона летом и осенью в 59% проб формировали *Cyanophyta*, которые составляли от 54,0 до 99,9% общей биомассы.

Весной на 7 станциях из 18 по биомассе преобладала зеленая водоросль *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. (от 36%, разрез 9, правый берег до 99% общей биомассы, разрезы 7 и 9, левый берег). *Cyanophyta* доминировали по биомассе на разрезе 6, правый берег (*Rivularia* sp. – 46% общей биомассы), разрезе 5, правый берег (*Sphaeronostoc coeruleum* – 96% общей биомассы). Диатомовая водоросль *D. vulgare* превалировала на разрезе 1 (50-59% общей биомассы на отдельных станциях). В группе доминант (по биомассе) присутствовало 9 видов (см. табл. 4).

Летом значения биомассы микрофитоперифитона изменялись в пределах от 0,12 (правый берег, разрез 3) до 308 мг/10 см² (правый берег, разрез 7). Средние значения биомассы водорослей возле правого берега составляли 85 мг/10 см², левого берега – 47 мг/10 см², без достоверного различия между ними ($t_{\text{ит}} = 1,15$ при $n = 13, 12$) (рис. 4). Вниз по течению вдоль правого берега наблюдалось повышение биомассы до плотины (разрез 7, 457 км), и затем – от нижнего бьефа к пос. Богучаны (разрез 11, 330 км). Вдоль левого берега распределение биомассы микрофитоперифитона было в пределах 14,9-28,7 мг/10 см², за исключением двух станций: разрез 2 (663 км, 62,9 мг/10 см²) и разрез 10 (360 км, 111,9 мг/10 см²) (см. рис. 4).

Высокие значения биомассы водорослей осенью регистрировались в средней части водохранилища (участки разрезов 4 (599 км) и 5 (540 км)) при величинах биомассы 95-237 мг/10 см² (рис. 5). Далее, вниз по течению величина биомассы уменьшалась. Средние величины биомассы вдоль правого берега составляли 53 мг/10 см², вдоль левого берега – 80 мг/10 см² без достоверного различия между ними ($t_{\text{ит}} = 0,55$ при $n = 5; 7$).

октябре, 75%); максимальные значения H_b находились в пределах 1,98-2,85. Весной низкие значения H_b (0,11-1,43) наблюдались в 7 из 18 проб, максимальные значения H_b были в пределах 2,09-3,08.

В летних пробах высокой частотой встречаемости (более 50%) характеризовалось 7 видов, тогда как осенью – 11, а весной – 10 видов. Общих видов за период наблюдения с указанной выше частотой встречаемости было отмечено 7: *C. placentula*, *D. vulgare*, *G. olivaceum*, *Navicula cryptocephala* Kütz., *N. palea*, *Rhoicosphenia curvata* (Kütz.) Grun., *S. ulna*.

Летом по биомассе доминировали: *Sphaeronostoc coeruleum* (Lyngb.) Elenk. – практически на всех разрезах; *Rivularia dura* Roth – на разрезе 4 (599 км, правый берег); *Rivularia* sp. – на разрезе 7 (457 км, левый берег); *Cladophora globulina* (Kütz.) Kütz. – на разрезах 3, 5 (625 и 540 км, правый берег), 8 (447 км, левый берег), 9 (442 км, правый берег); *Draparnaldia glomerata* (Vauch.) – на отдельных станциях на разрезах 1 (700 км, правый берег), 2 (663 км, левый берег); *Ulothrix tenerrima* Kütz. – разрезе 11 (338 км, левый берег). Группа доминант состояла из 6 таксонов.

Осенью *Sphaeronostoc coeruleum* доминировал по биомассе на 7 станциях из 12, вдоль всего маршрута. Из других видов водорослей среди доминант можно выделить *Didymosphaenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt (разрез 9, 442 км, правый берег); *D. vulgare* (разрез 9, левый берег); *S. ulna* (станции левого берега, разрез 1); *Stigeoclonium* sp. (разрез 10, 360 км, левый берег); *U. zonata* Kütz. (разрез 8, 447 км, правый берег). В группу доминант входили 6 видов (табл. 4). Биомассу микрофитоперифитона летом и осенью в 59% проб формировали *Cyanophyta*, которые составляли от 54,0 до 99,9% общей биомассы.

Весной на 7 станциях из 18 по биомассе преобладала зеленая водоросль *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. (от 36%, разрез 9, правый берег до 99% общей биомассы, разрезы 7 и 9, левый берег). *Cyanophyta* доминировали по биомассе на разрезе 6, правый берег (*Rivularia* sp. – 46% общей биомассы), разрезе 5, правый берег (*Sphaeronostoc coeruleum* – 96% общей биомассы). Диатомовая водоросль *D. vulgare* преваляровала на разрезе 1 (50-59% общей биомассы на отдельных станциях). В группе доминант (по биомассе) присутствовало 9 видов (см. табл. 4).

Летом значения биомассы микрофитоперифитона изменялись в пределах от 0,12 (правый берег, разрез 3) до 308 мг/10 см² (правый берег, разрез 7). Средние значения биомассы водорослей возле правого берега составляли 85 мг/10 см², левого берега – 47 мг/10 см², без достоверного различия между ними ($t_{н} = 1,15$ при $n = 13, 12$) (рис. 4). Вниз по течению вдоль правого берега наблюдалось повышение биомассы до плотины (разрез 7, 457 км), и затем – от нижнего бьефа к пос. Богучаны (разрез 11, 330 км). Вдоль левого берега распределение биомассы микрофитоперифитона было в пределах 14,9-28,7 мг/10 см², за исключением двух станций: разрез 2 (663 км, 62,9 мг/10 см²) и разрез 10 (360 км, 111,9 мг/10 см²) (см. рис. 4).

Высокие значения биомассы водорослей осенью регистрировались в средней части водохранилища (участки разрезов 4 (599 км) и 5 (540 км)) при величинах биомассы 95-237 мг/10 см² (рис. 5). Далее, вниз по течению величина биомассы уменьшалась. Средние величины биомассы вдоль правого берега составляли 53 мг/10 см², вдоль левого берега – 80 мг/10 см² без достоверного различия между ними ($t_{н} = 0,55$ при $n = 5; 7$).

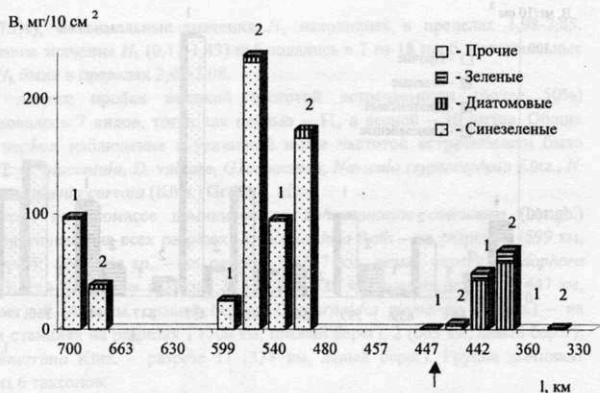


Рис. 5. Распределение биомассы микрофитоперифитона (B , $\text{мг}/10 \text{ см}^2$) в сентябре-октябре 2002 г. р. Ангары (обозначения см. рис. 4).

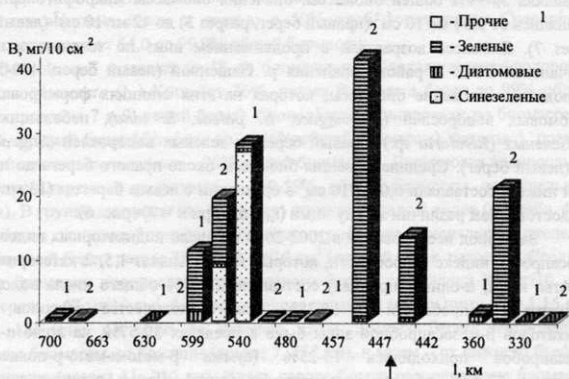


Рис. 6. Распределение биомассы микрофитоперифитона (B , $\text{мг}/10 \text{ см}^2$) в мае-июне р. Ангары в 2003 г. (обозначения см. рис. 4).

По итогам исследований 2002-2003 гг., среднее значение ИС составляло $1,80 \pm 0,04$ (β -мезосапробная зона). Значения индекса сапробности по организмам микрофитоперифитона летом изменялись в пределах 1,27-2,52 (β -олигосапробная - β -мезосапробная зоны); в осенних пробах - в пределах 1,92-2,49; весной - 1,30-3,42. Средние значения ИС для этих периодов исследования составляли $2,00 \pm 0,08$,

2,14±0,05, 2,17±0,10 соответственно, среднее значение по итогам исследования 2002-2003 гг. – 2,09±0,05 (β-мезосапробная зона). Индекс сапробности фитопланктона и микрофитоперифитона в исследованиях 1990 и 1992 гг. был в пределах 2,20±0,20 (Шур и др., 1998), что согласуется с последними данными измерений.

Таблица 4. Комплексы доминирующих по биомассе таксонов микрофитоперифитона

Раз- рез	2002 г.				2003 г.	
	Июль-август		Сентябрь-октябрь		Май-июнь	
	Правый берег	Левый берег	Правый берег	Левый берег	Правый берег	Левый берег
1	<i>Sphaerostoc coeruleum</i> (Lyngb.) Elenk., <i>Draparnaldia glomerata</i> Vauch.	<i>S. coeruleum</i>	<i>S. coeruleum</i>	<i>S. coeruleum</i> , <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.	<i>Diatoma vulgare</i> , <i>Cladophora glomerata</i> (L.) Kütz.	<i>D. vulgare</i>
2	-	<i>D. glomerata</i>	-	-	-	-
3	<i>Cladophora globulina</i> (Kütz.) Kütz.	<i>S. coeruleum</i>	-	-	<i>Epitemia zebra</i> (Ehr.) Kütz.	-
4	<i>Rivularia dura</i> Roth	-	<i>S. coeruleum</i>	<i>S. coeruleum</i>	<i>C. glomerata</i>	<i>C. glomerata</i>
5	<i>Cladophora globulina</i>	<i>S. coeruleum</i>	-	-	<i>S. coeruleum</i>	<i>Synedra ulna</i>
6	<i>Sphaerostoc coeruleum</i>	-	-	-	<i>Rivularia</i> sp.	<i>Stigeoclonium</i> sp.
7	<i>S. coeruleum</i>	<i>Rivularia</i> sp.	-	-	-	<i>C. glomerata</i>
8	-	<i>Cladophora globulina</i>	<i>Ulothrix zonata</i> Kütz.	<i>S. coeruleum</i>	-	-
9	<i>Cladophora globulina</i>	-	<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngb.) M. Schmidt	<i>Diatoma vulgare</i> Bory	<i>C. glomerata</i>	-
10	<i>Sphaerostoc coeruleum</i>	<i>S. coeruleum</i>	-	<i>Stigeoclonium</i> sp.	-	-
11	-	<i>Ulothrix tenerrima</i> Kütz.	-	-	<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Sm.	<i>Didymosphenia geminata</i>

Качество воды, оцениваемое по величине биомассы фитопланктона, значительно отличается от оценки качества воды по индексу сапробности, так как фитопланктон в связи со своей транзитностью в меньшей степени реагирует на локальные загрязнения. По величинам биомассы фитопланктона в 2002 г. (0,07-1,66 мг/л) качество воды оценивается 1-3 классами (предельно чистая – достаточно чистая). Весной 2003 г. величины биомассы изменялись в пределах 0,17-2,49 мг/л и качество воды соответствовало 2-3 классу (чистая – удовлетворительно чистая,

очень чистая – слабо загрязненная). Средние значения биомассы в июле-августе и сентябре-октябре были близки между собой ($0,52 \pm 0,10$ и $0,48 \pm 0,08$ мг/л соответственно) и указывают на 2 класс качества (чистая, очень чистая); среднее значение биомассы в мае-июне было $0,91 \pm 0,19$ мг/л (2 класс, чистая, вполне чистая).

Таблица 5. Относительное содержание водорослей-индикаторов сапробиости (% общего числа индикаторных видов)

Категория	% общего числа водорослей-индикаторов сапробиости			% общего числа водорослей		% общего числа водорослей
	х-о-β	β	β-α-р	х-о-β	β-α-р	
Июль-август, 2002 г.						
Фитопланктон	29	47	24	20	47	67
Микрофитоперифитон	25	50	25	16	47	63
Сентябрь-октябрь, 2002 г.						
Фитопланктон	36	40	24	26	45	71
Микрофитоперифитон	35	49	16	24	46	70
Май-июнь, 2003 г.						
Фитопланктон	30	46	24	22	53	76
Микрофитоперифитон	27	57	16	21	57	78
Всего в 2002-2003 гг.	36	43	21	21	37	58

Распределение классов трофности по биомассе фитопланктона было следующим. Летом 3% всех проб – олиготрофный разряд; 67% – олиго-мезотрофный разряд; 13% – мезотрофный разряд; 17% – мезо-эвтрофный разряд. Осенью 65% – олиготрофный класс, олиго-мезотрофный разряд; 24% – мезотрофный класс, мезотрофный разряд; 11% – мезотрофный класс, мезо-эвтрофный разряд. В мае-июне 47% всех проб – олиготрофный класс, олиго-мезотрофный разряд; 20% – мезотрофный класс, мезотрофный разряд; 20% – мезотрофный класс, мезо-эвтрофный разряд; 13% – эвтрофный класс, эвтрофный разряд. По среднему значению биомассы фитопланктона в июле-августе категория трофности воды отвечала олиготрофному классу, олиго-мезотрофному разряду; в сентябре-октябре – к олиготрофному классу, олиго-мезотрофному разряду; в мае-июне – к мезотрофному классу, мезотрофному разряду.

Микрофитоперифитон представляет собой прикрепленные организмы, которые реагируют на различные факторы в большей степени, чем фитопланктон, и соответственно, суммируют эффекты влияния загрязняющих веществ, определяя итоговую оценку состояния водоема (Зиновьев, 1987). Летом биомасса микрофитоперифитона изменялась в пределах от $0,12$ до 308 мг/10 см², с варьированием от очень низкого олиготрофного класса, олиго-мезотрофного разряда до предельно высокой градации категории трофности, гипертрофного класса, гипертрофного разряда. Осенью изменения биомассы составляли $0,2-237$ мг/10 см² (низкий олиготрофный класс, олиго-мезотрофный разряд – очень

высокая градация категории трофности, гипертрофный класс, полигипертрофный разряд). По средним величинам биомассы микрофитоперифитона вода летом и осенью (66 ± 16 и 69 ± 21 мг/10 см² соответственно) относится к политрофному классу, политрофному разряду. Весной биомасса микрофитоперифитона изменялась в пределах 0,04–41 мг/10 см² (предельно низкий олиготрофный класс, олиготрофный разряд – выше средней градации категории трофности, эвтрофный класс, эвполитрофный разряд); среднее значение биомассы микрофитоперифитона составляло $8,82 \pm 3,31$ мг/10 см² (средняя градация категории трофности, эвтрофный класс, эвтрофный разряд).

Таблица 6. Итоговая ранговая оценка качества воды с учетом биомассы и индексов сапробности по фитопланктону и микрофитоперифитону

Раз- рез	2002 г.						2003 г.		
	Июль-август			Сентябрь-октябрь			Май-июнь		
	Класс каче- ства	Разряд каче- ства	Зона сапроб- ности	Класс каче- ства	Разряд каче- ства	Зона сапроб- ности	Класс каче- ства	Разряд каче- ства	Зона сапроб- ности
1	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с
2	3 УЧ	С. з.	β-м-с	2 Ч	В. ч.	α-о-с	-	-	-
3	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с	2 Ч	В. ч.	α-о-с	2 Ч	В. ч.	α-о-с
4	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с
5	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	С. з.	β-м-с
6	3 УЧ	С. з.	β-м-с	2 Ч	В. ч.	α-о-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с
7	3 УЧ	С. з.	β-м-с	2 Ч	В. ч.	α-о-с	4 З	У. з.	α-м-с
8	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с	3 УЧ	С. з.	β-м-с
9	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	С. з.	β-м-с
10	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с	-	-	-
11	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с	2 Ч	В. ч.	α-о-с
Сред- нее	3 УЧ	С. з.	β-м-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с	3 УЧ	Д. ч.	β-м-с

П р и м е ч а н и е. 2 Ч, В. ч., α-о-с – 2 класс качества, чистая, вполне чистая, α-олигосапробная; 3 УЧ, Д. ч., β-м-с – 3 класс качества, удовлетворительной чистоты, достаточно чистая, β-мезосапробная; 3 УЧ, С. з., β-м-с – 3 класс качества, удовлетворительной чистоты, слабо загрязненная, β-мезосапробная; 4 З, У. з., α-м-с – 4 класс качества, загрязненная, умеренно загрязненная, α-мезосапробная.

Хотя значения биомассы фитопланктона на отдельных станциях и указывают на более чистый класс качества воды, но при ранговом расчете (Гавришов, 1981) с учетом остальных параметров (индексы сапробности фитопланктона, микрофитоперифитона и биомасса микрофитоперифитона) получили значения равнозначные при расчетах только по индексам сапробности. Поэтому ранговую оценку качества воды проводили с учетом значений биомассы и индексов сапробности фитопланктона и микрофитоперифитона (табл. 6).

Выводы

В летних и осенних пробах основными доминирующими видами в планктоне были *Cocconeis placentula* (на большинстве станций в верхнем участке

реки) и мелкие виды *Stephanodiscus* (средний и нижний участки района исследования); в весенних пробах на протяжении всего водохранилища преобладала *Aulacoseira granulata*. Летом и осенью по биомассе в микрофитоперифитоне почти на всех разрезах вдоль всего маршрута исследования доминировала синезеленая водоросль *Sphaeronostoc coeruleum*, тогда как весной преобладала зеленая водоросль *Cladophora glomerata*.

Оценка качества воды нижней части р. Ангары за рассматриваемый период на большинстве станций с учетом биомассы фитопланктона и микрофитоперифитона и индексов сапробности (1,92±0,04) позволяет характеризовать ее 3 классом (удовлетворительная чистота, достаточно чистая - слабо загрязненная, β-мезосапробная зона).

Трофность воды (по средним значениям биомассы фитопланктона) оценивается следующими классами: летом и осенью (0,52±0,10 и 0,48±0,08 мг/л соответственно) – олиготрофный класс, олиго-мезотрофный разряд; весной 2003 г. (0,91±0,19 мг/л) – мезотрофный класс, мезотрофный разряд. Среднее значение биомассы микрофитоперифитона летом и осенью (66±16 и 69±21 мг/10 см² соответственно) определяет высокую градацию категории трофности, политрофный класс, политрофный разряд; весной – 8,82±3,31 мг/10 см² или средняя градация категории трофности, эвтрофный класс, эвтрофный разряд.

Благодарности

Авторы благодарят Т.М. Михееву за консультацию при определении одного из видов водорослей.

Л.А. Shchur¹, V.N. Lopatin^{1,2}

¹ Institute of Computational Modelling SB RAS,
660036 Krasnoyarsk Akademgorodok, e-mail: schur@krsn.ru;

² Research Institute of Ecology of Fish- ponds and Terrestrial biosystems,
660036 Krasnoyarsk Paris Commune St. 33, e-mail: lopatin@krsfish.krsn.ru

MODERN SANITARY-ECOLOGICAL STATE OF WATER OF OF THE UNDERCURRENT THE RIVER ANGARA (KRASNOYARSK REGION, RUSSIA) ON A PHYTOPLANKTON AND MICROPHYTOPERIPHYTON

Qualitative composition of a phytoplankton and microphytoperiphyton of the undercurrent the river Angara for the term July – October 2002 and May – June 2003 represented 184 species of algae from 7 division; is most diversiform represented diatomic (83 таксона) and green (54 таксона) to an alga. High degree of complexity and the high values of an index of Shannon (H_h) (2.00-3.54) were in a phytoplankton in a majority of samples; in a microphytoperiphyton on the majority of samples differed by low values H_h (0.01-1.43). The evaluation of water quality in terms of biomass and saprobicity index of a phytoplankton and microphytoperiphyton (rank evaluations) determine 3 classes of satisfactory cleanness, β-mezosaprobicity. The category trophic of water on a biomass of a phytoplankton (0.59±0.09 mg/L) corresponds to the oligotrophic class, oligomezotrophic to the rank; on a biomass of a microphytoperiphyton (48±9.37 mg/10 cm²) – ev-trophic to the class, ev-politrophic to the rank.

Keywords: phytoplankton, microphytoperiphyton, a quantity, a biomass, saprobicity index, a trophic of water.

- Водоросли: Справочник / Под ред. С.П. Вассера, Н.В. Кондратьевой, Н.П. Масюк и др.* – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
- Воробьева С.С.* Фитопланктон водоемов Ангары. – Новосибирск: Наука, 1995. – 126 с.
- Гавришов Н.А.* Методика расчета комплексного рангового показателя качества воды // *Гидробиол. журн.* – 1981. – 17, № 1. – С. 95-98.
- Говышкина Р.А., Кожова О.М., Шульга Е.Л.* Материалы к прогнозу гидробиологического режима Усть-Илимского водохранилища // *Материалы по биологическому режиму Братского водохранилища.* – Иркутск, 1973. – С. 40-57.
- Гольд З.Г.* Оценка качества воды Красноярского водохранилища по биологическим критериям // *Биологические процессы и самоочищение Красноярского водохранилища.* – Красноярск: КрасГУ, 1980. – С.175-189.
- Ермолаев В.Н.* Соотношение биомассы и видового разнообразия водорослей в планктонном сообществе // *Экология.* – 1976. – № 4. – С. 24-28.
- Жуковский В.Н., Оксик О.Н. и др.* Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // *Гидробиол. журн.* – 1981. – 17, № 3. – С. 38-49.
- Зиновьев В.П.* Экспресс-методы определения качества вод по зообентосу в реках Восточной Сибири // *Методы индикации и биотестирования природных вод.* – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 160 с.
- Кожова О.М.* Фитопланктон и продукционно-деструкционные процессы в Братском водохранилище // *Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод.* – Минск: БГУ, 1973. – С. 71-82.
- Левадная Г.Д.* Микрофитобентос реки Енисей / Отв. ред. О.М. Кожова. – Новосибирск: Наука, 1986. – 286 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов.* – М.: Наука, 1975. – 240 с.
- Михеева Т.М.* Связь биомассы и численности фитопланктона // *Мониторинг фитопланктона.* – Новосибирск: Наука, 1992. – С. 41-55.
- Оксик О.Н., Жуковский В.Н., Брагинский Л.П. и др.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // *Гидробиол. журн.* – 1993. – 29, № 4. – С. 62-76.
- Оксик О.П., Зимбалевская Л.Н., Протасов А.А., Плигин Ю.В., Ляшенко А.В.* Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям: бентос, перифитон и зоофитос // Там же. – 1994. – 30, № 4. – С. 31-35.
- Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. 3-е изд. Приложение 1. Индикаторы сапробности.* – М.: СЭВ. 1977. – С. 3-43; Приложение 2. Атлас сапробных организмов. – С. 42-141.
- Щур Л.А., Алопасенко А.Д., Лопатин В.Н., Фильмонов В.С., Шетелевич Н.В.* Санитарно-экологическое и трофическое состояние средней части реки Енисей и ее притоков // *Гидробиол. журн.* – 1998. – 34, № 2. – С. 46-54.

Получена 14.02.04

Подписала в печать Л.А. Сиренко