

УДК 574.583(285.2):591

ЗООПЛАНКТОН МАЛЫХ ОЗЕР ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ УРОВНЕ pH И ГУМИФИКАЦИИ

© 1996 г. В. И. Лазарева

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН
152742 п. Борок, Некоузский район, Ярославская обл.

Поступила в редакцию 25.11.92 г.

В 1990 - 1991 г. исследован зоопланктон 13 небольших озер и нескольких ламб в южной Карелии. Проанализированы изменения по градиенту pH и гумификации состава и структуры пелагических доминантных комплексов.

С начала 70-х годов в экологической литературе интенсивно обсуждается проблема антропогенного закисления поверхностных вод, наблюдающегося во многих регионах Голарктики и связанного с промышленными выбросами в атмосферу соединений серы и азота. В Европе к числу областей, наиболее чувствительных к кислым атмосферным осадкам, наряду со Скандинавией относят Карелию (Абакумов и др., 1985; Skjelkvale, Wright, 1990).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В августе 1990 г. комплексной экспедицией Института биологии внутренних вод были исследованы 13 небольших разнотипных озер с площадью водного зеркала 1 - 10 км², а также несколько ламб в южной Карелии. В июне 1991 г. на большинстве этих водоемов были проведены повторные наблюдения для оценки уровня закисления и выявления его последствий для экосистем озер. Настоящая работа посвящена анализу изменений по градиенту pH состава и структуры зоопланктонных комплексов пелагиали этих водоемов.

Сборы зоопланктона проводили в центральной части озер с лодки. Для лова ракообразных и коловраток *Asplanchna* использовали малую модель сети Джеди с диаметром входного отверстия 115 мм и ситом № 47. Мелких коловраток и науплиусов копепод учитывали в пробах из батометра Руттнера с последующим отстаиванием. Облавливали вертикальный столб воды от дна до поверхности. Помимо количественных уловов планктона, практиковали качественные горизонтальные в слое 0 - 1 м с использованием сети Джеди, которая протягивалась за лодкой несколько десятков метров, что позволяло более полно учитывать редкие и малочисленные формы. Сборы из разных участков озера объединяли и обрабатывали как одну интегральную пробу. Материал

фиксируют 4%-ным раствором формалина, камеральную обработку проводили согласно принятой в гидробиологии методике¹.

Трофический статус водоемов определяли по концентрации в воде общего азота и фосфора, используя для этого шкалу Р. Волленвейдера (Vol-lenweider, 1979). В качестве косвенного показателя трофности применяли индекс "Е", основанный на соотношении индикаторных видов зоопланктона и хорошо соответствующий оценкам типа озер по содержанию хлорофилла "а" (Мязметс, 1980).

Определение сходства структур доминантных комплексов зоопланктона проводили с помощью индекса Чекановского-Сьеренсена в форме "b" (Песенко, 1982). Полученные величины классифицировали методом кластерного анализа, объединение сообществ в группы проводили по максимальному значению индекса сходства. Показателем таксономического разнообразия сообществ служил информационный индекс Шеннона (H), долю зоопланктеров рассчитывали по биомассе. Различия по числу видов и количеству зоопланктона в разных группах озер оценивали с использованием статистики Стьюдента при уровне значимости не более 5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

Общая характеристика озер

Исследованные водоемы относятся к двум группам, территориально приуроченным к различным ландшафтам. Первая группа (11 озер) расположена в центральной части Онего-Ладожского перешейка, которая характеризуется сложным расчлененным рельефом водно-ледникового аккумулятивного типа (Бискэ, 1959). Располо-

¹ Выражаю благодарность ст. н. сотруднику ИБВВ В.Т. Кому, который предоставил данные по химическому составу вод.

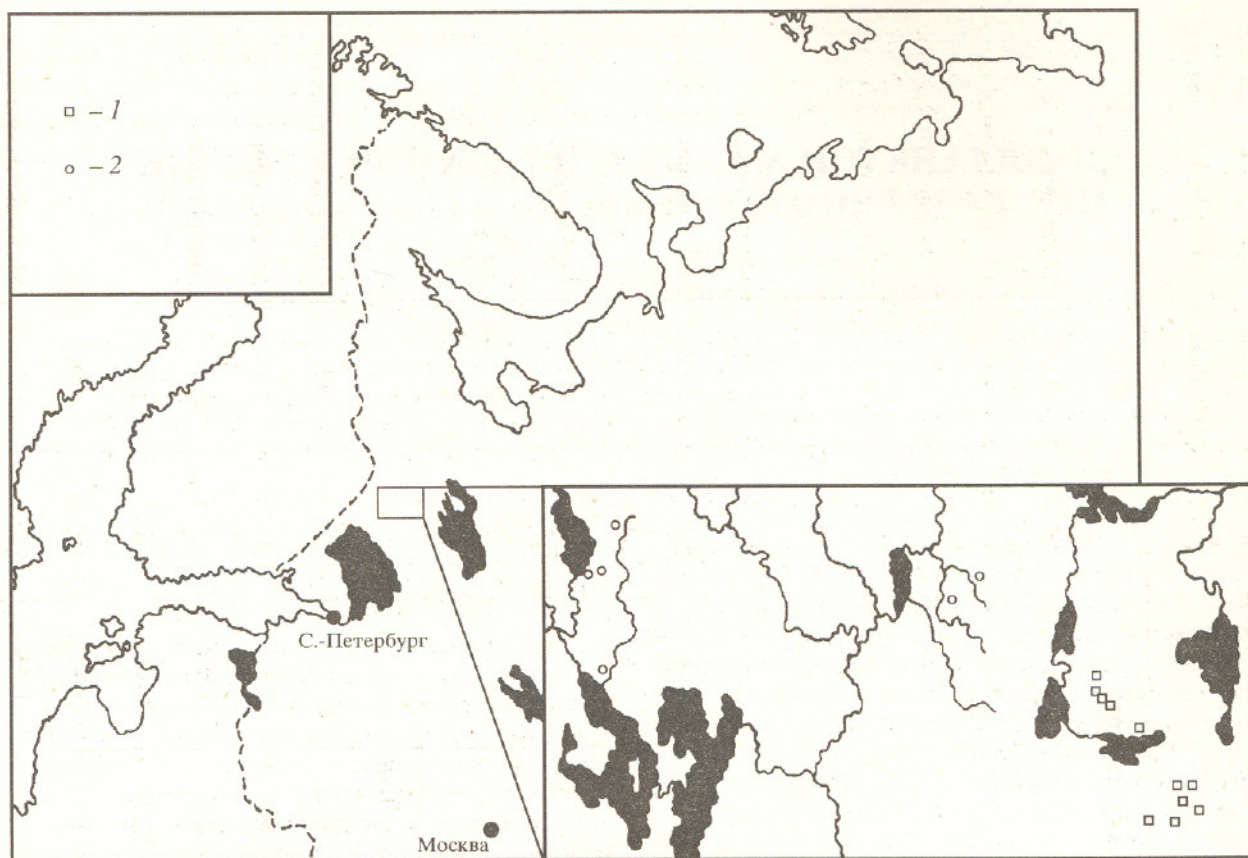


Рис. 1. Карта-схема района исследований: 1 – озера Вендюрско-Вохтозерской системы, 2 – верховья р. Шуи.

женные здесь водоемы (рис. 1) входят в Вендюрско-Вохтозерскую систему озер, лежащую на водоразделе рек Суны и Шуи в их среднем течении, и относятся к бассейнам этих рек². Озера светловодные с цветностью воды не выше 30 град. (3 - 25 град.) и содержанием растворенного органического вещества (РОВ) 1.4 - 2.9 мгС/л. Среди них встречаются как олиготрофные и ультраолиготрофные водоемы, так и типично мезотрофные озера, что характерно для данного района (Герд, 1961). Диапазон рН их вод составляет 4.3 - 8.4, большинство озер характеризуются уровнем рН 5 - 6 и выше, минимальные значения этого показателя (рН < 5) отмечены в ламбах (табл. 1).

Вторая группа включает шесть водоемов в верховьях р. Шуи в пределах Западно-Карельской возвышенности. Здесь преобладают грядовый и крупногрядово-холмистый типы рельефа с высотами 180 - 300 м. Меньшую площадь занимают моренные и озерно-ледниковые равнины на высоте 150 - 200 м, частично занятые верховыми болотами (Бискэ, 1959). Исследованные озера этого района относятся к бассейнам рек Ирста,

Кялькяеки и Вегарусеки – притоков р. Шуи. Они сильно гумифицированы (цветность 105 - 186 град., РОВ 9.6 - 12.0 мгС/л) и в большинстве своем могут быть отнесены к дистрофному типу, хотя встречаются мезотрофные и водоемы переходного класса (см. табл. 1). Значения рН воды варьируют от 4.7 до 6.7. Высокая степень закисления вод (рН 5 и ниже) характерна не только для ламб, но и для многих проточных озер, например самое крупное оз. Вегарусъярви.

Доминантные комплексы зоопланктона

В исследованных озерах найдено 65 видов зоопланктона (Cladocera – 26, Copepoda – 16, Rotatoria – 23), к более или менее многочисленным относятся 27. Кластерный анализ сходства доминантных комплексов позволяет выделить три группы ракообразных-доминантов (табл. 2) и четыре группы коловраток (табл. 3), формирование которых зависит от величины рН воды. Состав массовых видов коловраток, кроме того, заметно отличается в наиболее эвтрофированных светловодных озерах, доминантные комплексы которых выделяются в отдельную группу.

Первая группа ракообразных с доминантами *Mesocyclops leuckarti* и *Eudiaptomus gracilis*

² Орографические районы приводятся по Г.С. Бискэ (1959), гидрография – по С.В. Григорьеву, Г.Л. Грицевской (1959).

Таблица 1. Общая характеристика озер

Озеро	Площадь, км ²	Проточность	pH	Цветность, град	Р _{ОВ} , мгС/л	N _{общ} , мгN/л	P _{общ} , мгP/л	Индекс E	Трофический статус
Вендюрско-Вохтозерская группа									
1. Саргозеро	2.0	Проточное	7.9 - 8.9	25	2.9	0.35	0.026	0.88	Мезотрофное
2. Вендюрское	10.0	»	7.1	23	2.8	0.50	0.036	0.14	Олиго-мезотрофное
3. Урос	4.3	Сточное	5.9 - 6.2	9	2.0	0.24	0.011	0.13	Ультраолиготрофное
4. Гейкалампи	—	Проточное	6.2	—	—	—	—	0.19	Мезотрофное (?)
5. Ротчозеро	1.3	»	6.0	—	—	—	—	—	—
6. Лангозеро	1.0	Бессточное	5.8	—	—	—	—	0.11	Олиготрофное
7. Чучъярви	1.1	»	5.0 - 5.1	8	1.9	0.28	0.012	0.03	Ультраолиготрофное
8. Голубая ламба	0.3	»	4.1 - 4.6	3	—	0.39	0.006	0.08	»
9. Грушина ламба	—	»	4.6	3	—	—	—	0.16	Олиготрофное
10. Ламба 1	—	»	4.5	—	—	—	—	0.15	»
11. Ламба 2	—	»	4.6	—	—	—	—	0.06	»
Озера верховьев р. Шуи									
12. Тетрозеро	2.6	Проточное	6.7	—	—	—	—	0.18	Олиго-мезотрофное
13. Кабозеро	2.1	Сточное	5.5 - 6.2	141	9.6	0.52	0.024	0.24	Мезотрофное
14. Вегарус	13.7	Проточное	5.2 - 5.3	105	62.7	0.48	0.016	0.13	Дистрофное
15. Вуонтеленъярви	3.9	»	4.6 - 5.0	186	12.2	0.46	0.023	0.05	»
16. Юля-Кялькярви	1.0	»	4.6 - 4.8	171	11.3	0.42	0.027	0.04	»
17. Ламба 3	—	»	4.7	182	12.0	0.55	0.024	0.23	Мезо-дистрофное

Таблица 2. Доминантные комплексы ракообразных в озерах Карелии

Дендрограмма и № озера (табл. 1)	pH	Группа доминантов	Состав	Доля в планктоне % от общей численности
	12	6.7	I	<i>Mesocyclops leuckarti</i> 26 ± 7 <i>Eudiaptomus gracilis</i> 25 ± 5 <i>Daphnia cristata</i> 15 ± 3 <i>Mesocyclops oithonoides</i> 9 ± 4
	14	5.3		
	15	4.8		
	1	8.4		
	2	7.1		
	6	5.8		
	3	6.1	II	<i>Mesocyclops oithonoides</i> 36 ± 9 <i>Bosmina obtusirostris</i> 20 ± 7 <i>Eudiaptomus graciloides</i> 20 ± 13
	5	6.0		
	7	5.1		
	16	4.7		
	13	5.9		
	17	4.7	III	<i>Bosmina obtusirostris</i> 59 ± 14 <i>Diaphanosoma brachyurum</i> 13 ± 10 <i>Holopedium gibberum</i> 12 ± 5
	11	4.6		
	9	4.6		
	8	4.3		
	10	4.5		
	4	6.2		

Таблица 3. Доминантные комплексы коловраток в озерах Карелии

Дендрограмма и № озера (табл. 1)	pH	Группа доминантов	Состав	Доля в планктоне % от общей численности
	1	8.4	I	<i>Polyarthra major</i> or <i>luminosa</i> 30 ± 20 <i>Keratella cochlearis</i> 28 ± 1 <i>Trichocerca cylindrica</i> 21 ± 21
	2	7.1		
	13	5.9		
	5	6.0	II	<i>Conochilus hyppocrepis</i> 75 ± 14 <i>Asplanchna priodonta</i> 16 ± 16
	14	5.3		
	3	6.1	III	<i>Kellicottia longispina</i> 61 ± 11 <i>Asplanchna priodonta</i> 9 ± 5 <i>Polyarthra minor</i> 15 ± 9
	4	6.2		
	15	4.8		
	6	5.8		
	12	6.7		
	7	5.1	IV	<i>Polyarthra vulgaris</i> 77 ± 8
	8	4.3		
	11	4.6		
	16	4.7		
	17	4.7		
	9	4.6		
	10	4.5		

(табл. 2) формируется в водоемах в основном с pH > 6. Она представлена комплексом видов, характерных для небольших полимиктических циркум-нейтральных озер таежной зоны (Пидгайко,

1984; Салазкин, 1976). Особенностью гумифицированных водоемов этого типа является массовое развитие *Mesocyclops oithonoides*, отсутствующего в числе доминантов светловодных озер (рис. 2).

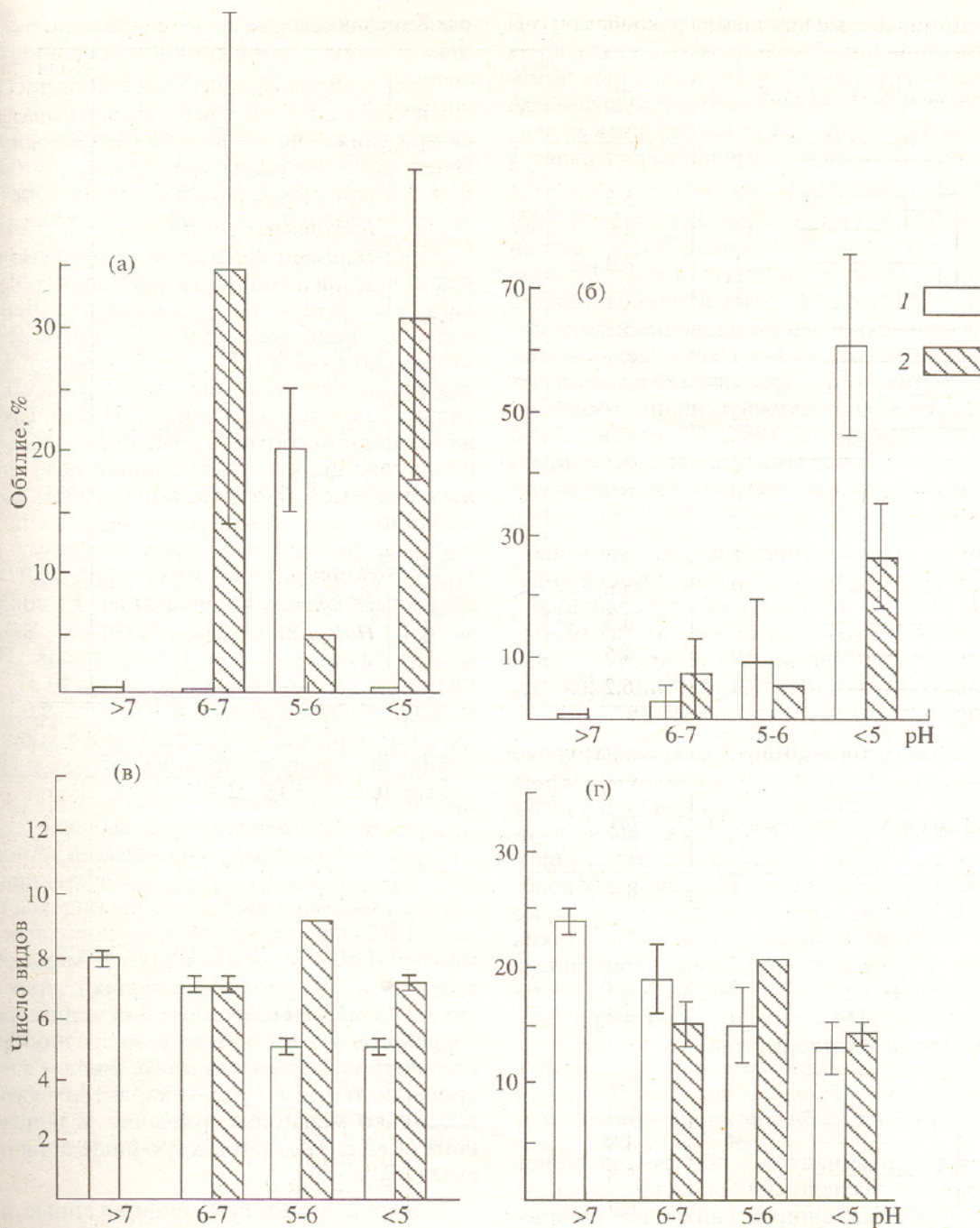


Рис. 2. Относительное обилие *Mesocyclops oithonoides* (а) и *Bosmina obtusirostris* (б), количество доминантов (в) и общее число видов (г) в озерах Карелии. 1 – светловодные озера, 2 – гумифицированные водоемы.

Коловратки в водоемах с $\text{pH} > 6$ представлены в основном двумя группами доминантов: I – с *Keratella cochlearis*, *Polyarthra major* or *luminosa* и III – с *Kellicottia longispina* (см. табл. 3). Кроме того, в олиготрофных водоемах нередко развиваются комплексы с *Conochilus hyppocrepis* в качестве ценозообразующего вида (II группа).

В проточных озерах при $\text{pH} 4.7 - 6$ обитает комплекс рачкового планктона во главе с *Mesocyclops oithonoides* (II группа) и рядом ацидотолер-

рантных видов в качестве субдоминантов (см. табл. 2). Причем здесь, в отличие от предыдущей группы доминантов, *M. oithonoides* получает преимущественное развитие в светловодных водоемах (см. рис. 2). При $\text{pH} < 6$, как правило, *Eudiaptomus gracilis* замещается близким видом *Eudiaptomus graciloides*, а в ряде озер диаптомиды вообще отсутствуют среди доминантов, хотя в некоторых сравнительно крупных гумифицированных озерах (Вегарусъярви, Вуонтеленъярви) мас-

совое развитие *E. gracilis* наблюдается при pH 4.8 - 5.3. Ведущие виды коловраток в этих озерах представлены группами II и IV, в которых доминируют *Conochilus hyppocrepis* или *Polyarthra vulgaris*. Последний формирует сообщества наиболее закисленных водоемов, где часто развивается монокультура этого вида.

В сильно закисленных водоемах с pH < 4.7 доминируют кладоцеры (III группа). Здесь ценозобразующим видом чаще всего бывает *Bosmina obtusirostris* — ацидофил, относительное обилие которого в планктоне как светловодных, так и гумифицированных озер резко возрастает при снижении pH (см. рис. 2). Положение его в доминантном комплексе может служить индикатором закисления вод (Лазарева, 1994; Салазкин, 1976). Эвпланктонные коловратки этих водоемов представлены почти исключительно *Polyarthra vulgaris* (IV группа).

В целом состав и соотношение видов-доминантов существенно отличаются в зависимости от величины pH воды. В то же время светловодные и гумифицированные озера, в особенности с pH < 6, характеризуются сходными доминантными комплексами. В этом случае варьирует лишь количественная представленность доминантов.

Обращает на себя внимание отсутствие среди доминантов практически во всех исследованных озерах крупных пелагических дафний (*Daphnia galeata*, *D. cucullata*, *D. hyalina*), снижение численности которых нередко связывают с закислением (Brett, 1989). Однако в малых мелководных водоемах даже при pH выше 7 указанные виды редко бывают многочисленными, обычно в таких озерах род *Daphnia* представлен эврионным *Daphnia cristata*. Поэтому в качестве чувствительных к изменению pH в настоящей работе рассматриваются другие зоопланктеры.

Видовое разнообразие сообществ

Число видов-доминантов с обилием не менее 5% суммарного в исследованных озерах варьирует от 2 до 10, но тенденция к снижению количества ведущих форм зоопланктона при закислении прослеживается только в светловодных. При pH < 6 число доминантов в гумифицированных водоемах становится заметно большим, чем в светловодных (рис. 2, в). Общее количество видов, обнаруженных в интегральной пробе за одну дату наблюдений, колеблется от 8 до 25, а максимальная величина (24 ± 1) отмечена в светловодных мезотрофных озерах с pH > 7. В диапазоне pH 4.3 - 6.7 число видов различается мало и варьирует от 13 ± 2 до 19 ± 3 (рис. 2, г); то же отмечалось нами ранее для озер юга Вологодской области (Лазарева, 1993). Снижение общего числа видов, как и количества доминантов, с ростом

степени закисления более выражено в светловодных водоемах, чем в гумифицированных.

Таким образом, как общее количество видов, так и число доминантов более заметно изменяются при снижении pH воды в светловодных озерах Вендюрско-Вохтозерской группы. В полигумозных водоемах верховьев р. Шуи эти показатели остаются стабильными во всем диапазоне pH воды.

Проведенный нами анализ таксономического разнообразия сообществ зоопланктона показывает, что средние значения индекса Шеннона для озер с pH воды выше и ниже 6 почти не различаются (2.20 ± 0.2 и 1.89 ± 0.2 соответственно) и остаются сравнительно высокими (1.85 ± 0.2) даже в сильно закисленных озерах (pH < 5). Его величина в основном соответствует приводимой для зоопланктона циркум-нейтральных мезо- и эвтрофных водоемов (Андроникова, 1992), хотя большинство исследованных озер и почти все ацидные относятся к олиготрофному или дистрофному типам. В ацидных озерах (pH < 6) резко возрастает размах колебаний этого показателя — коэффициент вариации достигает 40% против 25% в слабокислых и нейтральных. Наиболее низкие значения индекса Шеннона (0.31 - 1.06) отмечены в двух озерах с pH < 5 (Чучъярви и Голубая ламба); в других при том же уровне закисления они мало отличались от наблюдаемых в нейтральных (2.18 - 2.47).

Сравнительно интересно выглядит сопоставление по показателю разнообразия зоопланктона озер с различным уровнем гумификации. В этом случае максимальные значения индекса Шеннона (2.53 ± 0.2) наблюдаются в светловодных олиго- и мезотрофных водоемах с pH > 6, минимальные — в олиго- и ультраолиготрофных озерах этой же группы с pH < 6 (1.70 ± 0.2). В гумифицированных озерах при закислении видовое разнообразие зоопланктона изменяется мало, причем здесь мезотрофные озера с pH > 6 характеризуются даже несколько меньшими значениями индекса Шеннона (1.83 ± 0.3), чем дистрофные ацидные водоемы (2.21 ± 0.3).

Следовательно, гумифицированные и светловодные озера по показателю видового разнообразия зоопланктона хорошо различаются во всем диапазоне pH. Сообщества полигумозных озер с pH > 6 характеризуются более низкими индексами Шеннона, чем такие же водоемы светловодной группы, и наоборот, при pH < 6 этот индекс выше в гумифицированных.

Обилие зоопланктона

Общее количество зоопланктона летом в исследованных озерах колеблется от 25 до 2115 тыс. экз./м³ при биомассе 0.1 - 6.5 г/м³. Численность в несколько сотен тысяч (200 - 2000 тыс.

экз./м³) обычно наблюдается в мезотрофных водоемах и определяется богатой фауной коловраток. В олиго- и дистрофных озерах зоопланктон представлен главным образом ракообразными; его количество чаще всего не превышает 100 тыс. экз./м³. Более высокие значения летней численности (до 700 тыс. экз./м³) отмечаются только в период массового развития некоторых видов (*Polyarthra vulgaris*, *Kellicottia longispina*, *Conochilus hyppocrepsis*). Мы не нашли достоверных различий по уровню количественного развития зоопланктона при разной степени закисления; светловодные и гумифицированные водоемы по этому показателю также не различались. По-видимому, общее количество зоопланктона определяется в основном трофическим статусом озер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, доминантные комплексы зоопланктона закисленных озер и водоемов с циркум-нейтральным уровнем pH воды в южной Карелии существенно отличаются по составу и структуре. Изменение структурных показателей по градиенту pH более выражено в сообществах светловодных озер Вендюрско-Вохтозерской группы, тогда как состав доминантов сходен в водоемах различных ландшафтов при разном уровне гумификации, в особенности при pH воды ниже 6. Уровень количественного развития зоопланктона зависит в основном от трофического типа озер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов В.А., Казаков Ю.Е., Свирская Н.Л. Гидробиологические последствия антропогенного закисления озер // Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы. Тезисы докладов 3-го Международного симпозиума. Ташкент, 1985. С. 104 - 105.
- Андроникова И.Н. Основные итоги исследований ветвистоусых ракообразных гумифицированных водоемов // Современные проблемы изучения ветвистоусых ракообразных. С.-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. С. 81 - 99.
- Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск: Издательство АН СССР, 1959. 307 с.
- Герд С.В. Озера бассейна реки Шуи // Труды Сямозерской комплексной экспедиции. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1961. Ч. 2. С. 23 - 35.
- Григорьев С.В., Грицевская Г.Л. Каталог озер Карелии. М.; Л.: Издательство АН СССР, 1959. 238 с.
- Лазарева В.И. Число видов и таксономическое разнообразие в сообществах зоопланктона малых озер, подверженных закислению // Зооценозы водоемов бассейна Верхней Волги в условиях антропогенного воздействия. С.-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. С. 3 - 20.
- Лазарева В.И. Трансформация сообществ зоопланктона малых озер при закислении // Структура и функционирование экосистем кислотных озер. С.-Петербург: Наука, 1994. С7 150 - 170.
- Мязметс А.Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 54 - 64.
- Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
- Пидгайко М.Л. Зоопланктон водоемов Европейской части СССР. М.: Наука, 1984. 207 с.
- Салазкин А.А. Основные типы озер гумидной зоны и их биолого-продукционная характеристика. Л.: ГосНИОРХ, 1976. 194 с.
- Brett M.T. Zooplankton communities and acidification processes (a review) // Water, Air and Soil Pollution. 1989. V. 44. P. 387 - 414.
- Skjelkvale B.L. and Wright R.F. Overview areas for Western Europe Sensitive to acidification // Fifty Meeting of the Program Task Force, Freiburg, FRG, oct. 1989. Berlin, 1990. P. 15 - 33.
- Vollenweider R. Nährstoffbelastungskonzept als Grundlage für den externe Eingriff Eutrophierungsprozess stehender Gewässer und Talsperren // Wasser und Abwasser Forschung. 1979. № 2. S. 46 - 56.