

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
Вологодский государственный педагогический университет
Научно-исследовательское бюро ВГПУ

**СБОРНИК НАУЧНЫХ
РАБОТ
СТУДЕНТОВ И
АСПИРАНТОВ
ВГПУ**

Выпуск V

1271213

Вологда
1997

ОЦЕНКА ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОЗЕРА БЕЛОГО ПО СОСТОЯНИЮ ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА

Научный руководитель — доцент Н. Л. Болотова

Введение

Озеро Белое — один из крупных мелководных водоемов Вологодской области, расположенный между Онежским озером и Рыбинским водохранилищем. Границы водосбора Белого озера на северо-востоке и северо-западе совпадают с Беломоро-Каспийским и Балтийско-Каспийским водоразделами [1].

В настоящее время водные экосистемы находятся под мощным негативным влиянием хозяйственной деятельности человека. Это касается и озера Белого, которое подвержено интенсивной антропогенной нагрузке. Являясь водоемом комплексного назначения, оно используется в нуждах рыбного и лесного хозяйства, для водоснабжения населенных пунктов, также для сброса сточных вод. Кроме того, антропогенная нагрузка на озеро в значительной мере обуславливается его использованием в системе Волго-Балтийского водного пути. В результате наблюдается значительное токсикологическое и органическое загрязнение данного водоема. Последнее усугубляется высокой степенью сельскохозяйственной освоенности и распашки водосбора, вследствие чего в водоем поступает большое количество аллохтонных органических веществ, в значительной мере антропогенного происхождения. Высокая органическая нагрузка обуславливает ускорение процессов эвтрофирования оз. Белого, что сопровождается как ухудшением качества воды, так и изменениями всех уровней сообщества водоема.

Известно, что для оценки степени загрязненности водоемов органическими веществами информативным показателем является именно состояние зоопланктонного сообщества [12]. Поэтому целью данной работы служит изучение современного состояния зоопланктонного сообщества для оценки качества воды озера Белого на фоне прогрессирующего органического загрязнения.

Материал и методика

Анализ состояния зоопланктонного сообщества проводится за период 1989–1996 гг. Всего за этот период собрано и обработано 110 проб. Сбор

полевого материала осуществлен по стандартной сетке станций (12). Сбор и обработка зоопланктона проведены по общепринятым методикам [5, 6, 10, 11].

Для оценки качества воды по состоянию зоопланктонного сообщества применен биологический метод, который основан на изменении видового состава биоценозов при антропогенном воздействии. Этот метод очень чувствителен, так как даже при слабом загрязнении водоема, которое не может быть обнаружено с помощью химического метода, происходит изменение видового состава. Степень загрязнения воды оценивают по соотношению индикаторных организмов (сапробионтов), на основании чего рассчитывают так называемый индекс сапробности. Понятие сапробности отражает органическую нагрузку на водоем и степень насыщенности воды разлагающимися органическими веществами, так как при этом преимущественное развитие получают виды, хорошо переносящие загрязнение. Индекс сапробности вычисляется по формуле (Макрушин, 1974):

$$S = \frac{E \cdot s \cdot h}{E \cdot h}, \text{ где } S — \text{индекс сапробности; } s — \text{индикаторная}$$

значимость для олигосапробов — 1; бета-мезосапробов — 2; альфа-мезосапробов — 3; полисапробов — 4; h — относительное количество особей вида: случайные находки — 1; частая встречаемость — 3; массовое развитие — 5.

Кроме индекса сапробности, для оценки качества воды применен индекс разнообразия, отражающий изменения в структуре сообщества и функциональной роли отдельных видов. Индекс разнообразия рассчитывался по формуле Шеннона (H) (Маргалев, 1964):

$H = -\sum P_i \cdot \log P_i$, где P_i — доля каждого вида в сообществе по численности или биомассе.

Поскольку и индексы сапробности, и индексы видового разнообразия отражают изменения зоопланктонного сообщества, то целесообразно использовать оба эти подхода параллельно. Индексы сапробности (Макрушин, 1974) и индексы видового разнообразия Шеннона рассчитаны компьютерным методом (Pentium-100) с помощью оригинальной программы С.В.Тихонова «Интегрированная система обработки гидробиологической информации», разработанной в лаборатории экологического мониторинга Ярославского университета.

Следует отметить, что наличие многолетних исследований зоопланктонного сообщества озера позволяет проследить изменения его

структуры в плане мониторинга, происходящие под влиянием антропогенных факторов. Наиболее ранние фрагментарные данные приведены в работах Линко (1903), Кучина (1909), Арнольда (1925), Мосевича (1930). Более подробное изучение кормовой базы началось с 1950-х годов. Эти материалы приведены в работах (Киселевой, 1952; Пидгайко, 1969). С 1970-х годов зоопланктон озера исследуется несколькими научными организациями, в том числе регулярные комплексные исследования с 1975 года проводятся лабораторией ГосИИОРХ [13, 16–22].

Краткая характеристика озера и качество воды

Озеро Белое — крупный мелководный водоем, сформировавшийся на месте деградации обширных послеледниковых водоемов около 10 тыс. лет назад. Озеро Белое располагается на склонах Балтийского щита и Московской синеклизы, в переходной зоне к Русской платформе.

Площадь водоема составляет 1284 км², средняя глубина — 4,1 м. Для озера характерна округлая форма. Котловина озера не имеет четко выраженной литорали. Дно ровное, плоское и однообразное. Береговая линия слабоизрезанная с наличием узкого пояса растительности, составляющего всего 1% от общей площади акватории [1]. В период открытой воды вследствие мелководности и своеобразной формы озеро подвергается интенсивному волновому перемешиванию.

Для озера Белого характерна низкая минерализация воды и по классификации И. В. Баранова (1961) его относят к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Это связано с литологическим составом пород (карбонатные материнские породы), а также питанием подземными водами гидрокарбонатно-сульфатного состава.

Следует отметить, что в озеро поступает с водосборной площади через поверхностный сток и воздушный перенос большое количество биогенов и аллохтонных органических веществ. В настоящее время о накоплении органики в оз. Белом свидетельствуют высокие значения таких гидрохимических показателей, как биохимическое потребление кислорода, перманганатная и бихроматная окисляемость, содержание биогенов. Например, в воде оз. Белого выявлено в значительном количестве несколько форм азота: нитраты, нитриты, аммонийный азот.

Помимо органического, озеро Белое подвержено значительному токсикологическому загрязнению. Особенно распространенными токсикантами являются тяжелые металлы, пестициды, нефтепродукты

[14]. Значительная доля загрязняющих веществ попадает в озеро через рр. Кема, Куносъ, Киснема.

Результаты исследований

Зоопланктон оз. Белого представлен типичными видами, характерными для водоемов Северо-Запада. Он включает в себя представителей из трех групп: ветвистоусые, веслоногие, коловратки (табл.1).

Основной комплекс доминирующих видов представлен видами из рр. *Diaptomus*, *Mesocyclops*, *Daphnia*, *Bosmina*, *Chydorus*, *Brachionus*, *Kellicotia*, *Keratella*. Среди веслоногих ракообразных доминирующее положение занимают циклопы в основном за счет *Mesocyclops leuckarti*. Субдоминантное место по количественным показателям занимает группа клadoцер за счет *Bosmina longispina*, *B. coregoni*, *B. obtusirostris*, *Daphnia cucullata*, *D. cristata*, *Limnosedalia frontosa*, *Diaphanosoma brachyurum*. По сравнению с 1970-ми годами комплекс доминирующих видов несколько сузился. В настоящее время значительное развитие получают виды-индикаторы усиливающегося загрязнения [3].

Как показывает анализ литературных источников, к наиболее характерным организмам-индикаторам загрязнения воды относятся виды из группы коловраток [7, 8, 12]. В результате наших исследований показано, что наиболее устойчивыми к загрязнению воды оз. Белого являются следующие виды: среди коловраток — это *Brachionus calyciflorus*, *B. angularis*, *Bipalpus hudsoni*, *Kellicotia longispina*, *Keratella quadrata*, *Asplanchna priodonta*; среди ветвистоусых — *Chydorus sphaericus*, среди веслоногих — *Mesocyclops leuckarti*.

Оценка состояния зоопланктонного сообщества оз. Белого позволила определить наиболее загрязненные участки акватории. Это район вблизи крупных населенных пунктов, таких, как г. Белозерск, с. Лишин Бор, а также обводной канал и зона фарватера (схема 1).

Следует подчеркнуть, что эта тенденция повышенного загрязнения наиболее эксплуатируемых участков озера сохраняется начиная с 1970 х годов [20–22]. По материалам проб нами были рассчитаны показатели изменения структуры планктона, свидетельствующие об ухудшении качества воды озера. Отмеченное повышение показателей сапробности в первую очередь связано со значительным содержанием органических веществ в воде озера и соответственно улучшением условий для питания детритофагов. На участках с высокими показателями индекса сапробности

наблюдается повышение численности зоопланктона в основном за счет массового развития мелких видов — показателей загрязнения и эвтрофирования водоема. В целом наибольшие значения индекса сапробности, что соответствует высокому локальному загрязнению, выявлены в летний период вблизи Липина Бора (ст.1), в районе фарватера (ст.3) и напротив г. Белозерска (ст.5, 6).

Повышение численности видов-сапробионтов сопровождается угнетением других видов, плохо переносящих последствия органического загрязнения. Соответственно уменьшается их доля в сообществе как по численности, так и по биомассе, и видовое разнообразие снижается. Это отражается в снижении значений индексов разнообразия в зонах загрязнения, для которых напротив характерны высокие индексы сапробности. Особенно показательно уменьшение индексов разнообразия, рассчитанных по биомассе видов в зонах повышенной сапробности, так как значительную долю занимают мелкие формы из группы коловраток (табл.2).

Выявлена динамика колебаний (в противофазе) обоих индексов в сезонном аспекте, отражающая изменения степени органического загрязнения в разные периоды по акватории озера (схема 1). Так, весной наиболее высокие индексы сапробности и соответственно низкие значения видового разнообразия наблюдаются в районах озера, прилегающих к фарватеру (ст.3, 4). В летний период локальный очаг загрязнения, судя по значениям индексов, распространяется от фарватера в сторону крупных населенных пунктов — Белозерска и Липина Бора (ст.1, 2, 4, 6). Осенью наибольшая степень загрязнения воды сохраняется в районах этих крупных населенных пунктов.

Кроме того, прослеживается межгодовая динамика степени органического загрязнения озера Белого. Наиболее высокая органическая нагрузка выявлена летом 1989 года, в летне-осенний период 1991 года, осенью 1992, 1995 годов. Этим периодам соответствуют повышенные значения индексов сапробности от 1,75 до 2,3 при массовом развитии таких видов, как *Kellicotia longispina*, *Brachionus angularis*, *B. calyciflorus*, *Asplanchna priodonta*, *Chydorus spaericus*, *Mesocyclops leuckarti*. Устойчивый очаг загрязнения в основном приурочен к крупным населенным пунктам (г. Белозерск) и к зонам акватории озера вдоль Волго-Балтийской трассы. Обобщение данных за 1990-е годы свидетельствует о постоянном существовании двух зон повышенной сапробности воды (схема 2).

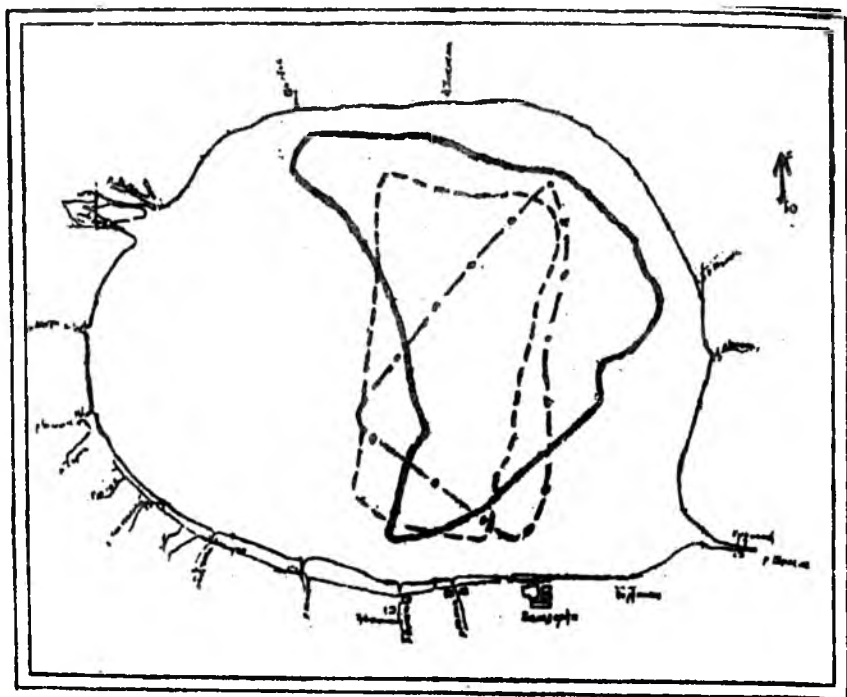


Схема 1. Сезонные изменения индекса сапробности воды оз. Белого по состоянию зоопланктона

Условные обозначения:

- в летний период
- · - · - в весенний период
- в осенний период

Следует также подчеркнуть, что Белое озеро, как мелководный водоем с простой конфигурацией береговой линии, легко доступен ветровому перемешиванию. Поэтому в зависимости от направления ветров в период открытой воды очаг загрязнения может смещаться в северо-западную часть водоема (схема 1).

В целом высокие значения индексов сапробности отражают большую степень органического загрязнения акватории озера Белого. Например, в

весенний период эти показатели колеблются от 1,26 до 1,54, в летний — от 0,53 до 1,75, осенью — от 1,38 до 1,7. Минимальные значения индекса (1,0) приходятся на осень, а максимальные (2,3) — на летний период. Такой размах колебаний индексов сапробности от 1,5 до 2,5 соответствуют α -мезосапробному классу загрязнения вод. Другими словами, озеро Белое можно отнести к водоемам со средней загрязненностью вод.

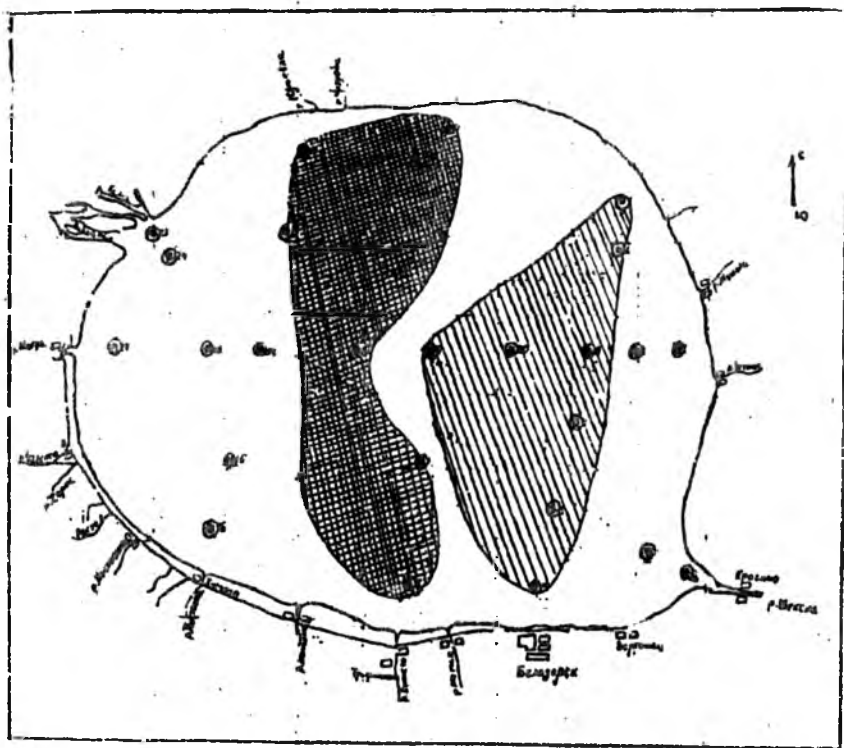


Схема 2. Зоны повышенной сапробности воды оз. Белого.

Таким образом, анализ имеющихся данных по зоопланктону позволяет оценить качество воды оз. Белого и классифицировать его в настоящее время как α - β -мезосапробный водоем.

Заключение

Озеро Белое является крупным водоемом, имеющим большую промысловую, экономическую, эстетическую ценность. Как и многие другие водные экосистемы, озеро Белое подвергается интенсивному антропогенному прессу, что ухудшает качество воды озера и усиливает процесс его эвтрофирования. Это, в свою очередь, сказывается на жизнедеятельности гидробионтов и отражается на всех трофических уровнях экосистемы, где наиболее чувствительным является зоопланктонное сообщество.

Проведенная оценка качества воды озера Белого по состоянию зоопланктона с применением рассчитанных индексов сапробности и видового разнообразия позволяет сделать следующие выводы:

— подтверждена устойчивость локальных очагов органического загрязнения в районах озера, прилегающим к крупным населенным пунктам, в обводном канале и по трассе Волго–Балта;

— эти районы характеризуются развитием зоопланктеров, хорошо переносящих загрязнение и последствия эвтрофирования pp. *Bosmina*, *Chydorus*, *Brachionus*, *Kellicotia*, *Keratella*;

— массовое развитие видов–индикаторов отмечено в весенне–летний период;

Анализ состояния зоопланктона позволил оценить качество воды оз. Белого и классифицировать его в настоящее время как α – β –мезосапробный водоем.

Таблица 1

Список видов зоопланктона озера Белого за 1990–е годы

ROTATORIA (коловратки):

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. <i>Asplanchna priodonta</i> | 13. <i>Conochilus hippocrepis</i> |
| 2. <i>Bipalpus hudsoni</i> | 14. <i>Trichocerca capucina</i> |
| 3. <i>Kellicotia longispina</i> | 15. <i>Synchaeta pectinata</i> |
| 4. <i>Brachionus calyciflorus</i> | 16. <i>Filinia longiseta</i> |
| 5. <i>Brachionus angularis</i> | |
| 6. <i>Keratella quadrata</i> | |
| 7. <i>K. cochlearis</i> | |
| 8. <i>K. quadrangularis</i> | |
| 9. <i>Polyatra luminosa</i> | |
| 10. <i>P. dolichoptera</i> | |
| 11. <i>P. vulgaris</i> | |
| 12. <i>Conochilus unicornis</i> | |

COPEPODA (веслоногие):

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 17 <i>Acanthocyclops viridis</i> | 23 <i>M. oithonoides</i> |
| 18 <i>Macrocylops albidus</i> | 24 <i>M. crassus</i> |
| 19 <i>Cyclops scutifer</i> | 25 <i>Eucyclops serrulatus</i> |
| 20 <i>C. strenuus</i> | 26 <i>Eudiaptomus gracilis</i> |
| 21 <i>C. vicinus</i> | 27 <i>E. graciloides</i> |
| 22 <i>Mesocyclops leuckarti</i> | 28 <i>Heteroscope appendiculata</i> |

CLADOCERA (ветвистоусые):

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 29 <i>Alona affinis</i> | 40 <i>Ceriodaphnia affinis</i> |
| 30 <i>A. quadrangularis</i> | 41 <i>Campocercus rectirostris</i> |
| 31 <i>Acroperus harpae</i> | 42 <i>Leptodora kindtii</i> |
| 32 <i>Bosmina coregoni coregoni</i> | 43 <i>Limnosedra frontosa</i> |
| 33 <i>Bosmina coregoni hibernica</i> | 44 <i>Runcotulona costata</i> |
| 34 <i>B. obtusirostris</i> | 45 <i>Pleuroxus aduncus</i> |
| 35 <i>B. longirostris</i> | 46 <i>Pl. uncinatus</i> |
| 36 <i>Daphnia cristata</i> | 47 <i>Chydorus ovalis</i> |
| 37 <i>D. cucullata</i> | 48 <i>Ch. spauricus</i> |
| 38 <i>D. longiremis</i> | 49 <i>Sida crystallina</i> |
| 39 <i>Diaphanosoma brachyurum</i> | |

Таблица 2

Сезонная динамика индекса сапробности воды, индекса видового разнообразия зоопланктона оз. Белого в среднем за 1990-е годы

№ станции	Весна			Лето			Осень		
	H(N)	H(B)	S	H(N)	H(B)	S	H(N)	H(B)	S
1	2,50	1,90	1,47	1,89	1,54	1,75	1,88	1,00	1,49
2	1,87	1,66	1,32	1,97	1,40	1,46	1,88	1,47	1,67
3	1,74	1,06	1,54	2,15	1,41	1,60	2,00	1,50	1,49
4	0,80	1,80	1,43	1,89	1,50	1,59	1,82	1,32	1,60
5	2,28	2,11	1,32	2,10	0,34	1,62	1,85	1,55	1,50
6	1,80	1,80	1,31	1,90	0,54	1,54	1,92	1,35	1,70
7	1,69	1,44	1,26	1,70	0,84	0,53	1,90	1,80	1,38
8	1,39	0,57	1,28	1,90	1,04	0,41	2,00	1,32	1,45
9	1,38	1,60	1,26	2,34	1,95	1,51	2,00	1,48	1,70
10	1,58	0,86	1,28	1,96	1,41	1,41	2,10	1,10	1,60
11	2,07	0,73	1,26	2,23	1,97	1,50	2,00	1,70	1,39
12	1,69	0,71	1,30	1,74	1,20	1,33	1,70	1,70	1,70

Примечание: H(N) — индекс разнообразия по численности; H(B) — индекс разнообразия по биомассе; S — сапробность воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антропогенное влияние на крупные озера Северо-Запада СССР. Ч. II: Гидробиология и донные отложения озера Белого Л.: Наука, 1981. С.77–100, 176–181.
2. Болотова Н.Л. Изменение качества воды водоемов Вологодской области за 20-летний период // Тез.докл. Всерос. совещ. «Экологические проблемы Севера Европейской территории России». Апатиты, 1996. С.45–46.
3. Думнич Н.В. Изменение состояния зоопланктона оз. Белого за 20-летний период // Тез.докл. X конференции молодых ученых. Борок, 1997.
4. Зуянова О.В., Болотова Н.Л. Мониторинг за изменением состояния водных экосистем Вологодской области при антропогенном воздействии. Псков, 1996.
5. Киселев Н.А. Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. М., 1969.
6. Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР. М.; Л.: Наука, 1964. С.103–315.
7. Макарецва Е.С. Видовой состав, численность и биомасса зоопланктона // Реакция экосистем озер на хозяйственное преобразование их водосборов. Л.: Наука, 1983. С.100–106.
8. Макарецва Е.С. Изменения структуры и качественных показателей при повышении уровня трофии озер // Изменение структуры экосистем озер в условиях возрастающей антропогенной нагрузки. Л., 1988. С.221–241.
9. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод / Под ред. Г.Г.Винберга. Л., 1974. 60 с.
10. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С.138–158.
11. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.
12. Методы биологического анализа пресных вод. Сборник ЗИН АН СССР. Л., 1976. С.68–95.
13. Отчет «Состояние рыбных ресурсов крупных водоемов Вологодской области — озера Белое, Кубенское, Воже, Шекснинского водохранилища». Фонды ГосНИОРХ. Вологда, 1995–1996 гг. 169 с.
14. Перечень ПДК и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов [сост. Анисимова С.Н. и др.]. М.: Колос, 1993. 142 с.
15. Пидгайко М.Л. Зоопланктон Белого озера в связи с рыбохозяйственным значением водоема. Изв. ГосНИОРХ Т.65. 1969.
16. Пихтова Т.С. Количественная оценка трофических связей между зоопланктоном и рыбами планктофагами в большом мелководном водоеме Северо-Запада СССР (на примере оз. Белого). Автореферат диссертации на соиск. уч. степени канд. биол. наук Л., 1983. 29 с.
17. Пихтова Т.С. Зоопланктон Белого озера и его значение в питании рыб-планктофагов // Биологические ресурсы водоемов Вологодской области, их охрана и рациональное использование. Вологда, 1978. С.32–34.
18. Пихтова Т.С. Экология и основные черты биологии массовых видов зоопланктона озера Белого // Сб. научн. тр. ГосНИОРХ «Биологические ресурсы и рациональное использование водоемов Вологодской области» Л., 1989. С.29–39.

19 Пихтова Т.С. Значение зоопланктона в питании рыб-планктофагов // Антропогенное влияние на крупные озера Северо-Запада СССР. Ч. 2. Гидробиология и донные отложения озера Белого. Л.: Наука, 1981. С.100-109.

20. Ривьер И.К. Зоопланктон водоемов трассы переброски северных рек // Биологические ресурсы водоемов Вологодской области, их охрана и рациональное использование Вологда, 1978. С.26-29.

21. Ривьер И.К. Современное состояние зоопланктона водоемов Волго-Балтийской и Северо-Двинской водных систем // Экологические исследования водоемов Волго-Балтийской и Северо-Двинской систем. Л.: Наука, 1982. С.90-103.

22. Ривьер И.К., Курдин В.П. О зоопланктоне некоторых мутных водоемов Волго-Балтийской водной системы // Экологические исследования водоемов Волго-Балтийской и Северо-Двинской систем. Л.: Наука, 1982. С.104-111.

23. Margalef R. Correspondence between the classic types of lakes and the structural and dynamics properties of their population. — Verh.Internat.Verein.Limnol., 1964, v.15, pt 1, p.169-175.