

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Институт биологии внутренних вод

Научный совет по проблемам гидробиологии, ихтиологии  
и использования биологических ресурсов водоемов

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОДУКТИВНОСТЬ  
И  
КАЧЕСТВО ВОДЫ  
ВОЛГИ  
И ЕЕ  
ВОДОХРАНИЛИЩ**

Ответственный редактор  
доктор географических наук  
Н. В. БУТОРИН



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1984

УДК 556.18(28) + 614.777(25)

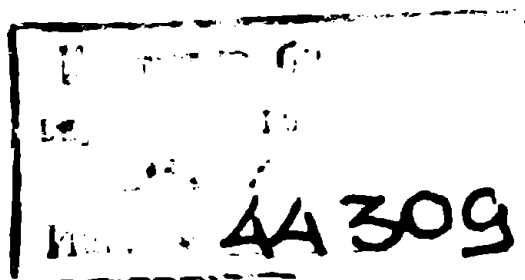
Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Рассматриваются современные представления о гидролого-гидрохимическом режиме, биологических ресурсах и качестве воды Волги и ее водохранилищ.

На специалистов в области исследования внутренних водоемов.

Рецензенты:

А. С. ШКЛЯЕВ, А. М. КОМЛЕВ,  
М. А. ФОРТУНОВА



Б 2001050100—243  
042(02)—84 226-84-11

© Издательство «Наука», 1984 г.

## ВВЕДЕНИЕ

С первых ленинских декретов в нашей стране большое внимание уделяется охране природы. Опираясь на глубоко научный подход к проблеме, Центральный комитет КПСС и советское правительство подняли вопросы охраны природы, правильного использования ее ресурсов до уровня государственной политики.

Особенно большая работа в этом направлении проводится в последнее десятилетие. В 1972 г. принято постановление Верховного совета СССР «О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов»<sup>1</sup>. В развитие этого постановления ЦК КПСС разработал эффективные меры для предотвращения загрязнения окружающей среды, что нашло отражение в ряде постановлений ЦК КПСС и Совета Министров СССР и прежде всего в постановлении «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов», в котором изложена широкая комплексная программа правовых, планово-экономических, научно-технических, идеологических и других мер, направленных на усиление охраны природы и улучшение использования природных ресурсов<sup>2</sup>.

Коммунистическая партия и советское правительство, осуществляя систему мероприятий в этом направлении в масштабе страны, уделяют особое внимание наиболее уникальным природным комплексам, таким, как озера Байкал и Севан, бассейн Волги и др.

Последовательность коммунистической партии и советского правительства в деле улучшения охраны природы нашла отражение в Законе об охране и рациональном использовании животного мира, который, развивая общие принципы статьи 18 Новой Конституции СССР, ярко демонстрирует заботу советского государства об охране природы, о рациональном и гуманном использовании природных ресурсов в интересах настоящего и будущих поколений людей, в Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 гг. и на период до 1990 г., в решениях XXVI съезда КПСС<sup>3</sup>.

Среди мероприятий, направленных на охрану природы, хотелось бы отметить особую заботу партии и правительства о Волге. Свидетельством этого является специальное постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по предотвращению за-

---

<sup>1</sup> Правда, 21 сентября 1972 г.

<sup>2</sup> Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов.— Сборник постановлений СССР, 1973, № 2, с. 6.

<sup>3</sup> Закон об охране и рациональном использовании животного мира.— Правда, 1980 г., 28 июня.

загрязнения бассейна рек Волги и Урала неочищенными сточными водами»<sup>4</sup>. В бассейне Волги в настоящее время проживает каждый четвертый человек нашей страны и производится около четверти промышленной и сельскохозяйственной продукции. Волга определяет продуктивность Каспийского моря и в значительной мере Азовского — уникальнейших рыбопромысловых водоемов планеты.

Забота партии и государства, общественности страны об охране природы вызвали расширение и углубление научно-исследовательских работ в области изучения современного состояния биологических ресурсов и качества воды, разработки научных основ рационального использования полезной продукции и ее повышения, охраны чистоты воды в водоемах бассейна Волги.

Экологическим исследованием Волги и ее водохранилищ в настоящее время занимаются институты Академии наук СССР, такие, как Институт биологии внутренних вод и его Куйбышевская станция, Институт водных проблем, Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. Северцова, учреждения Министерства рыбного хозяйства РСФСР, Министерства здравоохранения, Госкомгидромета, многих университетов и вузов страны.

Расширенные исследования дали много новых данных, характеризующих особенности продуцирования органического вещества, бактериальных процессов, деструкции в современных условиях, позволили уточнить состав и численность рыбного населения, кормовых беспозвоночных, особенности сезонной и многолетней динамики численности и биомассы планктона и бентоса, рыб, определить значение отдельных групп водных организмов в формировании качества воды и дать характеристику состояния водоемов бассейна Волги.

С целью подведения итогов работ, критического анализа полученных результатов, их использования в народном хозяйстве и дальнейших перспектив исследований в области биопродуктивности, биологических ресурсов и качества воды Волги и ее водохранилищ проведена конференция «Волга-3».

Следует отметить, что к обсуждению различных научных проблем, связанных с Волгой, ученые обращаются не впервые. Результаты научных исследований в области гидробиологии обобщены на Первой конференции по изучению водоемов бассейна реки, проведенной в 1968 г. в г. Тольятти и получившей название «Волга-1». Так было положено начало традиционным встречам специалистов, интересующихся данными вопросами. В 1974 г. в Борке была проведена вторая аналогичная конференция — «Волга-2». Значительно более широкий круг вопросов, связанных с комплексным использованием и охраной водных ресурсов бассейна Волги, был обсужден на Всесоюзной конференции в г. Перми, состоявшейся в 1975 г.

---

<sup>4</sup> О мерах по предотвращению загрязнения бассейна рек Волги и Урала неочищенными сточными водами.— Сборник постановлений СССР, 1972 г., № 5, с. 30.



В перечисленных конференциях принимали участие большое количество специалистов. Анализ принятых решений, современного состояния гидробиологической изученности и перспектив социально-экономического развития региона указывает на то, что в ближайшее время развитие исследований в этой области должно быть подчинено разработке теории экологического прогноза. Без теории прогноза изменений жизни водоемов Волжского бассейна в условиях комплексного использования водных ресурсов и усиливающегося антропогенного воздействия невозможны осуществление эффективных мероприятий, направленных на повышение рыбопродуктивности и охрану качества воды, разработка технико-экономических обоснований улучшения санитарного состояния и благоустройства водоемов.

Для составления прогноза необходимо дальнейшее накопление данных, характеризующих развитие экосистем водоемов в естественных условиях или наименее подверженных деятельности человека, и в водоемах, находящихся под сильным воздействием различных отраслей народного хозяйства. В этом плане Волжский бассейн может быть идеальным полигоном, на котором должны разрабатываться научные основы и методы экологического прогнозирования, общие для всех бассейнов, на разработке которых должно быть сосредоточено внимание ученых.

Успешному развитию этого направления, несомненно, будет способствовать подведение итогов работ по современной оценке продукционных процессов и санитарного состояния волжских водохранилищ, специфике функционирования экосистем водоемов волжского бассейна, чему уделено большое внимание в работе конференции «Волга-3».

Настоящий сборник содержит основные доклады, обсужденные на конференции, и дает общее представление о современном состоянии биологических ресурсов и качестве воды Волги и ее водохранилищ, о возможных изменениях экологических условий в бассейне реки.

В нем рассматриваются современное состояние и пути увеличения запасов промысловых рыб, состояние кормовой базы, характеризуются процессы продуцирования органического вещества, приводятся новые данные о происхождении и свойствах органического вещества. Освещены также частные вопросы современного состояния водных ресурсов, рыбного хозяйства и санитарных условий, интенсивности фотосинтеза и продукции микроорганизмов, характеристики зоопланктона и зообентоса.

## **ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ВОЛГИ**

**Г. В. Воропаев, А. Л. Великанов**

Чебоксарский гидроузел завершает создание уникальной водохозяйственной системы, равной которой нет в Европе. Значение этой системы для народного хозяйства и для решения природоохранных задач бассейна Каспийского моря еще больше возрастает после осуществления переброски части стока северных рек в бассейн Волги.

Уже сейчас Волга и Кама превращены в объединенную судоходную сверхмагистраль, имеющую связь с Каспийским, Азовским, Белым и Балтийским морями. Около 350 млн. т грузов перевозятся ежегодно по этой уникальной транспортной системе, что составляет 70% всего грузооборота речного транспорта страны. Судоходные гарантированные глубины 4,0 м обеспечиваются как за счет поддержания необходимых уровней в водохранилищах каскада, так и специальными, с высокой степенью надежности попусками в нижние бьефы гидроузлов.

Суммарная установленная мощность гидроэлектростанций каскада после завершения ввода гидроагрегатов на Чебоксарской ГЭС достигнет 11,3 тыс. МВт, а годовая выработка электроэнергии в среднем за многолетие составит около 40 млрд. кВт/час. Гидроэлектростанции каскада покрывают до 20% нагрузки энергосистем Центра и Поволжья и играют решающую роль в обеспечении потребности энергосистемы в пиковой мощности. Созданные водохранилища открывают большие возможности для развития теплоэнергетики, обеспечивая их необходимым количеством воды.

Регулирование стока на Волге и Каме способствует развитию орошения в этом регионе. Ирригационный фонд Волжского бассейна составляет примерно 8 млн. га. В настоящее время в бассейне Волги, по данным Минводхоза СССР, оросительной сетью охвачено 1300 тыс. га. В дальнейшем планируется значительно увеличить площади орошаемого земледелия за счет использования зарегулированного стока Волги.

Современная промышленность и коммунальное хозяйство также заинтересованы в регулировании стока Волги. Безвозвратное изъятие стока на нужды этих отраслей народного хозяйства по сравнению с орошаемым земледелием сравнительно невелико. Однако потребности в свежей воде очень высоки и достигают в бассейне Волги более 30 км<sup>3</sup>/год. В ряде случаев требование водоснабжения является основным и первостепенным компонентом водохозяйственной системы. Например, доля забора воды в канал им. Москвы из Иваньковского водохранилища составляет 35% от суммарного

притока в него. Значение водохранилищ каскада в обеспечении водоснабжения промышленности и коммунального хозяйства непрерывно возрастает.

Рост водопотребления в промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве до последнего времени сопровождался ростом водоотведения сточных вод. Общий годовой объем сточных вод в бассейне Волги составляет 25 км<sup>3</sup>, или около 10% ее среднемноголетнего стока. Тенденция к росту объемов водоотведения пока сохраняется, хотя ясно, что такой путь решения проблемы водообеспечения народного хозяйства приводит к крайне нерациональному использованию такого важного ресурса, как вода.

Рост объема сточных вод неизбежно приводит к ухудшению качества воды в реке, поскольку современные способы очистки не доводят сточные воды до их природного состояния. При этом с увеличением глубины очистки затраты в очистные сооружения растут экспоненциально. Поэтому одна из основных проблем, возникающих в связи с созданием Волжской водохозяйственной системы, это коренное переустройство систем водоснабжения и водоотведения. Без повсеместного перехода на оборотное водоснабжение и там, где это возможно, на безводную технологию, без широкого развития технических водопроводов на базе очищенных бытовых стоков, без развития земледельческих полей орошения и без других мероприятий, направленных на уменьшение забора свежей воды и снижение объемов водоотведения, невозможно решить проблему защиты водохозяйственной системы Волги от качественного истощения вод.

Водохозяйственная система бассейна Волги решила целый комплекс народнохозяйственных задач и открыла большие возможности для дальнейшего развития промышленности и сельского хозяйства в этом регионе. Вместе с тем создание этой системы и тем более ее дальнейшее развитие тесным образом связаны с проблемой охраны окружающей среды.

Естественный средний многолетний сток Волги в створе Волгограда 250 км<sup>3</sup>, амплитуда колебаний годового стока значительна: от 382 км<sup>3</sup> в самом многоводном за 100 лет наблюдений — 1926 г. — до 161 км<sup>3</sup> в самом маловодном 1937 г. В естественных условиях в период половодья (апрель—июнь) в среднем проходило 156 км<sup>3</sup>, что составляет около 65% годового стока и только 35% — в остальные 9 месяцев.

Создание Волжской водохозяйственной системы коренным образом изменило естественный гидрологический режим Волги и Камы. Общая площадь зеркала водохранилищ системы при нормальном подпорном уровне составляет 26 тыс. км<sup>2</sup>, а полезная емкость 88 км<sup>3</sup>, или 35% волжского стока у Волгограда. Водоохранилища системы позволяют вести глубокое сезонное регулирование стока. В маловодные годы объем весеннего половодья в нижнем течении реки может быть уменьшен вдвое по сравнению с естественными условиями, а меженные расходы, напротив, вдвое увеличены. В среднем теперь в половодье проходит 44% стока, а в межень 56%. В многоводные годы естественный режим стока меняется, ко-

печно меньше, в частности, гидрографы весенних половодий уменьшаются на 15—20% (табл.), а расчетные максимальные расходы воды очень малых вероятностей превышения остаются в створах гидроузлов практически такими же, как при естественном режиме.

В результате заполнения водохранилищ в период весеннего половодья изменились сроки и характер подъема воды на наиболее важном для воспроизводства рыбного стада участке реки ниже Волгоградского гидроузла. Весенний подъем уровней у Астрахани теперь начинается в среднем на 10—12 дней позже, чем в естественных условиях, но проходит с большей интенсивностью. Увеличилась скорость продвижения паводковой волны по подпертым бьефам Волги и Камы.

Естественно, эти явления изменяют условия функционирования сопряженных с рекой природных систем, однако количественные характеристики этого влияния изучены пока недостаточно и это затрудняет разработку рекомендаций для наилучшего использования водных ресурсов каскада.

Степень регулирования стока, достигнутая на Волге и Каме, достаточна для решения задач водообеспечения народного хозяйства. Это не означает, однако, что противоречия между требованиями различных отраслей народного хозяйства к режиму регулирования стока не создают сложных проблем в управлении водохозяйственной системой. Если гидроэнергетика, водный транспорт и орошаемое земледелие, коммунально-бытовое и промышленное водоснабжение Поволжья заинтересованы в аккумуляции воды в водохранилищах весной с последующим ее расходом в течение оставшегося года, то водопотребители в низовьях Волги и в первую очередь рыбное и сельское хозяйство заинтересованы в сохранении внутригодового распределения стока реки, близком к естественному. В последнее время эти противоречия стали особенно ощутимыми.

Обострение существующих противоречий связано в известной степени с неподготовленностью многих водопользователей, и прежде всего рыбного и сельского хозяйства низовьев Волги к новым гидрологическим условиям реки, а также с повышенными требованиями к режиму работы каскада гидроэлектростанций как в суточном, так и сезонном разрезе.

К настоящему времени полностью реконструировал свое хозяйство водный транспорт. Перестроены промышленные и коммунальные водозаборы; вместе с тем значительно отстают мероприятия по интенсификации воспроизводства, особенно полупроходных рыб в условиях зарегулированного стока, не решены проблемы их искусственного воспроизводства, медленно идет мелиорация нерестилищ и миграционных путей.

Крайне медленно ведется перестройка сельского хозяйства Волго-Ахтубинской поймы. Этот благоприятный для развития сельского хозяйства район всегда находился в зависимости от волжского стока, в частности, от высоты и продолжительности весеннего половодья. Естественная продуктивность этих земель страдала как в

**Распределение водного стока за ряд лет  
в водохранилищах Волжско-Камского каскада**

Год	Объем весеннего притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада за II кв.*	Обеспеченность весеннего притока, %	Аккумуляция воды в водохранилищах, W, км³	Объем пуска на нижнюю Волгу, км³	Незаполнение трех Нижне-волжских водохранилищ на 1 июля, км³
1961	163,8	33	44,9	118,9	—
1962	149,7	55	54,4	95,3	—
1963	169,4	29	52,7	116,7	—
1964	147,8	57	69,2	78,6	—
1965	165,3	30	65,3	100,0	—
1966	216,0	5	58,0	158,0	—
1967	114	90	47,5	66,5	9,5
1968	160,4	40	55,9	104,5	4,9
1969	146,6	58	60,8	85,8	—
1970	196,5	15	60,8	135,6	—
1971	148,3	56	50,1	97,5	5,0
1972	147	58	52,8	94,2	—
1973	108	94	30,5	77,5	19,7
1974	186,5	20	61,7	124,9	—
1975	93,2	98	33,8	56,8	14,3
1976	131,4	80	65,0	63,9	11,8
1977	134	80	58,6	70,9	8,6
1978	156	48	67,8	87,6	—
1979	208	7	62,0	145,8	—
1980	149	60	66,0	83,0	—
1981	194	16	66,0	128,0	—

\* По данным Минэнерго СССР.

засушливые, так и в очень многоводные годы. Естественно, в условиях зарегулированного волжского стока необходимо было перейти от экстенсивного к интенсивному сельскому хозяйству в этом районе. Однако задержка с обвалованием земель, мелиорацией сельскохозяйственных угодий и со строительством инженерных оросительных систем приводит к необходимости ежегодно осуществлять высокие и продолжительные сбросы воды из волжских водохранилищ.

Исходя из требований только рыбного и сельского хозяйства низовьев Волги, был определен оптимальный объем весеннего (апрель — июнь) пуска в размере 120 км³. Однако осуществление такого пуска привело бы к почти полному отказу от сезонного регулирования стока. В средние по водности весны объем весеннего половодья составляет 150—160 км³. Если сбрасывать в низовья требуемые 120 км³ воды в апреле—июне, то на заполненные водохранилища останется 30—40 км³. Это означает, что регулирующая способность водохозяйственной системы будет использоваться только наполовину, и требования потребителей, заинтересованных в повышении меженного стока, не были бы удовлетворены. В маловодные годы положение было бы еще хуже.

Ввиду явной неприемлемости такого режима работы системы были разработаны компромиссные гидрографы попусков объемом 95—105 км<sup>3</sup>, осуществление которых имело обеспеченность 70% по числу лет. Для реализации такого режима предусматривалось повышение по сравнению с проектным уровня предполоводной сработки Куйбышевского водохранилища, а также возможность незаполнения к концу весны Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ. Это давало дополнительно для пуска до 18 км<sup>3</sup> воды. Однако, как видно из табл. 1, установленные весенние попуски с 1961 по 1978 г. удалось выдержать только в половине лет (обеспеченность 55%) из-за весьма неблагоприятных гидрологических условий этого периода и большой напряженности энергетического баланса. Последнее обстоятельство не позволяло уменьшить зимнюю выработку гидроэлектростанций каскада и экономить воду для повышения весенних попусков. Так, за межень 1963/64 г. из запасов водохранилищ было израсходовано свыше 69 км<sup>3</sup> воды, за межень 1975/76 г. — почти 77 км<sup>3</sup>. В последние три года, благодаря высокому естественному весеннему стоку, весенние попуски были достаточно большими и фактическая обеспеченность осуществления компромиссных попусков с учетом этих трех лет возросла с 55 до 62%. В целом же положение не меняется, и в дальнейшем осуществление высоких половодий, необходимых для естественного затопления Волго-Ахтубинской поймы и тем более подstepных ильменей, которые уже давно имеют весьма ограниченную связь с Волгой, будет связано со значительными трудностями и с ущемлением других водопользователей системы.

В ближайшей перспективе, до начала переброски в Волгу части стока северных рек, режим работы водохранилищ каскада будет еще более напряженным и менее благоприятным для всех компонентов Волжской водохозяйственной системы из-за увеличивающегося безвозвратного водопотребления из Волги и ее притоков. Значительная часть стока будет забираться в вегетационный период, что приведет к увеличению летней сработки водохранилищ, а следовательно, в маловодные годы — к срывам гарантированного судоходного пуска ниже Волгограда. Все это в конечном счете может привести к более глубокой предполоводной сработке водохранилищ каскада и соответственно к необходимости затрачивать весной больше воды на их наполнение. Поэтому нельзя рассчитывать на попуски как на основное средство решения водных проблем Нижней Волги. Необходимо переходить к интенсивным формам использования водных ресурсов Волги.

Важным звеном в создании управляемого водного режима в низовьях реки является вододелитель, построенный в вершине дельты. Его назначение — при снижении расходов ниже Волгоградской плотины до 12—14 тыс. м<sup>3</sup>/с обеспечить гарантированную подачу в восточный рукав Волги Бузан не менее 8—9 тыс. м<sup>3</sup>/с для затопления восточной дельты. Вододелитель позволяет при сниженных расходах воды в голове дельты значительно улучшить условия воспроизводства полупроходных рыб Волго-Каспийского района, что



особенно важно в маловодные годы. В последнем случае, работая на спаде половодья, водodelитель позволяет существенно увеличить его продолжительность в восточной части дельты. Кроме того, работа водodelителя, особенно в первые годы может нарушить условия миграции осетровых, так как их основное маточное стадо (по данным ЦНИОРХ, до 80%) мигрирует западными банками. Рыбопропускные сооружения водodelителя недостаточны для пропуска осетровых и поэтому при его работе необходимо предусмотреть специальную транспортировку производителей осетровых в верхний бьеф водodelителя.

В современных условиях напряженного водохозяйственного баланса Волги большое значение приобретает оптимальное использование ограниченного стока в интересах комплекса водопотребителей. Решение этой задачи связано, с одной стороны, с проблемой совершенствования долгосрочных прогнозов и заблаговременного достоверного прогноза половодного стока и, с другой, с проблемой оптимального распределения располагаемого стока между водопотребителями, исходя из максимально возможного эффекта в народном хозяйстве.

Для Волжско-Камского каскада ежегодно составляются прогнозы месячного, квартального и годового притока воды к гидроузлам, максимального притока, а также прогнозы ледовых явлений. Анализ прогнозных данных за последние 20 лет показывает, что в среднем точность прогнозов довольно высока, однако в отдельных аномальных условиях формирования стока имеют место значительные ошибки прогноза объема половодья. Необходимо дальнейшее совершенствование методики прогноза с более широким использованием информации метеорологических и народнохозяйственных спутников, в том числе о площадях и мощности снегового покрова, фронта снеготаяния и его перемещения, выпадающих в период снеготаяния осадках, запасах воды в русловой сети, влажности почвы и т. д. Для бассейна Волги целесообразно создать автоматизированную систему получения и обработки оперативной наземной и космической гидрологической информации, что значительно повысит своевременность и точность прогнозов, а следовательно, и эффективность управления водными ресурсами.

В последние годы большие исследования проведены с целью разработки методики оптимального распределения располагаемого волжского стока между различными водопользователями по критерию максимальной народнохозяйственной экономической эффективности. Эти исследования связаны главным образом с решением задачи об объеме, величине и продолжительности весеннего пуска из Куйбышевского водохранилища в низовья Волги. Решение этой задачи затруднено из-за отсутствия или недостаточной надежности информации об экономической эффективности тех или иных весенних пусков для сельского и рыбного хозяйства низовьев Волги. Само понятие «режим оптимального весеннего пуска» экономически малообосновано, поэтому трудно оценить экономические последствия отклонений от такого режима.

Существуют вполне определенные требования к работе водохозяйственной системы со стороны таких отраслей народного хозяйства, как промышленность, коммунальное хозяйство, энергетика и речной транспорт. Удовлетворение этих требований гарантируется проектом с определенной степенью надежности. Поэтому на практике ежегодно возникает противоречие между стремлением сохранить определенный запас воды в водохранилищах каскада для надежного обеспечения указанных водопользователей и необходимостью обеспечить условия для функционирования сельского хозяйства Волго-Ахтубинской поймы, создать возможность для захода на нерест, нереста, ската молоди и нагула ценных пород проходных и особенно полупроходных рыб. Наряду с разработкой методики оптимального распределения необходимо идти по пути более углубленного неформального описания процессов, возникающих в этой сложной эколого-экономической системе в связи с перераспределением речного стока.

Управление ВХС Волги осуществляется системой взаимосвязанных водохранилищ, обладающих возможностями сезонного регулирования стока. Анализ режима их эксплуатации показал, что наряду с сохранением основных принципов регулирования стока, заложенных в проекте и направленных на его максимальное энергетическое использование, в процессе эксплуатации режим работы водохранилищ претерпел существенные изменения. Это связано с дальнейшим развитием водопользования в системе, значительным масштабом производства различных видов продукции с помощью водных ресурсов этого речного бассейна, в частности, с развитием рыбного и сельского хозяйства, а также вводом новых гидроузлов.

Изменения водохозяйственной обстановки в бассейне (новые требования потребителей, изменения водных ресурсов в связи с отъемами стока, или дотацией извне, ввод новых гидроузлов и другие мероприятия) требуют периодического уточнения правил эксплуатации каскада. В частности, с вводом в эксплуатацию Чебоксарского и Нижнекамского гидроузлов и водodelителя в вершине дельты необходимо пересмотреть правила использования водных ресурсов водохранилищ Волжско-Камского каскада, а до принятия новых правил не увеличивать существующий суммарный диспетчерский объем предполоводной сработки водохранилищ более 60—70 км<sup>3</sup>.

Водохранилища Волжско-Камского каскада являются единой гидравлико-водохозяйственной системой; изменение режима работы одного водохранилища оказывает влияние на энергетические и водохозяйственные показатели всего каскада. Поэтому, по-видимому, целесообразным является составление «Единых правил использования водных ресурсов» каскада в целом, где наряду с особенностями режима работы каждого гидроузла должны быть даны рекомендации по оптимальному использованию водных ресурсов всего каскада на основе разработки объединенных диспетчерских правил регулирования, предусматривающих возможность исполь-



зования всей полезной емкости водохранилищ каскада для обеспечения требований того или иного потребителя.

В настоящее время подача воды в низовья Волги производится путем маневрирования ресурсами Куйбышевского и частично Волгоградского водохранилищ. Между тем, около 50% рабочей емкости водохранилищ каскада размещено в верхних частях бассейна, однако привлечь эту воду для обеспечения попуска при существующих правилах регулирования практически невозможно.

Имеющиеся научные разработки, а также большой опыт эксплуатации каскада Волжско-Камских гидроузлов дают достаточно оснований для скорейшего пересмотра и уточнения правил эксплуатации Волжской водохозяйственной системы. Эти правила будут не только способствовать повышению эффективности использования водных ресурсов бассейна, но также правильно ориентировать всех водопользователей системы на проведение необходимых мероприятий, позволяющих приспособиться к реальным возможностям водоподачи и ее надежности.

Важным условием дальнейшего развития водохозяйственной системы Волги является переброска части стока северных рек в бассейн Волги. Одна из главных причин, побудившая принять решение о начале подготовительных работ по переброске, это рост безвозвратных изъятий стока в бассейне Каспийского моря и в том числе в бассейне Волги. Волга с Каспийским морем (особенно с его северной частью) образуют уникальный природно-хозяйственный комплекс. Имеющаяся здесь солоноватоводная экосистема, конечным звеном трофической цепи которой являются ценные породы полупроходных и проходных рыб (прежде всего осетровых), оказалась под сильным антропогенным воздействием.

В результате взаимодействия двух факторов — роста безвозвратных изъятий и длительного маловодья, начавшегося в 30-х годах, в течение последних 50 лет — уровень Каспийского моря заметно падает. В 1977 г. уровень моря достиг самой низшей отметки (—29 м) за весь период инструментальных измерений. Это примерно на 3 м ниже среднемноголетнего уровня, наблюдавшегося за период с 1830 по 1930 год. Возникла реальная угроза отчленения восточной части Северного Каспия и утраты естественных нерестилищ осетровых на р. Урал площадью 1,7 тыс. га.

Уже сейчас падение уровня Каспия привело к ощутимым потерям для его уникальной солоноватоводной экосистемы. Средняя соленость Северного Каспия повысилась к 1977 до 10,4‰ против 8‰ в среднем за период 60-х годов. Соленость 8‰ характеризует наиболее благоприятный ареал для солоноватоводного комплекса организмов планктона, бентоса и рыб. В результате уменьшения пресного стока и отступления моря акватория с такой соленостью сократилась за последнее десятилетие примерно в 4 раза. В результате сокращения площади и водной массы Северного Каспия уменьшились примерно на 30% запасы кормовых организмов для молоди осетровых, что неизбежно приведет к уменьшению запасов этого уникального вида рыб. Специалисты считают, что при сниже-

нии уровня моря до отметки —30 м потенциальные уловы осетровых уменьшатся до 120 тыс. ц в год, а при дальнейшем падении еще на 1 м уловы не превысят 50 тыс. ц против примерно 260 тыс. ц в 1979 г.

Следует отметить, что современные уловы осетровых плохо коррелируют с уровнем моря. Это объясняется тем, что значительную часть современных уловов осетровых составляют особи, родившиеся еще до полного зарегулирования Волги и до того как стало ощущаться падение уровня моря. Поэтому относительная стабильность уловов осетровых, достигнутая в последние годы в условиях пониженного уровня Каспия, не может не вызывать беспокойства за дальнейшую судьбу его уникальной экосистемы.

При анализе причин, вызвавших столь резкое снижение уровня моря, выделяется два основных фактора: катастрофическое многолетнее маловодье в бассейне, начавшееся в 30-х годах, когда средний речной сток в море за 8 лет был меньше нормы на  $57 \text{ км}^3$  в год, и антропогенное воздействие на сток, включая изменения условий на водосборе, безвозвратные изъятия воды и создание водохранилищ. Исследования показывают, что в результате неблагоприятных гидрометеорологических условий уровень моря начиная с 30-х годов упал почти на 2 м и примерно за 1 м падения ответственна хозяйственная деятельность в бассейне моря.

Действительное влияние водохранилищ Волжско-Камского каскада на водный баланс моря оценивается следующим образом. При создании водохранилищ имели место безвозвратные изъятия стока на заполнение мертвых объемов водохранилищ, суммарная величина этих изъятий оценивается величиной порядка  $100 \text{ км}^3$ . Около  $25 \text{ км}^3$  было истрачено на пополнение запасов подземных вод. Увеличение водной поверхности приводит к дополнительным потерям воды в бассейне, величина которых, по последним данным, колеблется от 4 до  $8 \text{ км}^3$  в различные годы.

В результате трех последних многоводных лет уровень Каспийского моря значительно повысился и достиг к началу 1981 г. отметки —28,5 м. Повышение уровня моря совпало с перекрытием Кара-Богаз-Гола. Однако роль отсечения залива в этом повышении невелика, поскольку при современных отметках моря отток в залив составлял бы меньше  $5 \text{ км}^3$  в год, тогда, как приток к морю в эти годы превышал его среднемноголетнее значение. Вместе с тем в многолетнем разрезе перекрытие Кара-Богаз-Гола будет способствовать стабилизации уровня и поэтому, если ставится задача предотвращения дальнейшего падения уровня, нельзя рассматривать отсечение залива в качестве основания для увеличения безвозвратных изъятий стока в бассейне Каспийского моря.

Уровень моря, судя по многочисленным данным, может в известной степени служить интегральной характеристикой водохозяйственной обстановки в его бассейне. Учитывая это, в Институте водных проблем была разработана методика прогнозирования уровня Каспийского моря. В его основе лежат статистические данные об элементах водного баланса моря. Детерминированному прогнозу

подчиняется только одна составляющая баланса — безвозвратное изъятие стока в результате хозяйственной деятельности.

При заданных статистических параметрах гидрометеорологических элементов планируемые изъятия стока однозначно определяют уровень тяготения моря (такое положение, когда среднемноголетний приток к морю с учетом существующих безвозвратных изъятий равен суммарному видимому испарению с его поверхности) и возможный размах колебаний относительно этого уровня. При современных безвозвратных изъятиях стока (около  $40 \text{ км}^3$  в год) положение уровня моря сейчас близко к уровню тяготения.

Дальнейший ход уровня можно представить следующим образом. Если бы рост безвозвратных изъятий стока прекратился, то уровень тяготения моря остался бы на современной отметке, и в силу естественных колебаний гидрометеорологических элементов уровень моря будет колебаться около отметки —  $28,5 \text{ м}$  с равновероятным размахом вверх или вниз примерно в  $1,2 \text{ м}$ . Если безвозвратные изъятия будут расти, то уровень тяготения будет падать и вместе с тем будет возрастать вероятность падения уровня ниже допустимых значений. Естественно, подача воды в бассейн Каспийского моря из северных рек может не только компенсировать будущие изъятия и задержать падение уровня моря, но даже и повысить его. Таким образом, вопрос о требуемых объемах переброски стока сводится прежде всего к правильному обоснованию роста водопотребления на южном склоне ЕТС.

На основании анализа имеющихся данных о реальных возможностях сокращения водопотребления можно установить некоторый предельно допустимый рост водопотребления в бассейнах Каспийского и Азовского моря до конца века. Для бассейна Каспийского моря рост водопотребления не должен превысить существующее более чем на  $20 \text{ км}^3$  в год. При этом для сохранения современного уровня моря —  $28,5 \text{ м}$  в качестве уровня тяготения его колебаний, потребуется подавать в бассейн Волги извне количество воды, равное дополнительно изымаемому стоку, т. е. к концу века около  $20 \text{ км}^3$ .

Исследования, проведенные Институтом водных проблем совместно с институтами-соисполнителями по проблеме территориального перераспределения водных ресурсов, показали целесообразность и допустимость такого пополнения волжского стока за счет части стока северных рек. Намечена определенная стратегия развития переброски стока. В качестве первоочередных объектов для изъятия стока были определены верховья рек Онеги и Сухоны.

Из озер Воже и Лача, из которых вытекает Онега, может быть изъято для переброски в Волгу до  $1,8 \text{ км}^3$  в среднем за многолетие. Перебрасываемая вода будет поступать из озер Воже и Лача, гидрологический режим которых, благодаря сооружению Каргопольского гидроузла будет управляемым, в Кубенское озеро и оттуда либо по реконструируемой Северодвинской системе, либо по специальному каналу в верхний бьеф Шекснинского гидроузла.

Вторым объектом, относимым к первому этапу переброски, является верхнее течение р. Сухоны вместе с Кубенским озером. Для переброски стока намечается соорудить Камчугский гидроузел и изымать около половины среднемноголетнего стока Сухоны, который в створе намечаемого гидроузла равен примерно  $9 \text{ км}^3$ . Сухонский сток из Кубенского озера будет также поступать в верхний бьеф Шекснинского гидроузла. Вопрос о технической схеме подачи воды в Шексну еще не решен.

Третьим источником пополнения водных ресурсов Волги может служить Онежское озеро, допустимое среднемноголетнее изъятие стока из которого в настоящее время определено  $3,5 \text{ км}^3$  в год. Относительно возможности развития этого источника переброски стока пока нет единого мнения. Однако мы считаем, что увеличение изъятий стока из бассейна Невы, к которому принадлежит Онежское озеро, вряд ли целесообразно. Водные ресурсы этого бассейна уже испытывают большое антропогенное воздействие, влияние которого отрицательно сказывается на качестве воды и состоянии водных экосистем Ладожского озера и р. Невы. Следует также иметь в виду, что переброска стока из Онежского озера неэффективна в энергетическом отношении, поскольку затраты энергии на подъем воды на водораздел, превышают энергию, получаемую от пропуска этой воды через гидроэлектростанции на Волге.

Одним из самых ранних предложений по пополнению водных ресурсов Волжско-Камского бассейна была переброска части стока р. Печоры. Проекты переброски печорского стока предусматривали не только подачу дополнительной воды в бассейн, но также, благодаря сооружению высокой плотины на Печоре, самотечную подачу воды в Каму и вследствие этого получение 100%-ного энергетического эффекта. По мере повышения природоохранных требований к крупномасштабному гидротехническому строительству в частности, в результате стремления к минимизации затопления земель, схема переброски стока существенно изменилась. В качестве первоочередного объекта рассматривается Митрофановский гидроузел с сравнительно небольшим водохранилищем, которое позволяет изымать в среднем  $9\text{—}10 \text{ км}^3$  в год при стоке Печоры в створе гидроузла  $17,8 \text{ км}^3$ . Реализация этого проекта может потребовать решения целого ряда технических и природоохранных вопросов. Даже сама схема изъятия ставится Коми филиалом АН СССР под сомнение. Поэтому окончательного решения по поводу переброски стока еще не принято, но вместе с тем можно утверждать, что изъятие  $10 \text{ км}^3$  из верхней Печоры может быть признано целесообразным.

В результате осуществления первой очереди переброски стока в Волгу будет создана объединенная водохозяйственная система Волги и затрагиваемых переброской северных рек. В настоящее время эта система формально существует, но в ней нет существенного водообмена между бассейнами северных рек и Волгой. Возникающая возможность передачи значительного количества воды, достигающего в некоторые годы до 10% волжского стока, на южный

склон потребует при управлении этой огромной системой совместного рассмотрения условий водообеспечения и охраны природы как на южном, так и на северном склонах.

Намеченные объемы переброски стока первой очереди принципиально не изменят режим работы Волжско-Камского каскада, поскольку основная задача переброски — компенсировать рост безвозвратного изъятия стока на южном склоне. Это не означает, что при этом не возникнет новых задач управления новой объединенной водохозяйственной системы в целом и отдельных ее звеньев. При переброске стока придется не только решать задачу рационального использования воды на южном склоне, но также обеспечивать требования, которые предъявляются к режиму северных рек как со стороны народного хозяйства, так и окружающей природой.

Как показывают исследования, изменения естественного режима северных рек не проходят бесследно как для природы, так и для условий жизни населения этих районов, и это нельзя не учитывать при разработке правил управления системой. Следует обратить также внимание на Шекснинско-Рыбинский участок новой системы. На этот участок приходится самая большая (в относительных величинах) часть переброски стока. Так, водные ресурсы Рыбинского водохранилища даже при первой очереди переброски увеличатся примерно на 30%, а расходы воды через Шекснинский гидроузел в нормальных условиях эксплуатации будут соответствовать условиям прохождения паводка 1% обеспеченности. Естественно, это потребует специальных мероприятий как инженерного, так и организационного характера.

Серьезные проблемы при разработке правил управления системой возникнут в связи с повышением требований южных водопользователей как к количеству водных ресурсов, так и к повышению надежности их удовлетворения. Такое сочетание требований несовместимо, к сожалению. Вместе с тем из теории регулирования стока известно, что увеличение потребностей в воде при закреплённой регулирующей емкости водохранилищ приводит к снижению обеспеченности водоподачи. Переброска же стока в намеченных размерах сможет только компенсировать рост безвозвратных изъятий, хотя на начальном этапе, некоторое повышение надежности водообеспечения может иметь место. Поэтому необходимо реально оценить возможности дальнейшего наращивания водопотребления на южном склоне и правильно ориентировать водопользователей на осуществление необходимых мероприятий по экономии водных ресурсов.

В этой связи необходимо обратить внимание на рост водопотребления для орошения. Известно, что при проектировании Волжско-Камского каскада надежность удовлетворения водой орошения не регламентировалась ввиду незначительности предъявляемых требований к воде этого участника комплекса. Сейчас в проектных материалах за расчетные гидрологические условия для ирригации принимаются условия 75%-ной обеспеченности с ограничением водоподачи на 20% от нормы в маловодных условиях, ~~выходящих за~~



пределы расчетной обеспеченности. Такие требования достаточно просто учесть при проектном водохозяйственном расчете. Значительно сложнее осуществлять такой режим в реальных условиях эксплуатации, когда при переходе к урезанному водопотреблению приходится учитывать не только состояние источника, но и условия увлажненности территории. Рациональное управление режимом водоподдачи для орошаемого земледелия — одна из важнейших задач управления переброской стока. В условиях маловодной межени на режим водоподдачи может также влиять положение уровня Каспийского моря, коль скоро море становится важным участником водохозяйственной системы. При низком уровне моря могут возникнуть дополнительные ограничения на безвозвратные изъятия. Требования экономить воду в народном хозяйстве с целью подачи ее в Каспийское море, где она будет бесцельно испаряться, кажется малоубедительным. Но следует помнить, что уникальная экосистема Волго-Каспия и прежде всего ее продуктивность зависят от режима поступления воды в Каспий. Это обстоятельство определяет и основную цель переброски стока.

Создаваемая система будет связана с бассейном Азовского моря, причем достаточно активно: намечается перебрасывать из Волги в Дон около  $5 \text{ км}^3$  воды в год. Такая переброска, как показывают исследования, может быть осуществлена только после подачи северной воды в Волгу и при обязательном условии равной переброске в Дон сокращения приростов водопотребления в бассейне Волги.

Сейчас стало ясно, что достаточно надежный анализ функционирования этой громадной водохозяйственной системы можно провести только на основе системы математических моделей, позволяющих использовать вычислительные возможности современных ЭВМ.

Применительно к условиям территориального перераспределения стока такая система моделей должна дать возможность:

- 1) оценивать эффективность различных вариантов переброски с точки зрения удовлетворения водопотребления в бассейне Волги и с учетом дотации воды в смежные бассейны Урала и Дона;

- 2) рассчитывать режим работы водохранилищ во внутригодовом и в многолетнем разрезе в условиях дополнительного поступления воды и оценку этих режимов с точки зрения влияния на сооружения и прилегающие территории;

- 3) получать необходимые данные для разработки правил управления Волжской ВХС в условиях переброски;

- 4) установить надежность работы системы.

В настоящее время нет системы математических моделей, которая с достаточной степенью точности могла решать задачи управления водными ресурсами Волжской ВХС, учитывая многообразие вопросов, возникающих при принятии решений. Создание системы таких моделей представляется актуальной задачей. Эта задача может быть решена как на основе совершенствования существующих действующих математических моделей управления режима каскадов гидроузлов, так и путем разработки новых моделей. Мы пошли по первому пути. За основу была принята модель и программа рас-

чета каскадов (РК), разработанная во ВНИИЭ Минэнерго СССР и много лет используемая ОДУ ЕТС для ведения оперативных режимов работы при эксплуатации Волжско-Камского каскада.

Накопленный опыт позволил на базе этой модели перейти к разработке специальной модели для решения проектных и научно-исследовательских задач совершенствования управления Волжско-Камского каскада.

Сейчас эта модель и машинная программа разработаны, проведена серия расчетов Волжско-Камского каскада по многолетнему стоковому ряду (26-летка) для различных вариантов водопотребления. Эти данные обрабатываются и анализируются.

Наряду с разработкой математических моделей системы сейчас ведутся работы для расширения информационной базы. Следует, однако, признать, что эти исследования идут не так успешно, как бы этого хотелось. Как известно, для решения оптимизационных задач нужна прежде всего надежная информация о связях между количеством используемой воды и эффектом от такого использования, т. е. так называемые производственные функции компонентов водохозяйственного комплекса. Состояние исследований и имеющаяся информационная база позволяют успешно получать такие функции пока только для энергетики, тогда как для других водопользователей в решении этих задач встречаются серьезные трудности. Так, получение, например, связи гидрографа половодья со степенью и характером затопления сельскохозяйственных земель и нерестилищ и их продуктивность (продолжительность затопления, площадь затопления и его глубина, урожайность сельхозкультур и др.) представляют значительные трудности. Необходимы ежегодные систематические наблюдения по результатам воздействия гидрологического режима Волги на сельскохозяйственные угодья Волго-Ахтубинской поймы, дельты и западных подstepных ильменей и сбор необходимых статистических данных об урожайности сельскохозяйственных культур.

Большую помощь в получении топографической, гидрологической, биологической и другой информации могут оказать космические методы исследований, которые, благодаря возможности мгновенно фиксировать процесс на большой площади с достаточной разрешающей способностью, выгодно отличаются от других наземных и воздушных методов наблюдений. Кроме того, наземные наблюдения не всегда возможны из-за исключительной мелководности прибрежных зон, заболоченности и трудной проходимости некоторых участков дельты. Как показали исследования, проведенные в ИВП АН СССР, космические фотоснимки позволяют изучить динамику гидрографической сети дельт, береговой линии и рельефа дна, распределение надводной и подводной растительности, площади затопления в период половодья, физико-географические характеристики прибрежных территорий и т. д. Поскольку начатые в ИВП АН СССР исследования с помощью космических методов связаны в основном с проблемами Северного Каспия и прибрежных устьевых областей рек и не ставили целью решение непосредственных водо-

хозяйственных задач по оптимизации использования водоземельных ресурсов Волго-Ахтубинской поймы и дельты, по-видимому, целесообразна разработка программы специальных космических исследований по этой проблеме, учитывающих специфику необходимой информации, ее точность, периодичность и т. д.

УДК 574.5(28)

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСАХ И КАЧЕСТВЕ ВОДЫ ВОЛГИ И ЕЕ ВОДОХРАНИЛИЩ**

**Н. В. Буторин, А. В. Монаков**

Бассейн Волги вместе с Каспийским морем образуют уникальную в биологическом отношении водную систему. На Волжско-Каспийский бассейн приходится до 50% улова рыбы во внутренних водоемах страны и около 85% мировой добычи осетровых.

В силу физико-географических условий и исторических причин бассейн Волги и Каспийского моря в целом испытывает сильное антропогенное воздействие. Так, в результате зарегулирования Волги и роста безвозвратного водопотребления ее сток в настоящее время по сравнению с естественным состоянием уменьшился примерно в 20 км<sup>3</sup> в год.

Зарегулирование стока Волги сопровождается изменением экологических условий на всем протяжении реки. Так, в дельте Волги резко уменьшилась площадь пойменных биотопов, ухудшились условия размножения полупроходных рыб и выживания их молоди. В результате промысловые уловы частиковых рыб существенно снизились. Только благодаря рациональному научно обоснованному промыслу и интенсивному искусственному рыборазведению удалось стабилизировать и несколько поднять ловы осетровых рыб.

Интенсификация сельскохозяйственного производства в бассейне Волги сопровождается увеличением содержания в воде биогенных элементов и токсических веществ. Годовое количество биогенных элементов, выносимых с сельскохозяйственных угодий в воды Волги, составляет примерно 300—350 тыс. т. Содержание азота и фосфора в волжской воде превышает естественную норму в 2—3 раза. В результате на некоторых участках Волги в отдельные годы создаются благоприятные условия для чрезмерного развития фитопланктона, «цветения» воды синезелеными водорослями, что отрицательно сказывается на качестве воды.

При сохранении на современном уровне состояния очистки воды, увеличивающемся стоке биогенных элементов с культурных площадей водосборов, при химическом и тепловом загрязнении качество воды в Волге и условия воспроизводства промысловых рыб в волжских водохранилищах могут ухудшиться.



Отмеченные тенденции в жизни Волги в значительной мере обусловлены изменением лимнологических условий (прохождения весеннего половодья и паводков, уровня, волнового, скоростного, температурного и ледового режимов).

Степень изменений гидрологического режима реки определялась морфометрическими особенностями и особенностями эксплуатации созданных водоемов. На водохранилищах, которые наполняются в период весеннего половодья, наблюдается быстрый подъем уровня в начале наполнения. В летне-осенний период уровень близок к отметке максимального наполнения или постепенно понижается по мере использования запаса воды. Резкое понижение уровня происходит во время предвесенней сработки водохранилища. Годовая амплитуда его колебаний составляет от 1 до 6 м. Ветровые денивеляции уровня в озеровидных участках достигают 1 м и более. Высота ветровых волн на некоторых водохранилищах превышает 3 м. Скорости стоковых течений в пределах водохранилищ, как правило, в десятки раз меньше, чем в реке. В циркуляции вод водохранилищ и их перемешивании существенную роль играют ветровые течения и волновые процессы.

Для температурного режима волжских водохранилищ характерны неустойчивая температурная стратификация в весенне-летний период и небольшие различия температуры воды по вертикали при ледоставе.

Ослабление интенсивности вертикального турбулентного обмена приводит к седиментации речных взвесей, увеличению прозрачности воды. В водохранилищах имеет место и обратный процесс: обогащение воды автохтонными взвесями, образованными за счет абразии берегов и ложа водоемов и в результате продуцирования фитопланктона. Большая часть взвесей, поступивших в водохранилища с речным стоком и образовавшихся в них, аккумулируется на дне водоемов, формируя донные отложения. Средняя скорость осадконакопления в водохранилищах Верхней Волги 0,2 см/год.

Регулирование стока Волги вызвало некоторые изменения химических свойств воды и прежде всего содержания и состава солей. Это проявляется (особенно в нижних бьефах гидроузлов) в уменьшении сезонных различий содержания и соотношения главных ионов и в сдвиге календарных сроков пониженной минерализации воды. Наблюдается некоторое увеличение содержания хлоридов и щелочных металлов, однако его величина находится в пределах годовых колебаний суммарного ионного стока.

Газовый режим после зарегулирования стока в зимний период заметно улучшился. Содержание растворенного кислорода, хотя и не достигает обычного полного насыщения, остается на уровне, благоприятном для существования и развития аэробных организмов.

Годовой вынос в Каспийское море общего фосфора и азота с образованием водохранилищ не изменился. Наблюдается лишь изменение соотношения минеральной и органической форм фосфора. Вероятно, повышенное поступление этих элементов с площади во-

досбора в результате интенсификации сельскохозяйственного производства и с бытовыми стоками компенсируется потерями азота и фосфора, вызванными особенностями физико-химических и биологических процессов в водохранилищах.

В результате изменений гидрологического и гидрохимического режимов речная волжская экосистема трансформировалась в качественно новые экосистемы волжских водохранилищ, характеризующиеся большим видовым разнообразием и большей численностью автотрофных и гетеротрофных организмов, интенсивным продуцированием и накоплением органического вещества, сложными трофическими связями и формированием новых биоценозов.

В результате активной деятельности человека наши представления об устойчивости естественных экосистем меняются. Несколько лет тому назад вряд ли можно было бы предположить, что в Куйбышевском водохранилище, расположенном в 1500—2000 км от устья Волги, промысловой рыбой станет каспийская тюлька, будут ловиться черноморская рыба-игла и белозерский снеток.

Нахождение животных северного происхождения в Средней и Нижней Волге регистрировалось и до ее зарегулирования. В верховьях Волги проникали также и представители каспийской фауны. Однако основная перестройка биоценозов реки произошла в результате строительства на ней плотин и создания крупных искусственных водоемов со специфическим режимом.

Существенные изменения произошли в планктоне. Возможности распространения северных форм на юг и южных на север возросли, благодаря появлению глубоких стратифицированных водоемов с зонами гипolimниона. В результате к настоящему времени 12 видов северного происхождения освоили Куйбышевское водохранилище (*H. appendiculata*, *E. graciloides*, *E. lacustris*, *C. kolensis*, *L. frontosa*, *D. cristata*, *Bythotrephes* и 5 форм босмин) и 6 видов — Саратовское и Волгоградское (*E. graciloides*, *C. kolensis*, *D. cristata*, *B. coregoni*, *B. longispina*, *Bythotrephes*) [1].

Под влиянием изменившихся условий обитания некоторые каспийские виды исчезли, другие распространились вверх по Волге (*H. caspia* — до низовьев Камы). В Волгоградском водохранилище в конце 70-х годов появилась широко распространенная в Понто-Каспии *Calanipeda aquae-dulcis* и *Cornigerius maeoticus*.

В целом зоопланктон Волги после ее зарегулирования стал лимнофильным (сократилось видовое разнообразие коловраток и увеличилось число форм ракообразных) и лишь в Верхней Волге до впадения р. Орши, а также в нижних бьефах ГЭС он сохранил реофильные черты.

Более заметно зарегулирование Волги сказалось на донных сообществах. Падение скоростей течения и заиление русловых участков привело к тому, что псаммо- и литофильные биоценозы в значительной степени утратили свое первоначальное значение и уступили место пело- и псаммо-пелофильным. Прежние биоценозы сохранились лишь на участках водохранилищ с речным течением.

В последнее десятилетие в донной фауне водохранилищ Волги прослеживаются тенденции к увеличению количества олигохет (в Рыбинском водохранилище, например, с 25% в 1952—1968 гг. до 50% в 1970—1978 гг.) и росту суммарной биомассы бентоса, которая по водоемам каскада колеблется в среднем от 5 до 15 г/м<sup>2</sup>.

В водоемах бассейна Волги обитает 83 вида рыб. 20 из них имеют промысловое значение. Их уловы в 11 волжских водохранилищах составляют около 130 тыс. ц (5 кг/га). По ориентировочным подсчетам, примерно столько же падает на любительский лов.

Плотность ихтиофауны в водохранилищах в 4—8 раз ниже, чем в евтрофных озерах тех же широт, главным образом за счет нарушения условий естественного воспроизводства. В дельте Волги после сокращения стока резко уменьшилась площадь пойменных водоемов (более чем на  $\frac{1}{3}$ ) и ухудшились условия размножения полупроходных рыб и выживания их молоди. В результате промысловые уловы частиковых в дельте снизились с 1 млн. ц в 1960 г. до 310 тыс. ц в 1978 г.

Вместе с тем, благодаря рациональному лову и интенсивному искусственному рыборазведению в среднем за последнюю пятилетку уловы осетровых рыб стабилизировались и даже возросли со 100 до 250 тыс. ц.

Основными особенностями пищевых связей в водоемах Волжского каскада следует считать следующее. Первичная продукция в его водохранилищах в среднем за вегетационный период составляет 130 г С/м<sup>2</sup> и близка к уровню мезотрофных водоемов. Она создается преимущественно в период «цветения» диатомовых и сине-зеленых планктонных водорослей, многие из которых образуют ценобиальные формы. Последние слабо используются зоопланктоном и включаются в пищевую цепь через промежуточные звенья микрофлоры и простейших.

Таким образом, классический путь трансформации органического вещества: фитопланктон — мирные беспозвоночные, в водохранилищах Волги имеет подчиненное значение. По этому пути первичная продукция утилизируется в пелагиали лишь каланидами, коловратками, остракодами и дрейссеной, в прибрежных сообществах — фитофильными личинками хирономид, некоторыми переднежаберными моллюсками и кладоцерами. Суточные рационы зоопланктеров (в грубом приближении) составляют 40—100% от веса их тела при усвояемости растительной пищи 40—60%. Оптимальная концентрация пищи для растительноядного планктона близка к средней ее концентрации в водохранилищах и колеблется в пределах 2—4 г/м<sup>3</sup> (сырой вес).

В водохранилищах Волжского каскада богато представлена микрофлора. Средняя численность микроорганизмов бактериопланктона составляет по всей Волге 1—3 млн. кл./мл, а средняя за вегетационный период продукция бактериальной биомассы 20—40 г С/м<sup>2</sup><sup>1</sup>, что соизмеримо с продукцией фитопланктона. Источни-

<sup>1</sup> Волга и ее жизнь. Л. Наука, 1978. 350 с.

ком энергии бактериальной продукции наряду с органическим веществом фитопланктона служит и аллохтонное органическое вещество, поступающее со стоком. Экспериментальными исследованиями установлено, что бактериопланктон при его концентрациях, близких к таковым в водоеме, обеспечивает полноценный рацион для большинства фильтрующих форм мезо- и микрозоопланктона. Использование микрофлоры осуществляется в природных массивных фильтраторах Cladocera, многими коловратками, донными остракодами, сферидами и некоторыми личинками хирономид, в прибрежной зоне водоемов — большинством хидрид, остракодами, переднежаберными моллюсками и некоторыми веслоногими ракообразными. Помимо того, что микрофлора представляет собой непосредственный источник питания, бактерии служат промежуточным звеном в реализации беспозвоночными запасов растворенного органического вещества.

Характер трофических взаимоотношений в водохранилищах Волги определяется особенностью этих водоемов (их большой площадью и разнообразием биотопов), что делает возможным сосуществование близких видов и форм. Этому способствуют высокая трофическая пластичность гидробионтов, многообразие их способов питания и пищевых потребностей, а также экологическая разобщенность. Благодаря этому в водоемах подобного типа пищевая конкуренция маловероятна.

Достаточно полная схема трофических связей и потока энергии была построена для Рыбинского водохранилища. Она демонстрирует ряд особенностей продукционных процессов, в значительной мере присущих и многим другим водохранилищам каскада. Основные из них: существенный вклад в продукционный процесс энергии аллохтонного органического вещества; преобладание в общем балансе деструкции над продукцией, важная роль микрофлоры и протозойного планктона как источника пищи для первичных и вторичных консументов.

Таким образом, процесс деструкции органического вещества, сопряженный с продукционным процессом, составляет основу самоочистительной способности и осуществляется целостной сложной экосистемой. Изменение ее целостности может привести к ухудшению качества воды.

Исследования, выполненные за последнее десятилетие, свидетельствуют, что в настоящее время по составу и численности сапрофитных бактерий, фитопланктона и протозоопланктона волжская вода может быть в целом отнесена к  $\beta$ -мезосапробной зоне мезотрофных водоемов. Численность сапрофитных бактерий, например, являющихся показателем обмена легкоусвояемых органических веществ колеблется в водохранилищах Волги от 0,3 до 6,5 тыс. мл и составляет 0,02—0,3% от общей численности бактерий<sup>1</sup>.

Вместе с тем в непосредственной близости от крупных населенных пунктов имеются  $\alpha$ -мезосапробные участки, в которых доста-

<sup>1</sup> Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 350 с.

точно четко проявляется влияние сброса промышленных и бытовых стоков. В результате резко сокращаются число видов и обилие планктонных и донных животных вплоть до полного исчезновения некоторых из них. Однако подобные явления наблюдаются в строго локальных районах и уже в нескольких километрах ниже по течению структура сообществ восстанавливается.

Можно с уверенностью сказать, что высокая самоочистительная способность водных экологических систем может быть эффективной в случае максимального внимания и бережного отношения к Волге всех (без исключения) водопользователей.

Следует четко выделить два направления исследований внутренних водоемов. Первое включает полевые и экспериментальные работы в области водной микробиологии, микологии, экологической физиологии и биохимии гидробионтов, популяционной экологии и генетике рыб, паразитологии и многие другие. Они дают возможность количественно оценить роль различных звеньев экологической системы в продукционных и деструкционных процессах и могут быть использованы в решении важных народнохозяйственных проблем — сохранения удовлетворительного качества воды и рационального использования биологических ресурсов водоемов.

Во вторую группу входит постоянный контроль за состоянием водоемов. По существу, это служба наблюдений за их гидролого-гидрохимическим и биологическим режимом. В условиях усиливающегося антропогенного воздействия водные экосистемы могут претерпевать и претерпевают заметные изменения. В этом случае многолетние и регулярные наблюдения позволяют регистрировать скорость и направленность происходящих процессов и более правильно подходить к экологическому прогнозированию. В постоянном контроле нуждаются составляющие водного баланса, уровень, температурный и газовый режимы; биогенные элементы (их поступление и аккумуляция); процессы седиментаций взвешенных веществ и донные отложения; состав доминирующих форм флоры и фауны, их распределение, численность и продукционные возможности на различных трофических звеньях.

## СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КАМЫ И КАМСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Ю. М. Матарзин, Н. Б. Сорокина, Н. П. Пушкина,  
И. Ф. Губанова, Л. А. Родионова, Т. А. Кортунова, А. Б. Китаев

Кама — самый крупный приток Волги как по площади бассейна ( $521\,700\text{ км}^2$ ) и длине реки (2032 км), так и по водности (6,4 и 5,8 л/с с  $1\text{ км}^2$  соответственно). Бассейн в значительной степени залесен, частично заболочен и имеет хорошо развитую речную сеть. Правобережные притоки равнинные, левобережные — полугорные и горные. Наиболее крупные из них — реки Вишера, Чусовая, Белая, Ик, Вятка. В настоящее время в результате гидротехнического строительства р. Кама изменила гидрографический облик. От устья р. Вишеры и до ее впадения в Волгу она представляет каскад крупных водохранилищ: Камское (Пермское), созданное в 1954 г., Воткинское — 1962 г., Нижнекамское — 1979 г., Камский плёс Куйбышевского водохранилища — 1957 г. Первым крупным водохранилищем в бассейне Камы стали Широковское на р. Косье (1945 г.) и Павловское на р. Уфе (1959 г.). Основные параметры перечисленных водохранилищ приведены в табл. 1.

Однако изменения экологических условий в бассейне нельзя считать результатом только регулирования стока гидротехническими сооружениями. В значительной степени эти изменения обусловлены промышленным строительством (сооружение крупных целлюлозно-бумажных, горно-добывающих и химических предприятий), а также все возрастающей хозяйственной деятельности человека на водосборе (вырубка лесов, распашка территорий, сельскохозяйственные мелиорации: осушение, орошение, культурно-технические работы, химизация и др.), которые особенно усилились в последние десятилетия. Наглядное представление об этом дает рост мелиоративных работ на водосборе Воткинского водохранилища. Например, по данным В. К. Ладыгина, И. В. Разорвина [6], площади орошаемых земель возросли с 250 га (1966 г.) до 30,9 тыс. га (1980 г.), осушаемых — с 478 га до 21,2 тыс. га; химизация (известкование) земель за тот же период возросла с 85 тыс. га до 1,05 млн. га; добыча и внесение торфяных удобрений — с 9,29 до 32,5 млн. т. Эти показатели предполагается довести соответственно до 106 и 100 тыс. га, 4,08 млн. га и 65,0 млн. т.

Несмотря на мероприятия по уменьшению загрязнения, содержание отдельных компонентов в воде водохранилищ остается сравнительно высоким и не может не оказывать влияния на экологические условия.

Многолетние комплексные исследования р. Камы и камских водохранилищ позволяют сегодня проследить в динамике многие процессы и явления, связанные с антропогенным «прессом» и приведшие к современным экологическим условиям.



**Таблица 1**  
**Основные параметры водохранилищ Камского бассейна**

Параметры	Камское (Пермское)	Воткинское	Нижнекамское	Широковское	Павловское
Начало наполнения чаши, год	1954	1962	1979	1945	1959
Наполнено до НПГ, год	1956	1964	1983	1948	1961
Напор у плотины, м	21,0	23,0	—	36,0	32,9
Отметка НПГ, м	108,5	89,0	68,0	206,0	140,0
Отметка ГС, м	101,0	85,0	66,0	194,5	128,5
Длина, км	272,0	365,0	360,0	32,5	150,0
Ширина, км:					
средняя	5,5	3,1	6,4	1,3	0,8
наибольшая	13,5	10,0	20,0	5,0	1,8
Глубина, м:					
средняя	6,5	8,3	5,0	13,0	12,0
наибольшая	32,0	28,0	18,0	Нет сведений	
Площадь зеркала при НПГ, км <sup>2</sup>	1 915	1120	2570	40,8	120
Площадь зеркала при ГС, км <sup>2</sup>	650	800	2100	22,0	58,0
Объем при НПГ, км <sup>3</sup>	12,205	9,363	13,6	0,53	1,41
Объем при ГС, км <sup>3</sup>	2,971	6,661	9,0	0,36	0,89
Амплитуда годовой сработки, м	7,5	4,0	2,0	11,5	11,5
Амплитуда навигационной сработки, м	2,5	2,0	Не предусматривается		2,0
Площадь мелководий (до 22 м), км	370	160	470	—	—

Мы считаем, что основой водной экологии являются специфика и гидрологические особенности водных объектов. Поэтому мы исходим в экологических исследованиях водохранилищ из биогидрологической концепции С. Д. Муравейского [9, с. 75—79]. Применительно к водохранилищам биогидрология трактуется как гидрологическое обоснование внутриводоемных процессов, конечным результатом которых является биологическая продуктивность, адекватная плодородию почв. Поэтому биогидрологическая структура водоемов так или иначе связана в своем развитии (формировании) с процессами, протекающими на суше. На данном этапе исследований по комплексной целевой программе «Кама» предполагалось получение конечных результатов в виде укрупненных количественных показателей, среднемесячных характеристик, удовлетворяющих требованиям составления «схем» ТЭО.

Главные требования к методикам — возможность их использования на стадиях проектирования, эксплуатации и для вариантных оценок на перспективу. Основой методик служит балансовый

метод с дифференцированным решением водных балансов по отдельным морфологическим районам и морфометрическим участкам водохранилищ. Затем воднобалансовые характеристики пересчитываются в гидродинамические, гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические, между которыми устанавливаются эмпирические зависимости.

Последовательность использования методических расчетов состоит в следующем.

1. По крупномасштабным картам производится гидрологоморфометрическое районирование с выделением основных таксономических рангов [7]: плёс — район — участок — зона — подзона. Подзона отождествляется с биотопами (поверхность террас, пойм и др.): например, на Камском водохранилище по этому принципу проведено районирование (рис. 1) и выделено 2 основных плёса — Камский и Сылвинско-Чусовской, четыре района и 12 участков. Для каждого таксона рассчитаны морфометрические характеристики, а также параметры выделенных в каждом районе и участке зон (глубоководной, мелководной, прибрежной).

2. Для участков рассчитываются элементы водного баланса, на основе которых для граничных створов определяются расходы воды. Методика расчета предложена Т. П. Девятковой [1, с. 129—134]. Такие расчеты выполняются для характерных по водности лет, по уравнению

$$V_k = V_{k-1} + Q_v \sum_{k-1}^k t - Q_n \sum_{k-1}^k \pm W, \quad (1)$$

где  $t$  — количество секунд в расчетном периоде,  $Q_v$ ,  $Q_n$  — расходы воды через верхний и нижний створы,  $V_{k-1}$  — объем водной массы в начале периода,  $V_k$  — объем водной массы в конце периода,  $\pm W$  — остальные члены уравнения водного баланса (сумма осадков, количество испарившейся воды, боковая приточность, потери воды при ледообразовании, обсыхание льда в результате сработки, забор воды на хозяйственные нужды и др.), учитываемые суммарно.

Решая уравнение (1) относительно разности расходов  $\Delta Q = Q_n - Q_v$ , получим

$$\Delta Q = \frac{1}{\sum_{k-1}^k} (V_{k-1} - V_k \pm W). \quad (2)$$

Определив  $\Delta Q^{k-1}$  для всех последовательно расположенных участков, можно, начиная от входного створа, рассчитать средние за период расходы воды в конце каждого участка

$$Q_n = Q_v + \Delta Q. \quad (3)$$

В период наполнения водохранилища  $V_k > V_{k-1}$ ,  $\Delta Q$  имеет отрицательный знак, а значит  $Q_n < Q_v$ . При сработке водохранилища  $V_k < V_{k-1}$ , поэтому  $Q_n > Q_v$ .



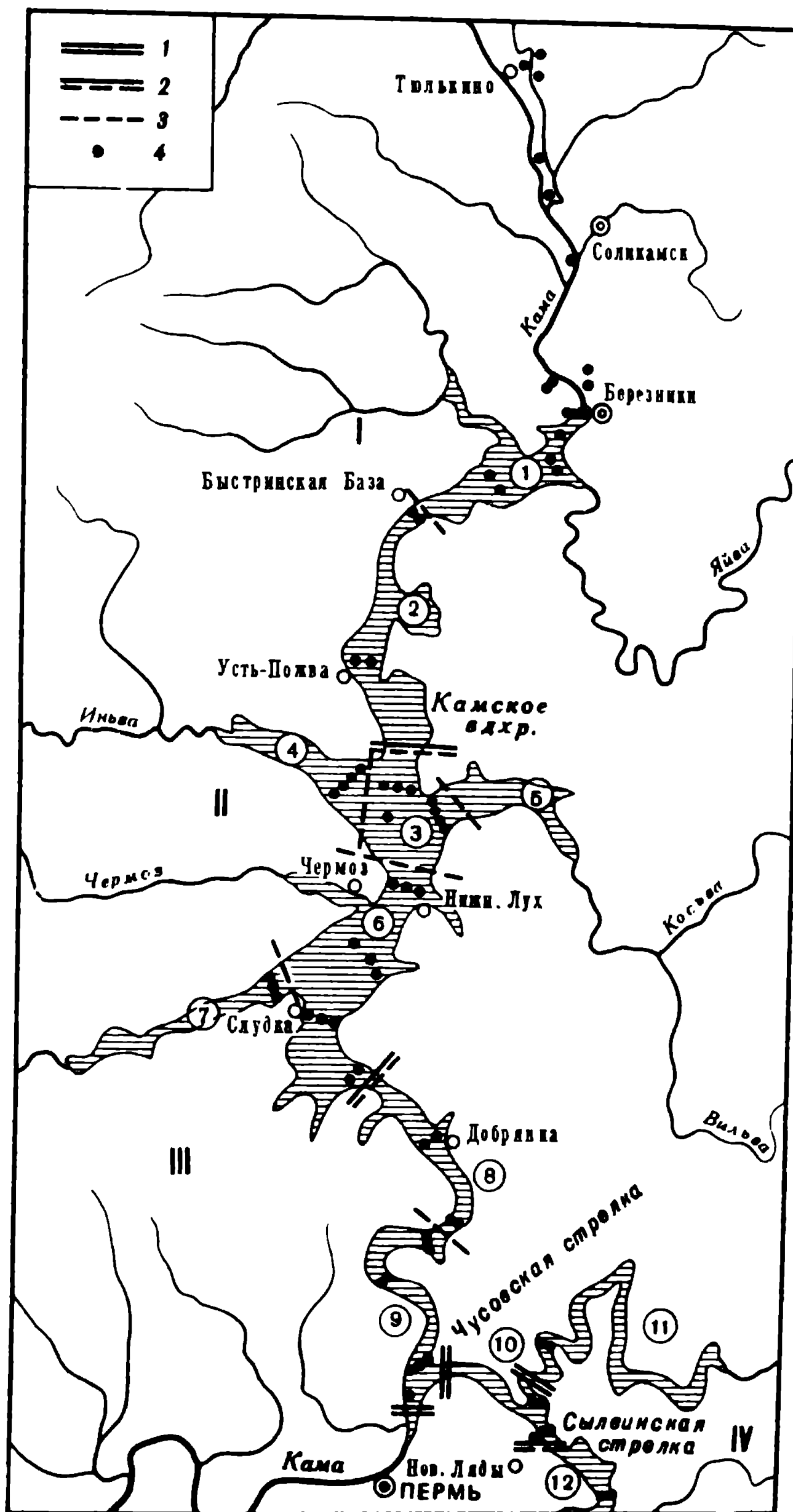


Рис. 1. Схема районирования Камского водохранилища [7]

I—IV — номера районов 1 — граница плёсов, 2 — граница районов, 3 — граница участков:  
4 — точки отбора проб донных отложений

3. На основе балансовых характеристик рассчитываются основные гидродинамические характеристики: средние скорости (отношение расхода к площади живого сечения), коэффициенты проточности (отношение скорости в условиях водохранилища  $V_v$  и в условиях реки  $V_p$ ,  $K_p = V_v/V_p$ ), условного водообмена (отношение объема стока через замыкающий створ участка  $W_{ст}$  к объему воды на участке  $V$ ,  $D = W_{ст}/V$ ).

Эти характеристики могут быть рассчитаны практически в любом створе водохранилища. Изменения величины условного водообмена рассчитаны для каждого участка и учитывают сток через его замыкающий створ. Этот коэффициент позволяет судить об обмене водной массы по длине водохранилища в разные месяцы. Кроме того сделана попытка установления эмпирической зависимости между величиной  $D$  и общей минерализацией воды (рис. 2) и др. Зависимости выявлены для периода наполнения и сработки водоема и могут быть использованы для расчетов химических балансов участков.

4. Путем расчета водных составляющих вычисляются гидрофизические и гидрохимические показатели (теплозапас, тепловой баланс, общий химический баланс, баланс биогенов и др.).

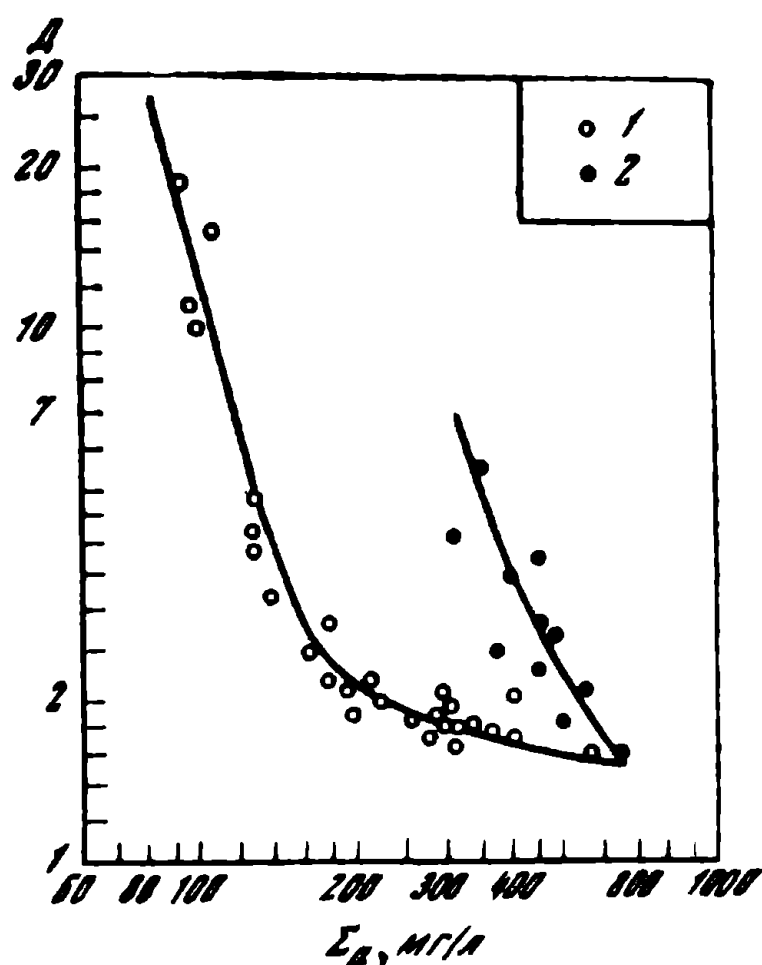
5. На основе различий морфологии, морфометрии, седиментации, гидродинамики, гидрохимических особенностей отдельных частей водоема (плёсы, районы, участки, зоны, подзоны) для каждой из них оцениваются основные биологические показатели по всем группам водных организмов: фито- и зоопланктон, бентос, высшая водная растительность, ихтиофауна. Оценка выполняется с учетом площадей определенных таксонов и вычислением величины продукции в виде средневзвешенных характеристик.

6. Оценка экологических условий водоема дается на основе всех выполненных исследований с обязательным учетом процесса взаимодействия между водной массой участка и прилегающей к его периметру территории. Такой подход к изучению водохранилищ, на наш взгляд, является наилучшим вариантом и позволяет на единой методической основе оценить экологические условия на перспективу с учетом изменения объема трансформируемой через водохранилище воды, ее физических и химических свойств.

Экологические условия камских водохранилищ разнообразны и определяются многими факторами: положением в каскаде, морфологией, видом регулирования, гидрологическим и гидрохимическим режимами, климатическими особенностями, антропогенным воздействием и др. Наиболее сложно в этом отношении Камское водохранилище. Достаточно показательными при оценке экологических условий литорали и профундали в сезонном и многолетнем ходе являются величины навигационной и годовой сработки водохранилищ.

Для Камского водохранилища предельная навигационная сработка — 2,5 м, годовая — 8,5 м; для Воткинского — 2,0 и 4,0 м; Нижнекамского — навигационная не предусматривается, годовая — 2,0 м. Годовая сработка, как правило, близка к предельной величине.

Рис. 2. Зависимость общей минерализации ( $\Sigma_m$ ) от условного водообмена ( $D$ ) для периодов наполнения (1) и сработки (2) Камского водохранилища



не, а навигационная меняется из года в год в широких пределах. В режиме эксплуатации Камского водохранилища выделяется три периода: с 1956 по 1959 гг., с 1960 по 1963, с 1964 г. по настоящее время. Они определяются реализацией разных планов эксплуатации водохранилищ в связи с повышением отметки НПГ на 0,5 м в 1960 г., образованием Воткинского водохранилища в 1964 г. Следует ожидать, что с наполнением Нижнекамского водохранилища произойдут новые изменения в регулировании, что особенно скажется на уровнях режимах Камского и частично Воткинского водохранилищ, играющих регулируемую роль в каскаде.

Оценивая 26-летний период существования Камского водохранилища, следует сделать вывод о различиях формирования гидрологического, гидрохимического, гидробиологического режимов по участкам и в пределах биотопов, а также во времени (по сезонам, годам, периодам), что является следствием многофакторности процессов и явлений.

Изменение речных экологических условий, формирование и динамика новых водохранилищных находит отражение в гидробиологическом режиме, в биологической продуктивности водоемов. Современная оценка экологических условий и биопродуктивности дается на основе анализа внутриводоемных процессов, определяемых количественно для характерных частей водоемов по изложенной выше методике.

Изменение речных экологических условий, формирование и динамика новых водохранилищных находит отражение в гидробиологическом режиме, в биологической продуктивности водоемов. Современная оценка экологических условий и биопродуктивности дается на основе анализа внутриводоемных процессов, определяемых количественно для характерных частей водоемов по изложенной выше методике.

Общие закономерности формирования гидробиологического режима, свойственные водохранилищам Волжского каскада [8], нарушаются большими отклонениями, вызванными загрязнением сточными водами промышленных предприятий, большой зимней сработкой и неустойчивым режимом в безледный период.

В районах загрязнения наблюдается активизация микробиологических процессов. В целом в Камском водохранилище деструкция органического вещества и его оборота в донных отложениях в 2—3 раза ниже, чем в волжских [12].

Фитопланктон Камского водохранилища представлен в верхнем районе в основном диатомовыми, в среднем и нижнем возрастает роль синезеленых (табл. 2).

Суммарная масса альгофлоры Камского водохранилища летом превышала таковую весеннего периода (данные 1980 г.) в 4 раза. Весной этого года по всей акватории водохранилища преобладали

Таблица 2

Численность и биомасса основных групп водорослей Камского водохранилища  
в июле 1980 г.

[по: С. А. Третьякова, неопубликованные данные]

Группа	Приплотинный	Ниже Добрянки	Выше Добрянки	Чермоз	Иньва — Косьва	Таман
Диатомовые	$\frac{0,7}{1,1}$	$\frac{0,5}{0,4}$	$\frac{0,7}{0,9}$	$\frac{5,5}{3,8}$	$\frac{2,9}{1,7}$	$\frac{7,9}{4,6}$
Синезеленые	$\frac{0,7}{0,07}$	$\frac{15,3}{1,5}$	$\frac{37,8}{3,7}$	$\frac{18,0}{1,6}$	$\frac{31,0}{3,1}$	$\frac{0,7}{0}$
Всего	$\frac{1,4}{1,2}$	$\frac{30,0}{2,2}$	$\frac{38,8}{4,6}$	$\frac{25,5}{5,8}$	$\frac{34,4}{5,2}$	$\frac{9,3}{4,8}$

Примечание. Числитель — численность, млн. кл./л, знаменатель — биомасса, г/м³.

Таблица 3

Многолетняя динамика биомассы летнего зоопланктона  
Камского водохранилища, г/м³

Участок	1956*	1957*	1958*	1959*	1961**	1962**	1976	1977	1978
Нижний	—	0,5	1,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	2,0
Центральный	0,9	0,7	0,4	0,3	1,0	0,2	1,7	1,7	1,7
Верхний	—	0,1	0,1	—	0,4	0,3	0,5	0,9	4,0

\* Данные С. Н. Уломского [13]. \*\* Данные Р. А. Серкиной [10].

диатомовые водоросли, летом на центральном участке и в Обвинском плёсе доминировали синезеленые водоросли, на остальных участках диатомовые сохранили свое ведущее положение.

В распределении планктонных фитоценозов Воткинского водохранилища и их структур много общего с Камским.

Зоопланктон со стабилизацией режима водохранилища становится богаче, значительно увеличиваясь в центральной озеровидной части (табл. 3).

В настоящее время зоопланктон представлен 130 видами, в основном лимнофильными. Количественно доминируют мирные зоопланктеры — представители родов *Daphnia* (в основном *D. longiremis*), *Bosmina*, пауплиальные и ювенильные стадии копепод. Они составляют от 70 до 86% общей биомассы или численности всего зоопланктона.

Средняя по водохранилищу биомасса — 1 г/м³. Более высокие показатели (2—4 г/м³ при численности до 300 тыс. экз./м³) наблюдаются в Сылвинском и Обвинском краевых плёсах.

Таблица 4  
Средневзвешенная биомасса (г/м<sup>3</sup>) зоопланктона  
по отдельным глубинным зонам Камского водохранилища

Год	Сезон	Зона				
		0—2	2—5	5—12	более 12	среднее
1976	Весна	0,2	0,1	0,0	0,06	0,1
	Лето	1,6	1,7	1,9	1,0	1,6
	Осень	3,0	1,8	1,7	1,6	2,1
1977	Весна	0,03	0,02	0,07	0,08	0,05
	Лето	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7
	Осень	33,4	13,8	5,1	9,5	12,0
1978	Весна					
	Лето	2,9	2,8	1,6	1,5	2,3
	Осень	0,6	1,6	0,8	0,6	0,9

Максимальная численность зоопланктона вследствие преобладания теплолюбивых форм приходится на летне-осенний период, минимальная — на зимний.

При количественной оценке зоопланктона наиболее репрезентативна средневзвешенная величина, рассчитанная с учетом объемов различных глубинных зон (табл. 4).

Глубоководная (более 12 м) зона, как правило, несколько беднее, что, видимо, связано и с более низкими температурами и с наибольшей проточностью. Летом прибрежная зона (до 5 м), кроме аномального 1978 г., несколько беднее, чем зона с глубинами 5—12 м. Осенью наибольшим планктонным обилием отличается самая мелководная зона (до 2 м). Расчеты продукции зоопланктона Камского водохранилища дали следующие результаты: в водоеме продуцируется около 330 тыс. т зоопланктонного корма (данные за 1976—1978 гг.), из них около 50 тыс. т (15,2%) в мелководной прибрежной (до 2 м) зоне. По данным Е. А. Антоновой [5], используется молодью рыб лишь около 25 тыс. т.

Зоопланктон Воткинского водохранилища значительно беднее Камского. За вегетационный сезон 1979 г. валовая продукция составила 171 тыс. т. Около 100 тыс. т органического вещества (58%) продуцируется зоопланктоном в глубоководной зоне и мало используется рыбами.

Влияние промышленного загрязнения на развитие зоопланктонного населения сказывается в основном в районах загрязнения и приходится на верхние участки водохранилищ. Большинство видов камских зоопланктеров является олиго- и β-мезосапробами, а водохранилища по состоянию фито- и зоопланктона следует классифицировать как β-мезосапробные.

*Донная фауна* Камского водохранилища представлена 140 видами животных, среди которых доминируют личинки хирономид, олигохеты, моллюски. Преобладают тубифицидно-прокладиевые комплексы с участием моллюсков. Динамика развития бентоса в целом по водохранилищу показана на рис. 3, а. Наименьшая биомасса ( $0,2 \text{ г/м}^2$ ) наблюдается в районах выклинивания подпора (за счет мотылей и реофильных моллюсков) и в приплотинном участке ( $8 \text{ г/м}^2$ ) за счет олигохет. Особенно отличаются по видовому составу и количеству гидробионтов Сылвинский и Обвинский краевые плёсы, где появилась дрейссена (биомасса до  $22 \text{ кг/м}^2$ ), а также рачок корофиум и *Dikergomphus haemobaphas* (в верховьях Сылвинского плёса). Средняя биомасса Сылвинского плёса почти в 25 раз превышает соответствующие показатели главного плёса — Камского.

Формирование донной фауны Воткинского водохранилища своеобразно: основой биомассы в мелководной зоне являются олигохеты (на Камском преобладают личинки хирономид). Это особенно характерно для верховья водохранилища, где в результате органического загрязнения биомасса олигохет достигает  $600 \text{ г/м}^2$ , или 97% всей биомассы. В среднем по водохранилищу она изменяется в летний период от 3,0 до  $32,0 \text{ г/м}^2$ , уменьшаясь от верховий к плотине ГЭС.

*Формирование ихтиофауны* камских водохранилищ соответствует закономерностям, свойственным большинству равнинных водохранилищ средней полосы европейской части СССР. Однако имеются особенности, обусловленные большой сработкой в зимний период и загрязнением водохранилища [11]. Первый период (1956—1959 гг.) характеризовался вспышкой численности большинства видов рыб и доминированием хищников (щука, налим), составивших до 40% промысловой добычи. Особенно резкое возрастание численности щуки имело место в Камском водохранилище с момента окончательного наполнения (1956 г.) до 1960 г., после чего ее доля снижается (рис. 3, в). Благоприятные условия сложились для рыб, питающихся хирономидами: леща, белоглазки, ерша, густеры в связи с бурным развитием фауны беспозвоночных, особенно личинок хирономид. Питание хищников обеспечивалось за счет малоценных видов рыб (ерша, окуня, плотвы).

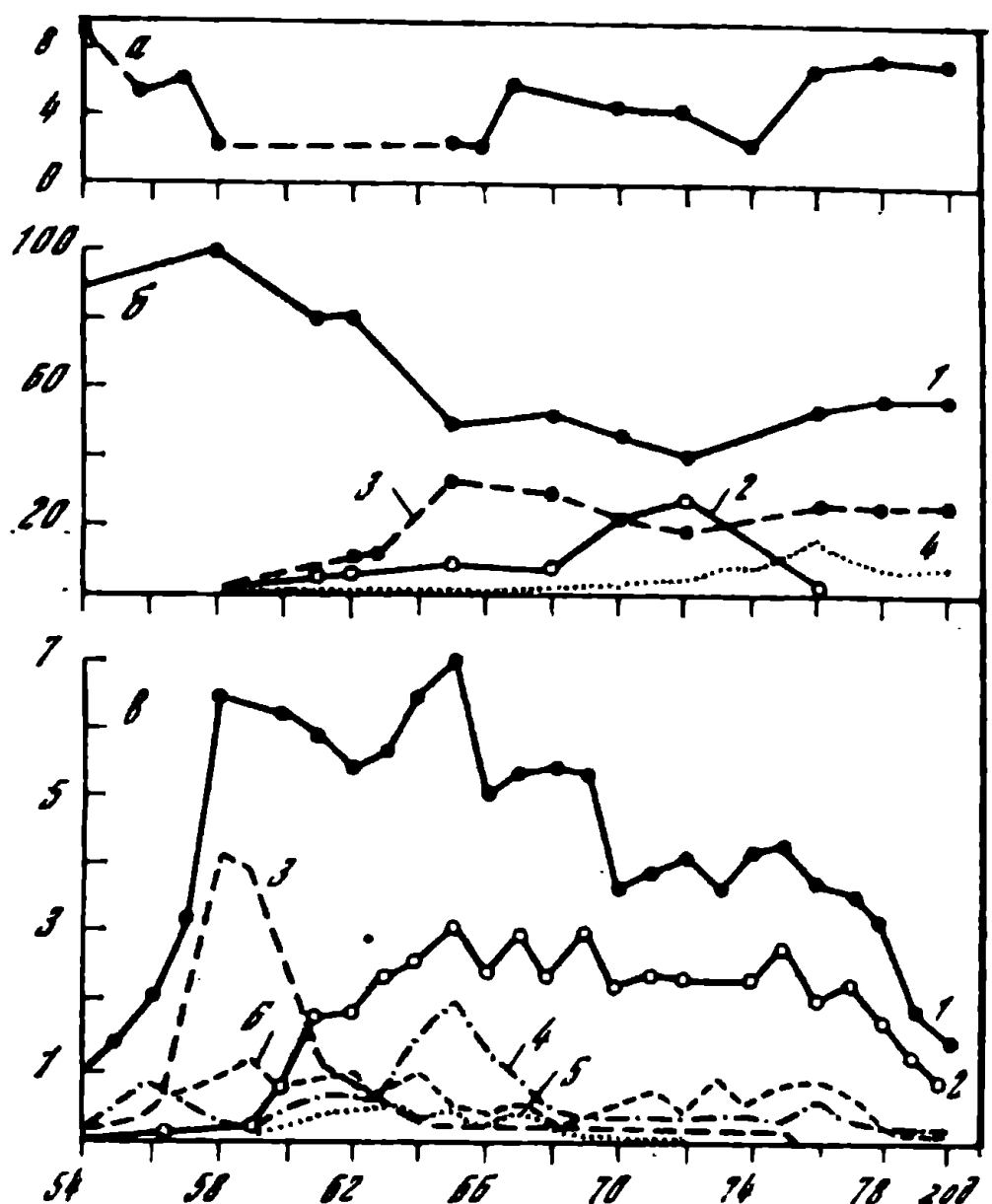
Во второй период (1960—1965 гг.), наряду со снижением доли хищников в промысле, доминируют мирные рыбы — бентофаги (лещ, плотва). В 1965 г. промысел достигает максимума и начинается постепенный спад. К концу периода в основном закончился процесс формирования ихтиофауны, стабилизировался видовой состав, выделились основные промысловые виды (лещ, плотва, щука, окунь, судак и др.). Начиная с 1966 г. начался третий период — неустойчивого равновесия. Происходят изменения соотношения видов, численности и распределения рыб, т. е. наблюдаются динамические процессы развития ихтиофауны на фоне все более снижающейся рыбопродуктивности: в 1980 г. уловы рыбы были ниже максимальных в 4,5 раза. Более 50% годового улова приходится на ле-

Рис. 3. Многолетняя динамика кормовой базы и уловов рыб в Камском водохранилище

а — продукция бентоса;  
б — питание леща: 1 — хирономиды; 2 — зоопланктон; 3 — детрит, древесные и растительные остатки; 4 — моллюски;

в — уловы рыб по данным промышленной статистики: 1 — общие уловы, 2 — лещ; 3 — щука; 4 — плотва; 5 — судак; 6 — мелочь третьей группы.

По оси ординат:  
а — бентос, г/м<sup>2</sup>;  
б — питание леща, % по весу;  
в — уловы рыб, тыс. ц; по оси абсцисс — годы



ща (рис 3, в). Все более возрастает численность планктофага чехони. Появился новый компонент ихтиофауны (вселенец из Волги) тюлька. Рост рыб большинства видов замедлился по сравнению с первыми годами, однако сохраняется на достаточно высоком уровне.

Основу питания рыб во втором и третьем периодах составляли личинки хирономид, доля которых значительно сократилась (до 37—62%). Это отрицательно сказалось на темпе роста рыб. В рационе основной промысловой рыбы — леща — личинки хирономид заменяются планктонными ракообразными: увеличивается доля малопродуктивных кормов — детрита, отмершей растительности, древесных остатков (рис. 3, б).

Высокой пищевой пластичностью и эврифагией обладает плотва. В пище насчитывается 59 видов беспозвоночных, водоросли, высшая водная растительность. В питании хищников по-прежнему доминируют малоценные рыбы — окунь, ерш, плотва, язь, составляющие 78—95% веса пищи.

Ихтиофауна Воткинского водохранилища в основном аналогична Камскому, но имеются некоторые отличия в соотношении численности основных промысловых видов и распределении рыб. Более благоприятным для рыбного хозяйства здесь является уровень режим.

Оценивая звенья пищевой цепи камских водохранилищ, следует отметить, что в целом они могут обеспечивать более высокую продуктивность водоемов, особенно по заливам и краевым плёсам. Это мешают неблагоприятный уровеньный (непостоянство сроков



наполнения до отметок НПГ весной, изменчивость величины летне-осенней сработки, интенсивная сработка зимой) и гидрохимический режимы.

Своеобразный уровенный режим, степень зарастания, загрязнение отходами промышленности и лесосплава определяют динамику паразитофауны и заболеваемость рыб. По исследованиям Г. Ф. Костарева [3], фауна паразитов водохранилища очень разнообразна — 170 видов, относящихся к 11 систематическим группам и 8 зоогеографическим таксонам.

В заключение следует отметить, что в динамике экологических условий наблюдается сезонный и годовой ход. Однако в дальнейшем следует ожидать существенных изменений. В Камском каскаде они будут определяться наполнением до проектной отметки Нижнекамского водохранилища, вводом в эксплуатацию Новопермской ГРЭС мощностью 4800 тыс. кВт в районе Добрянки на Камском водохранилище (объем сброса подогретых вод 142 м<sup>3</sup>/с). Поэтому для водохранилищ Камского каскада, как и для большинства искусственных водоемов, не следует ожидать стабилизации экологических условий в процессе их формирования. Это, по-видимому, характерная черта водохранилищ, в которых в отличие от озер не может быть «константных» условий. Отсюда необходимость при оценке современных условий и особенно условий на перспективу составлять варианты прогнозы на основе учета основных абиотических факторов. В этом направлении и работает коллектив ученых, объединивший свои усилия в рамках комплексной целевой программы «Кама».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Девяткова Т. П., Безматерных З. В. К вопросу об определении среднемесячных расходов воды на водохранилищах.— В кн.: Анализ и прогноз метеорологических элементов и речного стока: Вопросы охраны среды. Пермь, 1979, с. 129—134.
2. Дзюбан А. Н. Деструкция органического вещества в донных отложениях водохранилищ Волги и Камы.— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1977, № 36, с. 33—37.
3. Костарев Г. Ф. Фаунистический обзор паразитов рыб бассейна Камы. Пермь, 1974. 33 с. Рук. деп. в ВИНТИ, 1048—75.
4. Костарев Г. Ф. Влияние загрязнения на динамику ихтиопаразитофауны камских водохранилищ.— В кн.: Биологические ресурсы водоемов Западного Урала. Пермь, 1980, с. 147—153.
5. Картунова Т. А., Антонова Е. Л. Продукция зоопланктона мелководной зоны Камского водохранилища и ее использование молодью рыб.— В кн.: Тез. докл. IV съезда ВГБО. Киев: Наук. думка, 1981, ч. 4, с. 32—33.
6. Ладыгин В. К., Разорвин И. В. Мелиорация в Прикамье. Пермь, 1976. 176 с.
7. Матарзин Ю. М., Мацкевич И. К. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ.— В кн.: Вопросы формирования водохранилищ и их влияние на природу и хозяйство. Пермь, 1970, с. 27—45.
8. Мордухай-Болтозской Ф. Д. Бентос крупных водохранилищ на Волге. В кн.: Тез. докл. I конф. по изучению водоемов бассейна Волги. Тольятти, 1968, с. 147—149.
9. Муравейский С. Д. О некоторых важных положениях биогидрологии.— В кн.: Реки и озера. М., 1960, с. 75—90.
10. Серкина Р. А. Сезонная динамика зоопланктона Камского водохранилища.— Учен. зап. Перм. ун-та, 1971, вып. 2, № 261, с. 126—136.



11. Соловьева М. С., Зиновьев Е. А. Особенности формирования ихтиофауны и перспективы развития рыбного промысла в Камском водохранилище. — Учен. зап. Перм. ун-та, 1975, вып. 1, № 338, с. 3—8.
12. Третьякова С. А. Состояние фитопланктона Камского водохранилища весной и летом 1980 г. — В кн.: Тез. докл. Конф. молодых ученых и спец. «Человек и среда». Пермь, с. 32—34.
13. Уломский С. М. Материалы по формированию планктона Камского водохранилища (1955—1959 гг.) — Тр. Уральск. отд-ния ГосНИОРХ, 1961, т. 4, с. 105—130.
14. Шамарина А. Г., Казанцева Н. А., Завгородняя Н. Ф., Балков Ю. М. Роль фауны водоемов Пермской области в распространении заболеваемости населения дифиллоботриозом и описторхозом. — В кн.: Биологические ресурсы водоемов Западного Урала. Пермь, 1980, с. 145—147.

УДК 556 551.4/5

## АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ КРУГОВОРОТА ВЕЩЕСТВ В ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Н. В. Буторин, А. А. Былинкина, Н. А. Зиминова, Н. А. Трифонова

Интенсивность круговорота веществ в значительной мере зависит от гидрологических и гидрохимических факторов. За последнее время при изучении последних получены новые данные.

Антропогенные сдвиги биологических характеристик водоемов происходят на фоне их естественных колебаний, обусловленных многолетней цикличностью природных, прежде всего климатических, факторов. В лимнологических обобщениях последних лет это обстоятельство, как правило, учитывается [1, 11, 18]. В практике изучения волжских водохранилищ анализу цикличности гидролого-климатических факторов не уделялось должного внимания. В связи с этим представляют интерес результаты исследования многолетних изменений составляющих водного баланса Рыбинского водохранилища, проведенные в ИБВВ АН СССР [13]. Период нормальной эксплуатации водохранилища (1948—1976 гг.) подразделяется на две фазы водности — многоводную (1948—1962 гг.) и маловодную (1963—1976 гг.), отчетливо прослеживаемые на интегральных кривых аномалий приходной и расходной частей баланса (рис. 1). Многолетний ход коэффициента условного водообмена, рассчитанного по формуле В. Н. Штефана [16], в Рыбинском водохранилище, осуществляющем годовое регулирование стока, соответствует кривой изменения величины годового притока. В многоводную фазу (1948—1962 гг.) средний коэффициент условного водообмена равнялся 2,1 (время водообмена 5,8 мес.), в маловодную фазу (1963—1976 гг.) коэффициент водообмена снижается до 1,6, а время водообмена возрастает до 7,3 мес.

Следует отметить успехи, достигнутые в изучении процесса водообновления в водохранилищах каскада. В Московском университете разработана методика расчета степени и времени обновления воды и ориентировочного определения генетического состава вод, а также содержания вод, поступающих в водоемы с частных водосборов [17].

Степень обновления воды в долинных водохранилищах волжского каскада равна в разные гидрологические сезоны 70—98%, в водохранилищах, имеющих большие озеровидные плёсы (Шекснинское, Рыбинское), — 30—50%. В Ивановском, Угличском, Шекснинском, Куйбышевском водохранилищах наиболее интенсивное водообновление происходит весной. Зимой в большинстве водохранилищ обновление воды значительнее, чем летом и осенью. Интенсивность водообновления определяет время полного выноса из водохранилища вод, поступивших в различные гидрологические сезоны (табл. 1). Быстрее всего вытесняются из водохранилища воды, поступившие в них зимой. Весенние воды задерживаются в водоемах на более длительные сроки. Самыми длительными сроками полной сменяемости вод характеризуются Рыбинское и Шекснинское водохранилища, в которых полная сменяемость вод происходит соответственно за 2—2,5 и 3—3,5 года. Разработанная методика позволяет определить наличие в водохранилищах вод предшествующих гидрологических сезонов и их процентное соотношение, а также содержание вод, поступивших из лежащих выше водохранилищ каскада и частных водосборов (рис. 1). Эти исследования открывают новые возможности в изучении взаимодействия компонентов системы «водосбор — водоем» и могут быть использованы при прогнозах как продуктивности, так и качества воды в водохранилищах.

Другим важным фактором, влияющим на функционирование экосистем водоемов, является внутренний водообмен. Первая количественная оценка внутреннего водообмена дана В. А. Знаменским [8] на Волгоградском водохранилище. За показатель внутреннего водообмена при этом были приняты локальные изменения объема водной массы, которые независимо от вызывающих их причин могут быть зафиксированы путем измерения уровня водной поверхности в различных частях водоема. Причинами, определяющими внутренний водообмен в таком толковании, являются транзитный перенос воды, определяемый внешним водообменом, и разнонаправленное перемещение водных масс внутри водоема, вызываемое неравномерным режимом работы замыкающих гидроузлов и действием ветра. Для Волгоградского водохранилища установлено, что объемы водных масс, участвующих во внутреннем водообмене, соизмеримы с объемом транзитного переноса. Изменение объема в результате развития длинных волн, сгонов и нагонов составляет от 0,001 до 0,5 объема водной массы отдельных участков.

Другой подход к оценке интенсивности внутреннего водообмена разработан в ИБВВ АН СССР [14]. Использование математической модели для расчетов установившихся течений в мелководных водоемах на основе теории полных потоков позволяет учесть интегральный перенос вод через любой произвольно взятый участок водохранилища. Модель учитывает ветер, рельеф дна и приходно-расходные части водного баланса и позволяет рассчитывать установившуюся интегральную циркуляцию при неизменном объеме как отдельных участков, так и всего водоема. Применение этого

Таблица 1

**Время (мес.) полного вымывания из водохранилищ Волжско-Камского каскада вод, поступивших в эти водоемы в течение различных гидрологических сезонов [17]**

Водохранилище	Весна	Лето и осень	Зима	Водохранилище	Весна	Лето и осень	Зима
Иваньковское	9	7	5	Камское	10	8	4
Угличское	10	7	3	Воткинское	9	9	7
Рыбинское	27	27	24	Куйбышевское	10	7	6
Шекснинское	43	42	39	Волгоградское	6	6	4
Горьковское	10	8	7				

метода для Рыбинского водохранилища показало, что наиболее проточными в подледный период являются речные плёсы и прилегающие к ним участки Главного плёса. Время смены вод в различных участках Главного плёса колеблется от 8 до 16 суток. В безледный период интенсивность водообмена большинства участков Главного плёса определяется ветровым переносом, время смены вод составляет в среднем от 3 до 13 суток. Отмечается увеличение интенсивности водообмена к осени в связи с уменьшением объема участков и усилением ветровой активности. Для участков, прилегающих к речным плёсам, проявляется зависимость интенсивности водообмена от объема притока в водохранилище и сбросов через гидроузлы. Так, в зависимости от объема волжского стока время смены вод участка, прилегающего к Волжскому плёсу, может колебаться от 5 до 58 суток. Предложенная методика дает возможность оценить изменения интенсивности внутреннего водообмена в различных частях водохранилища при территориальном перераспределении стока.

Приведенные показатели внутреннего водообмена основаны на расчетах осредненной за многолетний период преобладающей интегральной циркуляции вод водохранилища. Расчетные схемы свидетельствуют, что в мае в водохранилище формируются две циркуляционные зоны, локализованные в западной и восточной частях Главного плёса. С уменьшением притока воды в водохранилище и сбросов через гидроузел в июне в центральной части плёса формируется третье циркуляционное образование. Такая система, состоящая из трех крупных вихревых зон, сохраняется на протяжении всего безледного периода. Отмеченные особенности динамики вод в водохранилище характерны как для многоводного, так и для маловодного года. Только в мае многоводного года происходит полный размыв циркуляционных образований и результирующий перенос направлен от речных плёсов водохранилища к сбросному участку. Результаты расчетов подтверждаются данными натурных измерений параметров течений и данными по распределению температуры воды: в циркуляционных зонах восточной, западной и центральной частей плёса формируются весной три ядра холодных вод.

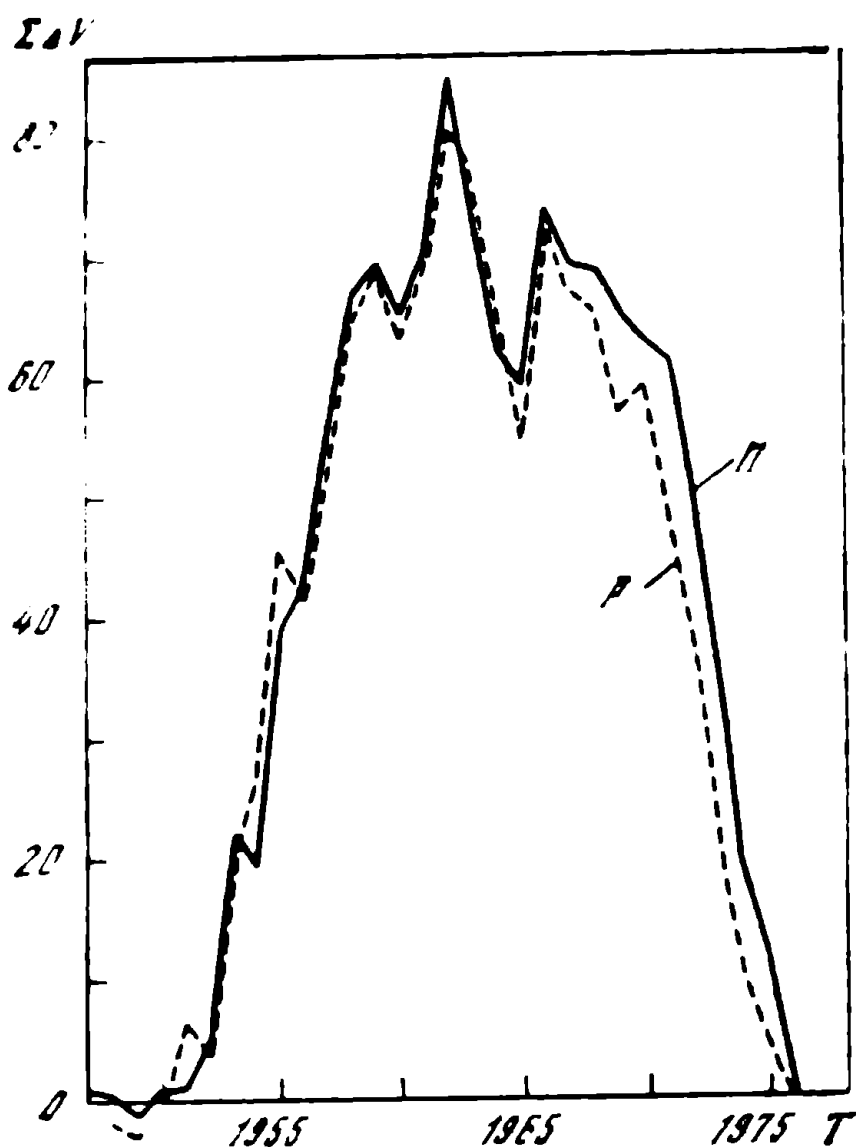


Рис. 1. Интегральные кривые аномалий приходной (П) и расходной (Р) частей водного баланса Рыбинского водохранилища по: [13]

По оси ординат — объем, км<sup>3</sup>, по оси абсцисс — годы

температура которых на 3—4° ниже, чем речных плёсов.

Для выяснения структуры течений в волжских водохранилищах успешно используются материалы длительных непрерывных наблюдений над течениями, обработанные методами математической статистики [10]. С их помощью установлено, что в озерной части Иваньковского водохранилища результирующий среднесуточный перенос вод от поверхности до дна направлен преимущественно к плотине. Только при устойчивых ветрах восточной чет-

верти в поверхностном горизонте суммарный перенос вод может иметь противоположное направление. Среднесуточные скорости течения, характеризующие перенос вод в Иваньковском водохранилище, как и в Рыбинском, значительно меньше мгновенных скоростей. Основная часть энергии пульсаций скорости приходится на низкие частоты с периодом более суток. Это связано с тем, что наибольший вклад в отклонения от средних вносят изменения скорости, вызванные вихревыми крупномасштабными образованиями, обусловленными сменой синоптических ситуаций над водоемом. Средний размер таких образований на Иваньковском водохранилище составляет 300—500 м по параллели и 100—300 м по меридиану, продолжительность существования 10—12 ч. При штормовых ситуациях размеры вихревых образований могут быть соизмеримы с линейными размерами самого водохранилища.

Особенности динамики вод водохранилищ оказывают большое влияние на такой важнейший экологический фактор, как температура воды и донных отложений.

Анализ накопленных данных по температуре воды Рыбинского водохранилища показал, что в многолетнем ходе изменений температуры воды прослеживаются фазы отрицательных (1949—1961 гг.) и положительных (1962—1974) отклонений температуры от нормы. Временные границы фаз весьма близки к границам фаз водности.

Многолетняя периодичность в отклонениях среднемесячных температур воды от нормы подтверждается ходом интегральных кривых и наиболее отчетливо прослеживается в первой половине лета

(рис. 2). Во второй половине лета абсолютные значения отклонений от нормы уменьшаются, но тенденция сохраняется. Периодичность в многолетних колебаниях температуры воды определяется крупномасштабными процессами атмосферной циркуляции: отрицательные отклонения температуры воды от нормы наблюдаются в периоды преобладающего меридионального переноса воздушных масс, положительные связаны с восточным переносом (рис. 2).

Судя по результатам детального анализа многолетних колебаний температуры воды Иваньковского водохранилища, в маловодный период 1963—1973 гг. вегетационный сезон характеризовался более высокими по сравнению с нормой среднедекадными температурами воды, большей суммой среднемесячных температур за сезон, большим количеством дней с температурой воды выше 20°.

Таким образом, можно считать установленным, что наличие внутривековых циклов тепла и увлажнения, характерных для Северо-Запада ЕТС [15], свойственно и бассейну Верхней Волги. Это обстоятельство необходимо учитывать при выяснении влияния антропогенных и нерегулируемых природных факторов на многолетнюю изменчивость гидробиологических показателей.

Важнейшим абиотическим звеном круговорота веществ в водоемах, в значительной степени определяющим химический состав воды и тесно связанным с динамикой вод, является аккумуляция вещества в донных отложениях. За последние годы выполнены большие работы по изучению грунтового комплекса волжских водохранилищ. На всех верхневолжских водохранилищах проведены повторные съемки донных отложений с большим числом станций, позволившие рассчитать средние мощности, объем и вес отложений, накопившихся в водоемах. Результаты свидетельствуют о стабилизации седиментации в водохранилищах Верхней Волги. Средняя скорость осадконакопления 1,7—2,5 мм/год и ее величина за последнее десятилетие не изменилась по сравнению с наблюдавшейся в 60-е годы. Сохранилась дифференциация в скоростях осадконакопления по отдельным участкам и глубинам водохранилища. В Иваньковском водохранилище средняя высота слоя отложений колеблется от 0 до 50 см, в Угличском от 0 до 30 см, в Рыбинском от 0 до 108 см. Годовое уменьшение объема водохранилищ за счет осадконакопления не превышает 0,1 %.

Съемки подтвердили закономерности распределения основных типов донных отложений в Иваньковском и Угличском водохранилищах, описанные ранее [3]. В Рыбинском водохранилище продолжается сокращение площадей, занимаемых затопленными почвами, торфянистыми илами, которые замещаются соответственно песчанисто-илистыми отложениями и переходными илами. Однако темп этой перестройки состава грунтового комплекса за последнее десятилетие заметно снизился по сравнению с 60-ми годами [6].

Помимо традиционных исследований осадконакопления и формирования грунтового комплекса водохранилищ Волги, начаты работы по количественной оценке значения донных отложений как

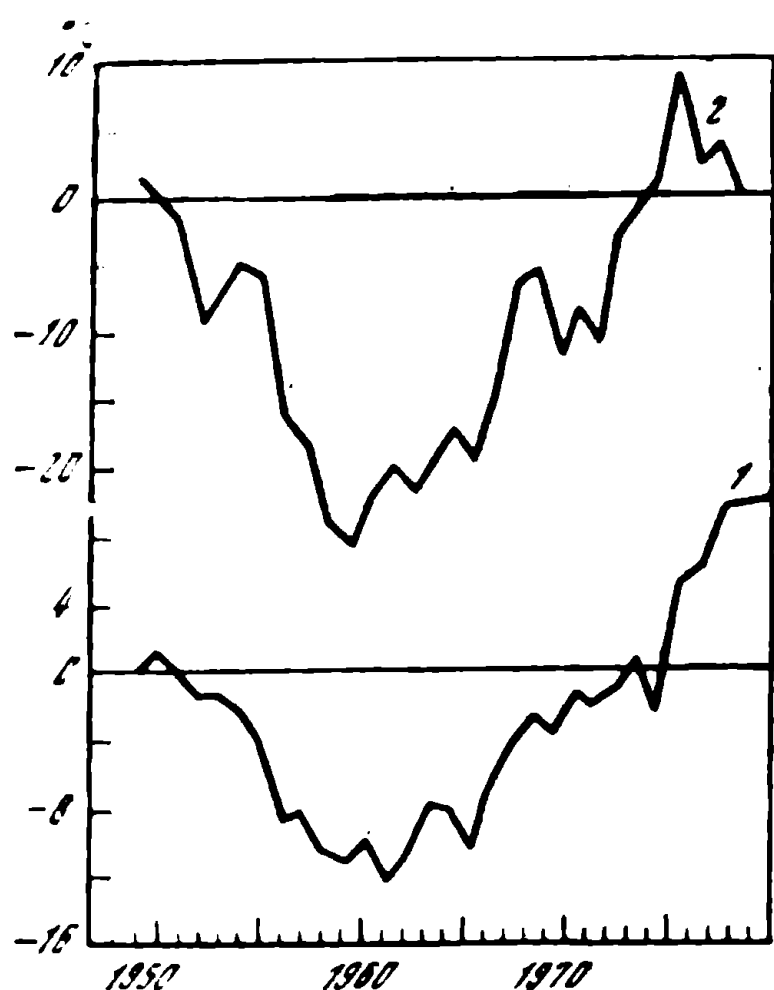


Рис. 2 Интегральные кривые отклонений от нормы среднемесячной температуры воды Рыбинского водохранилища за май (1) и сумм среднемесячных температур за май — октябрь (2)

аккумулятора биогенных элементов [7]. Скорость аккумуляции биогенов в донных отложениях в значительной мере определяет концентрацию биогенов в водной массе и является важным фактором биотического круговорота. Это обстоятельство нашло отражение в существующих моделях бюджета биогенов, которые содержат коэффициент седиментации.

В связи с трудностями непосредственного определения коэффициен-

та седиментации было предложено заменить его коэффициентом удержания, который функционально с ним связан и оценивается по балансу как разность между приходом и расходом элемента, отнесенная к его суммарному приходу [20]. В зарубежной литературе предложен ряд эмпирических зависимостей коэффициента удержания фосфора от водно-балансовых характеристик. Однако в большинстве своем эти зависимости построены на ограниченном фактическом материале, отражающем свойства водоемов определенного региона. Непосредственное определение скорости аккумуляции биогенов в отложениях связано с необходимостью датировки отложений, накапливающихся за определенное время.

Полученные в ИБВВ данные о величине осадконакопления в верхневолжских водохранилищах и массовые определения содержания и распределения биогенных элементов в донных отложениях позволили рассчитать их запас, среднюю годовую скорость аккумуляции в отложениях, коэффициенты седиментации и удержания биогенов в верхневолжских водохранилищах (табл. 2).

Ориентировочная оценка аккумуляции фосфора как основного евтрофирующего элемента в других водохранилищах Волжско-Камского каскада (табл. 3) проведена по эмпирическим формулам Диллона и Кирчнера [19] и Островского [21].

На Средней Волге вступило в строй Чебоксарское водохранилище. Гидрохимические исследования на этом участке Волги, проведенные до зарегулирования, а также опыт изучения абиотических факторов в волжских водохранилищах позволяют высказать некоторые предположения о качестве воды и режиме биогенов как основе продуктивности водоема.

Химический состав и физические свойства воды Чебоксарского водохранилища будут определяться процессом смешения вод Волги и Оки в отношении 1 : 0,7 соответственно их среднегодовым рас-

Таблица 2

**Характеристика процесса аккумуляции биогенов  
в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги**

Характеристика	Иваньковское			Угличское			Рыбинское		
	С	N	P	С	N	P	С	N	P
Скорость аккумуляции, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$	32	3,4	1,2	19	2,3	1,0	48	3,5	0,7
Коэффициент седиментации, $\text{год}^{-1}$	0,7	0,7	4,3	0,3	0,3	3,0	0,7	0,5	3,0
Коэффициент удержания, %	8	8	35	3	3	25	27	21	61

Таблица 3

**Водная нагрузка и коэффициент аккумуляции фосфора  
в водохранилищах Волжско-Камского каскада**

Группа	Водохранилище	Коэффициент водообмена, $\text{год}^{-1}$	Водная нагрузка, $\text{м} \cdot \text{год}^{-1}$	Доля от поступления $P_{\text{общ}}$
I	Шекснинское	0,84	3,3	0,73
	Верхневолжское	1,18	5,3	0,68
	Рыбинское	1,34	7,5	0,64
	Камское	4,3	27,6	0,32
	Иваньковское	9,0	31,0	0,30
	Нижекамское	6,9	33,6	0,28
II	Горьковское	6,11	33,5	0,28
	Куйбышевское	4,09	36,7	0,26
	Воткинское	5,7	47,7	0,22
	Чебоксарское	8,09	49,4	0,21
III	Угличское	11,3	56,4	0,19
	Волгоградское	7,5	76,0	0,15
	Саратовское	18,6	130,7	0,09

ходам. Это соотношение значительно меняется в течение года в силу неравномерного распределения годового стока Оки, в котором на долю половодья приходится более 70%. В результате весной сток Оки может существенно превышать волжский. По содержанию биогенных элементов сток Оки значительно богаче волжского, что обусловлено особенностями его формирования и поступлением большого объема сточных вод главным образом с водами р. Москвы. Вследствие этого роль окских вод велика и в период летней межени.



С водами Оки при расходе  $510 \text{ м}^3/\text{с}$  и содержании  $200 \text{ мкг Р/л}$  в водохранилище поступает примерно  $8,8 \text{ т}$  фосфора в сутки, тогда как с волжскими водами только около  $4 \text{ т}$  (расход  $725 \text{ м}^3/\text{с}$ , содержание  $\text{Р } 60 \text{ мкг/л}$ ).

Обычно наблюдаемая в первые годы существования водохранилищ интенсификация биопроцессов, связанная с поступлением биогенных элементов из затопленной растительности и почвогрунтов в Чебоксарском водохранилище, будет усугубляться высоким фоном биогенов. Существовавшая до зарегулирования неоднородность химического состава вод сохранится и в водохранилище: воды с повышенной минерализацией и высоким содержанием биогенов останутся прижаты к правому берегу на протяжении всей речной части водохранилища. До сооружения Чебоксарской плотины участок Волги от Горького до Васильсурска отличался наибольшей продуктивностью и загрязненностью, причем окский поток по биомассе фитопланктона был в 2—4 раза богаче волжского и разнообразнее по составу [9].

В условиях подпора развитие водорослей в этом районе усилится. Особо тяжелые условия создадутся в приустьевых участках малых рек и ручьев, через которые сбрасываются сточные воды предприятий Горького. Здесь будут происходить накопление донных отложений, развитие анаэробных процессов.

После стабилизации гидрохимического режима и сбалансирования продукционно-деструкционных процессов качество воды в водохранилищах обычно существенно улучшается по сравнению с водами речного стока: снижается содержание взвешенных веществ и аллохтонной органики, в основном ее окрашенной части, а следовательно, и цветности происходит бактериальное самоочищение. Однако относительная мелководность волжских водохранилищ, большая акватория и малый полезный объем в большинстве из них способствуют взмучиванию донных отложений и снижению эффекта очистки. При сильном ветровом волнении со дна водохранилища поднимаются сотни тонн иловых отложений и, как показали наблюдения, увеличивается не только количество взвесей, но и происходит обогащение толщи воды биогенными элементами (фосфором, железом). Следует указать, что находящаяся во взвешенном состоянии тонкодисперсная фракция ила в отношении фосфора обладает буферными свойствами. Опыты по взаимодействию тонкодисперсной фракции сырого ила с придонной водой показывают, что при низкой концентрации в воде фосфатов (менее  $30 \text{ мкг/л}$ ) происходит их десорбция в воду, а при высоком содержании — сорбция фосфат-ионов частицами ила [12].

Наиболее отчетливо влияние мелководности на режим фосфора и снижение отстойного эффекта выражено в Шекснинском водохранилище, большую часть которого по площади и объему (примерно 80%) составляет мелководное Белое озеро, отличающееся простой конфигурацией и малой изрезанностью берегов. Морфометрические особенности водоема способствуют увеличению гидродинамической активности водных масс даже в условиях замед-

ленного водообмена и повышают зависимость содержания ряда компонентов от метеорологических условий. Так, содержание взвешенных веществ в зависимости от направления и силы ветра может различаться на разных участках водохранилища на порядок величин. Наблюдается прямая зависимость концентрации общего фосфора и взвешенных веществ. Для водохранилища характерно необычное для водоемов лесной зоны высокое содержание общего фосфора (в среднем 60 мкг/л) и низкие концентрации общего азота (в среднем 0,6 мг N/л). Количество растворенных фосфатов обычно менее 10 мкг P/л.

Путем балансовых расчетов показано, что в этом водоеме общая нагрузка фосфора в 2,5 раза превышает поступление его с водосбора, что свидетельствует о повторном включении фосфора донных отложений в процессы круговорота в результате интенсивного взмучивания [4].

Влияние городских сточных вод на содержание биогенов в волжских водохранилищах и Волге в целом ориентировочно оценивалось на основе физиологической нормы сброса N и P от одного жителя и данных о численности населения крупных прибрежных городов, расположенных в бассейне Волги и ее основных притоков. Поэтому актуальны исследования, связанные с необходимостью извлечения биогенных элементов из городских сточных вод.

Влияние техногенного фактора наиболее отчетливо проявляется в камских водохранилищах. С ростом промышленности и увеличением сброса сточных вод произошло увеличение общей минерализации и изменение соотношения макрокомпонентов солевого состава. Резко возросло содержание хлоридов и щелочных металлов: в зимний период хлориды становятся преобладающим анионом, относительное содержание щелочных металлов приближается к содержанию кальция, а их абсолютное количество даже превышает его. Эти изменения химического состава камских вод являются основной причиной увеличения стока хлоридов и натрия в Каспийском море, который за последние десятилетия возрос в 3—5 раз.

Влияние зарегулирования стока на кислородный режим в вегетационный период проявляется в большей по сравнению с речным стоком недонасыщенности воды растворенным кислородом, что обусловлено главным образом свойственным водохранилищам Волжского каскада преобладанием окислительных процессов над продукционными. Однако, несмотря на замедленный водообмен, под воздействием ветрового волнения и стоковых течений происходит активная аэрация воды, компенсирующая расход кислорода на окислительные процессы. Насыщенность воды кислородом в основной водной массе составляет 75—90%, т. е. остается на уровне, благоприятном для существования и развития водных организмов. Этим же объясняется малое различие в содержании кислорода по вертикали, кислородная стратификация в волжских водохранилищах — явление редкое и кратковременное. В придонных слоях кислород присутствует в течение почти всего безледного периода, что является одним из ведущих факторов направленности и ин-

тенсивности процессов превращения веществ в донных отложениях. Максимальное выделение фосфатов и аммонийного азота со дна водоема происходит в анаэробных условиях, когда наряду с бактериальным распадом имеют место восстановительные процессы, способствующие переходу соединений азота и фосфора в растворенное состояние. Балансовые расчеты показывают, что в верхневолжских водохранилищах выделение биогенных элементов из донных отложений не превышает нескольких процентов от суммарного годового поступления. Таким образом, благодаря совокупности абиотических факторов, свойственных волжским водохранилищам, роль донных осадков в снабжении биогенными элементами водной толщи относительно невелика.

В зимний период — критический как для организмов, так и в отношении качества воды — благоприятные изменения кислородного режима под влиянием зарегулирования стока наблюдаются в нижних бьефах водохранилищ длительного регулирования и водохранилищах, замыкающих каскад. Так, ниже Рыбинской ГЭС, на речном участке Горьковского водохранилища, несмотря на значительное снижение окислительной мощности в результате сброса сточных вод крупных промышленных центров (Рыбинска, Ярославля и др.) не отмечено резкого дефицита кислорода, что связано с поступлением из Рыбинского водохранилища трансформированных вод, обедненных легкоокисляемым органическим веществом и насыщенных кислородом в период осенней циркуляции. На Нижней Волге, в Саратовском и Волгоградском водохранилищах, основной волжский поток составляют трансформированные летне-осенние воды Куйбышевского водохранилища, значительно обогащенные кислородом. Однако на мелководных пойменных участках, в заливах и приустьевых районах малых рек содержание кислорода зимой может снижаться до заморных величин.

При рассмотрении изменений кислородного режима под влиянием антропогенных факторов следует отметить положительное воздействие тепловых электростанций, фактически выполняющих роль принудительных аэраторов. Исследования на Иваньковском водохранилище в районе Конаковской ГРЭС показали, что зимой при большом дефиците кислорода в исходной воде его концентрация в сбросных водах ГРЭС увеличивается до 4—5 мг/л, а ниже отводного канала и водослива насыщение достигает 88% и более.

В результате в русловой части Иваньковского плёса создаются благоприятные кислородные условия в течение всего зимнего периода. Есть основания полагать, что по этой же причине произошло улучшение зимнего кислородного режима в Угличском водохранилище и в Волжском плёсе Рыбинского. После ввода в строй Конаковской ГРЭС зимой в этих водоемах не наблюдается резкого дефицита кислорода.

Влияние крупнейшей Костромской ТЭС, по выработке электроэнергии в 2 раза превосходящей Конаковскую ГРЭС, по-видимому, менее значительно вследствие существенного превышения расходов реки над количеством воды, потребляемой ТЭС. Однако наличие

зимой в районе Шачинского залива незамерзающего участка, без сомнения, способствует обогащению волжской воды кислородом.

В качестве примера результирующего взаимовлияния абиотических факторов и биопроцессов в водохранилищах Волжского каскада целесообразно рассмотреть изменение стока общего азота и общего фосфора в Каспийское море на протяжении ряда лет.

Анализ больших материалов, опубликованных Л. А. Барсуковой [2] показал, что за период наблюдений (1952—1969 гг.) сток фосфора колебался от 19,0 до 41,7 тыс. т, сток азота от 237,6 до 446,4 тыс. т в год. Тесной корреляционной связи между стоком биогенов и водным стоком не обнаружено, что, по-видимому, обусловлено особенностями снеготаяния в отдельные годы и различиями метеорологических условий на разных реках бассейна. Сравнение биогенного стока в годы, близкие по водности, свидетельствуют об отсутствии достоверного увеличения выноса азота и фосфора с площади водосбора, обусловленным интенсификацией сельского хозяйства и поступлением со сточными водами.

Представленные материалы свидетельствуют о том, что роль абиотических факторов в круговороте веществ волжских водохранилищ весьма существенна. Они определяют аккумулятивную способность водохранилищ и в соответствии с ней интенсивность круговорота биогенных элементов, накопление их в донных отложениях, особенности продукционных и деструкционных процессов и газового режима. Дальнейшее изучение абиотических факторов и их роль в круговороте веществ является весьма актуальной задачей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980. 174 с.
2. Барсукова Л. А. Многолетний биогенный сток р. Волги, у г. Астрахани.— Тр. Касп. отд-ния ВНИОРХ, 1971, т. 26, с. 42—53.
3. Буторин Н. В., Зиминова Н. А., Курдин В. П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л., 1975. 150 с.
4. Былинкина А. А., Трифонова Н. А., Кудрявцева Н. А., Калинина Л. А. Гидрохимический режим Шекснинского водохранилища и водоемов Северодвинской системы.— В кн.: Экологические исследования водоемов Волго-Балтийской и Северодвинской водных систем. Л., 1981.
5. Драчев С. М., Былинкина А. А., Трифонова Н. А., Кудрявцева Н. А. Антропогенные факторы формирования химического состава и содержания биогенных элементов в водохранилищах Волги.— В кн.: Тез. докл. 2-й конф. по изуч. водоемов бассейна Волги. Борок, 1974, с. 11—17.
6. Законнов В. В. Распределение донных отложений в Рыбинском водохранилище.— Информ. бюл. ИБВВ, 1981, № 51, с. 68—72.
7. Ziminova N. A., Zakonnov V. V. [Зиминова Н. А., Законнов В. В.] Nutrient accumulation in the bottom deposits of the Upper Volga reservoirs.— Verh. Internat. Ver. Limnol., 1981, vol. 21.
8. Знаменский В. А. Влияние гидролого-динамических факторов на улучшение содержания химических веществ в водохранилище.— Тр. ГГИ, 1977, вып. 246, с. 58—77.
9. Кузьмин Г. В. Современное состояние фитопланктона Волги.— В кн.: Тез. докл. 2-й конф. по изуч. водоемов бассейна Волги. Борок, 1974, с. 85—90.
10. Литвинов А. С. Структура течений в верхневолжских водохранилищах —

- В кн.: Гидрологические и гидрохимические аспекты изучения водохранилищ. Борок, 1977, с. 18—38.
11. Озеро Кубенское. Л., 1977. 305 с.
  12. Трифонова Н. А., Былинкина А. А. О влиянии донных отложений на содержание биогенных элементов в воде.— В кн.: Гидрологические и гидрохимические аспекты изучения водохранилищ. Борок, 1977, с. 74—91.
  13. Фомичев И. Ф., Литвинов А. С. Многолетние изменения составляющих водного баланса Рыбинского водохранилища и их влияние на водообмен и уровень.— Вод. ресурсы, 1980, № 4, с. 108—119.
  14. Фомичев И. Ф., Литвинов А. С. О внутреннем водообмене в Рыбинском водохранилище.— В кн.: Экологические исследования водоемов Волго-Балтийской и Северодвинской водных систем. Л., 1981.
  15. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость общей увлажненности бассейна Ладожского озера.— В кн.: Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966, с. 5—57.
  16. Штефан В. Н. К расчету водообмена долинного водохранилища.— Вест. МГУ. Сер. 5. География, 1975, № 5, с. 71—75.
  17. Штефан В. Н. Водообмен водохранилищ Волжско-Камского каскада.— В кн.: Комплексные исследования водохранилищ. Л., 1980, вып. 5, с. 46—55.
  18. Эвтрофирование мезотрофного озера. Л.: Наука, 1980. 245 с.
  19. Dillon P. Y., Kirchner W. B. Reply.— Water Resour. Res., 1975, vol. 11, N 6, p. 1035—1036.
  20. Dillon P. L., Rigler F. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water.— J. Fish. Res. Board Canada, 1974, vol. 31, N 11, p. 1771—1778.
  21. Ostrofsky M. L. Modification of phosphorus retention models for use with lakes with low areal water loading.— J. Fish. Res. Board Canada, 1978, vol. 35, N 12, p. 1532—1536.

УДК 574.55(28)

## ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПРОЦЕССЕ ФОТОСИНТЕЗА В КАСКАДЕ ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

В. И. Романенко

Как и в большинстве внутриконтинентальных водоемов, в волжских водохранилищах существует два основных источника органического вещества: синтез автотрофными организмами и поступление с водосборной площади. Из автотрофных организмов основную массу органического вещества продуцирует фитопланктон и лишь в Иваньковском и Угличском водохранилищах существенная доля принадлежит высшей водной растительности. В процессе хемосинтеза аэробными и анаэробными микроорганизмами синтезируется ничтожно малое количество вещества, которое не может иметь существенного значения в общем балансе. Несколько больше органического вещества продуцируется в процессе гетеротрофной ассимиляции  $\text{CO}_2$  всеми организмами, но если с точки зрения синтеза оба эти процесса можно отнести к первичному продуцированию, то с энергетической стороны — это вторичные процессы. Очень плохо изучен фотосинтез бентосных автотрофных организмов, о доле ко-

торых в продуцировании органического вещества сказать трудно; можно лишь предположить, что она относительно невелика.

Из планктонных водорослей в волжских водохранилищах господствуют диатомовые и синезеленые, биомасса которых в среднем за вегетационный период равна 1—5 г/м<sup>3</sup> [9], встречаются эвгленовые, прогококковые, пирифитовые, золотистые. Ведущая роль в продуцировании органического вещества среди высших водных растений принадлежит: рогозу (*Typha angustifolia* L.), рдестам (*Potamogeton perfoliatus* L., *P. pectinatus* L.), хвощу (*Equisetum fluviatile* L.), маннику (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.).

Эвфотическая зона в водохранилищах Волги в среднем имеет толщину 2—3 м, но в отдельные периоды она достигает 5—7, а иногда 9 м. Ее толщина определяется прозрачностью воды. В среднем за навигационный период, по многолетним данным, прозрачность воды по диску Секки в Волге колеблется от 81 до 161 см, а эвфотическая зона равна утроенной прозрачности воды по диску Секки. Ее наименьшие величины наблюдаются в наиболее эвтрофированных участках — Чебоксарском и Иваньковском водохранилищах, наибольшие — в Саратовском, Рыбинском, что определяется содержанием взвешенных минеральных и органических частиц, косных и живых: бактерии, водоросли, зоопланктон (табл. 1).

Прозрачность — самая элементарная характеристика воды, но в то же самое время наиболее емкая и важная, так как определяет толщину слоя фотосинтеза и содержание взвесей.

При обработке многолетних данных по интенсивности фотосинтеза фитопланктона в волжских водохранилищах была вскрыта связь между прозрачностью воды по Секки и интенсивностью фотосинтеза [13], которая выражается формулой:

$$\Phi_{м2} = \Phi_{н} \cdot 0,7 \cdot 3l \cdot 1000,$$

где  $\Phi_{м2}$  — интенсивность фотосинтеза под 1 м<sup>2</sup> поверхности водоема,  $\Phi_{н}$  — интенсивность фотосинтеза в интегрированной по трофогенному слою пробе воды,  $l$  — прозрачность воды по диску Секки, 0,7 — коэффициент связи фотосинтеза с прозрачностью воды (продукция органического вещества в процессе фотосинтеза под 1 м<sup>2</sup> водоема равна интенсивности фотосинтеза в интегрированной по эвфотической зоне пробе воды, умноженной на коэффициент связи фотосинтеза и прозрачности воды и помноженной на тройную прозрачность воды по диску Секки, выраженную в метрах). Перемножив цифровые величины, получаем следующую формулу:

$$\Phi_{м2} = \Phi_{н} \cdot l \cdot 2100.$$

Следовательно, отношение продукции органического вещества в процессе фотосинтеза под 1 м<sup>2</sup> поверхности водоема к его продукции в 1 л интегрированной пробы воды есть величина константная — 2100. Отсюда следует, что анализы продукции органического вещества можно проводить на палубе судна без суточных стан-



Таблица 1

Морфометрия волжских водохранилищ и прозрачность воды по диску Секки по осредненным данным за ряд экспедиций

Водохранилище	Объем		Площадь водного зеркала		Средняя глубина, м	Прозрачность воды по диску Секки, см
	км <sup>3</sup>	% от суммы	км <sup>2</sup>	% от суммы		
Иваньковское	1,12	1,09	327	1,60	3,4	93
Угличское	1,24	1,21	249	1,22	4,8	140
Рыбинское	25,42	24,7	4 550	22,5	5,6	140
Горьковское	8,81	8,6	1 591	7,80	5,5	115
Чебоксарское	13,85	13,5	2 274	11,2	6,1	81
Куйбышевское	58,00	56,4	6 450	31,6	8,9	107
Саратовское	12,86	12,5	1 831	8,98	7,0	161
Волгоградское	31,45	30,6	3 117	15,3	10,0	139
Низовье Волги	—	—			—	102
Сумма или средняя	102,76	100	20 389	100	5	120

Примечание. Морфометрические данные приведены по Н. В. Буторину, М. А. Фортунатову [1].

ций. Кроме того, осредненные величины являются более точными, чем индивидуальные в каждом конкретном случае. Эта замечательная связь была подтверждена не только на водохранилищах Волги, но и на многих озерах, водохранилищах Кубы, Каспийском море.

Как было впервые показано Ю. И. Сорокиным [18], во всех водоемах часть водорослей испытывает постоянное или частичное световое «голодание». Из представленной схемы анализов эту величину легко рассчитать при использовании радиоактивного углерода. Частично световое голодание наблюдается уже в нижней части эвфотической зоны. В зависимости от экологических условий обитания, глубины и других факторов в волжских водохранилищах голоданию подвержены от 30 до 90% водорослей.

Отметим еще ряд особенностей фотосинтеза в волжских водохранилищах. В подавляющем большинстве случаев фитопланктон равномерно распределяется по эвфотической зоне в результате постоянного ветрового перемешивания. Во многих водохранилищах в течение вегетационного периода отмечается смена руководящих форм фитопланктона: весной и осенью чаще всего доминируют диатомовые, летом — синезеленые. Соответственно меняется и температурный оптимум фотосинтеза, который для диатомовых находится около 22°, а для синезеленых — около 26° С. Продуцирование органического вещества в ясные дни осуществляется с суточной ритмикой, в которой его максимум образуется в 10 и 15—16 ч по астрономическому времени, а в середине дня в поверхностных слоях воды наблюдается угнетение фитопланктона. В такие дни меж-



ду 10 и 12 ч дня образуется 18—20% органического вещества от дневной величины. Для каждого дня отношение продукции фитопланктона за сутки при естественном освещении к его продукции при стандартном освещении в люминостате за короткий промежуток времени (1 ч) есть величина константная для больших акваторий [15].

По химическому составу вода волжских водохранилищ относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу. В среднем по всему каскаду водохранилищ сумма ионов равна 219 мг/л, содержание карбонатов 20,6, хлоридов — 18,5, сульфатов 12,2, кальция 37,4, общего азота 1,4 и общего фосфора 0,067 мг/л и т. д. (табл. 2). По всей трассе Волги содержание отдельных элементов меняется в 3—5—10 раз. Общая закономерность состоит в том, что содержание большинства элементов постепенно возрастает от верховья к дельте. Например, количество хлоридов возрастает в 7—9 раз, сульфатов — в 5 раз, калия и натрия — почти в 8 раз, кальция — в 2 раза. Несколько по-иному ведут себя основные биогенные элементы — фосфор и азот. Наибольшие величины фосфора отмечены в наиболее евтрофированных участках Волги на трассе Чебоксарского и в Иваньковском водохранилищах — 0,105 и 0,095 мг Р/л, в других содержание его близко к средней величине 0,067. Исключение составляет лишь Верхневолжское водохранилище, где его значения наименьшие — 0,020 мг/л, т. е. фосфор распределяется по трассе в 3500 км более или менее равномерно. То же наблюдается и с общим азотом (см. табл. 2). Если исключить Верхневолжское водохранилище, которое отличается по всем показателям, то в остальных 8 водохранилищах концентрация общего азота в воде колеблется от 1,28 до 1,77 мг N/л, т. е. намного равномернее, чем другие элементы. Это свидетельствует о том, что фосфор депонируется в донных отложениях по трассе, а связанные формы азота в процессе круговорота под действием микроорганизмов разрушаются и в конечном итоге выбрасываются в свободном виде в атмосферу, хотя часть его также депонируется на некоторое время в иловых отложениях.

Исключительный интерес представляет изменение перманганатной окисляемости в каскаде, по которой можно судить о содержании органического вещества<sup>1</sup>. Несмотря на то, что в Средне- и Нижневолжских водохранилищах в процессе фотосинтеза его образуется больше, чем в Верхневолжских, тем не менее концентрация в воде убывает. Это есть результат того, что по мере продвижения воды на юг, с повышением температуры деструкционные процессы усиливаются и содержание органического вещества уменьшается примерно на 5—6 мг/л. Если принять, что за год по Волге проходит около 196 км<sup>3</sup> воды, то деструкция органического вещества лишь в результате этого процесса составит около 1 млн. т С.

---

<sup>1</sup> Согласно Б. А. Скопинцеву, А. Г. Бакулиной [17], 1 мг О перманганатной окисляемости соответствует 1 мг С органического вещества.

Таблица 2

## Химический состав воды волжских водохранилищ за вегетационный период

Водохранилище	Сумма ионов, мг/л	Карбонаты, мг С/л	Хлориды, мг Cl/л	Сульфаты, мг S/л	К+Na, мг/л	Mg, мг/л	Ca, мг/л	Общий фосфор, мг P/л	Общий азот, мг N/л	Перманганат- ная окисляе- мость, мг O/л
Верхневолжское	122	14,7	4,40	3,59	2,63	3,88	25,2	0,020	0,48	—
Иваньковское	205	24,6	6,52	7,36	7,28	7,90	35,4	0,095	1,28	15,1
Угличское	196	22,8	6,31	8,26	6,92	7,27	33,9	0,073	1,45	14,6
Рыбинское	168	19,3	3,67	8,38	3,95	7,98	29,2	0,049	1,30	11,6
Горьковское	173	19,0	6,63	8,34	6,83	7,83	28,9	0,055	1,29	11,9
Чебоксарское	200	20,1	9,40	12,2	8,38	8,14	34,2	0,105	1,77	12,4
Куйбышевское	280	22,8	31,8	17,8	23,6	10,5	43,0	0,076	1,76	9,29
Саратовское	291	22,0	39,9	18,5	23,4	12,1	44,7	0,057	1,50	10,4
Волгоградское	260	18,2	38,6	18,9	15,6	15,2	39,0	0,059	1,49	8,13
Нижовье Волги	292	22,9	37,5	18,4	20,5	10,1	50,1	0,078	1,68	7,60
Средний	219	20,6	18,5	12,2	11,9	9,1	36,4	0,067	1,40	11,3

Примечание. Представленные здесь результаты — осредненные нами величины из данных, приведенных в книге «Волга и ее жизнь» [2] А. А. Былин-  
ковой, Н. А. Трифоновой, Б. А. Скопидцевым.

За последние 25 лет накоплен большой материал по первичной продукции органического вещества в каскаде волжских водохранилищ. За исключением Угличского, по всем остальным имеются наблюдения за весь вегетационный период, а в ряде водохранилищ — даже многолетние данные.

Значение длительных многолетних рядов наблюдений в гидробиологии трудно переоценить. В то время как в других областях науки (метеорология, гидрометеорология, сельское хозяйство, астрономия и др.) накоплены многолетние данные, для подавляющего большинства важнейших гидробиологических параметров многолетние ряды наблюдений отсутствуют или они слишком короткие. Мы плохо себе представляем, как изменяется продукция и деструкция органического вещества в водоемах в силу естественных причин, как изменяется численность организмов, уже не говоря, какие причины определяют эти изменения. Поэтому многолетние наблюдения на водоемах в настоящее время приобретают исключительное значение. Не зная размаха колебаний отдельных параметров, невозможно производить их математическую обработку, разрабатывать прогнозы качества воды, определять интенсивность евтрофирования водоемов, исследовать интенсивность и направленность отдельных процессов во времени и т. д.

Наиболее длительные ряды наблюдений при стандартных условиях отбора и обработки материала имеются на Рыбинском водохранилище. Они выполнены Институтом биологии внутренних вод АН СССР. Значительные данные имеются по Куйбышевскому водохранилищу (Куйбышевская биологическая станция). По численности бактерий, фитопланктона, зоопланктона в Рыбинском водохранилище имеются данные за 27 лет, по интенсивности фотосинтеза и деструкции органического вещества — за 20 лет.

Продукция фитопланктона в Рыбинском водохранилище (см. ниже) в течение 20 лет изменялась от 31 до 168 г С/м<sup>2</sup> за навигационный период, т. е. с колебаниями в 4—5 раз. Средняя величина продукции за указанный период равна 84,4 при квадратичном отклонении 39,5 для вероятности 70% и 107 для вероятности 99%, что свидетельствует о большой вариабельности интенсивности фотосинтеза год от года.

Год	Продукция фитопланктона, г С/м <sup>2</sup>	Год	Продукция фитопланктона, г С/м <sup>2</sup>	Год	Продукция фитопланктона, г С/м <sup>2</sup>
1955	86	1967	110	1974	75
1958	99	1968	51	1975	60
1959	166	1969	81	1976	74
1960	49	1970	101	1977	71
1964	45	1971	69	1978	49
1965	31	1972	158	1979	48
1966	93	1973	161	$\bar{X}$	84,4

«Урожан» органического вещества накладывают отпечаток на все гидробиологические процессы и жизнедеятельность гидробионтов. В ряде случаев влияние первичной продукции (на рыб, неко-

торых представителей зоопланктона) сглаживается или проявляется опосредственно, влияя в этом году на нагул, закладку яиц и т. п. Примерно такая же вариабельность наблюдается в многолетнем изменении численности бактерий, биомассы водорослей, по данным лаборатории ботаники (Г. В. Кузьмин), биомассы зоопланктона — по данным лаборатории гидробиологии ИБВВ АН СССР (А. В. Мошков, И. К. Ривьер). Вторичная продукция различных организмов подчинена первичной, хотя большое значение в водоемах имеют аллохтонные поступления.

Как известно, урожай сельскохозяйственных культур также изменяются год от года в 3—5 раз, а иногда и больше в зависимости от погоды и других факторов.

Отчего же зависит продукция водорослей? Здесь еще много неясного, но из многолетних данных, которые имеются в нашем распоряжении по Рыбинскому водохранилищу, следует, что она также зависит от метеорологических условий года: солнечной радиации, температуры, волнения, осадков, изменения уровня воды, затопления осушенных в предыдущие годы мелководий, а также от солнечной активности.

В настоящее время почти на всех волжских водохранилищах имеются сезонные наблюдения по продукции органического вещества фитопланктона и проведены расчеты продукции на всю акваторию и под 1 м<sup>2</sup> поверхности.

За последние годы по ряду водохранилищ появились дополнительные данные. В табл. 3 [14] представлены уточненные результаты, хотя, учитывая многолетние изменения продукции в одном и том же водоеме, как было показано выше, данные за один год, как правило, малорепрезентативные. Исключение составляют Рыбинское и Куйбышевское водохранилища, по которым имеются многолетние наблюдения. В сумме поверхность их эвфотической зоны составляет 53% от площади всех водохранилищ волжского каскада (см. табл. 1), соответственно и их вклад в суммарную величину наиболее значителен, что должно нивелировать недостатки наблюдений на других водохранилищах. Для Чебоксарского расчеты продукции произведены по материалам Т. Н. Тарасовой [20], полученным по трассе водохранилища до его заполнения. Мы оцениваем данный результат как несколько завышенный.

В расчете на единицу площади водного зеркала самое малое количество органического вещества в процессе фотосинтеза образуется в Рыбинском водохранилище — 76 г С/м<sup>2</sup>, самое большее в Чебоксарском — 198 и Ивановском — 170 г С/м<sup>2</sup> за летний сезон, что в общем согласуется с содержанием в воде фосфора (см. табл. 2).

Общее количество органического вещества, образующегося в результате фотосинтеза фитопланктона во всей Волге, равно 2 164 000 т С за год. Наибольший вклад в продукцию фитопланктона вносит Куйбышевское водохранилище — более 25%, большую долю будет вносить Чебоксарское — примерно 20%. Почти одинаковое количество органического вещества образуется в Рыбинском

Таблица 3  
Продукция фитопланктона в водохранилищах Волги

Водохранилище	На весь водо- ем, т С	% от суммы	Под 1 м² г С	Автор
Иваньковское	56 000	2,59	170	Пырина [10]
Угличское	31 000	1,43	123*	
Рыбинское	346 000	16,01	76	Романенко [12]
Горьковское	178 000	8,23	112	Сорокин и др., [19]
Чебоксарское	450 000	20,79	198	Тарасова [20]
Куйбышевское	550 000	25,42	100	Иватин [7]
Саратовское	186 000	8,59	100	Герасимова [3], Дзюбан [6]
Волгоградское	367 000	16,94	118	Далечина [5], Герасимова [4]
Итого по Волге	2 164 000	100	$\bar{X}=106^{**}$	

\* Экстраполированная величина между выше- и нижележащим водохранилищами.

\*\* Продукция под 1 м² рассчитана как средневзвешенная для всей Волги.

и Волгоградском — по 16%, в сумме около 33%. Совсем ничтожные величины дают, хотя и высокопродуктивные, но малые по площади Иваньковское — 2,6% и Угличское — 1,4%.

Средневзвешенная арифметическая продукция фитопланктона под 1 м² во всей системе равна 106 г С за навигационный период.

Второй источник автохтонного органического вещества — высшая водная растительность — не имеет существенного значения для Волги и составляет, по данным В. А. Экзерцева, И. В. Довбня [21], 53 290 т С, или 4,37% от суммарной продукции фитопланктона и высшей водной растительности. За исключением Куйбышевского и трассы Чебоксарского водохранилищ, по которым данные по продукции макрофитов отсутствуют, площадь зарослей в остальных водохранилищах равна 148,5 км², т. е. 1,07% от их общей площади (табл. 4). Но для некоторых водохранилищ она имеет существенное значение, как например, для Иваньковского, в котором площади зарастания достигают 20,4% и Угличского — 5,9%. В первом продукция макрофитов составляет 1/3 от общей продукции, во втором 1/13. При этом в расчете на площадь зарослей она достигает очень высоких значений — 184—314 г С/м² за сезон и повышается от северных водохранилищ к южным, достигая в Волгоградском максимальных значений — 314 г С/м². Необходимо отметить существенное различие между биомассой фитопланктона и макрофитов. Фитопланктон представлен особями размерами в несколько десятков микрон да и по химическому составу он сильно отличается от высших растений — в нем мало клетчатки. Следовательно, планктонные водоросли разлагаются быстро, в то время как крупные высшие водные растения разлагаются медленно, и поэтому формируемые здесь биоценозы (растения, микроорганиз-

Таблица 4

Степень зарастания и продукция высшей растительности  
в водохранилищах Волги (по: [21, 22])

Водохранилище	Год	Зарастание площади		Общая продукция, т С	Годовая продукция в г С/м <sup>2</sup>	
		км <sup>2</sup>	в % от общей		на 1 м <sup>2</sup> площади зарослей	на 1 м <sup>2</sup> площади всего водоема
Иваньковское	1957 и 1973	66,7	20,4	19 750	268	55,9
Угличское	1958 и 1971	12,9	5,9	2 630	208	10,6
Рыбинское	1956	7,6	1,3	13 930	184	3,5
Горьковское	1970	22,2	1,4	5 000	225	3,2
Саратовское	1974	6,6	0,4	1 730	261	1,0
Волгоградское	1972	32,5	0,9	10 200	314	2,9
Итого по Волге без Куйбышевского **	—	$\bar{X}=148,5$	$\bar{X}=1,07$	$\Sigma=53\,290$	$\bar{X}=243$	$\bar{X}=3,82^*$

\* Средневзвешенные арифметические по отношению ко всей площади обследованных водохранилищ.

\*\* Данные по Куйбышевскому водохранилищу отсутствуют.

мы, перифитон на поверхности вегетативных органов, зоопланктон и пр.) отличается бóльшим постоянством и стабильностью.

Итак, с учетом продукции фитопланктона и высшей водной растительности в каскаде волжских водохранилищ образуется 2 213 000 т С органического вещества за вегетационный период в процессе фотосинтеза, разрушается в воде 3 767 000 т С. В расчете на 1 м<sup>2</sup> поверхности воды в среднем образуется 109, подвергается деструкции 185 г С органического вещества (табл. 5).

Ряд параметров как по продукции, так и по деструкции органического вещества в Волге не определялся. Отсутствуют данные по продукции фитобентоса и фитообрастаний, из деструкционных процессов мало данных по интенсивности разрушения органических веществ в донных отложениях. Из результатов, которые имеются по деструкции органического вещества в Рыбинском, Куйбышевском, Саратовском и Волгоградском [8, 16, 24], следует, что за счет аэробных и анаэробных процессов в донных отложениях разрушается около 25% органического вещества от первичной продукции. Если мы внесем поправку на деструкцию в донных отложениях, то сумма разрушаемого органического вещества для Волги составит примерно 4 300 000 т С.

Пока получены лишь предварительные данные по деструкции и продукции органического вещества в поверхностной пленке воды, но уже сейчас имеются основания утверждать, что с интенсивностью процессов в ней необходимо считаться даже при подведении баланса продукционно-деструкционных процессов. При глуби-

Таблица 5

Баланс первичной продукции и деструкции органического вещества в водохранилищах Волги

Водохранилище	Продукция фитопланктона и высшей растительности			Деструкция органического вещества в воде			Примечание
	на весь водрем, т С	% от суммы	под 1 м <sup>2</sup> , г С	на весь водрем, т С	% от суммы	под 1 м <sup>2</sup> , г С	
Иваньковское	76 000	3,43	226	52 000	1,38	160	Вероятно, деструкция занижена
Угличское	34 000	1,53	155	36 000	0,96	144	—
Рыбинское	360 000	16,23	80	587 000	15,58	129	—
Горьковское	183 000	8,25	115	294 000	7,80	185	—
Чебоксарское	450 000	20,28	198	546 000	14,49	240	Для Чебоксарского расчеты произведены по результатам под 1 м <sup>2</sup> и проектируемой площади
Куйбышевское	550 000	24,79	100	1 180 000	31,32	220	
Саратовское	188 000	8,48	101	375 000	9,95	201	
Волгоградское	377 000	17,00	121	698 000	18,52	201	Для Куйбышевского и трассы Чебоксарского данных по продукции высших растений нет
Итого по Волге	Σ = 2 218 000	100	$\bar{X} = 109^*$	Σ = 3 767 000	100	$\bar{X} = 185^*$	

\* Продукция и деструкция органического вещества под 1 м<sup>2</sup> в среднем по Волге рассчитаны как средневзвешенные арифметические.



Таблица 6

Первичная продукция органического вещества, ихтиомасса и уловы рыбы в волжских водохранилищах (в сыром весе на 1 м<sup>2</sup>)

Водохранилище	Продукция фитопланкто- на и макрофи- тов, г	Уловы за год		Ихтиомасса	
		г	% от первичной продукции	г	% от первичной продукции
Иваньковское	4520	2,32	0,051	40,3	0,89
Угличское	3100	1,69	0,054	39,0	1,26
Рыбинское	1600	1,18	0,073	27,7	1,73
Горьковское	2300	0,75	0,033	12,1	0,53
Куйбышевское	2000	1,35	0,068	20,3	1,02
Саратовское	2020	0,66	0,033	12,5	0,62
Волгоградское	2420	1,86	0,077	24,0	0,99
Итого по Волге	2180	1,15	0,053	25,1	1,15

нах водоемов до 5 м деструкционные процессы здесь могут достигать 5—10% от деструкции в воде.

Эффективность использования энергии фитопланктоном в волжских водохранилищах колеблется от 0,1 до 0,3% от суммарной проникающей в воду радиации. Она резко изменяется в течение вегетационного периода и зависит от обилия фитопланктона, интенсивности инсоляции, прозрачности воды, температуры, содержания биогенных элементов и скорости их регенерации и прочих факторов, обеспечивающих развитие водорослей. Естественно, эффективность использования световой энергии водорослями варьирует на разных глубинах, зависит от состава фитопланктона и может быть представлена в различных вариантах: от суммарной падающей радиации, от той ее части, которая используется хлорофиллом, от лучей, попадающих «в цель» (на площадь клеток) и т. д.

В табл. 6 проведено сравнение первичной продукции органического вещества в процессе фотосинтеза с уловами и биомассой рыбы. Для сопоставления были использованы данные по уловам (с учетом государственного и любительского выловов, приведенные в книге «Волга и ее жизнь» [11] и первичной продукции).

По всему каскаду волжских водохранилищ были получены поразительно близкие цифры, средняя величина по уловам 0,053% с колебанием в различных водохранилищах от самой малой 0,033 в Горьковском до самой большой 0,077% в Волгоградском (см. табл. 6). Близкие результаты были получены по целому ряду водоемов [23]. Хотя эти данные относительны (не учитывается цепь, следовательно, абсолютные данные должны быть еще меньше — примерно в 1,5—2 раза), такие близкие величины свидетельствуют о самой тесной связи между первичной продукцией и уловами рыбы. В противном случае вариабельность цифр была бы огромная.

Общая ихтиомасса обитающих в Волге рыб составляет в среднем 1,15% от продукции фитопланктона с колебанием от 0,053 в Горьковском водохранилище до 1,73% в Рыбинском.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буторин Н. В., Фортунатов М. А. Водохранилища Волги и особенности их гидрологического режима как факторы, обуславливающие биологические процессы.— В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976, с. 11—18.
2. Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 350 с.
3. Герасимова Н. А. Фитопланктон и первичная продукция Саратовского водохранилища в 1968—1971 гг.— В кн.: Саратовское водохранилище. Саратов, 1973, с. 40—60.
4. Герасимова Н. А. Фитопланктон и первичная продукция Волгоградского водохранилища в 1968—1971 гг.— В кн.: Волгоградское водохранилище. Саратов, 1976, с. 32—54.
5. Далечина И. Н. Первичная продукция и деструкция органического вещества в Волгоградском водохранилище в 1965—1967 г.— Тр. Саратов. отд-ния, ГосНИОРХ, 1971, т. 10, с. 47—59.
6. Дзюбан А. Н. Первичная продукция и деструкция органического вещества в воде Саратовского водохранилища в 1972 г.— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1976, № 31, с. 13—16.
7. Иватин А. В. Микробиологические процессы продуцирования и деструкции органического вещества в Куйбышевском водохранилище: Автореф. дис... канд. биол. наук. Алма-Ата, 1979. 22 с.
8. Иватин А. В. Поглощение кислорода и деструкция органических соединений в донных отложениях Куйбышевского водохранилища.— Гидробиол. журн., 1973, т. 9, № 5, с. 40—43.
9. Кузьмин Г. Б. Современное состояние фитопланктона Волги.— В кн.: Вторая конф. по изучению водоемов бассейна Волги: Волга-2. Борок, 1974, с. 85—90.
10. Пырина И. Л. Первичная продукция фитопланктона в Ивановском, Рыбинском и Куйбышевском водохранилищах в зависимости от некоторых факторов.— В кн.: Продуцирование и круговорот органического вещества во внутренних водоемах. М.; Л.: Наука, вып. 13(16), с. 249—270.
11. Поддубный А. Г. Ихтиофауна.— В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978, с. 228—247.
12. Романенко В. И. Продуцирование органического вещества фитопланктона в Рыбинском водохранилище.— Гидробиол. журн., 1971, т. 7, № 4, с. 5—10.
13. Романенко В. И. Связь между интенсивностью фотосинтеза при равномерном распределении водорослей в толще воды и прозрачностью по диску Секки.— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1973, № 19, с. 15—18.
14. Романенко В. И. Микрофлора.— В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978, с. 105—121.
15. Романенко В. И. Величины суточного и кратковременного фотосинтеза фитопланктона при определении с помощью  $^{14}\text{C}$ .— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1970, № 5, с. 18—22.
16. Роминенко В. И., Романенко В. А. Деструкция органического вещества в иловых отложениях Рыбинского водохранилища.— В кн.: Физиология водных организмов и их роль в круговороте органического вещества. Л.: Наука, 1969, т. 19 (22), с. 24—31.
17. Скопinceв Б. А., Бакулина А. Г. Органическое вещество в водах Рыбинского водохранилища в 1964 г.— Тр. ИБВВ АН СССР, 1970, вып. 13 (16), с. 3—32.
18. Сорокин Ю. И. Первичная продукция органического вещества в водной толще Рыбинского водохранилища.— Тр. биол. ст. Борок, № 3, с. 66—88.
19. Сорокин Ю. И., Розанова Е. П., Соколова Г. А. Изучение первичной продукции в Горьковском водохранилище с применением  $^{14}\text{C}$ .— Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва, 1959, с. 351—359.

20. Тарасова Т. Н. Роль бактерий в круговороте органического вещества в р. Волге на трассе строительства Чебоксарского водохранилища: Автореф. дис. канд. биол. наук. Горький: ГГУ, 1974. 24 с.
21. Экзерцев В. А., Довбня И. В. Годовая продукция гидрофильной растительности водохранилищ Волги.— В кн.: Вторая конф. по изучению водоемов бассейна Волги: Волга-2. Борок, 1974, с. 24—28.
22. Экзерцев В. А. Гидрофильная растительность.— В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978, с. 203—221
23. Цискаришвили Л. П. Взаимоотношение первичной продукции фитопланктона и рыбопродуктивности в олиготрофных и эвтрофных водоемах Грузии.— Тр. междунар. симпозиума по проблемам математ. модел. процессов взаимодействия чел. и окр. среды. Телави — Москва, 1979, 121—128.
24. Ярушек Н. Е. Численность бактерий и потребление кислорода грунтами в Волгоградском водохранилище.— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1971, № 11, с. 22—25.

УДК 574.583(28) : 591

## ЗООПЛАНКТОН ЗАРЕГУЛИРОВАННОЙ ВОЛГИ

Н. А. Дзюбан

Зарегулирование Волги начато еще в середине XIX в. постройкой в 1843 г. плотины Верхний бейшлот в 2 км ниже оз. Волго, из которого она вытекает. Выше этой плотины образовалось из цепочки пяти проточных озер небольшое Верхневолжское водохранилище. При сработке его ограниченного полезного объема Волга снова течет там как небольшая речка. Поэтому влияние этого гидросооружения было ничтожно мало и Волга на всем своем протяжении сохраняла до 40-х годов текущего столетия речной режим с характерным для него реофильным планктоном.

До большой гидротехнической реконструкции Волги ее зоопланктон по совокупным данным исследователей, работавших в разных местах и в разное время, включал 76 видов: в том числе 50 видов коловраток, из ракообразных 19 видов ветвистоусых и 7 веслоногих. Наиболее многочисленными были коловратки, составлявшие 80—90% общей численности на русле. Ракообразные были малочисленны или единичны. Изредка регистрировались в результате заноса отдельные виды низших раков из северо-западного озерного холодолюбивого комплекса. Развернувшееся в 40-х годах гидростроительство на Верхней Волге привело к образованию на участке протяженностью 320 км трех водохранилищ — Ивановского (1937), Угличского (1940) и Рыбинского, заполнявшегося с 1941 по 1947 г. Сформировавшийся в них лимнофильный зоопланктон был намного богаче, чем в реке, в частности по биомассе ракообразных. Однако его влияние на зоопланктон Волги ниже плотины Рыбинской ГЭС было ограниченным, так как озерные виды в речном потоке быстро погибали. Ракообразные исчезали уже на подступах к г. Ярославлю, а выше впадения р. Оки от лимнофильного комплекса в стоке Рыбинского водохранилища ничего не оставалось. Вниз от Оки и до впадения, т. е. на протяжении около 2300 км зоопланктон Волги оставался до 60-х годов та-

ким, каким был в конце XIX, начале XX столетия, когда его только начали изучать [7].

С окончанием заливия Горьковского и Куйбышевского водохранилищ (1957 г.) реофильный зоопланктон был вытеснен лимнофильным на протяжении еще 950 км. С вводом Саратовского (1968 г.) и Волгоградского (1961 г.) водохранилищ еще на протяжении 870 км Нижней Волги сформировался лимнофильный зоопланктон и, наконец, в 1980 г. Волжский каскад водохранилищ замкнулся на последнем звене незарегулированной Средней Волги, т. е. там, где образовано Чебоксарское водохранилище и идет сукцессия зоопланктона.

Возведение плотины выше Астрахани отложено. Однако зоопланктон и на этом — последнем речном участке Волги приобрел ряд новых особенностей под влиянием лежащих выше водохранилищ.

Многолетнее существование на Волге водохранилищ и их изучение Институтом биологии внутренних вод АН СССР с его Куйбышевской станцией, ГосНИОРХом, высшими учебными заведениями, а в последнее время и Гидрометслужбой позволили установить для отдельных водохранилищ основные закономерности формирования зоопланктона, его состав, динамику численности и биомассы в многолетнем аспекте. В настоящее время назрела необходимость подведения некоторых итогов и эколого-фаунистического анализа зоопланктона по всему каскаду водохранилищ, а также выработки стратегии по ликвидации белых пятен в его изучении и по дальнейшему более глубокому его изучению. Еще недостаточно исследованы его место и значение в биопродукционных процессах, пищевых взаимосвязях в количественных показателях, а отсюда в трансформации органического вещества, круговороте веществ и в формировании качества воды, а также в повышении рыбопродуктивности. Последняя проблема еще ожидает своего практического решения.

Количество видов в зоопланктоне зарегулированной Волги по сравнению с незарегулированной увеличилось. Это объясняется экологическим разнообразием каскада водохранилищ: речные верховья, озеровидные плёсы, обширные мелководья, лишенные макрофитов или заросшие ими, слабопроточные участки и др. Большое значение в увеличении списка видов имело более тщательное, чем реки, изучение водохранилищ и то, что раньше основное внимание уделялось изучению русла Волги. Кроме того, в водохранилищах акклиматизировалась группа северных озерных ракообразных [6].

В сформировавшемся зоопланктоне всего каскада водохранилищ по разнообразию видов и численности на первом месте остались коловратки, но по биомассе преобладали ракообразные, создавая богатую кормовую базу рыб.

По последним данным, в составе зоопланктона волжских водохранилищ насчитывается 260 таксонов: 213 планктонных и 47 эвритопных. По отношению к общему количеству видов беспозво-

Таблица 1

## Распределение беспозвоночных в основных биотопах бассейна Волги

Таксон	Всего видов в бассейне	Планктонные		Эвритопные		Бентос, перифитон, эпи- бионты, паразиты и др.	
		число	%	число	%	число	%
Простейшие	288	117	40,6	—	—	171	59,4
Коловратки	225	42	18,6	43	19,1	140	62,2
Ветвистоусые	101	27	26,7	4	4,0	70	69,3
Циклопиды	36	15	41,7	—	—	21	58,3
Каланиды	13	12	92,3	—	—	1	7,7
Всего	663	213	32,1	47	21,1	403	60,7

ночных в бассейне Волги (1980) планктонные виды дают только 1,0%. Как известно, в составе зоопланктона обнаружены простейшие, коловратки и низшие ракообразные. Общее количество таксонов, обнаруженных в Волге, из этих систематических единиц 663, из них планктонных только 32,0% (табл. 1). Остальные 403, или 68,0%, — преимущественно бентосные организмы. Таким образом, зоопланктон зарегулированной Волги фаунистически беднее бентоса и других ценотических групп вместе взятых. Это свидетельствует о большой экологической монотонности толщи воды как среды обитания. На дне, в придонном слое, на различных субстратах разнообразие биотопов и станций несравненно больше.

Преобладающая часть планктонных видов и подвидов распространена по всей Волге. Однако в силу большой протяженности реки, от южной тайги до полупустыни, и из-за больших климатических и других различий между отдельными регионами, а также в связи с северным или южным происхождением и стенобионтностью отдельных видов между зоопланктоном Верхней и Нижней Волги есть заметное фаунистическое различие. Десять таксонов зарегистрированы только в Верхней Волге, в том числе шесть коловраток: *Synchaeta stylata* Wiere, *S. grandis* Zoch, *Brachionus calyciflorus spinosus* Wiere, *B. diversicornis homoceros* (Wiere), *Notholca cornuta* Carlin, *Anurallopsis fissa* Gosse и четыре формы ветвистоусых ракообразных: *Holopedium giberum* Zodd, *Daphnia longiremis* G., *Bosmina coregoni gibbera* (Schoedl), *Hemydiaptomus amblyodon* (Marens). 25 таксонов зарегистрировано в составе зоопланктона только Нижней Волги, в том числе 16 коловраток: *Pseudoharungia similis* Fadeev, *Trichocerca similis* (Wierz), *T. (Diurella) intermedia* (Stenr), *T. inermis* (Linder, 1904), *Cromogaster ovalis* (Bergendal), *Synchaeta oblonga* Ehrenb., *Euchlanis pyriformes* Gosse, *E. dilatata lucksiana* Hauer, *E.apidula* Parise 1966, *E. alata* Voronkov, *Paradicranophorus hudsoni* Glasscot, *Asplarchna sieboldi* (Leidig), *Brachionus plicatilis* O. F. Müll., *B. Bidentata* Anderson, *Keratella valga valga* (Ehrenb), *K. v. brehmi* (Klausener), *Filinia longiseta*

opoliensis (Zach) и 9 таксонов низших ракообразных — *Oxiurella tenuicaudis* (G. Sars), *Bosmina kessleri* Uljalnin, *Paracyclops affinis* (G. Sars), *Calanipeda aquae dulcis* Krizsch, *Acanthodiaptomus denticornis* (Wierz), *Eudiaptomus coeruleus* Fischer, *Eurytemora affinis* (Pope), *Acanthocyclops americanus* (March, 1893) и *Ectinosoma concinnum* Acatova, 1935. Два вида — *Synchaeta ketina* Rousselet и *Paracyclops poppei* (Rehberg, 1880) — встречались только в Средней и Нижней Волге. Указанное фаунистическое различие зоопланктона отдельных районов Волжского каскада водохранилищ связано, конечно, и со степенью изученности их фауны, поэтому в будущем оно изменится, так как фауна беспозвоночных Волги изучена еще недостаточно. Причины этого кроются в недостаточно детальных сборах материалов. Обычно проводятся 2—3-кратные экспедиции в основную часть водохранилища с редкой сеткой станций. Последнее приводит к пропускам сроков развития малочисленных видов или видов с коротким циклом развития или спорадически развивающихся, а также к отсутствию материалов по целому ряду макро- и микробиотопов (станций). Свидетельством этого является статья Ю. С. Чуйкова [15] по фауне планктонных беспозвоночных Нижней Волги и ее дельты. Автор в результате экспедиционного обследования Волги ниже Волгограда и еженедельного отбора проб в течение года только в одной протоке (Царев) у Астрахани, зарегистрировал на 74 вида больше, чем приведено в монографии «Волга и ее жизнь» [3], в том числе коловраток на 40 таксонов, ветвистоусых на 24 и веслоногих на 10. Однако из них только 5 являются планктонными. Это *Trichocerca inermis* (Linder, 1904) и *Euchlanis dorida* Parise, 1966 из коловраток, *Paracyclops poppei* (Rehberg, 1880) и каспийский эндемик *Ectinosoma concinnum*, Acatova, 1935 из веслоногих. Автор вполне справедливо объясняет свои находки более полным охватом сезонных изменений в зоопланктоне водоемов, а не изменениями в фауне Нижней Волги. Следует подчеркнуть, что работа Чуйкова и работы других авторов по дельте и всей Волге выполнялись преимущественно на крупных водотоках, а Воложки, старицы и пойменные озера в большинстве не изучались. Кроме того, почти вся речная система бассейна Волги, а также мелководья, средние и небольшие заливы большинства водохранилищ остаются почти не изученными. В равной мере это относится и к альгофлоре. С рыбами дело обстоит благополучнее, но обследование Ф. Гавленой только трех притоков Куйбышевского водохранилища принесло ряд открытий. В системе рек Уса и Сengiлейка, имеющих горный характер, была найдена форель [5], о которой ихтиологи, десятки лет изучавшие Волгу, ничего не знали.

Фауна великой русской реки должна быть изучена максимально полно. Ее широкое и глубокое изучение — длительная и кропотливая работа, к ней необходимо привлечь широкий круг специалистов. Однако полное изучение таксономического состава зоопланктона и других водных животных не исключит фаунистического различия между Верхней и Нижней Волгой в связи с генезисом и стенобионтностью ряда видов.



Таблица 2

## Количество планктонных видов в волжских водохранилищах

Водохранилище	Всего видов и форм	В том числе			Автор
		Rotatoria	Cladocera	Copepoda	
Иваньковское	(90) 70	39	(35) 15	16	И. К. Ривьер [8]
Угличское	65	32	18	7	В. М. Рылов [14]
Рыбинское	146	47	27	14	Е. И. Киселева [9]
Куйбышевское	(122)	(60)	(41)	21	
Саратовское	(92) 83	(49) 47	(27) 20	16	Материалы С. П. Кузнецовой; Тольяттинская гидрометобсерватория
Волгоградское	(180) 95	(81) 29	(57) 50	(42) 16	В. П. Вьюшкова [13]

Примечание. В скобках — количество видов с учетом зарослевых и придонных форм.

В Волжском каскаде отмечается довольно большая разница количества видов в зоопланктоне отдельных водохранилищ (табл. 2). Она связана не только с их морфометрическими, экологическими и трофическими особенностями, но и с количеством и мощностью притоков, залитых водоемов и со степенью их изученности. Количество таксонов в результате углубленных фаунистических исследований увеличится. Однако на данном этапе стандартных наблюдений наши материалы по Куйбышевскому водохранилищу и литературные данные по Иваньковскому, Рыбинскому и Волгоградскому [8, 13, 13] свидетельствуют, что основной систематический состав их зоопланктона не меняется уже много лет, т. е. со времени их стабилизации. Наряду с этим он претерпевает существенные сукцессии, которые выражаются главным образом в численности и соотношении отдельных групп и видов. Эти сукцессии в противоположность первоначальной, определившей быструю смену реофильного зоопланктона лимнофильным, замедленны, так как определяются временем существования водоемов. С годами в водохранилищах могут развиваться заросли макрофитов, накопиться илы, увеличиться эвтрофикация.

Важным фактором сукцессий зоопланктона, как и всего населения водохранилищ, служит зональность, так как ход и характер изменений зависят от климатических условий.

В зоопланктоне каскада насчитывается 27 ведущих видов по биомассе или численности. Однако в отдельных водохранилищах их количество колеблется от 9 до 16. Кроме того, по направлению с севера на юг происходит четкая смена доминантов (табл. 3). Например, в Иваньковском водохранилище *Daphnia cucullata* — самая массовая из пелагических ракообразных — доминирует в биомассе, а *D. longispina* играет подчиненную роль и в жаркое время выпадает из планктона [9]. В Куйбышевском, Волгоградском



Таблица 3  
Доминанты в зоопланктоне волжских водохранилищ

Вид	Иваньков- ское [8]	Рыбинское [13]	Куйбы- шевское	Саратовское [С. П. Кузне- цова, Тольят- тинская ГМО]	Волгоград- ское [4]
<i>Conochilus hippocrepis</i>	—	—	—	—	—
<i>Daphnia cucullata</i>	+	—	—	—	—
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	+	—	—	—	—
<i>Chydorus sphaericus</i>	+	—	—	—	—
<i>Mesocyclops crassus</i>	+	—	—	—	—
<i>Bosmina coregoni</i>	+	+	—	—	—
<i>Cyclops strenuus</i>	—	+	—	—	—
<i>Mesocyclops oithonoides</i>	—	+	—	—	—
<i>Eudiaptomus gracilis</i>	—	+	—	—	—
<i>E. graciloides</i>	—	+	—	—	—
<i>Heterocope appendiculata</i>	—	+	—	—	—
<i>Leptodora</i>	+	+	+	—	—
<i>Cyclops vicinus</i>	+	+	+	+	—
<i>Mesocyclops leuckarti</i>	+	+	+	+	—
<i>Keratella quadrata</i>	+	+	+	+	+
<i>K. cochlearis</i>	+	+	+	+	+
<i>Asplanchna priodonta</i>	+	+	+	+	+
<i>Bosmina longirostris</i>	+	+	+	+	+
<i>Synchaeta</i> sp.	+	—	+	—	+
<i>Daphnia longispina</i>	—	+	+	+	+
<i>Brachionus calyciflorus</i>	—	+	+	+	+
<i>Cyclops colensis</i>	—	+	+	+	—
<i>Bythotrephes longimanus</i>	—	+	+	+	—
<i>Acanthocyclops vernalis</i>	—	—	+	+	+
<i>Bosmina longispina</i>	—	—	+	+	+
<i>Veliger Dreissena</i>	—	—	+	+	+
<i>Polyarthra major</i>	—	—	+	+	—
<i>Heterocope caspia</i>	—	—	—	+	—

[13] и Саратовском [4] водохранилищах и даже в рядом расположенном Рыбинском [12] наоборот: ведущей в биомассе является *D. longispina*.

*Cyclops vicinus* — массовый вид в Иваньковском водохранилище, круглогодичен. В Волгоградском за четыре года (1972—1975) он только в 1972 г. был признан ведущим (260 экз./м³, или 1,2% от общей численности). В Саратовском *Cyclops vicinus* — ведущий вид ежегодно, но только в мае давал 7—94% общей биомассы. В северном — Иваньковском — водохранилище, расположенном практически в зоне исконного ареала северных вселенцев (*Bythotrephes longimanus*, *Bosmina longispina*, *Cyclops kolensis*), первый редок [8], остальные малочисленны. В Куйбышевском и Саратовском

водохранилищах битотреф образует местами свыше 20% общей биомассы. Циклоп и босмина в этих водохранилищах ежегодно и в отдельные годы дают до 95 и 53% от общей биомассы. Это еще один пример, когда вселенцы в новом ареале более массовы, чем в исконном.

*Acanthocyclops vernalis* в Иваньковском водохранилище не считается доминирующим видом, а в южном — Саратовском он доминант и в июле дает до 80% от общей биомассы, причем максимум его развития наблюдался в наиболее теплом и маловодном 1975 г. Недавний южный вселенец в Куйбышевском водохранилище — *Heteroscore caspia* на границе своего северного ареала вошел в число ведущих форм этого водоема. В Волгоградском водохранилище он не является массовым, хотя до зарегулирования Волги регистрировался там. Имеются еще различия в составе ведущих форм (см. табл. 3). Смена ведущих видов в каскаде водохранилищ определяется комплексом климатических, гидродинамических, гидрохимических и трофических факторов и требует специального исследования.

Зональность распределения зоопланктона по каскаду волжских водохранилищ проявляется наиболее отчетливо в смене доминирующих видов и в уровне создаваемых ими биомасс. Эти различия имеют место на фоне высокого фаунистического сходства зоопланктона всего каскада.

Фаунистический анализ зоопланктона трех зон — Верхней, Средней и Нижней Волги — показывает высокую степень общности слагающих его таксономических группировок. Коэффициент Жаккара колеблется в пределах 50—100%. Исключение представляет коэффициент, вычисленный для отряда *Heliozoa* (20—50%). Он, вероятно, занижен за счет очень малого числа видов, которыми представлен этот отряд. Несмотря на высокие коэффициенты Жаккара, можно считать, что зоопланктон водохранилищ верхней и нижней зон Волги достаточно четко различается. Эти различия больше в составе коловраток и веслоногих (коэффициент К 62 и 63% соответственно), чем ветвистоусых (К 77%) и инфузорий (К 67—82%) (табл. 4).

Полученные результаты фаунистического анализа особенно интересны в связи с тем, что, во-первых, нами учитывались только планктонные формы, а во-вторых, фаунистические различия установлены на фоне продвижения и акклиматизации северных и южных форм, вызванных зарегулированием Волги [6].

Жизнь водохранилищ протекала первоначально по одинаковой схеме: быстротечная сукцессия, выражавшаяся в смене реофильного зоопланктона лимнофильным и в увеличении биомассы ракообразных. Затем наступал этап продолжительной сукцессии. Из изложенного выше видно, что время существования водохранилищ не сказывается на основном видовом составе зоопланктона, так как при всех изменениях за время существования водохранилищ в них остаются станции, где сохраняется планктонная фауна водоемов этого типа. Однако на количественном развитии зоопланктона

Таблица 4

Коэффициент фаунистического сходства (по Жаккюру) таксономических групп зоопланктона Волги

Зона	Зона	Верхняя								Средняя								Нижняя							
		Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Heliozoa	Holotricha	Spirotricha	Peritricha	Suctorii	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Heliozoa	Holotricha	Spirotricha	Peritricha	Suctorii	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Heliozoa	Holotricha	Spirotricha	Peritricha	Suctorii
Верхняя	Rotatoria																								
	Cladocera																								
	Copepoda																								
	Heliozoa																								
	Holotricha																								
	Spirotricha																								
	Peritricha																								
	Suctorii																								
Средняя	Rotatoria	88																65							
	Cladocera		85																82						
	Copepoda			83																76					
	Heliozoa				50																				
	Holotricha					81																			
	Spirotricha						94																		
	Peritricha							83																	
	Suctorii								100																
Нижняя	Rotatoria																								
	Cladocera																								
	Copepoda																								
	Heliozoa																								
	Holotricha																								
	Spirotricha																								
	Peritricha																								
	Suctorii																								

долговременная сукцессия, как будет показано ниже, сказалась сильно, но в разных водохранилищах по-разному вследствие их экологических особенностей и местоположения в каскаде.

В результате к настоящему времени самый богатый зоопланктон наблюдается в северном Иваньковском водохранилище, самый бедный — в южном — Саратовском, несмотря на обилие тепла, солнечных дней и большую продолжительность вегетационного периода. В Иваньковском водохранилище биомасса зоопланктона увеличилась за последние 20 лет в 5—10 раз [8], а в самом южном — Волгоградском — водохранилище — численность зоопланктона снижается и уже приблизилась к показателям, которые были в Волге до зарегулирования [13]. Интересно сопоставить данные тех же авторов по численности *Bosmina longirostris* в этих водохранилищах. В Иваньковском водохранилище в 1973—1975 гг. (в пелагиали) ее численность и биомасса в 1 м<sup>3</sup> составляли 1,3 млн. особей или 16,8 г на глубинах 8—12 м; 38,3 млн. или 230 г над глубиной 12 м; 70,5 млн. особей или 423 г на глубине 4—5 м. Остальные виды давали в это время менее 1% общей численности. В Волгоградском водохранилище с 1972 по 1975 гг. средняя численность этого вида колебалась от 0,6 до 6,1 тыс. экз./м<sup>3</sup>, что составляло 1,9—0,8% общей численности соответственно.

Каскад водохранилищ — это система отстойников. В каждое следующее, ниже расположенное водохранилище поступают воды, все более обедненные. Для водохранилищ характерен отрицательный трофический градиент от верховья к плотине по биогенам, количеству бактерий, первичной продукции. Это отмечается даже в Иваньковском водохранилище, верховьем которого является река. В этом заключается основная причина обеднения водохранилищ каскада вниз по течению реки. Вновь созданное Чебоксарское водохранилище, судя по прогнозам, явится, возможно, исключением.

Уровень развития зоопланктона определяется и трофическим потенциалом отдельных водохранилищ. В Иваньковском водохранилище образуется очень много детрита за счет высших водных растений, так как площадь их зарослей составляет в нем, в зависимости от плёса, 13—40% от всей площади, а первичная продукция фитопланктона 2,4—3,4 г кислорода на 1 м<sup>2</sup> в сутки [8]. В Волгоградском водохранилище макрофиты занимают только 0,9% его площади, а продукция фитопланктона равна 0,8—4,0 г кислорода на 1 м<sup>2</sup> [16].

Важным фактором богатства зоопланктона является источник водоснабжения. Внутрикаскадное Саратовское водохранилище на 99% снабжается водой из такого отстойника, как Куйбышевское. Показатели биомассы зоопланктона в нем самые низкие. В Иваньковское водохранилище поступают необедненные воды Волги и притоков. Биомасса его зоопланктона наибольшая для всего каскада. В этой паре водохранилищ с одинаково высоким водообменом, ведущим звеном, определившим их продуктивность, являются источник водоснабжения и уровень первичной продукции. Вол-

гоградское водохранилище также на 98–99% снабжается водой из лежащего выше Саратовского, т. е. из отстойника, но зоопланктон и другие показатели продуктивности в нем выше, чем в Саратовском водохранилище. В этой паре смежных водохранилищ с одинаково малой боковой приточностью и однотипными почвами на склоновом стоке ведущим звеном, определившим уровень их продуктивности, является водообмен, который в Волгоградском в 2,5 раза меньше.

Таковы в настоящее время результаты продолжительной сукцессии зоопланктона волжских водохранилищ. В дальнейшем она будет находиться главным образом под влиянием антропогенных факторов — евтрофирования и загрязнения. Наряду с этим в крупнейшем в Европе Куйбышевском водохранилище мы явемся свидетелями новых сукцессий, связанных с постройкой Чебоксарского водохранилища. До его постройки в верховье Куйбышевского впадали реки с реофильным планктоном. Однако вдоль Волжского и Камского плёсов по мере увеличения подпора воды, снижения скорости течения, выпадения минеральной взвеси происходило нарастающее угнетение и обеднение реофильного зоопланктона. Параллельно этому развивался лимнофильный планктон, причем в нижней трети, например, Волжского плёса, где шло первичное усвоение (в лимнических условиях) биогенов и детрита, вносимых Волгой, зоопланктон был самый богатый для всего водохранилища во все сезоны. В настоящее время в Волжский и Камский плёсы Куйбышевского водохранилища поступают воды из приплотинных плёсов, расположенных выше Чебоксарского и Нижнекамского с лимнофильным планктоном. Трансформация зоопланктона на этом участке стала иной. В бурном потоке этих водохранилищ ниже ГЭС часть зоопланктеров, испытавших гидравлический удар в турбинах, постепенно погибает, особенно ветвистоусые ракообразные. В результате зоопланктон по ходу течения становится все более реофильным, вплоть до почти полного выпадения дафний. Только на значительном удалении от ГЭС, в зоне затухания течения, заново формируется лимнофильный автохтонный комплекс зоопланктона (рисунок). В Саратовском водохранилище это происходит в 80–120 км ниже Волжской ГЭС им. В. И. Ленина, а в Горьковском (ниже г. Ярославля) — в 90–120 км ниже плотины [17]. В Куйбышевском это будет установлено после наполнения лежащих выше водохранилищ.

В начальный период существования Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ в Куйбышевское будут поступать воды более высокой трофии, и зоопланктон в нем может стать даже богаче. Однако когда водохранилища-доноры стабилизируются, в Куйбышевское будут поступать из расположенных выше водохранилищ-отстойников воды с пониженной трофией. Это приведет к снижению в нем количественных показателей зоопланктона. Последнее может усиливаться и не только по зоопланктону, если в Волжском каскаде увеличится проточность и снизится температура воды [2].

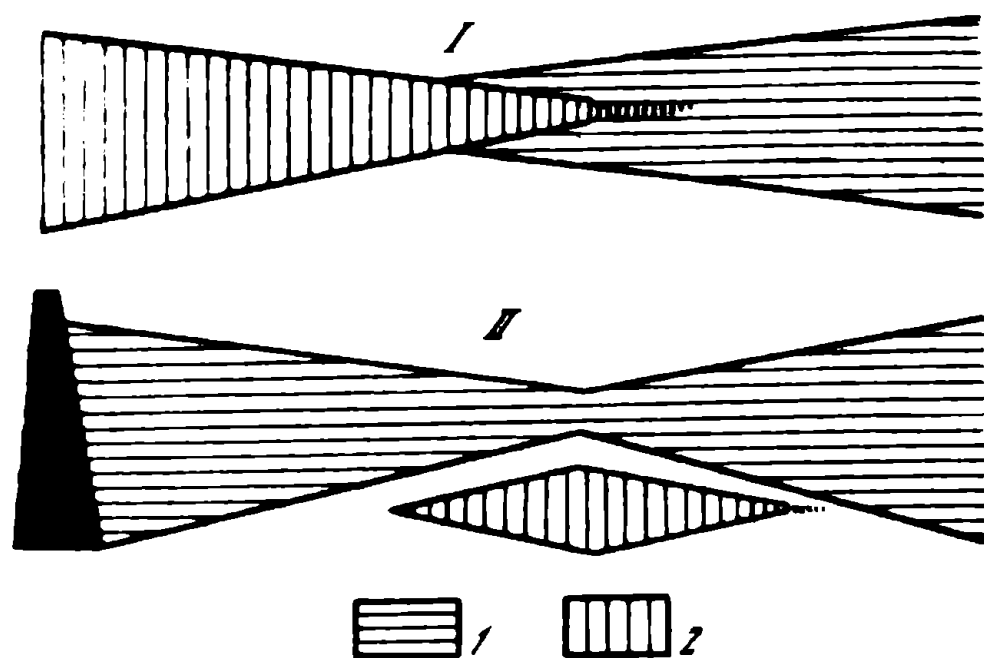


Схема трансформации зоопланктона в Волжском и Камском плёсах Куйбышевского водохранилища

I — до создания Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ;

II — после их создания;

1 — лимнофилы;

2 — реофилы

Нижние бьефы ГЭС играют большую роль не только в судьбе зоопланктона, но и рыб, так как в них происходит разрыв во времени наступления нерестовых температур и паводка. Кроме того, в нижних бьефах в связи с суточным и недельным ритмом работы ГЭС гибнет икра на осушаемых мелководьях.

На Волге и Каме 10 нижних бьефов. Это не менее 1000 км водной акватории, где складывается своеобразная экологическая ситуация для всех гидробионтов. Ухудшается кормовая база рыб-планктофагов (в период массового развития ветвистоусых), самоочищение воды и воспроизводство рыб. Поэтому нижние бьефы требуют специального изучения, тем более что крупные населенные пункты, которые находятся выше плотин, сбрасывают туда канализационные воды. Эти участки имеют особое значение и для решения проблемы чистой воды, в формировании которой принимает участие и зоопланктон.

В литературе уже давно указывалось, что главным показателем загрязнения водоема служит бентос, а планктонные организмы являются второстепенным, так как переносятся течением и не характеризуют качества воды в месте отбора пробы. Это не так. Сообщение С. П. Кузнецовой убедительно показало, что зоопланктон — надежный критерий качества воды во времени и пространстве как в озерной, так и в речной части водохранилища. Лаборатория гидробиологии Тольяттинской гидрометобсерватории ведет мониторинг по всему гидробиологическому комплексу. В большинстве случаев оценка качества воды совпадает по всем гидробиологическим материалам, но состояние бентоса часто указывает на большее загрязнение. Это естественно, так как на дне загрязнители накапливаются. В придонном слое и в силу естественных процессов может снижаться содержание кислорода, накапливаться углекислота и даже сероводород и метан, а в средних слоях в том же районе качество воды остается удовлетворительным.

Контроль за качеством воды по планктическим гидробионтам приобретает первостепенное значение. Однако необходимость мониторинга по донной фауне этим не умалается. Он необходим для общей оценки загрязнения водоема, для выявления в сочетании с гидрохимией донных отложений, угрозы вторичных загрязнений.



Наряду с этим по донной фауне, в которой есть виды с более длительным циклом развития, чем планктонные, можно констатировать катастрофические заморные явления.

В последнее время ставится вопрос о необходимости охранять не водоем, а его экосистему, т. е. биологическую машину самоочищения. Очень дорогие очистные сооружения не могут сравниться по масштабам очистки с производительностью этой машины, работающей, к тому же, бесплатно.

Роль зоопланктона в самоочищении еще не изучена. Некоторое представление о ней может дать его фильтрационная и седиментационная деятельность. По подсчетам А. Ф. Тимохиной, старшего научного сотрудника Куйбышевской станции Института биологии внутренних вод АН СССР, только планктонные коловратки, ветвистоусые и каланиды, в годы их массового развития, профильтровывают весь объем Куйбышевского водохранилища — 58 млрд. м<sup>3</sup> за четверо суток..., в годы низкой численности — за 9—10 суток, а по средним многолетним данным — за 7—8 суток. Однако в составе зоопланктона есть еще инфузории, которые также играют большую роль в самоочищении, но их в волжском каскаде не изучают, к сожалению, в должной мере. Между тем, по данным Мамаевой [10], на мелководье северных волжских водохранилищ численность инфузорий достигала весной 20 млн. экз./м<sup>3</sup> с биомассой 7,0 г/м<sup>3</sup>. В открытой части их биомасса составляла 1,0 г/м<sup>3</sup>. В период летнего минимума численность инфузорий колебалась от 500 тыс. до 1.0 млн. экз./м<sup>3</sup>. В Рыбинском водохранилище биомасса простейших на мелководье (в мае) больше биомассы метазойного зоопланктона, но летом в несколько раз меньше. Среднегодовая биомасса простейших приближается к таковой метазойного зоопланктона (табл. 5, 6).

По данным Т. А. Андроновой [1], высоких значений численности и биомассы достигают инфузории в южном Волгоградском водохранилище (табл. 6). Судя по ее ориентировочным подсчетам, продукция инфузорий в этом водохранилище составила за вегетационный период 68,8 г/м<sup>3</sup>. В отличие от северного — Рыбинского водохранилища максимум численности инфузорий в Волгоградском наблюдался не весной (май), а летом (см. табл. 6). Это существенно для самоочищения и других процессов в толще воды, а также оценки значения инфузорий в разные сезоны в разных регионах. Кроме того, водохранилища каскада обладают индивидуальностью по развитию этих массовых гидробионтов в составе зоопланктона и планктона в целом. Данные по инфузориям приведены чтобы: 1) подчеркнуть их огромную роль в жизни водоемов, и в частности, в трофических цепях минерализации, самоочищении и других процессах при столь высокой численности и биомассе и 2) подчеркнуть необходимость не менее полного их изучения, чем метазойного зоопланктона. Без этого важнейшие гидробиологические оценки и выводы как научные, так и практические будут неточны и недостаточно научно обоснованы.

**Таблица 5**  
**Средняя биомасса зоопланктона, г/м<sup>3</sup>**

Водохранилище	1972 г.	1973 г.	1974 г.
Иваньковское (И. К. Ривьер [8]) нижний Волжский плёс	3,8	5,93	2,55
Иваньковский плёс	—	3,5	2,9
Волгоградское (В. П. Вьюшкова [14])	0,29	0,3	0,53
Куйбышевское	1938 0,77	1939 0,57	1970 0,58

**Таблица 6**  
**Численность и биомасса инфузорий**  
**в Волгоградском водохранилище в 1973 г., по: Т. В. Андронova [1]**

Месяц	Численность, млн. экз./м³			Средняя био- масса по все- му водохрани- лищу. г/м³
	Зона			
	верхняя	средняя	нижняя	
Апрель	0,2	0,3	0,8	0,16
Май	7,2	8,5	14,0	0,45
Июнь	10,8	26,8	28,5	0,75
Июль	8,4	11,5	—	0,49
Август	9,5	19,0	—	0,61
Сентябрь	5,2	9,8	—	0,44
Октябрь	0,5	0,8	1,1	0,11
Среднее за пе- риод наблюдений	5,9	10,9	11,1	0,43

В зоопланктоне волжских водохранилищ преобладают по биомассе ценные в пищевом отношении для рыб ракообразные, а его остаточная биомасса свидетельствует, что зоопланктон как кормовая база рыб недоиспользуется. Это резерв, за счет которого можно увеличить рыбопродуктивность волжских водохранилищ путем вселения рыб-планктофагов. Однако предпочтительнее организовать массовое выращивание и выпуск молоди туводного синца, показавшего в условиях всех водохранилищ высокий темп роста при большой жирности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Андронova Т. А. Планктонные инфузории. Волгоградское водохранилище: (Население, биологическое продуцирование и самоочищение). Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1977, с. 66—71.
2. Берзнер А. С., Моисеев Н. Н., Ерешко Ф. М., Лотов А. В. Системный подход к исследованию проблемы межбассейновой переброски стока: (На примере

- переброски части стока северных рек СССР в Волгу). Вод. ресурсы, 1981, № 1, с. 5—22.
3. Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 348 с.
  4. Вьюшкова В. П., Кузнецова В. И. Характеристика зоопланктона Саратовского водохранилища (1968—1971 гг.).— Тр. Саратов. отд-ния ГосНИОРХ, 1973, т. 12, с. 78—93.
  5. Гавлена Ф. К. Ихтиофауна некоторых притоков Волги.— В кн.: Первая конференция по изучению водоемов бассейна Волги: Тез. докл. Тольятти, 1968, с. 160—162.
  6. Дзюбан Н. А. Водохранилища, как зоогеографический фактор.— В кн.: Тр. зонального совещ. по типологии и биол. обоснованию рыбохоз. исследования внутренних водоемов южной зоны СССР. Кишинев, 1962, с. 105—110.
  7. Дзюбан Н. А., Дзюбан М. Н. Зоопланктон Волги до образования водохранилищ.— В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976, с. 82—89.
  8. Ивановское водохранилище и его жизнь.— Тр. ИБВВ АН СССР, 1978, т. 34 (37), с. 1—304.
  9. Киселева Е. И. Планктон Рыбинского водохранилища.— Тр. проблемн. и темат. совещ. ЗИН АН СССР, 1954, вып. 2, с. 22—31.
  10. Мамаева Н. В. Планктонные инфузории р. Волги.— Гидробиол. журн., 1975, т. 11, № 1, с. 33—38.
  11. Мордухай-Болтовской Ф. Д., Дзюбан Н. А. Изменения в составе и распределении фауны Волги в результате антропогенных воздействий.— В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976, с. 67—82.
  12. Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972. 364 с.
  13. Рыбохозяйственное освоение Волгоградского водохранилища/Под ред. Т. Н. Небольсинной. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1980. 264 с.
  14. Рылов В. М. Зоопланктон Учинского водохранилища.— Тр. Зоол. ин-та АН СССР, 1944, т. 7, вып. 1.
  15. Чуйков Ю. С. Зоопланктон Нижней Волги и ее дельты.— Гидробиол. журн., 1981, т. 17, № 3, с. 122—123.
  16. Экзерцев В. А., Довбня И. В. Годовая продукция гидрофильной растительности водохранилищ Волги.— В кн.: Вторая конф. по изуч. водоемов бассейна Волги: Волга-2. Борок, 1974, с. 24—28.
  17. Dzyuban N. A. The zooplankton (metazoic) of the Volga. The river Volga and its life. The Hague etc., 1979, p. 195—231. (Monogr. biol.; Vol. 33).

УДК 574.587(28) : 591

## МАКРОЗООБЕНТОС ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ<sup>1</sup>

А. С. Константинов, В. И. Митропольский, В. И. Попченко,  
Н. Ю. Соколова

Макрозообентос Волги и ее водохранилищ характеризуется высоким таксономическим разнообразием, поскольку экологические условия в различных участках реки, пересекающей ряд ландшафтно-географических зон от тайги до полупустыни неодинаковы по очень многим характеристикам. К настоящему времени в макрозообентосе водохранилищ и речных участков Волги зарегистрировано свыше 800 видов, относящихся к 6 типам и 12 классам жи-

<sup>1</sup> Характеристика макрозообентоса верхневолжских водохранилищ дана Н. Ю. Соколовой, Рыбинского и Горьковского — В. И. Митропольским, Куйбышевского и Саратовского — В. И. Попченко, Волгоградского и каскада в целом — А. С. Константиновым.

вотных. Из отдельных групп донных животных наиболее разнообразны насекомые (свыше 500 видов), особенно хирономиды, ручейники, поденки и стрекозы (соответственно около 240, 90, 80 и 70 форм). Среди других групп макрозообентоса богато представлены олигохеты и моллюски (73 и 121 вид), значительно беднее по видовому богатству высшие ракообразные и пиявки (45 и 19 форм), остальные группы представлены сравнительно небольшим числом видов. Следует отметить, что истинное число бентосных форм, несомненно, намного выше зарегистрированного, так как некоторые группы в фаунистическом и таксономическом отношениях изучены явно недостаточно. Вместе с тем приходится иметь в виду, что многие формы, включаемые в списки бентосных, более тяготеют к перифитону или пелагобентосу, лишь эпизодически встречаясь на грунте, который используется ими в качестве временного или экстремального местообитания.

Судя по имеющимся данным, с продвижением вниз по течению донная фауна Волги становится однообразнее за счет снижения видового богатства насекомых. Обратная картина прослеживается в отношении высших ракообразных, которые за исключением 2 видов являются выходцами из Каспийского моря. Видовое богатство олигохет и моллюсков довольно сходно на всем протяжении Волги (табл. 1).

Резкое обеднение фауны насекомых, олигохет и моллюсков при одновременном увеличении видового богатства высших раков особенно четко прослеживается в самых южных водохранилищах (табл. 2).

Снижение видового обилия насекомых в значительной мере связано с уменьшением площадей зарастания макрофитами, среди которых создаются благоприятные условия для откладки яиц и выживания молоди. Крайне неблагоприятны для выплода насекомых и их личиночных стадий открытые песчаные пляжи, подвергающиеся сильному воздействию прибоя. Для взрослых насекомых, в частности, хирономид отрицательную роль могут играть высокая температура и сухость воздуха (обезвоживание тела). Немаловажное значение имеет для них и уменьшение облесенности берегов — отсутствие стаций переживания [11], недостаточная защита от ветра в период роения и др.

Обеднение видового состава всех групп зообентоса с продвижением к югу может быть связанным с угнетенным развитием бореальных форм, оказывающихся в экстремальных условиях существования. Известное значение может иметь и сравнительно быстрое обсыхание прибрежной полосы после сработки уровня. С одной стороны, это снижает возможности зообентонтов выжить до нового обводнения грунта при очередном подъеме уровня воды, с другой, — быстрое обсыхание грунта препятствует перемещению животных из обсыхающих участков в оставшиеся под водой [12].

Судя по видовой структуре, экосистемы южных водохранилищ менее сбалансированы. Об этом свидетельствует не только снижение видового обилия, но и меньшая выровненность бентонтов по

Таблица 1  
Видовое богатство основных групп макрозообентоса  
в различных участках Волги (без дельты)

Группа зообентоса	Верхняя Волга	Средняя Волга	Нижняя Волга	Все зоны	Всего видов
Хирономиды	172	128	63	39	238
Таниподины	23	21	8	6	32
Ортокладиины	38	31	17	5	68
Хирономины	109	74	47	26	138
Ручейники	63	38	9	1	89
Поденки	36	57	7	4	72
Стрекозы	46	22	35	8	63
Олигохеты	63	20	40	19	73
Пиявки	15	16	18	14	19
Моллюски	98	84	88	83	121
Переднежаберные	12	10	11	10	14
Легочные	28	38	26	36	41
Двустворчатые	48	48	51	47	64
Высшие ракообразные	5	17	37	1	45

Таблица 2  
Видовое богатство основных групп макрозообентоса  
в волжских водохранилищах

Водохранилища	Олигохеты	Моллюски	Хирономиды	Высшие ракообразные
Иваньковское	49	46	50	3
Рыбинское	61	44	122	3
Горьковское	24	35	57	4
Куйбышевское	39	22	44	12
Саратовское	37	23	51	14
Волгоградское	16	12	36	15

их количественной представленности (эквитабильность). Число доминантных форм уменьшается, степень их доминирования повышается.

Интересно отметить, что доля форм с распространением по всей Волге очень различна в разных группах (табл. 1). Среди моллюсков по всей Волге встречается 68% от общего числа видов, найденных в реке, среди пиявок — 73%. Значительно меньше форм с таким широким ареалом среди олигохет (26%), хирономид (19%), стрекоз (12%), поденок (6%) и ручейников (2%). Из хирономид наибольшим числом форм с широким ареалом отличаются хирономины и таниподины, наименьшим — ортокладиины

(соответственно 19, 18 и 7%). Данные о широте расселения следует учитывать при оценке индикаторного значения отдельных групп как элементов гидробиологического мониторинга.

По видовому составу зообентос волжских водохранилищ, вопреки мнению некоторых исследователей [32], не монотонен, а сравнительно разнообразен, в частности, превосходит в этом отношении зообентос водоемов Днепровского каскада. Например, в сравнительно хорошо изученном Киевском водохранилище встречено хирономид, моллюсков, олигохет и высших ракообразных соответственно 41, 40, 27 и 6 видов [37], несколько меньше, чем в каждом из водохранилищ Верхней или Средней Волги (табл. 2).

Следует отметить, что видовой состав волжских водохранилищ до настоящего времени очень неустойчив, и это осложняет многие фаунистические оценки и сравнения. Одни виды в изменившихся экологических условиях расселяются с севера на юг, другие — в обратном направлении, третьи сокращают или расширяют свой ареал по мере илонакопления и переформирования грунтов. Вследствие снижения скоростей течения наблюдается продолжающаяся до настоящего времени «лимнофикация» донной фауны, исчезновение из нее реофильных элементов [6, 23, 32, 34].

Заметные изменения бентофауны связаны с проведением акклиматизационных работ [4, 5, 8, 9, 32]. В Горьковском водохранилище прижился байкальский *Gmelinoides fasciatus*, завезенный сюда в 1961—1967 гг. [8]. По-видимому он вытеснил здесь в конце 60-х годов рачка *Pontogammarus obesus* и проник в Куйбышевское водохранилище, куда в 1958—1963 и 1965—1967 гг. пересаживали мизид *Paramysis lacustris*, *P. baeri*, *P. intermedia*, *P. ullskyi*, а также моллюска *Hydranthes colorata* и полихету *Hydranthes invalida*. В настоящее время в нем встречаются перечисленные акклиматизанты, за исключением первых двух форм мизид [4, 8]. В Саратовском водохранилище обнаружены те же виды и кроме того *Limnomysis benedeni* [34]. В Волгоградском водохранилище в значительном количестве встречаются интродуцированные сюда в 1961—1967 гг. *P. intermedia*, *P. lacustris*, *P. ullskyi*, *H. invalida*, *H. colorata*. Последние 2 формы стали доминирующими в зообентосе, равно как и случайно попавшая в Волгоградское водохранилище *Pterocoma termatophora* [34].

По численности и биомассе донных животных на первом месте среди волжских водохранилищ стоят Ивановское и Угличское, значительная часть акватории которых занята зарослями макрофитов. В первом биомасса бентоса достигает в среднем для всего водоема 9—10 г/м<sup>2</sup>, во втором — 7—14 г/м<sup>2</sup> [23, 32]. В лежащих ниже крупных водохранилищах, характеризующихся большими колебаниями уровня, обширной осушной зоной и очень слабым развитием прибрежных зарослей макрофитов, донных животных меньше. На основном биотопе (бывшей суше), занимающем 80—90% всей площади дна водоемов, биомасса бентоса (без моллюсков) достигала в конце 60-х годов в Рыбинском, Горьковском и Саратовском водохранилищах 1—3, в Куйбышевском 2—3, в Вол-

гоградском 2—5 г/м<sup>2</sup> [32]. С учетом моллюсков она была во много раз выше главным образом за счет дрейссены, особенно в южных водохранилищах (до 50—100 г/м<sup>2</sup> и более). Выявлено отсутствие связи между особенностями залитых почв и степенью развития бентоса [32]. Укажем, что подобный факт был отмечен при изучении донной фауны днепровских водохранилищ [36].

На втором основном биотопе волжских водохранилищ — бывших руслах рек — биомасса бентоса в конце 60-х годов была обычно в 3—4 раза выше, чем на залитой почве и, как правило, достигала по каскаду 10—15 г/м<sup>2</sup> [32].

В последующие годы биомасса бентоса на залитых почвах постепенно повышалась по мере их растущего заиления и к концу 70-х годов в большинстве крупных водохранилищ достигла 3—6 г/м<sup>2</sup>, т. е. увеличилась на 30—50% по сравнению с наблюдаемой 10—15 лет назад. Есть все основания предполагать, что возможен дальнейший рост биомассы, поскольку до настоящего времени в водохранилищах имеются обширные площади еще незаиленных почв, которые постепенно покрываются донными осадками [7].

Ведущие группы бентоса (по численности и биомассе) во всех водохранилищах одни и те же: хирономиды, олигохеты и моллюски. В южных водоемах каскада существенную роль играют акклиматизированные здесь высшие ракообразные и полихеты. Из отдельных форм к наиболее массовым представителям макрозообентоса относятся *Chironomus plumosus*, *Procladius*, *Isochaetides newaensis*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Corophium curvispinum*, *Dikergammarus haemobaphes*, *Pontogammarus obesus*, *Paramysis intermedia*, *P. ullskyi*, дрейссена. В южных водохранилищах к перечисленным формам добавляются акклиматизанты *G. fasciatus*, *H. colorata*, *H. invalida*.

По типу питания представители макрозообентоса в своем большинстве относятся к сестофагам-фильтраторам (большинство моллюсков, высших ракообразных, многие хирономиды) и собирателям корма на поверхности грунта (некоторые хирономиды, моллюски). Слабее представлены формы, питающиеся за счет заглатывания грунта (многие олигохеты), сравнительно немногочисленны хищники (в основном личинки и взрослые формы насекомых, пиявки).

С продвижением вниз по каскаду хирономид становится меньше, особенно по отношению к другим группам. Биомасса олигохет несколько повышается, но их относительная роль в бентосе снижается. Очень резко увеличивается относительное и абсолютное количество высших ракообразных и моллюсков (в основном за счет дрейссены). В каждом водохранилище наблюдается тенденция к снижению богатства зообентоса по продольной оси водоема в направлении к плотине [21], что в значительной мере объясняется ухудшением кислородных условий в придонном слое воды в связи с растущим заилением и почти полным отсутствием течения.

По поперечному профилю картина распределения зообентоса меняется в зависимости от особенностей прибрежья. Если это от-



крытое мелководье, то в условиях сильного прибоя формируются почти безжизненные песчаные пляжи. Чередование взмучивания и осаждения грунта исключает здесь развитие инфауны, резко ограничивает существование эпифауны. В водохранилищах с относительно небольшими амплитудами уровня и развитой прибрежной растительностью создаются благоприятные условия для литоральных форм. С продвижением к середине мелководья биомасса бентоса меняется в зависимости от особенностей конфигурации ложа и накопления иловых отложений. В связи с продолжающимся заилеванием в водохранилищах улучшаются условия для развития олигохет и их биомасса по всему каскаду постепенно возрастает. По мере разрушения деревьев и кустарников в залитых лесных массивах возможности расселения дрейссены снижаются и в ряде случаев ее биомасса уменьшается. Реальная картина развития макробоиотоса в каждом водохранилище определяется длительностью их существования, положением в каскаде, гидрологическими особенностями, антропогенными воздействиями и другими факторами.

*Иваньковское водохранилище.* Бентос Иваньковского водохранилища богаче, чем других волжских водохранилищ (если не учитывать дрейссену). Ф. Д. Мордухай-Болтовской [24] объясняет это тем, что 45% площади дна водохранилища занято продуктивными серыми и песчанисто-серыми илами. Разнообразие бентоса велико, что обусловлено наличием мелководных плесов, заросших макрофитами с богатой фауной. Если принимать во внимание лишь бентос открытой части водохранилища, в состав донной фауны входят 35 видов и форм беспозвоночных (19 личиночных форм хирономид, 10 видов олигохет, 7 видов сфериид, 1 вид унионид). В бентосе доминируют олигохеты (50,2—54,2% по биомассе) и хирономиды (42—47%). Массового развития достигают среди олигохет *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Isochaetides newaensis*, *Potamothenix hammoniensis*, *Potamothenix moldaviensis*, среди хирономид *Chironomus plumosus* (35,6% от среднегодовой биомассы), а также *Cryptochironomus* gr. *defectus*, *Procladius ferrugineus*, *Procladius chozeus*.

Существенные изменения в донной фауне произошли после строительства Конаковской ГРЭС. В зоне подогрева изменилось соотношение групп бентоса: увеличилась биомасса олигохет, составляющая теперь около 80% от общей биомассы бентоса, и снизилась доля хирономид. Значительно возросла продукция олигохет. Доминирующий вид *Limnodrilus hoffmeisteri* (из-за сдвигов прохождения жизненного цикла весной на более раннее время) дает не одну генерацию за год, а две [39]. У массового вида хирономид *Ch. plumosus* также наблюдается ускорение жизненного цикла и сдвиг вылета весной на более ранний срок и более поздний вылет осенью [24]. При этом, видимо, нарушается синхронность вылета комаров с условиями их существования и размножения в воздушной среде. Вылетевшие поздней осенью комары погибают, не дав потомства; в водоеме, по-видимому, остается

лишь часть личинок, которая под влиянием изменения фотопериода находится в состоянии диапаузы. В Ивановском водохранилище встречается дрейссена, появившаяся, видимо, в конце 40-х—начале 50-х годов. В 1953—1955 гг. она регистрировалась в мелководных плёсах [44]. В 1973—1974 гг. в районе подогретых вод частота встречаемости моллюска составила 33%, особенно многочисленна популяция в зоне сильного подогрева.

*Малые подмосковные водохранилища.* Многолетние исследования бентоса водохранилищ водоснабжения с момента их возникновения [41, 42, 43] показали ряд общих черт с крупными волжскими водохранилищами близкой климатической зоны в становлении биологического режима. Это позволяет рассматривать их в известной мере как модели крупных волжских водохранилищ. Так, например, в Учинском, Можайском, Рузском, Озернинском, Яузском, Вазузском водохранилищах наблюдаются те же этапы формирования бентоса, отмеченные Ф. Д. Мордухай-Болтовским для крупных волжских водохранилищ, однако темп их прохождения и масштабы по разным причинам в отдельных водоемах были неодинаковы. В Рузском водохранилище, например, не было сильной вспышки развития мотылей [38], так как в период их массового вторжения в водоем почти полностью выпала первая генерация из-за массовой гибели яйцекладок, обсохших вследствие резкого падения уровня. В Озернинском водохранилище после кратковременного количественного увеличения популяции мотылей произошло резкое снижение биомассы бентоса (до 1—2 г/м<sup>2</sup>). Это связано, по-видимому, с тем, что значительная часть площади дна занята малопродуктивными кислыми почвами, характерно поэтому и малое количество олигохет в этом водоеме. Сравнительно с московскими водохранилищами в Учинском водохранилище (на канале Москва—Волга) снижение биомассы бентоса по годам было более плавным. Вследствие постоянства уровня в течение вегетационного сезона мелководья не осушаются, развиты макрофиты, населенные богатой фауной. В период, когда состав и количество бентоса в этом водоеме уже стабилизировалось, произошло вселение дрейссены, проникшей по каналу из Волги. Массового развития она достигает в прибрежной полосе от 1 до 7—8 м (в настоящее время ее биомасса составляет примерно 0,5 кг/м<sup>2</sup>). Ее вселение повлекло сукцессию биоценозов, вытеснение других фильтраторов из прибрежной зоны и количественное обеднение бентоса профундали. Дрейссена — своеобразный трансформатор органического вещества, которое она «перехватывает» в виде детрита из зоны макрофитов и с берегов, благодаря чему профундаль принимает все более олиготрофный характер. Несмотря на то, что Учинское водохранилище существует более 40 лет, численность и биомасса в нем олигохет не увеличивается, как в других водохранилищах, составляя 9—10% от биомассы бентоса (без дрейссены). Количество сестона, трансформируемого дрейссеной за год в зоне обитания моллюсков, более 1 кг/м<sup>2</sup>, а общее количество на весь водоем — более 7 тыс. т в год [17].

В долинных водохранилищах наблюдается неравномерность распределения бентоса вдоль продольной оси. В зоне выклинивания подпора и в верхнем районе водохранилищ бентос еще сохраняет некоторые реофильные и фитореофильные элементы: он разнообразнее, чем в лежащих ниже районах. По биомассе и продуктивности выделяются участки на границе верхнего и озерного районов в зоне смешения речных и водохранилищных масс, где происходит седиментация взвеси, продуктивны также устья заливов. В самом верхнем горизонте осушаемой зоны (во всех подмосковных водохранилищах, кроме Учинского, уровень непостоянен), численность бентоса велика за счет мелких видов хирономид и мотыля младших возрастов; преобладают детритофаги, обитающие на поверхности грунта. Глубже обнажающейся летом полосы (зона периодического затопления) основную часть населения составляют фильтраторы-седиментаторы и фильтраторы, питающиеся водорослями и детритом, а также всеядные личинки хирономид. В зоне постоянного затопления значительную роль играют тубифициды, количество которых увеличивается с глубиной и максимальной величины достигает в бывшем русле реки, где им сопутствуют крупные личинки мотыля. Характерно изменение с годами трофической структуры бентоса. По мере старения водохранилищ все большее значение приобретают виды хирономид, более пластичные в отношении пищи (*Procladius ferrugineus*, *Polypedilum pubesculosum*) при сокращении численности мотыля, который остается лидирующим по биомассе в водохранилищах, где дрейссена отсутствует (дрейссена имеется во всех водохранилищах, снабжающихся волжской водой и расположенных вдоль канала им. Москвы).

*Рыбинское водохранилище.* В первый год залития биомасса бентоса осенью 1941 г. [35]: на залитой пашне — 12,1—44,7 г/м<sup>2</sup>, залитом лугу — 11,9—24,1 г/м<sup>2</sup>, песчаном побережье — 5,4—10,8 г/м<sup>2</sup>, низинном болоте — 27,1—44,7 г/м<sup>2</sup>, торфяном болоте — 4,3—9,1 г/м<sup>2</sup>. По данным 1945—1948 гг. [16], биомасса бентоса (включая всех моллюсков) выражена в различных плёсах средними величинами:

Год	Волжский плёс	Моложский плёс	Шекснинский плёс	В среднем по водохранилищу
1945	15,2	4,5	27,6	10,9
1946	8,8	5,6	6,1	6,7
1947	5,1	3,4	9,8	5,4
1948	7,0	—	—	—

Систематическое изучение распределения бентоса по всей акватории Рыбинского водохранилища ведется с 1952 г. Первая сводка по его распределению и составу [27] обобщает данные трех съемок, проведенных в 1952—1953 гг. В это время 85% ложа водохранилища было занято незаиленными почвами и торфянистыми илами, а в незащищенном побережье также и песками [14]. В Главном плёсе, для которого характерны эти грунты, биомасса бентоса составляла около 1,5 г/м<sup>2</sup>, в речных плёсах на серых и песчаных серых илах — 10—13 г/м<sup>2</sup>. В 1950—1960 гг.

уровень развития донной фауны оставался примерно одинаковым.

С начала 60-х годов почвы в значительной степени были размыты и покрылись песчанистым наилком, а песчанистые грунты продвинулись на глубину 7—8 м [15]. Однако, несмотря на изменения грунта, состав, распределение и обилие бентоса остались прежними. Впервые тенденция к увеличению биомассы бентоса в речных плёсах выявлена в 1970 г. [26], когда она превысила среднюю многолетнюю — 16—23 г/м<sup>2</sup>. В Главном плёсе она оставалась на прежнем уровне. Бентос здесь на 70—80% состоял из олигохет. В речных плёсах в составе бентоса чаще преобладали личинки хирономид, однако в отдельные периоды доминировали олигохеты.

В 70-е годы изменения грунтового комплекса стали более значительными. В 1978 г. впервые выявлено увеличение количества бентоса на почвах, торфянистых илах и песках [2]. Биомасса бентоса в Главном плёсе 3,7 г/м<sup>2</sup> против 1,5 г/м<sup>2</sup> за предыдущие годы.

В 1978 г. в бентосе серых илов преобладали олигохеты, хотя еще в 1976 г. здесь доминировали хирономиды. Следует отметить, что по мере общего повышения биомассы бентоса биомасса олигохет возросла в большей степени, чем хирономид. Если в 1952—1968 гг. хирономиды давали на серых илах 66,7%, а олигохеты — 25% общей биомассы, то в 1970—1978 гг. — 45,1 и 48,7% соответственно.

Видимо, перераспределение и изменение грунтов послужили предпосылкой постепенного увеличения бентофауны во всем Рыбинском водохранилище.

С. М. Ляхов [21] в процессе изучения динамики бентоса Куйбышевского водохранилища выделил стадию нивелирования биотопов и биоценозов, при наступлении которой возрастает биомасса бентоса, а господствующее положение в нем занимают олигохеты. Возможно, аналогичные процессы протекают и в Рыбинском водохранилище.

В 1980 г. бентос оказался значительно беднее; необычно мало было личинок хирономид. Если в 1978 г. последние на различных грунтах составляли от 13 до 52% всей бентомассы, то в 1980 г. — от 0,2 до 39%. Следует полагать, что в данном случае мы имеем дело с обычной флюктуацией, а тенденция остается прежней.

*Горьковское водохранилище.* По данным Ф. Д. Мордухай-Болтовского [29], процесс формирования бентоса в нем в основном закончился в первые 4 года (1955—1959). Его средняя биомасса для всей озерной части в 1959 г. около 4,4, в речной — 13,4 г/м<sup>2</sup>. В начале 60-х годов наблюдалось обеднение бентоса как в видовом, так и в количественном отношении. Средняя биомасса в озерной части 1—3 г/м<sup>2</sup> [30].

На 11-м году существования водоема в 1966 г. наблюдалось значительное повышение биомассы бентоса на всех основных биотопах озерной части [31]. На затопленной суше было около 7, а

на бывшем русле (годом позже) даже 8–10 г/м<sup>2</sup>. Бентос более чем на 80% состоял из мотыля *Chironomus plumosus*. Это повышение оказалось непродолжительным. По данным 1971–1973 гг., бентос значительно обеднел по сравнению с 1966–1967 гг. В среднем по озерной части биомасса в 1971 г. составляла 3,5, в 1973 г. — 3,1 г/м<sup>2</sup>.

На 20-м году существования водоема в 1975 г. в его озерной части наблюдался второй пик повышения биомассы бентоса (9,4 г/м<sup>2</sup>), она возросла в 3 раза [27]. В 1977 г. биомасса понизилась до 6 г/м<sup>2</sup>, а в 1978 г. до 3,3 г/м<sup>2</sup>. По данным 1979 г., средняя биомасса бентоса в озерной части 5,3 г/м<sup>2</sup>. Как и при первом повышении, в бентосе преобладал мотыль.

Формирование донной фауны в Горьковском водохранилище можно подразделить на два этапа. Первый охватывает период с 1955 по 1959 гг., в течение которого завершилась «стадия предварительной сформированности бентоса». Вторым этапом начинается с 1960 г. и продолжается по настоящее время. Он характеризуется относительно постоянными низкими биомассами бентоса (табл. 3). На протяжении этого времени наблюдалось два кратковременных повышения обилия донной фауны, обусловленных резким повышением численности мотыля.

В Горьковском водохранилище прижилась вселенная сюда в 1962–1964 гг. байкальская гаммариды *Gmelinoides fasciatus*. Попытки вселения мизид успехом не увенчались.

По численности и биомассе доминирует небольшое число форм. Из личинок хирономид преобладают *Procladius*, *Chironomus plumosus* и *Cryptochironomus* gr. *defectus*. Основную долю биомассы дает вторая форма. Из олигохет наибольшую роль в биомассе (особенно в речной части) играет *Isochaetides newaensis*. Повсеместно распространены *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Potamothrix hammoniensis*. Моллюски пизидии составляют в бентосе небольшую долю. Только иногда в речной части обнаруживаются скопления крупной шаровки *Sphaeriatrum rivicola*. Обычны *Amesoda scaldiana*, *A. solida*. В озерной части наиболее обычны *Pisidium amnicum*, *Euglesa henslowana*, *Neopisidium moitesserieanum*.

*Куйбышевское водохранилище.* Донная фауна в основном сформировалась в первые годы существования водоема. Основные ее биоценозы складывались постепенно.

Наиболее разнообразен зообентос в мелководной зоне (с глубинами до 5 м), занимающей свыше 40% площади дна водоема, где доминируют олигохеты, хирономиды, высшие ракообразные и моллюски. Особенно многочисленны *Dreissena polymorpha*, *Potamothrix moldaviensis*, *Chironomus plumosus*, *Dikerogammarus haemobaphes*, *Pontogammarus obesus*. Довольно часто, но в небольшом количестве встречаются псаммофильные и лимнореофильные организмы, бывшие массовыми в р. Волге до ее зарегулирования (*Propappus volki*, *Isochaetides newaensis*, *Corophium curvispinum* и *Pontogammarus sarsi*) [3]. В озеровидной части

Таблица 3  
Средняя биомасса бентоса (г/м<sup>2</sup>)  
в озерной части Горьковского водохранилища в 1956—1979 гг.

Год	Затопленная суша	Бывшее русло Волги	Год	Затопленная суша	Бывшее русло Волги
1956	11,0	5,0	1966	7,2	7,8
1957	5,6	5,2	1967	3,3	10,3
1958	2,4	9,5	1968	0,7	2,2
1959	3,4	11,8	1969	3,1	6,9
1960	1,4	16,9	1971	2,7	5,4
1961	2,6	9,4	1973	1,7	6,8
1962	0,7	3,2	1975	5,1	16,0
1963	0,8	4,1	1977	4,5	8,2
1964	1,0	4,4	1978	1,6	5,2
1965	1,0	4,3	1979	2,6	6,1

мелководий водохранилища преобладают виды, свойственные озерам средней полосы европейской части СССР.

Наименее населено открытое мелководье. Чаше других здесь встречаются *Paramysis intermedia*, *Stenogammarus dzjubani*, *Uncinatis uncinata*, *Aulodrilus limnobius*, *Potamotheix hammoniensis*, *Ch. plumosus*, *Procladius*. Средняя биомасса гидробионтов колеблется от 0,03—0,3 г/м<sup>2</sup> (1968—1969 гг. соответственно) на глубинах 1—3 м до 2,7—3,5 г/м<sup>2</sup> (1968—1969 гг.) на глубине 5 м.

Мелководья, защищенные от волнобоя островами, несколько богаче фауной. По обилию животных выделяются псаммофильный и пелореофильный биоценозы, в который входят *Isochaetides newaensis*, *C. sovinskyi*, *Cryptochironomus gr. defectus*, *Polypedilum pubesculosum* и др. Среднесезонная биомасса составляет около 1 г/м<sup>2</sup> (1966—1969 гг.), а в годы массового развития *I. newaensis* достигает более 4 г/м<sup>2</sup>. Бентос мелководий приустьевых участков притоков богаче, чем в других типах мелководий. В основном он состоит из многочисленных хирономид и олигохет, биомасса изменяется от 0,4 до 9,4 г/м<sup>2</sup>.

Сильно ослаблено волновое воздействие на грунты и ветровое разрушение берегов в заливах, глубоко вклинивающихся в сушу (Черемшанский, Усинский, Свияжский и др.). Здесь весьма благоприятны условия для произрастания водной и прибрежноводной растительности. Зарослевое мелководье хорошо выражено в Черемшанском заливе. Среди водных макрофитов в значительном количестве обитают фитофильные олигохеты и хирономиды. Среднесезонная биомасса в зарослях заливов на глубине 1—3 м на 80—90% определяется хирономидами — 6,3—9,5 г/м<sup>2</sup>.

Донная фауна всех типов мелководий с глубинами более 5 м заметно отличается от бентоса менее глубоких участков прежде всего господством пелофильного биоценоза и более высокими количественными показателями. Донное население представлено хирономидно-тубифицидным комплексом. Особенно высокого



уровня зообентос достиг в Черемшанском заливе на бывшем русле р. Черемшан, где его средняя биомасса за вегетацию 1975—1977 гг. составила 21—27 г/м<sup>2</sup>, а доля в нем мотыля — 50—70%.

За последние годы донная фауна мелководной зоны Куйбышевского водохранилища значительно обогатилась за счет интродукции в Волжском бассейне беспозвоночных понтокаспийского происхождения, главным образом высших ракообразных и моллюсков [4, 25].

В медиали Куйбышевского водохранилища различаются два основных биотопа: бывшее русло Волги и Камы, а также углубления в местах бывших пойменных водоемов и затопленная суша. За последние годы в водохранилище заметно значительное накопление иловых отложений как на бывшем русле реки, так и на залитой суше. В связи с этим во всех биотопах возросли количественные показатели зообентоса, что позволило выделить в развитии водохранилища стадию нивелирования биотопов [21].

Как и ранее, донная фауна медиали качественно однообразна на всем протяжении водохранилища: основу составляют тубифициды (70—90% суммарной биомассы бентоса) и хирономиды (преимущественно *Procladius*). Из других групп бентоса спорадически встречаются гаммариды, пиявки и др. С распадом мелких растительных субстратов доля дрейссены в водохранилище значительно уменьшилась.

По продольной оси водоема зообентос распределяется неравномерно. В верхней части Волжского плёса господствует сравнительно богатый псаммореофильный биоценоз (*Proparappus volki*, *Pontogammarus sarsi*, *Cryptochironomus*). В нижних плёсах он сменяется пелореофильным с заметным увеличением количества пелофильных тубифицид (*L. hoffmeisteri*, *P. moldaviensis*, *P. hamptoni*) и мотыля.

В настоящее время количественные показатели донных беспозвоночных достигли высоких величин. Это увеличение шло постепенно с 3,5—6,0 г/м<sup>2</sup> в 1967—1972 гг. (после вспышки численности мотыля) до 25—35 г/м<sup>2</sup>. Средняя биомасса бентоса во всех основных районах (Волжский плёс, бывшее русло, затопленная суша), достигнув в 1975—1976 гг. максимальных величин, стабилизировалась. Количественные показатели значительно возросли и на затопленной суше: с десятых долей грамма в 1962—1965 гг. до 6,5—10,0 г/м<sup>2</sup> в настоящее время. Средняя биомасса зообентоса для всего водохранилища в разные годы составляет 5—6 г (без моллюсков). Очевидно, трофность бентали с накоплением в грунтах органики неуклонно растет. Существует положительная корреляция между суммарной биомассой бентоса и относительным количеством лабильного углерода в поверхностном слое грунта.

В водохранилище четко прослеживается сверху вниз и в направлении от бывшего русла к затопленной суше отрицательный градиент в распределении реофильной фауны. Речной псаммореофильный биоценоз сменяется в Волжском плёсе пелореофильным и далее в водохранилище — пелофильным с оттенком пелореофи-



лин на бывшем русле [1]. Биомасса бентоса в нижних плёсах по сравнению с верховьями уменьшается в 2—3 раза. В многолетнем ряду наблюдается постепенная аккумуляция органического вещества в донных отложениях водохранилища, вызывающая последовательное увеличение количественных показателей зообентоса. При этом усиливается ее отрицательный градиент по оси водоема [1].

*Саратовское водохранилище.* Из-за значительной проточности водоем в русловой части заселен слабо. Из грунтов преобладают пески. Илы и илистые пески дают 25%. Постоянный уровень воды в пределах НПУ (суточные колебания в средней части водоема около 0,2 м), мелководья, защищенные от волнобоя островами, изрезанность береговой линии и хорошо сохранившийся при зали-тии фитофонд благоприятствуют развитию водных макрофитов.

Зообентос сравнительно разнообразен: широко представлены хирономиды, малощетинковые черви, высшие ракообразные, моллюски, весьма заметны пиявки, ручейники, поденки и другие двукрылые.

Наибольшим богатством качественного состава характеризуется бентос прибрежной зоны до глубин 3—4 м, где обитает около 200 видов беспозвоночных. Особенно обильно населено зарослевое мелководье на залитой пойме в устьях рек Чапаевки, Малой Рязани, Малого Иргиза.

В мелководье, лишенном зарослей водных макрофитов, бентос значительно беднее. На мелком заиленном песке обитают хирономиды *Polypedium pubesculosum*, *Procladius*, *Pontogammarus obesus*, дрейссена, создающие довольно низкую биомассу — до 2 г/м<sup>2</sup> (без крупных моллюсков). Каменистый грунт предпочитают высшие ракообразные *Dikergammarus haemobaphes*, *P. obesus*, *P. sarsi*, моллюски дрейссена и вивипарус, образующие среднюю биомассу около 2 г/м<sup>2</sup> (без моллюсков). Глина заселена преимущественно ракообразными (*D. haemobaphes*, *P. obesus*) и дрейссеной. Их средняя биомасса не превышает 4 г/м<sup>2</sup>.

В илистых отложениях обитают многочисленные олигохеты (главным образом *Isochaetides newaensis*, *Limnodrilus hoffmeisteri*) хирономиды (*Chironomus plumosus*, *Procladius*), сфиниды и др. Их средняя биомасса достигает 5 г/м<sup>2</sup>.

В открытых участках водохранилища зообентос имеет свои особенности. При его формировании отсутствовала вспышка мотыля в связи с высокой проточностью. С момента заполнения ложа по настоящее время на затопленной суше и в бывшем русле господствуют одни и те же группы: олигохеты, гаммариды, двусторчатые моллюски и хирономиды, причем доля первых и последних постоянно увеличивается, особенно на залитой пойме. Массовыми видами в обоих биотопах остаются по-прежнему *L. hoffmeisteri*, *P. hammoniensis*, *T. tubifex*, *Procladius*, *P. pubesculosum*. Роль *Ch. plumosus* невелика, их личинки, как и ранее [22], приурочены к залитой пойме. Дрейссена представлена богаче, чем в Куйбышевском водохранилище.

Установлено увеличение биомассы зообентоса с продвижением вниз по течению: в верхнем участке — 0,5, в среднем — 2,2 и в нижнем — 4,1 г/м<sup>2</sup> [33]. Средняя биомасса бентоса в водохранилищах (с учетом площадей отдельных участков) — 2,8 г/м<sup>2</sup> (без моллюсков). С продвижением вниз по течению в зообентосе увеличивается количество олигохет (особенно *L. newaensis*) и хирономид. Такое распределение донной фауны по водохранилищу обусловлено снижением скорости течения, способствующим аккумуляции в донных отложениях органических веществ.

В дальнейшем в водохранилище увеличится степень заиления грунтов в связи с бурным развитием в водоеме водных макрофитов и уменьшением проточности при создании Чебоксарского и Нижнекамского гидроузлов. Предположительно количественные показатели зообентоса в русле бывшей Волги и на затопленной суше будут увеличиваться за счет пелофильных и фитофильных организмов, главным образом из хирономид и олигохет, а доля мотыля и тубифицид может значительно увеличиться.

*Волгоградское водохранилище.* В настоящее время макрозообентос водохранилища в основном представлен олигохетами, полихетами, ракообразными, личинками хирономид, высшими ракообразными и моллюсками (табл. 4). В фауне олигохет в первые годы после образования водохранилища насчитывалось 23 вида, к 1975 г. их число снизилось до 15, доминируют *L. newaensis*, *L. hoffmeisteri*. Полихеты представлены одним видом — *Nuaplia invalida*, акклиматизантом, ставшим доминирующей формой. Обнаружено 15 видов высших ракообразных, к наиболее массовым из них относятся акклиматизанты *Parameysis intermedia*, *P. ullskyi*, *Volgocuma telmatophira*, а также аборигены *Dikerogammarus haemobaphes*, *Pontogammarus obesus*, *Corophium curvispinum*. Среди хирономид, число видов которых достигает 43, доминируют *Chironomus plumosus*, *Procladius ferrugineus*. Моллюски представлены 13 формами, из которых *D. polymorpha* составляет основу бентоса. Олигохеты и высшие ракообразные достигают наибольшего развития в среднем участке, биомасса хирономид и полихет возрастает с продвижением к плотине. По поперечному профилю наблюдается большая концентрация хирономид и моллюсков в заостровном мелководье, олигохеты больше заселяют глубоководные участки, высшие ракообразные — открытое побережье. Биомасса полихет и олигохет высока весной, в течение лета она ниже среднегодовой (завершение цикла развития и отмирания, выедание рыбами), осенью резко возрастает. Сезонная динамика биомассы хирономид сильно варьирует в зависимости от срока вылета комаров.

В формировании зообентоса прослеживаются три этапа. На первом (1959–1964 гг.) из бентоса исчезли реофилы и резко увеличилась биомасса полифилов, особенно дрейссены (в десятки раз); средняя биомасса бентоса равнялась 86 г/м<sup>2</sup>, без моллюсков — 2,1 г. На втором этапе (1965–1970 гг.) примерно вдвое увеличивается биомасса высших ракообразных, заметно возросло

Таблица 4

Среднегодовая биомасса и продукция (г/м<sup>2</sup>) основных групп бентоса в 1968—1975 гг.

Группа организмов	Биомасса	Продукция	Группа организмов	Биомасса	Продукция
	0,5	—	Кумовые	0,1	0,8
Олигохеты	1,7	10,2	Моллюски	78	203
Полихеты *	0,9	5,4	Всего	83,7	—
Гаммариды	1,4	6,4	Без моллюсков	5,7	—
Корофииды	0,8	6,4			
Мизиды	0,2	1,6			

\* В 1971—1975 гг.

количество олигохет и хирономид, средняя биомасса бентоса в 1965—1967 гг. повышается до 3,7 г/м<sup>2</sup> (без моллюсков) и остается на этом уровне до 1971 г. На третьем этапе (1971—1975 гг.) бурно развиваются вселенцы (полихеты и мизиды), увеличивается количество корофиид и средняя биомасса бентоса возрастает до 6,6 г/м<sup>2</sup> (без моллюсков). Годовая продукция зообентоса обычно в 4—6 раз превышала среднюю биомассу. Для отдельных групп соотношение среднегодовой биомассы и продукции за 1968—1975 гг. выразилось величинами, приведенными в табл. 4.

Значительное влияние на донную фауну водохранилища оказывает загрязнение производственными и хозяйственно-бытовыми стоками [13]. Например, ниже Саратова число видов хирономид снижается с 33 до 15, личинок других насекомых — с 8 до 1, моллюсков — с 5 до 3, олигохет с 14 до 11, высших ракообразных — с 8 до 7. Суммарная численность обнаруженных донных животных уменьшается с 670 до 300 экз./м<sup>2</sup>, биомасса — с 21 до 17 г/м<sup>2</sup>. Особенно сильно страдает фауна у правого берега, на котором расположен город. Коэффициент демографического сходства для левобережья, открытой части правобережья водохранилища равнялся соответственно 75, 74 и 63%. Как и следовало ожидать, видовая структура фауны изменилась особенно резко у правого берега, где загрязнение выражено в наибольшей степени. Массовые виды, встреченные выше города, остаются доминирующими и ниже его. Они же преобладали в фауне Волги и до зарегулирования стока реки. Очевидно, они относятся к наиболее эврибионтным формам и потому сохранили способность образовывать многочисленные популяции как после изменения гидрологического режима реки, так и в условиях сильного загрязнения воды. Вместе с тем степень толерантности к загрязнению у отдельных доминантных видов неодинакова, вследствие чего их количественное соотношение в фауне Волги ниже Саратова оказывается иным, чем на участке реки выше города.

Донное население водохранилища оказывает огромное влия-

ние на формирование качества воды. Объем воды, отцеживаемой двустворчатыми моллюсками (в основном дрейссеной), достигает за вегетационный период с апреля по ноябрь 840 млрд. м<sup>3</sup>, т. е. примерно в 24 раза превышает полный объем водохранилища [10]. Количество вещества, отцеживаемого моллюсками, достигает за вегетационный период 36 млн. т, из которых 29 перемещается на грунт, 7 — используются в пищу (соответственно около 8,3 и 2 кг/м<sup>2</sup>).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андросова Е. Я., Иватин А. В., Ляхов С. М., Тимохина А. Ф., Третьякова С. И. Об отрицательном градиенте трофии по продольной оси Куйбышевского водохранилища.— В кн.: Материалы IV съезда ВГБО. Киев, 1981.
2. Баканов А. И., Митропольский В. И. Количественная характеристика бентоса Рыбинского водохранилища за 1941—1978 гг.— В кн.: Экологические исследования водоемов Волго-Балтийской и Северодвинской водных систем. Л.: Наука, 1981, с. 63—69.
3. Бородич Н. Д. Донная фауна осушной зоны Куйбышевского водохранилища.— Тр. ИБВВ АН СССР, 1974, вып. 28 (31), с. 125—142.
4. Бородич Н. Д. Распространение и некоторые черты биологии мизид в водохранилищах Средней и Нижней Волги.— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1979, № 44, ст. 42—46.
5. Бородич Н. Д., Гавлена Ф. К. Распределение мизид в Куйбышевском водохранилище.— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1970, вып. 7, с. 52—55.
6. Бородич Н. Д. Донная фауна прибрежной зоны Саратовского водохранилища.— Тр. ИБВВ АН СССР, 1978, № 39/42, с. 112—123.
7. Буторин Н. В. Гидрологический режим.— В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 350 с.
8. Дзюбан Н. А., Слободчиков Н. Б. *Hypania invalida* (Grube, 1860) в волжских водохранилищах и гидробиологический торнинг.— Гидробиол. журн., 1980, т. 16, № 5, с. 56—59.
9. Иоффе Ц. И. Донная фауна водохранилищ волжского каскада и ее обогащение.— В кн.: Волга-1. Куйбышев. Кн. изд-во, 1971, с. 128—134.
10. Кондратьев Г. П. Биофильтрация.— В кн.: Волгоградское водохранилище. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1977, с. 179—187.
11. Константинов А. С. О биологии комаров сем. Chironomidae Науч. докл. высш. школы, 1961, № 4, с. 20—23.
12. Константинов А. С. Темп формирования донной фауны на вновь заливаемых площадях и ее судьба после периодических спадов воды.— В кн.: Влияние хозяйственной деятельности человека на животный мир Саратовского Поволжья. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1969, с. 14—21.
13. Константинов А. С. Общая характеристика экосистемы Волгоградского водохранилища.— В кн.: Волгоградское водохранилище. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1977, с. 188—207.
14. Курдин В. П. Классификация и распределение грунтов в Рыбинском водохранилище.— Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР, 1959, вып. 1 (4), с. 25—37.
15. Курдин В. П., Зиминова Н. А. Об изменениях в грунтовом комплексе Рыбинского водохранилища.— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1968, № 2, с. 38—41.
16. Ласточкин Д. А. Рыбинское водохранилище.— Природа, 1947, № 5, с. 40—44.
17. Львова А. А., Извекова Э. И., Соколова Н. Ю. Роль донных организмов в трансформации органического вещества и в процессах самоочищения водоемов.— В кн.: Бентос Учинского водохранилища. М.: Наука, 1980, с. 171—177.
18. Ляхов С. М. Основные черты распределения бентоса в Куйбышевском водохранилище.— В кн.: Материалы первого науч.-техн. совещ. по изуч. Куйбыш. водохр. Куйбышев, 1968, т. 3.
19. Ляхов С. М. Бентос Куйбышевского водохранилища за 10 лет его существования (1956—1965).— В кн.: Тр. конф. «Волга-1». Куйбышев, 1971, с. 143—145.

20. Ляхов С. М. О прибрежном бентосе в Куйбышевском водохранилище — Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1972, т. 14, с. 10—14.
21. Ляхов С. М. Многолетние изменения биомассы бентоса в Куйбышевском водохранилище. — Гидробиол. журн., 1974, т. 10, № 4, Киев, с. 21—23.
22. Ляхов С. М., Любин В. А. Первые этапы становления бентоса Саратовского водохранилища. — В кн.: Комплексные исследования водохранилищ. М., 1978, вып. 4, с. 201—207.
23. Ляхов С. М., Мордухай-Болтовской Ф. Д. Состояние бентоса волжских водохранилищ и определяющие его факторы. — В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976, с. 112—119.
24. Максимова Г. Д. О влиянии повышенной температуры воды на развитие некоторых личинок *Chironomus*. — В кн.: Влияние тепловых электростанций на гидрологию и биологию водоемов. Борок, 1974, с. 98—101.
25. Миловидов В. П. Результаты акклиматизации монодакны в Куйбышевском водохранилище. — Рыб. хоз-во, 1980, № 6, с. 46—47.
26. Митропольский В. И. Донная фауна Рыбинского водохранилища (по материалам 1970 г.). — Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1973, № 17, с. 29—33.
27. Митропольский В. И. Состояние бентоса Горьковского водохранилища в 1975 г. — Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1979, № 40, с. 24—27.
28. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Распределение бентоса в Рыбинском водохранилище. — Тр. биол. ст. Борок, 1955, вып. 2, с. 393—405.
29. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Процесс формирования донной фауны в Горьковском и Куйбышевском водохранилищах. — Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР, 1961, вып. 4 (7), с. 49—177.
30. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Состояние бентоса Горьковского водохранилища в 1960—1962 гг. — В кн.: Биологические аспекты изучения водохранилищ. М.; Л.: Наука, 1963, с. 60—77.
31. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Состояние бентоса озерной части Горьковского водохранилища в 1963—1969 гг. — Информ. бюл. ИБВВ, 1972, № 16, с. 16—19.
32. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Зообентос и другие беспозвоночные, связанные с субстратом. — В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978, с. 182—203.
33. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Бентос. — В кн.: Ивановское водохранилище. Л.: Наука, 1978, с. 215—218.
34. Нечваленко С. П. Донная фауна. — В кн.: Рыбохозяйственное освоение и биопродукционные возможности Волгоградского водохранилища. Саратов: Саратов. ун-т, 1980, с. 93—105.
35. Овчинников И. Ф. Краткий очерк Рыбинского водохранилища. — Тр. биол. ст. Борок, 1950, вып. 1, с. 105—138.
36. Оливари Г. А. Закономерности изменения бентоса Днепра в связи с регулированием его стока. — В кн.: Гидробиологический режим Днепра в условиях зарегулированного стока. Киев: Наук. думка, 1967, с. 291—312.
37. Оливари Г. А. Макрозообентос Киевского водохранилища. — В кн.: Киевское водохранилище. Киев, 1972, с. 364—387.
38. Пастухова Е. В. Экология массовых видов хирономид Рузского водохранилища. — В кн.: Бентос Учинского водохранилища. М.: Наука, 1980, с. 210—233.
39. Поддубная Т. Л. Донная фауна Ивановского водохранилища в районе сброса тепловых вод Конаковской ГРЭС. — Тр. ИБВВ АН СССР, вып. 8(11), с. 96—103.
40. Поддубная Т. Л. Состояние донной фауны Ивановского водохранилища на 32-й год ее существования: Флора, Фауна и микроорганизмы Волги. — Тр. ИБВВ АН СССР, т. 28(31), с. 143—154.
41. Соколова Н. Ю. Донная фауна и особенности ее формирования в малых водохранилищах бассейна Верхней Волги. Сообщение I. — Бюл. МОИП, Отд. биол., 1970, т. 75, вып. 4, с. 54—67; Сообщ. II, там же, 1971, т. 76, вып. 3, с. 46—58.
42. Соколова Н. Ю. Бентос. — В кн.: Можайское водохранилище. М.: МГУ, 1979.
43. Соколова Н. Ю., Извекова Э. И., Львова А. А., Сахарова М. И. Особенности формирования бентоса малых водохранилищ на примере Учинского. — В кн.: Бентос Учинского водохранилища. М.: Наука, 1980, с. 161—171.

## УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ВОЛЖСКОЙ ВХС ПРИ ПЕРЕБРОСКЕ СТОКА

Е. В. Цветков, Д. В. Коренистов, Т. Н. Иванова

Управление гидрологическим режимом Волги и Камы осуществляется каскадом водохранилищ. Основными режимными характеристиками каждого водохранилища служат уровни и расходы воды в разных его створах, особенно во входных и выходных.

Уровенный режим речного водохранилища сложен; он складывается под влиянием многих независимых или слабосвязанных факторов, таких, как регулирование стока, пропуск транзитных расходов воды, ветровые денивелляции, ледовые явления и др.

Колебания уровня воды неодинаковы по длине водохранилища. В верхней (хвостовой) зоне размах колебаний уровня воды примерно тот же, как на свободной реке; уровни здесь колеблются вследствие переменности в течение года расходов воды, поступающих в данный бьеф непосредственно по реке или из лежащего выше водохранилища.

В последнем случае на уровенном режиме могут сказываться, кроме сезонных колебаний притока, суточное и недельное регулирования мощности на лежащей выше гидроэлектростанции. Протяженность участка, на котором прослеживаются, постепенно затухая, эти колебания, может достигать нескольких десятков и даже сотен километров (последнее относится к недельным колебаниям).

На ближайших к плотине участках водохранилища, где больше сказывается подпор, уклоны водной поверхности гораздо меньше (иногда близки к 0 даже при больших расходах воды), а живое сечение подпертого потока значительно больше, чем при тех же расходах воды в свободной реке. Здесь колебания уровней в основном определяются режимом регулирования стока, работой или пополнением запаса воды.

В данном случае речь пойдет об анализе режима уровней и расходов воды непосредственно для створов верхних бьефов замыкающих плотин. При этом анализируется лишь один из факторов, влияющих на гидрологический режим, а именно регулирование стока.

На Волге и Каме в настоящее время действует 11 крупных водохранилищ (не считая Верхневолжский бейшлот). Верхние водохранилища Волжского каскада — Ивановское и Угличское, водные ресурсы которых относительно невелики, имеют и небольшой рабочий объем (суммарно примерно  $1,6 \text{ км}^3$ ).

Основная регулирующая емкость на Верхней Волге сосредоточена в Рыбинском водохранилище. Основной регулятор стока в каскаде — Куйбышевское водохранилище. В настоящее время после постройки Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ, ко-



которые берут на себя часть регулирующих функций, задачи Куйбышевского водохранилища несколько облегчаются.

Основной сток бассейна Волги (240 км<sup>3</sup>) формируется выше Куйбышевского гидроузла.

Приток с водосбора между Куйбышевским и Волгоградским гидроузлами незначителен (примерно 10 км<sup>3</sup>).

Ниже Волгограда приточность отсутствует, и происходит уменьшение стока за счет потерь в Волго-Ахтубинской пойме и дельте. Внутригодовой ход стока примерно одинаков на всех реках Волжского бассейна, однако колебания годовых объемов стока в различных частях бассейна несинхронны.

Водохранилища Волжско-Камского каскада ведут сезонное регулирование стока, т. е. весной наполняются до проектных подпорных уровней, а за меженный период ежегодно сбрасываются до уровней, близких к горизонту мертвого объема.

Отдельные водохранилища, как например, Горьковское, Саратовское, в течение весенне-летнего периода поддерживаются на отметках, близких к НПУ, сработка этих водохранилищ возможна в отдельные периоды при исчерпании запасов воды в лежащих выше водохранилищах с восстановлением сброшенных запасов воды сразу же по появлении избытков воды сверх необходимых для поддержания гарантируемых режимов водо- и энергоотдачи.

Регулирующее влияние гидроузлов Волжско-Камского каскада на сток характеризуется следующими цифрами. В естественных условиях за три весенних месяца (апрель—июнь) по Волге у Куйбышева проходило в среднем 62% годового стока, за девять меженных месяцев — остальные 38%. Работа верховых водохранилищ каскада, общая полезная емкость которых достигает 30 км<sup>3</sup>, увеличивает долю межени в годовом притоке к Куйбышевскому гидроузлу до 45%, т. е. примерно на одну пятую. Куйбышевское водохранилище еще резче изменяет распределение стока: за межень в нижний бьеф Волжской ГЭС им. Ленина поступает в среднем 56% годового объема воды.

В маловодные годы эта разница возрастает. Так, в маловодных 1975, 1976, 1977 гг. с обеспеченностью притока весеннего половодья соответственно 98,80 и 80% доля стока в низовья Волги весной составила соответственно 33,34 и 38% общего годового стока реки. При этом водохранилища каскада были недонаполнены в сумме на 35 км<sup>3</sup>.

На гидрологический режим волжских водохранилищ в перспективе существенное влияние окажут следующие факторы.

1. Увеличение безвозвратного водопотребления в бассейне, которое, по данным Минводхоза СССР, приблизительно в 2 раза превышает современное.

2. Переброска в Волгу стока северных рек через Рыбинское и Камское водохранилища, как компенсация увеличения водопотребления.

По-видимому, оба эти мероприятия должны быть тесно связаны, так как увеличение безвозвратного водопотребления в бассейне без



переброски повлечет значительные потери для всего водохозяйственного комплекса, в первую очередь для рыбного и сельского хозяйства Нижней Волги, энергетики, водного транспорта.

Для предварительной оценки влияния переброски в объеме 20—30 км<sup>3</sup> на гидрологический режим Волжских водохранилищ были выполнены исследования по четырем годам периода эксплуатации Волжско-Камского каскада водохранилищ: маловодному (1960/61 г.), двум средним (1961/62 и 1964/65 г.) и многоводному (1966/67 г.).

Расчеты проводились для 9 гидроузлов (без Иваньковского и Угличского) по месячным (в период межени) и декадным (в половодье) интервалам времени.

При этом водопотребление на территории бассейна (условно безвозвратное задавалось постоянным для всех исследуемых лет и равным 40 км<sup>3</sup> (данным Минводхоза СССР на уровень 2000 г.). Кроме того, учитывались отъемы воды из Волги в Урал (3 км<sup>3</sup>/год) и в Дон (6 км<sup>3</sup>/год) из нижнего бьефа Волгоградского гидроузла.

В расчетах учитывались ограничения уровня и расходного режимов, связанные с необходимостью удовлетворения требований таких водопотребителей, как рыбное и сельское хозяйство низовьев Волги, водный транспорт, энергетика и др.

Сведения об объемах и режиме переброски северного стока характеризуются табл. 1 и 2.

В совместной работе ВНИИЭ — ВЦГТУ с ИВП АН СССР проводились количественные исследования режимов работ Волжско-Камского каскада ГЭС в условиях переброски стока северных рек. Для этих целей использовалась математическая модель, реализованная на ЭВМ, о которой ниже будет идти речь. Учитывались гарантированные требования всех участков водохозяйственного комплекса и после выполнения этих требований определялись режимы водохранилищ, обеспечивающие максимальную энергоотдачу ГЭС.

Количественные исследования выполнялись на примерах лет разной водности. Условия динамического равновесия воды в водохранилищах учитывались приближенно введением времени добегания волны между створами гидроузлов.

Для всех исследуемых лет получены данные об уровнях и расходах водохранилищ как в условиях без переброски стока, так и с переброской соответствующих этим годам объемов воды при прочих равных условиях.

В качестве иллюстрации на рис. 1—9 показаны режимы работы трех наиболее характерных водохранилищ каскада: для Верхней Волги (Рыбинское) (рис. 1—3), Камы (Камское) (рис. 4—6) и Средней и Нижней Волги (Куйбышевское) (рис. 7—9) в маловодный, средний и многоводный годы.

Результаты этих исследований послужили для предварительного суждения о влиянии переброски в объеме 20—30 км<sup>3</sup> на уровень режим водохранилищ и режим расходов воды в нижних бьефах гидроузлов; оценено влияние переброски на продолжительность стояния высоких уровней воды в периоды половодья и межени, на

**Таблица 1**  
**Годовые объемы перебрасываемого стока**

Трассы переброски	Средний много- летний сток, км³	1960/61	1961/62	1964/65	1966/67
Переброска по западным трассам	13,8	8,8	15,8	12,4	15,4
Переброска Печоры	13,6	11,4	10,7	18,8	17,1
Суммарный объем переброски	27,4	20,2	26,5	31,2	32,5

**Таблица 2**  
**Внутригодовой режим переброски за исследуемые годы**

Годы	Направление переброски	Расходы воды, м³/с								
		IV			V			VI		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1960/61	Западное	273	555	753	675	285	555	775	439	392
	Восточное	203	203	203	0	0	0	303	303	303
1961/62	Западное	222	410	491	775	875	1175	1175	1175	944
	Восточное	110	110	110	6	6	6	248	248	248
1964/65	Западное	298	509	717	1003	566	413	1130	1060	732
	Восточное	283	283	283	0	0	0	293	293	293
1966/67	Западное	610	610	610	991	1175	1175	1175	1006	824
	Восточное	181	181	181	2	2	2	411	411	411

Годы	Направление переброски	Расходы воды, м³/с								
		VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
1960/61	Западное	285	285	285	283	228	110	84	124	125
	Восточное	876	616	855	632	164	182	163	169	161
1961/62	Западное	556	678	772	431	461	200	170	199	187
	Восточное	491	529	509	414	577	432	235	285	253
1964/65	Западное	385	385	385	516	399	176	122	125	133
	Восточное	880	642	872	660	717	803	734	662	591
1966/67	Западное	474	420	387	770	591	205	191	152	153
	Восточное	860	683	899	930	753	695	417	314	305

надежность удовлетворения потребителей в условиях дефицита водных ресурсов и т. д.

Следует подчеркнуть, что влияние переброски стока неодинаково для различных водохранилищ каскада. Наиболее четко это влияние выражено на Рыбинском и Камском водохранилищах. Здесь

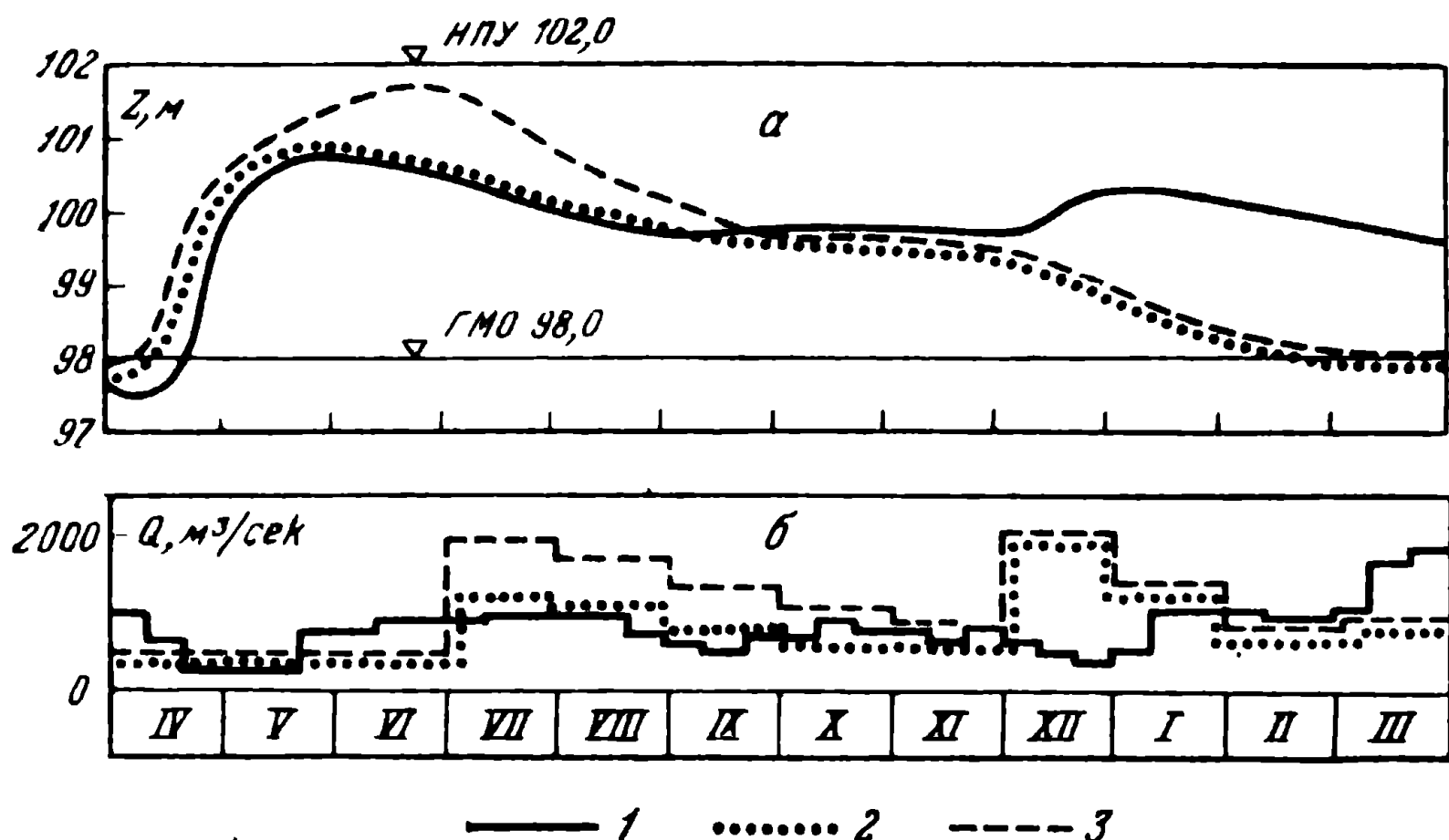


Рис. 1. Рыбинский гидроузел. Маловодный год (1960/61)

Условные обозначения для рис. 1—9: а — уровни водохранилища; б — расходы воды в нижнем бьефе; 1 — фактический режим работы гидроузла; 2 — режим работы гидроузла без переброски стока (уровень 2000 г), 3 — режим работы гидроузла в условиях переброски

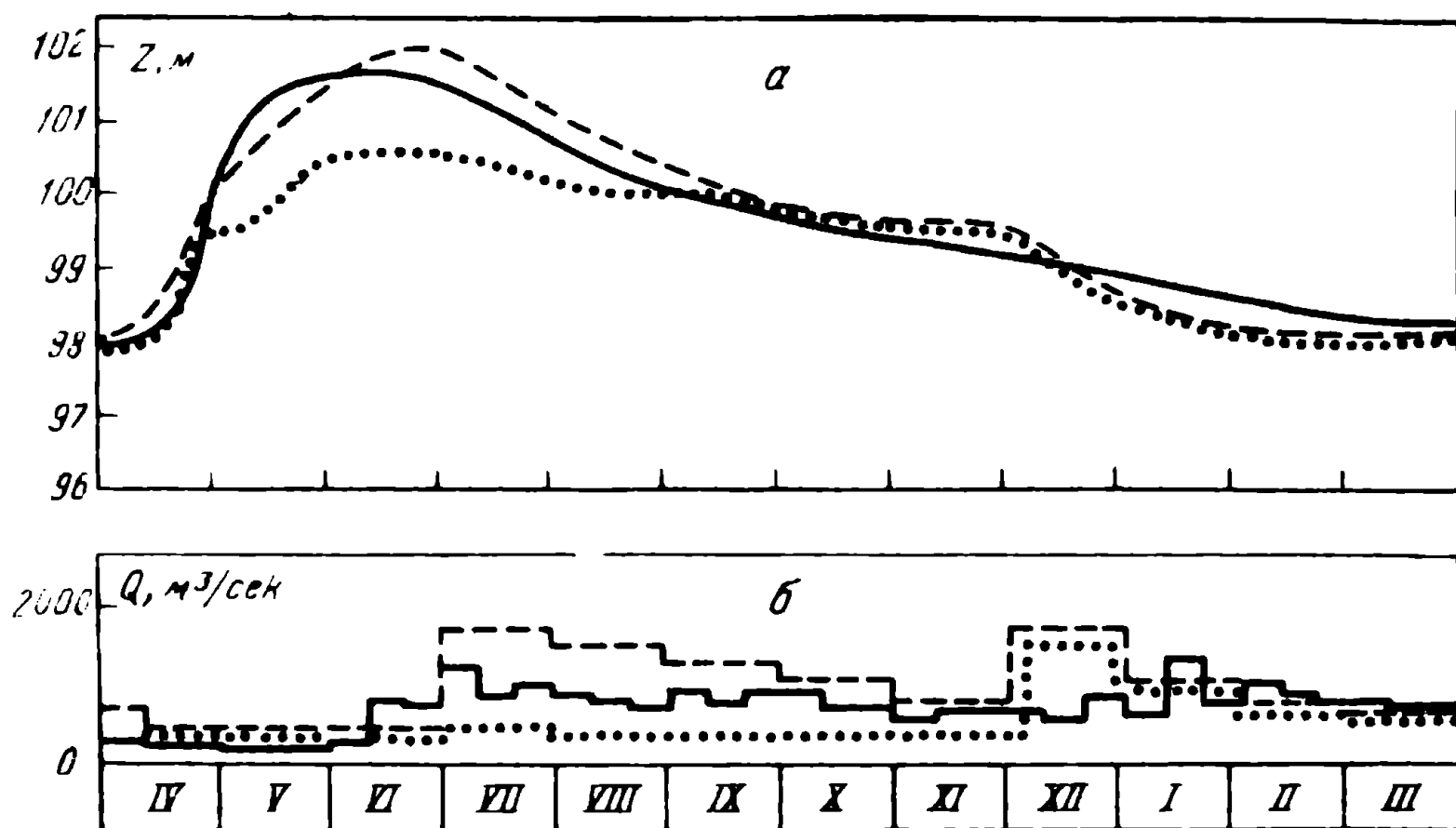


Рис. 2. Рыбинский гидроузел. Средний год (1964/65)

дополнительный северный сток заметно увеличивает водные ресурсы (на 20—30%), поэтому дотация воды с северного склона значительно улучшает гидрологический режим водохранилищ. Продолжительность стояния максимальных и нормальных уровней значительно увеличивается. Так, в условиях маловодных лет продолжительность стояния максимальных уровней увеличивается на Горьковском водохранилище на 40 суток, т. е. в 2 раза, на Чебоксарском — на 60 суток, на Камском — на 20 суток и т. д.

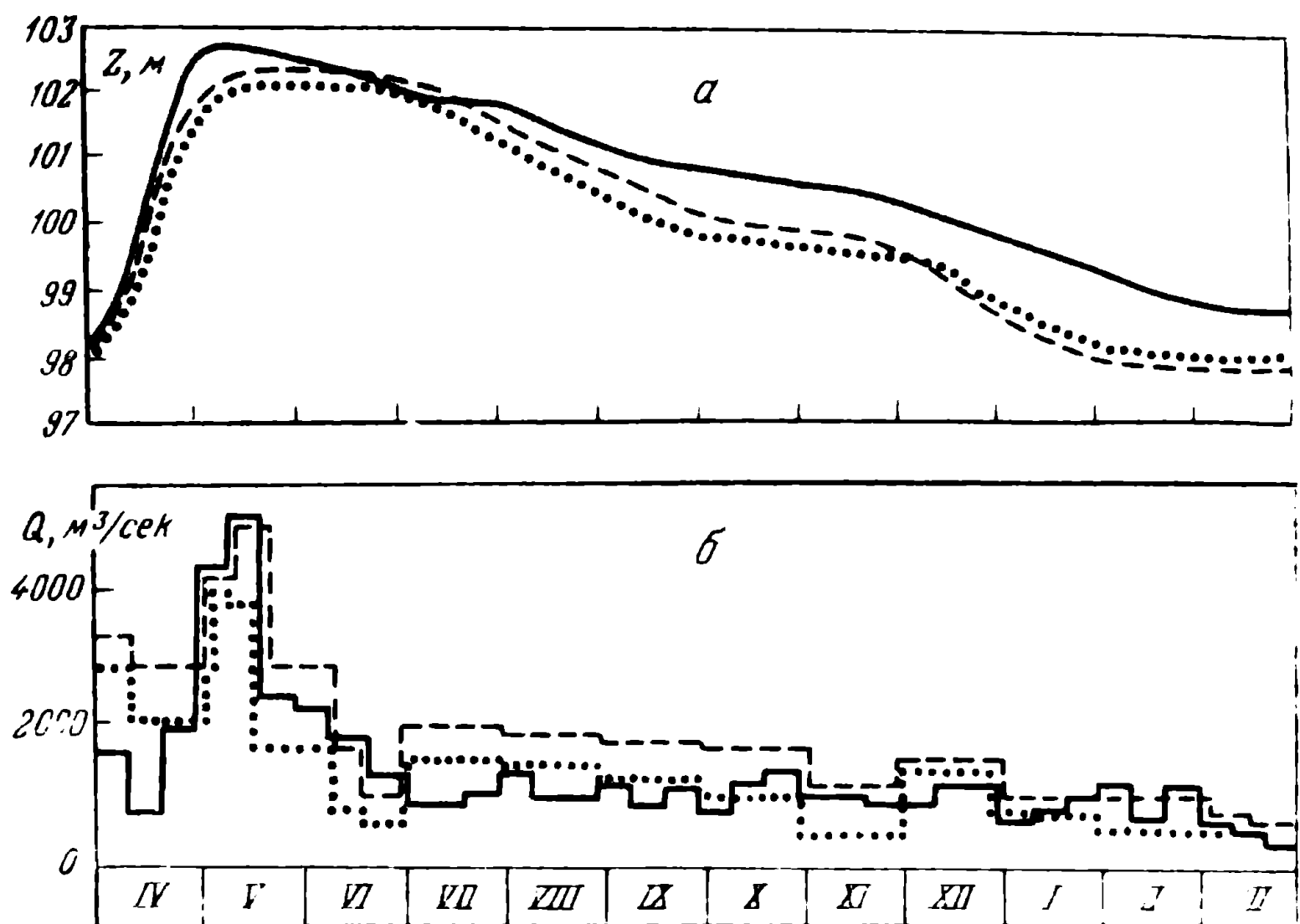


Рис. 3. Рыбинский гидроузел Многоводный год (1966/67)

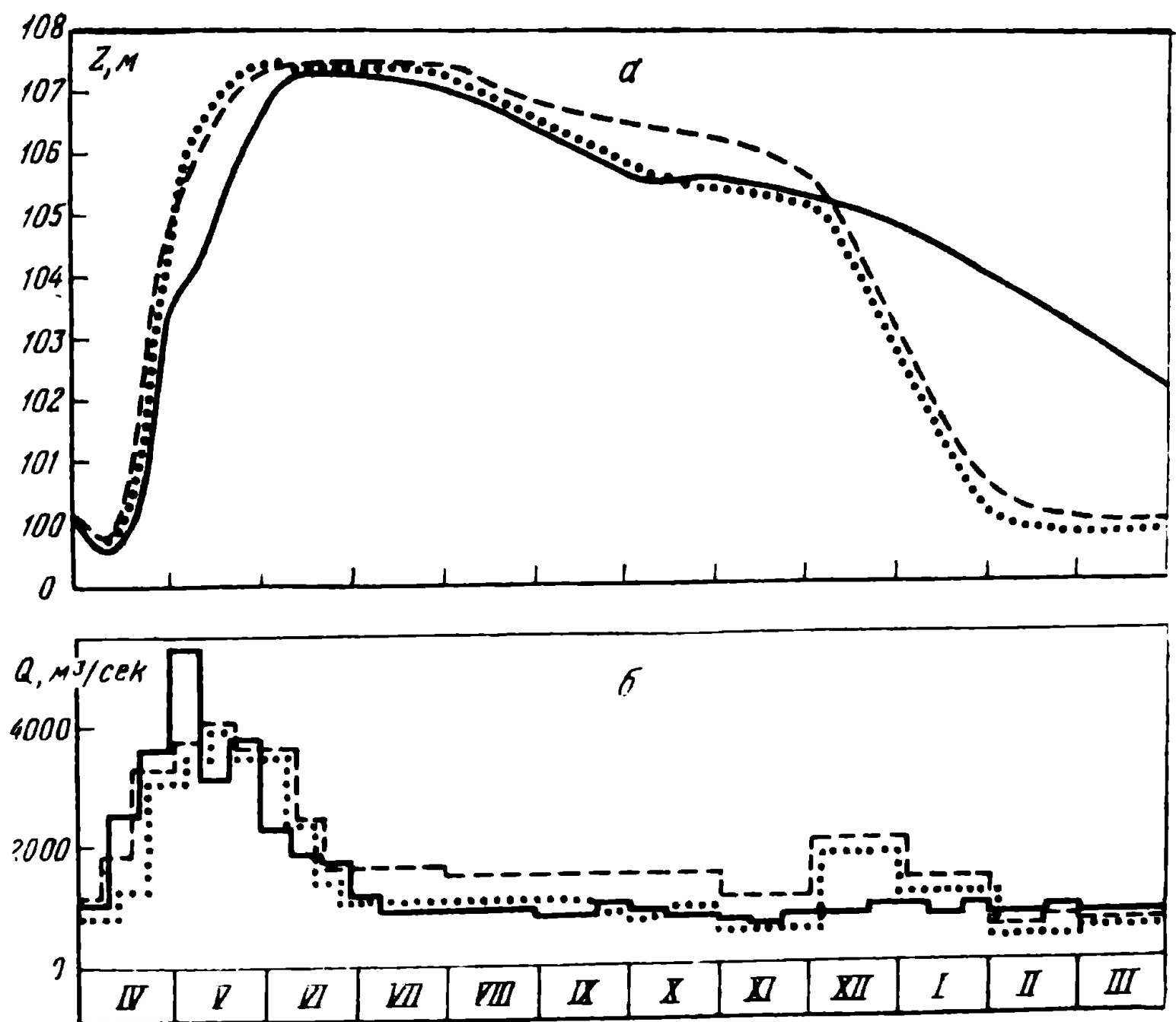


Рис. 4. Камский гидроузел Маловодный год (1960/61)

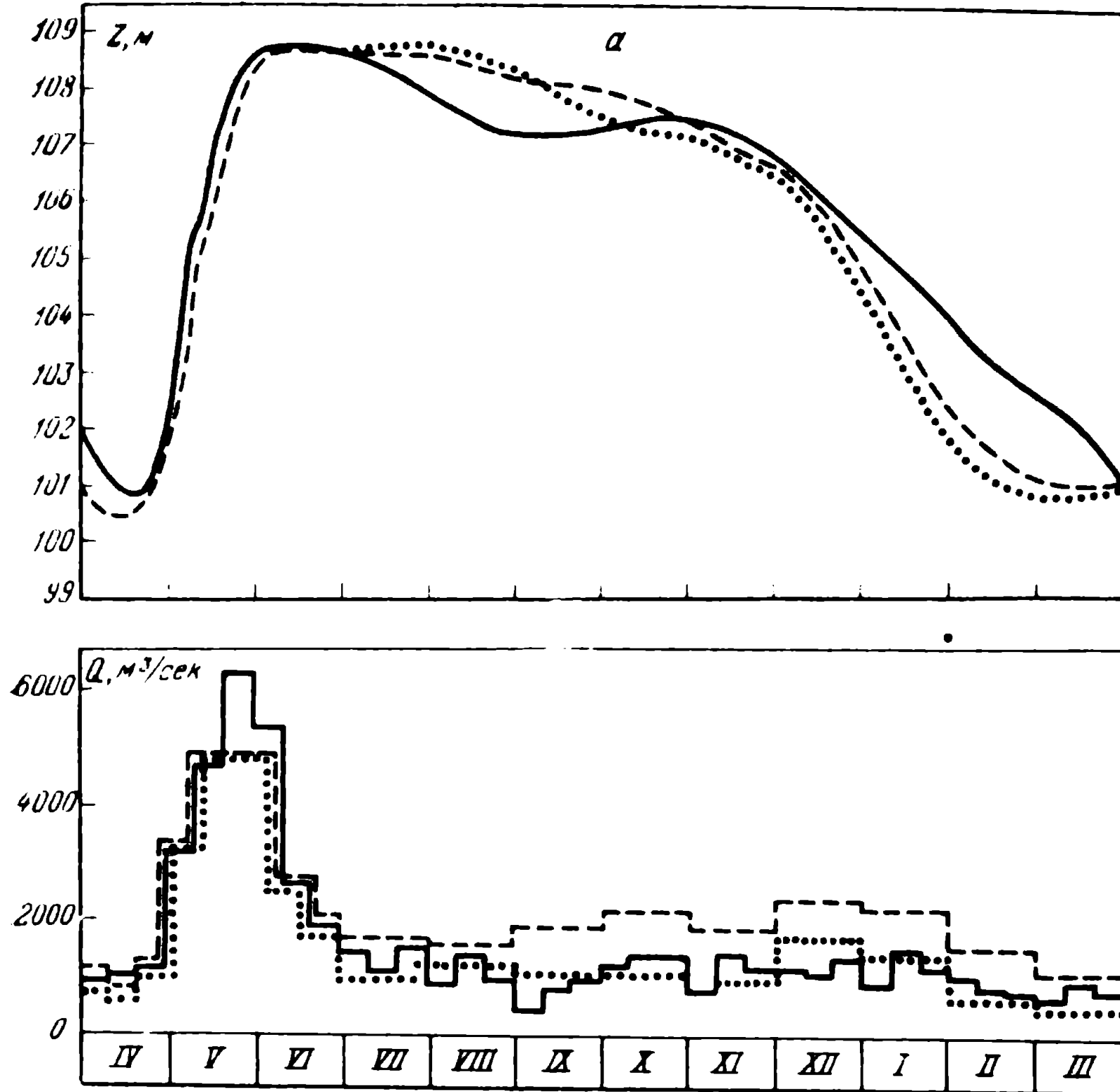


Рис. 5. Камский гидроузел. Средний год (1964/65)

Как видно из табл. 2, внутригодовое распределение стока, перебрасываемого по западному и восточному направлениям, неодинаково. На западе сток, перебрасываемый в Рыбинское водохранилище, не регулируется на северном склоне, и максимальные расходы перебрасываемой воды приходятся на период половодья. На востоке сток, перебрасываемый в Камское водохранилище, предварительно регулируется в Митрофанском водохранилище на Печоре, причем на гребне Камского половодья северная вода на юг не подается. Основная доля печорской воды, перебрасываемой на юг, приходится на летне-осеннюю и зимнюю межень.

Переброска значительно (до 30—40%) увеличивает минимальный меженный сток на верховолжских и камских водохранилищах, особенно это характерно для маловодных рек.

На режим работы трех нижневолжских водохранилищ существенное влияние оказывают значительные безвозвратные отъемы стока и необходимость в этих условиях обеспечить гарантированные требования для рыбного и сельского хозяйства Нижней Волги весной, водного транспорта в период навигации и энергетики зимой.

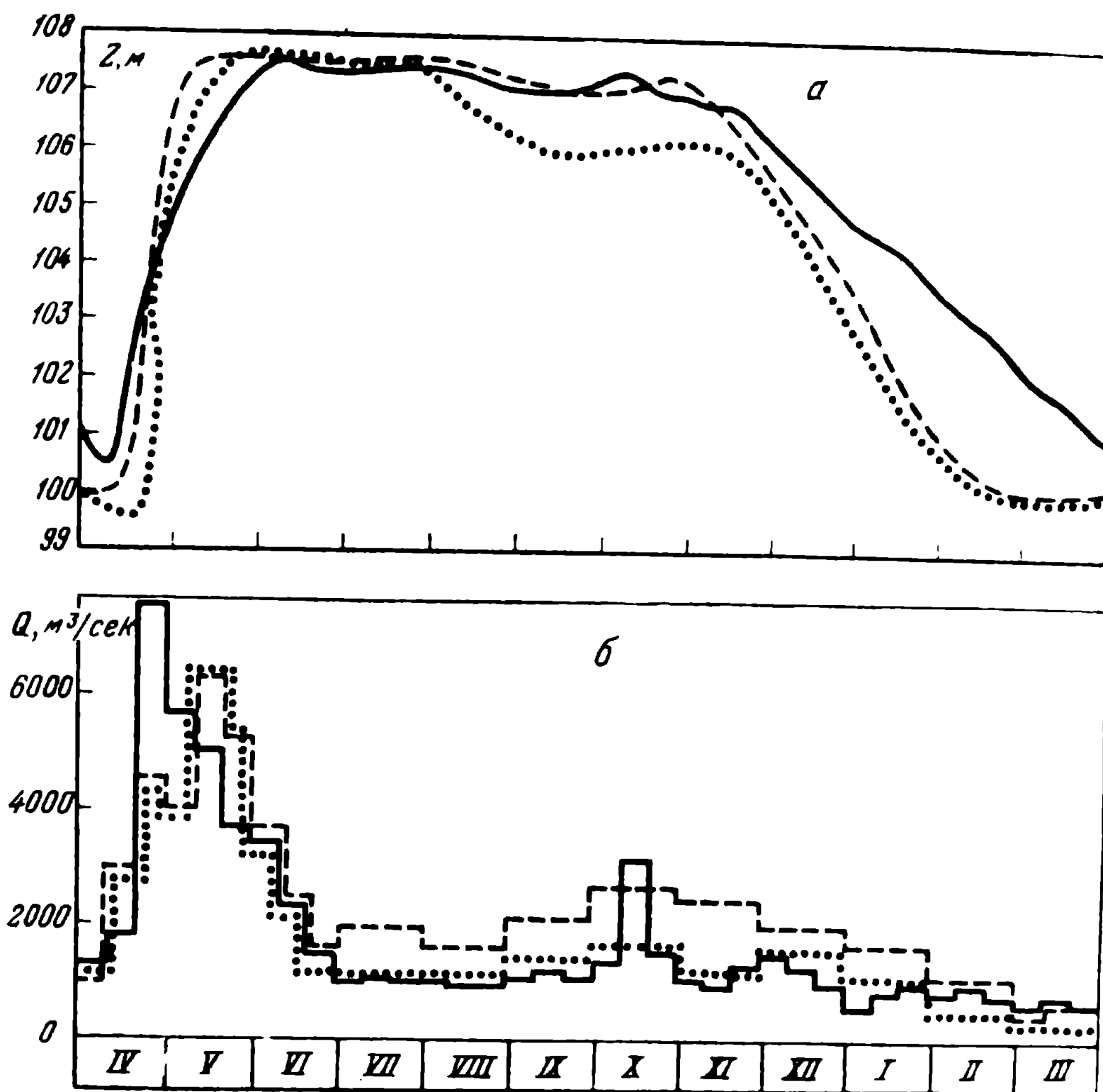


Рис. 6. Камский гидроузел. Многоводный год (1966/67)

На Нижней Волге переброска северных вод поможет сохранить, а в некоторые годы даже несколько улучшить режим весеннего пуска.

Переброска стока дает возможность сохранить и даже несколько повысить выработку энергии на гидроэлектростанциях каскада (по отношению к проектным ее размерам).

Эти выводы являются предварительными и подлежат уточнению в процессе работы над совершенствованием исходной информации и методики расчетов.

Предварительные выводы о влиянии переброски на режим работы водохранилищ каскада относятся к объемам переброски примерно  $25 \text{ км}^3$ . При больших объемах переброски в бассейн Волги ( $50 \text{ км}^3$  и более) существенно изменятся гидрологический и гидравлический режимы водохранилищ. В этом случае необходим более строгий учет гидравлических особенностей подпертого бьефа, особенно в период половодья. Здесь недостаточно учитывать лишь время добегания волны половодья, а необходим детальный расчет продвижения воды по подпертому бьефу по коротким интервалам времени (сутки,  $\frac{1}{2}$  суток) и небольшим участкам. По-видимому, необ-

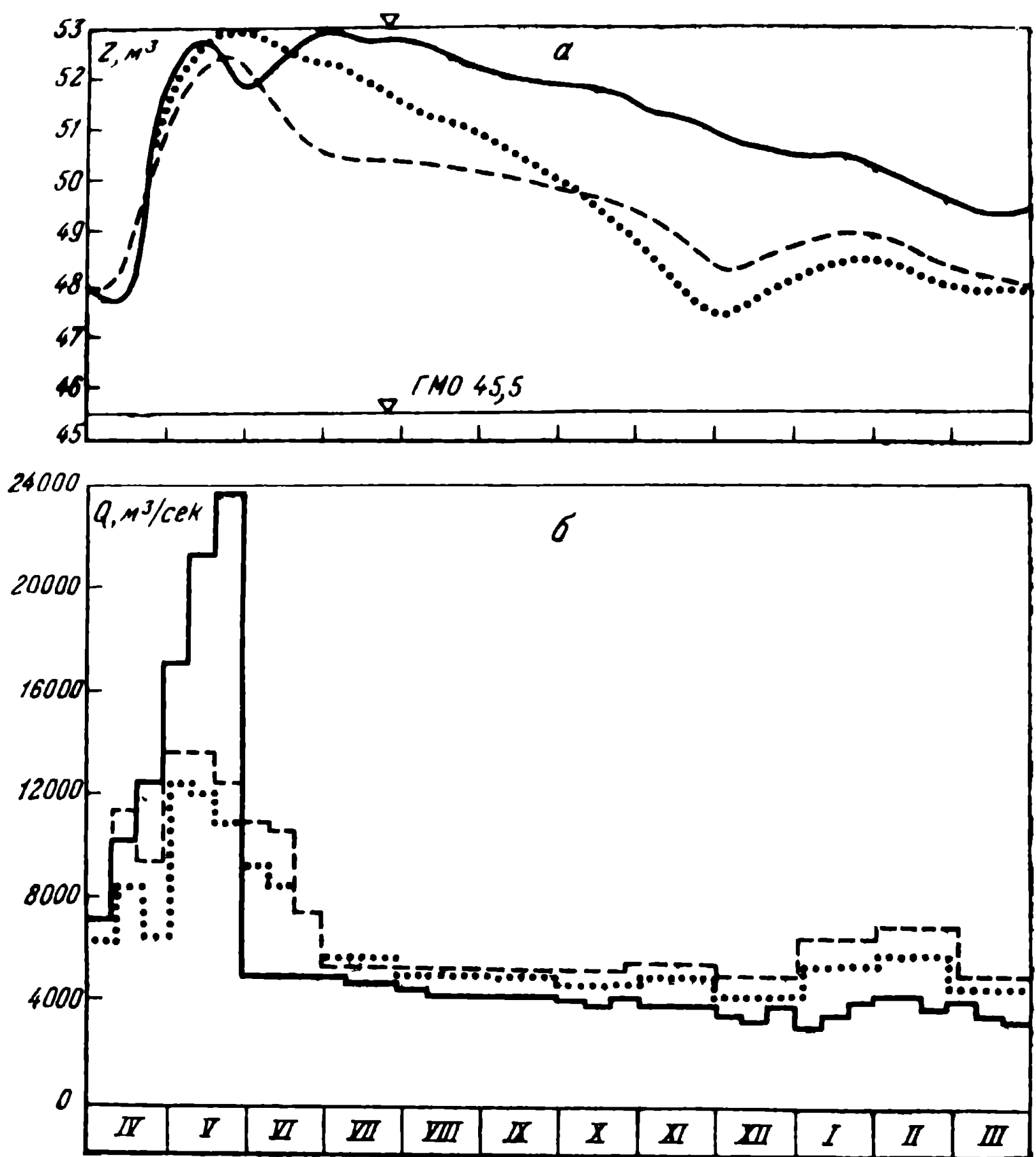


Рис 7. Куйбышевский гидроузел. Маловодный год (1960/61)

ходим существенный пересмотр действующих правил регулирования стока водохранилищами каскада.

Все эти вопросы требуют специального анализа на основе проведения численных экспериментов на математической модели.

В настоящее время нет системы математических моделей, которая с достаточной степенью точности могла решать задачи управления водными ресурсами волжской ВХС, учитывая многообразие вопросов, возникающих при принятии решений. Создание системы таких моделей представляется актуальной задачей [2, 3]. Она может быть решена как на основе совершенствования существующих математических моделей управления режимами каскада гидроузлов, так и путем разработки новых моделей. Сначала нами был использован первый путь. За основу была принята модель и программа расчета каскадов (РК), разработанная во ВНИИЭ—



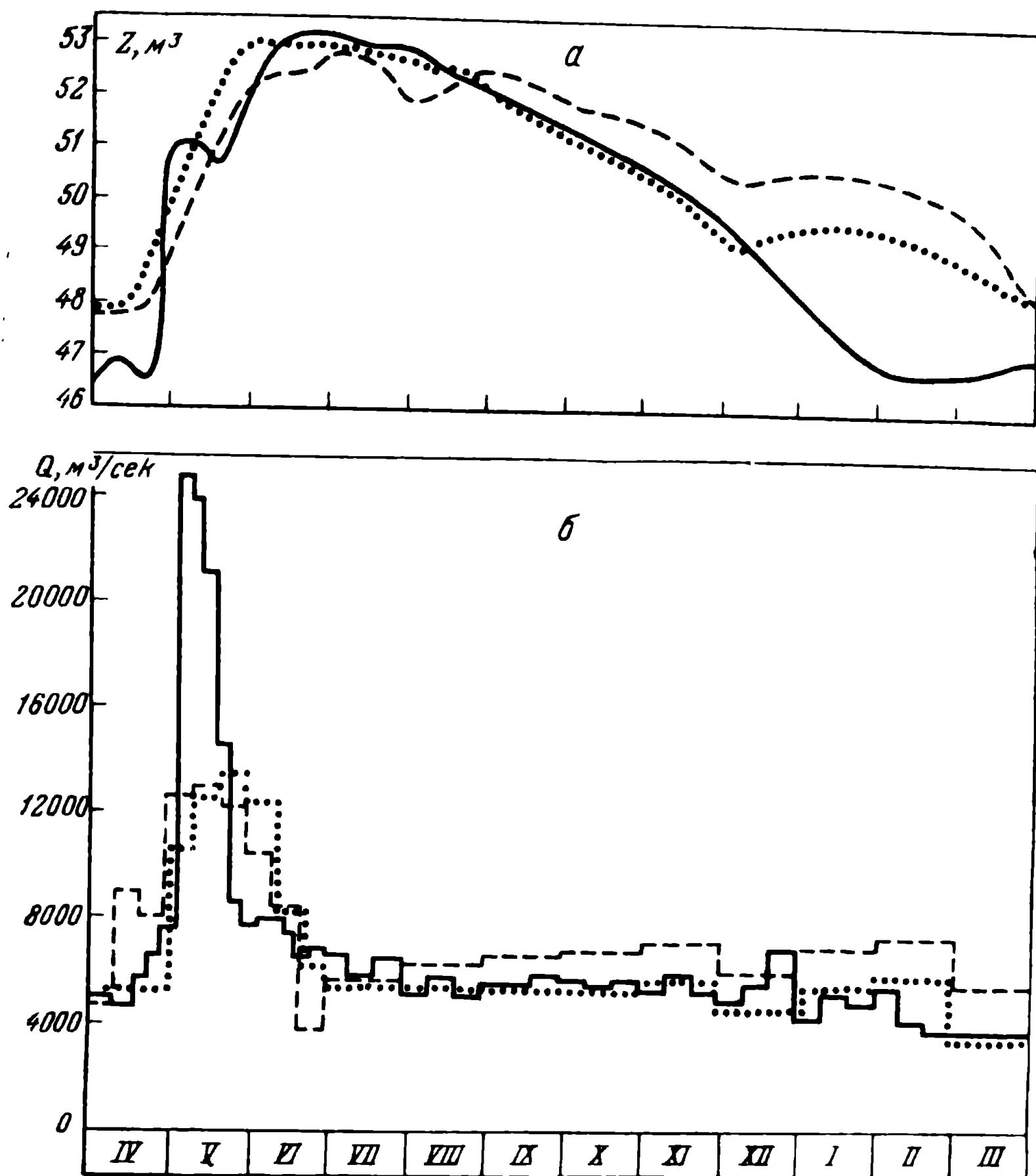


Рис. 8. Куйбышевский гидроузел. Средний год (1964/65)

ВЦГТУ Минэнерго СССР [1]. Эта модель позволяет оптимизировать режимы каскадов ГЭС по критерию максимума выработки энергии или по более общему критерию — минимуму топливных издержек на тепловых станциях энергосистемы. При этом требования неэнергетических водопотребителей учитываются введением определенных ограничений. При решении задачи оптимального управления комплексным использованием водных ресурсов каскада модель РК работает, имитируя режим работы каскада при различных заранее задаваемых ей вариантах водных ресурсов и водопотребления.

С помощью этой модели были проведены исследования по предварительной оценке влияния переброски в объеме примерно  $25 \text{ км}^3$  на режимы работы каскада, приведенные выше. Однако РК предназначена для оперативных эксплуатационных задач со всеми их специфическими особенностями.

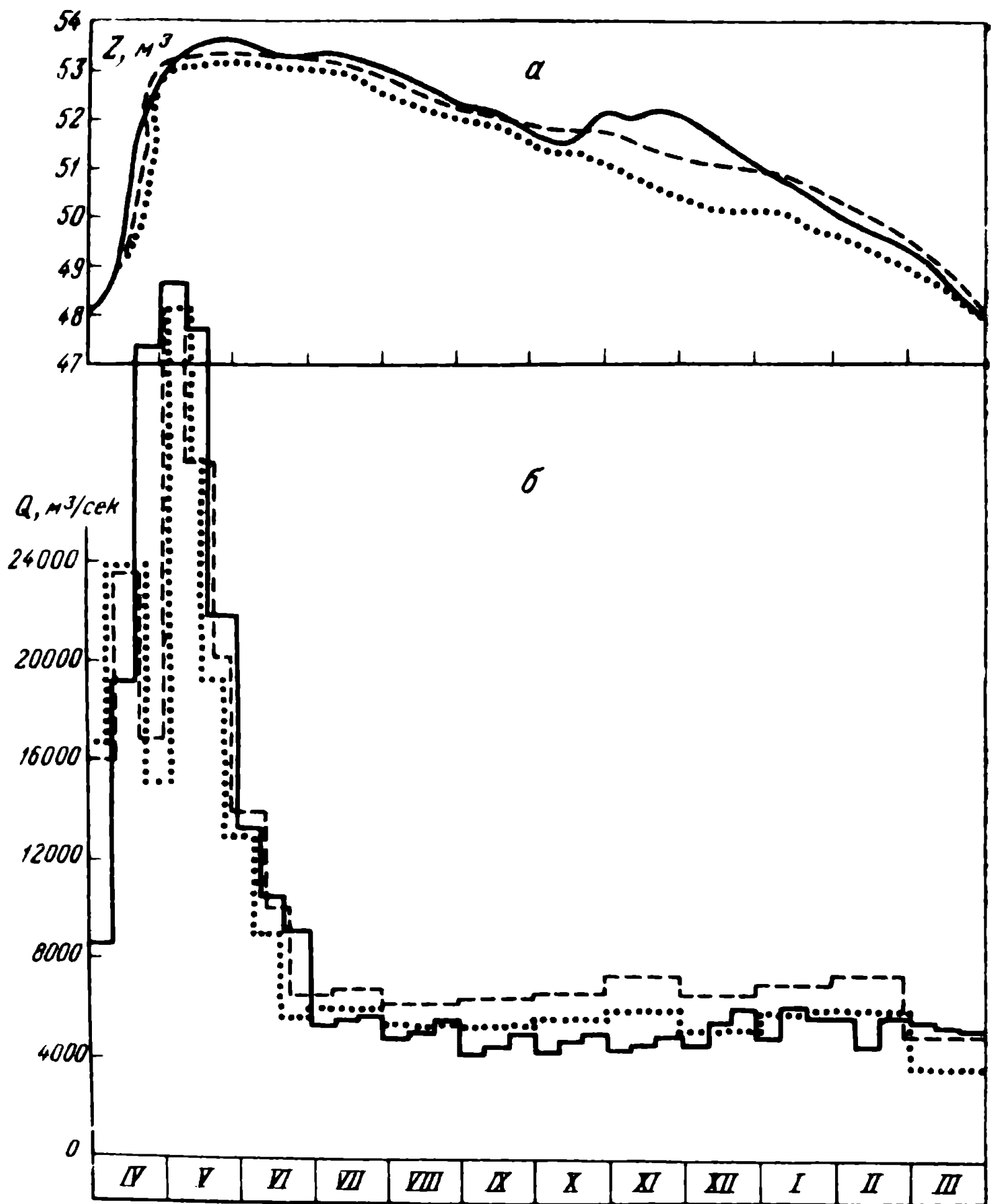


Рис. 9 Куйбышевский гидроузел. Многоводный год (1964/65)

Накопленный опыт позволил на базе этой модели перейти к разработке специальной модели для решения проектных и научно-исследовательских задач совершенствования управления Волжско-Камского каскада гидроузлов в условиях изменяющейся приточности (территориальное перераспределение стока) и водопотребления

Задача оптимального управления режимом работы каскада водохранилищ комплексного использования наиболее сложна в условиях дефицита водных ресурсов. Это задача многокритериальной оптимизации. В настоящее время для ее однозначного решения нет ни строгих формализованных математических методов (кроме кон-

цепции векторного максимума по Парето или его различных модификаций), ни достаточно надежного экономического решения, так как нет устойчивых в сопоставимых измерениях характеристик ущербов или производственных функций для каждого компонента комплекса.

Для решения этой задачи предлагается подход, в основе которого лежит распределение ограниченного водного ресурса между потребителями на основе системы диспетчерских правил-приоритетов.

Задача сводится к определению режима работы гидроузлов каскада при условии однозначного прогноза притока на укрупненный интервал, соответствующий определенному природному циклу, а именно: половодье, летне-осенняя межень и зимняя межень. Каждый из этих интервалов формально соответствует технологическому циклу использования воды тем или иным потребителем. В каждом из трех интервалов выявляется ведущий потребитель, требования которого определяют режим работы каскада, перекрывая требования остальных потребителей.

Таковыми потребителями являются: для половодья (IV—VI) рыбное и сельское хозяйство низовьев Волги, для летне-осенней межени (VII—XI) водный транспорт и орошение, для зимней межени (XII—III) энергетика.

Порядок расчета таков. Для первого интервала-периода (половодье), зная запас воды на конец предыдущего года, прогноз притока на интервал, безвозвратные потери за интервал, на основании имеющейся графической зависимости (рис. 10) можно определить объем рыбохозяйственного попуска и запас воды в водохранилище на конец половодья (и соответствующую ему отметку водохранилища у плотины) по балансовому соотношению

$$W_{j(n-1)\text{запас}}^3 + W_{j\text{приток}}^{(1)} - \sum_{\text{б/в}} W_{\text{потери}}^{(1)} - W_{jn\text{пуск}}^{\text{рыб}} \pm \Delta W_{jn} = W_{jn\text{запас}}^{(1)}$$

где  $W_{j(n-1)\text{запас}}^3$  — запас воды на конец предыдущего года,  $W_{j\text{приток}}^{(1)}$  — прогноз притока половодья,  $\sum W^{(1)}$  — безвозвратные потери за интервал,  $W_{jn\text{пуск}}^{\text{рыб}}$  — рыбохозяйственный и с/х попуск в н/б,  $j$  — номер гидроузла,  $n$  — номер года.

Упомянутые графические зависимости (рис. 10) для определения оптимального соотношения между запасом воды в водохранилище, притоком и потреблением суть не что иное как диспетчерские графики, которые строятся исходя из прогноза притока, анализа требований потребителей, проектных параметров каскада и обобщения многолетнего опыта его эксплуатации.

Задача решается в детерминированной постановке, прогноз притока принимается однозначным на период (весна, летне-осенняя межень, зима). Каждому объему весеннего рыбохозяйственного попуска соответствует определенное внутрисезонное распределение его по декадам.

Поэтому уже на первом предварительном этапе можно определить не только объем, но и гидрограф рыбохозяйственного попуска. На втором этапе расчета этот же интервал (период) рассчитывает-

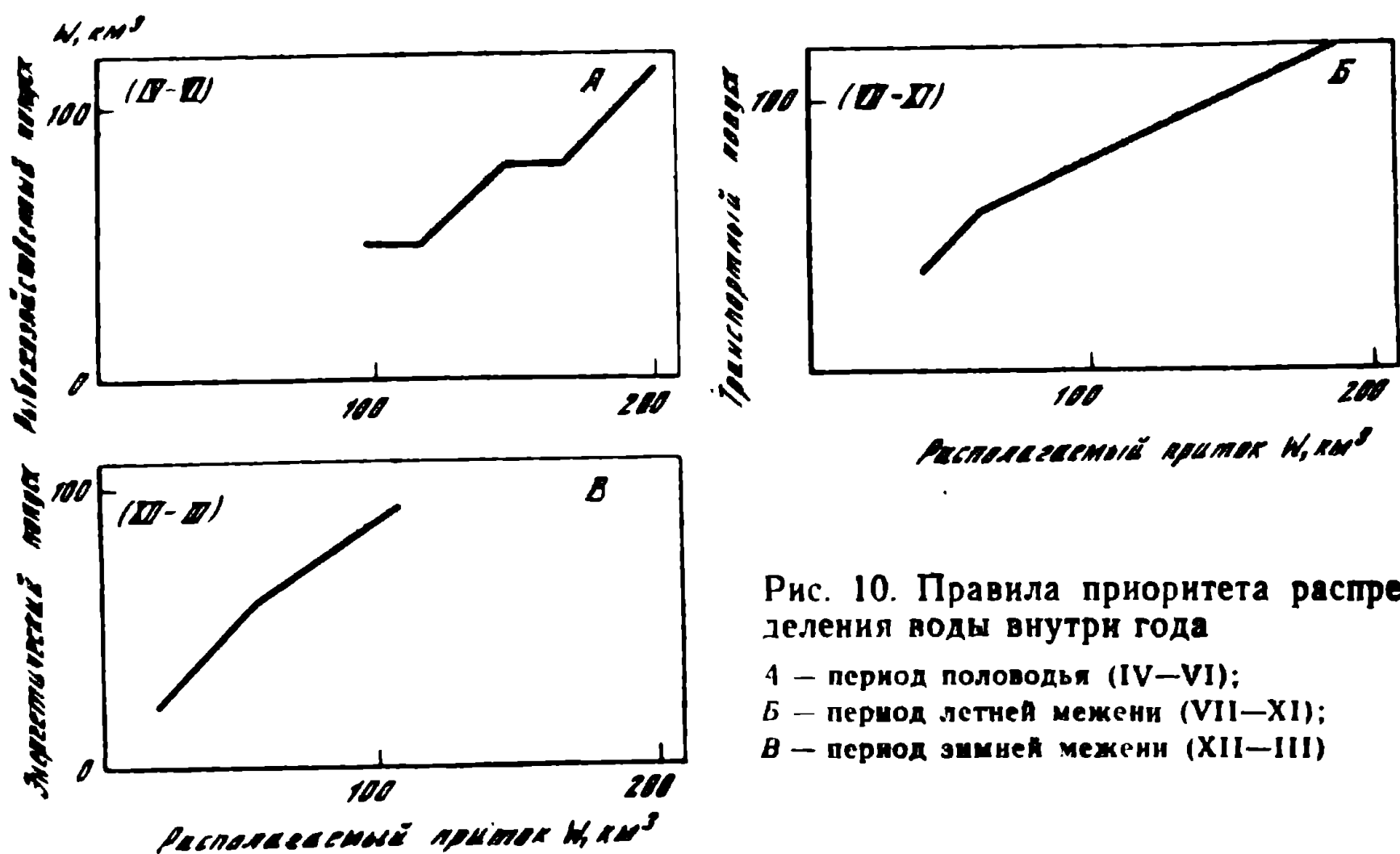


Рис. 10. Правила приоритета распределения воды внутри года

- А — период половодья (IV—VI);  
 Б — период летней межени (VII—XI);  
 В — период зимней межени (XII—III)

ся по декадным интервалам времени по программе РК для уточнения пускового режима, запаса воды на конец половодья и соответствующей этому запасу отметки воды у плотины с учетом времени добегания волны половодья, колебаний напоров, параметров гидротехнических сооружений, уточненного безвозвратного водопотребления и т. д.

Уравнение неразрывности, или водного баланса, и динамического равновесия потока представлено в следующем виде:

$$W_{(i+1)j} = W_{ij} + \left\{ (Q_{nif}^{(1)} + Q_{nif}^{(2)} + Q_{nif}^{(3)}) - Q_{гэсij} - Q_{х/сij} - Q_{испij} - Q_{фij} - Q_{б/вij} + \sum \left[ \left( 1 - \frac{\tau_{in}}{\Delta t_i} \right) Q_{н,бin} + \frac{\tau_{(i-1)n}}{\Delta t_i} Q_{н,б(i-1)n} \right] \right\} \Delta t_i,$$

где  $W_{ij}$  и  $W_{(i+1)j}$  — объем водохранилища  $j$ -й ГЭС соответственно на начало и конец  $i$ -го интервала;  $Q_{nif}$  — приточность к водохранилищу  $j$ -й ГЭС в  $i$ -м интервале;  $Q_{nif}^{(1)}$ ,  $Q_{nif}^{(2)}$ ,  $Q_{nif}^{(3)}$  — соответственно поверхностный, подземный и возвратный стоки от водопотребителей;  $Q_{гэсij}$  — расход воды через турбины ГЭС;  $Q_{х/сij}$  — холостой сброс;  $Q_{испij}$ ,  $Q_{фij}$ ,  $Q_{б/вij}$  — расходы воды соответственно на шлюзование, фильтрацию, испарение с поверхности водохранилищ, безвозвратное водопотребление;  $n$  — номера вышерасположенных ГЭС непосредственно примыкающих к данной  $j$ -й;  $\tau_{ij}$  — время добегания расхода воды между  $j$ -й и  $(j+1)$ -й ступенями каскада;  $\Delta t_i$  — длительность  $i$ -го расчетного интервала;  $W_{ij}$ ,  $W_{(i+1)j}$  — объем водохранилища  $j$ -й ГЭС соответственно на начало и конец  $i$ -го интервала.

В качестве критерия оптимальности принят максимум выработки энергии на ГЭС каскада.

При оптимизации режимов водохранилищ учитываются ограничения со стороны комплекса водопотребителей. Так, для  $W_{ij}$ -го водохранилища в  $i$ -м интервале учитываются следующие ограничения.

1. по уровням водохранилищ

$$Z_{н/б \min ij} \leq Z_{н/б ij} \leq Z_{н/б \max ij}.$$

2. по расходам воды в нижний бьеф

$$Q_{н/б \min ij} \leq Q_{н/б ij} \leq Q_{н/б \max ij}.$$

3. по расходам воды из водохранилища

$$Q_{в \min ij} \leq Q_{в ij} \leq Q_{в \max ij}.$$

4. по уровням в нижнем бьефе гидроузла

$$Z_{н/б \min ij} \leq Z_{н/б ij} \leq Z_{н/б \max ij}.$$

5. по суммарной выработке энергии всех ГЭС каскада в  $i$ -м интервале

$$\sum \mathcal{E}_{ГЭС \min i} \leq \sum \mathcal{E}_{ГЭС i} \leq \sum \mathcal{E}_{ГЭС \max i}.$$

Ограничения по расходам воды в нижний бьеф получаются из первого (предварительного) расчета данного интервала (сезона).

После уточнения запаса воды в водохранилищах на конец весеннего периода (и соответствующих отметок у плотины) по однозначному прогнозу объема притока на период летне-осенней межени, где преимущественное водопользование отводится водному транспорту, аналогично предыдущему решается задача распределения воды для водного транспорта и оставшегося ее запаса для следующего интервала-периода и так до конца года.

Преимущества такого подхода по сравнению с традиционным расчетом по программе РК следующие.

1. Методика расчета режима работы водохранилища исходит из предпосылки прогноза притока не на год вперед, как в программе РК, а на интервал-сезон. Это делает такой режим более реальным по отношению к конкретным гидрологическим и водохозяйственным условиям, выявляя в отдельные годы наличие переходящего запаса воды в бьефах.

2. Разработанные диспетчерские правила-приоритеты основаны на анализе современных требований потребителей, проектных параметров каскада и обобщении 20-летнего опыта эксплуатации водохранилищ каскада.

3. В модифицированной программе РК имеет место большая детализация водохозяйственного расчета: более строгий учет физических процессов (особенности перехода от зимы к лету, потери на льдообразование и испарение с поверхности водохранилищ, дифференцированного по годам), учет климатических факторов (увлажненности) в бассейне на величины водопотребления на орошение и др.

4. Модифицированная программа РА позволяет считать непрерывно многолетний стоковый ряд большой длины и значительно сократить время счета.

В результате расчета на модифицированной модели РК получаются данные о режиме работы гидроузлов в каждом из расчетных лет: уровни водохранилищ и нижних бьефов, расходы в нижних бьефах, объемы водохранилищ, энергетические показатели: напоры, мощности, выработка энергии.

Статистическая обработка этих данных дает возможность судить о величине дефицитов воды в бассейне, о надежности обеспечения требований потребителей, дает материал для построения управляющих функций. Настоящая модель решает водохозяйственную и энергетическую задачи и результаты ее могут быть использованы непосредственно для экономических оценок.

Область применения модели: проектные и эксплуатационные задачи анализ различных способов управления каскадом водохранилищ и разработка оптимальных правил управления, в частности исследование функционирования Волжско-Камского каскада в перспективе.

В настоящее время по модели сделан алгоритм и машинная программа и проведена серия расчетов по каскаду по многолетнему стоковому ряду для различных вариантов водопотребления; результаты обрабатываются и анализируются.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмина А. П., Парфенов Л. Г., Руднев А. К. и др. Метод и алгоритмы оптимального планирования долгосрочных режимов ГЭС по критерию минимума расхода топлива в энергосистеме.— *Электричество*, 1977, № 3.
2. Воропаев Г. В. Задачи и организация научных исследований в связи с проблемой перераспределения водных ресурсов.— *Вод. ресурсы*, 1976, № 3.
3. Воропаев Г. В., Иванова Т. Н. Проблемы комплексного использования водных ресурсов Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги.— *Вод. ресурсы*, 1981, № 2.
4. Иванова Т. Н., Федоров Б. Г., Парфенов Л. Г., Цветков Е. В. О модели управления стоком рек в условиях его территориального перераспределения.— *Вод. ресурсы*, 1979, № 4

УДК 556.555

### ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОДОХРАНИЛИЩ МОСКВОРЕЦКО-ВАЗУЗСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

К. К. Эдельштейн

В верховьях бассейна Волги, в Подмосковье, уже около 15 лет успешно эксплуатируется сложная водохозяйственная система, состоящая из четырех водохранилищ — Истринского, Можайского, Рузского и Озернинского. Наряду с Верхневолжской эта система служит надежным источником водоснабжения г. Москвы, обеспечивая около  $1/2$  ее потребности в питьевой воде. Одновременно эти

четыре водохранилища стали излюбленным местом отдыха горожан, здесь получил большое развитие любительский лов рыбы. В 1977 г. завершено создание Вазузской гидротехнической системы (ВГТС), которая состоит из двух водохранилищ — Вазузского и Яузского, соединенных каналами между собой и с верховьями р. Рузы. С июля 1981 г. началась эксплуатация ставшей еще более сложной в водохозяйственном отношении Москворецко-Вазузской водной системы.

На всех водохранилищах, реках и каналах этой водной системы Лабораторией по изучению водохранилищ кафедры гидрологии суши географического факультета совместно с сотрудниками и студентами двух других факультетов МГУ (биологического и почвоведения) уже многие годы ведутся комплексные исследования. Главной задачей этих исследований служит изучение процессов формирования и трансформации речного стока в пределах отдельных элементов сложной водохозяйственной системы (водохранилища и их незарегулированные притоки, русловые тракты в нижних бьефах гидроузлов, используемые для подачи воды из водохранилищ к Рублевскому водозаборному створу на Москве-реке у западной границы города) на основе детального изучения их гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов с целью поиска путей повышения эффективности водохозяйственной эксплуатации водной системы.

Пять перечисленных водохранилищ — водоемы долинного типа небольшого размера. Площадь водного зеркала каждого из них при НПГ от 20 до 50 км<sup>2</sup>, объем — от 150 до 290 млн. м<sup>3</sup>, максимальные глубины не превышают 25 м. Шестое — Вазузское — более крупное долинное водохранилище с очень сложной морфологической структурой. Его площадь при НПГ достигает 136 км<sup>2</sup>, объем — 663 млн. м<sup>3</sup>, а максимальная глубина — 35 м. Эти водоемы осуществляют многолетнее регулирование речного стока, значения коэффициента их годового водообмена колеблются от 1,5 до 2,5. Во время летней и зимней стагнации в них нередко достаточно длительны периоды четко выраженной стратификации водной толщи. При сработке воды из водохранилищ уровень воды снижается на 2—7 м, в Вазузском — до 10 м. При этом размеры водоемов уменьшаются в 2—3 раза.

В основу изучения гидролого-гидрохимического режима водохранилищ Москворецко-Вазузской водной системы положен балансовый принцип оценки особенностей формирования и трансформации водного, солевого, теплового, твердого стоков и стока органических веществ. Для этого на всех главных притоках водохранилищ выполнялись детальные наблюдения за составом воды, позволившие для многоводных фаз гидрологического режима — половодья и дождевых паводков — рассчитать зависимости концентрации отдельных ингредиентов и характеристик состава речных вод от расхода воды в ближайших к водохранилищам створах. В самих водохранилищах во все сезоны года выполнялись подробные гидролого-гидрохимические съемки, частота сетки станций во время кото-



рых нередко достигала двух вертикалей на 1 км<sup>2</sup> акватории. Это позволило выявить сложную гидрологическую структуру исследуемых водохранилищ, в любой сезон года состоящую из сочетания нескольких генетически и качественно различных водных масс. Материалы таких съемок использовались для расчета запаса растворенных и взвешенных в воде водохранилищ веществ с учетом положения границ и объемов отдельных водных масс.

Балансовые расчеты показали, что, благодаря слабому водообмену (за год в среднем сменяется 75—80% воды), в московских водохранилищах ярко проявляется отстойный эффект: в них осаждается до 98% речных взвесей и минерализуется до 30—40% вносимых реками органических веществ. Средневзвешенная по расходу величина цветности воды в притоке, например, к Можайскому водохранилищу составляет 50°, в то время как средняя величина цветности сбрасываемой из него воды равна 30°. Эти данные свидетельствуют о том, что водохранилища, несмотря на интенсивно протекающие в них процессы продуцирования органического вещества, особенно в период «цветения» синезелеными водорослями, существенно снижают абсолютную величину твердого стока и стока растворенных органических веществ регулируемых ими рек за счет деструкции органических веществ и седиментации взвесей.

Питьевые качества воды при сравнительно низкой ее минерализации в поверхностных водах верховьях Московского бассейна (менее 500 мг/л) и при практически полном отсутствии здесь промышленных сточных вод определяются концентрацией взвесей и концентрацией растворенных органических веществ, характеризуемой величинами цветности воды, ее перманганатной и бихроматной окисляемости (ПО и БО). Наблюдения показали, что значения перечисленных показателей качества воды в притоках водохранилищ сильно увеличиваются в период половодья, достигая 200 мг/л взвеси в воде, 60—90° цветности, 10—11 мг О/л ПО и 25 мг О/л БО. В этот период в водохранилища вносятся с речными водами до 85% годового стока растворенных органических веществ, до 94% взвешенных органических веществ и до 97% общего годового количества взвесей. В межень период летом и зимой показатели качества вод притоков водохранилищ лучше — мутность их менее 10 мг/л, цветность 5—15°, БО — 8—12 мг О/л. За счет процесса смешения весенних речных вод с водами межени в водохранилищах и других внутриводоемных процессов (продуцирования органического вещества, абразии берегов и т. д.) питьевые качества сбрасываемой из водохранилищ в нижние бьефы гидроузлов воды резко улучшаются лишь в сравнительно короткий период половодья, а в остальное время года они заметно ухудшаются по сравнению с исходными водами речной межени. Так концентрация взвесей в сбрасываемых водах составляет более 10 мг/л, причем доля органических веществ в них возрастает до 35%, тогда как в водах притоков она не превышает 15%. Цветность сбрасываемых вод составляет 20—35°, БО — 10—15 мг О/л.

Приведенные результаты оценки роли москворецких водохранилищ в трансформации речного стока принципиально важны для понимания направленности изменения состава речного стока под влиянием одного из наиболее мощных средств воздействия человека на природу — строительства водохранилищ и связанного с ним существенного замедления процесса стока. В водохранилищах долинного типа, обладающих в среднем на порядок большей величиной удельного водосбора в сравнении с естественными озерами, заметно большую роль в балансе играет аллохтонное органическое вещество. В то же время интенсивность процессов деструкции и седиментации в них столь велика, что не только компенсирует продукционные процессы, но и вызывает заметное снижение стока органического вещества. До сих пор не обнаруженное снижение величины стока органических веществ зарегулированных водохранилищами рек в моря объясняется тем, что основная масса органики выносятся реками в половодье и до создания на них водохранилищ отлагалась на поймах, обеспечивая их плодородие. В то же время за счет упомянутых внутриводоемных процессов питьевые качества воды в водохранилищах резко улучшаются только в период половодья. В гораздо более продолжительную остальную часть года происходит заметное их ухудшение. Этот эффект трансформации речного стока в водохранилищах должен быть тем сильнее выражен, чем более глубокое регулирование осуществляет то или иное водохранилище.

Справедливость выдвинутых положений о роли водохранилищ в трансформации речного стока, базирующихся на многолетних комплексных исследованиях нескольких водохранилищ Москворецкой водной системы, следует тщательно проверить на примере водохранилищ других районов, расположенных в различных физико-географических условиях, имеющих иной режим эксплуатации. Для этого необходима организация детальных балансовых исследований, существенное повышение репрезентативности исходной информации о режиме показателей состава речных вод и водных масс питающихся ими водохранилищ, и особенно повышение надежности данных, характеризующих пространственно-временную изменчивость показателей интенсивности продукционно-деструкционных процессов в исследуемых водоемах.

## ИЗМЕНЕНИЕ ПЛАНКТОНА ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ОДНОЙ ВОДНОЙ МАССЕ

В. П. Вьюшкова, И. Н. Далечина, В. С. Донецкая

Взятие проб на стационарном пункте в условиях проточности не дает возможности наблюдать за одной популяцией, сносимой по течению с водной массой. Для получения материалов по динамике численности данной популяции необходимо учитывать скорость ее передвижения и определять пункты последовательного отбора проб. Подобные наблюдения были проведены в течение двух лет с мая по август на Волгоградском водохранилище. В период паводка по ходу движения водной массы отмечалось увеличение температуры воды от 15,5 до 16,4°С и снижение скорости течения от 0,48 до 0,24 м/с. Создавшиеся условия благоприятствовали росту планктона, как обычно, очень интенсивному в весенний период. Количество бактерий увеличилось с 29 мая по 3 июня от 1,7 до 3,8 млн. кл./мл, фитопланктона — от 1,2 до 6,3 млн. кл./мл и зоопланктона — от 30 до 100 тыс. экз./м<sup>3</sup>. В момент наибольшей численности фито- и зоопланктона наблюдалось уменьшение бактериопланктона. Максимум бактерий отмечен при уменьшении фито- и зоопланктона.

В меженьный период, с 21 по 29 июня, температура воды 20—22°. Скорость течения у плотины Балаковской ГЭС равнялась 0,86 м/с, в районе г. Саратова — 0,2 м/с и ниже, колебания скорости незначительны. Картина изменения планктона в этих условиях была довольно пестрой. Численность бактериопланктона от 2,7 до 4,0 млн. кл./мл, фитопланктона — от 1,0 до 7,2 млн. кл./л и зоопланктона — от 100 до 167 тыс. экз./м<sup>3</sup>. У бактериопланктона сохраняется тенденция к снижению его количества при увеличении численности фито- и зоопланктона, и наоборот.

В 1974 г. наблюдения были более длительными — с 10 по 29 июля — и охватывали все водохранилище от Балаковской до Волгоградской ГЭС. Паводок в этот год был высоким и продолжительным. Температура воды колебалась от 21,6 до 23,8°С. Скорость течения снижалась от 0,7—0,8 м/с на верхнем до 0,14—0,41 м/с на нижнем участке. Несмотря на одинаковые температурные условия на всем водохранилище за период рейса численность планктона колебалась в следующих границах: бактериопланктона — 2,15—3,15 млн. кл./мл, фитопланктона — 0,4—195,0 млн. кл./л и зоопланктона — 5,2—76,4 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Изменения зависели от гидрологического режима и условий питания.

Влияние гидрологического режима проявляется на верхнем участке Волгоградского водохранилища, характеризующемся повышенными скоростями течения. Здесь отмечалось общее снижение количества планктона, поступающего из Саратовского водохранилища, особенно фито- и зоопланктона. Последний уменьшается за

счет рачков, на которых оказывают неблагоприятное влияние высокие скорости течения воды.

У г. Саратова численность бактерий и зоопланктона возрастает. Их совместный пик наблюдается у с. Привольное. При этом бактериопланктон достигает 3 млн. кл./мл, а зоопланктон — 76,4 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Количество фитопланктона продолжает снижаться в результате отмирания весенних форм диатомовых водорослей.

Ниже с. Золотого численность бактерио- и зоопланктона падает, а фитопланктона возрастает: развиваются синезеленые водоросли. У плотины Волгоградской ГЭС отмечается увеличение количества компонентов планктона, особенно фитопланктона. Появляются бентические диатомовые и зеленые водоросли и происходит смена доминирующих форм синезеленых водорослей.

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что планктон претерпевает значительные изменения в водной массе по мере ее продвижения к плотине. В различных местах наблюдаются подъемы и падения его численности в результате взаимодействия организмов с условиями внешней среды и между собой. Изменения отдельных компонентов взаимосвязаны. Можно говорить об обратной связи между бактерио- и фитопланктоном. При пике численности фитопланктона количество бактерий обычно снижается. Такое явление наблюдалось и в Учинском водохранилище и объяснялось К. А. Гусевой конкуренцией за питательные вещества, и возможно, выделением водорослями антибиотических веществ. Среди различных групп водорослей особенно заметно отрицательное влияние на бактериопланктон со стороны синезеленых. При массовом развитии синезеленых ниже с. Золотого численность бактерий снизилась, несмотря на высокое содержание биогенных элементов. Снижение количества бактерий и зоопланктона при массовом развитии синезеленых водорослей отмечалось нами и в предыдущие годы.

Связь бактерио- и зоопланктона очень динамична. В основном зоопланктон зависит от количества бактерий, являющихся его кормовой базой, но иногда отмечались случаи снижения содержания бактерий в воде при увеличении численности зоопланктона, что, по-видимому, связано с выеданием микроорганизмов фильтраторами.

В литературе встречаются противоречивые оценки взаимосвязи фито- и зоопланктона. Это объясняется тем, что не всегда учитываются условия внешней среды, физиологическое состояние организмов, а также стадии их развития и то, находятся ли они в периоде роста или отмирания. Для окончательного решения этих вопросов необходимы дальнейшие более подробные исследования.

## К ИЗУЧЕНИЮ МАЛЫХ РЕК ГОРЬКОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Р. А. Шахматова, Н. Г. Тухсанова, Г. В. Шурганова,  
Ю. Н. Разгулов, А. А. Кравченко

В течение ряда лет сотрудниками лаборатории гидробиологии НИИ химии при Горьковском университете проводятся комплексные гидрохимические и гидробиологические исследования малых и средних рек, протекающих по территории Горьковской и соседних с ней областей. Обследовано около 40 малых рек, являющихся в основном притоками Волги и Оки.

Типичным представителем малых рек, протекающих по территории лесного Заволжья Горьковской области, является р. Керженец. Это левобережный приток Волги, бассейн которого располагается в Унженско-Ветлужской низине, представляющей собой заболоченную, покрытую лесом равнину. Русло реки извилистое, с многочисленными мелководными перекатами и остатками затонувших деревьев. Питание Керженца осуществляется грунтовыми водами и многочисленными мелкими реками и ручьями-притоками.

Воды р. Керженец маломинерализованы, сумма ионов изменяется от 93 мг/л в половодье до 288 мг/л в летнюю межень. Воды относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, первому типу. Вода многочисленных мелких притоков Керженца по составу сходна с основным керженецким потоком. Минеральный азот содержится в небольшом количестве, причем нитритный бывает очень редко, количество нитратов увеличивается от весны (0,60 мг/л) к осени (2,31 мг/л). Содержание аммонийного азота наибольшее весной (0,37 мг/л) и постепенно уменьшается к лету (0,16 мг/л) и осени (0,12). Фосфаты имеются постоянно в незначительном количестве и их содержание увеличивается от весны (0,015) к осени (0,052 мг/л). В связи с заболоченностью водосбора высоко в реке содержание железа, которое и поступает в водоем в основном в период паводка (1,55 мг/л). К осени его количество снижается до 0,91 мг/л. Заболоченностью водосбора объясняется и наличие в воде значительного количества органических веществ, содержание которых также снижается от весны (ХПК=63,0) к осени (44,1 мг О/л). Синхронно с ХПК изменяется перманганатная окисляемость, БПК<sub>5</sub> и цветность. Последняя особенно значительна в половодье (до 140°), к осени снижается до 90—80°. Активная реакция среды слабощелочная. Весной наиболее низкая рН — 7,1, летом и осенью около 7,4. Кислородный режим в период открытой воды хороший. Процент насыщения воды кислородом обычно колеблется около 80. Свободная углекислота в воде присутствует постоянно. Весной количество ее наибольшее — 16,2 мг/л, летом снижается до 6,5, осенью до 8,5 мг/л. Из-за большого количества органических веществ в зимних условиях на отдельных участках реки возможны заморные явления.

Развитие зоопланктонного комплекса устьевого участка р. Керженец в сезонном аспекте идет неравномерно. Численность и биомасса зоопланктона испытывают значительные колебания, составляя в среднем за вегетационный сезон 20,6 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,16 г/м<sup>3</sup>. Наблюдается постепенное увеличение количества организмов зоопланктона в весенний период с максимумом в конце весны—начале лета (численность — 111,0 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса — 0,57 г/м<sup>3</sup>). Основу зоопланктона в это время составляют коловратки (85% от общего числа организмов). Преобладают представители родов *Brachionus*, *Keratella*, *Filinia*, *Synchaeta* и др. После максимума в развитии зоопланктона начинается спад его численности и биомассы, продолжающийся до конца июля. В августе отмечено некоторое увеличение количества зоопланктона за счет развития ветвистоусых ракообразных (*Daphnia longispina*, *Alona quadrangularis*, *Chydorus sphaericus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus graciloides* и др.). В сентябре-октябре численность зоопланктона уменьшается до 5,2 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса — до 0,19 г/м<sup>3</sup>. При этом коловратки составляют в среднем 37% от общей численности зоопланктона. Зоопланктон р. Керженец и его притоков на его участке от с. Хахалы до устья характеризуется небольшим видовым разнообразием. Наибольшее число видов отмечено среди коловраток. Видовой состав ветвистоусых и особенно веслоногих ракообразных беден. Отмечен ряд видов коловраток, характерных для водоемов заболоченных районов. В планктоне встречается представитель ветвистоусых ракообразных, обитатель дна рек, болот *Alona rectangula*, а также ветвистоусые ракообразные, обитатели зарослей (*Graptoleberis testudinaria*, *Ophryoxus gracilis*). В целом зоопланктон р. Керженец характеризуется бедностью собственно планктонных видов в русловой части реки и отличается от волжского, в котором наиболее массовыми являются коловратки р. *Brachionus*. В количественном отношении зоопланктон р. Керженец развит слабо (средняя численность — 30 экз./м<sup>3</sup>, биомасса — 0,17 мг/м<sup>3</sup>). Наиболее высокие численность и биомасса зоопланктона отмечены в правом притоке Керженца — р. Б. Кучке, которая обогащает зоопланктон Керженца ниже ее впадения. Остальные обследованные нами притоки (реки М. Вижня, Б. Черная, Ялокша, Ламна, Арья) исключительно бедны зоопланктоном и не оказывают значительного влияния на формирование планктонной фауны р. Керженец.

На всем протяжении реки преобладают песчаные грунты с растительными остатками. По мере продвижения вниз по течению заиление грунтов увеличивается и достигает максимума в устьевом участке, где отмечена и наибольшая глубина — 3,0 м. В составе донных биоценозов преобладают олигохеты *Isochaetides newaensis*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex*, биомасса которых в среднем течении реки около 4,0 г/м<sup>2</sup>, а в устье возрастает до 5,0—9,0 г/м<sup>2</sup>. Видовой состав донной фауны довольно однообразен на протяжении всей реки, пополняясь в устьевом участке представителями зообентоса Волги. Наиболее разнообразны в видовом отношении личинки хирономид, которые в верхнем и среднем течениях



реки представлены преимущественно мелкими видами р. *Polypedilum*, *Procladius*, *Cryptochironomus*. По мере возрастания заиления грунта увеличивается количество представителей рода *Chironomus*. Моллюски представлены в основном унионидами, шаровками и горошинками, в устьевом участке появляются обрастания дрейссены. Представители остальных групп донной фауны в верхнем и среднем участках реки встречаются редко и единичными экземплярами. Из них наиболее стабильными компонентами донных биоценозов являются гелеиды. В устьевом участке видовое разнообразие донной фауны несколько увеличивается. Зообентос наиболее крупных притоков Керженца — М. Вижни, Б. Черной, Б. Кучки, Ялокши, Ламны, Арьи в устьевых участках сходен по составу доминирующих групп с Керженцем. В них также на преобладающих песчано-илистых грунтах доминируют олигохеты, среди которых преимущественное развитие имеет *I. newaensis*, обнаруженный во всех притоках. Хирономиды представлены в основном мелкими видами. Представители остальных групп донной фауны крайне малочисленны. Определенная бедность видового состава и количественного развития донной фауны Керженца, как и других рек лесного Заволжья, связана, очевидно, со спецификой гидрохимического режима этих рек. Как и ряд других малых рек, Керженец должен охраняться от интенсивного антропогенного воздействия.

УДК 556.555.6/7

## **ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Л. А. Выхристюк**

Для выяснения количественных и качественных показателей ОВ донных отложений Куйбышевского водохранилища, его значения в общем биотическом круговороте веществ с 1979 г. начаты систематические исследования органического вещества по стандартной сетке станций, расположенных более или менее равномерно по всей площади водоема. За 1979—1980 гг. дночерпателем ДЧ-400 собрано 79 образцов поверхностного (0—2 см) слоя донных отложений. В трех точках (ст. 27, 21 и 45) взяты грунтовые колонки трубкой ГОИН-1,5 мощностью 55, 80 и 120 см соответственно.

Концентрация общего органического углерода в поверхностном слое донных отложений изменяется в зависимости от типа осадков: в песках 0,22—0,89%; в коричневых илах 2,5—4,40%; промежуточное положение по содержанию  $C_{орг}$  занимают серые илы. Средняя концентрация  $C_{орг}$  в целом для водохранилища составляет 2,17% при доверительном интервале  $\pm 0,19\%$  ( $n=79$ , обеспеченность 0,05). В сезонном аспекте изменения величин  $C_{орг}$  небольшие, но с вполне определенной тенденцией к увеличению от весны к осени. Стати-



**Содержание общего и лабильного  $C_{орг}$  (%) в поверхностном слое  
отложений по сезонам (средние данные за 1979—1980 гг.)**

Показатель	Весна		Лето		Осень	
	$C_{орг}$ общ.	$C_{орг}$ лаб.	$C_{орг}$ общ.	$C_{орг}$ лаб.	$C_{орг}$ общ.	$C_{орг}$ лаб.
Среднее значение ( $\bar{X}$ ), %	2,00	23,5	2,10	22,6	2,20	23,8
Среднее квадратичное отклонение, %	$\pm 0,61$	$\pm 6,03$	$\pm 0,72$	$\pm 6,81$	$\pm 0,87$	$\pm 7,50$
Коэффициент вариации $C$	0,31	0,26	0,34	0,30	0,31	0,32
Доверительные интервалы $\bar{X}$ , % ( $P=95\%$ )	$\pm 0,35$	$\pm 3,50$	$\pm 0,25$	$\pm 2,40$	$\pm 0,31$	$\pm 2,70$
Число определений	14	14	33	33	32	32

стическая обработка данных показала достоверность различий в содержании ОВ по месяцам при доверительном уровне не менее 95% (табл.).

По площади дна органическое вещество распределяется неравномерно: его количество увеличивается от верхних участков водохранилища к нижним. Причина этого явления связана с особенностями седиментации взвешенных частиц в проточных водоемах, имеющих ярковыраженный продольный профиль.

Наши исследования показали относительную бедность (за редким исключением), донных отложений Куйбышевского водохранилища легкоусвояемыми ОВ по сравнению с крупными практически замкнутыми водоемами.

В системе водохранилищ Волжского каскада Куйбышевское занимает ведущее место. Величина относительного (в % от общего ОВ) содержания органического вещества изменяется от 10,0 до 48,1% при среднем значении 23% (вероятная ошибка среднего  $\pm 3,0\%$ ,  $n=79$ , обеспеченность 0,05).

Наиболее обогащены органическим азотом (0,33—0,46%) и общим фосфором (0,032—0,068%) отложения Черемшанского залива, Приплотинного плёса; минимум их концентраций (0,03—0,17 и 0,004—0,042%) соответственно характерен для грунтов верхней части водохранилища. При сравнении полученных данных с материалами ранее проведенных исследований отмечается постепенное нарастание концентраций общего фосфора и азота в осадках, что, видимо, связано не только с увеличением их поступления за счет биологических и биохимических процессов, происходящих в водной толще, но и за счет роста антропогенного воздействия на водоем.

В целом донные отложения Куйбышевского водохранилища беднее соединениями азота, как и органическим углеродом, чем верхневолжские водохранилища, что обусловлено, с одной стороны, относительной молодостью Куйбышевского водохранилища, с другой — геохимической обстановкой района.

## ИЗМЕНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭКОСИСТЕМЫ ВОДОЕМОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОХИНОНА

Н. Е. Ярушек, Н. М. Аптина, О. А. Ермошенкова,  
С. Г. Котляр, Н. Н. Лизина, С. В. Гюшина

Комплексные исследования по изучению возможного действия гидрохинона проводились в лабораторных условиях на следующих тест-объектах: ветвистоусый рачок *Daphnia magna* Straus, протокковые водоросли *Scenedesmus quadricauda* Breb., насекомые *Chironomus dorsalis* Meig., икра и сеголетки радужной форели *Salmo irrideus* Gibb.

Водные растворы гидрохинона на воздухе вследствие окисления приобретают бурую окраску. Пороговая концентрация вещества по органолептическому показателю — 0,2 мг/л. В случае наличия в воде вещества в количестве, превышающем 5,0 мг/л, возникает угроза ухудшения кислородного режима водоема. Снижение содержания растворенного кислорода происходит в результате активного биохимического окисления вещества. Это подтверждается результатами изучения хода биохимического потребления кислорода и развития микроорганизмов в воде в присутствии вещества. С увеличением концентрации гидрохинона увеличивается потребление кислорода и изменяется ход процессов. Пороговая концентрация по БПК 0,1 мг/л, по содержанию водных бактерий 0,05 мг/л.

Окисление гидрохинона приводит к образованию хингидрона и затем *л*-хинона. Токсичность продуктов окисления гидрохинона существенно не отличается от токсичности свежеприготовленных растворов.

Токсический эффект гидрохинона по отношению к живым организмам значителен. Водные бактерии погибают уже при его концентрации в растворе 10 мг/л, а 100 мг/л и более полностью стерилизуют раствор.

Остролетальное действие гидрохинона на фитопланктон отмечено уже при концентрации вещества 10 мг/л и выше. Пороговая концентрация между относительно безвредными и оказывающими токсический эффект равна 1 мг/л.

Высока степень токсичности гидрохинона и по отношению к дафниям. Остролетальное действие проявляется начиная с концентрации 0,3 мг/л. Симптомы гибели рачков свидетельствовали о поражении нервной системы, наблюдались также нарушения в процессе эмбриогенеза, снижение темпа нарастания биомассы. Максимальная концентрация гидрохинона, не оказывающая на дафний видимого действия, 0,005 мг/л.

Донные животные также подвержены отрицательному действию гидрохинона. Пороговая концентрация вещества между недействующими и оказывающими действие на хирономид — 0,007 мг/л. У по-

гибших личинок отмечены кровоизлияние по всему телу и отек сердечной капсулы.

Икра форели, помещенная в растворы гидрохинона (0,04 мг/л и более), полностью или частично погибала. У выживших икринок из более низких концентраций сдвигались сроки выклева личинок. По показателю динамики выклева личинок допустимая концентрация гидрохинона 0,005 мг/л. Отмечено отрицательное действие вещества на развитие личинок, их длину и вес тела.

Для рыб данное вещество является сильнотоксичным; 50%-ная гибель форели отмечена в концентрации 2,8 мг/л. 0,002—0,005 мг/л гидрохинона снижает темп роста рыб.

Результаты исследований воздействия гидрохинона на представителей различных групп гидробионтов и состав речной воды позволяют сделать заключение о значительной опасности этого вещества для экосистемы водоемов. Поражение даже одного из звеньев, составляющих общую равновесную систему, характеризующую водоем, несомненно, приведет в конечном итоге к снижению рыбопродуктивности участков загрязнения. По нашему мнению, допустимая концентрация этого вещества в воде рыбохозяйственных водоемов не должна превышать 0,01 мг/л.

УДК 556.551 : 3/4

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЦЕЛЯХ АКВАРАЙОНИРОВАНИЯ**

**А. Б. Авакян, Н. Г. Дмитриева, Г. Л. Марголина,  
В. П. Салтанкин, Л. О. Эйно́р**

Одним из важнейших направлений рационального использования водных ресурсов может служить целенаправленное и интенсивное использование отдельных участков водохранилищ, которое может быть достигнуто на основе последовательного осуществления акваториального районирования, планировки и инженерного устройства водоемов.

Анализ результатов многочисленных исследований в водохранилищах показал неоднородность гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик отдельных районов и участков (заливов, мелководий, открытых плёсов).

Вопросам акваториального районирования крупных водохранилищ в последнее время уделяется достаточно большое внимание в связи с рационализацией натурных наблюдений и необходимостью дифференцированного подхода к повышению эффективности комплексного использования ресурсов внутренних водоемов.

В этой связи на Иваньковском водохранилище в 1979—1980 гг. были проведены исследования по определению изменчивости неко-

торых физико-химических показателей качества воды, которые могли бы служить и представляли интерес как критерии районирования. Работы выполнялись на основании предварительно разработанной рабочей схемы комплексного районирования акватории с учетом только морфологических и гидрологических показателей. Точки измерений выбирались в пределах намеченных этой схемой таксонов, в составе которых 4 плёса, 10 гидрологических районов, 25 эколого-гидрографических участков, 4 типа акваториальных комплексов (прибрежные, литоральные, сублиторальные, батинальные). Неоднородность распределения физико-химических показателей оценивалась по трем пространственным направлениям: длине водохранилища, живому сечению и глубине. В процессе наблюдений регистрировались следующие показатели, достаточно полно отражающие все стороны биотических и абиотических процессов, в водоеме: глубина, температура воды, гидрометеорологические условия, прозрачность по диску Секки, надводная радиация, рН, электропроводность, содержание растворенного кислорода, минерального фосфора, интенсивность фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества.

В результате выполненных наблюдений и их анализа выявлены пространственные неоднородности изученных физико-химических показателей водной массы Иваньковского водохранилища. При стабильных гидрометеорологических условиях неоднородности физико-химической структуры «оформляются» и усиливаются. При возникновении штормовых условий происходит относительное, но неполное сглаживание пространственно-временных различий в пределах акватории крупного водохранилища, которые вновь появляются со стабилизацией гидрометеорологических условий. Изменчивость показателей проявляется как в продольном направлении — по длине водохранилища, так и в поперечном — по ширине, благодаря чему при исследованиях этого водохранилища следует обращать особое внимание на изучение прибрежных мелководных зон. Изменчивость показателей по глубине («стратификация»), особенно в позднелетний и осенний периоды в этом водоеме выражена слабо.

Как показали наши наблюдения, характерные для Иваньковского водохранилища пространственные неоднородности существуют объективно, независимо от временных (сезонных и суточных) изменений и от изменений гидрометеорологических условий. Эти неоднородности интегрально отражают особенности самих внутриводоемных процессов на различных участках водоема и, следовательно, могут быть использованы в качестве критериев физико-химического (по качеству воды) районирования. Из исследованных характеристик качества воды большую стабильность обнаруживали электропроводность и прозрачность, а меньшую — концентрации в воде кислорода и минерального фосфора. Значительный интерес в этом плане представляют данные по продукционным показателям, четко выявляющим уровень продуктивности того или иного участка. Это позволит использовать полученные результаты для определения трофического уровня различных участков Иваньковского водохранилища.

Отмеченные неоднородности распределения физико-химических показателей увязываются в общих чертах с использованной при исследованиях схемой более детального районирования и вместе с тем дают определенные материалы для корректировки схем морфолого-гидрологического районирования в направлении усиления комплексности районирования. Проведение дальнейших исследований в данном направлении представляется актуальным для более правильной организации и постановки наблюдений, обоснования интегральных показателей, характеризующих воздействие биоты на формирование качества воды в разных экологических условиях (на разных участках акватории). Практическое приложение подобных исследований состоит в разработке конкретных рекомендаций по улучшению качества воды на отдельных плёсах или участках водохранилища, особенно подвергающихся антропогенному воздействию. Необходимо также отметить, что задача комплексного акваторирования (т. е. сопряженного учета морфометрических, гидрологических и биологических показателей) может быть удовлетворительно решена только при совместной работе специалистов различных профилей. Проведение исследований на различных типах водохранилищ в разных природных и хозяйственных условиях является особенно актуальным и представит определенный интерес для специалистов различных отраслей народного хозяйства при решении вопросов комплексных исследований водохранилищ страны.

УДК 614.777

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

**Н. М. Гореликова**

Точно охарактеризовать санитарное состояние водоема по биологическим показателям можно лишь при наличии детальных фаунистических данных по основным группам гидробионтов и при учете их количественного распределения. Однако достаточно достоверная картина может быть получена и по одной группе животных, если она дается высококвалифицированными специалистами. Такую оценку некоторых загрязненных рек Латвии дали О. Л. Качалова, Э. А. Пареле [3] по моллюскам и олигохетам. На возможность использования численного соотношения личинок трех основных подсемейств хирономид в качестве показателя степени загрязнения рек указывает Е. В. Балушкина [1] и соотношения количества нематод двух различных подклассов — С. Я. Цалолихин [10].

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе имеется много примеров отрицательного влияния загрязнений на бентос водохранилищ. Основным показателем при оценке воздействия загрязнения является разница в видовом составе и количествен-

ном развитии основных групп бентоса на загрязняемом и незагрязняемом участках. При этом следует учитывать, что видовой состав донной фауны водохранилищ разных регионов неодинаков, различаются также и количественные показатели. Поэтому получаются несравнимые результаты, что затрудняет выработку единых систем оценки качества воды по биологическим показателям.

Исторически сложилось так, что различные системы показательных организмов, индексы и коэффициенты биологической оценки качества воды разрабатывались в основном применительно к рекам и озерам [11, 12, 14]. В настоящее время эти показатели используются, усовершенствуются или вводятся новые применительно в основном к речной фауне [1, 3, 4, 8]. До сих пор единичны [7] сведения, насколько возможно применение этих показателей для оценки степени загрязнения водохранилищ, которые сочетают в себе черты проточного и стоячего водоема.

Многолетние исследования бентофауны Воткинского водохранилища свидетельствуют о том, что основной группой макрозообентоса, определяющей его численность и биомассу, являются малощетинковые черви. Учитывая данное обстоятельство, мы взяли за основу биоиндикации прежде всего эту группу животных. При расчетах показателей Карра и Хилтонена по абсолютной численности олигохет и Гутнайта и Уитлея (отношение численности олигохет к общей численности животных) [5], стало очевидно, что при оценке качества воды водохранилищ необходимо использовать численность тубифицид, а не олигохет в целом. В русловых водохранилищах высокая численность реофильных форм из других семейств может привести к искаженным результатам. «Среднее» загрязнение, по нашим данным, должно соответствовать средней численности тубифицид 5000—10 000 экз./м<sup>2</sup>, «тяжелое» — более 10 000 экз./м<sup>2</sup>. При анализе многолетних материалов по средней численности тубифицид в Воткинском водохранилище обнаруживается очень показательная картина. Ежегодно максимальные показатели наблюдаются в верхнем, наиболее загрязняемом районе: в левобережье в г. Перми и в правобережье ниже г. Краснокамска (рисунок).

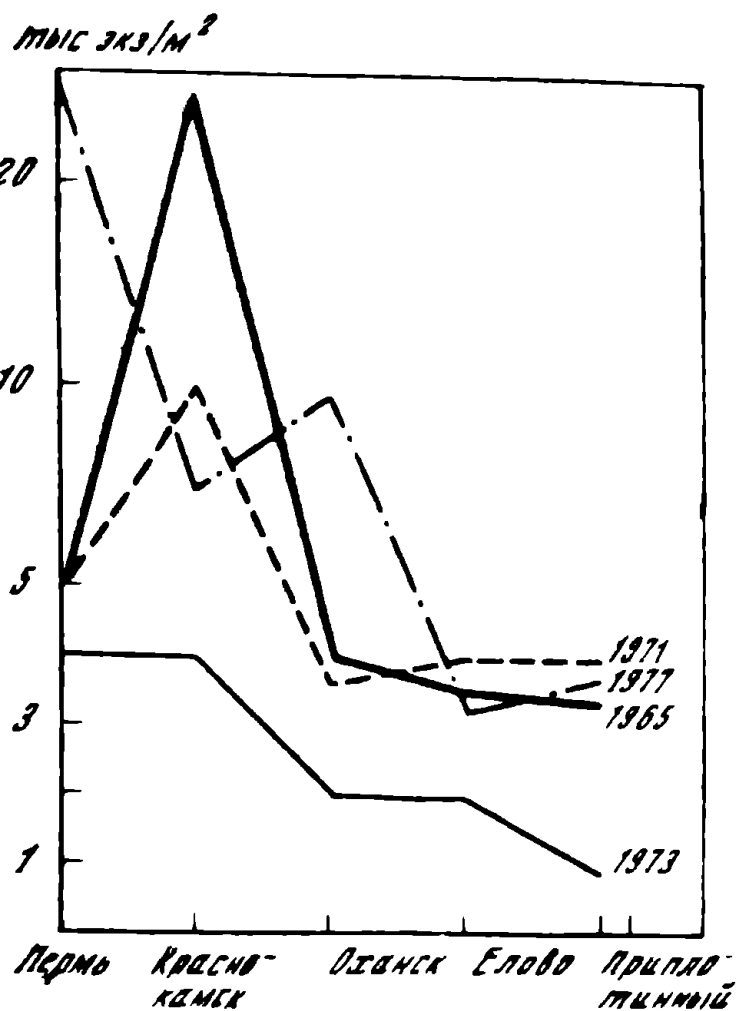
Результаты расчисления индекса  $j$ , представляющего собой отношение численности тубифицид к численности всех животных бентоса, свидетельствуют о том, что наибольшие его значения, характеризующие высокую степень загрязнения, приходятся на верхний район водохранилища (табл. 1). За все годы исследований он не опускался ниже 70%, а в 1965—1967 гг. равнялся 90—97%.

Очень показательным для водоемов с органическим загрязнением является индекс  $i$  Кинга и Балла [5], представляющий собой отношение биомассы личинок насекомых к биомассе олигохет.

Как видно из табл. 2, минимальные значения индекса, соответствующие наибольшему загрязнению, приходятся на район Перми и Краснокамска. Более высокое и относительно стабильное значение имеет этот индекс в приплотинном районе водохранилища, где хозяйственная деятельность человека сказывается слабее, чем в других районах.



Многолетняя динамика средней численности тубифицид в Воткинском водохранилище (май—октябрь)



Э. А. Пареле [6], изучавшая малощетинковых червей рек Даугава и Лиелупе, предлагает индекс  $D_2$ , который равен отношению численности тубифицид к общей численности олигохет. При сильном загрязнении значения индекса лежат в пределах 0,8—1,0. В этом случае фауна олигохет представлена почти или исключительно одними тубифицидами. В Воткинском водохранилище в первый год его образования, когда большому разнообразию биотопов соответствовало видовое богатство фауны малощетинковых червей, этот индекс имел довольно низкие значения (0,1—0,5) и в какой-то мере мог служить показателем загрязнения в верхнем и центральном районах водохранилища. Для низовья уже в первый год данный индекс являлся показателем не загрязнения, а заиления грунтов. В 1965 г. значения индекса  $D_2$  по всему водохранилищу приблизились к 1 (0,7—0,9), а в 1973 г. они стали равны единице. Следовательно,  $D_2$ , как показатель загрязнения применим только к водотокам и не может быть использован для оценки качества воды в водохранилищах, где фауна олигохет представлена в основном тубифицидами.

Высокая экологическая пластичность многих видов малощетинковых червей не позволяет выявить отношение отдельных видов к той или иной степени загрязнения. Для конкретного водоема иногда может быть установлена такая зависимость, но в разных водоемах один и тот же вид обитает в различных условиях. В связи с этим большинство исследователей склонны считать, что при современной слабой изученности экологии малощетинковых червей показателей загрязнения является не наличие или отсутствие конкретного вида олигохет, а размеры его популяции [9].

В Воткинском водохранилище в зонах локального загрязнения доминируют два вида: *Limnodrilus udekemianus* Clap и *Tubifex tubifex* (Müll.).

Максимальных размеров популяции доминирующих видов достигли в 1965 г., т. е. на второй год проектного заполнения водохранилища, когда образовавшийся в верхнем районе подпор воды обусловил отложение массы целлюлозы в зоне поступления слоков бумкомбината (табл. 3). Принятие некоторых мер (установка волокнуловителей) способствовало уменьшению отложений органических наносов, что незамедлительно отразилось на численности тубифицид-доминантов. К 1973 г. размеры их популяций сократились



**Таблица 1**  
**Многолетние изменения индекса / в разных районах Воткинского водохранилища**

Район водохранилища	1964	1965	1967	1969	1971	1973	1977
Верхний	72,0	91,0	97,0	93,0	85,0	70,0	87,0
Центральный	57,0	67,0	60,0	57,0	55,0	46,0	58,0
Приплотинный	53,0	74,0	65,0	68,0	75,0	62,0	48,8

**Таблица 2**  
**Изменение по годам индекса / на разных участках Воткинского водохранилища**

Год	Пермь	Краснокамск	Оханск	Елово	Приплотинный
1964	0,02	0,005	0,4	1,1	0,7
1965	0,0003	0,001	0,5	1,1	0,2
1967	0,002	0,005	0,2	0,3	0,1
1969	0,002	0,0001	0,08	0,3	0,1
1971	0,1	0,001	0,1	0,3	0,1
1973	0,1	0,03	0,1	0,3	0,2
1977	0,01	0,02	0,2	0,8	0,3

**Таблица 3**  
**Численность массовых видов олигохет (экз./м<sup>2</sup>) в зоне действия сточных вод КЦБК в разные годы (июль)**

Вид	1964	1965	1969	1971	1973	1977
<i>L. udekemianus</i>	12 600	50 400	21 060	2700	450	2120
<i>T. tubilex</i>	6 000	20 150	16 100	2220	610	5300
Прочие	400	1 900	840	820	60	130
<b>Всего</b>	<b>19 000</b>	<b>72 450</b>	<b>38 000</b>	<b>5740</b>	<b>1120</b>	<b>7550</b>

во много раз. Всякое увеличение количества органического вещества, отлагающегося на грунте, вызывает новую вспышку развития тубифицид. Такое явление наблюдалось в 1977 г. (табл. 3).

Мы попытались применить для оценки качества воды Воткинского водохранилища индекс *K*, предложенный Е. В. Балушкиной [1]. Анализ табл. 4 свидетельствует о том, что значения индекса в разных районах водохранилища не соответствуют действительности. Наиболее загрязненными оказываются приплотинный и централь-

### Значения индекса *K* в разных районах Воткинского водохранилища

Год	Верхний	Центральный	Приплотинный
1962	1,4	1,7	5,2
1963	1,3	1,3	2,6
1964	2,5	2,1	6,1
1965	2,6	3,9	4,1
1967	Отг. нет	Отг. нет	4,7
1969	Отг. нет	3,9	2,0
1971	1,3	4,3	3,0
1973	1,1	5,1	3,2
1977	1,3	4,3	3,9

Таблица 5

### Оценка степени загрязнения Воткинского водохранилища по системе Вудивисса

Год	Верхний	Централь- ный	Приплю- тинный	Год	Верхний	Централь- ный	Приплю- тинный
1962	5	7	6	1969	3	3	3
1963	5	7	6	1971	5	3	3
1964	7	5	4	1973	5	3	3
1965	5	8	6	1977	4	3	3
1967	3	4	2				

Примечание. «1—3»—грязные воды; «4—6»—загрязненные; «7—9»—чистые

ный районы, где отмечены наибольшие значения индекса. Происходит это вследствие того, что фауна хирономид верховья очень бедна. В отдельные годы там совсем не обнаружены, например, ортокладинины, а представители хирономин и таниподин встречались единично. В центральном и приплотинном районах индекс *K* отражает состав фауны хирономид, обусловленный степенью загрязнения грунтов, а не загрязнения вод.

Попытка применить систему Вудивисса [13] для оценки качества воды Воткинского водохранилища также не дала положительных результатов. По нашим данным (табл. 5), эта система не может применяться для оценки качества воды в водохранилище в целом, так как загрязняемый, но наиболее проточный район всегда имеет более разнообразную фауну, чем расположенные ниже районы с замедленным водообменом и однообразными илистыми грунтами. По-видимому, метод Вудивисса может использоваться для оценки качества воды отдельных зон в пределах проточных районов водохранилища.

**Таблица 1**  
**Многолетние изменения индекса / в разных районах Воткинского водохранилища**

Район водохранилища	1964	1965	1967	1969	1971	1973	1977
Верхний	72,0	90,0	97,0	93,0	85,0	70,0	87,0
Центральный	57,0	67,0	60,0	57,0	55,0	46,0	58,0
Приплотинный	53,0	74,0	65,0	68,0	75,0	62,0	48,8

**Таблица 2**  
**Изменение по годам индекса / на разных участках Воткинского водохранилища**

Год	Пермь	Краснокамск	Оханск	Елово	Приплотинный
1934	0,02	0,005	0,4	1,1	0,7
1965	0,0003	0,001	0,5	1,1	0,2
1937	0,002	0,005	0,2	0,3	0,1
1969	0,002	0,0001	0,08	0,3	0,1
1971	0,1	0,001	0,1	0,3	0,1
1973	0,1	0,03	0,1	0,3	0,2
1977	0,01	0,02	0,2	0,8	0,3

**Таблица 3**  
**Численность массовых видов олигохет (экз./м<sup>2</sup>) в зоне действия сточных вод КЦБК в разные годы (июль)**

Вид	1964	1965	1969	1971	1973	1977
<i>L. udekemianus</i>	12 600	50 400	21 060	2700	450	2120
<i>T. tubifex</i>	6 000	20 150	16 100	2220	610	5300
Прочие	400	1 900	840	820	60	130
<b>Всего</b>	<b>19 000</b>	<b>72 450</b>	<b>38 000</b>	<b>5740</b>	<b>1120</b>	<b>7550</b>

во много раз. Всякое увеличение количества органического вещества, отлагающегося на грунте, вызывает новую вспышку развития тубифицид. Такое явление наблюдалось в 1977 г. (табл. 3).

Мы попытались применить для оценки качества воды Воткинского водохранилища индекс *K*, предложенный Е. В. Балускиной [1]. Анализ табл. 4 свидетельствует о том, что значения индекса в разных районах водохранилища не соответствуют действительности. Наиболее загрязненными оказываются приплотинный и централь-

**Таблица 4**  
**Значения индекса *K* в разных районах Воткинского водохранилища**

Год	Верхний	Центральный	Приплотинный
1962	1,4	1,7	5,2
1963	1,3	1,3	2,6
1964	2,5	2,1	6,1
1965	2,6	3,9	4,1
1967	Отг. нет	Отг. нет	4,7
1969	Отг. нет	3,9	2,0
1971	1,3	4,3	3,0
1973	1,1	5,1	3,2
1977	1,3	4,3	3,9

**Таблица 5**  
**Оценка степени загрязнения Воткинского водохранилища по системе Вудивисса**

Год	Верхний	Центральный	Приплотинный	Год	Верхний	Центральный	Приплотинный
1962	5	7	6	1969	3	3	3
1963	5	7	6	1971	5	3	3
1964	7	5	4	1973	5	3	3
1965	5	8	6	1977	4	3	3
1967	3	4	2				

Примечание. «1—3» — грязные воды; «4—6» — загрязненные; «7—9» — чистые

ный районы, где отмечены наибольшие значения индекса. Происходит это вследствие того, что фауна хирономид верховья очень бедна. В отдельные годы там совсем не обнаружены, например, ортокладинины, а представители хирономин и таниподин встречались единично. В центральном и приплотинном районах индекс *K* отражает состав фауны хирономид, обусловленный степенью заиления грунтов, а не загрязнения вод.

Попытка применить систему Вудивисса [13] для оценки качества воды Воткинского водохранилища также не дала положительных результатов. По нашим данным (табл. 5), эта система не может применяться для оценки качества воды в водохранилище в целом, так как загрязняемый, но наиболее проточный район всегда имеет более разнообразную фауну, чем расположенные ниже районы с замедленным водообменом и однообразными илистыми грунтами. По-видимому, метод Вудивисса может использоваться для оценки качества воды отдельных зон в пределах проточных районов водохранилища.

Итак, при биоиндикации воды русловых водохранилищ наиболее достоверные данные, по нашему мнению, могут быть получены при использовании таких показателей, как средняя численность тубифицид, отношение численности тубифицид к общей численности донных животных и отношение биомассы личинок насекомых к биомассе олигохет.

Результаты биологического анализа, полученные при использовании перечисленных показателей, подтверждаются данными химического и бактериологического анализов. Оценка качества воды Воткинского водохранилища по биологическим показателям позволяет классифицировать воды данного водоема как  $\beta$ -мезосапробные с отдельными очагами  $\alpha$ -мезосапробной зоны в верхнем районе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Балушкина Е. В.* Хирономиды как индикаторы степени загрязнения воды.— В кн.: Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Наука, 1976, с. 106—118.
2. *Долгов Г. М., Никитинский Я. Я.* Гидробиологические методы исследования питьевых и сточных вод. М., 1927.
3. *Качалова О. Л., Пареле Э. А.* Олигохеты и моллюски как показатели загрязнения и самоочищения рек.— В кн.: Материалы IV Всесоюз. симпозиума по современным проблемам самоочищения и регулирования качества воды. Таллин, 1972.
4. *Липеровская Е. С.* Гидробиологические индикаторы и их роль в биологической очистке сточных вод.— М., ВИНТИ АН СССР, 1977, с. 169—217. (Итоги науки и техники. Общая экология. Биоценология. Гидробиология; Т. 4).
5. *Макрушин А. В.* Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1974.
6. *Пареле Э. А.* Малощетинковые черви устьевых районов р. Даугавы и Лиелупе, их значение в санитарно-биологической оценке: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Тарту, 1975.
7. *Тодераш И. К.* Хирономиды (Diptera, Chironomidae) водоемов бассейна Днестра и их роль в биологических процессах: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Одесса, 1979.
8. *Финогенова Н. П., Алимов А. Ф.* Оценка степени загрязнения вод по составу донных животных.— В кн.: Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Наука, 1976, с. 95—106.
9. *Финогенова Н. П.* Значение олигохет как индикаторов загрязненных вод.— В кн.: Гидробиологические основы самоочищения вод. Л.: Наука, 1976, с. 51—59.
10. *Цалолихин С. Я.* Свободноживущие нематоды как индикаторы загрязнения пресных вод.— В кн.: Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Наука, 1976, с. 118—122.
11. *Kolkwitz R., Marsson M.* Ökologie der tierischen Saprobien.— Intern. Rev. gesamt. Hydrobiol. und Hydrogr., 1909, Bd. 2, S. 126—152.
12. *Pantle R., Buck H.* Die biologische Überwachung der Jewässer und die Darstellung der Ergebnisse.— Jas- und Wasserfach, 1955, p. 51.
13. *Woodiwiss F. S.* The biological system of stream classification used by the Trent River Board.— Chem. and Ind., 1964, vol. 11, p. 443—447.
14. *Lahner R.* Beziehungen zwischen dem Auftreten von Tubificiden und der Luftorganischen Stoffe im Bodensee.— Intern. Rev. gesamt Hydrobiol., 1964, Bd. 49, N 3, S. 417—454.

## РАЗЛОЖЕНИЕ КЛЕТЧАТКИ В ИВАНЬКОВСКОМ И УГЛИЧСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Т. М. Тимакова

Клетчатка в водоемах играет важную роль в круговороте углерода. Однако в литературе уделено мало внимания процессам ее разложения, а стандартизированные и удобные методы для изучения процессов непосредственно в водоемах отсутствуют.

В августе — октябре 1980 г. были проведены исследования на Иваньковском и Угличском водохранилищах, в которые клетчатка поступает в результате отмирания высшей водной растительности. По значению макрофитов в продуцировании органического вещества Иваньковское и Угличское водохранилища стоят на первом месте в каскаде волжских водохранилищ.

Целью исследований было определить потенциальную способность микрофлоры воды водохранилищ к разрушению клетчатки. Пробы для анализа отбирались в местах, которые обильно зарастали макрофитами.

Для определения потенциальной способности микрофлоры воды минерализовать клетчатку были разработаны и применены новые методы. Об интенсивности этих процессов судили по темновой фиксации углекислоты и по потреблению кислорода на окисление клетчатки.

За исследуемый период температура воды водохранилищ была около 21° в августе, 15° в сентябре и 7° в октябре. Она не оказывала заметного влияния на численность клетчаткоразрушающих микроорганизмов, определяемых нами методом предельных разведений. Их количество в центральной части водоема достигало нескольких сотен, а в зарослях высшей водной растительности — десятков тысяч клеток в 1 мл и превосходило численность клетчатковых бактерий, определенных нами в этом же году в олиготрофных водоемах Карелии на один-два порядка. Максимальная численность отмечалась в обрастаниях высших водных растений и доходила до десятков миллионов в 1 г соскобов с них.

Потенциальная способность микрофлоры воды минерализовать клетчатку сильно зависела от температуры воды. В августе потенциальная активность бактерий, участвующих в разложении клетчатки в воде зарослей и центральной части водохранилища составляла 4,8—1,6 мкг С/л·сут<sup>-1</sup>, что было на порядок выше по сравнению с Карельскими озерами и уменьшалась в сентябре в 2,3 и в октябре в 10 раз. В обрастаниях высшей водной растительности она достигала 363—1003 мкг С/г·сут<sup>-1</sup>, а в октябре, так же как и в воде, уменьшалась на порядок. От общего количества ассимилированной углекислоты всей микрофлорой на долю бактерий, разрушающих клетчатку, приходилось в воде 17%, а в соскобах обрастаний — 29% в августе-сентябре и 10% — в октябре.

Потенциальная способность микрофлоры к окислению клетчатки в воде и обрастаниях водных растений достигала в августе  $0,5 \text{ мг С/л} \cdot \text{сут}^{-1}$  и  $40 \text{ мг С/г} \cdot \text{сут}^{-1}$ , а в сентябре снизилась до  $0,06 \text{ мг С/л} \cdot \text{сут}^{-1}$  в воде и  $15 \text{ мг С/г} \cdot \text{сут}^{-1}$  в соскобах. Несмотря на снижение способности микрофлоры окислять клетчатку в осенние месяцы, ее доля от суммарной деструкции органического вещества и окисления клетчатки в воде оставалась высокой — до 37%, а в обрастаниях макрофитов даже повысилась от 38 в августе до 56% в сентябре, что указывает на повышение роли разложения клетчатки в общих деструкционных процессах в водоеме.

УДК 579.68(28)

## **МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 1979 г.**

**С. И. Кузнецов, В. И. Романенко, В. А. Романенко, Н. С. Карпова**

Микробиологические анализы воды и гидрологические наблюдения, связанные с круговоротом вещества в водохранилище, проводились, как и в предыдущие годы, на 6 стандартных станциях: 1 — бывшее с. Коприно, 2 — у затоп. г. Мологи, 5 — к юго-западу от с. Измайлова, 6 — у затоп. с. Средний Двор, 7 — в центре водохранилища, у затоп. с. Наволок, 9 — к северо-востоку от с. Брейтова. Пробы отбирали два раза в месяц.

По данным Рыбинской гидрометеорологической обсерватории, наибольшее поступление воды в водохранилище ( $9340 \text{ млн. м}^3$ ) произошло в мае (табл. 1), и 15 мая наблюдался максимальный уровень наполнения ( $102,02 \text{ м}$ ), достигший нормального подпорного горизонта. С середины мая началось равномерное падение уровня воды, которое продолжалось до декабря. Максимальная площадь водного зеркала 15 мая равнялась  $4665 \text{ км}^2$ , а к декабрю уменьшилась до  $2925 \text{ км}^2$ . Объем водохранилища в мае достигал  $26,43 \text{ км}^3$ , а к концу года снизился до  $12,84 \text{ км}^3$ .

Всего в водохранилище в 1979 г. поступило  $30,8 \text{ км}^3$  воды, было сброшено через плотину  $37,2 \text{ км}^3$  (табл. 1). Иными словами, с учетом испарения воды с поверхности водного зеркала, водный баланс был отрицательным и равнялся  $-8,12 \text{ км}^3$ . В этом году водохранилище вскрылось от льда поздно и первый рейс был проведен 22 мая.

Температура воды в середине водохранилища в Шекснинском отроге не превышала  $5-6^\circ \text{С}$ , в то время как волжская вода у Коприна прогрелась до  $14^\circ \text{С}$  (табл. 2).

В начале наблюдался повсеместный прогрев поверхностной воды водохранилища до  $11,4-16^\circ$ . В июле вода прогревалась до  $20^\circ$  и с колебаниями в  $2^\circ$  держалась до середины августа. Затем началось постепенное охлаждение и в середине октября температура воды понизилась до  $4-6^\circ \text{С}$ .



Таблица 1  
Водный баланс Рыбинского водохранилища в 1979 г. млн. м³

Составляющие баланса	Январь	Фев- раль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Ав- густ	Сен- тябрь	Ок- тябрь	Но- ябрь	Дека- брь	Сумма
Приток через угличский гидроузел	497	720	971	3120	2340	372	428	263	174	214	231	295	9621
Приток через шекснинский гидроузел	579	526	379	20	1281	151	50	87	62	342	170	402	4050
Боковая приточность	341	233	289	2261	3660	548	375	386	297	470	441	431	9730
Осадки на водное зеркало	162	87	121	93	140	87	541	161	234	142	127	91	2140
Суммарный приток	1650	1630	1840	7820	9340	1410	1510	980	853	1330	1130	1321	30800
Испарение	—	—	—	—	—	418	419	433	293	156	—	—	1720
Сброс через Рыбинский гидроузел	530	3450	2750	2610	2890	3320	3180	4440	3710	2750	2080	1000	37201

Таблица 2  
Температура поверхностного слоя воды, °С

Станции	Мая	Июль			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь			Средняя	
		Июль		4	Июль		10	Август		21	Сентябрь		18	Октябрь		2		24
		4	19		19	19		7	19		4	18		9,6	6,0			
Коприно	14,4	17,2	17,0	18,8	20,0	19,2	19,0	16,9	12,6	9,6	6,0	15,5						
Молога	11,4	16,0	16,6	18,6	19,4	19,0	18,3	15,2	11,6	8,8	5,2	14,6						
Измайлово	6,0	13,2	15,2	18,3	19,4	18,2	18,8	17,0	15,9	9,2	5,0	15,6						
Ср. Двор	5,0	11,4	14,8	18,0	19,2	18,2	19,0	17,4	12,8	9,4	5,0	13,6						
Наволоки	8,2	12,0	14,8	18,2	19,0	18,4	18,4	16,8	12,0	9,2	4,0	13,7						
Брейтово	9,4	16,0	15,0	18,2	19,0	18,4	19,0	17,0	12,0	9,2	4,8	14,4						
Средняя	9,1	14,3	15,6	18,4	19,3	18,6	18,8	16,7	12,8	9,2	5,0	—						

$$\bar{X} = 962,1:66 = 14,57$$

Прозрачность воды по диску Секки колебалась от 60 до 170 см, а в среднем по всем станциям составляла 107 см. Наибольшая прозрачность воды в мае-июне у Среднего Двора была 150 см, и в районе с. Брейтова в июле-августе 150—170 см. Наименьшая прозрачность, связанная с взмучиванием донных осадков, наблюдалась в начале и конце октября (табл. 3).

Как обычно, максимальная электропроводность воды была в мае в средней части водохранилища, до ее перемешивания с паводочными водами. Полное перемешивание воды в водохранилище в 1979 г. практически произошло в начале июля при электропроводности равной, 166—170 мкСм на 1 см<sup>2</sup> (табл. 4), при содержании карбонатов от 15 до 25,9 мг С/л (табл. 5).

Определение суточной величины фотосинтеза производилось по методу Романенко [4]. В интегрированную по глубине пробу воды добавляли раствор  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  с активностью по счетчику Гейгера  $1 \cdot 10^6$  имп в мин. Пробы экспонировались 1 час в люминостате при постоянном освещении 2500 лк. Продукция органического вещества выражалась в мкг С·час<sup>-1</sup>. На первой станции у Коприна, кроме того определялась суточная величина фотосинтеза в пробе воды того же образца, который экспонировался при стандартных условиях, в аквариуме на палубе экспедиционного судна при естественном освещении. Для всех остальных пунктов продукция за сутки была рассчитана путем умножения результатов, полученных в люминостате, на коэффициент. Последний получался путем деления величины фотосинтеза в суточной пробе воды со ст. 1, на фотосинтез той же пробы воды в люминостате и изменялся в течение лета от 3 до 20 (табл. 6).

Продукция фитопланктона под 1 м<sup>2</sup> поверхности воды рассчитывалась по формуле:

$$\Phi_{\text{м}} = \Phi_{\text{л}} \cdot 0,7 \cdot 3l \cdot 1000 \text{ С/л} \cdot \text{сутки}^{-1},$$

где  $\Phi_{\text{м}}$  — суточная величина фотосинтеза под 1 м<sup>2</sup>;  $\Phi_{\text{л}}$  — величина фотосинтеза в интегрированной пробе воды в мг С/л·сутки<sup>-1</sup>, 0,7 — коэффициент соотношения между прозрачностью воды и фотосинтезом под 1 м<sup>2</sup> поверхности, 3l — расстояние до тройной прозрачности воды по диску Секки в м, 1000 — переход от 1 л воды к м<sup>3</sup>.

Если принять, что интенсивность фотосинтеза в стандартных условиях при 2500 лк пропорциональна количеству живого фитопланктона, то по данным табл. 7 можно судить о его распределении по акватории водохранилища.

В мае фитопланктон развивался в районе затопленного г. Мологи, где смешиваются волжские и моложские воды. Далее сильное развитие наблюдалось по всей акватории в июне—августе, а в июле наблюдался спад; еще больший спад произошел в сентябре—начале октября. При идентичном колебании уровня воды в 1975 и 1979 г. развитие фитопланктона в последнем случае было обильнее. Всего за сезон наблюдалось два максимума первичной продукции органического вещества фитопланктона (в начале июня и в первой декаде августа). В августе в отдельных пробах воды интенсивность

Таблица 3  
Прозрачность воды по диску Секки, см

Станции	Май	Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
		4		10		7		4		2		
		122	19	10	19	7	121	4	18	2	24	
Коприно	100	80	120	100	120	100	120	120	120	90	140	110
Молога	100	80	100	120	120	90	130	110	130	70	120	106
Измайлово	110	110	60	140	130	60	100	110	106	70	90	99
Ср. Двор	150	100	100	130	150	60	110	100	140	70	50	105
Наволоч	120	70	110	150	130	60	150	120	130	50	50	104
Брейтово	100	90	100	140	170	100	150	140	120	70	90	115
Средняя	113	88	99	130	136	78	126	117	124	70	90	—

$$\bar{X} = 7036:66 = 106,6$$

Таблица 4  
Электропроводность воды, мкс/см

Станции	Май	Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
		4	19	10	19	7	21	4	18	2	24	
Коприно	138	146	159	147	150	160	163	173	173	189	211	164,5
Молога	168	175	172	166	164	162	161	162	165	172	186	168,5
Измайлово	202	176	172	170	168	166	155	159	168	172	174	171,1
Ср. Двор	199	183	169	168	164	161	164	190	161	161	163	171,4
Наволоч	197	186	179	169	172	166	169	164	164	161	173	172,7
Брейтово	167	148	181	169	174	169	174	167	168	173	141	168,5
Средняя	178,5	169	172	165	165	164	164	169	167	172	175	—

$$\bar{X} = 11160:66 = 169,1$$

Таблица 5  
Содержание карбонатов в воде, мг С/л

Станция	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
	22	4	19	10	19	7	21	4	18	2	24		
Коприно	17,4	17,0	19,7	18,0	15,8	19,7	21,6	23,4	23,4	20,4	32,1	20,8	
Молога	18,9	18,9	19,7	16,8	10,8	21,1	19,2	18,0	19,8	14,6	25,9	18,5	
Измайлово	23,0	18,0	18,9	17,4	18,6	19,9	17,3	18,6	24,1	15,4	25,8	19,7	
Ср. Двор	22,0	14,5	16,0	17,7	14,4	15,8	21,1	24,0	23,4	18,2	26,9	19,5	
Наволоч	21,8	18,2	21,8	16,8	14,4	19,5	20,0	17,4	24,0	16,8	26,4	19,7	
Брейтово	19,9	13,7	19,7	18,5	16,2	19,5	19,9	12,2	30,0	12,0	18,2	18,2	
Средняя	20,5	16,7	19,3	17,5	15,0	16,1	19,3	18,9	24,1	16,2	25,9	—	

$\bar{X}=1279,8:66=19,39$

Таблица 6  
Соотношение суточных и часовых величин интенсивности фотосинтеза фитопланктона на ст. Коприно

Параметры	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
	22	4	19	10	19	7	21	4	18	2	24	
Суточная величина, мкг С/л	70	240	80	19	31	258	186	8	10	9	43	
Часовая величина при 2500 лк, мкг С/л	6,37	12,5	10,6	2,39	2,05	12,8	15,1	2,37	3,42	1,02	7,62	
Соотношение	10,9	19,2	7,55	7,95	15,1	20,2	12,3	3,38	2,92	8,82	5,64	

$\bar{X}=954:76,24=12,5$

Таблица 7  
Интенсивность фотосинтеза фитопланктона при постоянном освещении 2500 лк, мкг С/л·час<sup>-1</sup>

Станция	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
	22	4	19	10	19	7	21	4	18	2	24		
Коприно	6,37	12,5	10,6	2,39	2,05	12,8	15,1	2,37	3,42	1,02	7,62	6,93	
Молога	20,4	18,4	11,3	1,97	2,75	24,2	14,6	9,86	3,32	3,25	17,5	11,6	
Измайлово	7,31	11,9	12,1	3,78	1,67	17,9	17,7	15,8	4,26	2,60	7,58	9,33	
Ср. Двор	2,10	20,1	17,8	7,37	2,66	9,79	11,8	6,69	3,48	4,00	3,03	8,07	
Наволоч	7,24	13,6	8,76	3,34	3,65	26,9	11,7	2,76	4,95	4,22	3,89	8,27	
Брейтово	13,5	13,2	5,61	4,14	6,48	18,2	9,88	2,01	6,15	0,53	5,85	7,78	
Средняя	9,49	15,0	11,0	3,83	3,21	18,3	13,5	6,58	4,26	2,60	7,58	—	

$\bar{X}=571,77:66=8,66$

Таблица 8  
Интенсивность фотосинтеза фитопланктона, мг С/л·сутки<sup>-1</sup>

Станции	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
	22	Июнь		24	10	7	21	4	18	2	24		
		4	19										
Коприно	0,070	0,240	0,080	0,019	0,031	0,258	0,186	0,008	0,010	0,009	0,043	0,087	
Молога	0,222	0,353	0,085	0,016	0,042	0,489	0,179	0,033	0,010	0,029	0,099	0,142	
Измайлово	0,079	0,228	0,091	0,030	0,025	0,362	0,218	0,053	0,012	0,023	0,043	0,106	
Ср. Двор	0,023	0,386	0,134	0,059	0,040	0,198	0,145	0,023	0,010	0,035	0,017	0,097	
Наволоч	0,079	0,251	0,036	0,027	0,055	0,543	0,143	0,009	0,014	0,037	0,022	0,114	
Брейтово	0,117	0,253	0,042	0,033	0,098	0,368	0,122	0,007	0,018	0,05	0,033	0,102	
Средняя	0,103	0,287	0,083	0,031	0,049	0,370	0,166	0,022	0,012	0,023	0,043	—	

$\bar{X}=7,128:66=0,108$

фотосинтеза достигла  $0,543 \text{ мг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$ , что является большой величиной для мезотрофных водоемов. Минимальные величины отмечены в конце сентября, а в октябре интенсивность фотосинтеза возросла (табл. 8).

Интенсивность деструкции органического вещества в водохранилище в летний период определялась по снижению содержания кислорода в изолированном объеме воды при инкубации ее в течение суток в темноте при температуре водоема. Анализы производились в интегрированных пробах по глубине евфотической зоны и пересчитывались на весь столб воды до дна водоема. Пересчет от потребленного кислорода на углерод проводили путем умножения на коэффициент  $K = 0,375 \times 0,9$ , где 0,9 — принятый нами дыхательный коэффициент, 0,375 — теоретическая величина соотношения между потребленным кислородом и выделенной углекислотой.

Наибольшая суточная интенсивность деструкции органического вещества (табл. 9) была отмечена 21 августа в районе Измайлова —  $0,423 \text{ мг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$ , и у бывшего г. Мологи —  $0,324 \text{ мг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

Наиболее слабо органическое вещество разрушалось в начале октября, когда температура воды понизилась примерно до  $9^\circ \text{C}$ , и вновь несколько усилилась в штормовую погоду в конце октября. За весь вегетационный период в водной массе водохранилища деструкции подвергалось 342 000 т С органического вещества, или 85 г на  $1 \text{ м}^2$ .

Анализ общей численности бактерий проводился путем их учета на мембранных фильтрах по методу А. С. Разумова (табл. 10). 1979 г. был годом с нормальным уровнем режимом после 1978 г., в котором уровень воды весь летний период почти не изменялся (рис. 1). Общее число бактерий в 1979 г. в среднем равнялось 1,33 млн. в 1 мл и было почти на 380 тыс. меньше, чем в предыдущем многоводном году, когда оно в среднем достигло 1,71 млн. в 1 мл. Максимальные количества бактерий были отмечены во вторую половину лета, начиная с 21 августа и все же не превышали 1,6 млн в 1 мл. Лишь поздней осенью, в конце октября, в открытой части водохранилища в связи с штормовой погодой в 1 мл было отмечено 3,08 млн. бактерий. Таким образом, в 1979 г. общая численность бактерий в воде водохранилища была ниже, чем за многие предыдущие годы.

Количественно темновая ассимиляция углекислоты складывается из автотрофной ассимиляции в процессе хемосинтеза и гетеротрофной — в реакциях Вуда — Веркмана. Чаще всего ассимиляция в процессе гетеротрофных реакций настолько доминирует, что получаемые величины мы полностью относим за счет гетеротрофных микроорганизмов. В 1979 г. наименьшие величины темновой ассимиляции были отмечены в начале октября на ст. Коприно —  $0,22$  и наибольшие в августе на ст. зат. г. Молога —  $19,5 \text{ мкг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

В этом отношении 1979 г. оказался из ряда вон выходящим по сравнению с предыдущими годами. При содержании бактерий  $1,33 \text{ млрд./л}$  средняя ассимиляция  $\text{CO}_2$  равнялась  $3,35 \text{ мкг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$  (табл. 11). Даже средние величины по всем станциям в

Таблица 9  
Деструкция органического вещества в воде, мг С/л·сутки<sup>-1</sup> при дыхательном К=0,9

Стации	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
	22	4	19	10	19	7	21	4	18	2	24		
Коприно	0,027	0,103	0,205	0,069	0,099	0,030	0,098	0,049	0,035	0,010	0,116	0,076	
Молога	0,101	0,010	0,072	0,020	0,149	0,099	0,324	0,128	0,048	0,022	0,093	0,097	
Измайлово	0,059	0,047	0,093	0,059	0,091	0,059	0,423	0,275	0,044	0,022	0,091	0,116	
Ср. Двор	0,037	0,123	0,093	0,059	0,020	0,046	0,098	0,108	0,040	0,025	0,089	0,067	
Наволоч	0,035	0,123	0,154	0,059	0,079	0,010	0,148	0,079	0,037	0,044	0,090	0,078	
Брейтово	0,186	0,021	0,103	0,050	0,099	0,030	0,098	0,059	0,040	0,019	0,079	0,071	
Средняя	0,074	0,071	0,120	0,053	0,091	0,046	0,198	0,116	0,041	0,024	0,091	—	

$\bar{X}=5,561:66=0,084$

Таблица 10  
Общее количество бактерий в воде, млн./мл и время их удвоения

Стации	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
	22	4	19	10	19	7	21	4	18	2	24		
Коприно	1,36	1,46	1,58	0,79	1,53	0,97	1,71	1,73	1,41	2,46	1,07	1,46	
Молога	1,23	1,11	0,98	1,00	1,38	1,60	1,24	1,18	1,55	1,60	1,51	1,31	
Измайлово	1,06	0,78	1,35	1,02	0,89	1,45	1,61	1,98	1,24	1,24	1,24	1,26	
Ср Двор	0,76	0,77	1,00	1,00	1,04	1,20	1,33	1,15	1,59	0,86	1,60	1,12	
Наволоч	1,66	1,24	0,92	0,69	0,87	1,46	1,12	1,51	1,27	2,12	3,08	1,45	
Брейтово	1,06	1,37	1,12	1,20	0,85	1,08	1,24	1,55	1,46	1,73	2,40	1,57	
Средняя	1,19	1,12	1,16	0,95	1,09	1,29	1,38	1,52	1,42	1,67	1,82	—	
Время удвоения количества бактерий, час.	37,1	46,1	52,9	15,3	27,3	10,3	11,2	45,0	67,9	129	45,6	—	

$\bar{X}=87,61:66=1,33$



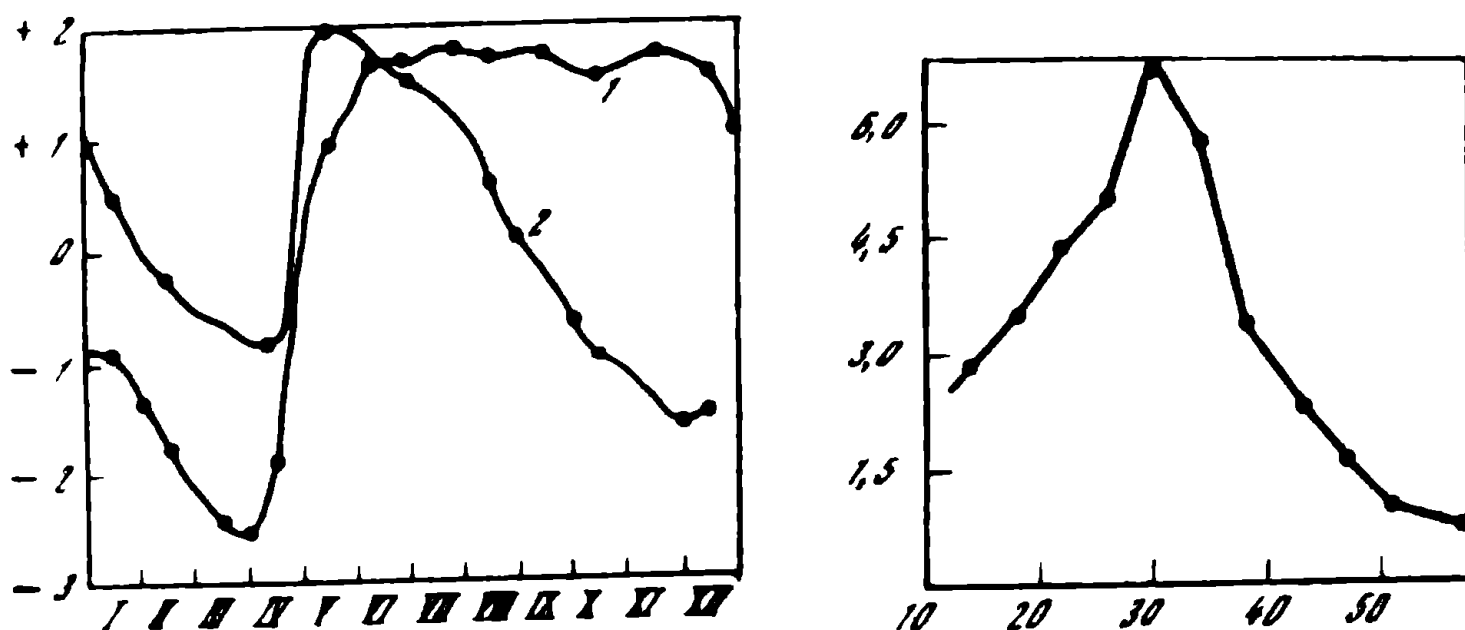


Рис. 1. Изменение уровня воды в Рыбинском водохранилище 1978 (1) и 1979 гг. (2)

По оси ординат — уровень воды в относительных единицах по отношению к НПГ, по оси абсцисс — месяцы

Рис. 2. Температурный оптимум развития бактериопланктона

По оси ординат — гетеротрофная ассимиляция  $\text{CO}_2$ ,  $\text{мкг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$ , по оси абсцисс — температура  $^{\circ}\text{C}$

августе достигали  $10,6\text{—}11,7 \text{ мкг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$ , хотя за другие месяцы они не превышали нормы.

Как известно, в чистых культурах гетеротрофных бактерий и в поверхностных слоях воды, где мало хемосинтезирующих бактерий на 1 мг кислорода, потребленного микроорганизмами в процессе дыхания ассимилируется около 7 мкг углерода углекислоты, в то время как у хемосинтезирующих бактерий это соотношение во много раз больше [3]. В 1979 г. это соотношение в Рыбинском водохранилище равнялось 13,4, что свидетельствовало о том, что в темновой ассимиляции  $\text{CO}_2$  в какой-то мере участвовали и хемосинтезирующие бактерии.

Исходя из численности бактерий, была рассчитана их биомасса в мкг С на 1 л. Принято, что средний объем одной бактерии равен  $0,5 \text{ мкм}^3$ , влажность 850, а содержание углерода в сухой биомассе равно 50%.

Продукция бактериальной биомассы определялась радиоуглеродным методом [1], исходя из того, что за одни сутки темновая ассимиляция углекислоты составляет 6% от продукции бактериальной биомассы. В течение вегетационного периода продукция биомассы бактерий в отдельные периоды и по отдельным станциям колебалась от 10 до  $324 \text{ мкг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$  (табл. 12). Последняя цифра относится к району устья Мологи и может быть несколько завышена, так как здесь идут процессы анаэробного распада ила с выделением метана. Как показал Ю. И. Сорокин [5], при окислении метана гетеротрофная ассимиляция  $\text{CO}_2$  может достигать 30% от биомассы бактерий и, следовательно, исходя из этой величины, продукция биомассы должна быть несколько снижена. Учитывая небольшую численность бактерий в 1979 г., следует отметить,

Таблица 11  
Гетеротрофная ассимиляция CO<sub>2</sub> в воде, мкг С/л·сутки<sup>-1</sup>

Станции	Мав		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
	22		4		10		7		4		2		
			19		19		21		18		24		
Коприно	0,56	1,26	0,74	4,86	2,08	9,50	10,7	0,56	0,72	0,22	2,41	3,06	
Молога	2,09	1,45	1,16	2,28	0,82	17,8	19,5	2,12	0,99	0,45	1,93	4,59	
Измайлово	1,23	0,76	1,54	3,99	1,55	9,81	8,58	2,26	0,91	0,45	1,94	3,00	
Ср. Двор	0,77	1,06	1,20	5,38	1,36	5,33	6,45	3,16	0,82	0,51	1,85	2,54	
Наволоч	0,74	0,81	0,60	2,52	1,71	18,2	11,7	0,52	0,77	0,91	1,86	3,67	
Брейтово	3,85	0,77	0,67	6,20	2,86	9,52	6,99	1,20	1,24	0,39	1,63	3,22	
Средняя	1,54	1,02	0,98	4,21	1,73	11,7	10,6	1,64	0,91	0,49	1,94	—	

$$\bar{X}=220,87:66=3,35$$

Таблица 12  
Продукция бактериальной биомассы в воде, мкг С/л·сутки<sup>-1</sup>

Станции	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Средняя
	22	4	19	10	19	7	21	4	18	2	24		
Коприно	9,29	20,9	12,3	80,6	34,5	158	178	9,29	11,9	3,65	40,0	50,8	
Молога	34,7	24,1	19,2	37,8	13,6	295	324	35,2	16,4	7,47	32,0	76,3	
Измайлово	20,4	12,6	25,6	66,2	25,7	163	142	37,5	15,1	7,47	32,2	49,8	
Ср. Двор	12,8	17,6	19,9	88,3	22,5	88,5	107	52,5	13,6	8,47	30,7	41,9	
Наволоч	12,3	13,4	9,96	41,8	28,4	302	194	8,63	12,8	15,1	30,8	60,8	
Брейтово	63,9	12,8	11,1	103,0	47,5	160	116	19,9	20,6	6,47	27,1	53,5	
Средняя	25,6	16,9	16,3	69,9	28,7	194	176	27,2	15,1	8,11	32,1	—	

$$\bar{X}=3664,9:66=55,5$$

что продукция бактериальной биомассы была высокой и в среднем равнялась  $50,9 \text{ мкг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$ , что вдвое превышает продукцию бактерий в 1975 г. [2], которая была равна  $25,2 \text{ мкг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

Исходя из данных биомассы бактерий и их продукции, было рассчитано время удвоения ( $D$ ) числа бактерий (табл. 10). Биомасса бактерий рассчитывалась из их численности, а ее прирост ( $P_c$ ) за время опыта ( $t$ ) по гетеротрофной ассимиляции:

$$D = \frac{t \cdot \lg^2}{\lg(b_0 + p_c) - \lg b_0}.$$

В 1979 г. среднее время генерации бактерий по рейсам изменялось от 10,3—11,2 в августе до 129 час в октябре.

Начиная с августа в 6 рейсах в воде со ст. Коприно определялась оптимальная температура развития бактерий. Градиент температур создавался на металлическом стержне длиной 100 и толщиной 10 см, один конец которого подогревался нагретой спиралью, а второй охлаждался водопроводной водой. Пробы воды в пробирках ставились в ячейки-сверления, расположенные по длинной оси стержня. Путем регулирования градиент температур устанавливался от 14 до  $57^\circ \text{C}$ . В каждую пробирку вносили раствор меченного  $^{14}\text{C}$  карбоната натрия с активностью под счетчиком Гейгера  $1 \cdot 6 \cdot 10^6$  имп./мин. После инкубирования в темноте в течение суток пробы фиксировались, профильтровывались через мембранные фильтры и их радиоактивность определялась под счетчиком Гейгера.

В среднем оптимальная температура развития микроорганизмов была равна  $30^\circ \text{C}$ , в двух случаях из 6 она равнялась 34 и в 4 случаях  $30^\circ$  (табл. 13). Это средняя суммарная величина свидетельствует, что в летний период в водохранилище доминируют мезофильные виды микроорганизмов. По мере повышения температуры воды развитие бактерий плавно возрастает, достигает максимума при  $30^\circ \text{C}$  и резко снижается при дальнейшем повышении температуры (рис. 2).

Некоторые бактериальные препараты из водохранилища на мембранных фильтрах после напыления серебром, были просмотрены под сканирующим микроскопом ISM=25S. На фотографии (рис. 3) хорошо видна структура самого фильтра и отдельные бактериальные клетки, на второй фотографии (рис. 4) видна органоминеральная частица с находящимися на ней бактериями, чего нельзя увидеть на просвечивающем микроскопе.

Данные по интенсивности процессов продукции и деструкции органического вещества, хотя и рассчитаны с известными допущениями, позволили сделать пересчет на весь объем водохранилища (табл. 14). В течение летнего периода величина фотосинтеза фитопланктона, за исключением первой половины июня, была меньше деструкции органического вещества в водной массе. Максимальные величины деструкции наблюдались в конце июня — 2999 т С на все водохранилище и в конце августа 4285 т С сутки. Минерализация органического вещества резко упала в конце сентября и в начале октября составляла всего 375 т С в сутки.

Таблица 13

Определение оптимальной температуры развития микроорганизмов  
воды гетеротрофной ассимиляции  $\text{CO}_2$ ,  $\text{мкг С/л} \cdot \text{сутки}^{-1}$

№ ячейки политермо- стата	°C	1 августа	14 августа	20 сеп- тября	5 октября	10 октября	26 октября	Средняя
1	57	—	—	0,8	—	—	—	0,80
2	51	0,02	0,29	1,56	1,82	1,95	1,46	1,18
3	47	0,04	0,02	1,89	2,24	2,10	1,50	1,63
4	43	2,01	2,94	2,29	2,18	2,12	2,37	2,32
5	38	3,51	4,82	4,69	3,30	2,11	1,70	3,36
6	34	<u>9,62</u>	11,3	<u>5,56</u>	3,19	2,23	2,42	5,72
7	30	<u>9,48</u>	<u>14,7</u>	4,55	<u>5,21</u>	<u>3,13</u>	<u>2,85</u>	<u>6,65</u>
8	26	5,56	9,70	4,86	4,01	2,98	2,16	4,88
9	22	2,90	10,4	4,59	3,36	3,37	1,95	4,43
10	18	1,41	6,70	4,31	3,45	3,26	1,75	3,48
11	14	0,30	6,10	3,45	3,03	2,36	1,83	2,84
Температура воды водохранилища в местах отбора проб	—	19,2	19,0	11,6	8,8	8,0	5,2	—

Примечание. Подчеркнутые цифры соответствуют оптимуму развития бактерий.

Продукция бактериальной биомассы, количество образовавшегося органического вещества и подвергшегося деструкции в воде за вегетационный период 1979 г. были определены графическим методом по площадям, ограниченным осью абсцисс и кривыми динамики процесса (рис. 5) за 169 дня:

Площадь за навигационный период	4022 км <sup>2</sup>
Объем » »	21,35 км <sup>3</sup>
Число дней наблюдения	169
Интенсивность фотосинтеза (по $^{14}\text{C}$ )	148 000 т С 36,8 г С/м <sup>2</sup>
То же (валовый)	192 000 т С 47,8 г С/м <sup>2</sup>
Деструкция органического вещества	342 000 85,0
Гетеротрофная ассимиляция $\text{CO}_2$	14 000 3,48
Продукция бактериальной биомассы	171 000 42,5

Сравнивая полученные данные в 1979 г. с нормальным уровнем режимом водохранилища в предыдущем 1978 г. (многоводным), можно отметить, что заметной разницы в фотосинтезе фитопланктона и деструкции органического вещества за эти годы не наблюдалось. Так, фотосинтез в 1979 г. равнялся 148 000 т С, а в 1978 г. — 171 000 т С, деструкция в 1979 г. — 342 000 т С, а в 1978 г. — 324 000 т С на все водохранилище.



Рис. 3. Бактериальные клетки на мембранном фильтре  
 (электронный микроскоп  $\times 10000$ ). Клетки в центре, вокруг — структура мембранного  
 фильтра

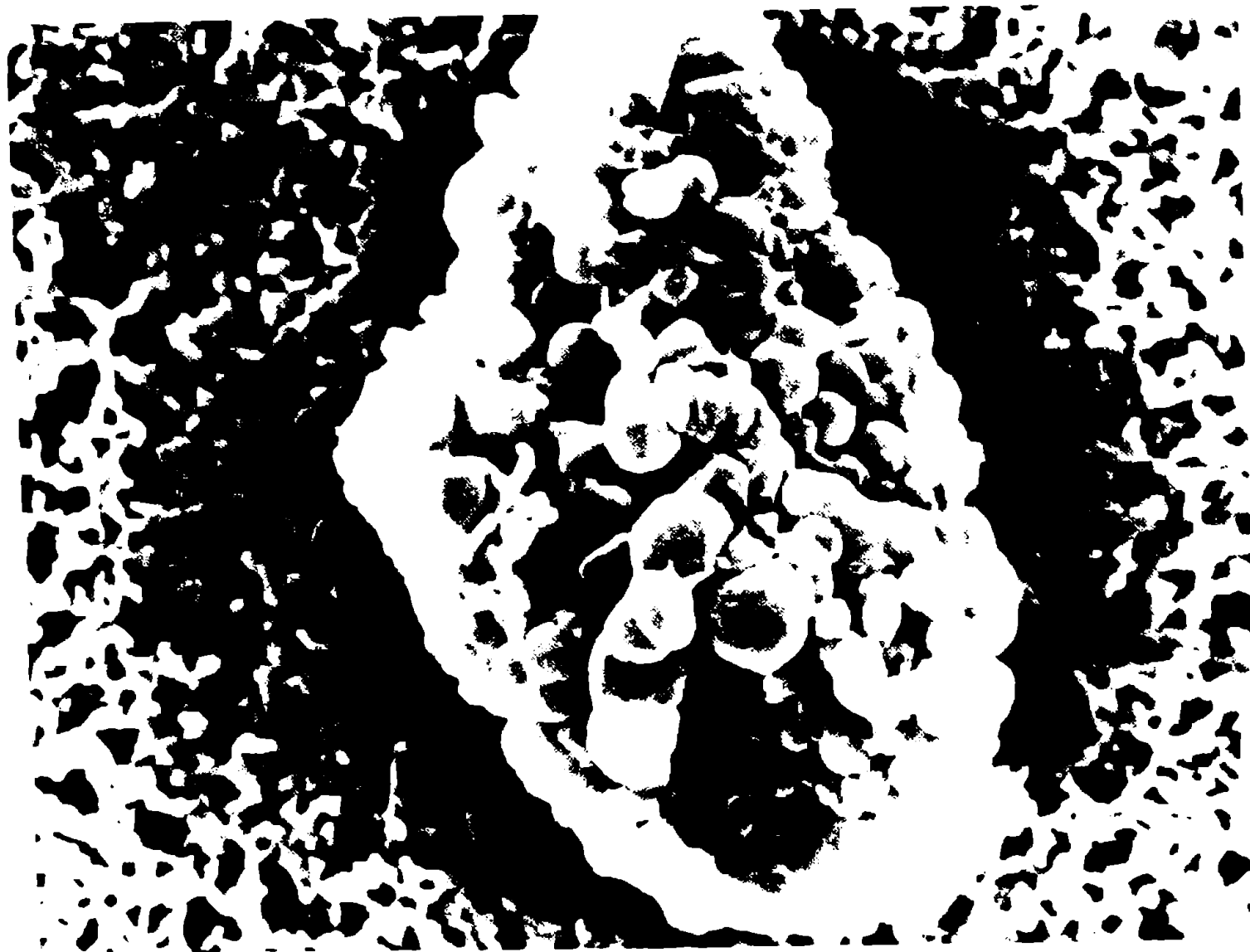


Рис. 4. Организмизация частицы — бактериями на фоне мембранного фильтра  
 (электронный микроскоп  $\times 5000$ )

Таблица 14

Суммарные величины продукции и деструкции органического вещества в Рыбинском водохранилище в 1979 г.

	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
	22	4	19	10	19	7	21	4	18	2	24	
Площадь водного зеркала, · км²	4649	4932	4500	4310	4310	4067	3863	3762	3564	3375	3215	
Интенсивность фотосинтеза, т. С/сутки <sup>-1</sup>	1115	2409	765	345	603	2481	1699	188	93	115	257	
Интенсивность фотосинтеза, г С/м²·сутки <sup>-1</sup>	0,24	0,52	0,17	0,08	0,14	0,61	0,44	0,05	0,027	0,034	0,08	
Объемы воды, км³	26,29	26,14	24,99	23,36	2336	23,37	21,64	18,68	17,03	15,61	14,41	
Ассимиляция СО₂, т С/сутки	40,5	26,7	24,5	98,3	40,4	173	229	10,6	15,5	7,65	27,9	
Продукция бактерий, т С/сутки <sup>-1</sup>	672	443	406	1631	670	2235	3801	508	257	127	463	
Деструкция органического вещества, т С/сутки <sup>-1</sup>	1945	1856	2999	1238	2125	3200	4285	2166	698	375	1355	

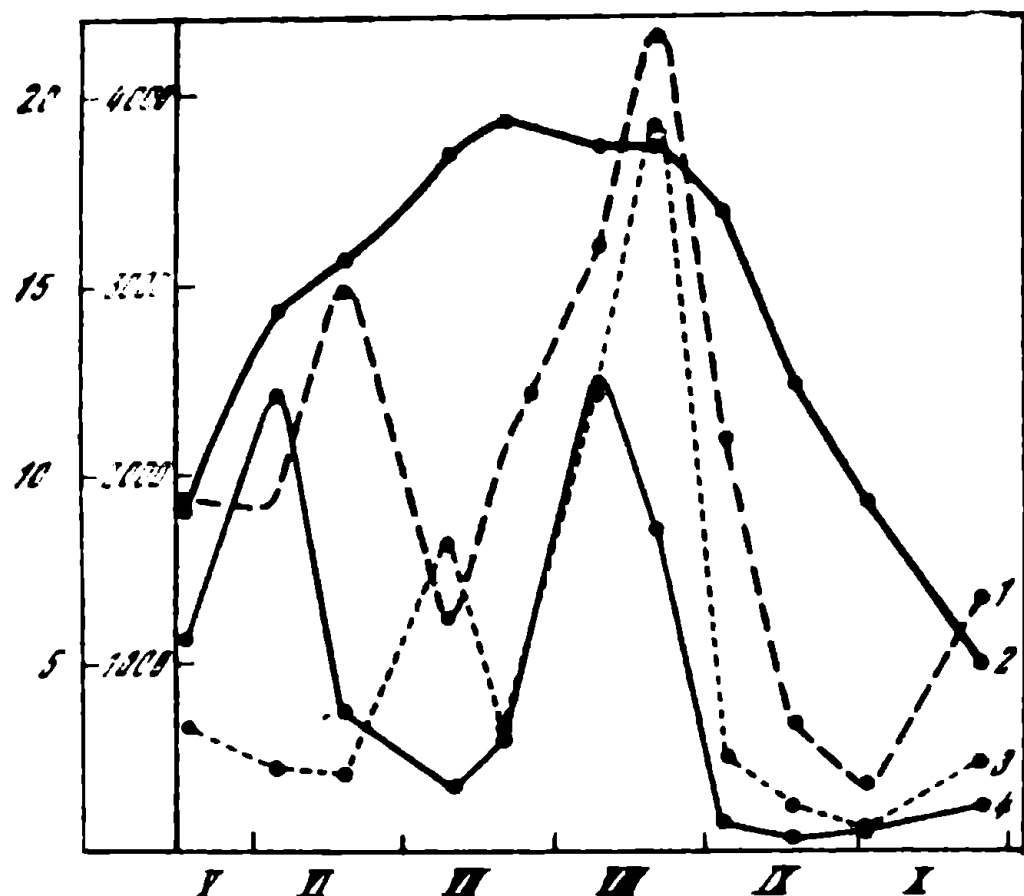


Рис. 5. Динамика биологических процессов в воде в 1979 г. (величины представлены в тоннах в объеме всего водохранилища за сутки)

По оси ординат, слева — температура °С, справа — органическое вещество, т С;  
по оси абсцисс — месяцы;  
1 — деструкция органического вещества;  
2 — температура воды;  
3 — продукция бактериальной биомассы;  
4 — интенсивность фотосинтеза по  $^{14}\text{C}$  (чистая)

Данные по солнечной радиации в районе водохранилища за вегетационный период 1979 г. были любезно представлены Рыбинской гидрометеорологической обсерваторией и пересчитаны нами (в Ккал на  $1\text{ м}^2$  за месяц). Исходя из этого, было рассчитано количество солнечной энергии, использованной фитопланктоном в процессе фотосинтеза (табл. 15).

С мая по октябрь солнечная радиация колебалась от 168 000 до 26 000 Ккал на  $1\text{ м}^2$  за месяц. Из сопоставления этих величин с месячной валовой продукцией фитопланктона, определенной по графику, было рассчитано использование солнечной радиации планктонными водорослями.

В течение летнего периода эффективность использования солнечной энергии во всей толще воды Рыбинского водохранилища колебалась от 0,076 в июле до 0,26% в августе, что зависело от развития фитопланктона и интенсивности фотосинтеза (табл. 15).

Таблица 15

Эффективность использования солнечной энергии фитопланктоном

Показатель	Мая	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Сумма
Суммарная проникающая солнечная энергия, ккал $\text{м}^2/\text{месяц}$	110 000	168 000	120 000	101 000	62 000	26 000	58 600
Валовая продукция фитопланктона, ккал $\text{м}^2/\text{месяц}$	182	218	91,1	292	24,6	32,8	840,5
Эффективность использования водорослями солнечной энергии, %	0,16	0,13	0,076	0,29	0,039	0,13	—

$$\bar{X}=0,14\%$$



## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов С. И., Романенко В. И. Микробиологическое изучение внутренних водоемов.— В кн.: Лабораторное руководство. М.; Л., 1963. 129 с.
2. Кузнецов С. И., Романенко В. И., Карпова Н. С. Характеристика численности бактерий и микробиологические процессы круговорота органического вещества в Рыбинском водохранилище в 1975 г.— В кн.: Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах. Л.: Наука, 1979, с. 5—20.
3. Романенко В. И. О возможности разделения величин хемосинтеза и гетеротрофной ассимиляции  $\text{CO}_2$  при определении их в воде озер с помощью  $^{14}\text{C}$  — Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1971, № 10, с. 23—24.
4. Романенко В. И. Связь между интенсивностью фотосинтеза при равномерном распределении водорослей в толще воды и прозрачностью по диску Секки.— Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1973, № 19, с. 15—19.
5. Сорокин Ю. И. Гетеротрофная ассимиляция углекислоты микроорганизмами.— Журн. общ. биологии, 1961, Т. 22, № 4, с. 265—272.

УДК 579.68(28)

## ИНТЕНСИВНОСТЬ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГИ

А. Н. Дзюбан

Зарегулирование Волги и образование каскада водохранилищ привели к коренному преобразованию ложа реки. Формируются донные отложения водохранилищ с богатым и разнообразным бактериобентосом. Однако если роль бактериопланктона в распаде органического вещества в водоемах общеизвестна, то вклад иловой микрофлоры в эти процессы раскрыт недостаточно.

Для выяснения этих вопросов с 1975 г. нами было начато регулярное изучение интенсивности деструкции органического вещества в донных отложениях водохранилищ Волжского каскада от Ивановского до Волгоградского.

Водоохранилища каскада относятся к единой системе и характеризуются близким уровнем первичной продукции —  $0,4—0,7 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ , что соответствует мезотрофному уровню трофии. Лишь в эвтрофном Ивановском водохранилище первичная продукция более  $1 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ . В то же время они расположены в разных климатических зонах, имеют весьма различные гидролого-гидрохимические характеристики и донные отложения в них различаются по содержанию и составу органического вещества.

В верхневолжских Ивановском и Рыбинском водохранилищах содержание органического вещества достигает на отдельных участках  $16—27 \text{ мг С в } 1 \text{ см}^3$  сырого ила, а в грунтах южных Саратовского и Волгоградского — обычно не превышает  $8—10 \text{ мг С/см}^3$ . Кроме того в каждом водоеме грунты также неоднородны. Пески проточных участков обычно бедны органическими веществами ( $1—2 \text{ мг С/см}^3$ ), грунты приплотинных плёсов и приустьевых заливов притоков содержат максимальное количество органических соеди-

нений. На долю легкогидролизуемых фракций этих соединений приходится от 8 до 20% в зависимости от трофии водоема и типа формирования отложений.

Результаты исследований показали, что интенсивность процессов распада органического вещества в донных отложениях водохранилищ Волжского каскада зависела от запасов и состава этих веществ, а также от температурного режима водоемов. В илах, богатых органическими веществами, среди которых более 15% составляют легкоусвояемые компоненты, микрофлора достигает большой плотности (до 3—5 млрд. кл./см<sup>3</sup>) и активности. В донных отложениях, перегруженных трудноусвояемыми для микроорганизмов соединениями или бедных по общему содержанию органики, численность бактерий и ее активность значительно ниже.

В летний период за счет аэробных процессов на 1 м<sup>2</sup> площади дна минерализуется за сутки от 10 мг С в промытых песках речных участков до 260 мг С в водорослевых илах эвтрофируемых участков. Различия в интенсивности минерализации органических веществ, рассчитанной в среднем на всю площадь дна отдельных водоемов, оказались невелики. Максимальной она была в илах эвтрофного Иваньковского и Волгоградского водохранилищ, а минимальной — в грунтах малопродуктивных Рыбинского и Саратовского.

Помимо распада органического вещества с участием кислорода, почти повсеместно, за исключением речных участков, нами был отмечен анаэробный распад. Однако масштабы этого процесса как в различных отложениях, так и в илах отдельных водоемов резко различались. В проточных участках с хорошей аэрацией придонных слоев воды анаэробная деструкция не превышала 10—40 мг С/м<sup>2</sup>. В богатых органическими веществами илах некоторых заливов, как в Шошинском на Иваньковском водохранилище или ниже г. Казани, где наблюдалась кислородная стратификация водной толщи, анаэробная деструкция достигала 300—800 мг С/м<sup>2</sup>·сут<sup>-1</sup>.

Сравнение отдельных водоемов каскада в целом выявило определенную закономерность: количество органических веществ, подвергающихся в грунтах анаэробному распаду неуклонно уменьшается от Иваньковского водохранилища к Волгоградскому. Изменяется и соотношение двух потоков распада. В евтрофном Иваньковском водохранилище большая часть органических соединений илов разрушается за счет анаэробных процессов. В средневолжских оба потока деструкции примерно равнозначны, в грунтах водохранилищ Нижней Волги (Саратовском и Волгоградском) резко превалируют аэробные процессы минерализации (таблица).

В сумме за счет аэробных и анаэробных процессов в отложениях волжских водохранилищ разрушалось в среднем на всю площадь водоема от 140 до 380 мг С/м<sup>2</sup>·сут<sup>-1</sup> органических соединений. Доля участия донных отложений в общем круговороте органического вещества была различной и в значительной степени определялась глубиной водоемов. В евтрофном Иваньковском водохранилище из-за слабого прогрева воды и малой глубины детрит не успевает

**Деструкция органического вещества в грунтах водохранилищ,  
мг С/м<sup>2</sup>·сутки<sup>-1</sup>**

Водохранилище	Средняя глубина, м	Деструкция в грунтах			
		аэробная	анаэробная	суммарная	% от общей деструкции в водоеме
Иваньковское	3,4	170	210	380	28
Рыбинское	5,7	110	90	200	20
Горьковское	5,5	160	120	280	19
Куйбышевское	8,9	130	110	240	12
Саратовское	7,3	100	40	140	11
Волгоградское	10,1	210	40	250	14

минерализоваться в водной толще и илы обогащаются легкоусвояемым органическим веществом. Здесь на долю процессов, протекающих в отложениях, приходится до 30% от общей деструкции в воде и грунтах. В других водоемах каскада по мере продвижения к югу увеличиваются средняя глубина, прогрев воды, длительность вегетационного периода. Это способствует активизации бактериопланктона, и доля грунтов в общей деструкции снижается до 11—14%.

Таким образом, деструкционные процессы в донных отложениях водохранилищ Волги, осуществляемые в основном бактериями, являются составным звеном общего круговорота органических веществ и играют важную роль в мобилизации трудноусвояемых органических соединений, накапливающихся на дне водоемов.

УДК 574.68(28)+574.583(28)

## **БАКТЕРИОПЛАНКТОН ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**В. В. Донецкая**

В последние годы уделяется большое внимание исследованиям природных ресурсов, сохранению и улучшению окружающей среды. Применительно к внутренним водоемам, в частности, водохранилищам, ставятся задачи рационализации их освоения как рыбохозяйственных угодий и источников водоснабжения. Обе эти задачи взаимосвязаны и их решение невозможно без углубленных исследований экосистем водохранилищ, одним из основных компонентов которых является бактериопланктон.

Наши работы по изучению бактериопланктона выполнены на Волгоградском водохранилище с 1967 по 1975 г. Проведено 40 маршрутных съемок и отобрано около 1800 проб воды.

Согласно данным наших исследований, средняя численность бактерий в воде 2,3 млн. кл./мл, биомасса — 1,5 г/м<sup>3</sup>, что характерно для водоемов мезотрофного типа.

В большинстве случаев разница в численности бактерий в различных участках водохранилища была незначительной, что обуславливается интенсивным перемешиванием воды и равномерным распределением в ней питательных веществ. Прослеживается некоторая тенденция к увеличению численности бактерий в прибрежье и придонном слое. Более высокое количество бактерий в мелководьях по сравнению с открытой частью водохранилища отмечалось в многоводные годы.

Количественные изменения бактериопланктона в течение вегетационного периода определяются сложным комплексом биотических и абиотических факторов. Первостепенное значение имеют поступление растворенного органического вещества в водоем, его продуцирование фитопланктоном и численность зоопланктонтов, питающихся микроорганизмами. Коэффициент корреляции общего числа бактерий с величиной перманганатной окисляемости летом 1967—1975 гг. равнялся 0,55 ( $p \geq 0,05$ ). Существенное влияние на количество бактерий в воде оказывает и температура. Однако действие этого фактора на бактериопланктон может проявляться только при благоприятных трофологических условиях. Коэффициент корреляции температуры с численностью бактерий летом 1967—1975 гг. равнялся 0,19 ( $p \geq 0,01$ ).

Одним из факторов, обуславливающих снижение численности бактерий в воде, является их выедание зоопланктоном. Иногда это наблюдалось и в период массового развития синезеленых водорослей.

Годовая динамика бактерий имеет небольшой размах колебаний, что, на наш взгляд, в первую очередь обуславливается стабильной концентрацией органического вещества. После сооружения Саратовского гидроузла заметных изменений в численности бактерий в водохранилище не произошло. Присутствие большого количества крупных палочковидных бактерий, дрожжевых и азотобактериоподобных клеток в 1967—1969 гг. явилось причиной высокой биомассы бактерий в эти годы. Так, в 1967 г. при средней численности 1,6 млн. кл./мл биомасса составила 1,4 г/м<sup>3</sup>, в 1968 и 1969 гг. соответственно 2,3 и 2,0 г/м<sup>3</sup> при численности 2,5 и 2,4 млн. кл./мл. Преобладание мелких палочковидных форм микроорганизмов в последующие годы способствовало уменьшению биомассы до 0,9—1,66 г/м<sup>3</sup> при численности 1,7—2,8 млн. кл./мл.

Количество сапрофитных бактерий в водоеме колебалось от 105 до 3600 кл./мл. Динамика бактерий этой группы обычно выражалась кривой с одной или двумя максимумами и находилась в тесной зависимости от условий окружающей среды. Коэффициент корреляции их численности с величиной перманганатной окисляемости летом в 1967—1975 гг. равнялся 0,74 ( $p \geq 0,01$ ). Менее тесная корреляция установлена с температурой ( $r = 0,21$ ,  $p \geq 0,01$ ).

Более высокая численность сапрофитов отмечалась в прибрежных водах и закрытых мелководьях. Относительная численность спор и актиномицетов была низкой, что связано с высоким содержанием в воде легкоусвояемых органических веществ.

Скорость размножения бактерий изменялась в широких пределах. С одной стороны, это связано с изменением соотношения слабо и активно размножающихся форм бактерий. Например, размножение сапрофитов происходит энергичнее, чем бактериопланктона в целом. С другой — скорость размножения связана с условиями окружающей среды, в частности, с температурой и концентрацией органических веществ. Коэффициент корреляции величины удвоения биомассы бактерий с температурой изменялся от 0,77 до 0,88 ( $p \geq 0,1$ ). Корреляция между скоростью размножения и величиной перманганатной окисляемости выражалась коэффициентом 0,7 и 0,8 ( $p \geq 0,01$ ).

Суточная продукция микроорганизмов в течение вегетационного периода подвержена закономерным изменениям. Наименьших величин она достигала весной (0,1—0,6 г/м<sup>3</sup>) и осенью (0,01—0,58 г/м<sup>3</sup>), наибольших летом (0,6—2,0 г/м<sup>3</sup>).

Возрастание годовых величин бактериальной продукции до 153 г/м<sup>3</sup> отмечалось в 1969 г. против 94 г в 1967 г. и 120 в 1968 г. По-видимому, сказался «эффект удобрения» при образовании Саратовского водохранилища. Поскольку Саратовское водохранилище — высокопроточный водоем, то «эффект удобрения» длился недолго. Уменьшение поступления количества биогенных элементов в 1970 и 1971 гг., видимо, явилось основной причиной снижения продукции бактериопланктона в эти годы соответственно до 100 и 88 г/м<sup>3</sup>. Наиболее высокие величины бактериальной продукции отмечались в 1972 и 1975 гг., которые были самыми теплыми за весь период исследования.

Коэффициент, показывающий степень выедания бактериальной биомассы следующим трофическим уровнем, в среднем в 1973—1975 гг. изменялся от 0,7 до 0,8. Следовательно, около 80% бактериальной продукции в водохранилище подвергается выеданию зоопланктоном. Эти данные свидетельствуют о тесной трофической связи водных бактерий с зоопланктоном, а через него с рыбами-зоопланктофагами и особенно молодью всех промысловых рыб на определенной стадии развития.

УДК 574 68(28)

## **МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Т. Н. Тарасова**

С 1967 по 1980 год изучались общее число бактерий и численность сапрофитов, растущих на МПА, в воде и грунтах Горьковского водохранилища.

В речном участке водохранилища средняя за сезон величина общего числа бактерий колебалась в разные годы от 1,56 млн./мл (1979 г.) до 2,70 млн./мл (1972 г.), численность сапрофитных бактерий у правого берега выше, чем у левого.

В озерном плёсе минимальное содержание бактерий в воде составляло 1,28 (1977 год) и 1,39 млн./мл (1973 год). В 1974—1976 гг. общая численность бактериопланктона превышала 2 млн./мл. Максимальное количество бактерий наблюдалось в 1976 г., в среднем 2,49 млн./мл. Численность сапрофитов в среднем 2,3—10 тыс./мл.

В заливах рек (Мера, Желвата, Елнать, Унжа, Ячменка, Мича, Моча, Яхора, Санахта и др.) общая численность бактерий почти всегда превышала 2 млн./мл, достигая иногда 3—4 млн./мл. Содержание сапрофитов было приблизительно таким же, как в озерной части водохранилища.

Таким образом, установлено, что содержание бактерий в речном участке водохранилища было выше, чем в озерном. Наибольшая численность бактериопланктона отмечена в заливах рек. Высокая численность бактерий в речном участке в значительной степени связана с антропогенным воздействием, в заливах она вызвана другими факторами, а именно притоком биогенов и органических веществ в зону подпора водохранилища.

Распределение бактерий в водной толще мелководий и речного участка равномерно. На глубоководных станциях разница в содержании бактерий в поверхностном и придонном горизонтах отмечена только в период относительно сильно выраженной стратификации водной массы. При этом в зоне термоклина общее количество бактерий возрастает в 2—2,5 раза.

Сезонные изменения числа бактерий невелики: максимумы приходятся на май и сентябрь.

Общее число бактерий в грунтах, представленных в озерном плёсе, главным образом илами, исчислялось миллиардами клеток на 1 г сырого грунта (1,19—5,60 млрд./г), численность сапрофитов — тысячами клеток на 1 г (0,01—9,90 тыс./г). Максимумы содержания бактерий в грунтах отмечены в начале и в конце лета.

Определено, что по микробиологическим показателям Горьковское водохранилище относится к  $\beta$ -мезосапробному типу с локальными участками  $\alpha$ -мезосапробными. Повышение сапробности воды в заливах рек не связано с загрязнением воды.

УДК 574.68(28) + 574.583(28)

## **БАКТЕРИОПЛАНКТОН САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ И САМООЧИЩЕНИЯ**

**А. П. Саврасов**

Микробиологические наблюдения не получили в мониторинге необходимого распространения. Между тем, по В. И. Романенко, и проблема очистки воды, и проблема продуктивности водоемов — это частные вопросы круговорота веществ, где решающая роль принадлежит растениям и микроорганизмам.



По степени изученности микрофлоры Саратовское водохранилище находится на одном из последних мест в Волжском каскаде. Особенность гидродинамики в нем определяет частую смену скоростей течения, степень разбавления канализационных сбросов, интенсивность самоочищения и как следствие создает особое качество воды.

В статье рассматриваются численность, скорость размножения, суточная продукция,  $R/V$ -коэффициенты и константа скорости роста  $K$  бактерий в воде Саратовского водохранилища в 1978—1980 гг. и приводятся санитарные коэффициенты, по В. И. Романенко.

В открытой части Саратовского водохранилища микрофлора равномерно распределена по всей его акватории, но на мелководьях ее численность всегда выше. Плотность бактериопланктона характеризуется довольно низкими значениями. В 1978—1980 гг. среднее общее количество бактерий было равно соответственно 0,82, 1,08, 0,83 млн. кл./мл. Незначительные пределы колебаний общей численности бактерий свидетельствуют о стабилизации их развития. По сравнению с первыми годами существования водохранилища численность бактерий уменьшилась в 3 раза. Изменения суммарного бактериопланктона в 1978—1980 гг. по месяцам были незначительны и колебались от 0,82 до 1,12 млн./мл.

Споровые организмы встречаются в количестве от 0 до 95 кл./мл. В нижней озерной части водохранилища численность их увеличивается. Данные по содержанию спор свидетельствуют, что в Саратовском водохранилище преобладает легкоусвояемая органика, которая к низовью в значительной мере минерализуется.

Численность сапрофитных бактерий колебалась в 1978—1980 гг. в пределах 120—9550 кл./мл. Она существенно изменяется в течение вегетационного периода. В 1978 г. в августе численность была в 4,5 раза ниже, чем в апреле. Средние значения численности сапрофитов в 1978—1980 гг. равны соответственно 1270, 885, 1120 кл./мл. Их количество на мелководьях, заросших макрофитами, как и общей численности бактерий, выше, чем на русловой части. Высшая водная растительность в процессе вегетации и последующего отмирания является существенным поставщиком легкоусвояемого органического вещества. Количество сапрофитов в озерной части, как правило, меньше, чем в речной. Это указывает на то, что Саратовское водохранилище справляется с поступающим в него органическим загрязнением и процессы самоочищения в нем закончены. Следовательно, и качество воды при ее прохождении через водохранилище не ухудшается, а становится лучше. Об этом свидетельствуют соотношения между сапрофитами и общим количеством бактерий.

Для более полного представления о трофии водоема определялись скорость размножения бактерий и их продукция. Время генерации весной 1978 г. составило в среднем 63,5 часа, летом 32,4 часа. В 1979 г. при более высокой температуре темп размножения равен в среднем 20—21 час. Зависимость скорости размножения бактерий от температуры воды прослеживалась во все годы на-



блюдений. Однако в августе 1979 г. при высокой температуре в верховье Саратовского водохранилища, куда в это время поступали в большом количестве синезеленые водоросли (из Куйбышевского) наблюдалось снижение скорости размножения.

Это свидетельствует о том, что скорость размножения бактерий в значительной мере определяется температурой, но не может быть объяснена действием только этого фактора.

Средние значения времени генерации всех бактерий в 1978—1980 гг. были равны соответственно 48, 21, 32, 9 час., что характерно для эвтрофных водоемов. Время генерации сапрофитов на РПА в 1978—1980 гг. варьировало от 0,4 до 200 час. В среднем оно равно в 1978, 1980 гг. 8,8 часа, в 1979 г.— 6,6 часа.

Продукция бактериальной массы в 1978—1980 гг. коррелировала со скоростью размножения, а следовательно, и с температурой воды. Пределы колебаний продукции бактерий в этот период были значительны: от 0,01 до 3,45 млн. кл./мл в сутки. В 1980 г. в июле отмечена самая высокая продукция биомассы бактерий за три года, в среднем 1,73 млн. кл./мл в сутки. В это время была самой высокой и активность микрофлоры. Средние значения продукции бактерий в 1978—1980 гг. были соответственно 0,56, 1,33, 1,09 млн. кл./мл в сутки.

Удельная суточная продукция, Р/В-коэффициент и константа скорости роста  $K$  колебались в значительных пределах, а средние значения были равны соответственно  $0,78—0,90$  сутки<sup>-1</sup> и  $0,86—0,95$  сутки<sup>-1</sup>. От верхнего участка водохранилища к нижнему Р/В-коэффициент и константа скорости роста  $K$  в исследованные годы (кроме августа 1979 г.) снижались.

Из живого населения водоемов микрофлора раньше других реагирует на поступающие загрязнения. Поэтому микробиологические методы позволяют быстрее и точнее уловить во времени и пространстве ухудшение или улучшение качества воды.

В отличие от общего количества бактерий гетеротрофы особенно чутко реагируют на загрязнение водоема органическим веществом. Они наиболее пригодны для оценки степени загрязнения. Изменение в общем количестве бактерий позволяет судить о происходящих процессах эвтрофирования водоема. Весьма показательными при оценке качества воды являются отношения численности сапрофитов к общему количеству бактерий.

Бактериопланктон является главным механизмом самоочищения водоемов и формирования качества воды. Из вышеизложенного следует, что материалы по микробиологии существенно дополняют гидробиологические данные по самоочищению, формированию чистых природных вод и по оценке качества воды. Необходимость микробиологических наблюдений при биомониторинге на пресных водах во всей сети гидрометслужбы не должна вызывать сомнений.

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА НЕЗАРЕГУЛИРОВАННОЙ ВОЛГИ

А. Г. Охапкин

Заполнение Чебоксарского водохранилища начато в конце 1980 г. Для прогнозирования развития фитопланктона в новом водоеме исследованы флористический состав его доминантов и распределение биомассы по акватории Волги от плотины Горьковской ГЭС до Новочебоксарска. Пробы фитопланктона отбирались на 38 постоянных станциях в различные сезоны 1978—1980 гг. (8 съёмов). Материал отбирался как вдоль правого, так и вдоль левого берегов и обрабатывался по общепринятым методикам.

На основании альгологических исследований Волги в районе затопления Чебоксарского водохранилища можно выделить три района: Городец—Горький; Горький—устье Суры; устье Суры—Чебоксары.

Флористический состав водорослей и распределение их биомассы ниже плотины Горьковской ГЭС определялись в основном влиянием стока Горьковского водохранилища. Весной для планктона этого района Волги характерно преобладание диатомей (*Stephanodiscus incognitus* Kuzmin et Genkal, *Melosira italica* (Ehr.) Kütz.) и незначительная общая биомасса водорослей (в среднем 0,78 г/м<sup>3</sup>) при большей ее величине у левого берега.

Летом в составе фитопланктона резко увеличивалась доля синезеленых водорослей (*Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs — до 4,55 г/м<sup>3</sup>, *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. — до 0,77 г/м<sup>3</sup>). Диатомовые (*Melosira italica*, *M. granulata* (Ehr.) Ralfs, *Stephanodiscus binderanus* (Kütz.) Krieg. переходили в ранг субдоминантов. Общая биомасса фитопланктона колебалась незначительно, составляя в среднем 1,23 г/м<sup>3</sup> при более высоких ее значениях у правого берега.

Осенью наряду с синезелеными водорослями (в среднем по району 0,83 г/м<sup>3</sup>) в вегетацию вновь вступали диатомовые (*Stephanodiscus binderanus*, *Melosira islandica* O. Müll.). Средняя биомасса фитопланктона осенью 1,01 г/м<sup>3</sup>.

Ниже впадения Оки фитопланктон Волги изменялся: увеличивалось как видовое разнообразие, так и общая биомасса водорослей, что проявлялось особенно сильно вдоль правого берега. Вниз по течению различия окского и волжского потоков постепенно сглаживались. В зависимости от расходов Оки и попусков Горьковского водохранилища различия фитопланктона вдоль правого берега прослеживались до района Кадницы — Фокино.

Весной от Горького до устья Суры развивался монодоминантный фитопланктон с преобладанием *Stephanodiscus tenuis* Hust., которому сопутствовали *S. incognitus*, *Synedra acus* Kütz. и *S. ulpa* (Nitsch.) Ehr. Максимальные показатели биомассы отмечены

у правого берега в районе Котово ( $2,79 \text{ г/м}^3$ ). Средняя биомасса водорослей за весенний сезон в этом районе Волги  $2,68 \text{ г/м}^3$ .

Летом резко возросло видовое разнообразие фитопланктона и его биомасса. Вдоль правого берега развивался комплекс видов, характерный для окского планктона, с преобладанием *Stephanodiscus astraea* var. *minutulus* (Kütz.) Grun., *S. dubius* (Fricke) Hust., *S. incognitus*, *S. invisitatus* Hohn et Hellerman, *S. tenuis*, со-путствием хлорококковых (различных видов родов *Coelastrum*, *Oocystis*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*), волькокковых (*Pandorina morum* (Müll.) Bory) или пирофитовых водорослей (виды родов *Cryptomonas*, *Gymnodinium*). Вдоль левого берега более заметно вегетировали обычные для водохранилища виды — *Melosira italica* subsp. *subarctica* O. Müll., *Fragilaria capucina* Desm. Синезеленые водоросли на левом берегу на ряде станций входили в состав доминирующих видов (до  $5,1 \text{ г/м}^3$ ), на правом — выступали в качестве субдоминантов на некоторых станциях. Средняя биомасса водорослей за летний сезон в данном районе Волги достигала  $6,35 \text{ г/м}^3$ .

Осенью биомасса фитопланктона резко снижалась в сравнении с летним сезоном. Вдоль правого берега Волги доминировали диатомеи (*Cyclotella meneghiniana* Kütz.) — до  $0,64 \text{ г/м}^3$ , *Stephanodiscus tenuis* —  $0,47 \text{ г/м}^3$ , *S. incognitus* —  $0,29 \text{ г/м}^3$ ) в сопровождении хлорококковых водорослей. По левому берегу довольно велико значение синезеленых (до  $3,5 \text{ г/м}^3$ ), биомасса которых вниз по течению постепенно снижалась. Биомасса водорослей вдоль берегов была примерно одинаковой и в среднем по району достигала  $2,05 \text{ г/м}^3$ .

Фитопланктон Волги от устья Суры до Чебоксар более однороден по поперечной оси реки, чем до устья Суры. Здесь проявляется влияние других притоков Волги — Суры, Ветлуги.

Весной здесь отмечен комплекс видов, характерный и для лежащих выше участков. Преобладали *Stephanodiscus incognitus* ( $1,40 \text{ г/м}^3$ ), *S. tenuis* ( $0,82 \text{ г/м}^3$ ) и *Cyclotella meneghiniana* ( $0,29 \text{ г/м}^3$ ). Биомасса фитопланктона колебалась незначительно, в среднем за весенний сезон  $1,72 \text{ г/м}^3$ .

Летний планктон характеризовался разнообразным составом доминантов и бурной вегетацией диатомей, средняя биомасса которых по району достигала  $8,9 \text{ г/м}^3$ . Аспект фитопланктона создавали различные виды рода *Stephanodiscus*: *Melosira granulata*, *Skeletonema subsalsum* (V. Goor.) A. Cl., *Cyclotella meneghiniana* и др. В планктоне возростала роль *Stephanodiscus binderanus* (до  $1,48 \text{ г/м}^3$ ) и *Melosira italica* ( $0,57 \text{ г/м}^3$ ). Хлорококковые водоросли сопутствовали диатомовым. Синезеленые в основном развивались вдоль левого берега, их биомасса на порядок ниже, чем до устья Суры. Общая продуктивность водорослей в этом районе Волги выше, чем в лежащих выше участках, максимальная биомасса отмечена у Козьмодемьянска ( $23,0 \text{ г/м}^3$ ). Средняя биомасса фитопланктона по этому району Волги в летний сезон  $7,67 \text{ г/м}^3$ .

Осенью аспект фитопланктона определяли диатомовые, наряду

с которыми развивались хлорококковые и синезеленые водоросли. В сравнении с вышележащими районами, ниже устья Суры отмечена более высокая биомасса водорослей, особенно вдоль правого берега. Максимального развития фитопланктон достигал ниже Васильсурска ( $8,05 \text{ г/м}^3$ ). В среднем за осенний сезон биомасса фитопланктона по данному району Волги достигала  $3,39 \text{ г/м}^3$ .

Таким образом, как и в предыдущие годы, в фитопланктоне на участке Чебоксарского водохранилища преобладали диатомовые водоросли, наблюдалась высокая видовая насыщенность растительного планктона, максимальная биомасса отмечена в летний период. Летом диатомовым сопутствовали синезеленые (особенно в верховьях рассматриваемого участка Волги) и хлорококковые водоросли. Как и ранее, отмечена тенденция к увеличению средних значений биомассы от плотины Горьковской ГЭС к Чебоксарам. Наименьшими показателями средней за вегетационный период биомассы характеризовался район Волги до устья Оки ( $1,10 \text{ г/м}^3$ ), второй район (до устья Суры) значительно более продуктивен ( $5,27 \text{ г/м}^3$ ) и максимальная средневегетационная биомасса зарегистрирована в третьем районе Волги ( $6,10 \text{ г/м}^3$ ). Намечающееся снижение средней за вегетационный период биомассы в сравнении с данными 1969—1972 гг., по-видимому, обусловлено тем, что 1978—1980 гг. характеризовались повышенной водностью и довольно низкой летней температурой воды. Преобладание в планктоне индикаторов высоких степеней трофности (виды рода *Stephanodiscus*), увеличение разнообразия и значения хлорококковых, заметная роль синезеленых водорослей и высокие продукционные показатели планктона свидетельствуют о значительном антропогенном влиянии на экосистему Волги в исследованном районе.

УДК 574 583(28) : 581

## **СЕЗОННАЯ И ГОДИЧНАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**В. Г. Девяткин, Л. Г. Корнева, Е. В. Карпова, И. В. Митропольская**

Исследования фитопланктона мелководных участков Рыбинского водохранилища представляют интерес в плане мониторинга, а также для оценки продуктивности литорали водоема, занимающей значительную часть его акватории. Наши наблюдения проведены в 1974—1975, 1977, 1979 и 1980 гг. в Волжском плёсе Рыбинского водохранилища. Летом в прибрежной зоне, особенно в закрытых ее участках развиваются представители основных групп водорослей. Массовое появление синезеленых наблюдается лишь в годы цветения открытых участков. В закрытом побережье обилие синезеленых обычно ниже, чем в незащищенном и полузащищенном. Весной основной фон литорального фитопланктона создают диато-

мовые, а осенью — диатомовые и пиропитовые. Последние преобладают в закрытом побережье. На отдельных участках защищенной литорали весной и особенно осенью отмечается значительное количество золотистых водорослей.

Высокое видовое разнообразие и полидоминантность руководящего комплекса особенно характерны для закрытого побережья. Руководящие виды (их обычно 4—6) дают в этом участке, как правило, не более половины общей биомассы. Здесь же отмечаются наиболее высокие значения индекса биоценотического разнообразия, рассчитанного по формуле Шеннона.

Одна из наиболее характерных особенностей литорального фитопланктона — постоянное присутствие в нем жгутиковых форм, относительное обилие которых повышается в закрытом побережье по сравнению с полузащищенным и открытым.

Несмотря на постоянное присутствие в прибрежном фитопланктоне бентосных и литоральных видов водорослей, численность и биомасса последних, как правило, невелики. Однако среди зарослей высшей водной растительности в летний период значительна роль нитчатых зеленых и десмидиевых водорослей, биомасса которых может достигать нескольких десятков процентов общей биомассы.

Сезонная динамика численности и биомассы литорального фитопланктона многовершинна, что особенно отчетливо проявляется в закрытых участках прибрежной зоны. В открытом и полузащищенном побережье сезонный ход изменений численности, биомассы и фотосинтетической активности в целом совпадает с таковым на глубоководных станциях Волжского плёса. В более изолированных участках мелководий динамика численности и биомассы характеризуется значительным своеобразием на каждой исследованной станции.

Изучение динамики биомассы и фотосинтетической активности фитопланктона при помощи наблюдений, проведенных с малым интервалом дискретности, свидетельствует о сильной изменчивости этих показателей, а также о необходимости сравнительно частого отбора проб для получения реального представления о сезонной периодичности развития планктонного сообщества и достоверной оценки среднесезонных значений показателей его обилия и продуктивности. Так, при еженедельных определениях среднесезонные значения биомассы оцениваются с относительной ошибкой  $\pm 30\%$ , а при отборе проб 2 раза в месяц  $\pm 50\%$ . При определении фотосинтетической активности фитопланктона ошибка средней составляет соответственно  $\pm 20—40$  и  $\pm 30—50\%$ .

По сравнению с начальным периодом существования водохранилища показатели видового разнообразия, продуктивности и скорости трансформации литоральных планктонных альгоценозов во времени практически не изменились. Сравнительно стабильна и биомасса прибрежного фитопланктона (см. таблицу).

При относительном постоянстве показателей обилия за годы существования водохранилища произошли заметные изменения

**Биомасса фитопланктона в прибрежье Рыбинского водохранилища, г/м<sup>3</sup>**

Год	Группа водорослей						Общая биомасса
	Сине-зеленые	Диатомовые	Золотистые	Пиро-фитовые	Эвгленовые	Зеленые	
1953*	0,03	1,20	—	—	—	0,1	1,48
1955*	0,11	0,67	—	—	—	0,36	1,70
	0,63	2,36	—	—	—	0,18	3,70
	0,97	0,94	—	—	—	0,23	2,60
1971*	—	4,3	—	—	—	0,4	5,10
	0,3	3,8	—	—	—	0,6	4,90
	0,07	0,29	0,01	0,01	0,06 <sup>6</sup>	0,32	0,76
1974	0,16	0,92	0,005	0,06	0,05	0,39	1,60
	2,07	5,49	0,13	0,05	0,17	0,74	8,95
1975	0,27	2,40	0,00	0,94	0,05	0,37	4,03
1977	0,21	2,49	0,00	1,34	0,03	0,71	4,78
	0,22	3,22	0,04	0,33	0,05	0,16	4,02
	0,11	2,01	0,85	0,89	0,04	0,29	4,21

\* По: К. А. Гусева, Е. Л. Башкатова.

комплекса доминирующих видов прибрежного фитопланктона, выразившиеся прежде всего в увеличении роли видов *Stephanodiscus* и криптомонад. Аналогичные тенденции отмечены и для пелагиали многих волжских водохранилищ и оцениваются как свидетельство эвтрофирования.

УДК 574.583(28) : 581

## СКОРОСТИ ДЕЛЕНИЯ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРосЛЕЙ В ПРИБРЕЖЬЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**В. А. Елизарова**

Данные о скоростях деления естественных популяций планктонных водорослей необходимы при решении многих экологических вопросов. По этим данным судят об особенностях биологии и о сезонной динамике видов, вкладе последних в продукцию общей биомассы фитопланктона, их отношении к изменению окружающей среды, выедании животными организмами. Знание интенсивности размножения фитопланктона необходимо также для построения математических моделей экосистем и прогнозирования качества воды. Однако темпы роста пресноводных микроводорослей в природной обстановке исследованы слабо. Отечественная литература ограничивается информацией о нескольких организмах из оз. Байкал [1, 3, 8, 12] и Рыбинского водохранилища [6].

В последнем из упомянутых водоемов изучались только диатомеи, вегетирующие в период обильного содержания фитопланкто-



на весной, летом и осенью. Задачей настоящей работы в первую очередь было обследование возможно большего количества видов за счет расширения наблюдений в сезонном аспекте и выяснение временного изменения скорости деления наиболее обычных представителей фитопланктона. Кроме того, специальное внимание было уделено размеру клеток и определяемому им отношению площади поверхности к объему ( $s/v$ ) — факторам роста [19], от которых зависит скорость поступления в клетки питательных веществ. Известно, например, что мелкие клетки, имея более высокое отношение  $s/v$ , характеризуются повышенным темпом деления. Возникает вопрос о возможности использования этого показателя для определения скорости роста.

Скорость деления водорослей определялась экспериментально. Эксперименты *in situ* с природной водой, залитой в цилиндры, концы которых закрыты мембранными фильтрами, проводились еженедельно с 10 мая по 18 сентября 1979 г. и с 15 сентября по 21 октября 1980 г. Постановка опытов в водоеме описана нами ранее [6]. Тогда же было установлено, что на темп деления водорослей влияет длительность экспонирования опытного материала. Степень этого влияния определяется сезоном года. Поэтому при проведении данной работы три сосуда выдерживались в водоеме в мае—сентябре одни сутки, а в октябре — трое суток.

В каждом опыте скорость роста (делений·сутки<sup>-1</sup>) определялась только для доминирующих видов. Статистически достоверный подсчет единично встречающихся водорослей весьма труден, поскольку он достигается набором не менее 100 клеток каждого организма [10]. Для крупноклеточных *Glenodinium* sp. и *Synedra ulna*, а также колоний *Pandorina togon* было сделано исключение. Они просчитывались в одинаковом числе наполнений (1—2) целой камеры.

Размеры клеток вычислялись как средневзвешенные из 100 измерений. Объемы и площади поверхностей клеток рассчитывались по формулам геометрических тел (цилиндр, параллелепипед, шар, эллипсоид, 2 конуса), к которым аппроксимировались водоросли.

В результате проведенного исследования удалось определить темп роста 19 планктонных водорослей: 12 диатомовых, 5 зеленых, 1 синезеленой и 1 пиррофитовой. Максимальные величины этого показателя представлены в табл. 1. Преобладание диатомей среди изученных видов вполне закономерно, так как по численности и видовому разнообразию они преобладают в планктоне Рыбинского водохранилища. Синезеленые тоже характерны для данного водоема, но массового развития достигают лишь *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa*. В прибрежье, где велась работа, временами обильно вегетируют также *Anabaena lemmermannii* и *A. spiroides*. Но летом 1979 г. их было крайне мало. Скорость деления *M. aeruginosa* была рассчитана, однако ее нельзя считать вполне корректной из-за неточного подсчета клеток в колониях. Последние не разбиваются целиком при обычном длительном встряхивании пробы вручную, а специальная обработка не применялась.



Таблица 1

Максимальные скорости деления (делений·сутки<sup>-1</sup>)  
естественных популяций некоторых планктонных водорослей  
в прибрежье Рыбинского водохранилища

Вид	Скорость деления	Дата	Температура воды, °С
<i>Skeletonema subsalsum</i> (A. Cl.) Bethge	3,8	10.V	10,2
<i>Stephanodiscus perforatus</i> Genkal et Kuzmin	2,6		10,2
<i>S. incognitus</i> Kuzmin et Genkal	2,6	21.VI	14,8
<i>S. binderanus</i> (Kütz.) Krieg.	2,5	15.IX	14,0
<i>S. tenuis</i> Hust.	2,0	22.IX	11,6
<i>Melosira italica</i> subsp. <i>subarctica</i> O. Müll.	2,0	30.VIII	15,2
<i>M. italica</i> (Ehr.) Kütz.	1,8	15.IX	14,0
<i>M. granulata</i> (Ehr.) Ralfs	1,7		14,0
<i>Asterionella formosa</i> Hass.	1,9	10.V	10,2
<i>Nitzschia holsatica</i> Hust.	1,8	26.VII	18,1
<i>Diatoma elongatum</i> (Lyngb.) Ag.	1,7	10.V	10,2
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehr.	1,0	17.V	12,4
<i>Chlamydomonas</i> sp.	3,6	10.V	10,2
<i>Trochiscia aciculifera</i> (Lagerh.) Hansg.	2,6	19.VII	19,6
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Breb.	2,0	30.VIII	15,2
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood	1,6	5.VII	18,5
<i>Pandorina morum</i> (Mull.) Bory	0,25	28.VI	19,9
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs	1,8	9.VIII	16,2
<i>Glenodinium</i> sp.	0,6	28.VI	19,9

Максимальная скорость деления диатомовых водорослей колебалась от 1 до 3,8 делений·сутки<sup>-1</sup>, но чаще всего составляла 2—2,6 и 1,7—1,9 делений·сутки<sup>-1</sup>. Самым высоким темпом роста среди них и, что интересно, среди всех изученных водорослей, выделялась *Skeletonema subsalsum*. Это отмечалось еще в первых опытах по генерации фитопланктона Рыбинского водохранилища [6]. Правда, тогда интенсивность роста *S. subsalsum* равнялась всего 1,7 делений·сутки<sup>-1</sup>. Но следует иметь в виду, что такой скоростью обладала ее летняя популяция. Это подтвердили и настоящие эксперименты: летом *S. subsalsum* делилась примерно с той же интенсивностью. Максимальную же скорость она, как оказалось, развивает весной (рис. 1).

Другие публикации о росте *S. subsalsum* отсутствуют. Но примечательно, что темп деления морского фитопланктона из рода *Skeletonema* — *S. costatum* [11] характеризуется чертами, присущими и *S. subsalsum*. Так, это самая продуктивная водоросль среди обследованных планктонных диатомовых, динофлагеллат и зеленых, максимум роста которой приходится на весну. В диализном сосуде с перемешиванием, т. е. в условиях близких к природным [24], скорость ее размножения укладывается в пределы, полученные для *S. subsalsum*.

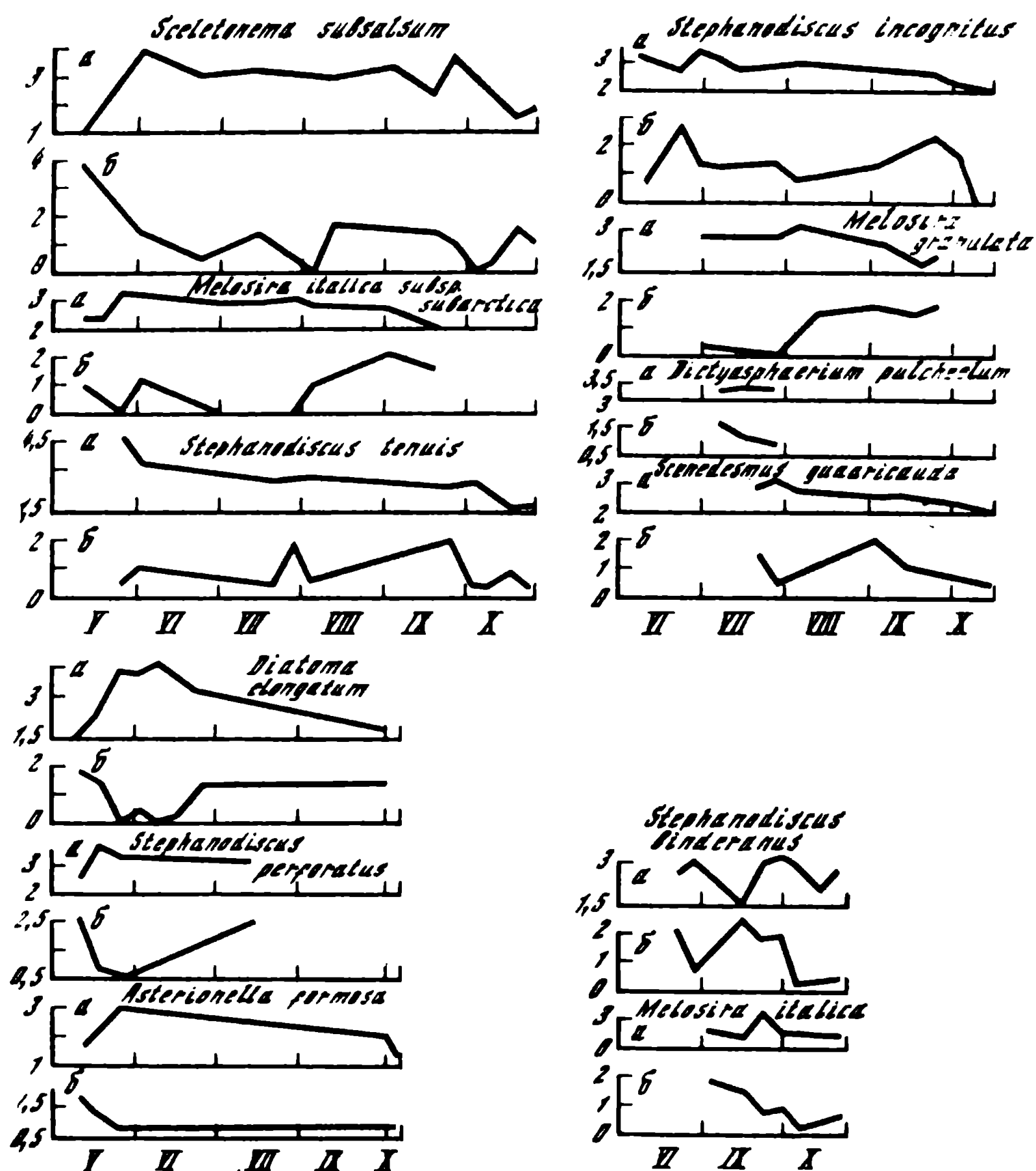


Рис. 1. Сезонная динамика численности и скорости деления планктонных водорослей

По оси ординат: а — lg численности, тыс. кл./л; б — скорость деления, делений·сутки<sup>-1</sup>; по оси абсцисс — месяцы

Сведения об интенсивности роста *Stephanodiscus perforatus* и *S. incognitus*, приведенные в данной работе, являются первыми, поскольку сами виды описаны лишь в 1978 г. [2]. Обращает на себя внимание сходство максимальных величин исследуемого показателя у обоих организмов, хотя первый из них — одноклеточная водоросль, а клетки второго собраны в нити до 1000 мкм длиной. Та же скорость характерна и для другой нитчатой диатомеи — *Stephanodiscus binderanus*. Максимальный темп размножения получился одинаковым также у одиночно живущей *S. tenuis* и колониальной *Melosira italica* subsp. *subarctica*, а одноклеточная *Synedra ulna* росла вдвое медленнее, чем колониальные диатомеи.

Из литературы известна способность даже многоклеточных водорослей, таких, как зеленые и синезеленые нитчатки, продуцировать наравне с одноклеточными [22].

Против ожидания, максимальные скорости деления зеленых не превышали таковых диатомовых водорослей. Повышенным темпом среди них выделялся *Chlamydomonas* sp. Судя по литературным сведениям, высокая продуктивность свойственна этому роду. Например, *Ch. moewusii* и *Ch. reinhardtii* в культурах при оптимальных условиях производят 3,3 и 4,2 деления·сутки<sup>-1</sup> [21]. Любопытно, что и наблюдаемая нами хламидомонада делилась с меньшей скоростью, хотя и в природной обстановке. И максимальный темп ее роста приходился на период, предшествующий весенней вспышке фитопланктона, когда запас биогенных элементов еще не исчерпан.

Интересно сравнить зеленые и диатомовые водоросли не только по интенсивности деления, но и по содержанию в планктоне (табл. 2). В последнем случае зеленые значительно уступают диатомеям даже в прибрежье, где они развиваются в наиболее благоприятных условиях. Особенно велика разница по биомассе. Если на долю диатомовых постоянно приходится от 40 до 90% общей массы планктонных водорослей, то участие зеленых ограничивается всего 1—10%. Лишь летом на мелководье оно несколько больше. При учете этого положения и соотношения темпов деления обеих групп водорослей напрашивается вывод об активном потреблении зеленых зоопланктоном. Этому, видимо, способствуют их мелкие размеры.

Одного порядка с максимальными скоростями основной массы диатомовых и зеленых водорослей оказалась и скорость деления синезеленой *Arhanizomenon flos-aquae*. Согласно литературным данным, аналогичным темпом нарастает и другой возбудитель «цветения» воды *Microcystis aeruginosa* [21].

В сводке по скоростям роста лабораторных культур фотосинтезирующих микроорганизмов [21] для представителей отдела пиррофитовых указаны довольно низкие величины — порядка 0,6—0,9 делений·сутки<sup>-1</sup>. Учитывая, что культивирование пиррофитовых требует условий, максимально приближенных к природным [20], эти цифры кажутся вполне реальными и для естественных популяций. Действительно, у *Glenodinium* sp. нами зарегистрирован подобный темп роста.

Результаты исследования показали, что интенсивность деления вида связана обратной зависимостью с его плотностью. Это, например, четко прослеживается весной у *Diatoma elongatum*, *Stephanodiscus perforatus*, *Asterionella formosa*, *Skeletonema subsalsum*, летом у *Stephanodiscus incognitus*, *Melosira granulata*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Scenedesmus quadricauda*, осенью у *Stephanodiscus binderanus*, *Melosira italica* (рис. 1). Несовпадение максимумов темпа роста с таковыми численности планктонных водорослей в водоеме (самый быстрый рост при минимальном количестве клеток) отмечалось и другими авторами [9, 13, 15].

Таблица 2

Численность (тыс. кл./л) и биомасса (% от общей) диатомовых и зеленых водорослей в планктоне прибрежья (место настоящей работы) и пелагиали (стандартная станция 1) Рыбинского водохранилища

Водоросли	Прибрежье, 1978 г.					
	23.V		24.VII		3.X	
	численность	биомасса	численность	биомасса	численность	биомасса
Диатомовые	9322	95,8	2398	41,3	1304	93,1
Зеленые	5615	3,8	1836	16,4	435	0,2

Водоросли	Пелагиаль, 1974 г.					
	24.V		24.VII*		2.X*	
	численность	биомасса	численность	биомасса	численность	биомасса
Диатомовые	2877	98,6	13572	89,5	144	62,9
Зеленые	453	1,1	1523	3,2	69	9,9

\* Данные Л. Г. Корневой, за которые автор выражает искреннюю благодарность.

Возможно, одной из причин этого является ухудшение физиологического состояния клеток по мере развития популяции. Исследованиями на культурах диатомей *Ditylum brightwellii*, *Thalassiosira* sp. [16] и *Licmorhoga hyalina* [23], которым свойственно мельчание клеток в процессе нарастания плотности суспензии, это подтверждается. Так, мелкие и соответственно более старые клетки делятся медленнее, чем средние и крупные. Замедление клеточного деления вблизи нижнего предела размерного ряда замечено также в культуре *Stephanorhxis turris* [23]. В отсутствие образования ауксоспор или вегетативного расширения клеток их деление в конце концов становится невозможным, и они отмирают [23]. И в природной обстановке, по данным наших опытов, мельчание диатомовых в процессе уплотнения популяции сопровождается снижением интенсивности деления (табл. 3).

Клетки *Diatoma elongatum*, достигшие при этом 42 мкм длины, перестают делиться. Неслучайно, согласно руководствам по диатомовым водорослям, минимальный размер клетки данного вида 40 мкм. Более мелкие экземпляры, имея пониженную жизнеспособность, не могут существовать в естественных условиях и выпадают из планктона. Этим можно объяснить их отсутствие в пробах. В культуре же клетки *D. elongatum* активно делятся даже при длине менее 20 мкм (наши данные). Возможно, обычно наблюдающийся прирост после максимума, на спаде численности вида, да-

Таблица 3

Скорости деления (делений·сутки<sup>-1</sup>) и средние размеры клеток (мкм)  
в период нарастания весенних популяций *Diatoma elongatum*  
и *Stephanodiscus perforatus*

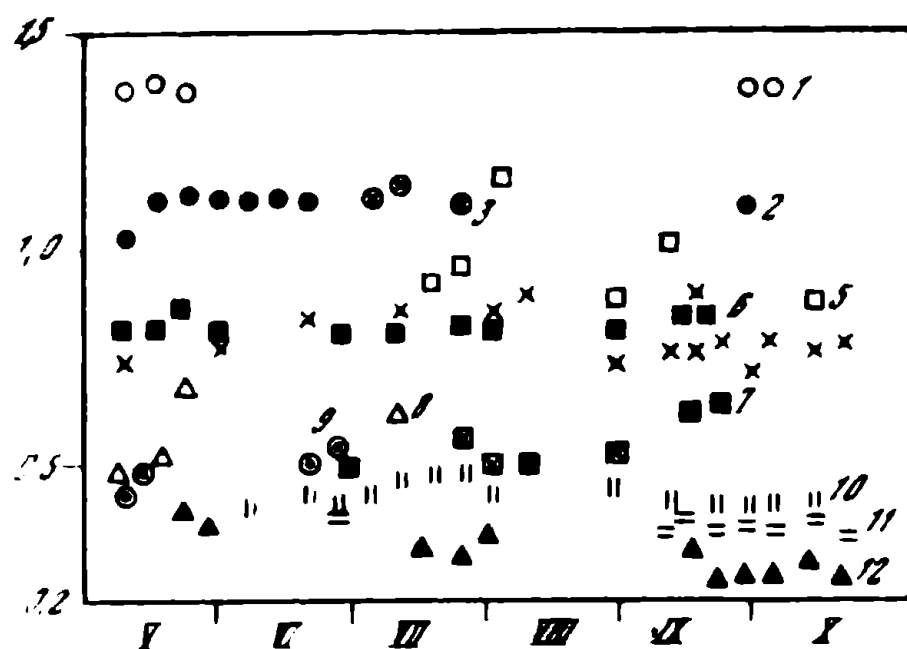
Дата	Diatoma		Stephanodiscus	
	длина клетки, мкм	скорость деления	диаметр клетки	скорость деления
10.V	56	1,7	8	2,6
17.V	46	1,4	7	0,8
24.V	42	—	6	0,6

ют оставшиеся более крупные и, следовательно, еще жизнеспособные экземпляры. Например, длина клеток весенней популяции *D. elongatum* в это время снова стала составлять 45—47 мкм, а темп роста возвратился к величине 1,3 делений·сутки<sup>-1</sup>. Об улучшении физиологического состояния фитопланктона в конце вспышки свидетельствует также повышение содержания хлорофилла «а» в единице биомассы [7]. Осенью в ряде случаев снижение численности сопровождается торможением деления, но это следует отнести на счет уже другого фактора роста — температуры воды [18]. Отмирание клеток в этот сезонный период невелико [5], поскольку главным образом идет их оседание [4].

Интересное соотношение динамики скорости деления и изменения численности наблюдалось у *Skeletonema subsalsum* и *Melosira italica* subsp. *subarctica* летом, когда первый показатель заметно колебался (от 0 до 1,5—2 делений·сутки<sup>-1</sup>), а второй держался на сравнительно постоянном уровне. В этот период упомянутые виды представлены главным образом покоящимися клетками, которые образовались после весенней вспышки [5]. Прирост за счет вегетативных клеток, по-видимому, целиком потребляется зоопланктоном.

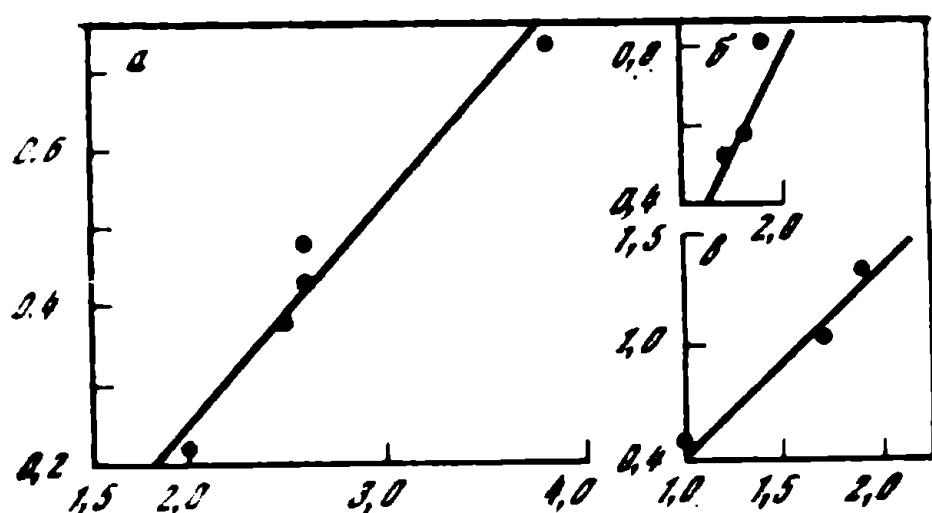
Отношение  $s/v$  у большинства водорослей мало изменялось во времени (рис. 2): коэффициент вариации составлял в основном сотые доли единицы (табл. 4). Лишь у *Stephanodiscus tenuis*, *S. perforatus* и *Scenedesmus quadricauda* он был немногим выше. Но у этих видов значительно варьировал и объем клетки (табл. 4). Причем у *S. tenuis* и *S. perforatus* в динамике отношения  $s/v$  прослеживалась определенная тенденция: снижение от весны к осени у первого и увеличение весной у второго (рис. 2). При этом клетки *S. tenuis* укрупнялись, а *S. perforatus* — мельчали (табл. 5). У *S. quadricauda* колебание отношения  $s/v$  во времени не подчинялось какой-либо закономерности. Оно было связано с подсчетом в отдельные сроки более мелких молодых ценобиев.

Скорость роста в сезонном аспекте сильно варьировала почти у всех видов (табл. 4). Можно предположить, что в условиях водоема интенсивность деления определяется другими факторами, чем



По оси ординат — отношение  $s/v$ ;  
по оси абсцисс — месяцы;  
1 — *Asterionella formosa*;  
2 — *Diatoma elongatum*;  
3 — *Dictyosphaerium pulchellum*;  
4 — *Skeletonema subsalsum*;  
5 — *Scenedesmus quadricauda*;  
6 — *Melosira italica* subsp. *subarctica*;  
7 — *M. granulata*;  
8 — *Stephanodiscus perforatus*;  
9 — *Chamydomonas* sp.;  
10 — *Stephanodiscus incognitus*;  
11 — *S. binderanus*;  
12 — *S. tenuis*

Рис. 2. Сезонная динамика отношения площади поверхности к объему клетки  $s/v$  у разных планктонных водорослей



По оси ординат — отношение  $s/v$ ;  
по оси абсцисс — скорость деления,  
делений·сутки<sup>-1</sup>; а — *S. perforatus*,  
*S. incognitus*, *S. binderanus*, *S. te-*  
*nuis*, *Skeletonema subsalsum*; б —  
*Melosira italica*, *M. italica* subsp.  
*subarctica*; *M. granulata*; в — *Diato-*  
*ma elongatum*, *Asterionella formosa*,  
*Synedra ulna*

Рис. 3. Зависимость скорости деления от величины отношения площади поверхности к объему клетки ( $s/v$ ) у отдельных групп планктонных водорослей

отношение  $s/v$ . К последним относятся состояние клетки, их обеспеченность питанием, температура воды, световой режим [25]. В те периоды, когда эти факторы не являются лимитирующими, например, в периоды с максимальной скоростью роста, между темпом роста и отношением  $s/v$  обнаруживается очень тесная положительная связь (рис. 3). Правда, высокие значения коэффициентов корреляции частично обеспечены подбором видов, близких по форме клеток. Регрессия между скоростью деления и отношением  $s/v$  в этом случае описывается уравнениями  $y = 1,15 + 3,4 s/v$ ,  $y = 1,20 + 0,99 s/v$ ,  $y = 0,55 + 1,02 s/v$  для водорослей типа *Stephanodiscus*, *Melosira* и *Diatoma* соответственно.

Как известно, среди одиночно живущих водорослей энергичнее делятся более мелкоклеточные. В пределах диатомовых такая тенденция наблюдалась и в наших опытах (табл. 6).

При сопоставлении водорослей разного систематического положения она нарушается, даже если учитывать величину отношения  $s/v$ . В последнем случае сглаживается влияние вакуоли у диатомовых, которая занимает у них большую часть клетки.

Основные итоги настоящего исследования следующие.

Установлена скорость деления 19 видов водорослей, определяющих облик прибрежного фитопланктона в разные периоды вегетационного сезона.

Таблица 4

Коэффициент вариации (С) объема клетки, отношения  $s/v$   
и скорости деления у разных водорослей за время наблюдения

Вид	Объем	Отношение $s/v$	Скорость деления
<i>Asterionella formosa</i>	$0,04 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,00$	$0,40 \pm 0,12$
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	$0,02 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,12$
<i>Melosira italica</i> subsp. <i>subarctica</i>	$0,10 \pm 0,02$	$0,02 \pm 0,00$	$0,93 \pm 0,20$
<i>Diatoma elongatum</i>	$0,15 \pm 0,04$	$0,03 \pm 0,01$	$0,89 \pm 0,22$
<i>Skeletonema subsalsum</i>	$0,14 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$	$0,83 \pm 0,15$
<i>Stephanodiscus blinderanus</i>	$0,12 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$	$0,74 \pm 0,18$
<i>S. incognitus</i>	$0,18 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,01$	$0,71 \pm 0,13$
<i>Chlamydomonas</i> sp.	$0,14 \pm 0,05$	$0,09 \pm 0,03$	$0,79 \pm 0,28$
<i>Melosira granulata</i>	$0,12 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,03$	$0,77 \pm 0,20$
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	$0,23 \pm 0,07$	$0,11 \pm 0,03$	$0,59 \pm 0,17$
<i>Stephanodiscus perforatus</i>	$0,39 \pm 0,14$	$0,16 \pm 0,06$	$0,66 \pm 0,23$
<i>S. tenuis</i>	$0,50 \pm 0,11$	$0,19 \pm 0,04$	$0,78 \pm 0,17$

Таблица 5

Объем клеток ( $\text{мкм}^3$ ) у некоторых водорослей в разные сроки

Вид	10.V	17.V	24.V	31.V	13.VII	19.VII	26.VII	2.VIII
<i>Stephanodiscus perforatus</i>	291	238	120	—	154	—	—	—
<i>S. tenuis</i>	—	—	627	830	—	1083	1232	946
в отдельные сроки	—	—	—	728	—	—	—	—
средний для весны	—	—	—	—	—	—	—	—
средний для лета	—	—	—	—	—	—	—	—
средний для осени	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	—	—	—	—	—	130	112	80

Вид	30.VIII	11.IX	18.IX	22.IX	29.IX	4.X	14.X	2.XI
<i>Stephanodiscus perforatus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>S. tenuis</i>	—	—	1043	2593	2618	2732	2152	2489
в отдельные сроки	—	—	—	—	—	—	—	—
средний для весны	—	—	—	—	—	—	—	—
средний для лета	—	—	1076	—	—	—	—	—
средний для осени	—	—	—	—	—	—	—	2517
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	138	86	—	—	—	—	140	—



**Таблица 6**  
**Скорость деления (делений · сутки<sup>-1</sup>)**  
**одноклеточных водорослей разного объема (мкм<sup>3</sup>)**

Вид	Объем клетки	Отношение $s/v$	Скорость деления
<i>Stephanodiscus perforatus</i>	291	0,48	2,6
<i>S. tenuis</i>	259	0,22	2,0
<i>Synedra ulna</i>	6575	0,47	1,0
<i>Trochiscia aciculifera</i>	507	0,60	2,6
<i>Chlamydomonas</i> sp.	784	0,43	3,6
<i>Glenodinium</i> sp.	4158	0,26	0,6

Максимальный темп роста доминирующей группы водорослей — диатомовых, — лежит в пределах 2—2,6 и 1,7—1,9 делений · сутки<sup>-1</sup>.

Максимальные скорости деления зеленых оказались одного порядка с диатомовыми.

Колониальные водоросли способны размножаться темпами, характерными для одноклеточных видов. Крупные клетки могут делиться с той же скоростью, что и мелкие.

Темп деления снижается по мере нарастания численности вида.

Между скоростью деления и отношением площади поверхности к объему клетки существует тесная положительная связь. Но сезонная динамика интенсивности роста отдельных водорослей отношением  $s/v$  не определяется.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антипова Н. Л., Загоренко Г. Ф. К вопросу об определении суточной продукции некоторых видов байкальского фитопланктона. — Изв. Биол.-геогр. НИИ при ИГУ, 1971, т. 25, с. 20—29.
2. Генкал С. И., Кузьмин Г. В. Новые таксоны рода *Stephanodiscus* Ehr. (Bacillariophyta). — Бот. журн., 1978, т. 63, № 9, с. 1309—1312.
3. Глазунов И. В., Кожова О. М. Определение продукции фитопланктона в районе Селенгинского мелководья Байкала. — Изв. СО АН СССР. Сер. биол.-мед. наук, 1966, вып. 2, № 8, с. 40—52.
4. Гусева К. А. Причины периодичности в развитии фитопланктона Учинского водохранилища. — Бюл. МОИП. Отд. биол., 1947, т. 52, № 6, с. 49—62.
5. Елизарова В. А. О выживании летом весенних форм планктонных диатомей. — В кн.: Флора и растительность водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск, 1979, с. 56—66.
6. Елизарова В. А. Некоторые данные о скорости размножения планктонных водорослей в прибрежье Рыбинского водохранилища. — В кн.: Гидробиологические характеристики водохранилищ Волжского бассейна. Л., 1982, с. 50—56.
7. Елизарова В. А. К вопросу о содержании хлорофилла в пресноводном фитопланктоне. — Информ. бюл. ИБВВ АН СССР, 1982, № 58, с. 11—13.
8. Кожова О. М. Фитопланктон Иркутского водохранилища. — Тр. Лимнол. ин-та, 1964, т. 11 (31), с. 90—97.

9. Кондратьева Т. М. Определение суточной продукции фитопланктона в Севастопольской бухте.— В кн.: Первичная продукция морей и внутренних вод. Минск, 1961, с. 77—82.
10. Кузьмин Г. В. Фитопланктон: Видовой состав и обилие.— В кн.: Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975, с. 73—87.
11. Ланская Л. А. Культивирование водорослей.— В кн.: Экологическая физиология морских планктонных водорослей. Киев: Наук. думка, 1971.
12. Поповская Г. И. Фитопланктон Байкала и его значение в создании автохтонного органического вещества.— В кн.: Тез. докл. на совещ. по вопросам круговорота веществ и энергии в озерных водоемах. Листвиничное на Байкале, 1964, с. 63—64.
13. Поповская Г. И., Вотинцев К. К. Продукция байкальских перидиней.— ДАН СССР, 1967, т. 172, № 5, с. 1193—1196.
14. Роухияйнен М. И. О скорости деления клеток пиррофитовой водоросли *Cryptomonas vulgaris* в культуре.— Гидробиол. журн., 1977, т. 13, № 3, с. 65—66.
15. Сеничева М. И., Роухияйнен М. И. Продукция ультрапланктонных форм Севастопольской бухты.— В кн.: Тез. докл. I съезда советских океанологов. М.: Наука, 1977, вып. 2, с. 82—83.
16. Финенко З. З., Ланская Л. А. Рост и скорость деления водорослей в лимитированных объемах воды.— В кн.: Экологическая физиология морских планктонных водорослей. Киев: Наук. думка, 1971, с. 22—49.
17. Banse K. Rates of growth, respiration and photosynthesis of unicellular algae, as related to cell size: A rev.— J. Phycol., 1976, vol. 12, N 2, p. 135—140.
18. Canale R. P., Vogel A. H. Effects of temperature on phytoplankton growth.— J. Environ. Eng. Dev. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., 1974, vol. 100, N 1, p. 231—241.
19. Findlay I. W. O. Effects of external factors and cell size on the cell division rate of a marine diatom, *Coscinodiscus pavillardii* Fortu.— Intern. Rev. gesamt. Hydrobiol., 1972, vol. 57, N 4, p. 523—533.
20. Fogg G. E. Phytoplankton distribution and seasonal succession.— In: Algal cultures and phytoplankton ecology.: The Univ. of Wisconsin press, 1975, p. 119—137.
21. Hoogenhout H., Amesz J. Growth rates of photosynthetic microorganisms in laboratory culture.— Arch. Microbiol., 1965, vol. 50, p. 10—24.
22. Ionescu A. Ritmuri de diviziune la citra alge in situ Si in culturi de laborator.— Stud. și cercet. biol. Ser. bot., 1969, vol. 21, N 1, p. 61—65.
23. Paasche E. The influence of cell size on growth rate silica content, and some other properties of four marine diatom species.— Norw. J. Bot., 1973, vol. 20, N 2/3, p. 197—204.
24. Skoglund L., Jensen A. Studies on N-limited growth of diatoms in dialysis culture.— J. Exp. Mar. Biol. and Ecol., 1976, vol. 21, N 2, p. 169—178.
25. Sorokin C. Growth rate measurements on phytoplanktonic organisms.— Chesapeake Sci., 1969, vol. 10, N 3/4, p. 313—321.

УДК 574 58(28) : 581

## ФИТОЦЕНОЗЫ МЕЛКОВОДИЙ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Л. В. Тарасенко, М. А. Луценко

В Иваньковском водохранилище мелководная зона занимает значительную (48%) часть водоема. Фитопланктон литорали и в заливах исследовался нами в 1973—1980 гг. Исследования перифитона, содержания фотосинтетических пигментов в фитопланктоне и в обрастаниях проведены в 1979—1980 гг.

Видовой состав фитопланктона более разнообразен на мелководьях, но биомассу определяют общие с пелагическими массовые

**Таблица 1**  
**Биомасса фитопланктона**  
**в различных биотопах Иваньковского водохранилища**

Год	Месяц	Пелагиаль	Литораль	Заливы
1973	Май	16,69	14,28	16,62
	Июль	32,43	80,20	34,18
1975	Май	29,60	24,55	26,98
	Июль	27,34	16,65	12,36
	Октябрь	5,15	—	11,00
1976	Май	10,10	8,42	10,83
	Август	6,70	4,75	7,83
	Октябрь	0,67	1,98	0,99
1977	Май	7,03	9,70	6,52
	Июль	4,20	10,70	4,41
	Октябрь	2,60	3,20	1,27
1978	Май	1,28	2,06	—
	Июль	15,88	60,69	5,67
	Октябрь	0,98	1,08	1,58
1979	Май	5,12	12,78	1,99
	Июль	93,23	50,46	—

формы. Сезонная динамика фитопланктона открытой части литорали совпадает с изменениями фитопланктона в пелагиали. Биомасса фитопланктона литорали колебалась весной в пределах 0,7—43,57, летом — 0,30—376,3, осенью 0,06—12,18 г/м<sup>3</sup> (табл. 1). Только в период «цветения» воды синезелеными биомасса фитопланктона в открытом мелководье выше, чем в пелагиали. В заливах биомасса фитопланктона изменялась в разные годы весной — от 2,60 до 58,20; летом — от 0,94 до 128,40; осенью — от 0,34 до 36,11 г/м<sup>3</sup>.

Количество хлорофилла «а» на глубине максимального фотосинтеза в 1979 г. варьировало в фитопланктоне мелководных участков в пределах 1,8—123,2 мкг/л; в русловой части водоема 3,3—68,8 мкг/л (табл. 2). В мелководном Шошинском плёсе в период «цветения» синезелеными количество хлорофилла в планктоне возросло до 340 мкг/л. В неблагоприятном по метеорологическим условиям 1980 г. максимальное содержание хлорофилла составляло всего лишь 10,1 мкг/л в пелагиали и 6,9 мкг/л в литорали.

В перифитоне доминировали диатомовые (*Fragillaria*, *Cymbella*, *Navicula*, *Gomphonema*, *Cocconeis*), синезеленые (виды р. *Oscillatoria*), зеленые (*Chaetomorpha*, *Stigeoclonium*). Общая биомасса фитообрастания на камнях 0,07—3,2 г/м<sup>3</sup>, на макрофитах — 0,05—2,63 г/м<sup>2</sup>. На различных субстратах отмечено значительное количество нитчатой водоросли *Cladophora*.

Таблица 2

Содержание хлорофилла «а» в различных участках водохранилища, мкг/л

Год	Месяц	Слобода		Безбородово		Плоски		Корчева		Дубна	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1979	Июнь	22,0	21,4	68,8	123,2	10,4	10,3	12,1	10,6	12,3	9,5
	Июль	12,7	13,7	24,0	25,7	13,7	12,4	7,7	8,7	3,3	1,8
1980	Июнь	7,0	5,2	10,1	6,3	—	4,1	2,4	1,4	5,9	6,5
	Июль	2,2	1,5	2,2	6,9	2,4	0,8	2,8	1,4	5,6	3,7

Примечание. 1 — русло, 2 — мелководья.

Исследования содержания фотосинтетических пигментов в перифитоне проводилось нами в июле 1980 г. Общее количество хлорофилла «а» 40,3—186,5 мкг/см<sup>2</sup> в зависимости от субстрата и района отбора проб. Содержание хлорофилла «с» в обрастаниях было высоким — 12,3—40,8 мкг/см<sup>2</sup> — что обусловлено доминированием в перифитоне диатомовых водорослей.

Таким образом, за исследуемый период на мелководных участках водохранилища биомасса фитопланктона, а также содержание фотосинтетических пигментов в планктоне существенным образом не отличались от аналогичных показателей в глубоководной части водохранилища. Только в период «цветения» синезелеными биомасса и содержание хлорофилла на открытом мелководье выше, чем в пелагиали. Высокие биомасса и содержание хлорофилла в перифитоне позволяют предположить, что водоросли обрастаний играют существенную роль в продукционных процессах в водоеме.

УДК 574.652 : 581.526.3

## АЛЬГООБРАСТАНИЯ МАКРОФИТОВ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И. И. Попченко

Перифитонные водоросли в волжских водохранилищах до сих пор практически не изучены. Имеются лишь сведения по обрастанию искусственных субстратов в Рыбинском водохранилище [1].

Перифитон Саратовского водохранилища исследовался нами в 1977—1980 гг. [2, 3]. Отмечено около 400 видов водорослей, представленных главным образом диатомовыми (45%), зелеными (30%) и синезелеными (10%).

В перифитоне водохранилища преобладают планктонные водоросли (56%), остальная часть (почти поровну) принадлежит типичным обрастателям и донным. Число руководящих форм, явля-

ющихся доминантами и субдоминантами фитообрастаний, невелико — 15% от общего числа встреченных видов.

Диатомовые водоросли, будучи флористически наиболее разнообразной группой, постоянно доминируют и по численности. Особенно богаты видами представители родов *Navicula*, *Gomphonema*, *Melosira*, *Cymbella*, *Eunotia*, а наиболее многочисленны виды родов *Cocconeis*, *Achnanthes*, *Melosira*. Из зеленых в руководящий комплекс фитообрастаний входят *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, а из синезеленых — *Phormidium*, *Lyngbia*.

Анализ состава перифитона на 8 видах высших водных растений, преобладающих в водохранилище показал, что флористически наиболее разнообразны обрастания сусака (120 видов) и рдеста (110 видов). Менее богаты видами обрастания горца земноводного (60 видов).

Из диатомовых водорослей почти на всех макрофитах встречен *Cocconeis placentula*, *Fragillaria virescens*, *Achnanthes lanceolata*, *Melosira islandica* доминируют только среди обрастаний почти всех видов макрофитов, а *Lyngbia amplivaginata* характеризуется высокой численностью на погруженной растительности. У зеленых водорослей хорошо выражена приуроченность отдельных видов альгофлоры к определенному фитоценозу сосудистых растений.

Количественные показатели альгофлоры обрастаний зависят от состава данного альгоценоза: как правило, они выше там, где меньше видовое разнообразие, и наоборот. Так, наибольшая численность и биомасса водорослей отмечены на горце земноводном (80 млн. кл./м<sup>2</sup>, биомасса 13,4 г/м<sup>2</sup>). Близкие показатели обилия у обрастаний рогоза, рдеста и кубышки (от 1,5 до 1,8 г/м<sup>2</sup>). Минимальная биомасса альгофлоры на стрелолисте и в смешанных зарослях макрофитов (сальвиния + ряска + роголистник). Низкие численность (0,2 млн. кл./м<sup>2</sup>) и биомасса (0,09 г/м<sup>2</sup>) водорослей обусловлены здесь слабой освещенностью водной толщи.

Четко выражена тенденция к уменьшению (в 7 раз) показателей обилия водорослей на высшей водной растительности Саратовского водохранилища по направлению от верхних участков водоема вниз к плотине, что, видимо, связано с особенностями формирования зарослей литорали [4]. При этом с продвижением вниз в альгоценозах заметно возрастает доля зеленых водорослей.

Сезонные наблюдения за развитием альгофлоры обрастаний свидетельствуют об увеличении обилия перифитона в июне-июле и уменьшении к концу августа — началу сентября. В течение всего вегетационного периода постоянно доминируют диатомовые водоросли.

Годовые изменения качественного состава и количественных показателей фитообрастаний тесно связаны с гидрологическими условиями. Более высокие численность и биомасса наблюдаются в маловодные и теплые годы. Так, в маловодном и прохладном 1978 г. средняя биомасса перифитона понизилась по сравнению с предыдущим годом с 1,5 до 1 г/м<sup>2</sup>. В более теплые годы заметно повышается роль синезеленых и зеленых водорослей.

Несмотря на приуроченность комплексов водорослей к определенному виду растений, в целом в зарослях макрофитов Саратовского водохранилища доминируют лишь 3—4 вида альгофлоры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Девяткин В. Г. Динамика развития альгофлоры обрастаний в Рыбинском водохранилище.— В кн.: Флора и растительность водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск, 1979, с. 78—108.
2. Попченко В. И., Ломакина Л. В., Попченко И. И. Фитофильные комплексы организмов Саратовского водохранилища.— Гидробиол. журн., 1981, вып. 2, т. 17, с. 25—30.
3. Попченко В. И., Попченко И. И. Суточные миграции и сезонная динамика населения фитоценоза рогоза узколистного в Саратовском водохранилище.— В кн.: Тез. докл. V Всесоюз. лимнол. совещ. «Круговорот вещества и энергии в водоемах». Лиственичное на Байкале, 1981, с. 28—30.
4. Экзерцев В. А. О растительности Саратовского водохранилища.— Бюл ИБВВ АН СССР, 1975, № 26, с. 22—25.

УДК 574.583(28) : 581+574.55(28)

## ФИТОПЛАНКТОН И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ МЕЛКОВОДИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (1970—1972 гг.)

Н. Н. Миргородченко

Потребность в изучении мелководий Куйбышевского водохранилища возникла из-за ее важного значения для воспроизводства и нагула рыб. Мелководная зона в водохранилище занимает 38,3% от общей площади.

Наблюдения, проведенные в 1970—1972 гг. в Волжско-Камском плёсе, показали, что его альгофлора довольно богата. На формирование фитопланктона этого участка оказывают влияние реки бассейнов Волги и Камы. Течение в этом плёсе наблюдалось только по руслу. Видовой состав фитопланктона Волжско-Камского плёса представлен 185 видами. По видовому разнообразию первое место занимали зеленые водоросли 70 видов, затем диатомовые — 63 вида, синезеленые — 25, эвгленовые — 18, золотистые — 4, пиррофитовые — 4, желтозеленые — 3 вида.

Весной (май-июнь) в планктоне доминировали диатомовые водоросли. Ведущими видами были *Melosira granulata*, *M. italica*, *Asterionella formosa*. Летом по количеству видов преобладала группа зеленых водорослей в основном протококковые, но руководящими были *Aphanizomenon flosaquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Coelosphaerium dubium*, *Melosira granulata*, *Scenedesmus quadricauda*. Осенью фитопланктон, как и весной, был представлен диатомовыми. Доминировали *Melosira granulata*, *M. binderana*, *Tabelaria fenestrata*, *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus astraea*. Зимой в фитопланктоне преобладали виды рода *Melosira*. Весной биомасса диатомовых достигала 5,0 г/м<sup>3</sup>, синезеленых и эвглено-

вых — 3,0 г/м<sup>3</sup>. Биомасса зеленых была ниже — 1,2 г/м<sup>3</sup>. Летом (июль-август) биомасса фитопланктона в целом увеличилась по сравнению с весной. Количество диатомовых возрастало до 7,0, синезеленых — до 56, эвгленовых — до 10,0 г/м<sup>3</sup>. Количество зеленых, в основном протококковых на мелководьях было невысоким. Их биомасса в летний сезон была до 1,0 г/м<sup>3</sup>. Биомасса остальных групп водорослей не превышала 0,4 г/м<sup>3</sup>. Осенью (сентябрь-октябрь) биомасса диатомовых возрастала до 16,0 г/м<sup>3</sup>. Биомасса других групп водорослей сильно снижалась.

В сезонной динамике фитопланктона отмечено два подъема — летний за счет вегетации синезеленых (*Aphanizomenon flos-aquae*) и осенний, который определялся развитием диатомовых *Melosira granulata*, *M. binderana*. В летний период биомасса синезеленых на мелководьях в два—пять раз выше, чем на русле. Напротив, количество диатомовых в глубоководной зоне в три раза выше, чем в мелководной. На мелководных участках в значительном количестве отмечались эвгленовые водоросли, а в глубоководной зоне они были представлены единичными экземплярами. Биомасса протококковых в глубоководной зоне не превышала 0,3 г/м<sup>3</sup>, а на мелководьях достигала 2,0 г/м<sup>3</sup>.

В фитопланктоне залива Майна, который расположен в верхней части Центрального плёса водохранилища и характеризуется небольшими глубинами (5,7 м), ведущими группами были синезеленые, диатомовые, эвгленовые и протококковые. Летом (июль-август) биомасса синезеленых достигала 100,0, диатомовых — 16,0, эвгленовых — 12,0, протококковых — 2,5 г/м<sup>3</sup>. Массовыми видами были *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Melosira binderana*, *Trachelomonas volvocina*, *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum boryanum*. Осенью (сентябрь-октябрь) количество синезеленых, эвгленовых, протококковых уменьшалось. Биомасса диатомовых увеличивалась до 32,0—80,0 г/м<sup>3</sup>. Преобладающими видами были *Melosira granulata*, *M. binderana*, *Cymbella* sp., *Navicula* sp., *Synedra* sp., *Nitzschia* sp.

В Черемшанском заливе, который расположен в нижней части Центрального плёса, в летний период (август) биомасса синезеленых достигала 150,0, диатомовых — 14,0, протококковых — 3,0 г/м<sup>3</sup>.

Определение продукции фитопланктона на мелководьях Волжско-Камского плёса проводилось в 1970—1972 гг. в мае—июле по методу Г. Г. Винберга. Величина валовой продукции, деструкции, биомасса фитопланктона определялись на разных горизонтах, за чистую продукцию фитопланктона принято 80% валового фотосинтеза. Расчеты показали, что Р/В-коэффициент за вегетационный период на мелководьях Волжско-Камского плёса был равен 180.

Определение первичной продукции и Р/В-коэффициентов также проводилось летом (август) в заливе Майна и Черемшан. Результаты опытов показали, что Р/В-коэффициенты в этих участках водохранилища в летний период были равны 100 и 80 соответственно.



# СТРУКТУРА И ЭКОЛОГИЯ СООБЩЕСТВ ПЕРИФИТОННЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И. А. Скальская, З. М. Мыльникова

В прибрежной зоне Рыбинского водохранилища в 1977—1980 гг. изучали структуру и динамику сообществ перифитонных животных (инфузории, мейо- и макрофауна) на искусственных субстратах (дерево и стекло) в зависимости от водности года, температуры, защищенности мелководий, степени их зарастания. Установлено, что в закрытом побережье, защищенном от сильного ветрового волнения, при наличии зарослей макрофитов и их фауны (одного из источника перифитонных форм) видовой состав обрастателей почти вдвое богаче по сравнению с открытым побережьем.

Среди живущих в обрастаниях инфузорий в открытом побережье отсутствовали неспособные противостоять сильному волнению подвижные формы, а среди макробеспозвоночных главным образом тонкие фильтраторы — губки, мшанки, а также некоторые фитофильные личинки хирономид. В обрастаниях на стеклах найдены ранее не отмечавшиеся, новые для Рыбинского водохранилища и Волги виды инфузорий: *Cinetochillum margaritaceum* Ehrb., *Cyclidium glaucoma* O. F. Müller, *Chilodontopsis caudata* Kahl, *Ch. depressa* (Perty), *Gastronauta membranacea* Engelmann, *Dysteria navicula* Kahl.

Выделены сезонные группировки перифитонных инфузорий: *Vorticella campanula* Ehrb., *V. convallaria* L., *Oxytricha pelionella* Müll.-Stein, *Chilodonella cucullulus* O. F. Müll., *Cinetochillum margaritaceum* обнаруживались постоянно; только весной и осенью развивались *Carchesium polypinum* L., *Frontonia acuminata* Ehrb., *Chilodontopsis caudata* летом преимущественно встречались *Vaginicola crystallina* Entz., *Epistylis* sp., *Ophrydium versatile* Müller, *Zoothamnium arbuscula* Ehrb. Максимум в развитии инфузорий приходился на июль-август. Численность инфузорий ежегодно менялась: в закрытом побережье она колебалась от 2,8 до 8,3 млн. экз./м<sup>2</sup>, в открытом — от 0,8 до 3,5 млн. экз./м<sup>2</sup>. В годы с высоким уровнем воды в сочетании с низкими температурами их численность в обеих зонах оказывалась наименьшей.

Среди мейо- и макробеспозвоночных в обрастаниях на древесных субстратах и предметных стеклах ежегодно доминировали одни и те же виды: личинки хирономид *Glyptotendipes glaucus* Mg, *Endochironomus albigenuis* Mg, *Cricotopus* gr. *silvestris* (F), нaidиды *Nais barbata* Müll., *Stylaria lacustris* L, из моллюсков — *Dreissena polymorpha* Pall. Кроме указанных видов в закрытом побережье отмечались вспышки численности гидр (*Hydra vulgaris* L.) и мшанок (*Cristatella mucedo* Cuvier), не являющихся постоянными

ми компонентами обрастаний. Численность гидр достигала 115 000 экз./м<sup>2</sup>, мшанок — 15 400 колоний/м<sup>2</sup>.

Количество обрастателей на древесных субстратах было больше, чем на предметных стеклах. В первой половине вегетационного периода преобладали личинки хирономид и наидиды. В июле-августе появлялась дрейссена, которая осенью давала высокую биомассу — до 90% и более.

Процессы обрастания в закрытом прибрежье шли значительно интенсивнее, чем в открытом. Межгодовые вариации численности и биомассы обрастателей в закрытом прибрежье тесно связаны с температурой и уровнем воды, от которых зависят биологические циклы и концентрация перифитонных форм в толще воды, а следовательно, и их количество на субстратах. В маловодные и теплые годы численность и биомасса обрастателей может быть в 6—10 раз больше, чем в годы с высоким уровнем воды и сравнительно низкой температурой. В открытом прибрежье с менее благоприятными условиями для развития обрастаний ежегодно сохраняется монотонность видового состава и незначительные колебания численности беспозвоночных.

В годы с высокой численностью личинок хирономид (до 45 000 экз./м<sup>2</sup>) между двумя близкими по биологии доминирующими видами (*Glyptotendipes glaucus* и *Endochironomus albipennis*) возможна конкуренция за место прикрепления, причем более подвижные и менее связанные с субстратом личинки *Endochironomus albipennis* оказывались вытесненными. Коэффициент корреляции численностей этих видов был равен —0,7, указывающий на довольно тесную отрицательную связь. При сравнительно низкой численности (не более 13 000 экз./м<sup>2</sup>) конкуренция отсутствовала, коэффициент корреляции находился в пределах от 0,35 до 0,40.

В открытом прибрежье на древесных субстратах численность дрейссены в однолетних обрастаниях выше, но размеры сеголетков меньше, чем на быстрее прогреваемых слабопроточных участках закрытого прибрежья. В устье р. Шуморовки, впадающей в водохранилище, численность и биомасса сеголетков дрейссены из года в год сильно варьируют и зависят главным образом от условий зимовки и сроков размножения моллюсков. При благоприятных условиях зимовки (высоком уровне воды) численность сеголетков в конце вегетационного периода достигала 75 000 экз./м<sup>2</sup>, после маловодной зимы их численность была невысокой — 19 700—24 800 экз./м<sup>2</sup>.

Размерный состав сеголетков дрейссены зависел от сроков массового оседания велигеров на субстраты. В годы с массовым оседанием в июле — первой декаде августа примерно треть всего состава сеголетков к концу вегетационного периода достигала размеров, при которых начинается половое созревание. При успешной зимовке весной следующего года они могли участвовать в размножении, что приводило к увеличению численности дрейссены в водохранилище. При более поздних сроках массового оседания велигеров

(2—3 декады августа) сокращалась длительность периода роста моллюсков и к концу сезона они не достигали размеров, при которых начинается половое созревание. Весной они не участвовали в размножении, в результате чего численность молоди в конце сезона оказывалась невысокой.

УДК 574.586(28)

## РАЗВИТИЕ ПРОТОЗОЙНОГО ПЕРИФИТОНА В РЫБИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

В. А. Золотарев

В настоящее время многие гидробиологи рассматривают перифитон как показатель качества воды [3]. Наименее изучены протозойные обрастания, особенно бесцветные жгутиконосцы, так как их исследование требует применения своеобразных методик [1]. Сбор материала с естественных субстратов не дает полноценного представления о протозойном перифитоне, поскольку производится обычно при помощи соскобов. Методика наблюдения и счета на стеклах обрастания применяется в изучении различных групп организмов и позволяет сравнивать результаты разных исследователей. Нами использовался метод прямого микроскопирования нефиксированных проб.

В настоящей работе представлены результаты наблюдений, проведенных с мая по октябрь 1980 г. на трех различных по гидрологическим условиям участках Рыбинского водохранилища: ст. 1 — характеризует пелагиаль водохранилища, глубина (при НПУ) около 8 м; ст. 2 — открытое побережье водохранилища, глубина примерно 3,5 м; ст. 3 — русло р. Шуморовка (закрытое побережье водохранилища), глубина 3,5 м. Кроме того, собран материал в двух прудах (глубина 1,2 м) на экспериментальной базе ИБВВ АН СССР.

Установки со стеклами обрастания, расположенными вертикально, фиксировались при помощи поплавков и якоря на двух горизонтах: 50—70 см от поверхности и 50 см от дна. В экспериментальных прудах стекла находились в среднем слое воды.

Основное внимание уделялось изучению бесцветных жгутиконосцев, учитывались также прикрепленные инфузории и саркодовые. Динамика численности этих групп приведена на рис. 1—4.

Воротничковые жгутиконосцы (*Choanoflagellida* Kent.) преобладали в протозойных обрастаниях. Доминировал *Codonosiga botrytis* Ehrh. (максимальная численность — 50 тыс. экз./см<sup>2</sup>, биомасса — 0,004 мг/см<sup>2</sup>, ст. 3). Развитие этого организма на стеклах обрастания ограничивалось ветровым волнением, а также быстрым заселением субстрата водорослями. Влияние ветрового волнения подтверждается большей численностью *C. botrytis* в нижних горизонтах и в закрытом побережье, чем в открытой части водохранилища (рис. 1—3).

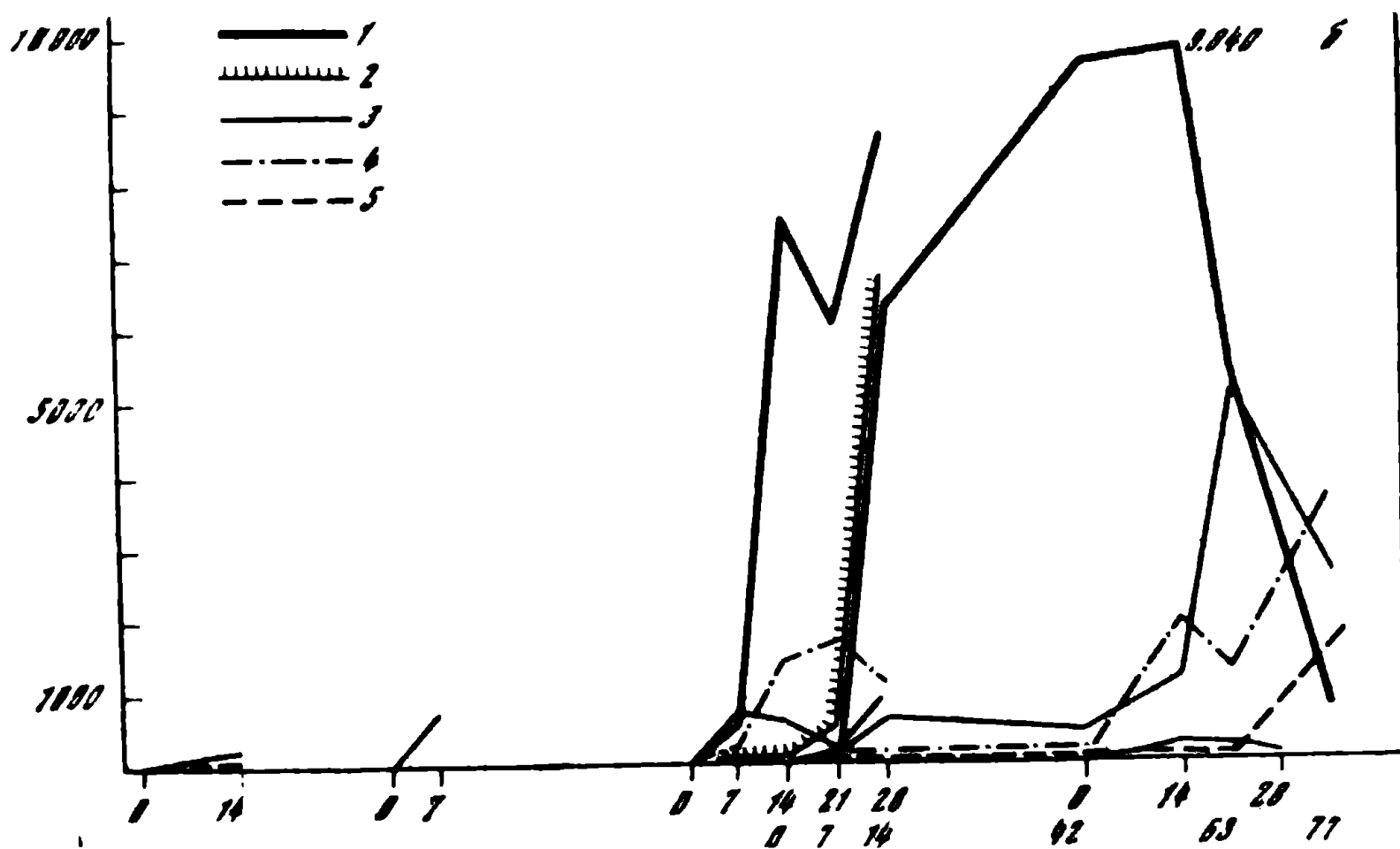
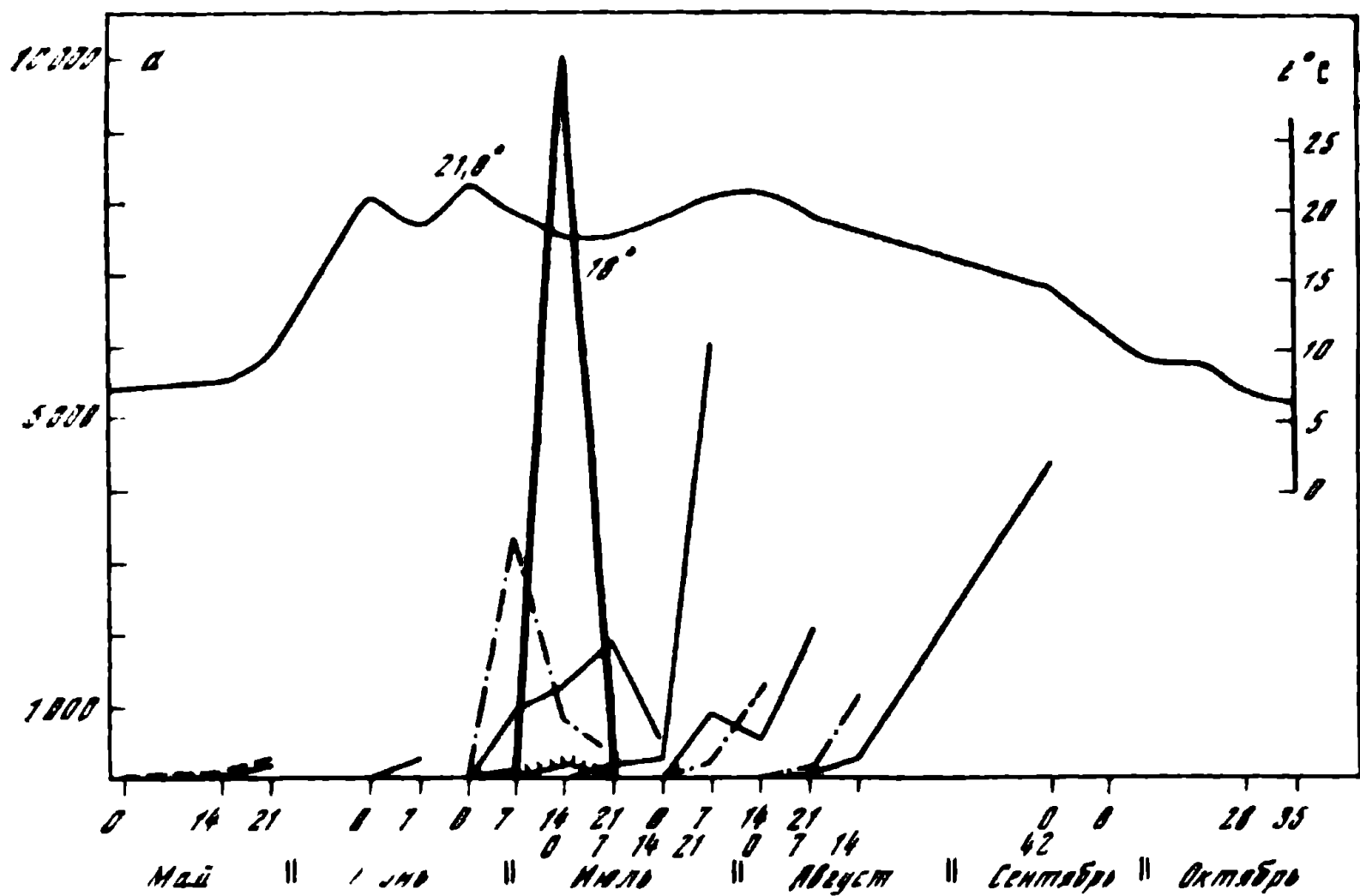


Рис. 1. Динамика численности простейших перифитона на ст. 1, 1980 г.

а — верхний горизонт, б — придонный горизонт; 1 — *C. botrytis*; 2 — *p. Salpingoeca*; 3 — *Bodo-pina*; 4 — *Ciliophora*; 5 — *Sarcodina*. По оси ординат — численность, экз./см<sup>2</sup>, по оси абсцисс — время экспозиции, сутки

Связь между численностью воротничковых и водорослей иллюстрируется их вертикальным распределением: в придонных слоях наблюдался минимум водорослей и наибольшая плотность хоанофлагеллят. Максимальная численность *C. botrytis* в поверхностном слое (рис. 1, а) зарегистрирована в первой половине июля, в период низкой плотности фитоперифитона. О лимитирующем воздействии последнего свидетельствуют и данные рис. 3, б: при быстром за-

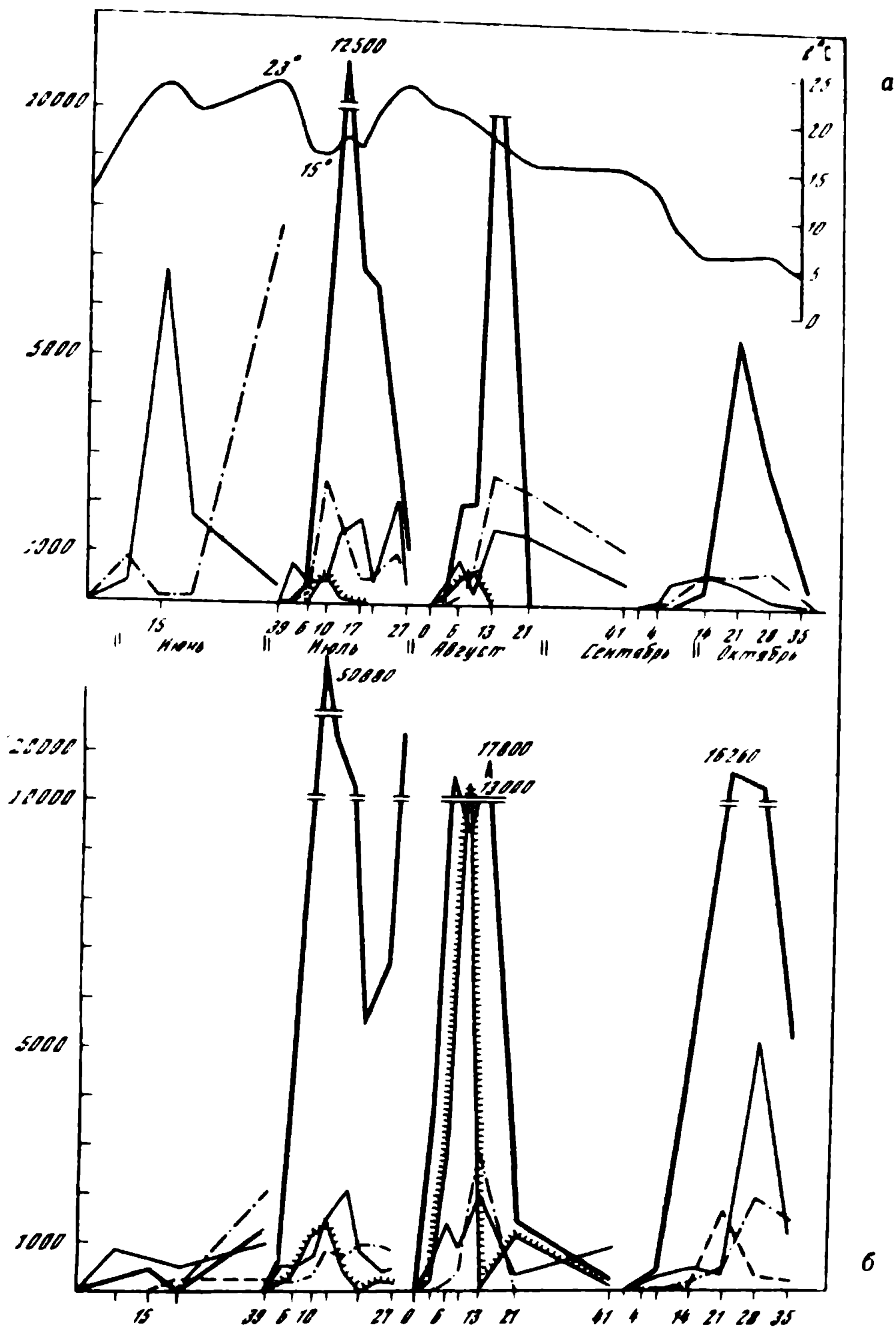


Рис. 2. Динамика численности простейших перифитона на ст. 3, 1980 г.  
Условные обозначения те же, что и на рис. 1

селении субстрата водорослями количество воротничковых не превышало 1,1 тыс. экз./см<sup>2</sup>, с понижением численности водорослей плотность *S. botritis* достигала 18,0 тыс. экз./см<sup>2</sup>.

Некоторые авторы отмечают для макроперифитона автотрофный тип сообщества в летнее время. Микрообрастания развивались аналогичным образом: водоросли доминировали на субстра-

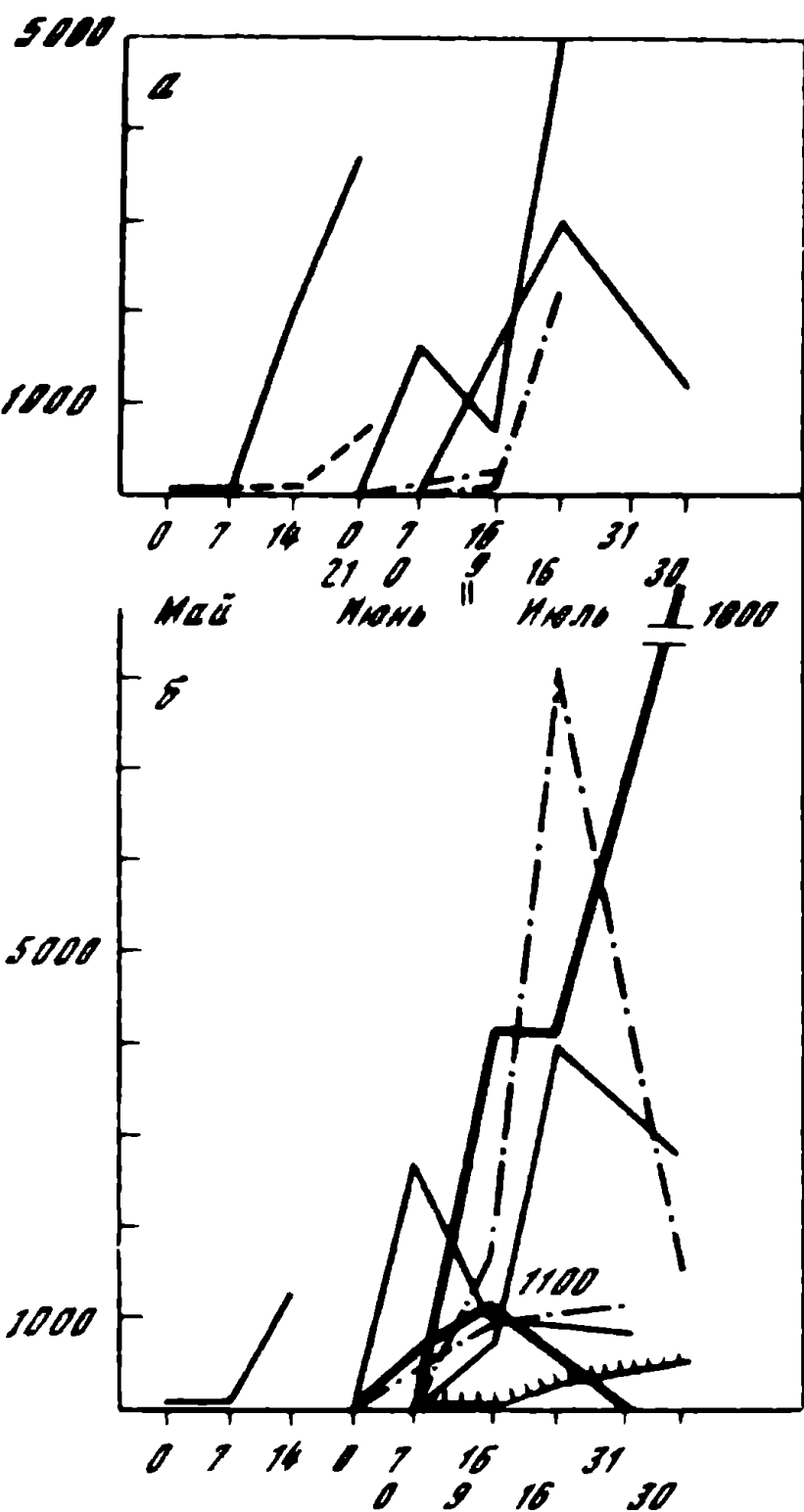
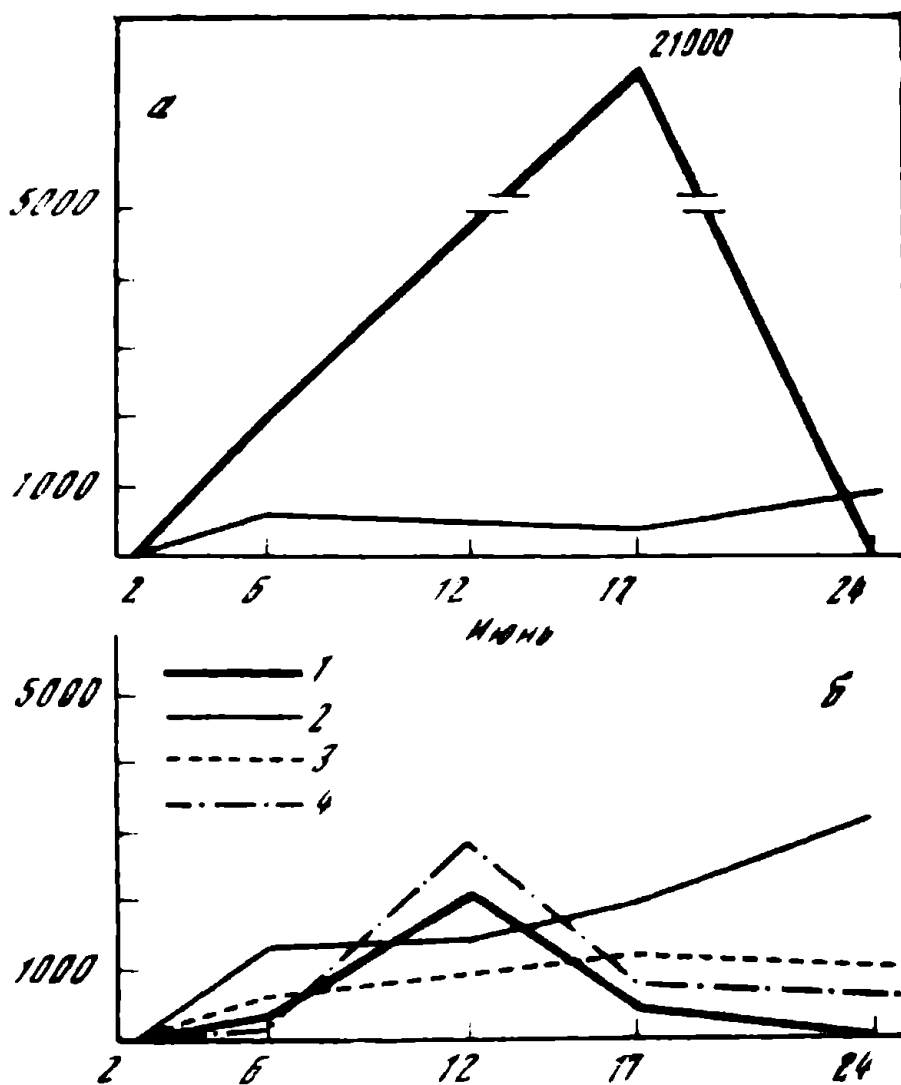


Рис. 4. Динамика численности простейших перифитона. Экспериментальные пруды, 1980 г.

а — контроль; б — опыт; 1 — *C. botrytis*; 2 — *Bodonina*; 3 — *B. minimus*; 4 — *p. Vorticella*. По оси ординат — численность, экз./см<sup>2</sup>, по оси абсцисс — число месяца

Рис. 3. Динамика численности простейших перифитона на ст. 2, 1980 г.

Условные обозначения те же, что и на рис. 1



те, ограничивая численность протозойного перифитона. Для всех станций отмечена общая закономерность: в течение первых 2—3 недель численность простейших увеличивалась, а затем снижалась. Сходные данные получили Кэйрис и др. [3] на других субстратах.

При обработке стекол с длительной экспозицией (2 и более месяца) применялся метод соскоба обрастаний, поэтому результаты не включены в общие графики. Здесь основным компонентом простейших являлись бодониды (1 000—10 000 экз./см<sup>2</sup>), встречались также воротничковые (*p. Salpingoeca*) и саркодовые (до 1000 экз./см<sup>2</sup>). Отсутствие *C. botrytis*, вероятно, связано с повреждением организмов при обработке материала по данной методике.

На экспериментально-прудовой базе было проведено искусственное эвтрофирование одного из прудов органическим удобрением. В контрольном пруду (рис. 4, а) значительной численности достигла *C. botrytis* (21 000 экз./см<sup>2</sup>), а для эвтрофированного водоема показательными явились *Bodo minimus* и *p. Vorticella*. Это сви-

детельствует о возможности использования организмов протозойного перифитона для характеристики загрязнения водоемов.

В заключение отметим сезонные особенности развития обрастаний. В мае-июне микрофауна перифитона находилась в угнетенном состоянии, за исключением некоторых бодонид и сидячих инфузорий (численность соответственно 6600 и 7600 экз./см<sup>2</sup>, ст. 3). В этот период основным лимитирующим фактором явилось интенсивное развитие водорослей.

Протозойные обрастания достигли расцвета в июле-августе, причем максимальная численность воротничковых (52 000 экз./см<sup>2</sup>, ст. 3) отмечена в период временного понижения температуры и прозрачности воды (первая половина июля) и наблюдалась через 10 дней после начала экспонирования стекол. В сентябре-октябре уменьшалась скорость заселения субстрата и численность обрастателей снизилась. В это время развитие простейших на стеклах ограничивалось оседанием детрита и неорганических частиц, а также развитием водорослей.

Таким образом, простейшие, особенно хоанофлагелляты играют большую роль в начальной фазе формирования перифитонного сообщества. Простота и стандартность методики, высокая скорость колонизации стекол обрастания микрофауной позволяют использовать многие виды простейших перифитона для биоиндикации загрязнения водоемов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков Б. Ф. Бесцветные жгутиконосцы.— В кн.: Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975, с. 133—135.
2. Cairns J., Vonque W., Boatin H. The relationship between number of protozoa, species and duration of habitat immersion. Rev. biol., 1973, vol. 9, N 1/4, p. 35—42.
3. Sladecek V. System of water quality from the biological point of view.— *Ergeb. Limnol.*, 1973, H. 7.

УДК 574.583(28) : 591

### ЗООПЛАНКТОН И САПРОБНОСТЬ ВОДЫ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Н. А. Дзюбан, С. П. Кузнецова

Многие годы изучение зоопланктона ограничивалось главным образом рыбохозяйственными интересами как кормовой базой рыб. Однако последнее время в связи с обострением проблемы чистой воды его значение стало более широким [2—4]. С одной стороны, он является частью экосистемы, осуществляющей самоочищение во всей толще воды, а с другой, виды, образующие зоопланктонные ценозы, являются индикаторами качества воды по сапробности. Последнее широко используется для всесоюзного мониторинга, а также в зарубежных странах. В этом плане изучение зоопланктона при разных гидрометеорологических условиях имеет большое значение



как для его сравнительной оценки в комплексе гидробиологического мониторинга, так и для разработки методики прогнозов качества вод. В результате восьмилетнего мониторинга нами изучены закономерности загрязнения и реакции на него зоопланктона. Это мы проиллюстрируем на примере 1975 г., выделяющегося маловодностью и высоким прогревом воды. Материал собирали и обрабатывали по методике, принятой в Институте биологии внутренних вод АН СССР. Отбор проб производился весной, летом и осенью.

В апреле зоопланктон был беден и состоял в основном из бета-мезосапробных *Cyclops kolensis*, *C. vicinus* и *Mesocyclops leuckarti* с индексами сапробности 2,0, 2,15 и 2,0, а также их молоди и небольшого количества коловраток. Всего в апреле было зарегистрировано 15 видов со средней численностью 2 тыс. экз./м<sup>3</sup> и биомассой 54,5 мг/м<sup>3</sup>. Качество воды в этом месяце было самым низким для всего года, однако находилось в пределах бета- и мезосапробной зоны, т. е. умеренно загрязненных вод с индексами сапробности 1,9—2,0 (рис. 1). Ранней весной в водохранилище поступали за счет местного паводка и смыва органические и неорганические загрязнения. На этом фоне ниже сбросов канализационных вод в результате суммирования загрязнений наблюдалось снижение численности индикаторных видов *Cyclops kolensis* и *Mesocyclops leuckarti* (рис. 2). Одновременно увеличивались индексы сапробности до 2,04, показывающие ухудшение качества воды в пределах умеренного загрязнения.

В мае по сравнению с апрелем отмечено улучшение качества воды. В это время происходили, с одной стороны, ежегодно повторяющаяся интенсивная промывка Саратовского водохранилища большим сбросом вод из Куйбышевского для нужд дельты Волги до 32 000 м<sup>3</sup>/сек вместо 11 000 в зимнюю межень, т. е. в три раза больше, а с другой, качественное и количественное обогащение всего планктона. Видовой состав зоопланктона состоял в мае из 31 формы против 15 в апреле, а его численность увеличилась в 10—30 раз. Особенно возросло в мае количество коловраток-фильтраторов *Keratella quadrata* (бета-мезосапроб) — в 15 раз, *Synchaeta* sp. — в 8 раз. Таким образом, качество воды в мае улучшилось в результате действия двух факторов: более высокое разбавление загрязненных вод и увеличение интенсивности самоочищения во всей толще воды, обогатившейся к этому времени планктическими гидробионтами, включая зоопланктон. Средний индекс сапробности в мае (1,8) был ниже, чем в апреле. Наблюдавшееся в апреле снижение численности зоопланктона ниже сбросов в мае отсутствовало. Однако в низовье одного из притоков, где высокий подпор воды образовал скопление сточных вод, улучшения качества воды в мае не наблюдалось. Об этом свидетельствовало значительное количество бета- и альфа-сапробных *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus angularis* и полисапробного вида *Rotaria neptunia*. Индекс на этом участке 2,37.

В июне в связи с интенсивным прогревом воды (18,5—22,0°) развивался летний комплекс зоопланктона, количественно превосходя-

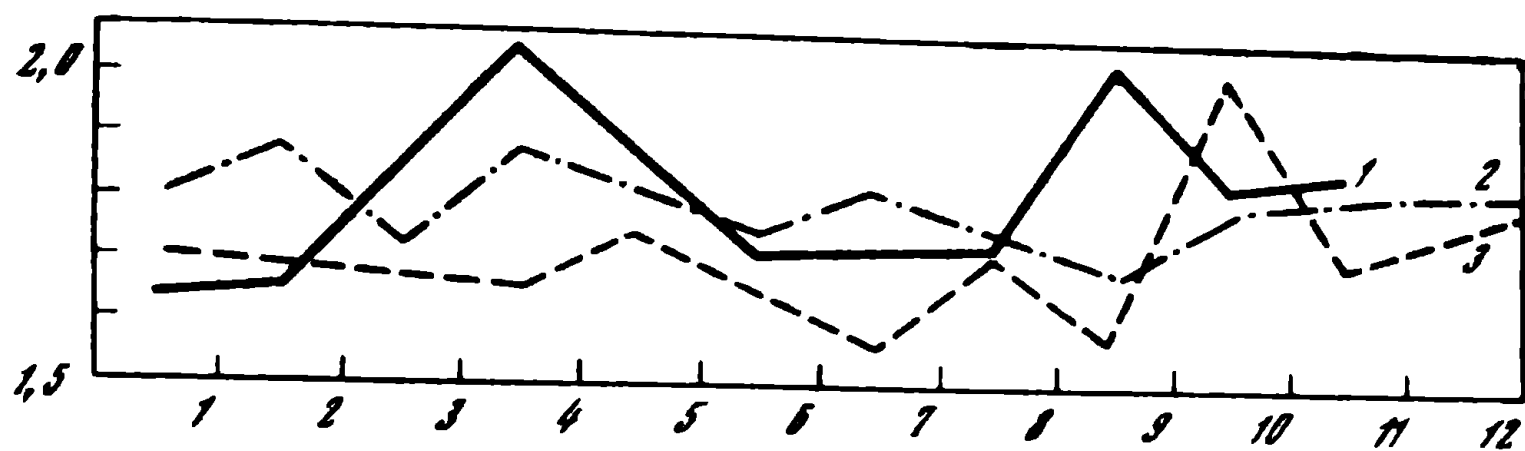


Рис. 1. Сапробность Саратовского водохранилища в пределах Самарской Луки в 1975 г.

1 — апрель; 2 — май; 3 — июнь; по оси ординат — номера станций на продольном разрезе, по оси абсцисс — значения индексов сапробности

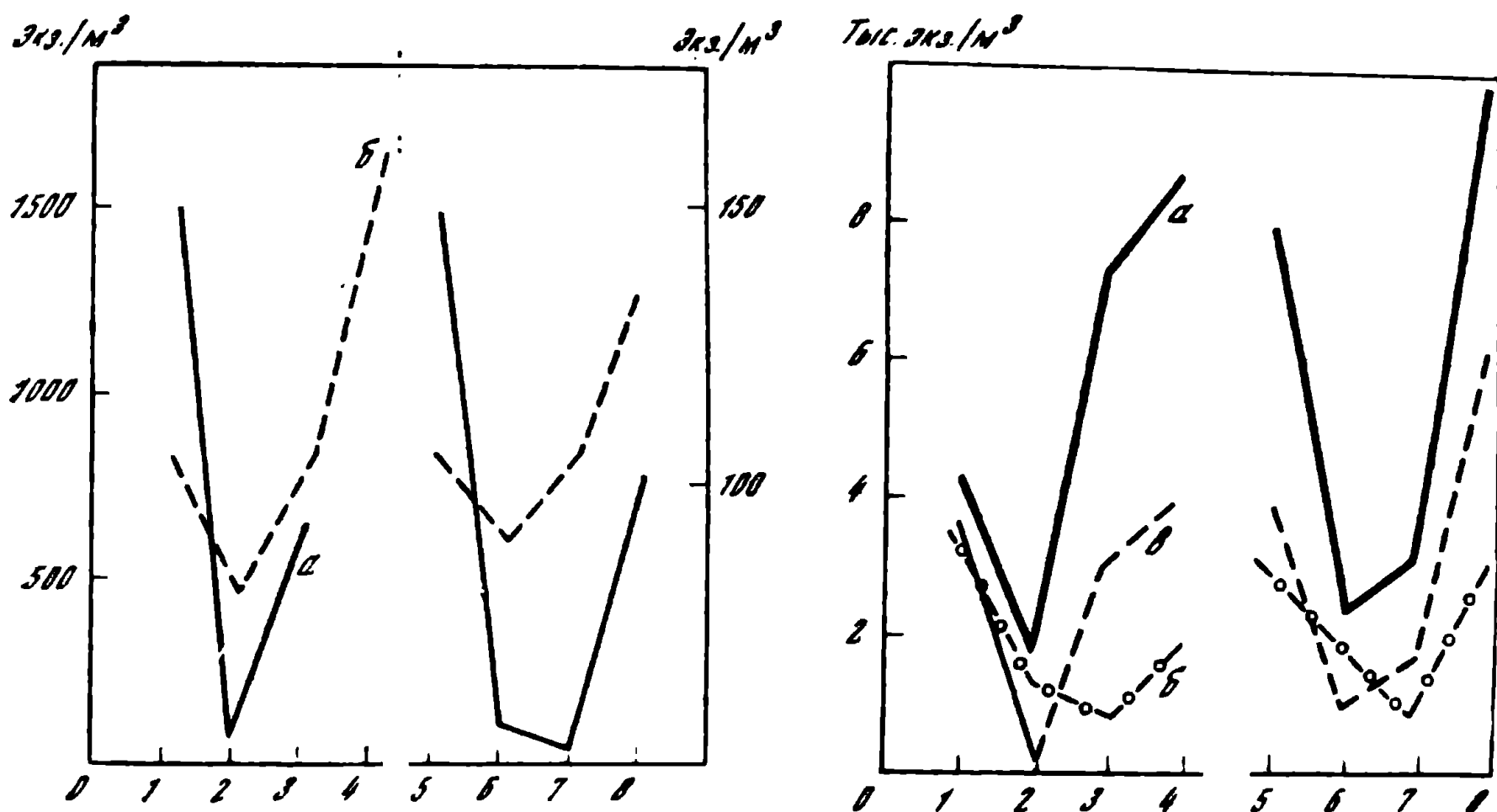


Рис. 2. Реакция зоопланктона на сбросы сточных вод в апреле 1975 г.

По оси ординат — номера станций: 1—500 м выше сброса, 2—500 м ниже сброса; 3—3 км ниже сброса; 4—10 км ниже сброса; 5 — выше сброса; 6, 7 — ниже сбросов, 8—3 км ниже сбросов; по оси абсцисс — численность, экз./м³: а — *Cyclops kolensis* (шкала слева), б — *Mesocyclops leuckartii* (шкала справа)

Рис. 3. Реакция зоопланктона на сбросы сточных вод в июне 1975 г.

По оси абсцисс — численность, тыс. экз./м³: а — *Cladocera*; б — *Daphnia longispina* ad.; в — *Daphnia longispina* juv.

Остальные условные обозначения те же, что и на рис. 2

щий майский. Общая численность достигала 143—163 тыс./м³, средняя биомасса — 1686 мг/м³. Основой ведущего комплекса были *Polyarthra major* (олигосапроб), *Daphnia longispina* (бета-мезосапроб), *Acanthocyclops vernalis* (бета-мезосапроб) и молодь циклопов. Наряду с этим с июня в водохранилище установился обычный для межени периода уровень воды и проточности, определяемый недельным и суточным ритмом работы Волжской ГЭС им. В. И. Ленина. Уменьшились среднесуточные попуски из Куйбышевского

водохранилища в три раза по сравнению с маем. Это в значительной мере определило динамику качества воды в пределах Самарской Луки, т. е. в  $1/3$  водохранилища. В июне по сравнению с маем загрязнение немного увеличивалось (рис. 1). Более четко оно проявлялось в выходные дни, когда пропуск воды уменьшался в 4 раза. Ухудшение санитарного состояния воды в нерабочие дни отмечалось и сотрудниками Куйбышевского института гигиены [5].

По нашим данным в выходные дни, т. е. при минимальных пусках из Куйбышевского водохранилища и соответственно меньшим разбавлением сточных вод, качество их ниже сбросов ухудшалось, о чем свидетельствовала гибель части зоопланктона, как и в апреле. В одних местах численность зоопланктона снизилась от 107 тыс./м<sup>3</sup> выше сброса до 43 тыс. экз./м<sup>3</sup> ниже сброса. В другом районе ниже сброса зоопланктона было меньше в три раза по сравнению с чистым участком. Особенно остро реагируют на загрязнение в этих районах кладоцеры, в частности, тонкий фильтратор *Daphnia longispina* (рис. 3). Аналогичная реакция наблюдалась у олиго-сапроба *Polyarthra major*, которого осталось 3 тыс. экз./м<sup>3</sup> ниже сброса от 16 тыс. экз./м<sup>3</sup> выше его.

В июне в низовье одного притока была самая высокая для всего водохранилища численность зоопланктона — почти 7 млн. экз./м<sup>3</sup>. Он состоял на 98% из циклопов *Acanthocyclops vernalis*, *Cyclops vicinus* и их молоди. Среди коловраток был массовым бета-альфасапробный *Brachionus calyciflorus*, что указывало на загрязненность этого участка и интенсивный процесс самоочищения [1].

Зоопланктон свидетельствовал о пониженном качестве воды и в устье другого притока. Там отмечалась самая низкая для июня численность зоопланктона (14 тыс. экз./м<sup>3</sup>). Кладоцер было только 100 экз./м<sup>3</sup>. Полностью отсутствовала чувствительная к загрязнению *Daphnia longispina*. В то же время в водохранилище кладоцер было 3300 экз./м<sup>3</sup>, в том числе 2800 *Daphnia longispina*. Общее количество зоопланктона здесь было выше почти в 5 раз, качество воды было также лучше.

Верхняя часть Саратовского водохранилища по сравнению с нижней более населена и индустриализирована, поэтому она интенсивнее загрязняется, качество воды в ней хуже. В связи с этим мы в нашем сообщении остановились главным образом на динамике загрязнения воды в этом районе.

В нижней (озерной) части водохранилища крупные промышленные центры, сбрасывающие канализационную воду, отсутствуют. В то же время условия для развития лимнофильного комплекса экосистемы, участвующей в самоочищении, в том числе высшей и низшей растительности озерной части, значительно лучше и она там богаче. Все это обусловило более высокое качество воды озерной части водохранилища. В ней находится 77% воды от общего объема.

Наблюдения, проведенные нами в октябре, совпали с интенсивным снижением температуры воды и перестройкой зоопланктона. Произошло отмирание теплолюбивых летних форм и началось раз-

витие осеннего комплекса. В связи с этим видовой состав был очень беден — не более 2—5 видов на станции. Появились *Cyclops kolensis* — бета-мезосапроб, *Polyarthra dolichoptera* — олигосапроб. Общая численность и биомасса зоопланктона были низкими (в среднем 727 экз./м<sup>3</sup>, или 72 мг/м<sup>3</sup>). В зоопланктоне преобладали ювенильные стадии циклопов, не имеющие индексов сапробности. Поэтому определение качества воды по сапробности было затруднительным. Однако и при этих условиях достаточно четко, как и в июне, выделялись участки повышенной сапробности в районе сбросов и в устьях притоков. Индексы сапробности здесь в октябре были не ниже 2, т. е. на уровне умеренного загрязнения.

Таким образом Саратовское водохранилище по индексам сапробности можно отнести к бета-мезосапробной зоне, т. е. к умереннозагрязненным водоемам. Наряду с этим оно четко подразделяется по качеству воды на два района:

- 1) верхняя часть в пределах Самарской Луки, где наблюдаются ограниченные по площади загрязнения участки;
- 2) озерная часть — с более благополучным санитарно-биологическим состоянием воды.

Для динамики качества воды верхней трети Саратовского водохранилища характерно: 1) ухудшение в апреле, 2) заметное улучшение в мае и 3) колебания качества воды в меженный период в связи с недельным и суточным ритмом работы ГЭС.

Качество воды низовья некоторых притоков по сравнению с собственным водохранилищем хуже.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Галковская Г. А. Видовой состав, количественное развитие и участие колеровок в самоочищении воды в биологических прудах. — В кн.: Очистка сточных вод в биологических прудах. Минск, 1961.
2. Дзюбан Н. А., Кузнецова С. П. Зоопланктон как показатель загрязнения водохранилищ. — Гидроб. журн., 1978, т. 14, № 6, с. 42—47.
3. Крюкова Н. М. Роль зоопланктона в процессе самоочищения водоемов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск: Изд. БГУ, 1968.
4. Лилеровская Е. С., Кулакова Т. Н. Практическое применение методов сапробных индикаторов для изучения р. Москвы. — В кн.: Процессы загрязнения р. Москвы. М., 1972.
5. Тарасов Ю. С., Марковская А. Г. и др. Санитарно-гигиеническая характеристика Саратовского водохранилища и гидравлически связанных с ним водоемов. — В кн.: Тр. Куйбыш. НИИ гигиены. Куйбышев, 1972, вып. 7, с. 21—23.

# ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗООПЛАНКТОНА В РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 1973—1975 гг.

Л. М. Маркузова, М. К. Махотина

Куйбышевское водохранилище имеет сложную конфигурацию и большую протяженность. Отдельные его участки различаются физико-химическими и биологическими условиями существования гидробионтов. В связи с колебаниями температуры и непостоянством уровня режима количественные показатели и распределение зоопланктона в разных участках водохранилища могут меняться. Кроме того, это обусловлено также специфическими особенностями того или иного района и возрастающим влиянием антропогенного фактора.

Сентябрь 1973 г. характеризовался низким уровнем воды в водохранилище. Пойма практически была осушена в верхних участках водоема и наблюдения там проводили только в зоне бывшего русла (Волжский и Камский плёсы).

Средние по водохранилищу количественные показатели зоопланктона 29,6 тыс. экз. и 0,42 г/м<sup>3</sup>. Максимальное количество водных организмов отмечалось в Волжском плёсе — 75,7 тыс. экз. и 0,33 г/м<sup>3</sup>. В остальных районах водохранилища средние показатели планктона были низкими: от 19,1 до 33,8 тыс. экз., а по весу от 0,08 до 0,91 г/м<sup>3</sup>. В верхних плёсах ведущей группой были коловратки (72—75%). В среднем и нижнем участках количественно преобладали ракообразные (66—85%), преимущественно веслоногие, кроме Ульяновского плёса (ветвистоусые). Однако биомасса зоопланктона в 1973 г. почти по всей акватории водоема формировалась кладоцерами (62—87%), за исключением верхних участков (копеподы). Максимальная биомасса зоопланктона наблюдалась в Ундорском плёсе (0,91 г/м<sup>3</sup>). Это объясняется тем, что основным компонентом биомассы здесь, а также и в нижележащих плёсах были более крупные формы зоопланктона (*Daphnia longispina*, *D. cucullata*), чем в участках, расположенных выше (*Bosmina coregoni*, *Chydorus sphaericus* — Волжский, Камский, Тетюшский).

Наиболее обогащенными зоопланктоном были пойменные участки водоема.

Осенний зоопланктон 1973 г. представлен 48 видами: коловратки — 24, ветвистоусые ракообразные — 13, веслоногие — 11. Видовое распределение зоопланктона по акватории плёсов таково: по численности и биомассе в верхних и среднем плёсах водохранилища (Волжский, Камский, Тетюшский) ведущими были коловратки *Brachionus calyciflorus* и мелкие рачки *Chydorus sphaericus*, *B. coregoni*, *B. longirostris*. В нижних участках — коловратки родов *Polyarthra*, *Synchaeta*, *Euchlanis dilatata*, *Keratella quadrata*, *Asplanchna priodonta* и крупные рачки — фильтраторы *D. longispina*, *D.*

*cuscollata*. В отдельных плёсах водохранилища (Ульяновский, Приплотинный) значительную долю в биомассе занимал крупный хищник *Bythotrephes longimanus* при невысокой его численности. Из копепод повсеместно численно преобладали науплиальные стадии, по весу — молодь рачков р. *Mesocyclops*, взрослые формы и молодь диаптомид *E. gracilis*.

Средняя по водоему численность биомассы летнего зоопланктона в многоводном 1974 г. 77,5 тыс. экз. и 0,49 г/м<sup>3</sup>. Колебания средних показателей планктона в разных участках водоема находились в пределах 32,4 тыс. экз. и 0,12 г/м<sup>3</sup>—107,9 тыс. экз. и 0,61 г/м<sup>3</sup>. Наибольшие концентрации гидробионтов отмечались в нижних районах водохранилища — Ульяновском и Приплотинном. Здесь величины биомассы также были значительными с максимумом в последнем (в среднем 0,9 г/м<sup>3</sup>, а в отдельных биотопах 1,89 г/м<sup>3</sup>— в русловой зоне).

Летний зоопланктон 1974 г. характеризовался большим видовым разнообразием зоопланктеров. Всего насчитывалось 79 видов: коловраток — 36, кладоцер — 27, копепод — 16.

В верхних плёсах водохранилища во всех биотопах большого развития достигали коловратки *B. calyciflorus*, *P. vulgaris* и мелкие фильтраторы *Ch. sphaericus*, *B. longirostris*, которые превалировали здесь и по весу. В остальных плесах доминировали в разных соотношениях коловратки р. *Synchaeta*, *Polyarthra* и р. *Euchlanis*. *Asplanchna* и крупный фильтратор *D. longispina*, за счет которого складывалась значительная часть биомассы летнего зоопланктона. Кроме того, в некоторых биотопах плёсов биомасса кладоцер формировалась *Diaphanosoma brachyurum* и крупным хищником *Leriodoga*, доля которого в биомассе летнего планктона возрастала в нижних участках водоема (до 55—69%).

Среди веслоногих рачков по всей акватории водохранилища по численности доминировали науплии. Биомассу определяли молодь и половозрелые стадии *Mesocyclops leuckarti*, *Acanthocyclops vernalis*, каланид р. *Eudiaptomus*, а в отдельных плёсах водохранилища (Ульяновский, Приплотинный) — крупный хищник *Heteroscore appendiculata* (до 59%).

Средние показатели зоопланктона по всему водоему в сентябре 1974 г. были ниже летних и составляли 64,3 тыс. экз. и 0,33 г/м<sup>3</sup>. Самая минимальная его величина отмечалась в Ундоровском плёсе — 5,4 тыс. экз. и 0,07 г/м<sup>3</sup>, максимальная — в Тетюшском — 146,6 тыс. экз. и 0,96 г/м<sup>3</sup>, с наибольшей биомассой в зоне бывшего русла — 1,39 г. Большого развития зоопланктон достигал также в Волжском плёсе — 142,6 тыс. экз. и 0,51 г/м<sup>3</sup> с максимальной биомассой в русловых участках — 0,6 г.

По численности руководящую роль в зоопланктоне играли коловратки (до 87%), за исключением Тетюшского плёса, где преобладали копеподы (51%). По акватории водоема в тот же период коловратки распределялись главным образом на залитой пойме, веслоногие — в зоне бывшего русла. Биомассу планктона формировали копеподы (до 75%).



Зоопланктон представлен 49 видами: коловратки — 24, ветвистоусые — 11, веслоногие — 14. Комплекс ведущих форм всех групп зоопланктеров тот же, что и в предыдущие годы. Как и раньше, в нижних участках водохранилища в осенней биомассе 1974 г. большую долю занимают крупные хищники *Leptodora kindtii* и *H. appendiculata*.

Сентябрь 1975 г. отличался самым низким уровнем воды в водохранилище и неустойчивой погодой. В верхних плёсах водоема, как и в 1974 г., пойменные участки были полностью осушены. В целом зоопланктон этого периода имел самые низкие показатели — 25,7 тыс. экз. и 0,09 г/м<sup>3</sup>. Наиболее богатым был зоопланктон Волжско-го плёса, где величины его достигали в среднем 214,1 тыс. экз. и 0,58 г/м<sup>3</sup>. В русловой части этого плёса массовое развитие получили коловратки (до 96% по численности и 91% по весу) и зоопланктон имел типично речной характер. Только в Волжско-Камском и Ульяновском плёсах ведущей группой были копеподы. Минимальные показатели планктона отмечались в Ульяновском плёсе — 0,6 тыс. экз. и 0,09 г/м<sup>3</sup> (нижняя часть водоема). Численность ракообразных была даже ниже, чем осенью 1974 г. В Ундоровском плёсе они практически отсутствовали. В видовом отношении доминировали те же формы, что и прежде. Значение крупных хищников в биомассе зоопланктона в нижних районах водоема также невелико.

Таким образом, из приведенного материала видно, что в летний период наибольшими концентрациями планктона отличались нижние участки водохранилища: Ульяновский и Приплотинный плёсы, где были максимальная численность и биомасса всех организмов. В этих плёсах биомасса рачкового планктона определялась крупными формами зоопланктеров: хищными *Leptodora* и *Heteroscore*, а также фильтратором *E. gracilis* и его молодью осенью 1974, 1975 гг., особенно в Приплотинном плёсе. В сентябре наибольшим количеством зоопланктона отличались Волжский и Тетюшский плёсы в 1974 и 1975 гг.

Самые низкие показатели зоопланктона за весь осенний период 1973—1975 гг. были в Ульяновском в 1975 маловодном году (0,6 тыс. экз. и 0,09 г/м<sup>3</sup>), а летом — в Камском плёсе (2,4 тыс. экз. и 0,12 г/м<sup>3</sup>).

В среднем по водохранилищу за весь период наблюдений наибольшим богатством отличался зоопланктон в августе многоводного 1974 г. (по численности доминировали коловратки, биомассу определяли копеподы).

Следует отметить очень слабое развитие ветвистоусых рачков по всему водоему, особенно осенью 1975 г. в Ундоровском, Ульяновском и Приплотинном плёсах, что связано с чрезвычайно низким уровнем режимом. Максимальные биомассы клadoцерного планктона наблюдались летом в Приплотинном (1,89 г/м<sup>3</sup>) и осенью в Тетюшском плёсах (1,39 г/м<sup>3</sup>) в 1974 г. Основным компонентом биомассы этих плёсов была хищная *Leptodora*.

В целом по всему водохранилищу летом 1974 г. продукция всего зоопланктона составляла 2,75 г/м<sup>3</sup>. Однако, несмотря на значи-



тельные общие запасы зоопланктона в открытых участках водохранилища (559 тыс. т), особенно в заливах (172 тыс. т) из-за низкой численности взрослых рыб — потребителей зоопланктона (синец, чехонь) продукция его используется только на 24,3%.

УДК 574.583(28) : 591

## **ЗООПЛАНКТОН р. ВОЛГИ НА УЧАСТКЕ ГОРОДЕЦ — ЧЕБОКСАРЫ ДО ОБРАЗОВАНИЯ НОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Г. В. Шурганова**

Исследования проводились на незарегулированном участке р. Волги от плотины Горьковской ГЭС до г. Чебоксары в 1976—1980 гг.

Распределение структуры и биомассы зоопланктона по акватории реки неравномерно и значительно меняется на протяжении вегетационного сезона.

Зоопланктон Волги от плотины Горьковской ГЭС до устья р. Оки находится под влиянием трансформированных вод Горьковского водохранилища. В планктоне преобладают виды, типичные для приплотинного плёса водохранилища. Наблюдается сходное с водоемами озерного типа преобладание ракообразных. Зоопланктон беден по видовому составу и количественному развитию. Общая численность составляет 48,4 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса — 0,44 г/м<sup>3</sup>, что значительно ниже соответствующих величин Горьковского водохранилища. В результате гибели организмов зоопланктона при прохождении через турбины, а также отрицательного влияния других факторов антропогенного происхождения наблюдается снижение относительного количества ветвистоусых рачков и коловраток в планктоне данного участка Волги по сравнению с водохранилищем.

Ниже впадения р. Оки характер зоопланктона Волги меняется. Окские воды несут значительное количество коловраток, которые становятся преобладающей группой планктонных животных. Здесь, так же как в окском планктоне, доминируют виды р. *Brachionus*. Сокращается количество озерных видов коловраток. Наиболее высока доля коловраток в общей численности зоопланктона правобережья (71% в среднем за вегетационный сезон), в то время как в левобережье она составляет 46%, что является результатом сильного воздействия р. Оки на формирование зоопланктона данного участка р. Волги. Весной наблюдается преобладание коловраток, особенно в правобережье, что определяет здесь более высокую общую численность зоопланктона. Ракообразные малочисленны и небогаты видами. В июне возрастает численность и увеличивается видовое разнообразие Cladocera. Однако преобладание коловраток сохраняется по всему сечению реки, при этом наиболее многочисленны они в правобережье. Количественные показатели развития зоопланктона в июне значительно возрастают и достигают макси-

мальных значений за вегетационный сезон. В период летней межени разница в численности зоопланктона прибрежий Волги становится незначительной. В июле-августе возрастает относительное количество ракообразных в общей численности зоопланктона. Осенью (октябрь-ноябрь) происходит значительное снижение количественных показателей развития зоопланктона, особенно в правобережье.

Таким образом, численность зоопланктонных животных р. Волги на участке от устья Оки до устья Суры на большем протяжении вегетационного сезона наиболее высока в правобережье. Исключения составляют осенние месяцы. Биомасса зоопланктона в левобережье выше летом и осенью за счет развития ракообразных, имеющих более высокие по сравнению с коловратками индивидуальные веса.

От устья Суры до Чебоксар наблюдается увеличение количества зоопланктона по сравнению с вышележащим участком Волги. Весной (май) в этом районе сохраняется комплекс организмов, характерный для вышележащего участка реки с преобладанием коловраток. Ракообразные малочисленны. В начале лета (июнь) отмечены максимальные за вегетационный сезон количественные показатели развития зоопланктона. Численность зоопланктона распределена довольно равномерно по всему поперечному профилю реки. Коловратки, являющиеся преобладающей группой зоопланктона как в левобережье, так и в правобережье составляют около 72% от общей численности зоопланктона. В июле-августе наблюдается снижение уровня развития зоопланктона. Общая численность и биомасса зоопланктона при этом выше в левобережье Волги. Соотношение основных групп зоопланктона одинаково по всему сечению реки. Коловратки остаются многочисленной и богатой видами группой планктонных организмов, однако в результате небольшого индивидуального веса биомасса, создаваемая ими, невысока. Осенью происходит значительное уменьшение количества зоопланктона. Главенствующая роль в формировании общей численности и биомассы зоопланктона переходит к ракообразным. Преобладающие в левобережье ветвистоусые и веслоногие ракообразные создают здесь большие, чем в правобережье, численность и биомассу зоопланктона.

Таким образом, количество зоопланктона Волги на участке от устья Суры до Чебоксар распределено более равномерно по поперечному сечению реки, чем на вышележащем участке Волги. Соотношение основных групп зоопланктона (коловратки, ветвистоусые и веслоногие ракообразные) одинаково по всему сечению реки. Численность и биомасса зоопланктона в правобережье выше, чем в левобережье весной; в начале лета эти показатели выравниваются по поперечному профилю реки, а летом и осенью они наиболее высоки в левобережье за счет значительного развития ракообразных.

В целом для всего района исследований прослеживается тенденция к увеличению количества зоопланктона от плотины Горьковской ГЭС до г. Чебоксары. Самые низкие показатели количественного развития зоопланктона (средние за вегетационный сезон) за-

регистрированы на участке Волги от плотины Горьковской ГЭС до устья р. Оки. Второй район исследований, до устья Суры, более продуктивен. Максимальные значения численности и биомассы зоопланктона отмечены на третьем участке (устье р. Суры —г Чебоксары).

УДК 574 583(28) : 591

## **СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОНА ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ р. ВОЛГИ В ЗОНЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Г. В. Шурганова**

Наиболее крупные притоки р. Волги на участке Горький—Чебоксары оказывают влияние на качество волжской воды и формирование ее планктонной фауны. Воды притоков, обогащая Волгу планктоном, относительно медленно смешиваются с волжскими водами. В результате район Волги от устья Оки до Чебоксар и особенно верхняя его часть (до устья р. Суры) характеризуется неравномерным распределением структуры и биомассы зоопланктона по поперечному профилю реки.

Для выявления влияния притоков на формирование зоопланктона Волги проведены исследования в течение вегетационных периодов 1976—1980 гг. Пробы зоопланктона отбирались в устьевых участках притоков, а также выше и ниже их впадения на створах р. Волги. Выявлены сезонные особенности развития зоопланктона в устьевых участках притоков.

Результаты наших наблюдений показали, что наиболее сильное влияние на формирование волжской планктонной фауны оказывает р. Ока, являющаяся вторым по величине стока после Камы притоком Волги. Преобладающей группой зоопланктона устья Оки на большем протяжении вегетационного сезона являются коловратки, достигающие 70—90% от общей численности зоопланктона. Основную массу коловраток составляют представители рода *Brachionus*, особенно *B. calyciflorus* и *B. angularis*. Ветвистоусые и веслоногие ракообразные значительно уступают коловраткам как в видовом разнообразии, так и в количественном отношении. Отмечены собственные зоопланктону количественные и качественные изменения на протяжении вегетационного сезона, обусловленные изменением абиотических факторов. Весной наблюдается подъем в развитии всех групп зоопланктона, особенно коловраток. Численность и биомасса зоопланктона достигают максимальных значений в июне (102 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,41 г/м<sup>3</sup>), затем следует постепенное понижение количества зоопланктона до минимума в ноябре. Средняя за вегетационный сезон численность зоопланктона устьевого участка Оки составляет 83,2 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса — 0,35 г/м<sup>3</sup>.

Основу зоопланктона устьевого участка р. Суры составляют коловратки, численность которых держится на высоком уровне в течение всего сезона. Преобладают брахиониды, представленные преимущественно *Brachionus calyciflorus*, *B. angularis*, *B. quadridentatus*. Обычными и массовыми являются *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Filinia longiseta* и др. Ветвистоусые и веслоногие ракообразные значительно беднее коловраток как в количественном, так и в качественном отношении. Доля рачков обычно не превышает 10—20% от общей численности зоопланктона. Средняя численность зоопланктона устьевого участка Суры 55,5 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса — 0,23 г/м<sup>3</sup>.

Количественные показатели развития зоопланктона р. Керженец испытывают значительные колебания на протяжении вегетационного сезона. При этом среднесезонная численность организмов зоопланктона составляет 20,6 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса — 0,16 г/м<sup>3</sup>. Среди коловраток, являющихся наиболее многочисленной группой планктонных животных, преобладают представители родов *Brachionus*, *Keratella*, *Filinia*, *Synchaeta* и др.

Зоопланктон устьевого участка р. Ветлуги имеет преимущественно «коловраточный» характер. *Rotatoria* являются наиболее многочисленной и богатой видами группой планктонных животных. В целом зоопланктон р. Ветлуги отличается бедностью видового состава и низким количественным развитием. Средняя за сезон численность зоопланктона 9,9 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса — 0,12 г/м<sup>3</sup>.

Характер сезонной динамики зоопланктона устьевых участков рек Суры, Керженца, Ветлуги сходен и определяется циклами развития руководящих видов и сезонными изменениями гидрологических факторов. В устьевых участках этих притоков особенно значительного развития достигают коловратки, преобладающие на большем протяжении вегетационного периода. Однако наряду с количественными изменениями зоопланктона в сезонном аспекте меняется и роль коловраток в создании общей численности и биомассы зоопланктона. Для всех обследованных притоков характерно значительное увеличение численности и биомассы зоопланктона весной с максимумом в начале лета на спаде половодья при доминировании коловраток. Затем следует постепенное снижение количества зоопланктона, продолжающееся до середины августа, когда наблюдается второй, менее значительный пик развития. Осенью происходит снижение доли коловраток в общей численности зоопланктона при одновременном повышении относительного количества ветвистоусых и веслоногих ракообразных.

Таким образом, анализ видового состава, численности и биомассы зоопланктона Волги и ее притоков в зоне затопления Чебоксарского водохранилища свидетельствует о существенной формирующей роли правобережных притоков — рек Оки и Суры. Значение остальных притоков (Керженец, Ветлуга) относительно невелико, так как количество зоопланктона в них незначительно, а объем водной массы меньше, чем у правобережных притоков.

## **ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА В ЭВТРОФИРОВАННЫХ ВОДОЕМАХ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ**

**Ю. С. Чуйков**

Изучение взаимодействия наземных и водных биоценозов представляет большой практический и теоретический интерес. Современные процессы антропогенного эвтрофирования и загрязнения водоемов бытовыми стоками — один из аспектов этой проблемы. Увеличение площади сельскохозяйственных угодий и урбанизация сопровождаются изменениями биологических процессов в водоемах. Они вызваны смывом биогенных элементов с полей и поступлением разлагающихся органических веществ с бытовыми стоками.

Изучение этих явлений затрудняется их многофакторностью. Вместе с тем в естественных экосистемах можно найти аналогии этим процессам, более доступные изучению вследствие своей сравнительной простоты.

Естественной моделью процессов эвтрофикации и загрязнения являются водоемы в биогеоценозах колониальных гнездовых птиц. Так, в водоемах центральной части гнездовой колонии веслоногих птиц на Дамчикском участке Астраханского заповедника в результате поступления от птиц в воду большого количества органических и минеральных веществ отмечены чрезвычайно низкие концентрации кислорода (до 0—2 мг/л) и высокие (до 380 мкг Р/л) минеральных соединений фосфора. Тем не менее наибольшие величины биомассы зоопланктона по сравнению с окружающими их водоемами отмечены именно в этих местах.

При статистической обработке полученных данных достоверной корреляции между изменениями общей численности зоопланктона и концентрациями кислорода в воде не обнаружено, что свидетельствует о том, что низкое содержание кислорода в воде изучаемых водоемов не ограничивает развития зоопланктона в целом. Это не исключает подавления развития отдельных видов и замены их другими, более резистентными к низким концентрациям кислорода.

Обнаружена достоверная положительная связь между концентрациями фосфатов в воде и общей численностью зоопланктона.

У отдельных систематических групп беспозвоночных обнаружены различия в отношении к содержанию кислорода и фосфатов в воде. По отношению к содержанию фосфатов систематические группы располагаются в следующем порядке: кладоцеры, копеподы, коловратки. Наиболее тесно связаны с изменениями этого показателя кладоцеры, достоверной связи у коловраток нет.

По отношению к содержанию кислорода в воде группы беспозвоночных располагаются в обратном порядке: коловратки, копеподы, кладоцеры. Коловратки имеют достоверную положительную

связь с содержанием кислорода в воде, кладоцеры — достоверную отрицательную связь, что является отражением значительной зависимости развития кладоцер от содержания в воде фосфатов и отрицательной связи между содержанием фосфатов и кислорода в воде.

Как показали расчеты энергетического баланса сообществ водных беспозвоночных, зоопланктон водоемов, находящихся под влиянием жизнедеятельности птиц, обеспечен большим количеством пищи, чем в водоемах вне колонии. Это, как и при загрязнении вод бытовыми нетоксичными стоками, сопровождается увеличением роли хищников и эврифагов в энергетическом балансе сообществ.

Вместе с тем сообщества планктонных беспозвоночных в водоемах, подверженных влиянию жизнедеятельности птиц, имеют более сложную трофическую структуру и более высокое видовое разнообразие, чего в загрязняемых бытовыми стоками водоемах, как правило, не наблюдается.

Усложнение трофической структуры сообществ приводит к снижению их «коэффициента полезного действия». Если в водоемах вне колонии в виде продукции зоопланктона удерживается свыше 20% энергии используемой им пищи, то в водоемах внутри колонии — лишь около 12%, т. е. в водоемах колонии планктонные беспозвоночные рассеивают в виде тепловой значительно большее количество энергии, чем в водоемах вне колонии, что, без сомнения, является свидетельством более интенсивных процессов самоочищения.

Изучение характерных черт структуры и функционирования специфических сообществ зоопланктона, нормально существующих в условиях пониженного содержания в воде кислорода и повышенного — фосфатов, представляет значительный теоретический и практический интерес.

Результаты исследований, проведенных в 1975—1976 гг. в водоемах некоторых колоний Астраханского заповедника, позволили с новой точки зрения оценить роль рыбоядных птиц в экосистемах дельты Волги, изучить их связи с водными биоценозами не только как потребителей рыбной продукции, но и как трансформаторов биогенного кругооборота. Наличие наряду с прямыми и обратных связей между водными и наземными биоценозами по циклу рыбы — птицы — водные беспозвоночные — рыбы требует всесторонней оценки таких мероприятий, как регулирование численности рыбоядных птиц в естественных экосистемах.

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ РАСЧЕТ БИОМАССЫ И ПРОДУКЦИИ ЗООПЛАНКТОНА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ НИЖНЕЙ ВОЛГИ

А. Ф. Зайцев, Л. А. Киселева, Ю. М. Брумштейн

Среди методов определения продукции популяции водных животных с растянутым периодом размножения важное место занимает физиологический метод. Однако ввиду значительного количества числовых данных, высокой трудоемкости и сложности правил проведения расчета его применение в гидробиологических исследованиях носит пока ограниченный характер.

Целью нашей работы была разработка алгоритма и создание программы, позволяющей полностью автоматизировать эти расчеты с представлением результатов в удобном для исследователя виде. Существующие программы рассчитаны в основном на малые ЭВМ (и поэтому имеют серьезные ограничения по количеству исходных данных и характеру обработки) и создавались для автоматизации только отдельных этапов расчета, а потому носят неуниверсальный характер.

В разработанном нами алгоритме продукции зоопланктона рассчитывается как сумма продукций фильтраторов и хищников за вычетом рациона последних (по методу Г. Г. Винберга и др.). Индивидуальная продукция отдельно по видам определяется:

$$\text{для инфузорий} \quad P = \frac{\sum_{i=1}^n 0,088 \cdot W_i^{0,75} \cdot N_i}{q}$$

$$\text{ротаторий (кроме аспланхны)} \quad P = \frac{\sum_{i=1}^n 0,035 \cdot W_i^{0,76} \cdot N_i}{q}$$

$$\text{аспланхны} \quad P = \frac{\sum_{i=1}^n 0,047 \cdot W_i^{0,75} \cdot N_i}{q}$$

$$\text{клагоцер} \quad P = \frac{\sum_{i=1}^n 0,087 \cdot W_i^{0,80} \cdot N_i}{q}$$

$$\text{копепод (кроме каланоид)} \quad P = \frac{\sum_{i=1}^n 0,078 \cdot W_i^{0,777} \cdot N_i}{q}$$

$$\text{каланоид} \quad P = \frac{\sum_{i=1}^n 0,0454 \cdot W_i^{0,777} \cdot N_i}{q}$$



Продукцию взрослых копепода рассчитывают только по скорости размножения.

$$P = \frac{N_0 \cdot W_0}{T_0 \cdot q},$$

где  $W_i$  — вес организма, мг,  $N_i$  — численность организмов  $i$ -ого вида,  $q$  — температурная поправка,  $N_0$  — численность яиц,  $W_0$  — вес яйца, мг,  $T_0$  — продолжительность эмбрионального развития (в сутках при 20° С).

Для расчета по этим формулам используются следующие величины: скорость потребления кислорода ( $Q$ ) для инфузорий  $Q = 0,107 \cdot W^{0,75}$ , ротаторий  $Q = 0,0355 W^{0,75}$ , кладоцер  $Q = 0,143 W^{0,803}$ , копепод  $Q = 0,200 W^{0,777}$ , калорийность для инфузорий 0,6 кал/мг, ротаторий 0,42 кал/мг, аспланхны 0,2 кал/мг, кладоцер 0,5 кал/мг, копепод 0,6 кал/мг; коэффициент использования на рост усвоенной пищи ( $K_2$ ) для инфузорий  $K_2 = 0,43$ , ротаторий  $K_2 = 0,4$ , аспланхны  $K_2 = 0,3$ , кладоцер,  $K_2 = 0,4$ , копепод  $K_2 = 0,3$ , каланоид  $K_2 = 0,2$ .

Рацион хищников определяется для инфузорий  $R = 3,12 P$ , ротаторий  $R = 2,09 P$ , кладоцер  $R = 3,12 P$ , копепод

$$R = 4,16P + \frac{\sum_{i=1}^n 0,026 W_0^{0,777} N_0}{q}$$

где  $W_0$  — вес взрослых копепод, мг,  $N_0$  — численность взрослых копепод,  $q$  — температурная поправка.

По изложенному алгоритму составлена и эксплуатируется программа на языке ПЛ-1, применимая на всех ЭВМ серии ЕС. Программа позволяет одновременно рассчитывать биомассу, численность, процент от общей численности, продукцию и Р/В-коэффициент по видам организмов, группам (с разделением на хищников и фильтраторов), за дату, период и весь сезон в целом.

Предлагаемая программа выгодно отличается использованием словаря латинских наименований организмов (около 500 наименований с возможностью расширения до 800), позволяющего при выдаче результатов по каждому виду напечатать его латинское название. Предусмотрена также возможность выдачи на печать собственно словаря с кодами наименований организмов. Выдаваемые результаты сопровождаются необходимыми текстовыми пояснениями, что дает возможность непосредственно использовать их для анализа. Предусмотрена возможность обработки многих вариантов исходных данных за один просчет на ЭВМ, а также диагностика ошибок исходной информации и нестандартная реакция на программное прерывание, позволяющее избежать прекращения счета при наличии единичных ошибок исходных данных.

УДК 574.587(28) : 591

**О ТРОФОДИНАМИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ  
УГНЕТЕНИЯ МИКРОЗООБЕНТОСА  
В КРУПНЫХ ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ**

**А. С. Константинов**

Существует представление о бедности макрозообентоса крупных волжских водохранилищ вследствие их недостаточной кормности. Последняя в свою очередь объясняется особенностями поточного типа продуцирования, когда трофическая роль фитопланктона оказывается второстепенной и на первое место выступает аллохтонное органическое вещество; вывод, что оно, а не автохтонное органическое вещество играет ведущую роль в трофике водоемов, аргументируется соображениями о значительном превосходстве в них деструкции над первичной продукцией [23, 24, 25, 26, 31, 33, 39].

Нам представляется необоснованными или, по меньшей мере, недоказуемыми все положения концепции, имеющей не только региональное, но и общелимнологическое значение.

Пресжде всего нельзя согласиться с представлением, будто бедность макрозообентоса — характерная черта крупных волжских водохранилищ [21, 23, 25, 26]. По своему видовому составу он, например, не только не беднее зообентоса днепровских водохранилищ, но даже несколько богаче [15]. По количественным характеристикам он также никак не может называться бедным. Для сравнения приведем данные о биомассе бентоса в крупных волжских, днепровских и некоторых других водохранилищах. Без учета моллюсков она в Рыбинском, Горьковском, Куйбышевском, Саратовском и Волгоградском водохранилищах соответственно равна 2,5, 3,5, 5,5, 2,2, 6,1 г/м<sup>2</sup> [15]. Примерно такая же бентомасса, а подчас и более низкая характерна для водохранилищ Днепровского каскада. В Киевском, Кременчугском, Днепродзержинском, Запорожском и Каховском водохранилищах она соответственно достигает 3,8, 2,2, 3,7, 3,8 и 2,9 г/м<sup>2</sup> [18, 28]. В Цимлянском, Веселовском, Мингечаурском и Братском водохранилищах биомасса без моллюсков равна соответственно 3,8, 3,5, 1,3 и 0,8 г/м<sup>2</sup> [29], в Красноярском — 0,3 [37]. Материалы, могущие использоваться для сравнения биомассы в целом, более скудны, поскольку количественный учет моллюсков, особенно дрейссены очень сложен. По имеющимся данным, общая бентомасса в Куйбышевском и Волгоградском водохранилищах достигает соответственно 50—100 и 100—200, в Кременчугском и Каховском — 70 и 50, в Дубоссарском и Цимлянском — 70 и 50—120 г [14, 21, 26, 27, 28, 29].

Как показывают приведенные данные, волжские водохранилища по общей биомассе бентоса и бентомассе без моллюсков не уступают днепровским и ряду других, а часто и превосходят их. Поэтому тезис о бедности зообентоса как характерной черте волжских водохранилищ ошибочен, тем более что биомасса бентоса во всех

волжских водохранилищах в связи с их растущим заилением постепенно повышается [20, 26].

Необоснованно и следующее положение рассматриваемой трофической концепции — тезис о недостатке пищи как факторе, лимитирующем развитие зообентоса. С одной стороны, никакой фактической аргументации этого теоретического положения нет, с другой — имеются данные, противоречащие ему. Так, например, в Горьковском водохранилище в 1967 г. наблюдался подскок биомассы бентоса почти вдвое, когда складывались условия, благоприятные для размножения комаров хирономид [26]. Следовательно пищи хватило и тогда, когда личинок стало вдвое больше, т. е. не она лимитирует их количество.

Представлению о трофической необеспеченности донных животных-детритофагов противоречит и факт колоссального развития в южных волжских водохранилищах сестофага дрейссены. При бедности сестона этого не могло бы быть. Высказывалось мнение [18], что дрейссена «перехватывает» детрит и ухудшает условия питания донных детритофагов. Но в Рыбинском водохранилище дрейссены гораздо меньше, чем в Куйбышевском или Волгоградском, а биомасса бентоса заметно ниже. Следовательно, и этот случай не подтверждает предположения о неблагоприятности условий питания зообентонтов. Наконец, отметим, что в южных волжских водохранилищах в массовых количествах размножились вселенные сюда илоядные и сестоядные формы (*Paramysis intermedia*, *P. ullskyi*, *Volgocuma telmatophora*, *Hyranys colorata*, *Hyrania invalida*) и это не сопровождалось угнетением аборигенов тех же пищевых группировок [27]. Например, в Волгоградском водохранилище вселенцы по своей биомассе даже несколько превзошли аборигенов, причем количество последних после проведения акклиматизационных работ не уменьшилось [27]. Следовательно, имевшаяся кормовая база илоядных и детритоядных животных оказалась достаточной даже тогда, когда нагрузка на нее возросла приблизительно в два раза. Таким образом, нет никаких фактических оснований говорить о трофической бедности волжских водохранилищ в отношении донных животных.

Согласно рассматриваемой трофодинамической концепции, предполагаемый недостаток пищи в водохранилищах объясняется особенностями «поточного» типа продуцирования, при котором основой питания донных животных служит аллохтонный бактериодетрит, а водоросли не играют существенной роли как непосредственные пищевые объекты, хотя в какой-то мере входят в состав детрита [25, 26]. Исходя из этого, высказывается мнение о прямой корреляции между величиной биомассы зообентоса в водохранилищах и коэффициентом их боковой приточности (КБП). За последний можно принимать соотношение между площадью собственного водосбора и поверхностью водоема или, что точнее, отношение объема бокового притока к объему водохранилища.

Проведенные нами расчеты не дают никаких оснований для вывода о существовании положительной корреляции между КБП (т. е.

количеством поступающего аллохтонного органического вещества) и уровнем развития бентоса ( $r=0,1$ ). Как видно из табл. 1, наибольшей биомассой бентоса среди всех крупных волжских водохранилищ характеризуется Волгоградское, боковая приточность которого наименьшая. В Саратовском водохранилище биомасса бентоса выше, чем в Рыбинском, а по КБП соотношение обратное.

Очевидно, уровень развития зообентоса не определяется степенью поступления аллохтонного органического вещества.

Едва ли можно согласиться с тем, что при «поточном» типе продуцирования фитопланктон не играет существенной роли в питании донных животных, поскольку водоросли, отмирая, не опускаются на дно и не образуют детрита. Прямых данных, отрицающих или доказывающих высказанное предположение, нет. Однако следует учесть, что огромное количество сестона, включающего вегетирующих и отмерших водорослей, перемещается на дно в процессе фильтрационной деятельности моллюсков и других животных. По имеющимся расчетам [14], в Волгоградском водохранилище моллюски профильтровывают за год около  $840 \text{ км}^3$  воды, изымая из нее 36 млн. т сестона. Из этого количества 29 млн. т перемещается на дно в виде псевдофекалий, что составляет  $8,3 \text{ кг/м}^2$ . Если принять, что в отфильтрованном сестоне содержится 3—5% водорослей как живых так и мертвых, то и в этом случае они могут полностью удовлетворить все пищевые потребности донных беспозвоночных — детритофагов. Весьма существенную роль в перемещении сестона (в том числе и водорослей) из толщи воды на дно играет зоопланктон, могущий профильтровывать всю водную массу водохранилища за 4—5 дней [10].

Положение о ведущей роли аллохтонного материала в питании зообентонтов было сформулировано исходя из представления о значительном превосходстве в водохранилищах деструкции над первичной продукцией. В этом аспекте крайне интересен факт полного отсутствия корреляции между КБП и показателями деструкции, как это видно из табл. 1. Казалось бы, с усилением притока аллохтонного органического вещества объем минерализационной деятельности бактерий должен возрасти, но в действительности этого не наблюдается. Например, в Волгоградском и Саратовском водохранилищах деструкция выше, чем в Рыбинском и Горьковском, хотя КБП гораздо ниже. Точно так же нет корреляции между КБП и отношением Д:П (табл. 1,  $r=0,3$ ), хотя казалось бы, что усиление притока аллохтонного материала создает базу для превышения деструкции над продукцией (в отсутствие аллохтонного вещества деструкция, очевидно, не может устойчиво и длительно превышать первичную продукцию). Таким образом, нет фактически данных, говорящих о ведущей роли аллохтонного органического вещества в трофике крупных волжских водохранилищ.

Представление о ведущей роли аллохтонного материала в питании зообентонтов аргументируется, в частности, данными о значительном превосходстве в волжских водохранилищах деструкции над первичной продукцией. Это положение, на наш взгляд, крайне

Таблица 1

Показатели боковой приточности (КБП) биомассы зообентоса, первичной продукции и деструкции в крупных волжских водохранилищах\*

Водохранилища	КБП	Среднегодовая биомасса зообентоса, г/м <sup>2</sup>	Среднегодовая продукция (П) и деструкция (Д) гО <sub>2</sub> /м <sup>2</sup> , **		
			П	Д	Д:П
Рыбинское	1,1	2,5	76	129	1,69
Горьковское	2,1	3,5	112	185	1,65
Куйбышевское	3,2	5,5	127	315	2,48
Саратовское	0,5	2,8	110	205	1,86
Волгоградское	0,03	6,1	126	219	1,74

\* Коэффициенты боковой приточности рассчитаны по данным Н. В. Буторина [1].

\*\* По данным В. И. Романенко [32].

спорное, является не только краеугольным камнем обсуждаемой трофодинамической концепции, но и многих других, имеющих общелимнологическое значение. Поэтому остановимся на этом вопросе подробнее.

Данные о превышении деструкции над первичной продукцией приводятся для многих рек, водохранилищ и некоторых других пресных водоемов на основании балансовых опытов с использованием скляночных методов [3]. Наблюдающуюся разницу между деструкцией и продукцией относят за счет минерализации аллохтонного органического вещества, величину которой оценивают таким образом, чтобы не было невязки баланса. Такой способ расчета а priori исключает возможность противоречий при составлении баланса на основе гидробиологических данных.

Положение резко меняется, если к составлению баланса идти от непосредственной оценки поступления аллохтонного материала. В этом случае экспериментально найденные величины продукции и деструкции явно противоречат друг другу, выявляется огромная невязка баланса, гидробиологические данные не согласуются с гидролого-гидрохимическими.

В качестве первого примера приведем результаты расчета баланса Можайского водохранилища [4, 41]. Согласно им, суммарное годовое поступление в водоем растворенного органического вещества равнялось 4190 т, взвешенного — 2850 т, сброс соответственно 3500 и 850 т, превышение поступления над сбросом — 2690 т органического вещества. Годовая продукция фитопланктона достигала 301 г/м<sup>2</sup>, или 21 тыс. т, органического вещества на весь водоем, деструкция в толще воды ( $П/Д=0,34$ ) — 79,4 тыс. т [4, 34]. По имеющимся представлениям [33], деструкция за счет аэробных и анаэробных процессов в грунте составляет около 25% той, какая наблюдается в толще воды. Следовательно, суммарная годовая деструкция в Можайском водохранилище должна достигать 99,2 тыс. т органического вещества.

Анализ приведенных гидробиологических и гидролого-гидрохимических данных о балансе органического вещества в Можайском водохранилище позволяет сделать два важных вывода. Первый — поступление в водоем аллохтонного органического вещества сравнительно невелико — около 26% от первичной продукции, хотя в любом крупном волжском водохранилище значительно выше (9,3), чем в балансе органического вещества не аллохтонный, а автохтонный материал играет ведущую роль. Второй вывод — резкое рассогласование балансов, когда они рассчитываются только по гидробиологическим данным или с учетом результатов гидролого-гидрохимических исследований. Если согласно гидробиологическому расчету поступление аллохтонного органического вещества оценивалось по разнице между деструкцией и первичной продукцией, оно должно составлять 72 тыс. т, а по гидрохимическим данным — всего 2,7 тыс. т. В первом случае невязки баланса нет, во втором она достигает 2600%.

К сожалению, в литературе очень мало гидролого-гидрохимических данных о балансе аллохтонного органического вещества в волжских водохранилищах. Некоторые ориентировочные расчеты приведены для Рыбинского водохранилища [17], но они, как отмечают сами авторы, очень приблизительны, так как во многом основываются на эпизодических наблюдениях [16]. Крайне интересны расчеты, сделанные применительно ко всей Волге [33]. Согласно им, годовая продукция фитопланктона равна здесь 2338 тыс. т С, макрофитов — 30 тыс. т, всего — 2368 тыс. т. Деструкция в толще воды достигает 4266 тыс. т С, а с учетом ее в грунте — около 5332 тыс. т С в год, что на 2954 тыс. т превышает первичную продукцию. Следовательно, в процессы деструкции должно вовлекаться не менее 2954 тыс. т С аллохтонного материала, а его поступление должно быть еще выше (не весь минерализуется, часть захоранивается в грунт). При годовом стоке Волги, равном  $240 \text{ км}^3$ , судя по приведенным гидробиологическим данным, концентрация  $C_{орг}$  в 1 л воды должна была бы снизиться на 12,3 мг (частное от деления превышения деструкции —  $2954 \cdot 10^{12}$  мг С, на расход воды —  $240 \cdot 10^{12}$  л). Такое снижение явно неправдоподобно. По имеющимся данным [37] концентрация в воде  $C_{орг}$  с продвижением от Рыбинского водохранилища к Горьковскому, Куйбышевскому, Саратовскому и Волгоградскому меняется очень слабо, составляя соответственно 10,4, 10,2, 10,9 и 8,5 мг/л. Такая картина совершенно исключает возможность сработки концентрации  $C_{орг}$  на 12,3 мг/л. Если учесть, что во всех волжских водохранилищах наблюдается заиление дна и происходит аккумуляция органического вещества, картина несоответствия между гидробиологическими и гидролого-гидрохимическими данными становится еще более контрастной. Отметим и тот факт, что в Саратовском водохранилище с крайне малым КБП (0,5) концентрация  $C_{орг}$  не только не ниже, чем в вышерасположенных водоемах, но даже несколько выше (табл. 1), хотя по гидробиоло-



гическим данным деструкция здесь в 1,8–2 раза превышает первичную продукцию [6]. Нет в этом водоеме и ожидаемого снижения содержания органического вещества вдоль по оси водохранилища. Более того, с продвижением к плотине концентрация  $C_{орг}$  даже возрастает. Перманганатная окисляемость в 1968–1971 гг. в верхнем участке равнялась 9,8 мг/л, в среднем и нижнем — соответственно 10,9 и 11,2 мг/л. Сходным образом возрастает и бихроматная окисляемость: с 27,9 до 35,9 и 40,1 мг/л [36]. Нет снижения концентрации  $C_{орг}$  и по продольной оси в Волгоградском водохранилище [35], которое почти нацело лишено боковой приточности (КБП равен 0,03) и в котором по гидробиологическим данным деструкция значительно превышает первичную продукцию. Снова видим, что гидробиологические и гидрохимические данные взаимно исключают друг друга. Если деструкция резко превышает продукцию, то при очень малом поступлении аллохтонного материала должна наблюдаться редукция органического вещества, т. е. снижение его концентрации в воде, чего в действительности нет.

В водохранилищах с относительно высокой боковой приточностью иногда прослеживается редукция органического вещества по продольной оси водоема, иногда наблюдается обратная картина. Например, в Рыбинском водохранилище концентрация  $C_{орг}$  в Волжском, Шекснинском и Главном плёсах равнялась в 1965–1966 гг. соответственно 13, 11,8 и 13 мг/л, перманганатная окисляемость — 34,4, 31,2 и 35,4 мг  $O_2$ /л [37]. Как видим, с продвижением к плотине содержание органического вещества не только не понижается, но даже несколько повышается. Такой факт трудно согласовать с представлением о превращении деструкции над продукцией. В Горьковском водохранилище с продвижением от верхнего участка к среднему и нижнему наблюдается снижение показателей содержания  $C_{орг}$  на 10–20%, в Куйбышевском оно выражено слабее [37]. В обоих указанных водохранилищах суммарная редукция органического вещества в пересчете на весь водоем, судя по изменению гидрохимических показателей, в 3–5 раз ниже величин деструкции, определяемых по гидробиологическим данным.

Взаимоисключаемость гидробиологических и гидрохимических данных четко прослеживается при сравнении концентрации  $C_{орг}$  в различных участках Волги до образования Горьковского, Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ (1954–1955 гг.) с той, какая наблюдалась после их сооружения (1966–1969 гг.). Различные показатели, характеризующие содержание в воде органического вещества в сравниваемые отрезки времени, приведены в табл. 2, которая построена на данных многократных съемок [37].

Прежде всего отметим, что в 1954–1955 гг. наблюдалось довольно значительное (на 20–30%) снижение показателей цветности и окисляемости с продвижением от Ярославля до Куйбышева. На следующем отрезке реки учитываемые показатели снижались еще примерно на 10% и составляли 60–70% от величин у Ярославля. В 1966–1969 гг. после сооружения 4 огромных водохрани-



Таблица 2

Некоторые показатели содержания органического вещества  
в Волге у Ярославля, Горького, Куйбышева, Саратова и Волгограда  
в 1954—1955 гг. (1) и в 1966—1969 гг. (2)

Показатель	Ярославль		Горький		Куйбышев		Саратов		Волгоград	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Цветность, градусы	58	46	66	54	46	38	44	35	37	32
Перманганатная окисляе- мость, мг $O_2$ /л	12,2	12,5	12,2	10,6	9,7	10,1	9,3	—	3,1	—
Бихроматная окисляе- мость, мг $O_2$ /л	37,1	31,2	35,6	34,5	23,4	—	24,3	—	23,2	—
$C_{орг}$ в сухом остатке, мг/л	—	9,5	—	10,4	—	9,4	—	10	—	7,8
$C_{орг}$ , валовый, мг/л	—	10,4	—	10,2	—	10	—	10,9	—	8,5
БПК <sub>5</sub> , мг $O_2$ /л	—	1,2	—	1,3	—	—	—	0,8	—	0,9

лишь наблюдалась примерно та же картина: цветность и окисляемость понижаются у Волгограда на 30—40%,  $C_{орг}$  в сухом остатке,  $C_{орг}$  валовый и БПК<sub>5</sub> — на 20—25% (табл. 2). Описанная ситуация исключает возможность сколько-нибудь существенного превышения во вновь образованных водохранилищах деструкции над продукцией, как об этом говорят гидробиологические данные [5, 8, 9, 30]. Очевидно, до образования новых водохранилищ существовало равенство:

$$A_1 = S_1(D_1 - P_1) + K_1 \quad (1),$$

где  $A_1$  — суммарное поступление в водоем аллохтонного органического вещества,  $K_1$  — его часть, аккумулируемая в грунте,  $S_1$  — исходная суммарная площадь водоема,  $D_1$  и  $P_1$  — соответственно деструкция и первичная продукция на единицу площади.

После образования новых водохранилищ, когда исходная площадь акватории  $S_1$  возросла до  $S_2$ , а деструкция, продукция и аккумуляция приобрела соответственно значения  $D_2$ ,  $P_2$  и  $K_2$ , имеем:

$$A_2 = (D_2 - P_2) + K_2. \quad (2).$$

Поскольку  $D_2 > P_2$  в 1,5—3 раза [5, 8, 9, 30] и  $K_2 > K_1$  (заилнение водохранилищ), следовало бы ожидать, что  $A_2 > A_1$ . Но этого нет: площадь водосбора и величина боковой приточности Волги после сооружения новых водохранилищ не изменилась, количество приносимого аллохтонного материала практически осталось прежним или очень сходным. Так как отношение  $D_2 : P_2$  согласно фактическим данным сохранилось на уровне  $D_1 : P_1$  [5, 8, 9, 30], а площадь акватории после образования новых водохранилищ возросла в 3—4 раза, то примерно во столько же раз или более (если учесть заилнение водоемов) расходятся выводы о поступлении аллохтонного органического вещества, получаемые на основе гидролого-

гидрохимических и гидробиологических данных. Противоречие снимается, если допустить, что деструкция в водохранилищах равна или меньше продукции.

Картина, аналогичная описанной, выявляется и при анализе продукционно-деструкционных процессов в Волгоградском водохранилище до и после образования Саратовского (1968 г.).

В первом случае среднегодовая продукция фитопланктона в 1965—1967 гг. была эквивалентной 336 г  $O_2/m^2$ , или 1047 тыс. т на весь водоем, деструкция — 610 г  $O_2/m^2$ , или 1901 тыс. т на весь водоем, разность  $D-P$  составляла 8540 тыс. т [8]. После образования Саратовского водохранилища соответствующие величины оказались равными 1218 и 2212 тыс. т  $O_2$ , их разность — 1053 тыс. т  $O_2$  на весь водоем [9]. В Саратовском водохранилище суммарная продукция (330 г  $O_2/m^2$ ) и деструкция (540 г  $O_2/m^2$ ) были эквивалентны соответственно 6024 и 9887 тыс. т  $O_2$  на весь водоем, разница этих величин — 5053 тыс. т  $O_2$ . Суммарное превышение деструкции над продукцией на рассматриваемом участке Волги после образования Саратовского водохранилища возросло с 8540 до 1601 тыс. т  $O_2$ , т. е. почти вдвое, хотя водосборная площадь и соответственно приток аллохтонных органических веществ остался практически прежним. Другими словами, учитывая уравнения (1) и (2), деструкция повысилась либо не за счет аллохтонного органического вещества, либо ее повышение кажущееся, результат каких-то ошибок определения.

Необходимо отметить, что рассмотренный в работе ряд примеров резкого несоответствия гидролого-гидрохимических данных гидробиологическим, не результат подборки отдельных частных случаев, подтверждающих развиваемую нами точку зрения. Случаи противоположные, когда гидрохимические и гидробиологические данные согласуются друг с другом, нам неизвестны, за исключением одного, уже упомянутого выше ориентировочного расчета баланса Рыбинского водохранилища [17]. Однако в более поздней работе один из авторов расчета, комментируя результаты последнего, пишет, что точность определения минерализованной массы (деструкции) не установлена, ошибка определения продукции фитопланктона остается неизвестной, некоторые гидрохимические данные получены на основании отдельных проб и представленная работа — только опыт составления баланса [16]. Поэтому этот единственный случай не ставит под сомнение все остальные, рассмотренные в работе.

Выявляющаяся на большом материале взаимоисключаемость гидрохимических и гидробиологических данных при расчете баланса органического вещества заставляет думать, что она связана с какими-то методическими ошибками в получении первичных материалов. Как известно, мнения гидробиологов об интерпретации данных о первичной продукции, полученных скляночным методом, отличаются большим разнообразием, равно как и представления об ошибках самого измерения [3, 40]. В частности, рядом исследователей показано, что определение первичной продукции по кисло-

роду дает заниженные результаты при суточной экспозиции склянок, которая наиболее часто использовалась в работах на волжских водохранилищах. Например, в Миколойском озере первичная продукция, определяемая при суточной экспозиции склянок, была в 1,5–2 раза ниже, чем в случае прерывистого экспонирования за тот же отрезок времени [7]. Сходная картина описана для других озер [12, 42]. В рыбоводных прудах наблюдались еще большие различия [22]. Отметим, что в настоящее время на основе работ по МЭП при определении первичной продукции фитопланктона рекомендуется не суточная, а 3–6-часовая экспозиция склянок [43].

Учитывая возможность ошибок скляночного метода, нельзя фетишизировать гидробиологические данные о значительном (в 1,5–2 раза) превосходстве в волжских водохранилищах деструкции над продукцией. Правильнее принять на основании гидрохимических данных, что этого нет. В таком случае нет оснований и для принятия рассматриваемой трофодинамической концепции о ведущей роли в трофике волжских водохранилищ аллохтонного материала и угнетения зообентоса из-за недостаточности этого источника пищи. Если вспомнить, что и угнетения зообентоса в волжских водохранилищах нет, то рассматриваемая трофодинамическая концепция полностью утрачивает свою убедительность. Весьма вероятно, что противоречивость гидробиологических и гидрохимических данных, обнаруживающаяся при анализе баланса органического вещества в волжских водохранилищах, имеет не только региональный характер, и тогда необходимы некоторые изменения в представлениях о взаимодействии наземных и пресноводных экосистем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буторин Н. В. Гидробиологический режим.— В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1976. 350 с.
2. Буторин Н. В., Монаков А. В. Современные представления о биологических ресурсах и качестве воды Волги и ее водохранилищ. Наст. сб.
3. Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Высшейш. школа, 1960.
4. Виноградова Н. Н. Взвешенные вещества и донные отложения.— В кн.: Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1979, вып. 3, с. 231–262.
5. Герасимова Н. А. Фитопланктон и первичная продукция водохранилища в 1968–1971 гг.— В кн.: Саратовское водохранилище. Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1973, с. 40–61. (Тр. Саратов. отд-ния ГосНИОРХ; Т. 12).
6. Герасимова Н. А. Фитопланктон и первичная продукция Волгоградского водохранилища в 1968–1971 гг.— В кн.: Волгоградское водохранилище. Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1976, с. 32–55. (Тр. Саратов. отд-ния ГосНИОРХ; Т. 14).
7. Гильбрихт-Ильковска А., Сподниевска И. Некоторые методические проблемы, связанные с измерением продукции и деструкции планктона кислородным методом.— В кн.: Биологические исследования на внутренних водоемах Прибалтики. Минск: Высшейш. школа, 1973, с. 15–21.
8. Далечина И. Н. Фитопланктон, его продукция и влияние на качество воды.— В кн.: Волгоградское водохранилище. Саратов: Изд. Саратов. ун-та, 1977, с. 33–56.
9. Далечина И. Н., Герасимова Н. А. Фитопланктон и его продукция.— В кн.: Рыбохозяйственное освоение и биопродукционные возможности Волгоградского водохранилища. Саратов: Изд. Саратов. ун-та, 1980, с. 31–49.

10. Дзюбан Н. А. Зоопланктон зарегулированной Волги. Наст. сб.
11. Кисин И. М., Семенов Е. Ф. Водный баланс.— В кн.: Комплексное исследование водохранилищ. М.: Изд. МГУ, 1979, вып. 3. с. 82—102.
12. Ковалевская Р. К вопросу о длительности экспозиции склянок в водоеме при измерении первичной продукции планктона.— Лимнология, 1968, т. 14.
13. Кондратьев Г. П. Биофильтрация.— В кн.: Волгоградское водохранилище. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1977, с. 179—188.
14. Кондратьев Г. П., Спиридонов Ю. И. Моллюски.— В кн.: Волгоградское водохранилище. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1977, с. 96—100.
15. Константинов А. С. Общая характеристика экосистем Волгоградского водохранилища.— В кн.: Волгоградское водохранилище. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1977, с. 188—207.
16. Кузнецов С. И. Органическое вещество.— В кн.: Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972, с. 74—83.
17. Кузнецов С. И., Безлер Ф. И. Опыт составления баланса органического вещества в Рыбинском водохранилище.— В кн.: Биология и продуктивность пресноводных организмов. Л.: Наука, 1971, с. 66—74. (Тр. ИБВВ АН СССР; Вып. 21 (24)).
18. Лубянов И. П., Фатовенко М. А. Первые этапы формирования донной фауны Днепродзержинского водохранилища.— В кн.: Гидробиологический режим Днепра в условиях зарегулированного стока. Киев: Наук. думка, 1967, с. 147—159.
19. Ляхов С. М. Основные черты распределения бентоса в Куйбышевском водохранилище.— В кн.: Матер. I науч.-техн. совещ. по изуч. Куйбыш. водохранилища. Куйбышев, 1963, т. 3.
20. Ляхов С. М. Многолетние изменения биомассы бентоса в Куйбышевском водохранилище.— Гидробиол. журн., 1974, т. 10, № 4, с. 21—24.
21. Ляхов С. М., Мордухай-Болтовской Ф. Д. Состояние бентоса волжских водохранилищ и определяющие его факторы.— В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976, с. 112—119.
22. Милановский Ю. Е., Пушкарь В. Я. Характеристика условий питания толстолоба как основа технологического контроля поликультуры рыб.— В кн.: Итоги и нормативы рыбохозяйственного использования растительных рыб. Киев: Наук. думка, 1977, с. 91—93.
23. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Распределение бентоса в Рыбинском водохранилище.— Тр. биол. ст. Борок АН СССР, 1955, вып. 2.
24. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Процесс формирования донной фауны в Горьковском и Куйбышевском водохранилищах.— Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР, 1961, вып. 4(7), с. 49—177.
25. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Бентос крупных водохранилищ.— В кн.: Волга-1: Матер. I конф. по изучению водоемов бассейна Волги. Куйбышев: Кн. изд-во, 1971, с. 123—128.
26. Мордухай-Болтовской Ф. Д. Зообентос и другие беспозвоночные, связанные с субстратом.— В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978, с. 182—203.
27. Нечваленко С. П. Донная фауна.— В кн.: Рыбохозяйственное освоение и биопродукционные возможности Волгоградского водохранилища. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1980, с. 93—105.
28. Оливари Г. А. Закономерности изменения бентоса Днепра в связи с зарегулированием его стока.— В кн.: Гидробиологический режим Днепра в условиях зарегулированного стока. Киев: Наук. думка, 1967, с. 291—312.
29. Пирожников П. Л. Биопродукционный эффект подпора крупных рек и его рыбохозяйственное значение.— В кн.: Волга-1. Куйбышев: Кн. изд-во, 1971, с. 193—209.
30. Пырина И. Л. Первичная продукция фитопланктона в волжских водохранилищах.— В кн.: Вторая конференция по изучению водоемов бассейна Волги: Волга-2. Борок, 1974, с. 20—24.
31. Романенко В. И. Соотношение между фотосинтезом фитопланктона и деструкцией органического вещества в водохранилищах.— В кн.: Микрофлора, фитопланктон и высшая растительность внутренних водоемов. Л.: Наука, 1967, с. 61—74.

32. Романенко В. И. Численность и продукция бактерий в водохранилищах Волги.— В кн.: Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976, с. 60—67.
33. Романенко В. И. Микрофлора.— В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978, с. 105—122.
34. Сахарова М. И. Первичная продукция фотосинтеза фитопланктона.— В кн.: Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1979, вып. 3, с. 270—274.
35. Сиденко В. И. Гидрохимический режим Волгоградского водохранилища.— Тр. Сарат. отд-ния ГосНИОРХ, 1971, т. 10.
36. Сиденко В. И. Некоторые сведения о гидрогеологических и гидрохимических условиях Саратовского водохранилища в годы его становления (1968—1971 гг.).— В кн.: Саратовское водохранилище. Саратов: Приволжск. кн. изд-во, 1973, с. 23—40. (Тр. Сарат. отд-ния ГосНИОРХ, Т. 12).
37. Скопинцев Б. А. Органическое вещество.— В кн.: Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978, с. 92—105.
38. Скоцова Г. Н. Структура донных сообществ Красноярского водохранилища и их изменения в связи с зарегулированием.— В кн.: Биологические процессы и самоочищение Красноярского водохранилища. Красноярск: Изд. Краснояр. ун-та, 1980, с. 120—143.
39. Сорокин Ю. И. Биологическая продуктивность.— В кн.: Рыбинское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1972, с. 267—297.
40. Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во МГУ, 1979.
41. Эдельштейн К. К. Трансформация речного стока водохранилища.— В кн.: Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1979, вып. 3, с. 373—381.

УДК 574.587(28)+5

## ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННОЙ ФАУНЫ р. ВОЛГИ В БЫТОВОМ РЕЖИМЕ НА УЧАСТКЕ ГОРОДЕЦ — ЧЕБОКСАРЫ

Р. А. Шахматова, Ю. Н. Разгулов, А. А. Кравченко

По структуре донных биоценозов, видовому составу и главным образом по количественному развитию донной фауны обследованный район Волги может быть разделен на три участка: первый — от плотины Горьковской ГЭС до устья Оки, второй — от г. Горького до устья Суры и третий — от Васильурска до Чебоксар.

На участке от плотины Горьковской ГЭС до устья р. Оки влияние Горьковского водохранилища сказывается в повышенных скоростях течения и пониженной температуре воды в правобережье реки. В левобережье преобладают песчаные грунты с различной степенью заиления, в рипали правобережья преобладают заиленные песчаные грунты специфического состава.

Численность и биомасса донных организмов подвержены годовым флюктуациям, но в среднем в аспекте многолетней динамики все же отчетливо прослеживается тенденция к закономерному снижению численности и биомассы бентоса на этом участке по сравнению с двумя другими обследованными участками Волги.

В составе донной фауны правобережной рипали обнаружены мелкие формы хирономид (р. *Cricotopus*, *Cryptochironomus*).

олигохеты (р. *Isochaetides*, *Limnodrilus*), ручейники (*Hydropsyche sinatula*).

Впервые за 15 лет исследований в этом районе в 1978 г. были обнаружены на участках песчаного грунта гаммариды *Pontogammarus sarsi*, численность которых пока еще остается низкой (40—80 экз./м<sup>2</sup>). Из ракообразных отдельными скоплениями обнаружен также *Asellus aquaticus*.

В медали реки на этом участке преобладают песчаные грунты, зообентос беден как в видовом, так и в количественном отношении. Средняя численность зообентоса за период исследований составила 154 экз./м<sup>2</sup>, биомасса — 1,24 г/м<sup>2</sup>.

На участке Волги от г. Горького до устья Суры донные биоценозы также испытывают существенное влияние антропогенных факторов, особенно в правобережье. В районах крупных населенных пунктов постоянно ведущиеся работы по углублению русла реки приводят местами к постоянному разрушению донных биоценозов, существенное влияние оказывают выпуски хозяйственных и промышленных сточных вод.

На этом участке в Волгу впадают такие крупные притоки, как Ока, Керженец, Сура и ряд малых рек, которые также оказывают определенное влияние на видовой состав и количественное развитие донной фауны Волги.

Низкое левобережье имеет много пойменных озер — стариц, соединяющихся с рекой в период высокого стояния воды и входящих в зону затопления Чебоксарского водохранилища. Они являются источником постоянного пополнения донных биоценозов Волги лимнофильными видами.

Преобладающим типом грунта является песок с различной степенью заиления. В затонах, старицах, зарослях прибрежноводной растительности, на песках заиление усиливается, и грунт представлен различными по своему составу и происхождению илами.

В отдельных районах правобережья грунт каменистый с крупной галькой, редко — глинистый. В составе донных биоценозов этого участка Волги доминируют олигохеты р. *Limnodrilus*, *Potamothrix*, *Isochaetides*. В затонах, старицах, зарослях прибрежноводной растительности на илистом и каменистом грунтах довольно высока численность моллюсков р. *Viviparus*, *Pisidium*, *Dreissena* и др.

В псаммофильных и литофильных биоценозах правобережья и левобережья на всем участке иногда в значительных количествах присутствуют ракообразные *Pontogammarus obesus* и *Dikerogammarus haemobaphes*.

Личинки хирономид, большей частью мелких видов (*Cryptochironomus*, *Polypedilum*, *Procladius* и др.) присутствуют практически во всех типах донных биоценозов и сравнительно в небольшом количестве пелореофильных биоценозах встречаются виды р. *Chironomus*.

Из остальных групп зообентоса чаще других встречаются ручейники, мокрецы, пиявки.

Средняя численность зообентоса на этом участке равна 1121 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса 9,90 г/м<sup>2</sup>.



Участок от г. Васильсурска до г. Чебоксары в меньшей степени подвергается антропогенному воздействию. На этом участке в Волгу впадает крупный левобережный приток — р. Ветлуга. Пойма также изобилует озерами и старицами. Низменное левобережье заболочено, фитофильные биоценозы развиты слабо.

На втором участке Волги преобладают песчаные крупнозернистые и мелкозернистые грунты с примесью гальки и разной степенью заиления.

В составе донных биоценозов преобладают олигохеты р. *Limnodrilus*, *Isochaetides*, *Potamothrix*, биомасса которых в пелореофильных биоценозах может достигать 15,8 г/м<sup>2</sup>.

На заиленных песках рипали довольно высока численность моллюсков р. *Valvata*, *Pisidium*, *Dreissena*, биомасса только моллюсков которых составляет 23,5 г/м<sup>2</sup> и более.

В псаммореофильных биоценозах часто присутствуют ракообразные *Pontogammarus obesus*, *Dikerogammarus haemobaphes*, численность которых значительно возросла за последние 5—7 лет, сравнительно редко встречается только *Corophium*.

На протяжении всего участка на заиленных песках обитает ручейник *Hydropsche pellucidula*.

Личинки хирономид также предпочитают заиленные грунты, среди них преобладают мелкие формы, виды р. *Chironomus* встречаются редко и численность их обычно невысока. Средняя численность зообентоса на третьем участке составила 919 экз./м<sup>2</sup>, биомасса 8,61 г/м<sup>2</sup>.

Таким образом, на обследованном участке Волги, который в настоящее время стал ложем нового Чебоксарского водохранилища, донная фауна испытывает значительное антропогенное воздействие. Определенное влияние на зообентос оказывает и биосток Горьковского водохранилища, впадающие в Волгу притоки, пойменные водоемы и затоны.

В составе донных биоценозов доминируют олигохеты, состав которых представлен 13 видами, биомасса колеблется в широких пределах, составляя в среднем по участку 3,56 г/м<sup>2</sup>. Численность олигохет составляет 57,4% от общей численности зообентоса, а биомасса соответственно 44,2%. Довольно высока на обследованном участке реки численность моллюсков, в том числе и *Dreissena polymorpha*. Среди личинок хирономид по численности доминируют представители мелких видов р. *Cryptochironomus*, *Polypedilum*, *Procladius*; представители рода *Chironomus*, встречаются относительно редко и численность их, как правило, не бывает высокой.

За последние годы на трассе строительства Чебоксарского водохранилища в донной фауне значительно возросла роль гаммарид и появились представители р. *Corophium*, которые в прежние годы на этом участке не отмечались.

В целом видовой состав донной фауны довольно разнообразен и насчитывает 105 видов донных гидробионтов, биомасса испытывает значительные колебания в сезонном аспекте, подвержена годовым флюктуациям. В среднем за период исследований она составила 5,3 г/м<sup>2</sup>.



# ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕЙССЕНЫ НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЙ ВОЛГИ

П. И. Антонов, Г. Л. Шкорбатов

*Dreissena polymorpha polymorpha* (Pallas) среди ведущих компонентов бентоса экосистемы Волги характеризуется исключительно быстрым расселением. Ее экологическое и хозяйственное значение в настоящем и необходимость прогнозирования роли этого моллюска в экосистемах в будущем требуют проведения исследований структуры подвида и его отношения к основным факторам среды. Указанные обстоятельства послужили причиной организации исследований эколого-физиологической и морфологической изменчивости дрейссены в различных участках ее ареала в разных климатических зонах, которые с 1979 г. проводятся совместно кафедрой зоологии Ивановского госуниверситета и Куйбышевской станцией ИБВВ АН СССР.

В настоящем сообщении приводятся результаты сравнительного изучения интенсивности дыхания при разных температурах и солености общей и клеточной теплоустойчивости, общей и клеточной солеустойчивости и устойчивости к высушиванию дрейссены из дельты Волги (астраханская популяция) и из среднего течения (куйбышевская популяция). Исследования проведены на одновозрастном материале, акклимированном в течение 12–15 суток к одинаковым условиям среды в весенне-летний сезон 1979 и 1980 гг. Одновременно проведен морфологический анализ раковин моллюсков по 19 показателям, характеризующим форму, цвет, рисунок раковины и интенсивность роста дрейссены.

**Дыхательная функция.** Астраханская популяция моллюска отличается от куйбышевской более высоким уровнем кислородного обмена, что, очевидно, связано с различиями в скоростях течения и кислородного режима их местообитаний. При экспериментальном повышении температуры установлены зоны снижения потребления кислорода: у куйбышевской популяции в зоне 20–25°, у астраханской — в зоне 25–30° С. При повышении солености среды в толерантной зоне (4–6 ‰) происходит снижение потребления кислорода: куйбышевской дрейссеной на 23%, астраханской — на 9%. Указанные особенности, очевидно, связаны с различиями в теплоустойчивости и эвригалинности сравниваемых популяций.

**Теплоустойчивость.** Обратимое тепловое угнетение моллюсков астраханской популяции (зона пессимума) при скорости прогревания 1° в 3 мин. начинается при температуре 23,5°, достигает 50% (Pt 50) при температуре 26,5; 100% угнетения (Pt 100) — в зоне 29,0–29,5°. В этой же зоне при длительной экспозиции начинается отмирание моллюсков. Гибель 50% особей (L, 50) отмечена при температуре 32–33°. У куйбышевской популяции установ-

лены зоны Pt50 при 24,5, L, 50 при 31–32°. Эти статистически значимые различия указывают на более высокую теплоустойчивость астраханской популяции. По признаку клеточной теплоустойчивости (время сохранения функции мерцательного эпителия при тепловом воздействии) достоверных различий не установлено.

**Солеустойчивость.** Начало осмотического угнетения представителей обеих популяций проявляется в воде каспийского солевого состава уже при 1‰, достигает 50% (P, 50) при 5–6 ‰, 100% угнетение (P, 100) — в зоне 9–10‰. Обе группы сравнительно легко акклимируются к солености не выше 4–5‰. Наряду с этим установлены и статистически значимые различия в солеустойчивости. Так, процент особей, находящихся в осмотическом шоке, после 24-часовой экспозиции в зоне солености от 6 до 10‰ составляет у астраханской популяции от 1 до 16%, у куйбышевской — от 7 до 36%. Различия по признаку клеточной солеустойчивости при 25‰: жаберный эпителий особей астраханской популяции сохраняет активность 210 мин, куйбышевской — 120 мин.

**Устойчивость к высыханию.** Показатель представляет интерес главным образом для выяснения возможности выживания дрейссены в осушенной зоне водохранилищ. Установлено, что при температуре 20° на влажном субстрате максимальный срок выживания особей обеих популяций 5–6 суток, 50%-ная гибель наступает на третьи сутки. К моменту гибели моллюски теряют почти всю мантийную воду. При температуре –1° на сухом субстрате дрейссена погибает на 4-е сутки также с потерей всей мантийной воды. Следовательно, устойчивостью к длительному высыханию дрейссена не обладает.

**Морфологическая характеристика.** Астраханская популяция характеризуется более интенсивным ростом и более массивной, широкой и сжатой в дорзовентральном направлении раковиной, что можно отнести за счет отбора в условиях жизни при более высоких скоростях течения. У астраханской популяции преобладает желто-зеленый тон и сглаженный рисунок полос на раковине, у куйбышевской — желтый тон и зигзагообразные полосы. Количество полос в пределах одного кольца: у астраханской — 4, у куйбышевской — 6. Возможно, некоторые из перечисленных признаков при дальнейшем их изучении будут выделены как фены, характеризующие наследственную внутривидовую изменчивость дрейссены.

Проведенные исследования показали, что обитающая в системе Волги дрейссена относится к подвиду *Dreissena polymorpha polymorpha* (Pallas). Она условно обозначена нами как «макропопуляция», подразделяется на региональные структурные элементы «мезопопуляции». К таковым могут быть отнесены исследованная дельтовая (астраханская) и средневолжская (куйбышевская) популяции, различимые по комплексу экологоморфологических и эколого-физиологических признаков. Гидрологический режим зарегулированных участков Волги, очевидно, будет способствовать дальнейшему обособлению мезопопуляций и становлению их внутренней структуры.

На основании полученных данных можно заключить, что проникновение дрейссены в среднее течение Волги сопровождалось изменением морфологических характеристик раковины, интенсивности обменных процессов и некоторым снижением тепло- и солеустойчивости.

Изучение границы устойчивости волжских популяций дрейссены по отношению к основным абиотическим факторам среды и разработанные методические приемы их определения применимы для прогнозирования дальнейшего расселения вида в водоемах разных климатических зон и разной степени осолонения.

УДК 595.771

## **КОЛИЧЕСТВО ГЕНЕРАЦИЙ МАССОВЫХ ВИДОВ ХИРОНОМИД В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

**Г. Ф. Миловидова**

Изучение динамики развития хирономид в Куйбышевском водохранилище представляет большой теоретический и практический интерес, так как они являются основным кормом промысловых рыб-бентофагов.

С этой целью нами в 1974—1975 гг. были проведены стационарные наблюдения в нижней части Волжского плёса Куйбышевского водохранилища. Ежедекадно с мая по сентябрь и один раз в месяц в осенне-зимнее время брались дночерпательные пробы на постоянных станциях, подобранных по трем основным типам мелководий. Одновременно отбирались пробы на глубоководной пойме и на бывшем русле Волги.

За время исследований было встречено 5% видов и личиночных форм хирономид. Можно отметить их явное преобладание по численности и по биомассе по мере продвижения от глубоководных районов к побережью. Наиболее разнообразно представлены личинки хирономид на станциях, защищенных от ветровых волнений.

Главным в сезонной динамике гетеротопных организмов, к которым относятся хирономиды, является вопрос о сроках их вылета и числе генераций. Вылет имаго из водоема вызывает резкое снижение биомассы бентоса, что отрицательно сказывается на условиях откорма бентофагов, составляющих основную часть промысловых рыб Куйбышевского водохранилища.

Анализ возрастного состава личинок (таблица), полученного путем промеров ширины головной капсулы позволил определить число генераций массовых форм хирономид в Куйбышевском водохранилище.

*Chironomus plumosus* — распространенный вид как в открытой части водохранилища, так и в побережье. В глубоководных участках наблюдалось две генерации хирономуса. Первый вылет начи-

**Возрастные стадии личинок хирономид  
в Волжском плёсе Куйбышевского водохранилища, мм**

Форма	Стадия		
	II	III	IV
<i>Chironomus dorsalis</i>	—0,24	0,26—0,42	0,44—0,82
<i>Ch. plumosus</i>	0,15—0,26	0,30—0,50	0,55—0,87
<i>Cryptochironomus ex gr. defectus</i>	0,20—0,25	0,30—0,44	0,53—0,66
<i>Limnochironomus tener</i>	0,13	0,15—0,20	0,22—0,31
<i>Chironominae gen.</i>		0,37—0,42	0,62—0,82
<i>Psectrocladius psilopterus</i>	0,22—0,31	0,31—0,42	0,42—0,46
<i>Glyptotendipes gripekoveni</i>	0,20—0,30	0,35—0,50	0,55—0,75
<i>Harnischia pseudosimplex</i>		0,13—0,20	0,22—0,33
<i>Polypedilum bicrenatum</i>	0,07—0,11	0,13—0,20	0,25—0,35
<i>Cryptochironomus ex. gr. anomalis</i>	0,18	0,18—0,26	0,31—0,35
<i>Limnochironomus ex gr. nervosus</i>		0,24—0,33	0,37—0,51
<i>Polypedilum nubeculosus</i>	0,10—0,13	0,15—0,26	0,29—0,44
<i>Tanytarsus ex gr. manicus</i>		0,13—0,18	0,20—0,31
<i>Cricotopus ex gr. silvestris</i>		0,18—0,26	0,33—0,42
<i>Procladius Skuze</i>		0,22—0,40	0,42—0,62

нался в конце мая и продолжался две недели (температура придонных слоев воды 13—15°). Второй, более продолжительный, начался в середине июля и продолжался до конца августа при температурах 18—20°. На мелководной хорошо прогреваемой пойме наблюдалось три генерации мотыля. Здесь вылет начинался несколько ранее и проходил в более сжатые сроки.

*Procladius*, как и *Chironomus plumosus*, одна из ведущих форм хирономид в бентосе Куйбышевского водохранилища. Лёт ее очень растянут во времени. Вероятно, это происходит потому, что *Procladius* объединяет пять видов организмов. На глубоководных участках поймы наблюдалось две генерации хирономид (июнь, август). На хорошо прогреваемом мелководье число генераций увеличилось до трех. Массовый лет обычно наблюдался в конце июня — начале июля.

*Chironomus dorsalis* имеет две генерации в глубоководной зоне водохранилища (май, август), а в прибрежье — три генерации (апрель, июнь, август).

*Cryptochironomus ex gr. defectus* — довольно часто встречающаяся форма. В течение года развивается две генерации на глубоководной станции и три — на мелководной. На глубинах 8—13 м вылет начинается в мае при температуре придонных слоев воды 12°. В конце августа происходит второй вылет имаго при температуре 19,5°. На участках прибрежья первый вылет начинается в конце апреля — начале мая. Второй вылет в июне и третий, неполный, — в августе.

*Leptochironomus tener*, *Cryptochironomus* ex gr. *anomalis* также имеют две генерации на глубоководной пойме (май, июль) и три на мелководье (май, июнь-июль, август).

*Glyptotendipes gripekoveni* — характерная форма прибрежий, хорошо приспособляющаяся к неблагоприятным условиям среды. Эта личинка имеет две генерации в глубоководных районах водохранилища и три на мелководье. Такое же количество генераций у личинок *Polypedilum pubesculosum*.

У хирономид, имеющих небольшие размеры (*Polypedilum bicipitatum*, *Tanytarsus* ex gr. *maius*), развивается четыре генерации в год.

Основной массовый вылет хирономид на всех участках приходится на июль, что вызывает «провал» биомассы. Снижение численности и биомассы в грунте совпадает с периодом интенсивного питания рыб, что неблагоприятно сказывается на условиях их нагула.

УДК 574

## СОСТОЯНИЕ ЭНТОМОФАУНЫ ВОДОЕМОВ НИЗОВЬЕВ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ В 1970—1980 г.

С. В. Емелина

В результате десятилетних исследований для водоемов низовьев дельты установлено<sup>1</sup> 337 видов и форм насекомых — амфи- и гидробионтов (табл. 1). Распределение их по указанному району неравномерно. Как показали многолетние наблюдения, в видовом отношении наиболее богатой и разнообразной является энтомофауна авандельты<sup>2</sup> (62,9% от общего числа видов). Наименьшее число видов (31,45%) установлено для проточных водоемов — ильменей и култуков (залитых морского края надводной дельты). В них господствуют представители лимнофильного комплекса — виды родов *Chironomus*, *Limnophilus*, *Ischnura*. Основную биомассу личинок насекомых этих водоемов (63,4%) дает *Ch. f. l. plumosus*, на долю ручейников приходится 20—2%, остальных групп — 16,4%. Во временных водоемах (полои, старицы), заливаемых в половодье, доминируют водные клопы и жуки. В годы с высокими и многоводными паводками (1974, 1979 гг.) наблюдались всплески численности всех основных групп амфибиотических насекомых. Так, в 1979 г. численность личинок двукрылых, поденок и водных жуков на полях была в 1,5—2 раза выше, чем в предыдущие годы и составляла 12,8—18 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Наблюдалось массовое развитие реофильных видов не только в протоках, но и в ильменах, култуках. В повышении численности была существенна роль ручейников, хирономид, поденок; биомассу во все годы исследования

<sup>1</sup> По литературным и нашим данным.

<sup>2</sup> Классификация водоемов приводится по Е. Ф. Белевич

Таблица 1  
Состав энтомофауны типовых водоемов низовьев дельты Волги

Энтомофауна	Всего видов	Число видов по водоемам			
		Протоки	Ильмени и полон	Култуки	Аван-дельта
Поденки	6	2	1	2	4
Стрекозы	31	11	5	15	20
Веснянки	1	1	—	—	—
Вислокрылки	1	—	—	—	1
Клопы	35	6	13	7	26
Жуки	95	11	30	26	48
Сетчатокрылые	1	1	—	—	1
Перепончатокрылые	1	1	—	—	1
Двукрылые					
Хаобориды	1	—	1	1	—
Комары	11	5	9	8	6
Хирономиды	78	45	43	43	55
Мокрецы	1	—	1	—	1
Мошки	3	1	1	—	2
Львинки	2	1	2	2	2
Слепни	11	—	4	8	8
Ручейники	56	19	12	11	33
Чешуекрылые	4	2	2	2	4
Всего	337	106	124	125	212
В % от общего числа видов		31,45	36,80	37,10	62,90

определяли хирономиды, особенно *Polypedilum pubeculosum*, Ch. f. *l. plumosus*, *Fleuria lacustris* и ручейники *Ecnomus tenellus*, *Neugeclipsis bimaculata*, их среднегодовая биомасса колебалась от 0,9 до 5,6 г/м<sup>2</sup>.

Анализируется распределение энтомофауны по типовым водоемам в зависимости от основных факторов среды. В условиях 1970—1980 гг. состав доминантных видов не претерпевал существенных межгодовых изменений. Однако распространение отдельных видов по водоемам и доля их участия в формировании биомассы были различными. Основная тенденция состоит в уменьшении роли оксифильных видов насекомых (ручейников гидропсихид, хирономид *Trissocladius potamophilus*, поденок *Polymitarsis virgo*) и соответственном увеличении лимнофильных форм. Вследствие этого среднегодовая биомасса личинок насекомых в водоемах надводной дельты снизилась с 0,72 до 0,56 г/м<sup>2</sup>, а в култушной зоне и особенно в авандельте возросла до 2,8 и 5,6 г/м<sup>2</sup> соответственно, причем, как уже было сказано выше, более 60% биомассы составляют хирономиды. Наши исследования последних лет (табл. 2) согласуются и с литературными данными.

Таблица 2  
Средняя биомасса (г/м<sup>3</sup>) личинок хирономид  
в низовьях дельты Волги по годам

Водоем	Годы		
	1968—1970*	1973—1975	1976—1980
Авандельта	3,7	3,9	4,2
Култуки	1,9	1,8	2,1
Надводная дельта			
Протоки	0,54	0,6	0,5
Ильмени	3,6	3,8	3,9

\* Данные М. С. Алексаняной.

Сезонная динамика численности и биомассы доминирующих видов характеризуется довольно резкими колебаниями. Значительное количественное развитие происходит в конце мая и начале сентября. Лишь в 1975 и 1977 гг. максимум биомассы падал на вторую половину лета. Сходство в сезонном изменении биомассы водных насекомых, по-видимому, объясняется близкими гидрометеорологическими условиями этих лет: теплая весна обусловила ранний вылет имаго, наступившее же затем похолодание могло задержать откладку яиц и развитие личинок. Летом, как правило, наблюдается спад биомассы, обусловленный сменой генераций, вылетом имаго и выеданием личинок бентофагами.

Из сказанного выше следует, что:

видовой состав энтомофауны водоемов низовьев дельты достаточно богат (337 видов и форм), в количественном отношении по всему району преобладают хирономиды, ручейники и поденки, а во временных водоемах — комары, водные клопы и жуки;

распределение насекомых по водоемам и биотопам неравномерно: наибольшее число видов и высокая численность отмечена в култушной зоне и авандельте (особенно в ее островной зоне), наименьшее — в протоках надводной дельты;

наблюдающееся в настоящее время снижение численности и биомассы насекомых в протоках происходит за счет сокращения оксифильных форм, увеличение же этих показателей в авандельте, очевидно, связано с зарастанием акватории водной растительностью и повышением вследствие этого содержания детрита, являющегося основным компонентом пищевого рациона водных насекомых.



# УДК 574.622 : 597 КОРМОВЫЕ РЕСУРСЫ ВОДОЕМА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ НАГУЛЬНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ РЫБ-ПЛАНКТОФАГОВ

С. Н. Половкова, И. Е. Пермитин

Изучение питания и пищевых взаимоотношений рыб и их кормовых объектов позволяет правильно подойти к управлению экосистемами водоемов и рациональному использованию их кормовой базы.

Разноречивость данных и важность проблемы определили необходимость дополнительных исследований трофических связей в скоплениях рыб-планктофагов, результаты которых рассматриваются в данном сообщении. Особое внимание уделяется характеру распределения кормовых организмов, степени их концентрации, а также численности и структуре популяции питающихся рыб. В работе использован метод эхолотных разрезов с применением гидроакустической аппаратуры, с контрольными тралениями, одновременным отбором проб зоопланктона и снятием фоновых характеристик.

Все многообразие нагульных площадей водохранилищ из-за особенностей рельефа дна и течений делится на два основных типа: продуктивные биотопы — зоны аккумуляции кормовых организмов, где происходит основной нагул рыб, и проходные участки с ровным рельефом дна, где зоо- и фитопланктон не задерживается.

Установлено, что устойчивые скопления рыб-планктофагов образуются на участках первого типа. Эти скопления существуют на протяжении всего вегетационного периода и в разные годы независимо от погодных условий и численности поколений рыб. Они совершают лишь незначительные перемещения внутри биотопа, следуя за пятнами зоопланктона. Численность кормового зоопланктона здесь в десятки раз превышает средние значения для водохранилища в целом. Площадь подобных зон, где происходит основной откорм рыб, в Рыбинском водохранилище составляет около 7%, но они дают основную рыбопродукцию.

На участках второго типа течения имеют прямолинейную направленность, вызывающие постоянный снос планктона. Здесь обнаруживаются лишь одиночные стайки и особи рыб, перемещающиеся в поисках пищи. Численность зоопланктона значительно колеблется.

Работы, проведенные на скоплениях показали, что корюшки в них составляют 99% и только во второй половине лета появляется молодь других видов рыб.

Анализ сезонного и суточного ритма питания корюшек показал, что наиболее активно они откармливаются в первой половине лета в утренние и вечерние часы. Начиная с августа рационы рыб уменьшаются, наблюдается один максимум питания — в полуденные часы.

Кормовые зоопланктеры тем интенсивнее используются потребителем, чем неравномернее они распределены и чем выше степень их агрегации. Так, для *Cyclops vicinus* в мае индекс плотности, по Ллойдю, достигает высоких величин ( $C=13,21\pm2,52$ ). В рационе корюшек он составляет до 95%, в планктоне — 30%. Летом для *Heterosore*  $C=5,2\pm0,79$ . В пище он составляет 30%, в планктоне — 1,41%, у *Chydorus*  $C=3,38\pm0,07$ . В пищевом комке его 9,7%, а в планктоне около 2%. Гидробионты, распределение которых приближается к равномерному, в питании рыб играют незначительную роль. Это относится, например, к веслоногим копепоидных стадий в июле. В пище корюшек они составляют всего 2,6%, несмотря на то, что в планктоне их 23,7%.

Способность основных объектов питания образовывать агрегации неодинакова. Некоторые рачки образуют плотные скопления даже при низких значениях их численности (*Cyclops vicinus*, *Bosmina longispina*, *Bythotrephes longimanus*, *Leptodora kindtii*). Степень агрегированности рачков изменяется в зависимости от структуры популяции и от их численности. Не образуют агрегаций *Diaphanosoma*, *Ceriodaphnia*, *Eudiaptomus*.

Исследования показали, что численность и биомасса зоопланктеров на участках первого типа восстанавливаются после периодов активного питания рыб. Так, перед утренним откормом в центре скопления корюшек, где наблюдаются наибольшие плотности рыб, биомассы зоопланктона бывают от 5 до 30 г/м<sup>3</sup>. После периодов питания они уменьшаются в несколько раз. К вечернему откорму высокие значения биомасс рачков восстанавливаются. Анализ состояния кормовой базы, течений позволяет сделать вывод о том, что это происходит главным образом в результате переноса рачков от периферии к центральному участку зоны аккумуляции зоопланктеров.

На участках второго типа кормовые гидробионты не образуют устойчивых скоплений. Значения биомассы колеблются в десятки раз независимо от плотности рыб. Численность рачков за такое короткое время, как на первом, не восстанавливается.

Оценка обеспеченности пищей рыб в скоплениях по косвенным показателям (темпу линейного и весового роста, упитанности, накормленности, широте пищевого спектра и т. д.) дает высокие величины. Показатель обеспеченности пищей даже в мае и октябре, когда биомассы зоопланктона очень низкие, составляет около 500%, а в летние месяцы превышает 3000%. Имеющиеся в Рыбинском водохранилище концентрации пищи вполне удовлетворяют пищевые потребности рыб. Так, даже в мае, когда на продуктивных биотопах биомассы зоопланктона очень низкие и составляют не более 0,21 г/м<sup>3</sup>, рационы корюшек максимальные. Именно в мае-июне у корюшек наблюдаются максимальный линейный и весовой прирост.

«Выедание» беспозвоночных скоплением корюшки от биомассы рачков невелико и в летние месяцы составляет от 0,7 до 3,0%, а в мае и октябре — до 20%. От величины суточной продукции выеда-

ние составляет 5—50%. Биомасса рачков на местах откорма быстро восстанавливается. В среднем по водохранилищу за вегетационный период «выедание» составляет около 3% от продукции зоопланктона водоема.

Сравнение многолетних данных по численности рыб-планктофагов и кормовых зоопланктеров зависимости между ними не выявило.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что на современном этапе существования Рыбинского водохранилища численность рыб-планктофагов не влияет на обилие их кормовых организмов.

УДК 597.553.2

## О БИОЛОГИИ КОРЮШКИ СРЕДНЕВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

М. Н. Иванова, С. В. Козловский, А. Н. Лопатко,  
А. П. Стрельникова

После зарегулирования стока Волги и создания каскада водохранилищ корюшка («снеток») из Белого озера проникла в систему этой реки. Расселение корюшки по волжским водохранилищам проходило постепенно. В 1943 г., через 2 года после начала заполнения озеровидного Рыбинского водохранилища, белозерский снеток был обнаружен в новом водоеме, а с 1959 г. он стал вылавливаться в нем в промысловых количествах. В 1959 г., также через 2 года после начала заполнения Горьковского и Куйбышевского водохранилищ, корюшка уже из Рыбинского водохранилища проникла в Среднюю Волгу. На следующем этапе саморасселения она встречалась в Саратовском и даже Волгоградском водохранилищах, т. е. в нижнем течении реки. Таким образом, в конце 70-х годов границы ареала пресноводной корюшки продвинулись на юг более чем на 3000 км. Во всех водохранилищах она образовала новые популяции, характеризующиеся рядом биологических и морфологических особенностей.

В первые годы после вселения в Среднюю Волгу корюшка не достигала в озерно-речных водохранилищах высокой численности и была представлена почти исключительно младшими возрастными группами.

В задачу настоящей работы входило исследование биологических особенностей корюшки и размерно-возрастной структуры ее популяций в Горьковском и Куйбышевском водохранилищах на втором десятилетии существования этих водоемов.

Материал был собран в августе, сентябре и октябре 1971—1972 и 1977—1979 гг. разноглубинными мальковым тралом и сетями. Траления проводили по русловым участкам водохранилищ по 10—15 мин. Всего было поймано 860 и обработано 341 рыба. Исследованы размерно-возрастной состав уловов, питание, время наступ-

**Таблица 1**  
**Возрастной состав уловов, % (октябрь)**

Возраст, годы	Горьковское		Куйбышевское	
	1966, '969 гг.*	1972, 1979 гг.	1967, 1969 гг.	1971—1979 гг.
Сеголетки	30,0	19,5	95,6	77,0
Двухлетки	62,5	76,0	2,2	11,9
Трехлетки	7,5	4,5	1,3	7,7
Четырехлетки	—	—	0,9	3,4**
Число рыб в пробах	173	223	220	118

\* Данные из работы Иванова и др.

\*\* Увеличение доли 3- и 4-летних рыб объясняется применением сетей для сбора материала.

ления половой зрелости, абсолютная и относительная плодовитость самок и т. д. Для сравнения приводятся наши данные, собранные в 1966—1969 гг. [Иванова и др., 1971 и Володин и др., 1974].

Распределение рыб по акватории водоемов по сравнению с первыми годами формирования новых популяций практически не изменилось: корюшка в летне-осенний периоды придерживается расширенных участков с замедленным течением. В Горьковском водохранилище она чаще встречается в озеровидном нижнем участке, а в Куйбышевском — в основном в Сусканском, Черемшанском и других более мелких заливах и устьях рек. Численность корюшек невелика: за 5-минутное траление в нижнем участке Горьковского водохранилища вылавливали в среднем 27—49 рыб, в заливах Куйбышевского — от 1 до 4 особей. В речных участках обоих водоемов она встречается редко. Следовательно, и на втором десятилетии существования водоемов, численность популяции корюшек не увеличилась.

**Таблица 2**  
**Биологические показатели самок (октябрь 1972 и 1979 гг.)**

Показатели	Сеголетки		Двухлетки	
	Горьковское	Куйбышевское	Горьковское	Куйбышевское
Длина тела по Смигу, мм	57,8±1,1	74,5±2,1	102,7±1,5	126,0±1,9
Общий вес тела, г	1,2±0,09	3,4±0,3	9,4±0,4	16,2±0,6
Упитанность по Кларк	0,52±0,01	0,63±0,01	0,67±0,02	0,67±0,02
Коэффициент жирности, ‰	—	308±42	577±26	368±41
Абсолютная плодовитость, шт.	2120±541	5230±715	15542±1357	10474±1530
Относительная плодовитость, шт./г веса тела	1545±150	1777±456	2240±253	1216±57
Число рыб, экз.	13	19	15	12

Структура средневолжских популяций представлена в табл. 1. Наиболее многочисленны в обоих водоемах сеголетки и двухлетки. Рыбы старше 2 лет в уловах попадались редко.

Длина тела корюшек в Горьковском водохранилище в октябре колебалась от 43 до 120 мм, вес — от 0,5 до 13,5. В Куйбышевском встречались особи длиной от 55 до 177 мм, весом 1,2—38,1 г.

Условия нагула для корюшек в обоих водоемах весьма благоприятны, особенно хорошо растут рыбы в Куйбышевском водохранилище (табл. 2). Корюшки в средневолжских водохранилищах к концу нагула не только имеют большие длину и вес тела, но и высокие показатели жирности, а также величины абсолютной и относительной плодовитости. Например, двухлетние самки в Белом озере (в 1972 г.) имели длину тела  $97,5 \pm 1,0$  мм, вес —  $8,3 \pm 0,2$  г., коэффициент жирности —  $216 \pm 18$  ‰, АП —  $5184 \pm 255$  и ОП —  $756 \pm 27$ . Интенсивный весовой и линейный рост, а также высокие показатели абсолютной и относительной плодовитости у рыб являются следствием благоприятных условий нагула для них в средневолжских водохранилищах. В Горьковском водохранилище основу пищевого комка составляют крупные кладоцеры — *Bythotrephes* и *Leptodora* (47% по весу). В Куйбышевском водохранилище взрослые особи кроме хищных кладоцер поедают гаммарид, а также молодь рыб — собственных отставших в росте сеголетков и тюльку. В Белом озере основную пищу молоди и двухлетних рыб составляют кладоцеры, преимущественно босмина.

Созревают корюшки в основной массе на первом году жизни. В Горьковском водохранилище доля сеголетков с созревающей воспроизводительной системой в октябрьских уловах 1966, 1972 и 1979 гг. составляла соответственно 87, 76 и 95%, в Куйбышевском в 1969, 1971 и в 1979 гг. — 65, 70 и 87%. Относительная доля зрелых сеголетков в водоемах, расположенных севернее, гораздо меньше. Так, в Белом озере в поколении 1971 г. зрелые корюшки составили всего 0,2%, в Рыбинском водохранилище — 17%, а в Куйбышевском — 65,2%. Как показано нами ранее, количество со-

зревших на первом году жизни корюшек определяется температурой воды в период развития личинок. Среднемесячная температура воды в мае в Белом озере и Рыбинском водохранилище обычно на 2—5° ниже, чем в Куйбышевском водохранилище.

Приведенные данные показывают, что признаки, которые характеризовали средневолжских корюшек в первые годы формирования их популяций, мало изменились в последующий период. Эффективность нереста корюшек в Куйбышевском водохранилище невелика. В настоящее время эти популяции следует считать сфор-

Трехлетки	
Горьковское	Куйбышевское
$107,8 \pm 3,2$	$151,0 \pm 1,7$
$10,6 \pm 0,8$	$24,8 \pm 1,4$
$0,64 \pm 0,02$	$0,61 \pm 0,03$
$503 \pm 65$	$225 \pm 35$
$12600 \pm 500$	$24562 \pm 1864$
$1418 \pm 85$	$1251 \pm 135$
7	5

мированными. Они характеризуются упрощенной возрастной структурой, ранним созреванием, быстрым темпом линейного и весового роста, интенсивным питанием и высокими показателями абсолютной и относительной плодовитости особей.

Значительное влияние на распределение и численность рыб оказывают гидрологический и термический режимы водоемов. Наличие значительных по площади участков с повышенной проточностью ограничивает расселение корюшек по акватории водоемов. Быстрый весенний прогрев воды и высокая температура в летний период в водохранилищах стимулируют раннее созревание рыб и ограничивают продолжительность их жизни в Средней Волге.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Л. И. О снетке Рыбинского водохранилища.— Зоол. журн., 1951, т. 30, вып. 6, с. 590—593.
2. Володин В. М., Иванова М. Н., Половкова С. Н., Пермитин И. Е. Морфологические и биологические особенности пресноводных корюшек.— В кн.: Флора, фауна и микроорганизмы Волги. М.: Наука, 1974, с. 218—257.
3. Иванова М. Н. О продолжительности жизни снетка Белого озера.— Вopr. ихтиологии, 1980, т. 20, вып. 3(122), с. 481—489.
4. Иванова М. Н., Володин В. М. Изменчивость темпа полового созревания у пресноводных популяций европейской корюшки.— Вopr. ихтиологии, 1981, т. 21, вып. 3, с. 440—450.
5. Иванова М. Н., Пермитин И. Е., Володин В. М., Половкова С. Н. Вселение снетка в Горьковское водохранилище.— В кн.: Биология и физиология пресноводных организмов. Л.: Наука, 1971, с. 178—182.
6. Кожевников Г. П. Снеток в Горьковском водохранилище.— Науч.-техн. бюл. ВНИОРХ, 1958, № 6—7, с. 111—112.
7. Кудерский Л. А. Случай саморасселения и аутоакклиматизации корюшки.— Тр. Карел. отд-ния ГосНИОРХ, 1968, т. 5, вып. 1, с. 310—314.
8. Лапин Ю. Е. Снеток Рыбинского водохранилища. Дис. ... канд. биол. наук. М.: ИМЖ АН СССР, 1955, с. 1—189.
9. Пермитин И. Е., Иванова М. Н., Половкова С. Н. О некоторых чертах биологии снетка Белого озера.— В кн.: Биология и физиология пресноводных организмов. Л.: Наука, 1971, с. 182—190.
10. Чикова В. М. Влияние гидрометеорологических условий на размножение промысловых рыб в Куйбышевском водохранилище.— В кн.: Материалы первого науч.-техн. совещ. по изучению Куйбышевского водохранилища: Гидробиология, ихтиология и гидрохимия. Куйбышев, 1963, вып. 3, с. 118—124.
11. Шаронов И. В. О распределении снетка в Куйбышевском водохранилище.— Бюл. ИБВВ АН СССР, 1960, № 8—9, с. 44—45.
12. Ясонов Г. А. Термический режим Куйбышевского водохранилища.— В кн.: Сборник работ комсомольской ГМО. Куйбышев, 1962, вып. 2, с. 55—74.

УДК 639.3.015

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ  
АККЛИМАТИЗАЦИОННЫХ РАБОТ  
В ВОДОЕМАХ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ**

**Ю. И. Никаноров, Е. А. Никанорова**

Водоемы Верхней Волги разнообразны по своим экологическим условиям: система оз. Селигер, включающая 80 разнообразных озер, Иваньковское водохранилище, обладающее многоплёсовой сложной конфигурацией берегов и тепловодной зоной, и др. Разнообразие биотопов в одном регионе создает благоприятные условия для проведения акклиматизационных работ.

В последние годы работы по акклиматизации рыб в бассейне Верхней Волги, проводимые различными организациями (Калининрыбпром, Центррыбвод, Завидовский научно-производственный заповедник, Калининское общество охотников и рыболовов) значительно расширились. Наряду с видами рыб, которые выпускались в водоемы уже в течение многих лет (пелядь, угорь, судак, щука), начаты акклиматизационные работы с новыми объектами (растительноядные виды рыб, стерлядь, буффало). Так, только в 1976—1979 гг. в Волгу и Иваньковское водохранилище было выпущено около 0,5 млн. разновозрастной молоди щуки (из естественного щучьего питомника на р. Мологе), 26,4 тыс. молоди стерляди, 11 млн. личинок судака, свыше 96 тыс. сеголетков пеляди, 70 тыс. сеголетков серебряного карася. Сеголетки пеляди и серебряного карася выпускались и в другие водоемы бассейна (Вазузское водохранилище, р. Цну).

Выпуск пеляди в проточные и сточные водоемы, особенно с предвесенней сработкой (Иваньковское, Вышневолоцкое водохранилища) не дает положительных результатов вследствие ее массового ската при сбросе воды. В шестидесятых годах в специально подготовленных озерах были созданы маточные стада пеляди, сбор икры достигал 20 млн. шт. в год, а рыбопродуктивность некоторых озер по пеляди превышала 100 кг/га. В отдельных озерах наблюдался естественный нерест пеляди, где было получено 850 тыс. сеголеток для зарыбления естественных водоемов. В дальнейшем в связи с выходом из строя озер-питомников, появления в них малоценных рыб, посадки пеляди в озера прекратились и она практически исчезла из уловов. С 1976 г. работы с пелядью были возобновлены с целью создания в ряде озер ее маточных стад. Сеголетки пеляди для пополнения маточных стад стали выращиваться в прудовых хозяйствах. В ряде озер (Серменок, Белое, Лохово, Садок) вновь были сформированы маточные стада, от которых в 1978—1980 гг. получено 25 млн. икры. В ближайшие годы возможно получать ежегодно до 50 млн. шт. икры пеляди. В перспективе имеется возможность довести сбор икры пеляди до



100 млн. шт. Выход рыбопосадочного материала (сеголетки пеляди), исходя из наличия прудовых площадей, может быть доведен до 2 млн. шт., это позволит зарыблять до 10 тыс. га озерной и прудовой площади и получать до 1500 ц товарной пеляди в год.

Реакклиматизационные опытно-производственные работы со стерлядью проводятся на Иваньковском водохранилище с 1975 г. Молодь, выращенная в садках, средним весом до 15 г в количестве 20 тыс. экз. выпускалась в р. Волгу в разных районах. Результаты выпуска пока неясны, единично она встречается в различных участках водохранилища.

Опытные работы по зарыблению Иваньковского водохранилища белым амуром показали, что он нашел здесь благоприятные условия, хорошо растет и может служить объектом как промыслового, так и любительского лова. Для выяснения эффективности зарыбления приступлено к опытному зарыблению водохранилища двухлетками растительноядных рыб. В 1979 г. в водохранилище (преимущественно в Шошинский плёс) выпущено более 20 тыс. двухлетков белого амура, 1200 из них помечено подвесными метками.

Наибольший эффект получен от вселения угря в систему озера Селигер. Всего за период с 1960 по 1972 г. было выпущено 8,7 млн. стекловидного угря. Скат покатного угря начался в 1966 г. Покатный угорь отлавливается угреловушкой на истоке из озера, кроме того повсеместно попадает в качестве прилова в различные орудия лова. С 1966 по 1979 г. промыслом отловлено более 600 ц угря, рыболовами-любителями до 1000 ц. Промысловый возврат составил 3,7%, прибыль около 200 тыс. руб. (при неполном облове). В 1980 г. в связи с повышением приемной цены на угря и метеоусловий, благоприятствовавших его скату, улов угря по сравнению с 1977—1979 гг. увеличился в 2—3 раза и достиг максимального уровня 80 ц. Скат от проведенных посадок будет продолжаться еще 2—3 года. С 1972 г. посадки угря в озеро прекратились. Проведенные работы по зарыблению угрем оз. Селигер показывают, что этот вселенец перспективен и зарыбление им следует продолжать. Из всех зарыблявшихся угрем водоемов Северо-Запада и подмосковных водохранилищ хозяйственный эффект получен только в системе Селигера. Рекомендуемая посадка по 3 млн. шт. два года подряд.

Анализ результатов акклиматизационных работ показывает, что в водоемах Верхней Волги перспективно вселение пеляди в замкнутые и слабосточные озера, угря и пеляди в оз. Селигер, растительноядных и буффало в Иваньковское водохранилище.

В связи с введением платного рыболовства и созданием на Иваньковском водохранилище и оз. Селигер культурных рыбоводно-рыболовных хозяйств значение акклиматизационных работ в данном регионе возрастает. Верхневолжским отделением для указанных водоемов разработаны рыбоводно-акклиматизационные мероприятия, учитывающие перспективы развития на них промыслового и любительского лова.

УДК 597.08(28)

# ЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА РЫБ

Б. О. Бергельсон, М. П. Бойцов, В. П. Гуров, Ю. И. Никаноров

Иваньковское водохранилище является мелководным водоемом. 48% его акватории составляют глубины до 2 м. В последние годы в связи с интенсивным антропогенным воздействием здесь наблюдается усиление процессов эвтрофикации. Отдельные участки теряют рыбохозяйственное значение, так как закрытые заливы и мелководья постепенно зарастают и заболачиваются [1]. Вышая водная растительность в настоящее время занимает около 24% всей площади водоема [3], тогда как оптимальный уровень зарастания, обеспечивающий успешное воспроизводство фитильных рыб, не должен превышать 5—10% [1]. Отмечается тенденция к ухудшению режима нерестилищ. В частности, формации мягкой водной растительности заменяются жесткой — хвощом, телорезом, тростником, рогозом, осокой. В сложившейся ситуации выяснение рыбохозяйственного значения отдельных мелководных участков, их роли в естественном воспроизводстве рыбных запасов, представляет определенный научный и практический интерес. Полученные данные нашли отражение в проекте по улучшению санитарного и технического состояния Иваньковского водохранилища, который выполняется Гидропроектом им. Жука и предусматривает, в частности, углубление и засыпку некоторых мелководий, уничтожение излишней растительности.

Исследования проводились в вегетационный период 1980 г. и охватывали около 40 различных участков и заливов Иваньковского водохранилища. Оценка этих заливов и мелководных участков в плане их использования наиболее ценными промысловыми видами рыб как для нереста, так и нагула молоди производилась путем изучения границ нерестовых площадей, плотности засева их икрой и главным образом определением относительной численности нагуливаемых личинок и сеголеток. В частности, сравнивались уловы личинок за взмах сачка, сеголетков — за 5-минутное траление мальковым донным тралом и замет мальковой волокуши. Сачок диаметром обруча 0,5 м был изготовлен из газа № 10, мальковый трал длиной 3 м — из капроновой дели ячеей 3 мм, мальковая волокуша длиной 20 м — из капроновой дели ячеей 5—3 мм. Собранный материал по молоди рыб состоял из 21 850 шт. личинок и 8650 шт. сеголетков.

Как показали многолетние наблюдения (1973—1980 гг.), урожайность рыб Иваньковского водохранилища зависела прежде всего от метеорологических условий, уровня режима и состояния нерестилищ в водоеме. Нестабильность уровня и неблагоприятные метеоусловия отрицательно сказываются на выживаемости

икры ранненерестующих видов: язя, щуки, жереха, голавля. Так, при значительной суточной сработке уровня в отдельные годы на нерестилищах гибнет до 40% икры щуки. По этой же причине наряду с урожайными поколениями, достигающими численности 1,5—1,8 млн. шт. сеголетков щуки, отмечались неурожайные — 300—400 тыс. шт.; численность молоди язя, жереха, голавля колебалась от 4 тыс. до 2,7 млн. шт. В зависимости от метеорологических условий в разные годы численность молоди леща изменялась от 8,7 до 226,1 млн. шт., судака — от 0,8 до 12,9 млн. шт. Причем установлено, что выживаемость леща от икры до сеголетка различалась значительно — от 1,08% (в 1975 г.) до 0,04% (в 1976 г.).

Наблюдения 1980 г. показали, что условия для нереста и нагула рыб в различных участках и заливах Иваньковского водохранилища неодинаковы, различна и эффективность нереста в них. Из типичных заливов лучшие условия для воспроизводства леща имелись в Перетрусовском, Коровинском, Новосельском заливах Нижневолжского плёса, в Сухаринском и Осиновском заливах Средневолжского плёса, а также в Огурцовском заливе Шошинского плёса (табл. 1, 2). Следует выделить также участки в районе Заборских островов (Нижневолжский плёс), в районе о. Низовка (Верхневолжский плёс) и в устье Шошинского плёса, где концентрации молоди также значительны. Часть акватории заливов и открытых участков непригодна для нереста рыб и нагула молоди в связи с сильной зарастаемостью и заболоченностью. Непосредственно в типичных закрытых заливах рыба нерестится и нагуливается преимущественно в средней и нижней частях. Плотность кладок икры щуки была выше в средней части заливов (среди свежезалитой луговой растительности и прочего незаиленного субстрата), где на 1 м<sup>2</sup> нерестилищ откладывалось от 10—40 до 113 шт. икринок. Среди редких зарослей тростника, рогоза, хвоща и другой жесткой растительности на 1 м<sup>2</sup> попадались всего 1—3 икринки щуки. Сильно заросшие и заболоченные верховья щукой для нереста не использовались и икра ее здесь отсутствовала. В открытой зоне подобные участки в качестве нерестилищ также непригодны. Как выяснилось, щука и язь для нереста предпочитали в основном устья и предустьевые пространства рек и ручьев, откладывая икру среди мягкой растительности. На большую роль притоков в воспроизводстве фитофильных рыб волжских водохранилищ указывают и другие авторы [2].

Наблюдения показали, что верховые участки малопроточных заливов и обширные сплавины также малопригодны для воспроизводства леща. Он откладывал икру лишь по внешнему краю сплавин или зарослей, не используя при этом большую часть площади этих зарослей. На 1 м<sup>2</sup> лещ откладывал от 1 до 16,5 тыс. икринок.

В закрытых заливах на взмах сачка более всего личинок ловилось в средней и нижней частях; в верховьях заливов личинки обычно не обнаруживались. Такая закономерность характерна для

Таблица 1  
Уловы личинок (шт.) за один взмах сачка в некоторых типичных заливах  
Иваньковского водохранилища

Плёс	Залив	Всего (в среднем)	В том числе лич		
			мин.	макс.	среди.
Шошинский	Огурцовский	361	4	12	8
Средневожский	Борковский	285	—	—	—
Нижневожский	Корчевский	409	3	4	3
	Новосельский	80	2	6	3
	Коровинский	428	9	21	8
	Полянский	169	2	12	7
	Перетрусовский	416	3	180	38
	Бревновский	135	1	12	3
	Залив № 2	397	—	—	—
	Городищенский	221	1	2	1

Примечание: В табл. 1—2 (—) — лов не проводился.

Таблица 2  
Уловы молодн рыб (шт.) за одно притонение мальковой волокуши  
и траление мальковым донным тралом

Плёс	Залив	Мальковая волокуша		Мальковый донный трал	
		всего	лич	всего	лич
Шошинский	Огурцовский	—	—	24	0,5
Верхневожский	Видгощинский	30	0,3	—	—
Средневожский	Осиновский	105	11	—	—
	Сухаринский	251	97	—	—
Нижневожский	Корчевской	—	—	81	75
	Новосельский	760	582	197	7
	Коровинский	707	10	—	—
	Полянский	—	—	105	88
	Залив № 2	—	—	24	0
	Городищенский	—	—	56	1
	Перетрусовский	18	0,5	23	0
	Харловский	—	—	49	39

Новосельского, Коровинского, Корчевского, Полянского, Городищенского и некоторых других заливов. Уловы сеголеток при тралении от устья заливов к их середине были также выше, чем от середины к верховью. Так, в Городищенском заливе при тралении от устья к середине за 5 мин лова попадалось 109 шт. сеголетней молодн, а от середины к верховью — всего 2 шт., в Полян-

**Таблица 3**  
**Средняя масса сеголеток леща, щуки и судака (г)**  
**в разные годы**

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Лещ	1,2	1,4	1,4	0,8	1,9	1,2	1,5	1,0
Щука	23,7	23,6	99,4	27,0	41,2	39,1	66,0	33,0
Судак	4,7	4,0	—	3,3	6,4	4,2	9,8	2,8

ском соответственно 172 и 37, в Корчевском — 164 и 17, в Харловском — 87 и 11.

В зависимости от температурного режима в период вегетации, от численности и биомассы кормовых объектов в местах обитания, а также концентрации самой молоди, отмечаются изменения в росте сеголеток по годам (табл. 3).

Отличается рост молоди непосредственно по участкам водоема. Масса сеголеток леща при этом различалась в 2,2—6,3 раза, щуки — в 1,7—9,7 раза, судака — в 1,1—2,2 раза. Лучшим ростом молоди леща и щуки характеризовались участки из зоны воздействия подогретых вод Конаковской ГРЭС (район Кривой Ветлы, Корчевы и Новосельский залив).

Наибольшее значение в естественном воспроизводстве запасов ценных видов рыб в Иваньковском водохранилище имеют устьевые и предустьевые участки большинства рек и ручьев, а также средние и нижние участки Перетрусовского, Новосельского, Коровинского заливов и мелководья Заборских островов в Нижневолжском плёсе; Сухаринского и Осиновского заливов — в Средневолжском плёсе; мелководья района Мелково — о. Низовка в Верхневолжском плёсе; Огурцовский залив и устьевой участок в Шошинском плёсе. Заросшие и непроточные верховья большинства заливов, а также основная масса сплавин на мелководьях для нереста не используются. В результате ухудшения условий нагула молодь отходит с этих участков на большие глубины в основном средней и нижней частей заливов.

Вследствие зарастания и заболачивания малопроточных заливов и мелководий ухудшается качество нерестилищ щуки, язя, голавля. Это является одной из причин сокращения их запасов.

Для улучшения санитарно-технического состояния водоема, условий воспроизводства ценных видов рыб-аборигенов и качественного состава ихтиофауны на Иваньковском водохранилище требуется провести комплекс рыбоводно-мелиоративных работ, включающий в частности, углубление или засыпку мелководий, уничтожение излишней растительности как механическим, так и биологическим методом, включая вселение в водоем растительноядных рыб.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ильина Л. К., Небольсина Т. К. Изменение условий воспроизводства фитофильных рыб в связи с зарегулированием стока Волги. — В кн. Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976, с. 134—143.
2. Ильина Л. К., Гордеев Н. А., Стрижникова Л. Н. Роль притоков Рыбинского водохранилища в размножении фитофильных рыб и особенности нерестилищ в маловодные годы. — Тр. Ин-та биологии внутр. вод АН СССР, 1978, вып. 39 (42), с. 124—135.
3. Никсноров Ю. И. Ивановское водохранилище. — Изв. ГосНИОРХ, 1975, т. 102, с. 5—25.

УДК 597.554.3—153

## НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ ПИТАНИЯ ЛЕЩА (*ABRAMIS BRAMA* (L.)) РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Т. С. Житенева

С периода первых систематических исследований питания леща Рыбинского водохранилища прошло более двадцати лет. За этот период в водоеме возросла площадь серого и песчанистого серого ила — с 8% в 1955 г. до 35% в 1965 г.; увеличилась площадь занятия песчанистыми грунтами — до 42%, распространение которых приурочено к глубинам до 10-метровой изобаты. В бентосе появилось значительное количество олигохет: в среднем по водоему на биотопе серого ила их биомасса в мае 1978 г. составляла 11,4 г/м<sup>2</sup>.

С 1977 по 1980 г. с мая по сентябрь изучалось питание леща на русловых участках Волжского, северо-западной части Главного и северной части Шекснинского плёсов водохранилища. Грунт в районах исследования был представлен серым илом. На русловых участках плёсов обитает основная часть стада леща в возрасте от 5 до 15 лет на этапах развития  $I_2$  и  $K$ .

В методику обработки материала было внесено ряд дополнений, позволивших определить весовое соотношение олигохет, грунта и слизи в содержимом кишечника рыб. Определение количества грунта и детрита в нем важно для последующего установления его пищевой ценности для леща и уточнения положения последнего в детритной пищевой цепи водоема. Всего исследовано питание у 1415 рыб.

На биотопе серого ила в исследуемых районах при сходном качественном составе содержимого кишечника, обеспеченность пищи леща была различной. Это выражалось величиной общих и частных индексов наполнения по животным компонентам (личинкам хирономид, олигохетам и моллюскам), весовым соотношением животной пищи и грунта (серого ила), а также количеством особей с пустыми кишечниками. Определение рационов рыб до выяснения пищевой ценности детрита и микрофлоры, заглатываемой с грунтом, нам казалось преждевременным.

В Волжском плёсе условия питания леща были благоприятными, поскольку основу содержимого кишечника составляла животная пища. Индексы по животным компонентам у рыб на этапе  $I_2$  колебались от 13 до 50‰, у рыб на этапе  $K$  от 37 до 100‰. Весовое значение грунта (серого ила) в кишечниках рыб было подчиненным. Олигохеты в отдельные месяцы составляли то главную, то дополнительную пищу рыб.

В северо-западной части Главного плёса (в июле—сентябре) интенсивность питания леща была в три раза ниже, чем в Волжском. Резко возросло количество рыб с пустыми кишечниками. Температурные условия нагула леща в обоих плёсах были сходными. Не было разницы и в относительной численности рыб в уловах. Особенности питания леща объясняются различной биомассой бентоса в плёсах — в Волжском она составляла 22,91 г/м<sup>2</sup> (в среднем с мая по сентябрь 1977 г.), в Главном — 5,22 г/м<sup>2</sup> (1978 г.).

Локальный район северной части Шекснинского плёса (под Череповцом) по данным бентосной съемки 1978 г. отличался высокой биомассой олигохет — до 100 г/м<sup>2</sup>, нехарактерной для других районов водохранилища. Однако в 1980 г. в пище леща малощетинковые черви встречались в незначительном количестве — частные индексы в мае—сентябре у рыб на этапе  $I_2$  и  $K$  не превышали 9‰, общие по животным компонентам — 23‰. В бентосе этого года олигохет было мало. Можно полагать, что в данном районе под влиянием антропогенного воздействия формируется популяция олигохет, для которой характерно нестабильное состояние, что необходимо учитывать при оценке кормовой базы бентофагов волжских водохранилищ, увеличение биомассы малощетинковых червей которой часто связано с антропогенным воздействием.

В современный период существования водохранилища по сравнению с началом шестидесятых годов условия питания популяций леща улучшились как за счет малощетинковых червей, так и личинок хирономид. Однако степень этого улучшения неодинакова в отдельных плёсах, что связано с различным уровнем биопродукционных процессов, определяемых физико-химическими и биологическими особенностями водных масс каждого плёса водохранилища.

Темп линейного роста леща в водохранилище по сравнению с началом шестидесятых годов не изменился, однако весовые приросты леща в Волжском плёсе стали значительно более высокими. Учитывая значительную вариабельность в обеспеченности пищей 5—15-летнего леща в отдельных плёсах и участках окончательное заключение об условиях питания его популяций можно сделать только после завершения обследования всего водохранилища.

Сложна оценка обеспеченности пищей младших возрастных групп леща (2—4-леток, этап  $I_1$ ), типичные биотопы нагула которых с глубинами от 1 до 4—5 м в настоящий период существования водохранилища заняты малопродуктивными песчанистыми грунтами, не используемыми для нагула рыбой.



# ЧИСЛЕННОСТЬ И РОСТ МОЛОДИ РЫБ УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

М. П. Бойцов

Угличское водохранилище является водоемом руслового типа. Площадь мелководной зоны (до 2 м от НПУ) здесь занимает 35,8% всей акватории. Заболачивание на водоеме проявляется слабо. Для обеспечения нереста фитофильных рыб в этом водохранилище площади вполне достаточны — заросшие мелководья составляют около 5%. В качестве нерестилищ используются осочки, манники и другая растительность, которые относительно узкой полосой расположены вдоль берегов островов, в протоках и заливах.

В 1976—1980 гг. впервые на Угличском водохранилище проведена количественная оценка урожайности рыб, необходимая для изучения формирования ихтиофауны, состояния запасов промысловых рыб и составления обоснованных прогнозов вылова.

Как и на Иваньковском водохранилище, поколения различных лет у многих видов по величине имеют значительные колебания в зависимости от метеорологических условий и уровня режима в весенний период (табл. 1). Но размах колебаний численности молоди язя, щуки, судака здесь несколько уже. Урожайность леща

Таблица 1  
Численность молоди рыб (млн. шт.) Угличского водохранилища  
в 1976—1980 гг.

Вид	1976	1977	1978	1979	1980
Плотва	79,4	1048,2	441,6	644,7	489,1
Лещ	7,3	180,4	23,7	184,4	209,9
Окунь	36,5	125,0	91,4	202,5	72,1
Щука	2,0	4,4	1,4	2,1	4,1
Судак	—	0,8	0,2	1,7	0,3
Язь	—	0,6	0,02	0,4	0,3
Густера	2,0	82,9	1,5	38,3	185,3
Уклея	11,0	50,8	3,2	34,3	45,2
Красноперка	0,2	9,0	—	2,2	2,6
Снеток	—	0,2	3,6	2,5	0,03
Ерш	—	0,4	—	2,1	—
Верховка	1,7	0,6	0,2	—	—
Пескарь	—	0,2	0,05	—	0,04
Прочие*	—	0,04	—	—	0,01

\* Прочие включают молодь налима, ельца, подкаменщика.

Таблица 2

Средние уловы (в шт.) молоди леща и щуки  
за одно притонение 20-метровой мальковой волокуши  
на Угличском водохранилище в 1976—1980 гг.

Район ловл	1976	1977	1978	1979	1980
Верхневолжский плёс					
Район г. Кимры	$\frac{—}{0,2}$	$\frac{12,7}{2,3}$	$\frac{—}{0,1}$	$\frac{0,7}{0,3}$	$\frac{377,5}{—}$
Плешковский залив	$\frac{26,3}{1,3}$	$\frac{34,7}{3,2}$	$\frac{27,7}{1,5}$	$\frac{302,7}{4,3}$	$\frac{3,0}{2,0}$
Средневолжский плёс					
Устье р. Нерль	$\frac{—}{0,9}$	$\frac{82,0}{0,9}$	$\frac{1,7}{0,1}$	$\frac{20,3}{0,7}$	$\frac{182,7}{1,7}$
Устье р. Кашинка	$\frac{—}{1,6}$	$\frac{142,7}{1,8}$	$\frac{31,8}{0,2}$	$\frac{239,0}{2,3}$	$\frac{448,0}{3,0}$
Нижневолжский плёс					
Устье р. Жабия	$\frac{—}{1,3}$	$\frac{1,5}{2,0}$	$\frac{9,2}{0,4}$	$\frac{39,3}{0,3}$	$\frac{7,3}{2,7}$
Устье р. Митинка	$\frac{1,0}{1,7}$	$\frac{15,7}{1,7}$	$\frac{0,2}{0,5}$	$\frac{2,0}{1,3}$	$\frac{16,7}{—}$
Район с. Красное	$\frac{7,0}{1,7}$	$\frac{230,0}{2,4}$	$\frac{15,3}{1,3}$	$\frac{129,0}{—}$	$\frac{—}{3,7}$

Примечание. Над чертой — уловы молоди леща, под чертой — щуки.

изменяется примерно в тех же пределах, что и на Ивановском водохранилище. В отдельные годы (1977, 1979, 1980) поколения леща по величине превышают соответствующие поколения большего по площади Ивановского водохранилища. То же ежегодно наблюдается у щуки. Однако уровень воспроизводства судака на Угличском водохранилище ежегодно уступает Ивановскому. Большее значение в пополнении запасов леща, судака, щуки имели Нижневолжский и Средневолжский плёсы.

Уловы молоди леща и щуки за притонение 20-метровой мальковой волокуши представлены в табл. 2. Высокой концентрацией молоди леща отличались устья рек Кашинки и Нерли, а также Плешковский залив и залив у с. Красное. Концентрации молоди щуки более значительны в заливе у с. Красное, Плешковском заливе и в устье р. Кашинка.

В русловой зоне водоема, где лов производился рамовым мальковым тралом, уловы представлены в основном молодью снетка, окуня, судака, леща и уклей. За весь период исследований максимальные уловы молоди снетка за 15-минутное траление по участкам не превышали 68,7 шт., окуня — 13,3, судака — 10,5, леща — 9,5, уклей — 3,3.

Таблица 3  
Средняя масса (г) сеголеток леща и щуки в 1976—1980 гг.

Место сбора материала	Лещ				Щука			
	1976	1977	1978	1980	1976	1977	1978	1980
Верхневолжский плёс								
Район г. Кимры	—	2,6	—	1,0	45	70	—	—
Плешковский залив	0,6	1,1	0,8	1,6	28	47	19	32
Средневолжский плёс								
Устье р. Нерль	—	1,8	—	1,2	—	41	104	69
Устье р. Каширка	—	—	—	1,5	22	93	37	48
Нижневолжский плёс								
Устье р. Жабня	—	1,1	—	0,9	26	88	25	61
Устье р. Митинка	0,7	1,2	0,9	1,4	—	80	104	—
Район с. Красное	0,6	2,3	0,8	—	41	68	68	53

На Угличском водохранилище сложились благоприятные условия для размножения малоценных видов — плотвы, окуня, густеры, уклей. Их численность в водоеме довольно высока, что значительно снижает качество промысловых уловов. В целом пополнение за счет естественного воспроизводства вполне достаточно для поддержания запасов леща и щуки на высоком уровне, судака — неудовлетворительное.

Результат нагула молоди (ее размеры и масса) зависит главным образом от летних температур. На Угличском водохранилище сеголетки леща и щуки разных лет значительно отличались по массе (табл. 3).

Наиболее благоприятным для роста молоди леща, щуки и судака был 1977 г., неблагоприятным — 1976 г. В эти годы значительно отличался и суммарный температурный режим вегетации молоди (с мая по сентябрь): в 1976 г. он составлял 2324, в 1977 г. — 2647 градусодней. Размеры сеголетков судака в 1977 г. достигали в среднем 73 мм, масса — 4,9 г, а в 1976 г. — соответственно 63 мм и 2,8 г. Молодь леща Угличского водохранилища по темпу роста уступала Ивановскому, щуки — наоборот. Размеры и масса сеголеток судака на этих водоемах примерно одинаковы.

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ ЧЕРЕМШАНСКОГО ПЛЕСА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В. А. Назаренко, С. С. Гайниев

За последние годы уловы промысловых видов рыб, таких, как лещ, резко упали, изменилась возрастная структура популяций и других видов. Это явление объясняется прежде всего ухудшением условий икрометания, особенно на глубинных нерестилищах. В первое и второе десятилетия существования водохранилища многочисленные затопленные пни, кустарники, на которых обитала богатая фауна беспозвоночных, в том числе дрейссена еще сохранялись. К настоящему времени указанные субстраты постепенно исчезают, и условия икрометания на глубинных нерестилищах ухудшаются. Поэтому дальнейшее увеличение численности фитофильных рыб возможно благодаря искусственному воспроизводству.

В Куйбышевском водохранилище особое место занимает Черемшанский плёс, отличающийся повышенной рыбопродуктивностью. Наличие больших мелководных участков, зарастающих водной растительностью, создает благоприятные условия для нереста рыб, которые сохраняются только при высоком и стабильном уровне воды в мае и июне. В Черемшанском плёсе весеннее прогревание воды происходит на 18—20 дней раньше, чем в русловой части. В результате нерест рыб происходит в более ранние сроки, а темп их роста увеличивается. Половая зрелость рыб наступает на один год раньше, чем в других участках водохранилища.

В указанном районе сохранился «типичный весенний паводок». Большая часть площади Черемшанского плёса в зимнее время осушается. Паводок здесь проходит до начала весеннего накопления воды в водохранилище. Поэтому ил, накопившийся за предыдущее лето, быстрым течением весенних вод смывается. Это способствует формированию благоприятного гидрохимического и гидробиологического режимов.

Черемшанский плёс характеризуется высокой биологической продуктивностью. Так, на участке от города Димитровграда до створа р. п. Никольское-Рязаново биомасса бентоса в среднем за много лет составляет  $20,2 \text{ г/м}^2$ , в то время как в русловой части водохранилища, в районе Сенгиля, всего  $2,5 \text{ г/м}^2$ .

Тем не менее в настоящее время имеющаяся кормовая база недоиспользуется основными экологическими группами рыб.

До создания водохранилища в плане его рыбохозяйственного освоения в пределах Черемшанского плёса было построено Ульяновское нерестово-выростное хозяйство. Однако это хозяйство, занимающее свыше 660 тыс. га, было принято с большими недо-

делками и эффективность его невелика. Вместе с тем в 1971 г. из прудов этого хозяйства было выпущено 1 млн. сеголетков амурских рыб. В результате на втором году жизни средний вес двухлеток белого толстолобика достиг 700,0 г, а пестрого — 860,0 г. В 1973 г. в Черемшанском плёсе было выловлено около 300 ц амурских рыб. Опыт показывает, что при правильном соблюдении технологии перевозки и выращивании амурские виды могут сыграть положительную роль в увеличении запасов рыб.

В районе Черемшанского плёса имеются большие возможности для создания нерестилищ с регулируемым уровнем воды. Такие нерестилища можно создавать без больших материальных и трудовых затрат.

Черемшанский плёс включает многочисленные заливы с общей площадью не менее 500—550 га. Некоторые из них без особых затрат целесообразно превратить в своеобразные выростные пруды, в которых только за счет естественных кормов можно дополнительно получить до 2300—2500 ц рыбы. Заливы, не используемые для выращивания товарной рыбы, необходимо соединить глубокими каналами с русловой частью реки Б. Черемшан, чтобы предотвратить гибель молоди ценных видов рыб в период осеннего падения уровня и наблюдающиеся в зимнее время заморы в районе г. Дмитровграда — Наяновские острова. Осуществление вышеуказанных мероприятий в исследованном районе позволит увеличить уловы рыбы не менее, чем в три раза по сравнению с существующими.

УДК 597.553 : 1

## **ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ТЮЛЬКИ В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

**С. В. Козловский**

Строительство каскада ГЭС и водохранилищ на Волге резко изменило характеристики этой важнейшей водной артерии нашей страны. Ряд населявших ее видов животных и растений на многих участках полностью исчез, некоторые получили преимущественное развитие и многие значительно расширили свои ареалы. Во флоре и фауне отмечается большое количество новых для Волги видов.

В речных условиях Волги каспийская обыкновенная килька (тюлька) встречалась лишь в очень небольших количествах, поднимаясь только немногим выше Саратова. В настоящее время тюлька стала одним из самых массовых видов пелагиали большинства водохранилищ Волги и Камы. Сходная картина наблюдается с азово-черноморским подвигом на водохранилищах Днепра. Как массовый планктофаг тюлька, по-видимому, составляет серьезную конкуренцию молоди большинства ценных промысловых рыб.

В свете вышесказанного становится ясно, какое большое значение для улучшения рыбохозяйственного использования водохранилищ может иметь выяснение роли тюльки в биоценозах, что в свою очередь невозможно без детального изучения ее биологии и экологии.

Изучение популяции тюльки Куйбышевского водохранилища началось с первых моментов появления ее в водоеме (1966 г.) И. В. Шароновым, Э. П. Цыплаковым, В. А. Кузнецовым, А. В. Коган и др.

Тюлька — типичная пелагическая стайная рыба в течение всего жизненного цикла связанная только с пелагиалью. Таким образом, она не попадает под «пресс» одного из основных в водохранилищах лимитирующих факторов — неблагоприятного уровня режима. Хорошие кормовые условия, низкая плотность хищников и главное наличие слабо осваиваемого местными видами нового для реки и обширного биотопа пелагиали явились факторами, способствующими значительному расширению ареала тюльки.

Изучение естественного воспроизводства тюльки в Куйбышевском водохранилище как на примере локального стада Свияжского залива, так и на других участках не показало существенных изменений в биологии и экологии нереста по сравнению с исходной морской популяцией (кроме полной пресноводности).

Нерест тюльки проходит в толще воды на открытых, но в какой-то степени защищенных от волнобоя участках, с глубинами от 2 до 15 м. Сроки нереста зависят от прогрева воды. Массовый нерест обычно приходится на конец мая — первую половину июня при температуре 14—18°С. Большое значение для выживания икры и личинок имеет режим волнения. В наших наблюдениях скопления текущих особей не отмечались при волнении от 4 баллов и выше.

Наши исследования, анализ гидрологических условий в нерестовый период на различных участках водохранилища позволили установить местоположение основных нерестилищ тюльки в Куйбышевском водохранилище. Большинство из них находится в крупных заливах — Свияжском, Старомайнинском, Черемшанском, Сусканском, Усинском. Довольно стабильные нерестовые участки отмечаются на Волго-Камском, Тетюшском и Ульяновском плёсах. При благоприятных условиях нерест тюльки может проходить практически на любом участке акватории. Так, текущие особи периодически встречаются и на Волжском и на Ундорском и на Новодевиченском плёсах.

Нерест тюльки, по-видимому, порционный (порций обычно две) и сильно растянут. Коэффициент порционности около 0,4. В опытных уловах текущие особи отмечаются со второй половины мая по сентябрь. В 1977 г. личинки длиной 16—20 мм были пойманы в Свияжском заливе во второй половине октября, т. е. нерест должен был проходить не раньше конца сентября.

Обычно наиболее массовым и эффективным бывает нерест в первой половине июня, но в том же 1977 г., судя по размерному

составу сеголетков, вероятно было два массовых подхода на нерест: в июне и во второй половине июля.

Основу нерестовой популяции составляют особи в возрасте 1+ и 2+. Соотношение полов во время нереста примерно 1:1 с незначительным доминированием самок. Средние размерно-весовые показатели последних несколько выше, чем самцов. В нерестовых скоплениях самцы и самки держатся отдельными стайками, вероятно, и на различных горизонтах, как это установлено на каспийской популяции.

Плодовитость тюльки популяции Куйбышевского водохранилища одна из самых высоких для вида. Абсолютная плодовитость колеблется в пределах от 3,6 до 110 тыс. икринок. В 1980 г. этот показатель составлял для одновозрастных особей:

1+	6,5—50 (в среднем 19,7) тыс. икринок
2+	11,3—110 (36,4) » »
3+	14,2—83,7 (32,8) » »

Относительная плодовитость, характеризующая интенсивность воспроизводительной способности особи, по нашим оценкам, у тюльки Куйбышевского водохранилища выше, чем у каспийской, что, по-видимому, является следствием уменьшения продолжительности жизни.

Для одновозрастных особей относительная плодовитость равна:

1+	2 600—14 515 (в среднем 5868) икринок
2+	2 241—16 000 (5003) »
3+	7 967 »

Анализ особенностей естественного воспроизводства тюльки в условиях Куйбышевского водохранилища позволяет с большой долей уверенности предположить дальнейшее расширение ареала этого вида в связи с созданием Чебоксарского водохранилища, если этот процесс не будет лимитироваться условиями нагула, зимовки и другими причинами.

УДК 597 442

## **РАЗМЕРЫ, ВОЗРАСТ И ПОЛОВОЕ СОЗРЕВАНИЕ САМОК СТЕРЛЯДИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Р. З. Капкаева**

Стерлядь (*Acipenser ruthenus* L.) — один из самых ценных видов рыб Волги и ее крупных притоков. Она относится к числу рыб, на биологии которых зарегулирование стока Волги плотинами ГЭС им. Ленина сказалось в наибольшей степени. Приспособление стерляди к новым условиям проходило длительное время. С момента образования Куйбышевского водохранилища прошло более 20 лет, т. е. срок вполне достаточный, чтобы выявились и



закрепились некоторые изменения в биологии стерляди, вызванные новыми условиями его существования.

Несомненный интерес представляет изучение особенностей полового созревания гонад стерляди в условиях зарегулированного стока.

Были использованы материалы, собранные весной 1976—1978 гг. на наблюдательном пункте в районе с. Атабаево, расположенного на 10 км выше бывшего устья р. Камы. Рыба ловилась ставными сетями с ячейей от 40 до 70 мм.

Состояние половых желез и возрастной состав самок стерляди наиболее четко характеризует анализ рыб, отловленных весной на путях миграции: в это время здесь попадаются особи всех возрастов и размеров и у них хорошо выражена стадия зрелости.

Среди крупных самок встречаются рыбы на самых разных стадиях половой зрелости, что в значительной мере затрудняет установление сроков полового созревания рыб.

Анализ размеров и гистологического строения наиболее крупных ооцитов, по которым определяется стадия половой зрелости, показал, что самки на II стадии, включая и II жировую, за редким исключением еще ни разу не принимали участия в нересте: у основной массы самок II нежировой и II жировой стадии зрелости ооциты находятся в начальных ступенях протоплазматического роста.

Самки на стадиях II—III и III, у которых в ооцитах выражен процесс накопления желтка, могут быть отнесены как впервые, так и к повторно созревающим особям. У повторно созревающих (II—III стадия) можно наблюдать под микроскопом следы прошедшего нереста — остаточные фолликулы, которых нет у самок ни разу не принимавших участия в размножении.

В настоящее время в условиях водохранилища стерлядь созревает в более позднем возрасте и при более крупных размерах, чем в р. Волге и в первые годы существования водохранилища.

До образования водохранилища, по наблюдениям А. В. Лукина, минимальный размер половозрелой самки оказался равным 34 см, а максимальные размеры неполовозрелых особей 65—70 см. По наблюдениям того же автора, стерлядь достигала половой зрелости в возрасте от 6 до 12 лет, основная масса созревала в 8 лет.

Анализ наших материалов показывает, что самки, ни разу не принимавшие участия в нересте, имели максимальный размер 67 см, возраст 14 лет.

Самки на II—III и III стадиях зрелости имели минимальный размер 47 см в возрасте 5 лет, а самая молодая из них оказалась в 4-годовалом возрасте при длине 53 см.

Самок на стадиях IV и VI менее 44 см в наших пробах не было.

Основная масса самок созревала при длине 50 см и выше. До 44 см рыбы были неполовозрелыми. Затем наблюдается уменьшение доли неполовозрелых рыб и начиная с 50 см увеличивается количество половозрелых особей.

Приведенные данные показывают, что самки, ни разу не принимавшие участия в нересте, т. е. рыбы на II нежировой и II жировой стадиях зрелости, сейчас имеют такие же размеры, как и крупные половозрелые.

Иная картина получается при анализе возрастного состава. Рассматривая возрастной состав, следует отметить, что самки на II нежировой и II жировой стадиях встречались до 16 лет, но основная масса их наблюдалась до 8 лет. Самки на III стадии зрелости имели возраст от 9 до 15 лет, за исключением двух, которые были одна в возрасте 17, другая — 20 лет. Массовое созревание рыб наблюдалось в 10 лет и старше.

В процессе становления водохранилища произошли изменения и в условиях существования стерляди, которые отразились и на темпе ее роста.

Для изучения характера роста стерляди Куйбышевского водохранилища мы расчислили темп роста для всех водохранилищных поколений по материалам, собранным весной 1976, 1977 гг.

Для большей наглядности этих наблюдений, мы приводим данные, характеризующие рост по 5-леткам. Анализ этих данных показал, что с первых же лет существования водохранилища рост стерляди постепенно улучшался и достиг в настоящее время наиболее высоких показателей. Улучшение роста обусловило увеличение возраста и размеров, при которых наступало половое созревание.

Обобщая данные, характеризующие размеры, возраст и половое созревание самок стерляди в условиях водохранилища, можно сделать следующее заключение.

После образования водохранилища темп роста стерляди улучшился, это повлекло за собой увеличение возраста и размеров, при которых наступало половое созревание. Если по наблюдениям А. В. Лукина, основная масса самок в р. Волге достигала половозрелости в возрасте от 8 до 10 лет, то в Куйбышевском водохранилище основная масса самок сейчас созревает в возрасте 10—16 лет.

УДК 597—19(28)

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ В НИЗОВЬЯХ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ**

**Л. П. Кизина**

Особое рыбохозяйственное значение Волго-Каспийского района определяется величиной биологического стока и высоким потенциалом его трансформации в ценнейшую рыбную продукцию на мелководьях Северного Каспия. Регулирование волжского стока отрицательно сказалось на его объеме и качестве, изменив тем самым характер продуцирования всех трофических уровней эко-

систем района. В результате сократились запасы ценных полупроходных рыб, а значительная часть рыбной продукции формируется в низовьях дельты Волги за счет менее ценных туводных видов.

О распределении промысловых рыб в восточной и западной частях этого района судили по многолетним (1972—1980 гг.) данным синхронных круглогодичных стационарных наблюдений в типовых для дельты водоемах заповедника. Методика сбора и обработки материала общепринята. Проанализировано 114 650 экз. рыб. Показатели численности — удельный вес в общегодовых уловах и модифицированный для условий района показатель промысловой эффективности.

В сетных уловах (ячея сетей 28—55 мм) отмечено 27 видов и подвигов шести семейств, среди которых карповые — самые многочисленны (60—65% видов). В западной части они составили 78%, в восточной 80% общего количества рыб. Из окуневых (судак, берш, окунь) в массовом количестве встречается только окунь.

Проходные (осетровые и сельдевые) мигрируют в дельте Волги по некоторым наиболее водоносным банкам, поэтому в типовых водоемах ее низовьев — многочисленных водотоках средней водности и мелководьях култушной зоны и островной зоны авандельты — встречаются эпизодически. Кроме того, специальные орудия лова для осетровых не применялись.

Ценные полупроходные виды (вобла, лещ, сазан, судак) составляют менее 15% общегодовых уловов. Их удельный вес по сравнению с 50 годами снизился более чем втрое.

Туводные лимнофилы (красноперка, густера, окунь, карась, линь, щука, жерех) составляют почти 82% всего количества рыб. За последние 20 лет их удельный вес в уловах почти удвоился.

Показатели численности ценных и массовых видов рыб в разных частях низовьев дельты Волги неодинаковы (табл.).

В каждой зоне района, отличающейся геоморфолого-гидрологическими параметрами, наблюдается специфическое соотношение видов, что объясняется экологическими особенностями последних. Более реофильные виды (вобла, густера) доминируют в нижней зоне надводной дельты. В островной зоне авандельты ведущими являются красноперка, карась, линь.

Многолетние изменения численности рыб происходят под влиянием интенсивного промысла и нарушения экологических условий в Волго-Каспийском районе. Повсеместно сократились удельный вес и уловы на усилии воблы, леща, сазана. Снижение численности в последние годы отмечается и у туводных рыб (густера, красноперка).

Резкое увеличение показателей численности окуня (в 2—3 раза) и особенно карасей, золотого и серебряного (в десятки раз) — наиболее характерная черта в динамике рыбного населения района в последние десятилетия.

**Показатели численности ценных и массовых рыб низовьев дельты Волги  
(по данным контрольных сетных уловов, 1972—1980 гг.)**

Вид	Восточная часть		Западная часть	
	% в уловах	экз./га	% в уловах	экз./га
Вобла	6,1	23,2	8,4	32,2
Лещ	5,8	22,1	4,4	16,8
Сазан *	0,7	2,5	0,3	1,1
Судак	1,3	5,0	1,0	3,9
Красноперка	40,1	152,9	36,9	141,4
Густера	17,8	67,8	15,4	58,8
Окунь	15,9	60,5	18,0	69,2
Карась	2,5	9,2	5,1	19,6
Щука	2,7	10,4	2,0	7,8
Линь	2,2	8,4	3,1	11,8
Жерех	1,7	6,7	1,7	6,4
Прочие	3,2	12,2	3,7	14,2

\* Показатели численности сазана, учитывая особенности его экологии, следует считать заниженными

Наблюдающееся усиление промысловой нагрузки в низовьях дельты Волги, особенно в островной зоне авандельты, может привести к общему сокращению запасов рыб, в том числе и туводных.

Представленные данные могут служить исходными для оценки влияния работы водodelителя на распределение промысловых рыб в разных частях низовьев дельты Волги.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> . . . . .	<b>3</b>
Г. В. Воропаев, А. Л. Великанов	
<b>ПРОБЛЕМЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ВОЛГИ</b> . . . . .	<b>6</b>
Н. В. Буторин, А. В. Монаков	
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСАХ И КАЧЕСТВЕ ВОДЫ ВОЛГИ И ЕЕ ВОДОХРАНИЛИЩ</b> . . . . .	<b>20</b>
Ю. М. Матарзин, Н. Б. Сорокина, Н. П. Пушкина, И. Ф. Губанова, Л. А. Родионова, Т. А. Картунова, А. Б. Китаев	
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КАМЫ И КАМСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ</b> . . . . .	<b>26</b>
Н. В. Буторин, А. А. Былинкина, Н. А. Зимина, Н. А. Трифонова.	
<b>АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ КРУГОВОРОТА ВЕЩЕСТВ В ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ</b> . . . . .	<b>37</b>
В. И. Романенко	
<b>ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПРОЦЕССЕ ФОТОСИНТЕЗА В КАСКАДЕ ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ</b>	<b>48</b>
Н. А. Дзюбан	
<b>ЗООПЛАНКТОН ЗАРЕГУЛИРОВАННОЙ ВОЛГИ</b> . . . . .	<b>60</b>
А. С. Константинов, В. И. Митропольский, В. И. Полченко, Н. Ю. Соколова.	
<b>МАКРОЗООБЕНТОС ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ</b> . . . . .	<b>73</b>
Е. В. Цветков, Д. В. Кореньков, Т. Н. Иванова	
<b>УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ВОЛЖСКОЙ ВХС ПРИ ПЕРЕБРОСКЕ СТОКА</b> . . . . .	<b>90</b>
К. К. Эдельштейн	
<b>ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОДОХРАНИЛИЩ МОСКВОРЕЦКО-ВАЗУЗСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ</b> . . . . .	<b>104</b>
В. П. Вьюшкова, И. Н. Далечина, В. В. Донецкая	
<b>ИЗМЕНЕНИЕ ПЛАНКТОНА ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ОДНОЙ ВОДНОЙ МАССЕ</b> . . . . .	<b>108</b>
А. А. Кравченко	
<b>К ИЗУЧЕНИЮ МАЛЫХ РЕК ГОРЬКОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ</b> . . . . .	<b>110</b>
Р. А. Шахматова, Н. Г. Тухсанова, Г. В. Шурганова, Ю. Н. Разгулов, Л. А. Выхристюк	
<b>ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА</b> . . . . .	<b>112</b>
Н. Е. Ярушек, Н. М. Аптина, О. А. Ермошенкова, С. Г. Котляр, Н. Н. Лизина, С. В. Тюшина	
<b>ИЗМЕНЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭКОСИСТЕМЫ ВОДОЕМОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОХИНОНА</b> . . . . .	<b>114</b>

А. Б. Авакян, Н. Г. Дмитриева, Г. Л. Марголина, В. П. Салтанкин, Л. О. Эйно́р	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЦЕЛЯХ АКВАРАИОНИРОВАНИЯ . . . . .	115
Н. М. Гореликова	
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ . . . . .	117
Т. М. Тимакова	
РАЗЛОЖЕНИЕ КЛЕТЧАТКИ В ИВАНЬКОВСКОМ И УГЛИЧСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ . . . . .	123
С. И. Кузнецов, В. И. Романенко, В. А. Романенко, Н. С. Карпова	
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 1979 г. . . . .	124
А. Н. Дзюбан	
ИНТЕНСИВНОСТЬ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГИ . . . . .	139
В. В. Донецкая	
БАКТЕРИОПЛАНКТОН ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	141
Т. Н. Тарасова	
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	143
А. П. Саєрасов	
БАКТЕРИОПЛАНКТОН САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ И САМООЧИЩЕНИЯ . . . . .	144
А. Г. Охапкин	
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА НЕЗАРЕГУЛИРОВАННОЙ ВОЛГИ . . . . .	147
В. Г. Девяткин, Л. Г. Корнева, Е. В. Карпова, И. В. Митропольская	
СЕЗОННАЯ И ГОДИЧНАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	149
В. А. Елизарова	
СКОРОСТИ ДЕЛЕНИЯ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ПРИБРЕЖЬЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	151
Л. В. Тарасенко, М. А. Луценко	
ФИТОЦЕНОЗЫ МЕЛКОВОДИЙ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	161
И. И. Попченко	
АЛЬГООБРАСТАНИЯ МАКРОФИТОВ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	163
Н. Н. Миргородченко	
ФИТОПЛАНКТОН И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ МЕЛКОВОДИЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (1970 –1972 гг.) . . . . .	165
И. А. Скальская, З. М. Мыльникова	
СТРУКТУРА И ЭКОЛОГИЯ СООБЩЕСТВ ПЕРИФИТОННЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	167

В. А. Золотарев РАЗВИТИЕ ПРОТОЗОЙНОГО ПЕРИФИТОНА В РЫБИНСКОМ ВО- ДОХРАНИЛИЩЕ . . . . .	169
Н. А. Дюбан, С. П. Кузнецова ЗООПЛАНКТОН И САПРОБИОСТЬ ВОДЫ САРАТОВСКОГО ВОДО- ХРАНИЛИЩА . . . . .	173
Л. М. Маркузова, М. К. Махотина ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗООПЛАНКТО- НА В РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИ- ЩА В 1973—1975 гг. . . . .	178
Г. В. Шурганова ЗООПЛАНКТОН р. ВОЛГИ НА УЧАСТКЕ ГОРОДЕЦ—ЧЕБОКСАРЫ ДО ОБРАЗОВАНИЯ НОВОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	181
Г. В. Шурганова СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОНА ОСНОВНЫХ ПРИТОКОВ р. ВОЛГИ В ЗОНЕ ЗАТОПЛЕНИЯ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	183
Ю. С. Чуйков ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА В ЭВТРОФИРОВАННЫХ ВОДОЕМАХ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ . . . . .	185
А. Ф. Зайцев, Л. А. Киселева, Ю. М. Бруштейн АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ РАСЧЕТ БИОМАССЫ И ПРОДУКЦИИ ЗООПЛАНКТОНА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ НИЖНЕЙ ВОЛГИ . . . . .	187
А. С. Константинов О ТРОФОДИНАМИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ УГНЕТЕНИЯ МАКРОЗОО- БЕНТОСА В КРУПНЫХ ВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ . . . . .	189
Р. А. Шахматова, Ю. Н. Разгулов, А. А. Кравченко ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННОЙ ФАУНЫ р. ВОЛГИ В БЫТОВОМ РЕЖИ- МЕ НА УЧАСТКЕ ГОРОДЕЦ—ЧЕБОКСАРЫ . . . . .	199
П. И. Антонов, Г. Л. Шкорбатов ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕЙССЕНЫ НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЙ ВОЛГИ . . . . .	202
Г. Ф. Миловинова КОЛИЧЕСТВО ГЕНЕРАЦИЙ МАССОВЫХ ВИДОВ ХИРОНОМИД В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ . . . . .	204
С. В. Емелина СОСТОЯНИЕ ЭНТОМОФАУНЫ ВОДОЕМОВ НИЗОВЬЕВ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ В 1970—1980 гг. . . . .	206
С. Н. Половкова, И. Е. Пермитин КОРМОВЫЕ РЕСУРСЫ ВОДОЕМА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ НА- ГУЛЬНЫМИ СКОПЛЕНИЯМИ РЫБ-ПЛАНКТОФАГОВ . . . . .	209
М. Н. Иванова, С. В. Козловский, А. Н. Лопатко, А. П. Стрельникова О БИОЛОГИИ КОРЮШКИ СРЕДНЕВОЛЖСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ . . . . .	211
Ю. И. Никаноров, Е. А. Никанорова СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ АККЛИМАТИЗАЦИОННЫХ РАБОТ В ВОДОЕМАХ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ . . . . .	215



Б. О. Бергельсон, М. П. Бойцов, В. П. Гуров, Ю. И. Никаноров	
ЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА РЫБ . . . . .	217
Т. С. Житенева	
НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ ПИТАНИЯ ЛЕЩА (ABRAMIS BRAMA (L.) РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	221
М. П. Бойцов	
ЧИСЛЕННОСТЬ И РОСТ МОЛОДИ РЫБ УГЛИЧСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	223
В. А. Назаренко, С. С. Гайпиев	
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ ЧЕРЕМШАНСКОГО ПЛЕСА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	226
С. В. Козловский	
ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ТЮЛЬКИ В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ . . . . .	227
Р. З. Капкаева	
РАЗМЕРЫ, ВОЗРАСТ И ПОЛОВОЕ СОЗРЕВАНИЕ САМОК СТЕРЛЯДИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА . . . . .	229
Л. П. Кизина	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ В НИЗОВЬЯХ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ . . . . .	231

# **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ВОДЫ ВОЛГИ И ЕЕ ВОДОХРАНИЛИЩ**

**Утверждено к печати  
Институтом биологии внутренних вод  
Академии наук СССР**

**Редактор издательства А. М. Гидалевич  
Художник Л. А. Григорян  
Художественный редактор Н. Н. Власки  
Технический редактор Т. В. Калининна  
Корректоры К. П. Лосева, В. С. Федечкина**

**ИБ № 27285**

**Сдано в набор 16.01.84  
Подписано к печати 20.04.84  
Т-05658. Формат 60×90<sup>1/16</sup>  
Бумага книжно-журнальная  
Гарнитура литературная  
Печать высокая  
Усл. печ. л. 15,5. Уч.-изд. л. 18,2. Усл. кр. отт. 15,75  
Тираж 1000 экз. Тип. зак. 4847  
Цена 2 р. 90 к.**

**Издательство «Наука»  
117864 ГСП-7, Москва В-485  
Профсоюзная ул., 90**

**2-я типография издательства «Наука»  
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10**

УДК 556.18(28)

**Проблемы водохозяйственной системы Волги.** Воропаев Г. В., Великанов А. Л.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Показано значение водохозяйственной системы, созданной на Волге, для народного хозяйства и для решения природопользовательных задач бассейна Каспийского моря после переброски части стока северных рек в бассейн Волги.  
Табл. 1.

УДК 574.5(28)

**Современные представления о биологических ресурсах и качестве воды Волги и ее водохранилищ.** Буторин Н. В., Монаков А. В.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Зарегулирование стока Волги и его сезонное перераспределение сопровождаются изменением гидрологических и экологических условий на всем протяжении реки, показано состояние планктона и бентоса бассейна Волги в новых условиях.  
Библ. 1 назв.

УДК 574.5(28)

**Современные экологические условия Камы и камских водохранилищ.** Матарзин Ю. М., Сорокина Н. Б., Пушкина Н. П. и др.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Экологические условия Камы и ее водохранилищ изменились не только под влиянием зарегулирования стока, но и в результате антропогенного воздействия.  
Табл. 4, ил. 3, библ. 14 назв.

УДК 556.551.4/5

**Абиотические факторы круговорота веществ в волжских водохранилищах.** Буторин Н. В., Былинкина А. А., Зимина Н. А. и др.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Роль абиотических факторов в круговороте веществ волжских водохранилищ весьма существенна. Они определяют интенсивность круговорота биогенных элементов, особенности продукционных и деструкционных процессов, газового режима. Дальнейшее их изучение является весьма актуальной задачей.  
Табл. 3, ил. 2, библ. 21 назв.

УДК 574.55(28)

**Первичная продукция органического вещества в процессе фотосинтеза в каскаде волжских водохранилищ.** Романенко В. И.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Рассматриваются продукционные процессы в волжских водохранилищах.  
Табл. 6, библ. 24 назв.

УДК 574.583(28) : 591

**Зоопланктон зарегулированной Волги.** Дзюбан Н. А.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Показана роль зоопланктона в питании рыб Волги. Он используется не полностью. Возможно увеличение рыбопродуктивности путем вселения рыб-планктофагов.  
Табл. 6, ил. 1, библ. 17 назв.

УДК 574.587(28) : 591

**Микрозообентос волжских водохранилищ.** Константинов А. С., Митропольский В. И., Полченко В. И. и др.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Микрозообентос характеризуется большим видовым разнообразием. В нем зарегистрировано свыше 800 видов шести типов и 12 классов животных. Показано его изменение в различных участках реки.  
Табл. 4, библ. 43 назв.

УДК 556.18

Управление режимом Волжской ВХС при переброске стока. *Цветков Е. В., Коренистов Д. В., Иванова Т. Н.* — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Приведен анализ режима уровней и расходов воды для створов верхних бьефов замыкающих плотин. Исследуется один из факторов — регулирование стока.  
Табл. 2, ил. 10, библи. 4 назв.

УДК 556.555

Гидролого-гидрохимический режим водохранилищ Москворецко-Вазузской водной системы. *Эдельштейн К. К.* — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Показана роль водохранилищ в трансформации речного стока, выявленная на основе многолетних комплексных исследований.

УДК 574.583(28)

Изменение планктона Волгоградского водохранилища в одной водной массе. *Вьюшкова В. П., Далечина И. Н., Донецкая В. В.* — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Проведены наблюдения за динамикой численности одной популяции планктона в условиях проточности.

УДК 556.53

К изучению малых рек Горьковского Заволжья. *Шахматова Р. А., Тухсанова Н. Г., Шурганова Г. В.* и др. — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Приведены результаты исследования р. Керженец — типичного представителя малых рек Заволжья.

УДК 556.555.67

Органическое вещество и биогенные элементы донных отложений Куйбышевского водохранилища. *Выхристюк Л. А.* — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Изучались количественные и качественные донные отложения Куйбышевского водохранилища.

УДК 574.64

Изменение отдельных составляющих экосистемы водоемов под влиянием гидрохимии. *Ярушек Н. Е., Алтина Н. М., Ермошенкова О. А.* и др. — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Приведены результаты лабораторных исследований на различных водных объектах

УДК 556.551 : 3/4

Исследования физико-химических показателей качества воды Ивановского водохранилища в целях акварионирования. *Авакян А. Б., Дмитриева Н. Г., Марголина Г. Л.* и др. — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Исследовалась изменчивость физико-химических показателей воды, которые представляют интерес как критерий районирования.

УДК 614.777

Оценка качества воды Воткинского водохранилища по биологическим показателям. *Гореликова Н. М.* — В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Выявлены основные группы бентофауны макрозообентоса Воткинского водохранилища.  
Табл. 6, ил. 1, библ. 14 назв.

УДК 579.68(28)

Разложение клетчатки в Ивановском и Угличском водохранилищах. Тималова Т. М.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Определяли потенциальную способность микрофлоры воды водохранилищ к разрушению клетчатки.

УДК 579.68(28)

Микробиологические процессы и гидрологическая характеристика Рыбинского водохранилища в 1979 г. Кузнецов С. И., Романенко В. И., Романенко В. А. и др.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Проведены гидрологическое исследование и изучение продукционных процессов в Рыбинском водохранилище.

Табл. 15, ил. 5, библ. 5 назв.

УДК 579.68(28)

Интенсивность микробиологических процессов деструкции органического вещества в донных отложениях водохранилищ Волги. Дзюбан А. Н.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Результаты изучения интенсивности деструкции органического вещества в донных отложениях водохранилищ Волжского каскада.

Табл. 1.

УДК 574.68(28) : 574.583(28)

Бактериопланктон Волгоградского водохранилища. Донецкая В. В.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Результаты исследований, проведенных на Волгоградском водохранилище в целях рыбохозяйственного освоения.

УДК 574.68(28)

Микробиологические показатели качества воды Горьковского водохранилища. Тарасова Т. Н.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Изучались общее число бактерий и численность сапрофитов в воде Горьковского водохранилища.

УДК 574.68(28) : 574.583(28)

Бактериопланктон Саратовского водохранилища как показатель качества воды и самоочищения. Саверсов А. П.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Рассматриваются численность, скорость размножения, суточная продукция и константа скорости роста бактерий в воде Саратовского водохранилища.

УДК 574.583(28) : 581

Современное состояние фитопланктона незарегулированной Волги. Окалжик А. Г.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Исследованы флористический состав доминантов фитопланктона и распределение биомассы по акватории Волги.

УДК 574.583(28) : 581

**Сезонная и годичная динамика фитопланктона в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища.** *Девяткин В. Г., Корнева Л. Г., Карпова Е. В. и др.*— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Результаты наблюдений, проведенных в Волжском плёсе Рыбинского водохранилища.

Табл. 1.

УДК 574.583(28)

**Скорость деления планктонных водорослей в прибрежье Рыбинского водохранилища.** *Елизарова В. А.*— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Результаты изучения большого количества видов за сезон и выяснение временно-го изменения скорости деления представителей фитопланктона.

Табл. 6, ил. 2, библ. 25 назв.

УДК 574.58(28) : 581

**Фитоценозы мелководий Иваньковского водохранилища.** *Тарасенко Л. В., Луценко М. А.*— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Результаты исследований перифитона, фотосинтетических пигментов в фитопланктоне Иваньковского водохранилища.

Табл. 2.

УДК 574. 652 : 581.526.3

**Альгообрастания макрофитов Саратовского водохранилища.** *Полченко И. И.*— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Выявлено 400 видов водорослей, представленных главным образом диатомовыми, зелеными, синезелеными.

Библ. 4 назв.

УДК 574.583(28) : 581+574.551(28)

**Фитопланктон и первичная продукция мелководий Куйбышевского водохранилища.** *Миргородченко Н. Н.*— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Установлено богатство альгофлоры. Велико влияние рек Волги и Камы.

УДК 674.586(28)

**Структура и экология сообществ перифитонных животных прибрежной зоны Рыбинского водохранилища.** *Скальская И. А., Мыльникова З. М.*— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Результаты исследований показали, что в прибрежье, защищенном от ветрового волнения, видовой состав обрастателей почти вдвое богаче по сравнению с открытым прибрежьем.

УДК 574.586(28)

**Развитие протозойного перифитона в Рыбинском водохранилище.** *Золотарев В. А.*— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Представлены результаты исследований различных по гидрологическим условиям участков Рыбинского водохранилища.

Ил. 4, библ. 4 назв.

УДК 674.583(28) : 591

**Зоопланктон и сапробность воды Саратовского водохранилища.** Дзюбан Н. А., Кузнецова С. П.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Изучены закономерности загрязнения и реакции на него зоопланктона.  
Ил. 3, библи. 5 назв.

УДК 674.583(28) : 531

**Основные закономерности формирования зоопланктона в различных участках Кузнецовского водохранилища.** Маркузова Л. М., Махотина М. К.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Изучены видовой состав зоопланктона и его численность.

УДК 674.583(28) : 591

**Зоопланктон Волги на участке Городец—Чебоксары до образования нового водохранилища.** Шурганова Г. В.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Исследования проводились на незарегулированном участке Волги. Установлено неравномерное распределение зоопланктона на протяжении вегетативного сезона.

УДК 674.583(28) : 591

**Состояние зоопланктона основных притоков Волги в зоне затопления Чебоксарского водохранилища.** Шурганова Г. В.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Выявлено влияние р. Оки на формирование волжской планктонной фауны.

УДК 674.583(28) : 591

**Характерные черты структуры сообществ зоопланктона в эвтрофированных водоемах дельты Волги.** Чуйков Ю. С.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Результаты исследований, проведенных в колониях птиц Астраханского заповедника, позволили оценить роль рыбоядных птиц в экосистемах дельты Волги

УДК 674.583(28) : 591

**Автоматизированный комплексный расчет биомассы продукции зоопланктона для некоторых водоемов Нижней Волги.** Зайцев А. Ф., Киселева Л. А., Брумштейн Ю. М.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Разработка алгоритма и создание программы, позволяющей автоматизировать расчет биомассы.

УДК 674.587(28) : 591

**О трофодинамической концепции угнетения макрозообентоса в крупных волжских водохранилищах.** Константинов А. С.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Критически рассматривается концепция угнетения зообентоса в волжских водохранилищах.

Библи. 41 назв.

УДК 674.652(28)

**Характеристика донной фауны р. Волги в бытовом режиме на участке Городец—Чебоксары.** Шахматова Р. А., Разгулов Ю. Н., Крайченко А. А.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Видовой состав донной фауны разнообразен и насчитывает 106 видов донных гидробионтов.



УДК 574.652(28)

**Эколого-физиологическое исследование дрейссены нижнего и среднего течений Волги. Антонов П. И., Шкорбатов Г. Л.**— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Приводятся результаты изучения интенсивности дыхания при разных температурах и солености дрейссены из дельты и среднего течения Волги. Проведен также анализ раковин моллюсков.

УДК 595.771

**Количество генераций массовых видов хирономид в Куйбышевском водохранилище. Миловидова Г. Ф.**— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Приведены результаты стационарных наблюдений хирономид в Волжском плёсе Куйбышевского водохранилища.

Табл. 1.

УДК 574.652

**Состояние энтомофауны водоемов низовьев дельты Волги в 1970—1980 гг. Емелина С. В.**— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

В результате исследований установлено 337 видов и форм насекомых.

УДК 574.662 : 597

**Кормовые ресурсы водоема и их использование скоплениями рыб-планктофагов. Половкова С. Н., Пермитин И. Е.**— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

В Рыбинском водохранилище численность рыб-планктофагов не влияет на обилие их кормовых организмов.

УДК 597.553.2

**О биологии корюшки средневолжских водохранилищ. Иванова М. Н., Козловский С. В., Лопатко А. Н.**— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Результаты исследований биологических особенностей корюшки в Горьковском и Куйбышевском водохранилищах.

Табл. 2, библ. 12 назв.

УДК 639.3.045

**Состояние и перспективы акклиматизационных работ в водоемах бассейна Верхней Волги. Никаноров Ю. И., Никанорова Е. А.**— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Показаны перспективы акклиматизационных работ в бассейне Верхней Волги.

УДК 597.08(28)

**Значение отдельных участков Ивановского водохранилища для естественного воспроизводства рыб. Бергельсон Б. О., Бойцов М. П., Гуров В. П. и др.**— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Приведена оценка заливов и мелководных участков в плане их использования рыбами.

Табл. 3, библ. 3 назв.

УДК 597.554.3—153

**Некоторые итоги изучения питания леща Рыбинского водохранилища. Житенева Т. С.**— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.

Изучалось питание леща на русловых участках Волжского, Главного и Шекснинского плёсов Рыбинского водохранилища.

**УДК 597—15(28)**

**Численность и рост молоди рыб Углинского водохранилища. Бойцов М. П.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.**

Проведена количественная оценка урожайности рыб.  
Табл. 3.

**УДК 639.2/.3(28)**

**Пути повышения рыбопродуктивности Черемшанского плёса Куйбышевского водохранилища. Назаренко В. А., Гайниев С. С.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.**

Дана характеристика Черемшанского плёса как питомника для выращивания молоди ценных рыб.

**УДК 597.553.1**

**Особенности естественного воспроизводства тюльки в Куйбышевском водохранилище. Козловский С. В.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.**

Выявлены нерестилища тюльки в Куйбышевском водохранилище.

**УДК 597.442**

**Размеры, возраст и половое созревание самок стерляди на современном этапе существования Куйбышевского водохранилища. Капкаева Р. Э.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.**

Выявлены изменения в биологии стерляди в связи с изменившимися условиями существования.

**УДК 597—19(28)**

**Распределение промысловых рыб в низовьях дельты Волги. Кизина Л. П.— В кн.: Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. М.: Наука, 1984 г.**

Анализируется распределение промысловых рыб в дельте Волги.  
Табл. 1.

## **В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НАУКА» ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ:**

### **ФРОНТАЛЬНЫЕ ЗОНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА — 20 л.**

Рассмотрены биологические, химические и физические особенности пелагических экосистем высокопродуктивных районов Тихого океана, связанных с фронтальными зонами побережья Перу, хребта Наска и субантарктической фронтальной зоной. Выяснен ряд принципиальных особенностей структуры и изменчивости физических и химических параметров зон фронтов. Приведен анализ структурных и функциональных особенностей биологических компонентов пелагических сообществ от бактерий и простейших до макропланктона и личинок рыб.

Для океанологов, гидробиологов и экологов.

### **БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ВОДОХРАНИЛИЩ — 20 л.**

В сборнике освещаются состояние и перспективы развития и использования биологических ресурсов водохранилищ. Рассматриваются биопродуктивные возможности водохранилищ, их гидрологический и гидродинамический режим, формирование и использование кормовой базы рыб в водохранилищах разного типа, комплексное водопользование, эффективность воспроизводства рыбных запасов и другие проблемы.

Для ихтиологов, гидробиологов, рыбоводов, специалистов рыбного хозяйства и охраны природы.

### **Воронина Н. М. ЭКОСИСТЕМЫ ПЕЛАГИАЛИ ЮЖНОГО ОКЕАНА — 18 л.**

Монография основана на материалах комплексного исследования пелагических экосистем Южного океана. Рассмотрены важнейшие особенности биотопов этого региона: состав, сезонные изменения, географическое распространение и продукция фитопланктона; функциональные особенности зоопланктонных сообществ. Проведено модельное исследование отдельных компонентов экосистемы.

Для океанологов, гидробиологов, экологов, специалистов рыбного хозяйства.

**Китаев С. П. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ОЗЕР РАЗНЫХ ПРИРОДНЫХ ЗОН. (тундра, тайга, смешанный лес) — 20 л.**

Книга посвящена изучению биопродуктивности озер. На основе статистической обработки массового материала выяснена зависимость развития первичной продукции, биомассы фито- и зоопланктона, бентоса и ихтиомассы от основных гидрологических, гидрохимических и биологических показателей озер разных природных зон. Разработана методика определения рыбопродуктивности и составлены «шкалы трофности» для различных показателей (хлорофилл, первичная продукция, биомасса фито- и зоопланктона, бентос, ихтиомасса, рыбопродукция). Определены сырьевые рыбные ресурсы озер и их потенциальные возможности.

Для научных работников в области рыбного хозяйства и преподавателей вузов.

**СТРУКТУРА, ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГЛУБОКОВОДНОЙ ФАУНЫ ОКЕАНА — 20 л.**

Сборник содержит результаты исследований глубоководной донной фауны различных районов Мирового океана. Особое внимание уделено структуре донной фауны: характеристике видового состава населения глубоководных трофических областей и роли основных компонентов донной фауны в формировании трофической структуры. Даются общая характеристика и количественная оценка глубоководной донной фауны Тихого океана и некоторых котловин северо-западной Атлантики, обсуждаются гидробиологические и исторические предпосылки асимметрии современных батинальных фаун, возможность существования на океанических подводных возвышенностях особой вертикальной зоны — талассобатналии.

Для широкого круга специалистов в области морской биологии.

Для получения книг почтой заказы просим направлять по адресу: 117192, Москва, Мичуринский проспект, 12, магазин «Книга — почтой» Центральной конторы «Академкнига»; 197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 7, магазин «Книга — почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига» или в ближайший магазин «Академкнига», имеющий отдел «Книга — почтой».

480001 Алма-Ата ул. Фурманова, 91/97  
(«Книга — почтой»);  
370005 Баку, ул. Джапаридзе 13 («Книга — почтой»);  
320093 Днепропетровск, проспект Гагарина, 24 («Книга — почтой»);  
734001 Душанбе, проспект Ленина, 95 («Книга — почтой»);  
375002 Ереван, ул. Туманяна, 31;  
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 289;  
420043 Казань, ул. Достоевского, 53;  
252030 Киев, ул. Ленина, 42;  
252030 Киев, ул. Пирогова, 2;  
252142 Киев, проспект Вернадского, 79;  
252030 Киев, ул. Пирогова, 4 («Книга — почтой»);  
277012 Кишинев, проспект Ленина, 148 («Книга — почтой»);  
343900 Краматорск Донецкой обл., ул. Матвеева, 1;  
660049 Красноярск, проспект Мира, 84;  
443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2 («Книга — почтой»);  
191104 Ленинград, Литейный проспект, 57;  
199164 Ленинград, Таможенный пер., 2;

196034 Ленинград, В/О, 9 линия, 16;  
220012 Минск, Ленинский проспект, 72 («Книга — почтой»);  
103009 Москва, ул. Горького, 19а;  
117312 Москва, ул. Вавилова, 55/7;  
630076 Новосибирск, Красный проспект, 51;  
630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22 («Книга — почтой»);  
142292 Пушкино, Московская обл., МР, «В», 1;  
620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137 («Книга — почтой»);  
700029 Ташкент, ул. Ленина, 73;  
700100 Ташкент, ул. Шота Руставели, 43;  
700187 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6 («Книга — почтой»);  
634050 Томск, наб. реки Ушайки, 10;  
450059 Уфа, ул. Р. Зорге, 10 («Книга — почтой»);  
450025 Уфа, ул. Коммунистическая, 49;  
720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42 («Книга — почтой»);  
310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87 («Книга — почтой»).