

УДК 577.472(28)

В. И. Родинов, П. А. Цимдинь, Р. А. Лиепа,
А. И. Рудзога, И. Ю. Друвиетис, Э. А. Пареле,
Д. Г. Мелберга

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА КУБЕНСКОГО

Экологический аспект обоснования водоохранных мероприятий, особенно при планах межбассейнового перераспределения стока, базируется на количественных и качественных характеристиках состава и свойств воды как среды обитания гидробионтов, на структурно-функциональном анализе биотической части водных экосистем, определяющем потенциальную способность биологического самоочищения, а также на оценке качества воды по критериям биоиндикации. К настоящему времени признано, что эколого-санитарная классификация, отражающая структурно-функциональное состояние водных экосистем, слагается из комплекса гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей в рамках определенного типа поверхностных вод [4].

Озеро Кубенское — один из крупных водоемов Вологодской области — находится в переходной области средней тайги и смешанных лесов. Площадь зеркала озера при среднем многолетнем уровне составляет 400 км^2 , средняя глубина — 2,5 м, площадь водосбора — $14\,440 \text{ км}^2$.

Из многочисленных притоков на долю трех крупнейших — Кубены, Уфтиуги и Порозовицы — приходится 95% всего объема речного стока в озеро. Из озера вытекает одна р. Сухона, несущая свои воды в Сев. Двину. Оз. Кубенское входит в состав Северо-Двинского водного пути, который соединяет бассейны Белого, Каспийского и Черного морей.

Впервые комплексные исследования оз. Кубенского проведены Институтом озероведения АН ССР в 1972—1974 годах. Детально разработаны гидрометеорологический режим озера за многолетний период, дана метеорологическая характеристика метеорологических

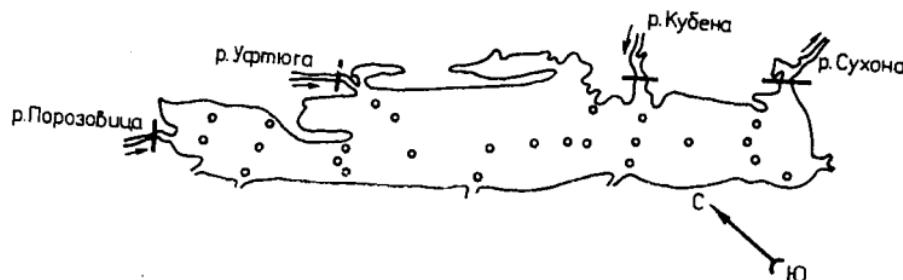


Рис. 1. Схема станций и створов гидрохимических и гидробиологических наблюдений на оз. Кубенском в 1982—1985 гг.

элементов в бассейне озера и над его поверхностью, уровеньный и термический режим озера. Представлены сведения о динамике озера (течения, волнение, сейши, сгонно-нагонные явления) за период исследований. Составлен водный, радиационный и тепловой баланс озера за многолетний период. Гидрохимические и гидробиологические исследования за период 1972—1974 годов освещают особенности гидрохимического режима озера и его биотической части [1—3]. В последующие годы гидрохимические и гидробиологические исследования озера в комплексе не проводились.

В 1982—1985 годы Институтом биологии АН ЛатвССР проведены экспедиционные полевые исследования озера по гидрохимическим (минерализация, ионный состав, содержание органических, биогенных веществ и др.) и гидробиологическим (бактерио-, фитопланктон, зоопланктон, микрозообентос и макрозообентос) показателям на 28 станциях и в створах крупных притоков и истока озера (рис. 1). Данные исследования в вегетационный период при сопоставлении с аналогичными гидрофизическими, трофическими, бактериологическими показателями и данными по сапробности за 1972—1974 годы позволили уточнить современное гидрохимическое и гидробиологическое состояние озера, определить тенденцию изменения уровня его трофности за последнее десятилетие.

Ввиду невозможности организации регулярных круглогодичных наблюдений на озере сравнение гидрохимических и гидробиологических показателей только вегетационного периода вполне оправдано, так как период максимума вегетации наиболее характеризует потенциальные возможности экосистемы озера в трансформации и переработке органических веществ, поступающих как извне, так и образующихся в результате внутриводоемных процессов. Причем в этом случае качество воды наиболее целесообразно характеризовать по минимальным и максимальным значениям гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических показателей, а также по преобладающим показателям.

Исследования 1982—1985 годов проводились при относительной стабильности среднегодового уровня озера около его среднемноголетнего значения (за исключением уровня 1985 г., рис. 2), а во внутригодовом ходе уровней за эти годы отмечалось повышение амплитуд колебаний отклонений среднемесячных уровней, обусловленных повышенными уровнями по сравнению со средними многолетними месяцами холодного периода (зима — начало весны) и пониженными, сравнимыми с экстремально маловодными годами, — в теплый период года (лето—осень). По сравнению с 1972—1974 годами среднегодовой сток из озера в 1982—1985 годы был выше в 1,4—1,9 раза, т. е. за последние годы водообменность озера возросла. Гидрометеорологические условия периодов исследований 1982—1985 годов позволили наблюдать гидро-

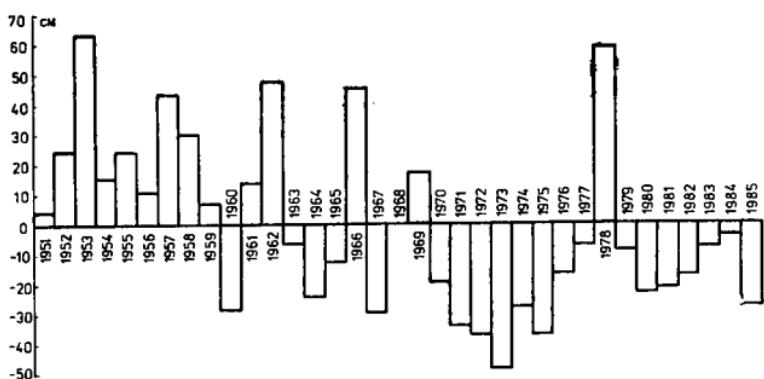


Рис. 2. График отклонений средних годовых уровней оз. Кубенского от среднего за расчетный период (1951—1985 гг.)

1391914

ОБЩАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И ИОННЫЙ СОСТАВ ВОДЫ ОЗ. КУБЕНСКОГО

Год, месяц	Минерализация	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
		мг/л					
1972	149	84,2	26,3	2,6	24,2	7,9	3,6
август							
1973	161	80,3	38,8	2,5	27,1	8,3	3,9
июль							
1974	138	61,0	36,7	2,9	24,1	8,0	4,8
август							
1982*	255	146,4	26,4	16,5	38,1	16,2	11,3
август							
1983	219	141,2	26,9	6,5	30,2	13,2	7,9
август							
1984	205	124,4	22,0	9,5	30,8	12,0	7,8
август							
1985	188	115,3	17,5	9,2	26,0	9,1	11,3
июль							

* Только юго-восточная часть озера.

химический и гидробиологический режим озера при двух крайних ситуациях основного воздействующего фактора в динамике водных масс — ветрового перемешивания: в 1982, 1984, 1985 годах — при отсутствии значительного ветрового воздействия (штилевые условия) и в 1983 году — при значительной ветровой обстановке.

На фоне указанных гидрологических и гидрометеорологических условий 1982—1985 годов гидрохимический и гидробиологический режим озера имел нижеследующие особенности в сравнении с аналогичными данными 1972—1974 годов.

1. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Гидрохимическую особенность озера определяют условия формирования стока на водосборной площади, степень влияния которого на процессы и свойства озера высока (показатель отношения площади водосбора к площади озера более 36). По показателю условного водообмена (около 4) озеро относится к транзитно-аккумуляционному типу, вследствие чего его гидрохимическая инерция невелика [1].

По величине общей минерализации оз. Кубенское относится к группе среднеминерализованных озер переходной области средней тайги и смешанных лесов. Сравнение величин общей минерализации аналогичных сезонов 1972—1974 и 1982—1985 годов указывает, что за последнее десятилетие наблюдается увеличение общей минерализации воды озера, в среднем примерно на 25—40% (табл. 1). Возможным следствием увеличения минерализации является увеличение притока в озеро на протяжении последних пяти лет, особенно в осенне-зимних сезонах, более многоводных, чем в 1972—1974 годах и предшествую-

ПРЕДЕЛЫ КОЛЕВАНИЙ ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ОСНОВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ И 1982—1985 гг.

Год	Минерализация, мг/л	рН	Кислород		Цветность, град
			мг/л	%	
1972—1974	154	8,2—8,3	8,6—11,8	81—131	36—61
1982	257—386	7,5	8,5—8,8	85—87	92—121
1983	190—248	7,9—8,2	9,0—11,1	92—109	56—105
1984	188—227	7,2—8,2	7,0—9,1	80—107	61—80
1985	172—208	7,2—8,0	6,7—8,5	73—90	45—115

Таблица 1

HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
экв.-%					
68	27	4	60	33	7
60	37	3	62	31	7
61	35	4	60	32	8
77	14	9	58	25	17
80	14	6	52	37	11
74	16	10	53	36	11
74	16	10	53	30	17

ших им годах. Минерализация воды основных трех притоков, как правило, всегда повышена по сравнению с озером (табл. 2).

По ионному составу вода озера относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, и преобладание гидрокарбонатных ионов и ионов кальция остается показательным для данного озера (табл. 1). В сравнении с предыдущими годами исследований можно отметить увеличение абсолютного содержания ионов HCO_3^- , Mg^{2+} и особенно ионов

Таблица 2

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВОДЫ В УСТЬЯХ ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ
ОЗ. КУБЕНСКОГО, МГ/Л

Основной приток	1972 июль	1973 июль	1974 август	1982 август	1983 август
р. Порозовица	—	—	—	—	255
р. Уфтуога	610	433	335	—	279
р. Кубена	326	339	144	386	323

щелочных металлов и хлора. Так, если 10 лет назад экв.-% катионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ не превышал 8, то в настоящее время он в среднем составляет 10–11 и анионов хлора 6–10 (до 4 экв.-% в предыдущие годы). Соответственно уменьшилось относительное содержание ионов кальция и сульфатов.

Существенных различий в величинах общей минерализации и ионном составе по акватории и по глубине озера не обнаруживается; несколько повышенная минерализация — на 20–30 мг/л по сравнению с открытой частью озера выявлена в предустьевых районах.

Таблица 3

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗ. КУБЕНСКОГО ПО СРЕДНИМ ДАННЫМ 1972–1974

Окисляемость перманганат- ная, мг O_2/l	БПК ₅ , мг O_2/l	Фосфор минераль- ный, мг/м ³	Азот	
			аммония, мг/л	нитратов, мг/л
11,5–12,6	1,5–2,8	0–2	0,02–0,04	0,0
16,2–20,1	0,7–2,1	5–18	0,17–0,24	0,0
12,8–18,6	1,2–2,9	18–246	0,14–0,31	0,00–0,04
13,1–18,3	0,3–2,5	1–19	0,10–0,15	0,0–0,02
11,0–27,2	0,8–2,9	10–40	0,16–0,30	0,0

Распределение основных гидрохимических показателей: абсолютного и относительного содержания кислорода, величин рН, окисляемости, БПК₅, цветности и биогенных веществ позволяет прямо или косвенно судить о формировании качества воды как результат функционирования живых компонентов и круговорота веществ в них, что наряду с гидробиологическими показателями позволяет судить как о положении водного объекта в системе биолимнологической (трофической) классификации вод, так и о тенденции к изменению уровня трофии.

В табл. 3 приведены сравнительные данные по вышеуказанным показателям за сходные периоды наблюдений 1972—1974 и 1982—1985 годов. Сопоставление крайних значений наблюдаемых величин оправдано, так как большинство этих элементов являются лимитирующими в развитии первичных звеньев гидробионтов.

В распределении величин рН и содержании кислорода воды сравниваемых годов значительных расхождений не обнаруживается — указанные пределы колебаний этих величин не выходят за рамки обычных сезонных флюктуаций в данный период наблюдений. Повышенные величины содержания кислорода в 1983 году обусловлены большей ролью атмосферной инвазии кислорода в результате ветрового перемешивания. Значительного градиента содержания кислорода по вертикали в летние сезоны не обнаруживается даже в устойчивых штилевых условиях. Абсолютное и относительное содержание кислорода, а также рН в периоды максимума летней вегетации в основном обусловлены фотосинтетической деятельностью фитопланктона и высшей водной растительности, когда насыщение кислородом в поверхностных слоях достигает 81—109 %, в придонных — 78—95 %.

Более значимые различия обнаруживаются в показателях, характеризующих содержание растворенных органических и биогенных веществ в воде озера. Так, в сезоны летней вегетации 1982—1985 годов минимальные значения цветности и перманганатной окисляемости в основном соответствовали максимально наблюдаемым соответствующим величинам в сходные периоды 1972—1974 годов, а также существенно расширились пределы колебаний указанных величин. Если в 1972—1974 годах в августе колебания цветности находились в пределах 39—61 град, перманганатной окисляемости — 11,5—12,6 мг О₂/л, то за последние годы соответственно в пределах 45—121 град и 11,0—27,2 мг О₂/л. Косвенным подтверждением увеличения цветности воды оз. Кубенского служит сужение пределов показателей прозрачности, измеренной белым диском, от 0,9—1,0 м в 1972—1974 годах до 0,2—0,5 м в 1982—1985 годах.

Количество нестойкого органического вещества, судя по величинам БПК₅, не превышающим 3,0 мг О₂/л, в воде озера по-прежнему невелико, и этот показатель, а также отношение перманганатной окисляемости и бихроматной, которое во все периоды наблюдений превышало 40 %, в максимуме 60 %, указывают на преобладание в органическом комплексе форм, устойчивых к деструкции.

Повышение в озерных водах концентрации растворенных питательных веществ — азота, фосфора в виде минеральных соединений или в составе аллохтонных органических соединений — один из основных признаков евтрофирования водоемов.

Исследования баланса биогенных веществ в 1972—1974 годах выявили снижение концентрации фосфатов и нитратов до аналитического нуля в вегетационный период, что позволяет судить о лимитирующей роли этих элементов в развитии фитопланктона. К настоящему времени, по крайней мере по концентрации одного из этих элементов (фосфатов), можно утверждать, что в экосистеме озера они находятся в избытке, а общий уровень и диапазон колебаний минеральных соединений фосфора и азота существенно возросли (табл. 3). При сходных гидрометеорологических условиях вегетационного периода можно ориенти-

ровочно утверждать, что концентрация азота в аммонийной форме в воде озера возросла за последнее десятилетие в 4—7 раз, а минерального фосфора — от 2 до 9 раз. При благоприятных условиях минимального ветрового перемешивания и гомогенного прогрева водной толщи в концентрации общего фосфора преобладает органическая форма, примерно на 50—60%. В условиях значительного ветрового перемешивания, такого как наблюдалось в 1983 году, когда концентрация взвешенных веществ в воде была более чем в 3 раза выше обычной фоновой, в поступлении фосфорных соединений в воду главная роль переходит к донным отложениям. В этом случае среднее содержание минерального фосфора в поверхностных слоях озера достигает 61,5 мг/м³, в придонных — 101,1, а в среднем по озеру до 52 мг/м³, что почти в 8—9 раз больше, чем, например, в 1984 году, и доля органического фосфора не превышала 30% общего его содержания. Концентрация соединений железа и кремния также имеет тенденцию к возрастанию за последнее десятилетие. Это обусловлено, с одной стороны, возрастшим уровнем их накопления в донных осадках, а с другой стороны (по кремнию) — снижением роли диатомовых водорослей в планктонном комплексе, о чем будет сказано ниже.

В целом анализ сезонных гидрохимических показателей, уровень их межгодовых колебаний указывают на мезотрофный тип оз. Кубенского. Однако в результате исторического развития, а также отчасти и антропогенного воздействия за последнее десятилетие произошло определенное изменение гидрохимического фона озера, выражющееся в возрастании как уровня, так и пределов колебаний содержаний органического вещества и основных биогенных элементов, ускоряющих процесс евтрофирования, — соединений фосфора и азота.

2. ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Микробиологические. В практике гидробиологического анализа бактериологические показатели характеризуют качество воды и донных отложений не только в момент взятия пробы, но и дают представление об интенсивности процесса самоочищения водоемов, поскольку бактерии в первую очередь ответственны за разрушение накапливающегося в водоемах органического вещества.

Сопоставление микробиологических показателей оз. Кубенского за сходные сезоны 1973—1974 и 1982—1984 годов указывает на возрастание численности бактерий как в воде, так и в донных отложениях. Увеличились как крайние значения пределов колебаний общей численности бактерий и сапрофитов, так и их средние значения (табл. 4).

Таблица 4

ПРЕДЕЛЫ КОЛЕБАНИЯ И СРЕДНИЕ ВЕЛИЧИНЫ (В СКОБКАХ)
ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА И БАКТЕРИОБЕНТОСА
ОЗ. КУБЕНСКОГО В 1972—1974 И 1982—1984 гг.

Год, месяц	Бактериопланктон		Бактериобентос	
	общая числ. бактерий, млн кл/мл	гетеротрофных аэр. бактерий, кл/мл	общая числ. бактерий, млн кл/г	гетеротрофных аэр. бактерий, тыс. кл/г
1973, август	0,7—3,4 (1,6)	25—3780 (640)	38—170	104—403 (сентябрь)
1974, август	0,7—1,9 (1,1)	45—1832 (425)	—	—
1982*, август	3,4—4,0 (3,8)	300—1780 (1050)	1848**	35,5**
1983, август	4,0—6,5 (5,2)	500—4980 (2115)	239—644	11,5—93,8
1984, август	1,4—10,1 (4,1)	30—2960 (370)	291—799	4,5—58,2

* Только юго-восточная часть озера.

** Данные одной станции.

В плоских мелководных озерах с высоким показателем открытости, каким является оз. Кубенское, главная роль в распределении бактериопланктона принадлежит притокам и ветровому воздействию. Высокие микробиологические показатели августа 1983 года в значительной степени обусловлены интенсивной ветровой обстановкой этого периода. Однако и при штилевых условиях, как, например, в августе 1982 и 1984 годов, общая численность бактериопланктона в 2,4—3,7 раза выше, чем в аналогичные периоды 1973—1974 годов. В меньшей степени на гляден прирост гетеротрофной микрофлоры. Известно, что развитие этой группы микроорганизмов связано с содержанием биохимически активного органического вещества в озерах. Судя по величинам БПК₅, их содержание в озере за прошедшее десятилетие изменилось незначительно, что обусловило сходность количественных показателей гетеротрофных аэробных бактерий за сравниваемые периоды. Таким образом, бактериопланктон оз. Кубенского косвенно отражает увеличение степени евтрофирования озера, когда при увеличении уровня содержания общего растворенного органического вещества и концентрации бактериопланктона снижается доля минерализованного бактериями органического вещества от общего его содержания. В таких условиях часть органического вещества не успевает минерализоваться в водной толще, что ведет к его накоплению в озере. Анализ общей численности бактерий в поверхностном слое донных отложений показал увеличение их за прошедшее десятилетие примерно в 2,7—3 раза.

В пространственном распределении микробиологических показателей по акватории озера наблюдалась та же тенденция, что и в 1973—1974 годах — зоны с повышенным количеством бактерий, как правило, приурочены к устьям крупных притоков (Порозовицы, Уфтуги, Кубены), а также к юго-восточной части озера, что подтверждает фактор постоянного стока органического вещества в эту часть озера, а затем в р. Сухону. В этой части озера постоянно отмечены микроорганизмы — индикаторы загрязнения (серобактерии, спирохеты, нитевидные бактерии).

Фитопланктон. Водорослям принадлежит ведущая роль в индикации изменения качества воды в результате евтрофирования водоема: при соответствующем ухудшении качества воды сукцессия видового состава особенно отчетливо проявляется в сообществе фитопланктона. Наиболее надежным в этом случае является видовой состав летнего фитопланктона, в особенности комплекс доминантов.

В таксономическом составе и процентном соотношении между отделами комплекс планктона за прошедшее десятилетие изменился незначительно: в 1972—1973 годах отмечено 224, а в 1982—1985 годах — 250 таксонов водорослей (табл. 5).

Таблица 5

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПРОЦЕНТНОЕ СООТНОШЕНИЕ
МЕЖДУ ОТДЕЛАМИ ВОДОРОСЛЕЙ В 1972—1973 И 1982—1985 ГГ.

Отдел водорослей	1972—1973 гг.		1982—1985 гг.	
	Число таксонов	%	Число таксонов	%
Синезеленые	40	18	54	22
Золотистые	7	3	9	3,5
Диатомовые	83	37	98	39
Желтозеленые	5	2	2	1
Пирофитовые	7	3	8	3
Евгленовые	11	5	9	3,5
Зеленые	71	32	70	28
Всего:	224	100	250	100

Большинство видов синезеленых и зеленых водорослей относятся к истинно планкtonным формам, диатомовые представлены в основном факультативно планкtonными и донными формами.

По мере усиления процесса евтрофирования появляются изменения в доминировании и увеличение биомассы фитопланктона. Наиболее характерным результатом этих изменений является переход к господству синезеленых в планкtonе. Их видовой состав и количество за последние 10 лет претерпели сравнительно значительные изменения. Во время исследований в начале 70-х годов при средних биомассах фитопланктона 3,5—4,6 мг/л синезеленые водоросли составляли всего от 2,8 до 20%. По нашим данным, в материалах, собранных в озере за 1982—1984 годы, эта группа водорослей составляла в среднем от 30—50% (1982, 1984 гг.) до 73% (1983 г.) и по акватории озера даже может достигать более высоких величин общей биомассы, как, например, в юго-восточной части озера в 1984 году — до 90%.

Самые большие биомассы фитопланктона (16—20 мг/л) наблюдались в августе 1983 года. Это было вызвано подъемом со дна бентических форм диатомовых водорослей (родов *Surirella*, *Cymatopleura*, *Gyrosigma*, *Nitzschia* и др.) в результате интенсивного перемешивания водной массы, но, однако, синезеленые водоросли преобладали по численности и биомассе. Наблюдалось цветение синезеленых водорослей *Lyngbia limnetica*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena scheremetjevii*, *A. lemmertmannii*, биомасса которых достигала 5,5—12,5 мг/л. В августе 1982 и 1984 годов биомассы были значительно ниже, соответственно от 3,3 до 6,2 и от 3,6 до 9,8 мг/л.

По видовому составу в 1973 году доминировали главным образом колониальные виды синезеленых. Отмечалось повышение численности *Microcystis*, *Gloeocapsa*, *Aphanothecus clathrata*, *Gomphosphaeria lacustris*, *Woronichinia naegeliana*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Merismopedia punctata*. Не было выявлено большого развития нитчатых форм синезеленых. В пробах, собранных в 1984 году, доминировали нитчатые виды синезеленых водорослей, особенно характерные для бета-мезосапробных вод. Как массовые формы, определяющие общую картину фитопланктона, отмечаются виды синезеленых водорослей *Lyngbia limnetica*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena lemmertmannii*, *Microcystis pulvrea*. Надо отметить, что по числу клеток синезеленые водоросли на всех станциях составляли не менее 90% общего числа клеток планкtonных водорослей.

Десятилетие назад группа диатомовых водорослей играла основную роль в продукционных процессах оз. Кубенского. В это время диатомовые преобладали в планкtonе и составляли до 90% общей биомассы. Как видно из вышеизложенного, в настоящее время их роль перешла к синезеленым водорослям, так как их численность, а местами также и биомасса, значительно превосходят диатомовые. Видовой состав диатомовых водорослей не претерпел значительных изменений. Также и в нашем материале доминировали *Melosira italica*, *Diatoma elongatum*, *Asterionella formosa*. Не отмечалось заметных изменений и в других группах водорослей. Судя по значительному развитию синезеленых водорослей, наблюдаемому за последние годы, можно сделать заключение о повышении сапробности оз. Кубенского от олиго- до бета-мезосапробного состояния в 1972—1973 годах и до бета-мезосапробного — в 1982—1984 годах.

Зоопланктон. В основном изменения в составе зоопланктона могут быть следствием нарушения сложившегося в водоеме соотношения популяций фитопланктона, растительноядных видов и планктоноядных рыб, составляющих пищевую цепь. Одним из последствий такого нарушения могут быть изменения состава фитопланктона из-за повышения уровня трофии, которые, в свою очередь, отражаются на возможности использования водорослей зоопланкtonом. Однако колебания количественных и качественных показателей зоопланктона не в меньшей степе-

Таблица 6

ПРОЦЕНТНОЕ СООТНОШЕНИЕ ПО ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЕ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП ЛЕТНЕГО ЗООПЛАНКТОНА В ОЗ. КУБЕНСКОМ

Год	<i>Rotatoria</i>		<i>Cladocera</i>		<i>Copepoda</i>	
	числен., %	биомасса, %	числен., %	биомасса, %	числен., %	биомасса, %
1973	4	1	67	81	29	18
1974	2	5	33	72	65	23
1983	18	7	58	85	24	8
1984	16	1	62	92	22	7

пени связаны и с другими факторами, не имеющими связи с увеличением нагрузки питательными веществами, например, наличием межгодовых различий в термике и динамике водных масс, распространением паразитов и др. Поэтому зачастую в сравнении с фитопланктоном зоопланктон менее показателен в оценке процессов евтрофирования. В то же время, учитывая, что многие виды зоопланктона относятся к стенобионтным организмам, возможно использовать их в качестве надежных индикаторов качества вод, особенно озер и водохранилищ.

Данные последних лет указывают на увеличение средних биомасс летнего зоопланктона от 0,75 г/м³ в 1973—1974 годах до 3,10 г/м³ в 1983—1984 годах.

В качественном составе летнего пелагического зоопланктона во все годы исследований преобладали виды — индикаторы мезотрофно-евтрофного состояния вод: *Cladocera* — *Daphnia cucullata*, *Chydorus sphaericus*, *Bosmina coregoni gibbera*, *Daphnia cristata cederstromi*, *Leptodora kindti*, *Eudiaptomus graciloides*; *Rotatoria* — *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*, *Conochilus unicornis*.

При общем неизменном составе руководящих форм зоопланктона за последнее десятилетие отмечаются некоторые различия в структуре основных групп сообщества, во всяком случае в пределах сравниваемых периодов исследований. Сравнение численности и биомассы летнего зоопланктона 1973—1974 и 1983—1984 годов показывает уменьшение в биомассе планктона доли копепод с 17—23 до 7—8%, по численности это уменьшение менее показательно.

Соответственно несколько возросла доля других групп: по численности — коловраток, по биомассе — кладоцер (табл. 6).

Сравнение данных по зоопланктону за 1984 и 1983 годы показывает, что благоприятные гидродинамические условия 1984 года (прогрев водных масс до 20—22 °C и отсутствие значительного ветрового перемешивания) являются оптимальными для интенсивного развития зоопланктона, когда в системе питательные растворенные вещества — фитопланктон — зоопланктон последний занимает доминирующую роль и тем самым увеличивается роль зоопланктона в процессах биологического самоочищения и биоактивность всей планктонной системы.

В целом зоопланктон оз. Кубенского отражает тенденцию к евтрофированию мезотрофных и слабоевтрофных озер, когда увеличивается численность и биомасса зоопланктона, в основном за счет усиления роли коловраток и кладоцер.

Протозойный бентос. Простейшие являются высокочувствительными индикаторами сапротрофного состояния водоемов. Исследования протозойного бентоса в оз. Кубенском велись только в 1982—1984 годах. В открытой части озера на серых глинистых илах с налетом детрита видовой состав инфузорий однородный, видовое разнообразие невелико, в среднем встречается 7 видов. Это в основном: *Coleps hirtus*, *Strombidium viride*, *Tintinopsis cratera*, *Tintinnidium* sp. Общая численность инфузорий в среднем до 1,6 млн экз./м². Индекс сапротрофности (по Пантеле-Букку) колебался в пределах 1,8—3,0, т. е. от умеренно загрязненного до загрязненного.

Таблица 7

СРЕДНЯЯ ЧИСЛЕННОСТЬ И
БИОМАССА БЕНТОСА ОТКРЫТОЙ
ЧАСТИ ОЗ. КУБЕНСКОГО
В РАЗЛИЧНЫЕ ГОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Год исследований	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
1972	2150	5,9
1973	2300	9,4
1974	3540	12,8
1982	1240	3,6
1983	3745	4,8
1984	1460	23,9

В лitorальной части озера на биотопах илистых песков с примесью мелкого дегрита и не полностью разложившихся остатков древесины развиваются в основном 7 видов при средней численности до 1,6 млн экз./м². Индекс сапробности в пределах 2,0—2,2.

В устьевых районах крупных притоков значительное развитие инфузорий отмечается только в устье р. Порозовицы. Видовой состав инфузорий здесь более богатый — до 10 видов общей численностью 1,8 млн экз./м². В сообществе доминируют бета-мезосапробные виды, но здесь также отмечены инфузории-индикаторы загрязнения.

В устьевых районах рек Уфтуги и Кубены протозойный бентос скученный (3—4 вида общей численностью менее 0,7 млн экз./м²), в основном бета-мезосапробные виды, лишь в контактном слое вода—грунт устья р. Кубены в массовом количестве отмечалась *Vorticella anabaena* (олигосапробный вид) на синезеленых водорослях *Anabaena*.

Макрообентос. Распределение макрообентоса изучалось как в центральной открытой части озера, так и в прибрежной зоне и в устьевых районах притоков.

Дно центральной части озера на глубине 3—4 м покрыто однородными серыми глинистыми илами с примесью раковин кладоцер. Здесь в августе 1982—1984 годов, как и в 1972—1974 годах, доминировали личинки двукрылых семейства хирономид и олигохеты семейства тубифицид. Количество зообентоса в открытой части озера сравнительно небогат (табл. 7). Сопоставление данных за 10 лет показывает, что в открытой части озера зообентос развивается без особых изменений и количество бентобионтов остается в пределах 1—4 тыс. экз./м² при массе 3—24 г/м².

В прибрежной зоне озера грунты состоят из илистых песков с примесью мелкого растительного дегрита и древесных остатков. Здесь численность бентобионтов увеличивается, она колеблется от 840 до 7600 экз./м². Видовое разнообразие организмов повышается: наряду с тубифицидами появляются наидиды, а также личинки ручейников и моллюски. Развитие бентоса вызвано влиянием притоков и разнообразием биотопов дна.

Наибольших показателей численность и биомасса бентоса озера достигает в местах впадения рек (табл. 8), которые обогащают донные отложения озера органическими веществами. В устьевом районе р. Порозовицы выявлен самый богатый донный биоценоз. Среди иллистых глин с налетом дегрита было обнаружено 35 видов бентобионтов (в составе 8 групп зообентоса).

В устьях рек Порозовицы, Уфтуги и Кубены доминируют олигохеты, удельное обилие которых 45—67%; они здесь представлены 15 видами. В меньшем количестве найдены личинки хирономид и моллюски.

Сопоставление наших данных с предыдущими годами исследований показывает, что в устьевых районах притоков количество бентобионтов

Таблица 8

ЧИСЛЕННОСТЬ И БИОМАССА БЕНТОСА
ОЗ. КУБЕНСКОГО В УСТЬЯХ ПРИТОКОВ
В РАЗЛИЧНЫЕ ГОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Река	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
<i>1972 VII</i>		
Порозовица	5320	18,5
Уфтуга	18140	11,2
Кубена	240	0,1
<i>1983 VIII</i>		
Порозовица	11520	16,6
Уфтуга	10600	13,2
Кубена	5480	2,4

значительно увеличилось лишь в устьевом районе р. Кубены (табл. 8). Зообентос в устьях остальных двух значительных притоков озера подвергся меньшим изменениям.

Данные по бентосу в районе истока р. Сухоны показали, что типичные речные олигохеты *Potamothrix moldaviensis* поступают в озеро. Это подтверждает наблюдения, по которым р. Сухона при периодическом изменении направления течения в период весеннего половодья видоизменяет донный биоценоз юго-восточного плеса озера за счет возрастания роли речных олигохет [3].

В целом, согласно зообентической классификации озер, крупное мелководное оз. Кубенское относится к типичным хирономидно-олигохетным озерам мезотрофного типа, встречающимся и на территории Прибалтики. На это указывает высокое удельное обилие (86—97%) хирономид и олигохет в бентосе озера, доминирующих среди бентобионтов почти во всех его частях.

Необходимо отметить, что нами впервые для оз. Кубенского найдено 25 видов донных организмов: *Crustacea* — *Argulus foliaceus*, *Trichoptera* — *Ecnomus tenellus*, *Cyprinus trimaculatus*, *Molanna albicans*, *Athripsodes cinereus*, *Ceraecla annulicornis*, *Mystacides longicornis*, *Triaenodes bicolor*, *Limnephilus politus*, *Limnephilus marmoratus*; *Mollusca* — *Viviparus contectus*, *Anadonta subcircularis*, *Pisidium inflatum*, *Euglesa suecica*, *E. dupuiana*, *E. nitida*; *Oligochaeta* — *Dero digitata*; *Specaria josinac*, *Piguetiella blanca*, *Amphichaeta leydigii*, *Chaetogaster setosus*, *Potamothrix moldaviensis*, *P. heuscheri*, *Propappus volki*, *Bryozoa* — *Paludicella articulata*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительная оценка результатов наблюдений за содержанием основных химических показателей в вегетационный период, определяющих функционирование биологического комплекса озера за годы исследований 1972—1974 и 1982—1985, указывает на тенденцию к увеличению степени трофности оз. Кубенского. На процесс евтрофирования указывает возрастание за указанный период средней минерализации воды озера и прежде всего содержания основных биогенных элементов, вызывающих евтрофирование, — минерального фосфора и соединений азота, существенно расширились пределы их сезонных колебаний. Поступление фосфора с поверхностным притоком, концентрация его в воде озера и соотношение минеральной и органической его форм (высокая доля минерального фосфора) свидетельствуют об избытке данного элемента в воде и донных отложениях и о большой роли антропогенной составляющей в поступлении фосфора в озеро за последнее десятилетие. Содержание соединений азота за рассматриваемый период также возросло, хотя это увеличение протекает со значительно меньшей скоростью, чем концентрации фосфора. Также, судя по показателям цветности воды и окисляемости, повышенено содержание в воде озера органики в устойчивых к деструкции формах.

Изменение гидрохимического фона озера повлекло определенное изменение таксономического состава экологических групп гидробионтов, в большей степени фитопланктона, как группы автотрофных организмов, быстро реагирующих на повышение обеспеченности питательными веществами, в меньшей — зоопланктона и зообентоса, которые реагируют на изменение экологических условий опосредованно. Отмечено значительное повышение биомассы фитопланктона, главным образом за счет синезеленых водорослей, которые доминируют в озере в настоящее время (от 40—50 до 80—90%), тогда как преобладающими в 1972—1974 годах были, как правило, диатомовые (до 80%). Изменение состава фитопланктона, увеличение роли синезеленых (показатель евтрофирования) уменьшают возможности пищевого использования их зоопланктоном, прежде всего ракками-фильтраторами и,

как следствие, приводят к нарушению последующих цепей трофической связи в экосистеме озера вплоть до ихтиофауны. Во всех группах преобладают виды-индикаторы, указывающие на умеренное загрязнение, локально на сильное, воды и донных отложений оз. Кубенского.

В то же время анализ межгодовых флуктуаций гидрохимических показателей, а также качественный и количественный анализ функционирования основных биоценозов показывают, что экосистема озера еще достаточно сбалансирована, чтобы поддерживать высокое видовое разнообразие экологических групп гидробионтов, обеспечивающих озеру высокую продуктивность, а также соотношение продукционно-деструкционных процессов, в результате которых еще происходит частичное самоочищение водоема. Об этом говорит сравнение данных по гидрохимии и гидробиологии 1983 и 1984—1985 годов.

Итак, к настоящему времени в результате исторического развития и нарастающего в последние десятилетия антропогенного воздействия оз. Кубенское можно охарактеризовать как мезотрофное с некоторыми признаками евтрофного озера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Озеро Кубенское. Ч. 1. Л.: Наука, 1977. 308 с.
2. Озеро Кубенское. Ч. 2. Л.: Наука, 1977. 220 с.
3. Озеро Кубенское. Ч. 3. Л.: Наука, 1977. 168 с.
4. Романенко В. Д., Оксюк О. П., Жукинский В. Н. Гидробиологические аспекты экологического обоснования межбассейновых перебросок стока. — Водные ресурсы, 1983, № 2, с. 141—151.

Институт биологии
АН ЛатвССР

Дата поступления 25.02.86.