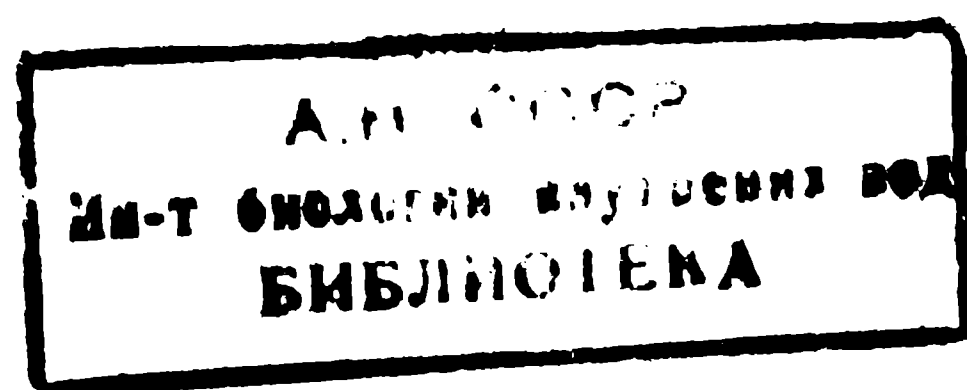


АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ ГИДРОБИОЛОГИИ

ГИДРОХИМИЯ  
И ГИДРОБИОЛОГИЯ  
ВОДОЕМОВ—ОХЛАДИТЕЛЕЙ  
ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ  
СССР

29250



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА»  
КИЕВ — 1971

Настоящий сборник— первый, в котором помещены статьи по вопросам гидрохимии, гидробиологии и ихтиологии некоторых водоемов — охладителей ТЭС РСФСР, Украины, Литвы, Молдавии. В сборнике рассматриваются цели и задачи изучения водоемов-охладителей, системы и схемы водоснабжения тепловых электростанций, материалы по физико-химическому и биологическому режиму. Освещаются также вопросы биологического режима и санитарного состояния водоемов-охладителей.

Рассчитан на научных сотрудников биологического, гидрохимического и медико-гигиенического профиля, инженеров — проектировщиков и эксплуатационников теплоэлектростанций и студентов.

Ответственный редактор канд. биол. наук. *М. Л. Пидгайко*

Рецензент докт. биол. наук *Г. Шпет*

Редакция биологической литературы  
Зав. редакцией В. Л. Щитковская

*Печатается по постановлению ученого совета Института гидробиологии Академии наук Украинской ССР*

Редактор З. Б. Янковская. Художественный редактор Р. И. Калыш. Оформление художника О. Л. Омелянюка. Технические редакторы Е. Н. Соколов, Р. Г. Кушнир. Корректор Р. С. Коган.

Сдан в набор 15/II-1971 г. Подписано к печати 14/IX-1971 г. БФ 03978 Зак. № 1—364. Изд. № 20. Тираж 1000. Бумага № 1, 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Услови. печ. листов 15,5. Учетно-изд. листов 16,48. Цена 1 руб. 78 коп.

Издательство «Наукова думка», Киев, Репина, 3.

Напечатано с матриц Киевского полиграфкомбината в Нестеровской городской типографии Львовского облуправления по печати, г. Нестеров, ул. Горького, 8. Зак. 3585.

2—10—4  
278—71М

## ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом возрастает число и мощность тепловых электростанций. В общей выработке электроэнергии их удельный вес в СССР, США и других странах достигает более 80%. В 1965 г. в СССР в эксплуатации находилось 27 крупных тепловых электростанций мощностью 600 тыс.—1 млн. кВт и больше.

Согласно постановлению XXIV съезда КПСС, по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР к 1975 г. должно быть введено в эксплуатацию 65—67 млн. кВт новых энерготехнических мощностей. Это будет достигнуто благодаря строительству крупных тепловых электростанций, оснащенных турбоагрегатами мощностью 300—500 мвт. Мощность самого большого в мире турбогенератора (Рейненсвуд, США) достигает 100 мвт. Нормальная работа тепловых электростанций обеспечивается при условии достаточного охлаждения турбогенераторов. В настоящее время применяется в основном водное охлаждение по прямоточной, оборотной и смешанной прямоточно-оборотной схемам с использованием различного типа водоемов или градилен. Сброс циркуляционных нагретых вод в водоемы-охладители существенно изменяет тепловой баланс и термический режим этих водоемов по сравнению с естественными.

Введение в эксплуатацию новых энергетических мощностей, особенно энергоблоков, повлечет за собой значительное увеличение сброса горячей воды в озера, водохранилища и реки. В связи с этим возникает реальная опасность так называемого теплового загрязнения водоемов, при котором нарушается круговорот веществ в водоеме, вызванный нарушением теплового баланса либо в сторону уменьшения продуцирования органического вещества (в виде растительных и животных организмов), либо в сторону его перепроизводства.

Во многих странах мира проводятся исследования водоемов-охладителей, однако окончательно проблема «теплового загрязнения» нигде пока не решена. Как у нас, так и за рубежом имеется еще очень мало данных для того, чтобы судить, как влияет сброс горячей воды на флору и фауну водоемов, на технические, производственные и санитарные качества воды.

С целью охраны водоемов от технического и биологического загрязнения и в связи с проблемой комплексного народнохозяйственного их использования, особенно в районах дефицита вод-

ных ресурсов в СССР и других странах, установлены нормы допустимого нагрева воды в водоемах. В СССР в летнее время разрешается нагрев воды на  $3^{\circ}\text{C}$  выше максимальной естественной температуры, в зимнее время — на  $5^{\circ}$ , в Польской Народной Республике допускается нагрев воды до  $26^{\circ}\text{C}$ .

Во многих водоемах-охладителях в силу различных причин температура воды превышает установленную норму в два раза и больше. В результате, как показали проведенные исследования, наступают существенные сдвиги в химическом и биологическом режиме водоемов.

В сборнике представлены работы, выполненные в различных учреждениях Советского Союза: Институте гидробиологии АН УССР, Институте биологии внутренних вод АН СССР, Институте химии и технической технологии АН Литовской ССР, Киевском и Харьковском университетах, ЮЖОРГРЭС, АН Молдавской ССР. Они посвящены изучению влияния нагретых вод на отдельные звенья и на весь в целом гидробиологический и гидрохимический режим водоемов-охладителей, на их санитарное состояние, на эколого-физиологические особенности гидробионтов в этих условиях и направлены на поиски путей борьбы с перепроизводством органического вещества, которое может нарушать работу электростанций.

Существенная часть статей в сборнике посвящена материалам по исследованию водоемов — охладителей тепловых электростанций Украины, начатому в Институте гидробиологии АН УССР под руководством А. В. Топачевского и М. Ф. Поливанной в 1962 г. в связи с запросами проектных и эксплуатационных организаций по поводу возникающих при работе станций помех вследствие биологических и гидрохимических процессов, происходящих в водоемах, в частности процессов вторичного загрязнения. Проводившиеся эпизодически, как подраздел темы «Закономерности «цветения» воды», эти исследования с 1966 г. переросли в плановую тему, которая продолжает разрабатываться и в настоящее время под руководством М. Л. Пидгайко.

На Украине имеется много водоемов, используемых как охладители циркуляционных вод тепловых электростанций. Число водоемов-охладителей на Украине, по неполным данным, достигает 20, общей площадью до  $100\text{ км}^2$ . В качестве водоемов-охладителей используются преимущественно водохранилища на крупных и малых реках — Днепре, Западном Буге, Южном Буге, Десне, Северном Донце, Волчьей, Лугани и др. Кроме того, используются естественные и искусственные водоемы — реки, озера, пруды. Водоемы-охладители на Украине, кроме основного хозяйственного назначения в качестве источника охлаждающей воды для тепловых электростанций, используются для других хозяйственных нужд — бытового, а иногда



и питьевого водоснабжения, разведения рыбы, технического водоснабжения и сельскохозяйственного орошения. Сброс в водоемы-охладители нагретых циркуляционных вод электростанций повышает температуру воды в водоемах, что приводит к большим или меньшим изменениям химического и биологического режима.

Как показали проведенные исследования в водоемах южной зоны с высоким естественным уровнем трофии, при умеренном хроническом повышении температуры воды (т. е. в пределах установленной нормы нагрева) ускоряются круговорот веществ, минерализация, увеличивается биологическая производительность: численность бактерий, растений и животных, удлиняются сроки вегетационного периода, повышается жизнедеятельность животных и растений, наблюдается засорение водоемов вследствие перепроизводства растений и животных, что приводит к ухудшению санитарного и технического качества воды.

При значительном повышении температуры (до 30—33°С) в отдельных участках водоемов наблюдаются процессы, аналогичные заморным, которые вызывают гибель многих животных, в том числе и рыб, приводят к значительному дефициту кислорода на дне, появлению запаха сероводорода. В водоемах могут образовываться безжизненные сероводородные зоны. Хроническое перегревание водоемов свыше установленных норм приводит к угнетению в летний период многих массовых видов гидробионтов, в том числе животных, составляющих основу кормовой базы для рыб, и самих рыб.

Использование водоемов-охладителей для технического водоснабжения способствует попаданию в них определенного количества загрязняющих веществ. Таким образом, гидробионты подвергаются влиянию не только повышенной температуры, но и различных токсинов. В результате в таких водоемах очень плохо развивается жизнь. Такая ситуация характерна, в частности, для Сев. Донца в районе действия Ворошиловградской ГРЭС.

Часть статей в сборнике посвящена особенностям водоемов-охладителей в других республиках СССР — Литве, Молдавии, России, отличающихся от Украины по физико-географическим условиям. Он является первой попыткой подытожить и обобщить имеющиеся по затронутым вопросам материалы и этим в какой-то мере облегчить и целенаправить дальнейшие исследования по проблеме «теплового загрязнения» водоемов.

Сборник подготовлен на основании постановления координационного совещания по вопросам биологического, гидрохимического и санитарного изучения водохранилищ — охладителей тепловых электростанций, которое было созвано в Киеве 5—8 июня 1967 г. по решению Проблемного Совета АН СССР «Гидробиология, ихтиология и использование биологических ресурсов водоемов».

# ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОЕМОВ — ОХЛАДИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*А. В. ТОПАЧЕВСКИЙ, М. Л. ПИДГАЙКО*

Водоемы-охладители представляют собой водоемы особого типа. Отличительной чертой их является необычный термический режим, который накладывает отпечаток на жизнь водоема. Вода, используемая электростанцией для охлаждения конденсаторов, нагревается в теплообменной аппаратуре на  $8-10^{\circ}$  и в таком виде поступает в тот же водоем, на некотором расстоянии от места ее забора. Сбрасываемая в водоем циркуляционная вода дает дополнительное тепло, количество которого зависит от мощности электростанции и выражается десятками и сотнями миллионов килокалорий в год.

Дополнительное тепло, получаемое водоемом, более или менее равномерно распределяется по всей водной массе, нагревая ее. Таким образом, температура воды в водоеме, в отдельных его участках, а также средняя в какой-то мере отражает процесс поступления в водоем дополнительного тепла, однако прямо его не определяет. Нагревание воды выше естественной температуры, характерной для водоемов данной ландшафтно-географической зоны, зависит не только от количества поступившего тепла, но и от объема нагреваемой водной массы, морфометрии водоема и некоторых менее важных факторов, например погодных условий, определяющих сезонные и суточные колебания температуры воды.

Охлаждение водоема происходит в основном за счет теплообмена воды и воздуха и зависит, таким образом, от площади их соприкосновения, а также от интенсивности испарения с водной поверхности, поскольку процесс парообразования идет с большим поглощением тепла. Чем большую площадь занимает водоем-охладитель, тем лучше он восстанавливает свою естественную температуру воды и тем меньше его удельная тепловая нагрузка, вызванная работой электростанции.

Часть тепла, полученного водоемом от электростанции, уходит в атмосферу, часть его остается в водоеме и влияет на процессы круговорота веществ. Следовательно, количество получаемого водоемом дополнительного тепла и температура воды в нем — показатели, хотя и коррелирующие, но не одинаковые,

и влияние их на течение химических и биологических процессов также разное. Медленное, слабое, но постоянное накопление тепла может оказывать бóльшее влияние на процессы биологического продуцирования и минерализацию органического вещества, чем резкие, но кратковременные температурные сдвиги, приводящие подчас к биологическим катастрофам в жизни водоемов, примером которых могут служить заморные явления или гибель животных и растений от переохлаждения или перегрева. Однако оба эти аспекта теплового воздействия на гидрохимический и гидробиологический режим водоемов изучены еще недостаточно. По-видимому, именно по этой причине нормативы, принятые в СССР, предусматривают только одну сторону теплового воздействия, а именно: недопустимость превышения температуры воды в водоеме в зимнее время на  $5^{\circ}$ , а в летнее — на  $3^{\circ}$  выше естественной максимальной температуры. Этой нормой предусматривается предохранение животных от возможной гибели при более высоких температурах и, по-видимому, имеется в виду неблагоприятное влияние накопления тепла в течение года. Однако действие последнего фактора нуждается в расшифровке.

Нечеткость формулировки правовой нормы в отношении допустимых температур и количества тепла для водоемов разного трофического уровня, ландшафтно-географического положения и хозяйственного назначения приводит к тому, что при проектировании водоемов-охладителей возникает ряд вопросов о трактовке тепловой нормы в тех или иных случаях. Иногда для того, чтобы соблюсти норму, проектируются и сооружаются различные приспособления в виде струенаправляющих дамб, эжектирующих устройств, благодаря которым увеличивается кратность охлаждения и достигается снижение температурного градиента в водоеме до нормы, но без снижения общего количества сбрасываемого в водоем тепла. Поэтому проектные организации выдвигают вопрос: что ухудшает гидробиологический и гидрохимический режим водоема — температура или тепло? (Эйнгорн, 1968).

В связи с увеличением мощностей электростанций этот вопрос является весьма важным и требует быстрого решения. В общей форме его можно поставить так. Какое количество тепла, дополнительно поглощенное водоемом или выделенное им, может сдвинуть уровень биологической производительности водоема на другую ступень трофии, например, сколько дополнительного тепла нужно придать водоему, чтобы он из мезотрофного превратился в эвтрофный или наоборот, и может ли вообще этот фактор, взятый отдельно, изменить уровень трофии водоема?

Кроме этого основного вопроса для обоснованных рекомендаций по ограничению теплового сброса в водоемы необхо-

димо решить еще ряд важных вопросов. Немало трудностей таит в себе проблема комплексного использования водоемов вообще и водоемов-охладителей в частности. Сложным является вопрос совмещения и максимального удовлетворения требований, предъявляемых к водоему различными водопользователями и водопотребителями, которые подчас не только не согласуются между собой, но даже противоречат одно другому. Так, например, основным требованием технического водоснабжения является максимальное понижение биологической производительности водоемов, а рыборазведение, наоборот, предусматривает максимальное развитие организмов в водоеме в качестве кормовой базы. Повышение трофии выгодно для целей рыбного хозяйства, но оно противоречит интересам бытового и питьевого использования воды, поскольку при этом снижаются ее санитарные качества.

Установить нормы развития жизни, т. е. биологические нормы (и показатели) санитарного, технического и рыбохозяйственного качества воды, чтобы можно было эксплуатировать водоемы одновременно для технических, бытовых и рыбохозяйственных нужд,— одна из важных задач, стоящих перед гидробиологами и гидротехниками. Сложность решения проблемы комплексного использования водоемов-охладителей тепловых электростанций усугубляется особенностями термического режима этих водоемов. Неизвестным является направленность и интенсивность процессов самозагрязнения и самоочищения в тепловых водоемах под влиянием сброса горячих вод.

Есть данные, на основании которых можно предполагать, что «чистые» воды, с точки зрения гигиены, под влиянием высоких температур будут терять свои санитарные качества и самозагрязняться, а воды «полисапробные», темные, под действием сброса теплых вод будут осветляться и приобретать высокую биологическую активность.

Выяснение поставленных вопросов, установление закономерностей процессов биологического и технического загрязнения и самоочищения водоемов-охладителей, а отсюда как следствие установление норм возможного подогрева воды в различных водоемах является второй важной задачей, стоящей перед гидробиологами. Для этого необходимо изучить влияние повышенной температуры на экологию, физиологию и поведение массовых гидробионтов начиная от бактерий, простейших и водорослей и кончая рыбами.

Третьей задачей является определение продуктивности и рыбопродуктивности водоемов-охладителей, поиск и вселение в них наиболее эффективных, приспособленных к особенностям термического режима пород промысловых рыб и беспозвоночных. По данным Укрглаврыбхоза, на Украине на 12 000 га водной площади водоемов-охладителей можно выращивать 60—



70 тыс. и рыбы в год. В этом направлении в РСФСР и на Украине успешно работают сотрудники институтов рыбного хозяйства.

Кроме сугубо биологических задач, стоящих перед гидробиологами и гидрохимиками при решении проблемы комплексного использования водоемов-охладителей, возникают другие довольно сложные и важные задачи, которые сводятся к поиску мер борьбы с чрезмерным развитием жизни и повышением минерализации воды, создающими большие трудности при технической эксплуатации водоемов-охладителей. Известно, что благодаря испарению и нарушению водообмена минерализация воды в водоемах-охладителях повышается. Кроме того, во многих водоемах-охладителях с каждым годом увеличивается среднегодовая температура охлаждающей воды, способствующая испарению. Так, по данным В. И. Оббариуса (1968), среднегодовая температура охлаждающей воды прудов-охладителей Донбасса повысилась с 10—12 до 20° С. В результате повышенного содержания солей и интенсивного развития гидробионтов в водоемах на многих ГРЭС наблюдается снижение вакуума в трубках конденсаторов и пережог топлива на сотни тысяч рублей в год. Вследствие этого на некоторых тепловых электростанциях ведется поиск и разработка мер борьбы с образованием биологических и химических помех в водоснабжении. Применяются механические, физические и химические меры. Среди них есть менее вредные для водоемов, такие как применение резиновых шариков, циркулирующих в трубках конденсаторов, и такие, которые, возможно, могут иметь неблагоприятные последствия, например, электромагнитная или ультразвуковая обработка охлаждающей воды, применение гербицидов для борьбы с высшей и низшей растительностью (Шиманский, 1968). Применяются и биологические меры борьбы — мелиорация путем разведения растительноядных рыб (Веригин, 1963; Зубарева, 1967; Васильчикова, 1967).

На совещании в г. Змиеве (1967), организованном Министерством электрификации, отмечался ряд недостатков в проектировании тепловых электростанций. Одним из таких недостатков является недоучет в проектах тех химических и биологических изменений, которые наступают со временем в водоемах-охладителях в результате нарушения естественного режима, постепенного перегрева водоемов, повышения их среднегодовых температур. Решение гидрологами, гидрохимиками и биологами перечисленных задач позволит прогнозировать гидрохимический и биологический режим водоемов-охладителей, санитарные и технические качества воды и, используя в проектах соответствующие данные, повысить эффективность эксплуатации водоемов-охладителей в интересах рыбного хозяйства.

Васильчикова А. П. Заращение прудов-охладителей промышленного Урала и меры борьбы с ним.— В кн.: Вопросы водного хозяйства Урала. Тр. Северного н.-и. ин-та гидротехники и мелиорации, 22. Свердловск, 1967.

Веригин В. Проблема биологической мелиорации водоемов-охладителей тепловых электростанций и их рыбохозяйственного использования.— В кн.: Проблемы рыбохозяйственного использования растительных рыб в водоемах СССР. Ашхабад, 1963.

Зубарева Э. Л. Введение растительных рыб в водохранилища-охладители.— В кн.: Вопросы водного хозяйства Урала. Тр. Северного н.-и. ин-та гидротехники и мелиорации, 22. Свердловск, 1967.

Оббарус В. И. Проблемы и недостатки в проектировании систем водоснабжения конденсаторов электростанций.— В кн.: Состояние и перспективы развития систем технического водоснабжения на электростанциях Украинской ССР. К., 1968.

Эйнгорн Л. А. О работе Конаковской ГРЭС на Иваньковском водохранилище.— Гидробиол. журн., 3, 1968.

## СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВЛИЯНИЕМ СБРОСА ТЕПЛЫХ ВОД НА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМОВ

Е. Я. ГЕРМАНОВ

Общая выработка электроэнергии в СССР в 1967 г. составила 570 млрд. кВт-ч, в том числе на тепловых электростанциях выработано более 80%, или 436 млрд. кВт-ч. Производство электроэнергии в текущей пятилетке будет доведено до 800 млрд. кВт-ч при сохранении, примерно, указанного долевого участия тепловых электростанций в общей выработке электроэнергии.

Развитию теплоэнергетики будет способствовать строительство крупных тепловых электростанций мощностью 600, 1200, 2400 тыс. кВт-ч, а в районах дешевого топлива до 4000 тыс. кВт с установкой турбин мощностью 800 тыс. кВт с преимущественным применением турбин по 300 тыс. кВт.

С увеличением единичной мощности турбин со 100 тыс. до 800 тыс. кВт и с повышением параметров пара с 90/535 до 240/565 кВт удельный расход тепла на турбину уменьшается с 2190 ккал/кВт-ч до 1890 ккал/кВт-ч, или на 11,5%, а удельный расход тепла на конденсаторы турбин снижается приблизительно на 23%.

Снижение расхода тепла в конденсаторах турбин приводит к снижению удельного расхода охлаждающей воды. Если для



конденсатора турбины К-100-90 удельный расход охлаждающей воды составляет  $0,16 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{квт}$ , то для турбины К-800-240 он уменьшается до  $0,09 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{квт}$ . Следовательно, установка турбин мощностью 800 тыс. квт вместо турбин на 100 тыс. квт приводит к уменьшению расхода охлаждающей воды на 1 квт установленной мощности на 44%. Несмотря на снижение удельных расходов, суммарные расходы охлаждающей воды с увеличением мощностей электростанций резко возрастают. Например, для тепловых электростанций мощностью 400 тыс. квт с четырьмя турбинами по 100 тыс. квт расход охлаждающей воды составляет  $67\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , или  $18,7 \text{ м}^3/\text{сек}$ ; для электростанций мощностью 2400 тыс. квт с турбинами по 300 тыс. квт расход охлаждающей воды составляет  $302 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ , или  $84 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а для мощности 4000 тыс. квт с турбинами по 800 тыс. квт расход воды возрастает до  $380 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ , или  $105 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Для атомных электростанций, ввиду применения на данном этапе их развития турбин низкого давления, расходы охлаждающей воды значительно возрастают по сравнению с обычными тепловыми электростанциями. Например, для атомных электростанций мощностью 800 тыс. квт расход охлаждающей воды составляет  $200 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ , или  $55 \text{ м}^3/\text{сек}$ , т. е. в 1,8 раза больше, чем для тепловых электростанций, работающих на твердом или жидком топливе.

Тепловые и атомные электростанции являются крупными водопользователями, но сравнительно небольшими водопотребителями. Безвозвратное водопотребление электростанций на нужды водоснабжения составляет около 3% расхода охлаждающей воды. Экономичность работы конденсационных тепловых электростанций зависит от температуры и качества охлаждающей воды, от ее биологического и химического загрязнения. Температура охлаждающей воды и ее загрязненность влияют на начальное и конечное давление пара в конденсаторах турбин.

Изменение температуры охлаждающей воды, поступающей в конденсаторы турбин мощностью 100, 160, 200 и 300 тыс. квт, от  $12$  до  $30^\circ \text{C}$  приводит к снижению их мощности при постоянных расходах пара в пределах 3,7—4,5%.

Биологические и химические загрязнения конденсаторов приводят к увеличению температурного напора, зависящего от коэффициента теплопередачи трубок конденсаторов и, как следствие, к большим пережогам топлива, к ухудшению работы электростанции. Исключительно велико влияние загрязнения конденсаторов на коэффициент теплопередачи трубок, величина которого определяется по зависимости

$$K_1 = \frac{K_0 \lambda}{\lambda + \delta \cdot K_0} \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град},$$

где  $K_0$  — коэффициент теплопередачи чистых трубок,  $\text{ккал/м}^2 \times$

$\times \text{ч} \cdot \text{град}$ ,  $K_1$  — то же при загрязненных трубках,  $\delta$  — толщина отложений в трубках, мм,  $\lambda$  — теплопроводность отложений,  $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ .

Ниже приводится теплопроводность различного вида загрязнений.

Вид отложений	$\lambda$ , $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$
Отложения аморфного карбоната кальция	0,2—1,0
Отложения кристаллического карбоната кальция . . . . .	0,5—5,0
Смешанные отложения . . . . .	2,0
Окись железа . . . . .	1,0
Накипь гипсовая . . . . .	0,5—2,0
Органические загрязнения . . . . .	0,12

В подтверждение сказанного о большом влиянии загрязнения конденсаторов на экономику работы турбин в табл. 1 приведены расчетные значения коэффициентов теплопередачи  $K_1$  загрязненных трубок в зависимости от различной толщины отложений загрязнения  $\delta$  и их теплопроводности  $\lambda$  по сравнению с чистыми трубками при  $K_0 = 3500 \text{ ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ .

Таблица 1

Влияние загрязнения конденсаторов на работу турбин

Толщина отложений, мм	Коэффициент теплопроводности, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$		
	0,2	0,1	2,0
0	3500	3500	3500
0,1	1275	2260	2980
0,5	360	1795	1870
1,0	190	945	1272
2,0	98	486	780

Таблица 2

Величина температурного напора при различных значениях коэффициента теплопроводности и толщины отложений

Толщина отложений, мм	Коэффициент теплопроводности, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$		
	0,2	0,1	2,0
0,0	2,8	2,8	2,8
0,1	12,3	5,7	3,5
0,5	—	7,8	7,5
1,0	—	18,0	12,3
2,0	—	—	23,0

При загрязнении трубок конденсаторов турбин резко возрастает температурный напор. В качестве примера (табл. 2) приведены величины температурного напора, полученные расчетом для конденсатора площадью охлаждения  $15\,000 \text{ м}^2$ , поставляемого с турбиной К-300-240 мощностью 300 тыс. кВт. Расчет выполнен при расходе охлаждающей воды  $36\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , температурном перепаде в конденсаторе  $8,6^\circ \text{С}$  и различной толщине отложений, теплопроводности загрязняющих отложений в трубках.

Полученные расчетным путем значения влияния загрязнений трубок конденсаторов на температурный напор подтверждается и данными эксплуатации. Так, в конденсаторах турбин Старо-

бешевской ГРЭС в среднем по 8 агрегатам при общей мощности 1300 тыс. кВт в 1964 г. получены следующие данные. В апреле норма температурного напора составляла  $6^{\circ}\text{C}$ , фактическая — 15,1, максимальная —  $23,2^{\circ}\text{C}$ . В среднем за год повышение температурного напора составляло  $6,2^{\circ}\text{C}$ , что повлекло за собой пережог топлива на 190 тыс. т в год. На Змиевской ГРЭС ввиду загрязнения конденсаторов повышение температурного напора против нормы составляло  $6,1^{\circ}\text{C}$ , что соответствовало снижению вакуума в конденсаторах на 2%, а это вызвало пережог топлива на 192 тыс. т в год. На отдельных крупных электростанциях стоимость пережога в результате загрязнения конденсаторов и других теплообменников тепловых турбин составляет 1,4—1,5 млн. руб. в год.

Все виды загрязнений приводят к уменьшению проходных сечений трубок конденсаторов, повышению коэффициента их шероховатости, увеличению скоростей, в результате чего гидравлическое сопротивление конденсаторов резко возрастает. Это, в свою очередь, приводит к снижению расхода охлаждающей воды и повышению напора циркуляционных насосов.

Подогрев воды в водоемах, служащих источниками технического водоснабжения тепловых электростанций, резко сказывается на увеличении гидрохимических и гидробиологических загрязнений конденсаторов и других теплообменников.

### **СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

В настоящее время в зависимости от водных ресурсов источников водоснабжения и водопользования электростанций применяются следующие основные системы технического водоснабжения.

Прямоточная система водоснабжения — наиболее простая в эксплуатации и строительстве. Вода для охлаждения конденсаторов паровых турбин и других теплообменников забирается из водоема; отработанная вода (теплая) сбрасывается обратно в водоем на расстоянии, исключающем поступление теплой воды к водозаборным сооружениям. Прямоточная система возможна при наличии мощного источника водоснабжения — многоводной реки, моря или большого озера.

Водоснабжение на смешанной воде применяется в тех случаях, когда расходы реки могут обеспечить прямоточное водоснабжение электростанции в многоводные периоды года, а в маловодные — расходы реки недостаточны для прямоточного водоснабжения и поэтому применяется водоснабжение на смешанной воде. В маловодные периоды часть теплой отработанной воды подмешивается к речной воде. Для подмешивания теплой воды

к речной сброс отработанной воды следует делать ниже по течению водозабора из расчета, что неиспользуемая отработанная вода уйдет вниз по течению.

Оборотная система водоснабжения с водохранилищами-охладителями применяется в тех случаях, когда в районе выбранной для строительства теплоэлектростанции площадки нет реки или водоема, могущего обеспечить электростанцию водой по прямоточной системе. В том случае, если бытовые меженные расходы реки не могут обеспечить электростанцию добавочной водой, применяется система водоснабжения с водохранилищем-охладителем. Такое водохранилище выполняет две функции — как охладитель оборотной воды и как водоем для регулирования стока реки. Водохранилища-охладители сооружаются как на реках с сооружением плотин, например водохранилища Кураховской, Мироновской, Черепетской и др. ГРЭС, так и наливные, сооружаемые в стороне от реки путем обвалования ровной площади, как водохранилище Криворожской ГРЭС, с подачей в него воды из соседней реки.

Забор охлаждающей воды из водохранилища, как правило, производится у площадки электростанции, а сброс отработанной теплой воды расположен в удаленном от водозабора месте. На пути течения от сброса к водозабору вода охлаждается за счет испарения и конвекции. Температура воды в водохранилище понижается на величину температурного перепада в конденсаторе. Для лучшего охлаждения отработанная вода должна выпускаться на поверхность водохранилища с малой скоростью без значительного перемешивания с нижележащими слоями воды. Температура воды в водохранилищах изменяется в зависимости от площади и глубины. Наиболее высокая температура отмечена у сброса на поверхности водохранилища, а наиболее низкая — в наиболее глубокой его части, удаленной от места сброса. Поэтому забор воды из водохранилища-охладителя, как правило, производится из более глубоких слоев. Для более полного использования площади водохранилища-охладителя сооружаются струераспределительные и струенаправляющие сооружения.

Неприятными обстоятельствами эксплуатации систем водоснабжения с водохранилищами-охладителями являются «цветение» воды в летние месяцы и зарастание мелководных участков водной растительностью, которое сокращает площадь активной зоны водохранилища, ухудшая его работу.

Подогрев воды в водохранилищах-охладителях в отличие от естественных водоемов способствует более бурному развитию в них биологических процессов, отрицательно влияющих на качество воды, но в то же время такой подогрев в допустимых пределах способствует быстрому росту рыб в водохранилищах-охладителях.



Оборотные системы водоснабжения с градирнями применяются преимущественно на тепловых электростанциях, размещение которых привязано к потребителям тепловой энергии или к месту добычи топлива. Нередко такие системы используются в конденсационных электростанциях при полной оборотной системе, а также при расширении электростанций для параллельной работы с прямоточной и оборотной системами водоснабжения. При водоснабжении с градирнями биологические и химические загрязнения обычно более интенсивны.

## СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Наиболее экономичной по капитальным затратам и эксплуатационным расходам является прямоточная система водоснабжения. При этом загрязнение конденсаторов биологическими и химическими отложениями обычно наименьшее. Для условий средней полосы СССР среднегодовая температура охлаждающей воды составляет 10—12° С.

Второе место по условиям экономичности и простоты эксплуатации занимает водоснабжение на смешанной воде.

Оборотное водоснабжение с водохранилищами-охладителями имеет свои положительные и отрицательные стороны. К положительным относятся простая и надежная эксплуатация с малым напором циркуляционных насосов — 10—12 м. Расчетная среднегодовая температура охлаждающей воды составляет 15—17° С. Водохранилище может быть использовано для рыбного хозяйства и культурно-спортивных мероприятий. Недостатками этой системы являются большие площади затопливаемых земель и более высокие капитальные затраты на строительство. Гидробиологические и гидрохимические отложения в конденсаторах турбин в летнее время года происходят более интенсивно, чем при прямоточном водоснабжении.

Оборотная система водоснабжения с градирнями менее экономична по сравнению с тремя рассмотренными выше системами. Температура охлажденной воды градирнями более высокая. Среднегодовая расчетная температура охлаждающей воды для средней полосы СССР составляет 22—24° С. Капитальные затраты сравнительно не намного ниже, чем в системах с водохранилищами-охладителями. Более высокий напор циркуляционных насосов — 17—20 м вод. ст. Гидробиологические и химические отложения в конденсаторах и системах водоводов происходят более интенсивно, чем в других системах. Достоинством этой системы является небольшая площадь, занимаемая водоохлаждающими устройствами. Площадка тепловой электростанции может быть расположена у места добычи топлива или у потребителей тепла (ТЭЦ).

Выбор системы технического водоснабжения производится, как правило, при выборе площадки для строительства электростанций с учетом местных условий и качественных показателей систем водоснабжения. Вода в конденсаторах тепловых электростанций подогревается летом на  $8-10^{\circ}\text{C}$ , а зимой при уменьшенной кратности охлаждения на  $11-14^{\circ}\text{C}$ . Предельная температура, при которой турбины могут работать на полную мощность с некоторыми перерасходами пара, составляет  $33^{\circ}\text{C}$ .

### **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ И УДАЛЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН**

В последние годы в связи со значительным повышением температуры охлаждающей воды, вызванным увеличением мощности почти всех действующих тепловых электростанций, возросла и интенсивность гидробиологических и гидрохимических загрязнений конденсаторов турбин.

Проектные, научно-исследовательские организации, а также ряд отдельных электростанций ведут поиски наиболее эффективных мер как по удалению из конденсаторов загрязнений, так и по предотвращению их отложения. Основными работами в этой области являются: а) обработка воды фосфатированием с умягчением ее до  $4\text{ Н}^{\circ}$ ; б) обработка воды магнитным полем; в) обработка воды ультразвуком; г) подкисление воды серной или соляной кислотой; д) хлорирование воды; е) циркуляция в конденсаторах шариков, удаляющих биологические отложения.

Для удаления отложившихся загрязнений применяют: а) кислотную промывку конденсаторов с последующим удалением отложений механическим способом; б) подсушку паром или подогретым сжатым воздухом биологических и илистых отложений; в) теплосмену (прогрев конденсатора с последующим заполнением холодной водой, но с установкой компенсаторов).

Против зарастания водохранилищ-охладителей водной растительностью используется зарыбление их травоядными рыбами (белый амур, толстолобик, тиляпия и др.). К сожалению, выявление наиболее эффективных мероприятий по улучшению работы систем водоснабжения тепловых электростанций проводится разобщенно. Нет единой организации, координирующей и обобщающей указанные работы.

### **ПРАВИЛА ОХРАНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ**

В настоящее время в проектах водоснабжения учитываются требования, изложенные в «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами». Эти требования учитываются также при проектировании водохранилищ-охладителей.



Требования в «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами» при проектировании водоснабжения тепловых электростанций сводятся в основном к тому, чтобы летом температура воды в результате спуска теплых вод не повышалась более чем на  $3^{\circ}\text{C}$  по сравнению с максимальной температурой воды водоема в летнее время, а зимой не более чем на  $5^{\circ}\text{C}$ .

Указанные жесткие требования «Правил» в ряде случаев исключают возможность использования крупных рек и других водоемов для организации на них наиболее экономичных систем водоснабжения тепловых электростанций, заставляют сооружать дорогостоящие, редко используемые охладители, работающие на отводящих каналах.

Проведенные ГОСНИОРХ по заданию института «Теплоэлектропроект» исследования показали, что в водоемах, используемых для рыбохозяйственных целей, повышение температуры воды может допускаться значительно выше предусмотренного «Правилами». Исследованиями Белорусского научно-исследовательского санитарно-гигиенического института также не подтверждено указанное в «Правилах» допустимое повышение температуры воды в реках в районе сброса нагретых вод электростанциями только до  $3^{\circ}\text{C}$ . Поэтому установленные величины допустимого повышения температуры воды нельзя считать научно обоснованными. Целесообразно при дальнейших научных исследованиях обращать внимание также на благоприятное влияние повышения температуры воды в водоемах, а также на увеличение срока нагула рыбы, отсутствие ледостава, улучшение кислородного режима.

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ ДЛЯ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Помимо энергетических целей водохранилища-охладители могут быть широко использованы для рыбного хозяйства страны.

Известно, что условия для развития рыб в водохранилищах-охладителях являются весьма благоприятными. В результате подогрева воды в них активизируется жизнедеятельность рыб, удлиняется продолжительность их нагула и развития. Наличие большого количества кормовых организмов способствует их быстрому росту. В зимнее время значительная часть таких водохранилищ свободна от льда, что улучшает кислородный режим и исключает замор рыб.

В настоящее время площадь зеркала водохранилищ-охладителей действующих электростанций составляет около  $270 \text{ км}^2$ . Площадь водохранилища-охладителя для электростанции мощностью 2400 тыс. кВт составляет около  $15 \text{ км}^2$ .

По имеющимся данным с 1 га водной поверхности рыбохо-

зайственных прудов многие хозяйства получают до 15—20 ц рыбы. Отсюда вытекает рентабельность и большая значимость водохранилищ-охладителей для повышения рыбных запасов страны. Роль в производстве рыбы будет тем больше, чем полнее будут учитываться интересы рыбного хозяйства при их проектировании, строительстве и эксплуатации. Институт «Теплоэлектропроект» в тесном содружестве с институтом «Гидропроект» приступил к разработке вопросов, связанных с использованием теплых вод электростанций для выращивания рыб.

### **РЫБОЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Вместе с охлаждающей водой в водозаборные сооружения поступает весьма большое количество рыбы, особенно ее молодь. Применяемые в настоящее время рыбозаградительные сооружения (электрорыбозаградители разных конструкций и типов, сетчатые заградители) не дают должного эффекта. Нет пока конкретных данных для проектирования надежных рыбозащитных мероприятий, в частности не подготовлена для этих целей кадастровая схема.

По нашему мнению, наиболее подходящими рыбозащитными сооружениями являются широко применяемые в данное время на тепловых электростанциях глубинные водозаборы. Основное значение глубинных водозаборов — забирать с глубины более холодную и более чистую воду. Применение этих водозаборов дает возможность избежать попадания в насосы большого количества рыбы, которая обитает обычно в верхних слоях воды и прибрежных хорошо прогреваемых зонах водоема.

В настоящее время в институте «Теплоэлектропроект» поставлен вопрос о применении на водозаборах тепловых электростанций других рыбозащитных сооружений, в частности воздушных рыбозаградителей, звуковых и световых отпугивающих устройств и др.

### **ПОЖЕЛАНИЯ В ОБЛАСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Просить Министерство энергетики и электрификации СССР поручить определенной научно-исследовательской организации координацию научно-исследовательских работ в области водоснабжения тепловых электростанций.

На основе обобщения разных способов борьбы с загрязнением конденсаторов турбин тепловых электростанций выявить наиболее эффективные для различных гидрохимических и гид-

робиологических условий и разных систем водоснабжения электростанций.

Разработать методологию прогнозирования гидрохимического и гидробиологического загрязнения водоемов-охладителей и градирен.

Уточнить «Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Установить закономерности гидрохимического и гидробиологического режимов водохранилищ-охладителей в разных климатических районах СССР.

Разработать новые методы борьбы с зарастанием водохранилищ-охладителей высшей и чрезмерным развитием низшей водной растительности, с обрастанием гидротехнических сооружений пресноводными и морскими моллюсками.

Уточнить влияние сброса теплых вод тепловых электростанций на рыбу, населяющую водоемы, которые используются в качестве охладителей.

Разработать и исследовать новые типы рыбозаградителей.

## ЛИТЕРАТУРА

Денисов П. А. Рыбозащитные устройства на водозаборных сооружениях тепловых электростанций.— В кн.: Труды координационных совещаний по гидротехнике, 24, 1965.

Привольнев Т. И. Влияние сбросных вод тепловых электростанций на организм и поведение рыб.— В кн.: Труды координационных совещаний по гидротехнике, 24, 1965.

## МАТЕРИАЛЫ К СРАВНИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ВОДОЕМОВ — ОХЛАДИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ УКРАИНЫ

*М. Л. ПИДГАЙКО*

На Украине значительная доля речного стока является зарегулированной, благодаря чему образовались непроточные и слабопроточные искусственные водоемы — пруды, озера и водохранилища. Некоторые из них используются в качестве водоемов — охладителей тепловых электростанций. Кроме того, для этой цели могут служить и реки. Общее количество водной площади, используемой для охлаждения теплообменной аппаратуры тепловых электростанций, в пределах УССР достигает около 100 км<sup>2</sup>.

Техническое водоснабжение производится по прямоточной, оборотной или смешанной прямоточно-оборотной схеме. По

данным за 1965 г., на Украине из 24 тепловых электростанций 15 работают на основе прямоточной схемы водоснабжения из водохранилищ и рек, в том числе самые крупные — Приднэпровская, Киевская, Днепродзержинская и другие, мощность которых достигает 1200—1400 мвт.

Прямоточная система охлаждения за счет забора и сброса циркуляционной воды прямо в крупные водохранилища или реку является наиболее выгодной с экономической стороны, поскольку требует минимальных расходов на соответствующие гидротехнические сооружения. Эта же система водоохлаждения наиболее распространена в США: из 74 строящихся ТЭС на прямоточной системе водоснабжения будут основаны 40 станций, что составляет 54% общего числа и 51% общей мощности, 18 станций будут работать на оборотной системе с градирнями и только 13 — на оборотной системе с водохранилищами и озерами. В настоящее время в США только 17% воды, потребляемой ТЭС для охлаждения, используется по оборотной системе\*. На Украине проектирование и сооружение прямоточных систем водоснабжения ТЭС из некоторых рек было запрещено в 1963 г., чтобы избежать «теплового загрязнения» рек, особенно участков, используемых для питьевого водоснабжения, так как повышение температуры воды усугубляет отрицательное действие загрязняющих веществ на водные организмы и качество воды.

Крупные тепловые электростанции, требующие большого количества воды для охлаждения турбоагрегатов, размещаются вблизи крупных водотоков или озер с достаточным запасом воды, таких как днепровские водохранилища, реки Южный и Западный Буг, оз. Лиман и др. Маломощные ТЭС, не требующие большого расхода воды, сооружаются на водохранилищах малых рек или прудах. Большая часть территории Украины входит в зону недостаточного увлажнения и испытывает дефицит воды. В то же время на Украине имеются необходимые для работы ТЭС запасы топлива, что делает эксплуатацию ТЭС экономически выгодной. Вследствие этого на Украине сооружается много тепловых электростанций большой мощности, и водоемы-охладители несут высокую тепловую нагрузку. В ряде таких водоемов наблюдается перегрев воды выше установленной нормы. В этих случаях среднегодовая температура превышает естественную температуру на 4—5 и даже 10°С. Нагревание воды до определенной температуры зависит от ряда факторов, в том числе от расхода циркуляционной воды, объема водной массы и площади водоема-охладителя, естественной температуры воды, погодных условий, движения водной массы, активной площади охлаждения и др. В связи с разной климатической обстановкой и разной

---

\* Энергетика и энергетическое строительство США, под ред. П. С. Непорожного. М.—Л., 1966.



исходной температурой воды географический фактор является важным условием формирования режима водоема-охладителя (табл. 1) \*.

Водоемы-охладители хорошо исследованы в морфометрическом и гидрологическом отношении, так как эти характеристики бывают необходимы при проектировании гидротехнических сооружений и налаживании системы охлаждения. Регулярные метеорологические и гидрометрические наблюдения проводятся обычно лишь на отдельных ГРЭС, особенно если предполагается дальнейшее увеличение их мощности. Два раза в день определяются температура охлаждающей воды и уровень воды в водоеме, поскольку от этих факторов в большой степени зависит охлаждение конденсаторов, нормальная работа турбин.

По водообмену водоемы-охладители можно сгруппировать в две категории — более или менее проточные и бессточные. Наиболее распространены водоемы-охладители проточного типа. Они различно устроены, но в принципе все основаны на зарегулировании водотока или представляют специально вырытые проточные пруды. К ним относится большинство изученных нами водоемов—охладителей Зуевской, Кураховской, Старобешевской, Ворошиловградской ГРЭС (пруд-охладитель).

Наименее распространенной категорией водоемов-охладителей является бессточный водоем озерного типа, вероятно, в силу того, что на Украине мало естественных водоемов такого типа. Из этой категории исследовались оз. Лиман Змиевской ГРЭС и искусственный водоем-охладитель Криворожской ГРЭС, сооруженный путем заполнения водой низменного одамбированного участка территории. Кроме того, проводились наблюдения на Северном Донце в районе Ворошиловградской ГРЭС и Десне в районе действия Черниговской ТЭЦ.

Общей чертой водоемов — охладителей оборотной системы водоснабжения является то, что они нуждаются в более или менее регулярном пополнении водой за счет какого-либо другого водоисточника. Уровень их понижается в результате убыли воды на производственно-хозяйственные нужды — безвозвратные потери на охлаждение и другие процессы, связанные с работой станции, на сельскохозяйственное орошение, на техническое, питьевое и бытовое водоснабжение, на испарение и санитарные попуски воды в нижний бьеф.

Потери на испарение в водоемах-охладителях по сравнению с естественными водоемами дополнительно увеличиваются за счет нагрева: в Кураховском водохранилище, например, на  $0,13 \cdot 10^6$  —  $0,25 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> в год, в Криворожском в 1966 г. — на 268 мм (общая — 968 мм, естественная — 700 мм), в 1967 г. за 7 месяцев (V—XI) на 269 мм (общая — 1019 мм, естествен-

---

\* При составлении табл. 1 использованы материалы «Справочника по водным ресурсам СССР» (1954).

Т а б л и ц а 1  
Элементы физико-географической характеристики районов расположения некоторых водоемов — охладителей тепловых электростанций \*

Район расположения ГРЭС	ГРЭС	Длительность вегетационного периода, сутки **	Температура воздуха, °С		Температура воды, °С		Количество осадков, мм	Наибольшая толщина льда, см
			Июль	Январь	средняя за год	наибольшая		
Западное Полесье, р. Зап. Буг, г. Каменка Бугская	Добротворская	272	18,7	—4,0	11,8	26	700	65
Западная Лесостепь, р. Днестр, г. Галия	Бурштынская	267	18,4	—5,9	8,9	25	628	52
Восточная Лесостепь, р. Сев. Донец, г. Змиев	Змиевская	250	20,6	—7,7	10,2	25,8	500	78
Северная (разнотравная) Степь, Донбасс, реки Крынка, Волчья, Сев. Донец, Миус, Кальмиус, Лугань	Зуевская, Кураховская, Ворошиловградская, Старобешевская, Мируновская, Штеровская	240—269	22,2	—7,0	10,3—10,8	25,7—26,0	450	45
Южная (сухая) Степь, р. Кривой Еланец	Криворожская	- 290	20,9	—5,8	10,8	27,7	400	42

\* Показатели, приближенные для микрорайонов расположения тепловых электростанций. Справочник по водным ресурсам СССР т. VIII, 1954  
\*\* Периоды, свободные от льда.



ная — 750 мм). К концу года уровень многих водоемов-охладителей понижается на 1—2 м против отметки НПУ. Например, в Бурштынском водохранилище сумма убыли составляет 101,6 млн. м<sup>3</sup> в год, в оз. Лиман за год уровень понижается на 1,0—1,5 м (12—19 млн. м<sup>3</sup>), в Мироновском водохранилище — на 1,2—2 м (5—10 млн. м<sup>3</sup>), в Кураховском — на 1,5 м (12,5 млн. м<sup>3</sup>). Объем пуска воды изменяется по месяцам, но в среднем за год он равняется годовой убыли воды. Таким образом, поддерживается в равновесии годовой водный баланс водоемов-охладителей. В качестве примера приводим данные (в млн. м<sup>3</sup>) по водному балансу Бурштынской ГРЭС (1967 г.).

Объем воды при НПУ . . . . .	49,9
Потери на фильтрацию . . . . .	16,0
Потери на испарение . . . . .	3,38
Производственно-хозяйственное потребление воды . . . . .	53,47
Безвозвратные потери ТЭС . . . . .	28,71
Сумма убыли . . . . .	101,56
Приток воды при 50% обеспеченности	101,56

Ряд водохранилищ-охладителей, кроме своего непосредственного назначения, выполняет функцию многолетнего регулирования стока рек, например Старобешевское водохранилище регулирует сток р. Кальмиус. В зависимости от регулярности пополнения водохранилища водой из водосточника и сброса воды в нижний бьеф в водоемах-охладителях устанавливается определенная проточность и внутренний водообмен. Большое значение при этом играет направленное распределение в водоеме циркуляционных вод путем устройства струенаправляющих и распределительных дамб. Проточность бывает постоянная (Старобешевское водохранилище) или временная, во время паводков, ливней, продувки \* (оз. Лиман, Штеровские пруды-охладители и др.).

Степень проточности и внутренний водообмен водоемов-охладителей, как и в естественных водоемах, могут оказывать существенное влияние на формирование растительных и животных биоценозов. В реках доминируют представители речных биоценозов, развивающихся в сезонном аспекте, характерном для текущих водоемов.

В слабопроточных водоемах типа водохранилищ экологические комплексы населения обычно бывают переходного типа — от речного к озерному или от речного к озерно-прудовому в зависимости от степени проточности с перевесом в ту или другую сторону.

В непроточных водоемах развиваются озерные или озерно-прудовые биоценозы в зависимости от величины и глубины во-

---

\* Попуск воды из водосточника.

доема. В водоемах-охладителях в связи с особенностями термического режима значение фактора проточности возрастает, поскольку повышенная температура по-разному воздействует на разные группы организмов. Кроме того, большая проточность способствует постоянному поступлению в водоем нового запаса организмов, не подвергавшихся влиянию теплых вод и термической обработке в конденсаторах и тем самым как бы постоянному обновлению населения водоема. Меньшая проточность способствует изоляции водоема, созданию в нем специфических условий обитания и постоянному воздействию высокой температуры на один и тот же контингент организмов.

Внутренний водообмен и кратность оборота имеют большое значение для флоры и фауны водоемов-охладителей. Площадь и глубина распространения теплой воды в водоеме определяет масштабы влияния ее на население водоема-охладителя, на процессы продуцирования органического вещества, на процессы самоочищения и вторичного загрязнения. Активный внешний водообмен благоприятно отражается на гидрохимическом режиме водоемов-охладителей: уменьшает общую минерализацию, жесткость и усиливает аэрацию воды, тем самым способствуя улучшению ее технических качеств. Исключением являются случаи, когда в водоем-охладитель из водоисточника поступают сильно загрязненные воды. Так, в Старобешевское водохранилище с водой из р. Кальмиус поступают не всегда достаточно очищенные промышленно-бытовые стоки из Донецка, а в Добротворское водохранилище из Львова, в результате чего ухудшается санитарное состояние этих водоемов.

В водотоках процесс внешнего и внутреннего водообмена осуществляется наиболее полно, и процесс обновления местной флоры и фауны за счет приносимых из вышерасположенных участков происходит достаточно хорошо. Тем не менее на примере двух рек-охладителей — Десны и Сев. Донца — можно показать, что влияние сброса горячей воды на флору и фауну имеет место и здесь. Оно меньше в том случае, когда река полноводная и чистая, а сброс горячей воды невелик, например в Десне в районе Черниговской ТЭЦ. По нашим данным, температура воды в участке сброса теплообменных вод почти не отличается от естественной, а среднегодовая температура, по данным В. П. Шанина (1968), колебалась за четыре года (1963—1966) от 9,8 до 10,6° С, т. е. соответствовала норме естественной среднегодовой температуры воды для этой зоны.

Флора и фауна этого участка Десны также существенно не отличались от флоры и фауны других участков (Черноусова, 1964; Поливанная, 1964; Полищук, 1964).

В отличие от Десны в Сев. Донце в районе Ворошиловградской ГРЭС наблюдается значительный, растянутый на сотню километров температурный градиент, связанный с поступле-

нием горячей воды, и значительное загрязнение реки промышленными стоками. Несмотря на хороший водообмен, в отепленном участке реки отмечается слабое количественное развитие планктонных и донных организмов, хотя биоэкологическая обеспеченность реки высокая.

Особенностью внутреннего водообмена водоемов-охладителей является прохождение воды через конденсаторы. Например, в оз. Лиман полный оборот воды озера происходит через шесть суток. По-видимому, этот фактор имеет определенное значение для жизнедеятельности гидробионтов, но роль его в количественных показателях еще не установлена.

Как видно из данных табл. 2, все рассматриваемые водоемы относительно невелики. Наибольшими являются водоемы-охладители Криворожской, Змиевской и Бурштынской ГРЭС, достигающие 12—15 км<sup>2</sup>, емкостью 50—70 млн. м<sup>3</sup>. По своему размеру они аналогичны средним озерам СССР. Площадь остальных колеблется от 1 до 10 км<sup>2</sup>, объем — от 3 до 44 млн. м<sup>3</sup>, они соответствуют группе «небольших озер» (Иванов, 1948).

По лимнологическому показателю (максимальная глубина выражена в долях глубины эпилимниона, Захаренков, 1964) они соответствуют III и IV группам озер, т. е. «среднеглубоким» и «мелким», в естественных условиях характеризующихся мезотрофией и эвтрофией. Небольшие средние глубины (2—5 м) создают благоприятные условия для перемешивания водных масс и равномерного распределения тепла, газов, биогенных элементов и планктона.

Большинство водоемов-охладителей имеет вытянутую извилистую форму, повторяющую форму русла зарегулированного участка реки. Некоторые водоемы, главным образом озерного и прудового типа естественного и искусственного происхождения, имеют форму округлую или грушевидно-вытянутую (оз. Лиман, пруды — охладители Ворошиловградской ГРЭС и др.). Наибольшая глубина их находится обычно в центре или в приплотинной части водоемов. Площадь литоральной зоны весьма различна у разных водоемов, с чем связаны степень зарастания и развитие микрофитобентоса, обрастаний и литоральной фауны. К водоемам с хорошо развитой литоральной зоной относятся Зуевское, Старобешевское и Мироновское водохранилища. Менее развита литораль в Кураховском водохранилище, ложе которого имеет каньонообразную форму. Почти совсем не имеют литорали искусственные одамбированные водоемы и копаные пруды. Заращение водоемов-охладителей незначительное, не превышает 10—15% площади.

Степень развития в водоемах-охладителях высшей водной растительности имеет важное значение для обеспечения нормальной работы водоснабжающих и теплообменных установок ТЭС. При сильном развитии макрофитов в водоеме ухудшается

Морфологическая характеристика водоемов — охладителей тепловых электростанций

Водоем-охладитель	Год сооружения	Мощность, установленная за счет охлаждения водоемов-охладителей, тыс. кВт	Основной источник водоснабжения водоема-охладителя	Площадь водосбора, км²	
				общая	собственная
Добротворское водохранилище	1965—1966	1200	р. Западный Буг	2600	
Бурштынское водохранилище			р. Гнилая Липа		
Лиман Змиевской ГРЭС	1960—1961	1500	Канал из р. Сев. Донец		
Зуевское водохранилище	1931	250	р. Крынка		
Кураховское водохранилище (Терновский отсек)	1940	400	р. Волчья	1086	636
Пруд — охладитель Ворошиловградской ГРЭС	1963		р. Сев. Донец	6974	536
Штеровское водохранилище	1926—1932	138	р. Миус		
Старобешевское водохранилище	1958	1900	р. Кальмиус с притоками Берестовой и Грузской	1246	1106
Мироновское водохранилище	1956	500	р. Лугань		
Водоем — охладитель Криворожской ГРЭС	1966		Канал Днепр — Кривой Рог		

циркуляция воды, сокращается активная площадь охлаждения, в результате цветения и отмирания растительности происходит засорение насосов и заградительных решеток плодами и остатками растений. Все это наносит большой ущерб электростанциям. Вопрос о мерах борьбы с развитием высшей водной растительности в водоемах-охладителях неоднократно рассматривался в гидробиологической литературе (Шиманский, 1964, 1965).

Предпринимаемые электростанциями меры для борьбы с высшей и низшей водной растительностью, как выкашивание, уничтожение химикатами, разведение растительноядных рыб, заметно снижают развитие высшей водной растительности в этих водоемах. Важное значение для круговорота веществ и развития донных биоценозов в водоемах имеет качество грунтов и интенсивность илообразования. Процесс заиления водоемов-охладителей идет в разных случаях с различной скоростью, что зависит в первую очередь от разрушения берегов и стока взвешенных частиц из бассейна. В условиях Донбасса заиление водо-



Т а б л и ц а 2

Отметка нормально- го уровня, м	Объем при НПУ, млн. м <sup>3</sup>	Длина, км	Ширина, км		Средняя глубина, м	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>		Примечание
			средняя	наибольшая		при НПУ	при УМО	
	11,0	10			1,5—2	6,95		
229	49,9				3,9	12,6		
91,0	53,1	5	3,0		4,25	12,5		
96,0	6,68				2,5	1,9		
114,5	42,8	5		2	4,0	8,25	7,35	Объем при НПУ по проектным данным 1947 г.— 5,13 млн. м <sup>3</sup>
	10,6				3,0	2,35		
90,1	3,0	3			3,5—2,5	1,0		
92,0	44,01	15,0	0,8	1,3	4,9	9,0	4,86	Скорость течения цир- куляционной воды 1,5—2 м/сек
142	21,5	8,5	0,5	0,7	4,6	4,5		
89,0	70,4				4,6	15,2		

хранилищ происходит, как правило, очень интенсивно вследствие эрозии почвы на водосборной площади (табл. 3). Процесс илообразования изучался в разных водоемах мало, имеющиеся сведения плохо сопоставимы, но тем не менее можно сделать кое-какие выводы.

Из приведенных в табл. 4 данных по водоемам-охладителям и водоемам с естественным режимом видно, что среднегодовой объем заиления колеблется от 0,21 тыс. до 140 тыс. м<sup>3</sup>, причем эти величины мало коррелируются с величиной среднегодового притока воды. В основном они зависят от мутности воды водисточника и местного стока. Так, в Зуевском водохранилище в 1 л воды содержится 50 мг взвеси, в р. Волчьей вблизи створа Терновской плотины — 250 мг/л, в воде подводящего канала Криворожского водохранилища — 5—14 мг/л. Особенно загрязнены иловыми наносами водохранилища Штеровской, Зуевской и Старобешевской ГРЭС. Проведенные в отделениях ТЭП исследования показали, что значительное заиление водоемов-охладителей является результатом в основном четырех причин: отло-

## Показатели заиления некоторых малых водохранилищ Украины

Показатели заиления	Карлов- ское	Семян- ское	Ханжин- ковское	Ольхов- ское	Вороши- ловград- ское	Зуевское *	Курахов- ское *	Штеров- ское *	Старобе- шевское	Криворож- ский во- доем-ох- ладитель*
Среднегодовой объем заиления, тыс. м <sup>3</sup>	141,0	5,7	135,0	98,2	30,3	100,7	6,9	100,0	33,5	0,21
Среднегодовое заиле- ние на единицу емкос- ти, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,0056	0,0038	0,0070	0,0040	0,0030	0,0151	0,0002	0,030 **	0,0007	0,0000

\*Водоемы — охладители ТЭС.

\*\* При условии ежегодной откачки около 300 тыс. м<sup>3</sup> ила.

жения взвешенных наносов, приносимых рекой (для Зуевской ГРЭС они оцениваются 30% общего объема заиления), твердого стока с собственной площади водосбора (оцениваемого 30%), размыва берегов (40% общего объема заиления). Для Штеровской ГРЭС важным источником загрязнения является попадание угольного шлама из обоганительных фабрик, шахт, расположенных на притоках р. Миус. В 1965 г. содержание его в воде колебалось от 44 до 7236 мг/л, в 1966 г.— от 75 до 5049 мг/л, в 1967 г.— от 34 до 5595 мг/л. Эрозия берегов в некоторых водоемах весьма велика. Например, в Старобешевском водохранилище размыв крутого правого берега водохранилища достигает 3—8 м. На основании приведенных данных можно сделать вывод, что автохтонное органическое вещество составляет лишь ничтожную долю общего объема заиления, образующегося в основном под действием заноса мелкозема и за счет аллохтонного органического вещества и что ускоренный темп круговорота веществ в водоемах-охладителях в условиях повышенной температуры воды не играет существенной роли в заилении водоемов. Заиление уменьшает полезную емкость водоемов-охладителей и неблагоприятно сказывается на их эксплуатации. Электростанции ведут борьбу с заилением путем вычерпывания ила, устройства прудов-отстойников. На Штеровской ГРЭС ежегодно вычерпывают около 300 тыс. м<sup>3</sup> ила. Из двух рядов расположенных здесь прудов-охладителей в верхнем по течению скапливается в три раза больше наносов, чем в нижнем.



Исследования, проведенные на Старобешевском водохранилище сотрудниками Хотепа \*, дали основание предположить, что сооружение пруда-отстойника (накопителя) в хвостовой части водохранилища обеспечит задержание наносов на 50 лет и значительно улучшит биохимические показатели качества воды в водохранилище. Содействовать уменьшению заиления может также укрепление и облесение берегов водоема. Особую роль для развития организмов в водоемах-охладителях должна играть специфика грунта, свойственная водоемам-охладителям, а именно загрязненность грунта углем и золой, попадающими со стоком воды, а также из воздуха. По данным Института коммунальной гигиены, проводившего обследования на Старобешевской ГРЭС, окружающий ТЭС воздух сильно загрязнен летучей золой, серным ангидридом и сероводородом. Содержание в воздухе летучей золы в 1965 г. на расстоянии 3—5 км достигало 0,14—4,91 мг/м<sup>3</sup>. Несомненно, значительная часть этих веществ заносится из воздуха в водоемы. Даже по визуальному наблюдению вода в них на поверхности загрязнена плавающим серовато-черным осадком, грунты же содержат большую примесь угля. Особенно загрязнен углем и золой грунт Зуевского и Кураховского водохранилищ, которые функционируют в качестве водоемов-охладителей уже много лет.

Особенно важное значение для гидробиологического режима водоемов-охладителей имеет термический режим. Роль его велика в результате действия высоких температур и общего накопления тепла на экологию и физиологию гидробионтов, а также влияния температуры на скорость протекания химических процессов. На основании этого уже заранее можно сказать, что гидробиологический режим водоемов-охладителей будет отличаться от гидробиологического режима аналогичных водоемов с естественной температурой. Возникает вопрос о направлении и масштабах этих отличий в водоемах, нагреваемых в разной степени и характеризующихся различными физико-географическими особенностями. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо прежде всего систематизировать особенности термического режима различных водоемов-охладителей.

В теплотехнике принят ряд показателей, используемых для характеристики теплового и температурного режима водоемов-охладителей:  $t_1$  — температура сбрасываемой из конденсаторов воды;  $t_2$  — температура охлажденной воды на водозаборе;  $\Delta t$  — разница между  $t_1$  и  $t_2$ ;  $\bar{t}_{\text{ср}}$  — средневзвешенная температура поверхностного горизонта воды;  $\bar{t}_e$  — средневзвешенная естественная температура воды близлежащих водоемов;  $\bar{t}_{\text{ср}} - \bar{t}_e$  — перегрев водоема-охладителя по сравнению с естественным водоемом;  $\delta$  — перегрев воды на водозаборе (определяется как раз-

---

\* Харьковское отделение Всесоюзного института «Теплоэлектропроект».

ница между  $t_2$  и  $\bar{t}_e$ );  $Q$  — расход нагретой воды,  $\text{м}^3$  в сутки; удельная тепловая нагрузка водоема ( $\text{т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки) —  $\frac{GVQ \Delta t}{\Omega}$ , где  $CV$  — удельная теплоемкость воды,  $\Omega$  — полная

площадь охлаждения сбрасываемой воды. Кроме этих показателей используют показатели среднегодовых температур, средней температуры воды для определенных периодов, например за вегетационный период, за летний период или за самую жаркую декаду, а также колебания всех этих показателей.

В теплотехнике наиболее важное значение для расчетов имеют показатели, характеризующие удельную тепловую нагрузку водоемов, поскольку на основании расчетов решается вопрос о возможности дополнительного сброса горячей воды в водоем. Этот показатель неодинаковый для разных водоемов. Так, по устному сообщению К. Я. Кинд, показатель удельной тепловой нагрузки для некоторых водоемов — охладителей электростанций СССР в летний период изменяется следующим образом: оз. Лиман Змиевской ГРЭС —  $2,2 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки, Ворошиловградский водоем-охладитель —  $5,2$ , Старобешевское водохранилище —  $4,6$ , водоем — охладитель Верхне-Тагильской ГРЭС —  $6,7$ , Барабинской ГРЭС —  $4,3 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки.

Важным теплотехническим показателем является также  $\delta$ , характеризующий перегрев воды на водозаборе. Этот показатель изменяется так: в оз. Лиман —  $1,15^\circ \text{C}$ ; в Зуевском водохранилище —  $5$ ; в Кураховском —  $0,5$ ; пруде — охладителе Ворошиловградской ГРЭС —  $4,6$ ; в Штеровском —  $7,5$ ; в Старобешевском —  $4,6^\circ \text{C}$ . Чем ниже оба эти показателя, тем меньше перегрев водоема, тем ближе его температурный режим к естественному; чем выше — тем больше перегрев водоема.

Для анализа биологических процессов в водоемах-охладителях обычно применяются в качестве тепловой характеристики водоема осредненные показатели температуры за определенные периоды, что позволяет сравнивать условия в узкие периоды годичного цикла.

Среднегодовая температура очень показательна как интегрирующая величина, в значительной степени определяющая уровень биологической продуктивности водоемов. Знать температуру воды в наиболее жаркую декаду важно потому, что именно в этот период в ряде водоемов температура достигает сублетальных и летальных значений для многих гидробионтов, что приводит к гибели животных и растений, дефициту кислорода и заморным явлениям, нарушает нормальный ход продуцирования и минерализации органического вещества, создает неблагоприятную санитарную ситуацию в водоемах или их участках. В табл. 4 приведены температурные данные для ряда водоемов Украины с естественным режимом и подогреваемых, из которых видно, что в северных областях Украины среднегодовая темпе-

Т а б л и ц а 4

Характеристика температурного режима водоемов Украины (поверхность воды)

Водоем	Среднегодовая температура воды ( $t_{\text{ср}}$ или $t_2$ )	Средняя за вегетационный период IV—XI ( $t_{\text{ср}}$ или $t_2$ )	Средняя за зимний период I—III и XII ( $t_{\text{ср}}$ или $t_2$ )	Средняя за жаркую декаду VII—VIII ( $t_{\text{ср}}$ или $t_2$ )	Примечание
Карловское водохранилище *	10,3	15,1	0,6	25,3	За 11 лет, с 1945 по 1955 г.
Кураховское водохранилище (Ильинский отсек) *	12,4	16,2	1,1	25,3	За 3 года, с 1965 по 1967 г.
р. Десна в районе действия Черниговской ТЭЦ	10,3	14,7	0,4—0,6	25,6	За 4 года, с 1963 по 1966 г.
р. Десна вне действия сбросных вод Черниговской ТЭЦ *	9,8	14,5		24,4	
Добротворское водохранилище	13—14	17,8	6,1	24—25	1962 г.
Бурштынское водохранилище	12—14	18,7	5—6	25,4	Данные за 2 года, с 1966 по 1967 г.
Змиевский Лиман	11—12	17,0	3,7	30,7	За 7 лет, с 1961 по 1967 г.
Зуевское водохранилище	17—18	26,0	10,0	32,5	За ряд лет
Кураховское водохранилище (Терновский отсек)	15,1	19,5	6,2	28,5	Среднее за 10 лет, с 1957 по 1966 г.
Пруд — охладитель Ворошиловградской ГРЭС	18,7	25,4	7,0	36,6	За 2 года, с 1965 по 1966 г.
Штеровское водохранилище	18,6—21,8	23,0	9,4	33,0	Средние данные за 14 лет, с 1953 по 1966 г.
Мироновское водохранилище	14—15,3	19,5	7,0	27,3	Средние данные за 14 лет, с 1954 по 1967 г.
Водоем—охладитель Криворожской ГРЭС	12—14	17,5	5	25,0	Средние данные за 2 года, с 1966 по 1967 г.
Старобешевское водохранилище	18—22,5	19—26	5—13,0	32,4	Средние данные за 2 года, с 1965 по 1966 г.
р. Сев. Донец в районе действия Ворошиловградской ГРЭС (35 км ниже по течению) у с. Кондрашевка	15,7	19,6	4,2	29,5	Средние данные за 2 года, с 1965 по 1966 г.
р. Волчья у с. Андреевка *	10,5	15,4	0,7	25,0	За 27 лет

\* Водоемы с естественным температурным режимом.

ратура воды достигает 9,8° (р. Десна), в южных — 10,3—10,5° (р. Волчья, Карловское водохранилище). Среднегодовая температура водоемов-охладителей значительно выше: от 10,3° (р. Десна в районе Черниговской ТЭЦ) до 22° (Старобешевское, Ште-

ровское водохранилище). Таким образом, среднегодовой перегрев достигает примерно  $0,5—12^{\circ}$ , в большинстве же водоемов-охладителей он составляет  $3—5^{\circ}$ . В зимний сезон перегрев примерно такой же, как летом. Он колеблется в разных водоемах от десятых долей градуса до  $10—13^{\circ}$ , в большинстве же достигает  $4,5—7,9^{\circ}$ , в вегетационный период — соответственно от десятых долей градуса до  $10^{\circ}$ , в большинстве случаев —  $5,0—8,4^{\circ}$ . В наиболее жаркую декаду температура воды в отдельных водоемах достигает  $32—33^{\circ}$ , что на  $7—8^{\circ}$  выше естественной температуры воды в это время.

Из приведенных данных видно, что удельная тепловая нагрузка, характеризующая количество тепла, сбрасываемого в водоем за единицу времени на единицу площади, хорошо коррелирует с температурными показателями. Так, в водоемах-охладителях, для которых характерны наиболее высокие показатели летней тепловой нагрузки (пруд — охладитель Ворошиловградской ГРЭС —  $5,2$  и Старобешевское водохранилище —  $4,6$ ), наблюдается наиболее высокий летний перегрев — соответственно  $\sim 10^{\circ}$  и  $7,1^{\circ}$ . Отсюда можно сделать вывод, что показатель удельной тепловой нагрузки может применяться и при изучении биологических процессов в водоемах-охладителях как интегрирующий показатель получаемого водоемом дополнительного тепла.

Сопоставление удельной тепловой нагрузки с температурным режимом водоемов-охладителей показало, что в пределах Украины показатель удельной тепловой нагрузки в летний период  $1—2 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки характеризует водоем с минимальным нагревом. Средняя температура в наиболее жаркую декаду не превышает естественной температуры воды более чем на  $0,5—1,5^{\circ}$ , что соответствует санитарной температурной норме.

Показатель  $3—4 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки характерен для умеренно перегреваемых водоемов, в которых средняя температура в наиболее жаркую декаду превышает естественную на  $5—6^{\circ}$  и более чем в 1,5 раза — санитарную норму. Показатель  $5—6$  характерен для сильно перегреваемых водоемов со средней температурой в жаркую декаду, более чем на  $6^{\circ}$  превышающую естественную температуру и в 2—3 и более раз — санитарную норму. Санитарные нормы разрешают превышать температуру воды в летнее время не более чем на  $3^{\circ}$  и зимой — на  $5^{\circ}$ . Фактический перегрев во многих водоемах значительно выше санитарной нормы. Например, в пруде — охладителе Ворошиловградской ГРЭС летний перегрев в 1963 г. был в 2 раза выше нормы, в Старобешевском водохранилище — в 1965 г. — в 2,5 раза, в Зуевском в 1950 г. — в 3 раза, в 1967 г. — в 2,6 раза. Такое положение создается благодаря тому, что тепловая нагрузка водоемов постепенно возрастает за счет введения добавочных мощностей, уменьшения удельных активных площадей охлажде-



ния в результате заиления и зарастания водоемов и искусственного занижения естественных среднегодовых температур при проектировании и строительстве новых ТЭС (Оббарнус, 1968).

Высокая температура воды в водоемах-охладителях способствует повышению биологической продуктивности за счет удлинения вегетационного периода и более интенсивного круговорота веществ при условии обилия биогенов, получаемых из аллохтонного органического вещества и тем самым изменяет санитарно-биологическую ситуацию в водоемах. Кроме того, она содействует выпадению кальция в трубках конденсаторов и образованию в них биологических отложений, что приводит к снижению эффективности работы ТЭС (Топачевский, Пидгайко, Поливанная, Гринь, 1968).

Температура воды  $33^{\circ}$  является для водоемов-охладителей лимитирующей, поскольку в соответствии с нормами технологического проектирования тепловых электростанций температура охлажденной воды не должна превышать  $33^{\circ}$  (см. статью Е. Я. Германова в настоящем сборнике).

Температура охлаждающей воды  $33^{\circ}$  наблюдается, как видно из табл. 4, лишь в немногих водоемах, в большинстве же случаев она ниже на  $3-4^{\circ}$ . Этот температурный резерв для гидротехники имеет большое значение, так как означает возможность некоторого повышения мощности электростанции за счет использования резервной охлаждающей способности водоема. Сдерживающим фактором в данном случае является санитарная норма нагрева воды. В связи с этим особенно важно детальное исследование различных вариантов теплового воздействия на отдельные организмы и на общую биологическую продуктивность водоемов. При этом могут иметь место следующие варианты теплового воздействия на организмы и водоем в целом: 1) длительное действие невысокого нагрева (в пределах установленной санитарной нормы); 2) краткосрочное действие невысокого перегрева; 3) длительное действие высокого перегрева (выше установленной санитарной нормы); 4) краткосрочное действие высокого перегрева; 5) их сочетание в разных физико-химических условиях среды. Мы сделали попытку сгруппировать водоемы-охладители Украины по основным факторам физико-географических условий, в том числе по их термическому режиму, и установить стандартный тип водоема для каждой группы.

Такая типизация водоемов-охладителей по важнейшим факторам среды может служить основой для анализа их биологического режима, влияния на него подогрева и установления нормы допустимого нагрева воды в каждой группе водоемов.

В связи с разной температурой и влажностью климата ландшафтно-географических зон и разной исходной температурой воды необходимо группировать водоемы-охладители в региональном аспекте. Таким образом, географическое положение

Схема распределения некоторых водоемов-охладителей Украины по основным физическим признакам

Ландшафтно-географическая зона	Северная (разнотравная)											
Категория водоема по проточности	Проточные									Слабо		
Тип водоема	Реки, каналы									Водохранилища,		
Категория водоемов по размеру	Крупные			Средние			Малые			Крупные		
Минимальный летний расход воды; площади водохранилищ	>100,0 м³/сек			1,0—100,0 м³/сек			<1,0 м³/сек			>1000 км²		
Категория водоемов по тепловому режиму	Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые	Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые	Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые	Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые
Удельная тепловая нагрузка, T·кал/м² в сутки	1—2	3—4	5—6	1—2	3—4	5—6	1—2	3—4	5—6	1—2	3—4	5—6
Превышение средней температуры воды в жаркую декаду над естественной, 0° С	0,5—1,5	5—6	>6	0,5—1,5	5—6	>6	0,5—1,5	5—6	>6	0,5—1,5	5—6	>6
Водоем — охладитель ГРЭС	Нижнее течение Днепра в районе сброса ГРЭС			р. Сев. Донец в районе сброса воды Ворошиловградской ГРЭС						Старобешевское водохранилище		

(зона) является первым определяющим признаком водоема-охладителя. Вторым должен быть признак проточности, определяющий основные экологические группировки водных биоценозов. Третьим признаком надо считать лимнологический показатель (соотношение площади и глубины) для слабопроточных и непроточных водоемов; скорость течения и расходы воды для

-географическим показателям

степь															
проточные						Непроточные									
озера, пруды						Водохранилища, озера, пруды									
Средние			Малые			Крупные			Средние			Малые			
1—1000 км²			<1 км²			>1000 км²			1—1000 км²			<1 км²			
Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые	Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые	Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые	Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые	Минимально перегретые	Умеренно перегретые	Сильно перегретые	
1—2	3—4	5—6	1—2	3—4	5—6	1—2	3—4	5—6	1—2	3—4	5—6	1—2	3—4	5—6	
0,5— 1,5	5—6	>6	0,5— 1,5	5—6	>6	0,5— 1,5	5—6	>6	0,5— 1,5	5—6	>6	0,5— 1,5	5—6	>6	
Кураховское водохранилище, Мироновское водохранилище						Штеровское, Зуевское водохранили- ща, пруд — охладитель Ворошилов- градской ГРЭС						Водоем—охладитель Криворожской ГРЭС			
						оз. Лиман Змиевской ГРЭС									

всех этих признаков создает довольно большой набор стандартных групп водоемов-охладителей.

В табл. 5 приведены стандартные группы всех исследованных нами водоемов-охладителей для севера степной зоны Украины (Криворожско-Донецкий бассейн) и распределение по этим группам исследованных водоемов. В ней нашли свое место изучавшиеся нами водоемы-охладители южных районов Украины. Биологический режим, гидрохимические особенности, влияние повышенных температур на флору и фауну, биологическую продуктивность и санитарные качества водоемов-охладителей УССР освещены в других статьях сборника.

## ЛИТЕРАТУРА

Захаренков И. С. О лимнологической классификации озер Белоруссии.— В кн.: Тр. X научн. конф. по внутренним водам Прибалтики. Минск, 1964.

Иванов П. В. Классификация озер мира по их величине и по средней глубине.— Научн. бюллетень ЛГУ, 21, 1948.

Оббарюс В. И. Проблемы и недостатки в проектировании систем водоснабжения конденсаторов электростанций.— В кн.: Состояние и перспективы развития систем технического водоснабжения на электростанциях УССР. К., 1958.

Поливанна М. Ф. Зоопланктон Десни.— В кн.: Десна в межах України. К., 1964.

Поліщук В. В. Донне тваринне населення Десни і його зміни під впливом забруднень.— В кн.: Десна в межах України. К., 1964.

Справочник по водным ресурсам СССР, т. VIII, 1954.

Топачевский А. В., Пидгайко М. Л., Поливанная М. Ф., Гринь В. Г. Некоторые биологические аспекты эксплуатации водохранилищ — охладителей ГРЭС юга УССР.— В кн.: Состояние и перспективы развития систем технического водоснабжения на электростанциях УССР. К., 1968.

Черноусова В. М. Зміни літнього фітопланктону Десни в умовах її забруднення.— В кн.: Десна в межах України. К., 1964.

Шанин В. П. Задачи по улучшению вакуума и экономичности тепловых электростанций.— В кн.: Состояние и перспективы развития систем технического водоснабжения на электростанциях УССР. К., 1968.

Шиманский Б. А. О целесообразности развития рыбного хозяйства в водохранилищах-охладителях ГРЭС.— Электрические станции, 2, 1964.

Шиманский Б. А. Техничко-гидробиологическая характеристика водохранилищ-охладителей тепловых электростанций.— Гидробиол. журн., 1, 2, 1965.

## О ТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ КОНАКОВСКОЙ ГРЭС НА ВОДЫ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Н. В. БУТОРИН, Т. Н. КУРДИНА

С расширением хозяйственного использования водных ресурсов водохранилищ непрерывно возрастает число проблем, связанных с изучением их гидрологического и гидробиологического режимов. Рассмотрим Иваньковское водохранилище. Первона-



чально роль этого водоема заключалась в обеспечении судоходства по Верхней Волге и каналу им. Москвы. Большое значение уделялось также улучшению водоснабжения Москвы. С ростом городов Дубны, Дмитрова, Клина и Солнечногорска увеличилась роль Иваньковского водохранилища как поставщика воды для санитарной промывки рек, в которые поступают загрязнения из указанных городов.

Проблема использования вод водохранилища особенно осложнилась в связи с сооружением Конаковской ГРЭС, поскольку Иваньковское водохранилище стало водоемом-охладителем крупной тепловой электростанции. В общем комплексе хозяйственного использования водных ресурсов водоема это обстоятельство приобретает особое значение.

Конаковская ГРЭС при работе на полную мощность — 2400 тыс. кВт будет забирать на охлаждение конденсаторов около 90 м<sup>3</sup>/сек воды. Потребляемая вода, по проектным данным, будет нагреваться на 8—10° С и вновь сбрасываться в водохранилище, что, несомненно, будет заметно влиять на термические условия той части водохранилища, куда будут поступать сбросные воды. В свою очередь повышение температуры воды будет способствовать развитию биологических процессов и увеличению количества органического вещества, что приведет к ухудшению качества воды.

Если у водопотребителей в связи с сооружением Конаковской ГРЭС возникают опасения в отношении ухудшения качества воды, то у работников промышленности появляется перспектива использования подогретой воды для производства товарной рыбы. Окончательное выяснение отрицательных и положительных последствий, вызванных сбросом подогретых вод, может быть установлено после проведения соответствующих обследований Иваньковского водохранилища. Поскольку изменение температуры воды водохранилища определится не только степенью подогрева и величиной сброса отработавших вод, но также местом и характером смешения теплых и холодных вод, что обусловлено морфометрией водоема и его гидрометеорологическими условиями, приведем краткую физико-географическую характеристику водохранилища и рассмотрим некоторые черты его режима в естественных условиях.

Иваньковское водохранилище входит в систему водоемов верхней Волги. Оно расположено в южной части Верхневолжской низины и относится к водоемам долинного типа. Геоморфологические особенности затопленной территории определили довольно сложную конфигурацию водохранилища (рис. 1). Площадь зеркала при нормальном подпорном уровне (НПУ) составляет 327 км<sup>2</sup>, общий объем водной массы — 1,12 км<sup>3</sup>. Акватория водоема подразделяется на три плеса — Иваньковский, Волжский и Шошинский. Иваньковский плес — озеровидный участок

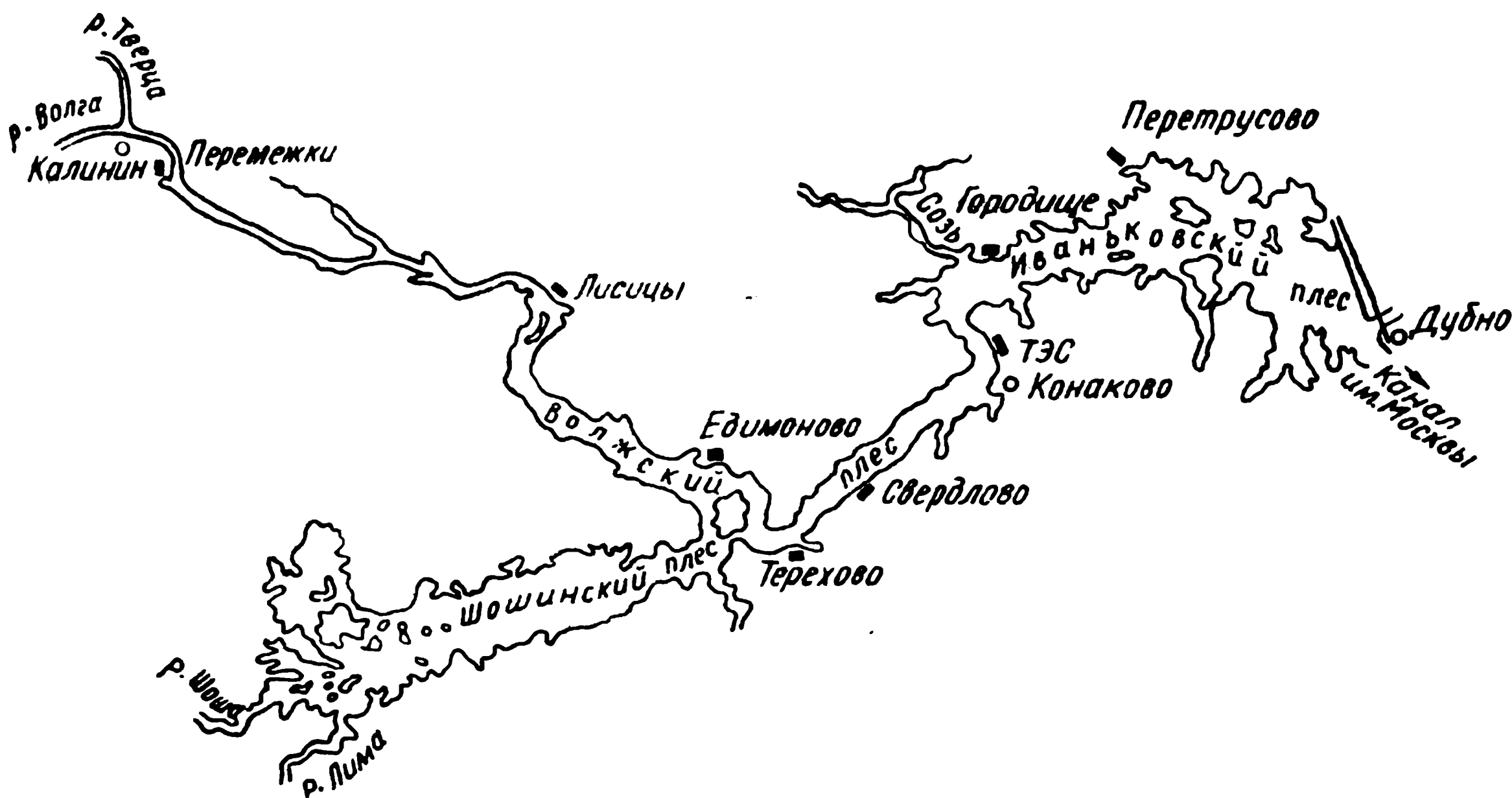


Рис. 1. Схема Ивановского водохранилища.

водохранилища ниже устья р. Сози; Волжский — простирается от устья Сози до Калинина, Шошинский — представляет затопленную долину р. Шоши (Гавеман, 1955). Указанные участки водохранилища имеют существенные различия в морфометриче-

Таблица 1  
Некоторые морфометрические данные плесов Ивановского водохранилища (по В. П. Курдину)

Характеристика	Плесы		
	Волжский	Шошин-ский	Иваньков-ский
Длина, км	84	36	27
Наибольшая ширина, км	2,1	5,0	7,5
Средняя ширина, км	0,9	4,0	5,9
Коэффициент развития береговой линии	—	10,1	6,6
Островность, %	6,3	21,6	10,8
Площадь зеркала при НПУ, км <sup>2</sup>	74	112	141
То же при нормальном горизонте зимней сработки	35	9	46
Средняя глубина при НПУ, м	4,9	7,1	4,0
То же при нормальном горизонте зимней сработки	4,6	1,9	4,3

ских характеристиках (табл. 1), в частности наибольшие площадь и объем летом и зимой имеет приплотинный Ивановский плес. Различие морфометрических характеристик отдельных плесов оказывает заметное влияние на гидрологические условия соответствующих участков водоема и прежде всего на ре-

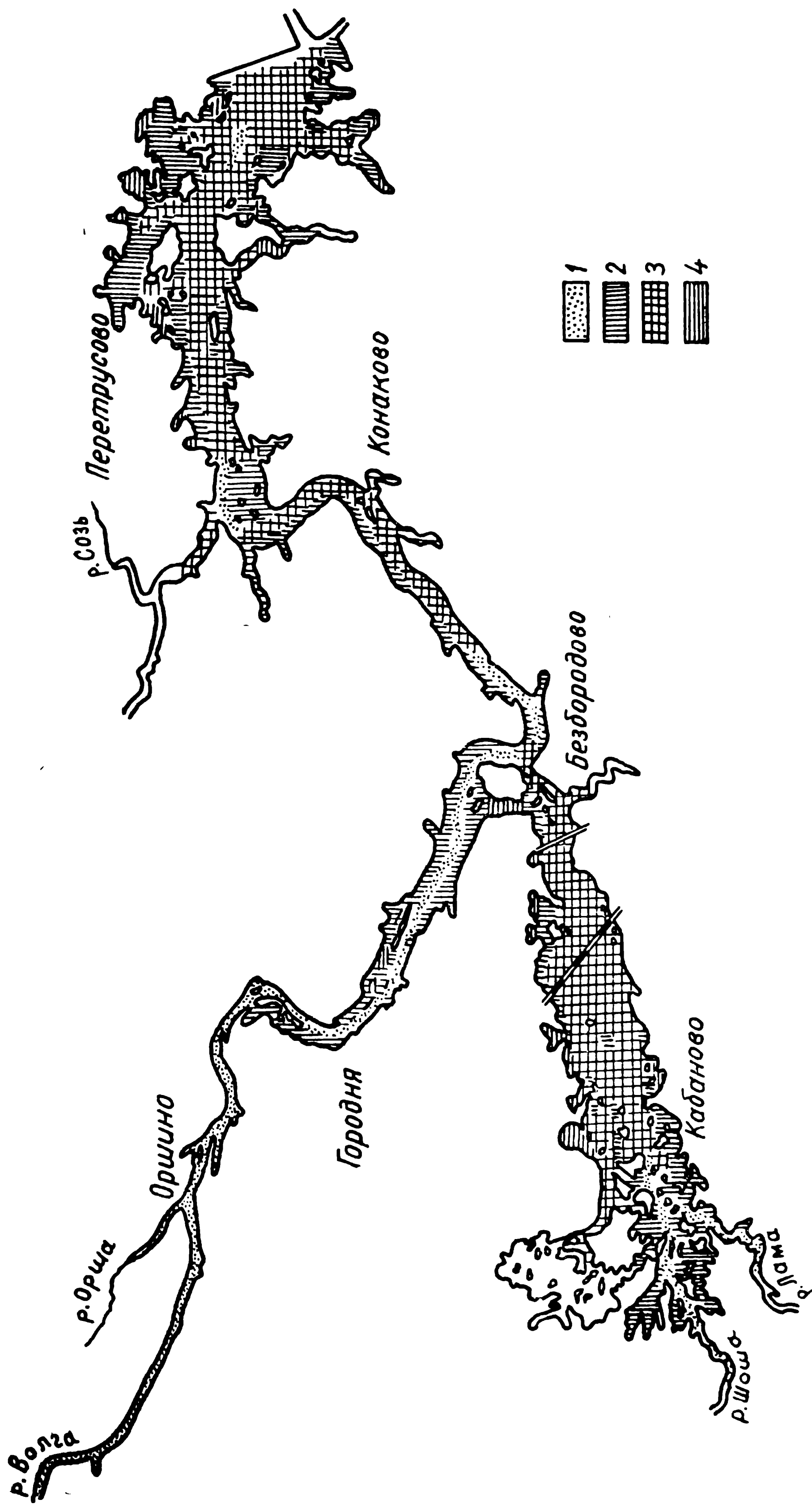


Рис. 2. Схема распределения основных типов грунтов Иваньковского водохранилища (по В. П. Курдину):  
 1 — песок и ил; 2 — почвы (разбухшие, обнаженные, заболоченные); 3 — песчаный серый ил; 4 — отложения из макрофитов.

жим течения и волнения, а последние в значительной мере определяют температурные условия в водохранилище и формирование его грунтового комплекса.

Грунтовой комплекс Ивановского водохранилища подробно рассмотрен в работе В. П. Курдина (1961), откуда мы и заимствовали схемы распределения грунтов (рис. 2). В верхнем речном участке Волжского плеса по руслу Волги характер грунта постепенно изменяется от крупного песка в районе г. Калинина до среднего илистого песка у бывшего устья Шоши. Для Шошинского и Ивановского плесов характерны песчанистый и серый илы, а также отложения из макрофитов, которые находятся в тесном соседстве с обнаженными почвами. В связи с различным механическим и химическим составом грунты водохранилища обладают различными теплофизическими коэффициентами, что определяет количество тепла, способного аккумулироваться тем или иным участком ложа водохранилища. В этой связи необходимо отметить высокую теплоемкость грунтов, богатых органическими соединениями, в том числе илов, торфов и отложений из макрофитов (Бакастов, 1966).

Наполнение и питание Ивановского водохранилища происходит за счет стока Волги и боковых притоков. Наиболее крупными из них являются Тверца, Шоша, Лама и Тьма. Водосбор Волги, Тверцы и Шоши составляет 93,2% общей площади бассейна водоема (Зиминова, 1959). Естественно, по объему годового стока на первом месте стоит Волга. Она дает 56,6% общего притока в водохранилище, а вместе с Тверцой — 82%. Расчеты Е. А. Зайцевой (1966) подтвердили, что основным приходным компонентом водного баланса водохранилища является поверхностный сток, составляющий 96,6% общего притока. Осадки на зеркало водоема составляют 1,6%, возврат воды шлюзом № 2 и насосной станцией № 182 — 1,1%, возврат потерь на оседание льда и снега — 0,7%. Распределение указанных компонентов водного баланса в течение года представлено в табл. 2. В расходной части водного баланса преобладает сброс воды через гидроузел. Он включает воду, прошедшую через турбины ГРЭС, воду, сброшенную через водосливную плотину и донные отверстия, а также расход воды на шлюзование. На втором месте по значению стоит забор воды в канал им. Москвы (табл. 3).

Сброс воды через Ивановский гидроузел составляет 87,7% общего расхода, а забор воды в канал им. Москвы — 10,2%. Поскольку через канал осуществляется водоснабжение г. Москвы волжской водой, а потребность в воде систематически увеличивается, есть основание полагать, что данный расходный компонент водного баланса будет возрастать. Тенденция к увеличению забора воды в канал им. Москвы четко прослеживается уже сейчас. В 1963 г. забор воды в канал составлял 30% стока



Т а б л и ц а 2

## Приходные компоненты водного баланса (в % к общему притоку) за 1952—1964 гг. по Е. А. Зайцевой

Характеристика компонентов	Январь	Фев- раль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сен- тябрь	Ок- тябрь	Ноябрь	Дека- брь	Всего за год
Боковая приточность	97,0	97,7	98,9	97,5	97,9	94,4	93,4	91,0	93,8	95,7	97,5	97,5	96,6
Осадки	2,0	1,2	0,7	0,3	1,3	3,1	3,9	5,4	3,0	2,4	1,5	1,8	1,6
Возврат воды шлюзом № 2	1,0	1,1	0,1	0,1	0,8	2,5	2,7	3,6	3,2	1,9	1,0	0,7	1,1
Возврат потерь на оседание льда и снега	—	—	0,3	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7

Т а б л и ц а 3

## Расходные компоненты водного баланса (в % к общему расходу) за 1952—1964 гг. по Е. А. Зайцевой

Характеристика компонентов	Январь	Фев- раль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сен- тябрь	Ок- тябрь	Ноябрь	Дека- брь	Всего за год
Сбор через Ивановский гидро- узел	84,4	84,0	94,2	98,1	92,0	79,9	75,4	70,5	74,8	85,0	90,2	88,0	87,7
Забор воды в канал им. Москвы	12,1	11,0	2,8	1,9	6,6	15,9	20,1	24,3	22,0	13,6	9,4	10,6	10,2
Испарение	—	—	—	—	1,4	4,2	4,5	5,2	3,2	1,4	—	—	1,4
Потери воды на оседание льда и снега	3,5	5,0	3,0	—	—	—	—	—	—	—	0,4	1,4	0,7

через Ивановский гидроузел, а в 1964 г. эта цифра увеличилась до 52% (Зайцева, 1966). В настоящее время в Москву волжской воды подается на 35% больше, чем москворецкой. Волжские насосные станции дают в город 26 м<sup>3</sup>/сек, а в ближайшее время из канала будет забираться 35 м<sup>3</sup>/сек воды. Еще больше воды расходуется на улучшение санитарного состояния подмосковных рек. Учитывая эти расходы, в ближайшем будущем подача воды в Москву через канал возрастет до 75 м<sup>3</sup>/сек, т. е. увеличится примерно в три раза. В связи с этим изменится соотношение расходных компонентов водного баланса водохранилища — увеличится забор воды в канал им. Москвы и уменьшится сброс ее через Ивановский гидроузел. При этом максимальное количество воды в канал им. Москвы будет забираться летом, наибольший сброс воды через гидроузел наблюдается весной и осенью, зимой же происходит сработка водохранилища. Таким образом, в течение всего года будет постоянно осуществляться забор воды из водохранилища в районе гидроузла.

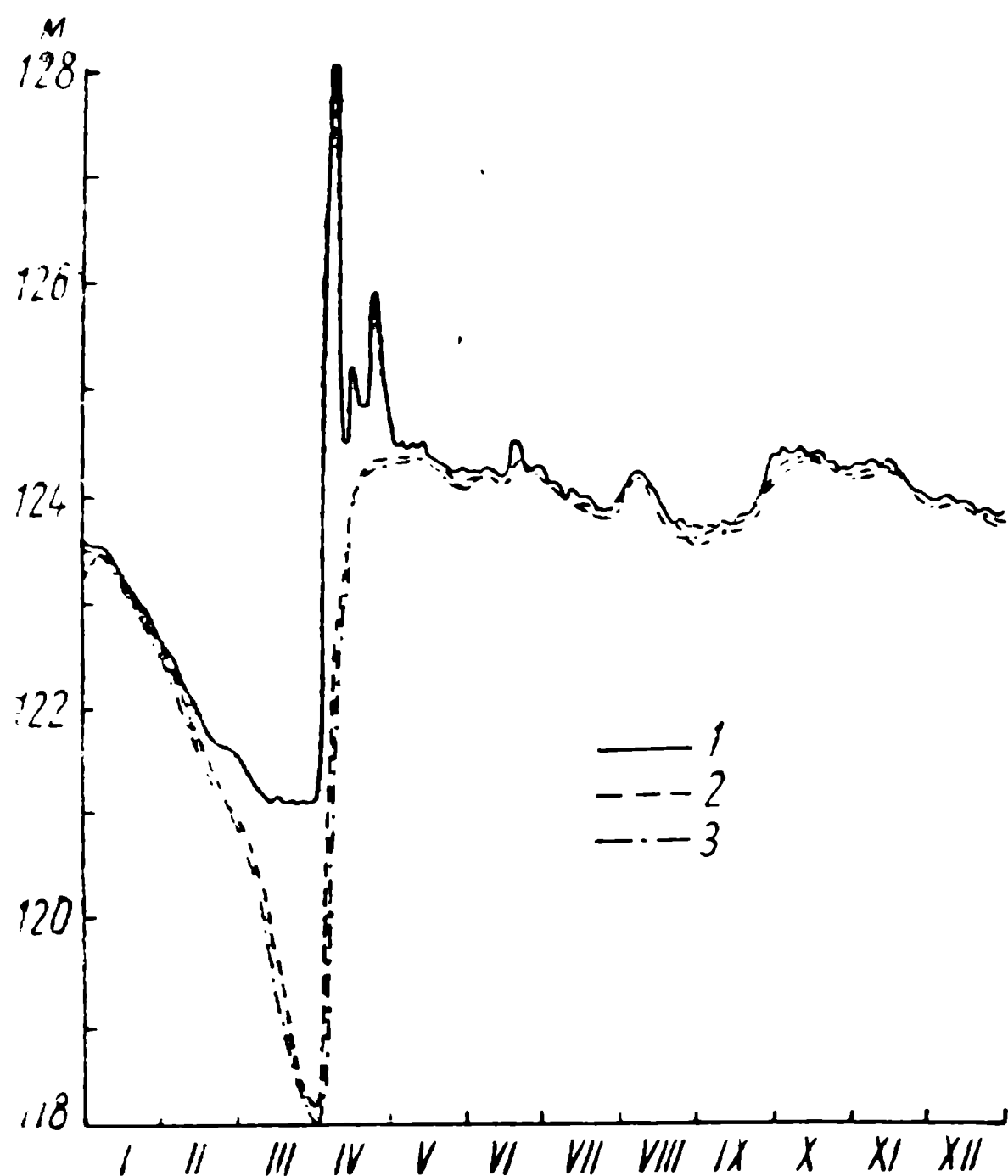


Рис. 3. Ход уровня Ивановского водохранилища у водпостов Калинин (1), Конаково (2), Большая Волга (3) (по Н. А. Зиминой).

интенсивный водообмен в водоеме наблюдается весной, в период летне-осенней межени он резко уменьшается и вновь увеличивается во второй половине зимы. Существенное различие в водоеме по годам отмечается лишь весной. В остальные сезоны от года к году водообмен изменяется незначительно.

В соответствии с изменением приходно-расходных составляющих водного баланса изменяется уровень водохранилища, который отражает изменение запасов воды и является одной из важнейших гидрологических характеристик водоема. Особенностью уровня режима водохранилища служит ежегодное наполнение его до НПУ. Годовой ход уровня независимо от водности лет имеет три характерных периода: весеннее наполнение, летне-осеннее положение и зимнюю сработку (рис. 3).

Наполнение водохранилища начинается в конце марта — начале апреля и продолжается в среднем 15 дней (Зиминова, 1959). В летне-осенний период уровень водохранилища колеблется незначительно и обычно к началу ледостава близок к НПУ. С момента установления ледяного покрова начинается зимняя сработка водоема, которая продолжается до конца марта — начала апреля и составляет 6 м. Наибольшую повторяемость в течение года имеет положение уровня, близкое к НПУ (Савина, 1966).

Искусственное регулирование объема воды Ивановским гидроузлом, забор воды в канал им. Москвы, особенности морфометрии водохранилища при значительных сезонных колебаниях стока обуславливают довольно сложную систему течений, в которой основная роль принадлежит стоковым течениям. По данным Б. М. Себенцова и др. (1940), скорость движения воды в Ивановском водохранилище на участке между Шошей и Созью зимой бывает порядка 0,1 м/сек. Инструментальные измерения скорости течения, выполненные Институтом биологии внутренних вод АН СССР зимой 1957 и 1958 гг., подтвердили следующий порядок скорости на этом участке водохранилища. Так, у г. Конаково скорость течения оказалась порядка 0,06—0,08 м/сек, а в Шошинском плесе — 0,09—0,12 м/сек. В Волжском плесе водохранилища скорость течения заметно возрастает в направлении к зоне выклинивания подпора. В марте 1958 г. скорость течения у д. Единоново равнялась 0,16 м/сек, а выше г. Калинина достигла 0,41 м/сек (Буторин, 1959). Наибольшей скорости течения в водохранилище достигают при весеннем паводке. В Волжском плесе на участке, временно свободном от подпора, средняя суточная скорость может быть больше 1 м/сек. В Ивановском плесе в зависимости от величины сброса она достигает 0,53 м/сек (Курдин, 1961). После наполнения водохранилища до НПУ скорость течения в зоне подпора резко уменьшается и на приплотинном участке обычно не превышает 0,05—0,06 м/сек.

Некоторое представление об особенностях скоростного режима приплотинного участка водохранилища в летний период дает рис. 4. Регистрация скорости и направления течения в верхнем бьефе в 5 км выше ГЭС и на правом склоне русла Волги против д. Городище в июле 1963 г. самописцами БПВ-2Р показало, что скорость течения в этих районах резко изменяется. Так, в 5 км выше ГЭС на горизонте 2,5 м скорость в отдельные сроки достигала 0,14—0,16 м/сек, однако в течение продолжительного времени она была на пределе чувствительности вертушки и не превышала 0,03 м/сек (рис. 4, а). У д. Городище скорость течения только в одном случае составляла 0,11 м/сек, в остальных, как правило, не превышала 0,07 м/сек (рис. 4, б). Характер изменения скорости течения был здесь таким же, как и вблизи ГРЭС. С уменьшением скорости течения уменьшается

и устойчивость потока по направлению. Если у плотины четко прослеживалось перемещение водной массы в сторону ГЭС, то у д. Городище вполне определенного переноса вод не наблюдалось. Анализ материалов многосуточных наблюдений показывает, что скоростной режим водохранилища в значительной степени определяется величиной и продолжительностью сбросов

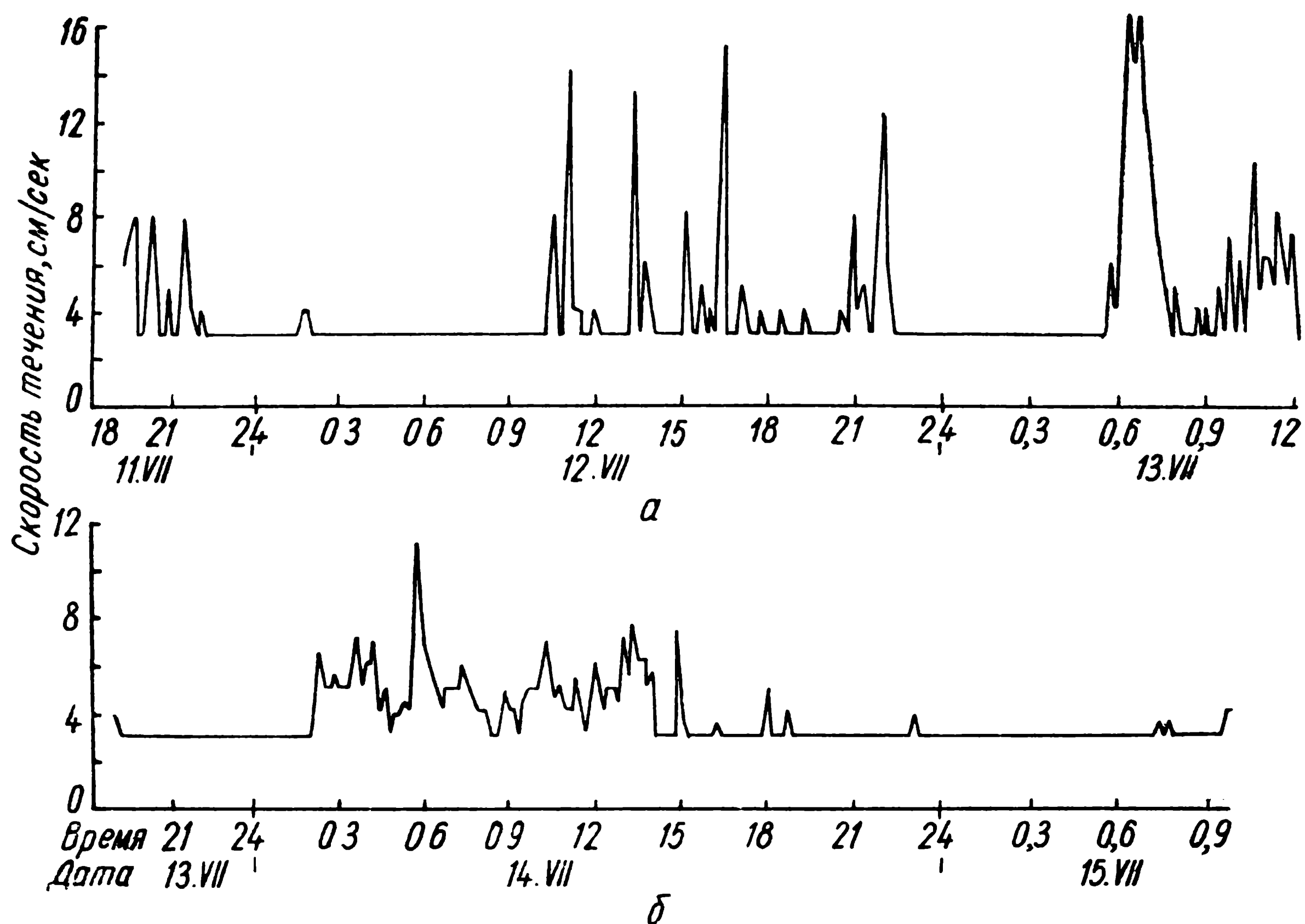


Рис. 4. Скорости течения в Иваньковском водохранилище в июле 1963 г. на горизонте 2,5 м в 5 км выше плотины (а) и против с. Городище (б).

через Иваньковский гидроузел. Кратковременные пуски, независимо от их величины, вызывают течение только в приплотинном участке, а продолжительные сбросы являются причиной возникновения и усиления течений не только в Иваньковском плесе, но и во всем водохранилище.

Несмотря на сложную морфометрию чаши водохранилища и небольшие открытые водные пространства, на циркуляцию воды в нем существенное влияние оказывает ветер. При отсутствии ледяного покрова ветер вызывает ветровые течения, которые, накладываясь на стоковые, значительно усложняют общую циркуляцию вод в водоеме. Особенности циркуляции вод в значительной степени определяют термический режим водоема. Основным же фактором, определяющим термический режим водохранилища, как и всякого водоема, является радиационный баланс. Именно им в сочетании с гидродинамическими особен-



ностями водохранилища определяется годовой ход и распределение температуры по площади и глубине водоема. Типовой график хода температуры воды на поверхности водохранилища представлен на рис. 5. Температура поверхности воды за многолетний период имеет плавный ход, хотя в отдельные годы в связи с изменением погодных условий в ходе температуры могут быть резкие повышения или понижения.

Естественно, в начале весеннего прогрева водоема наиболее теплыми являются воды верхнего участка, а наиболее холодными — воды глубоководного Иваньковского плеса. В связи с этим вскрытие указанных участков происходит неодновременно. Первой вскрывается

верхняя, речная часть водохранилища; средняя дата ее вскрытия у г. Калинина приходится на 10 апреля (Зиминова, 1959). У г. Конаково водохранилище вскрывается на 4—5 дней позднее, а последним вскрывается приплотинный участок.

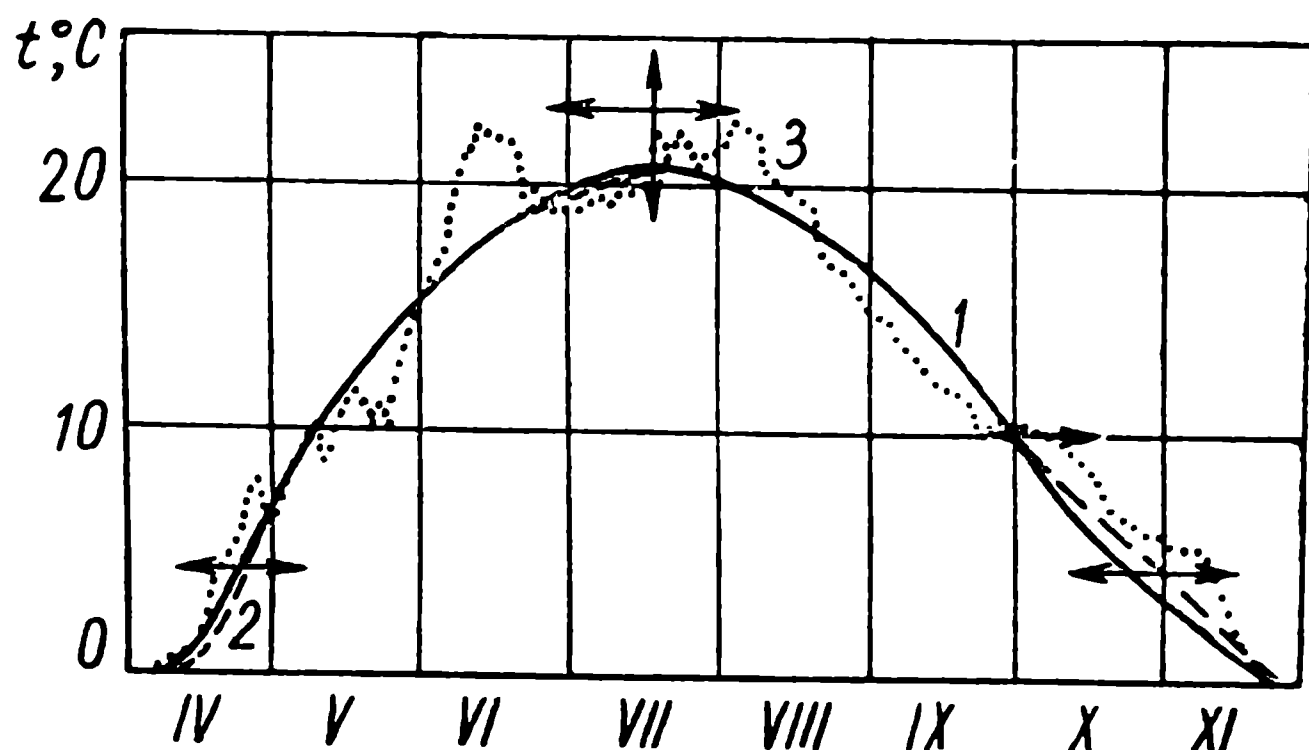


Рис. 5. Типовой график хода температуры поверхности воды Иваньковского водохранилища у водпостов Конаково (1), Дубна (2) и годовой ход температуры у Конаково в 1961 г. (3) (по С. Н. Тачалову).

В связи с различными сроками вскрытия и различным водообменом участков водоем прогревается неравномерно, и дата наступления одинаковых

температур в Волжском и Иваньковском плесах могут различаться на 5 и более суток (Зиминова, 1959). Весной выравниванию температуры по длине и глубине водохранилища способствуют высокие скорости течения, поэтому на всех участках водохранилища вертикальная стратификация температуры в это время незначительна и неустойчива. Максимальная разность поверхностных и придонных температур не превышает 1,0—1,5°. С уменьшением проточности особенности распределения температуры воды отдельных плесов становятся более четкими. Так, уже в мае, когда сток Волги остается еще большим, на верхней части Волжского плеса стратификация по глубине отсутствует, а на других участках водоема разность поверхностных и придонных температур может достигать 5°. Наиболее четко температурное расслоение водной толщи наблюдается в глубоководном Иваньковском плесе, где разность между температурой у поверхности и дна составляет 7—9°.

Особенности распределения температуры воды по длине Иваньковского водохранилища в конце весны хорошо видны из рис. 6, где представлены данные скоростной температурной

съемки, выполненной 14—15 июня 1961 г. В. И. Рутковским (1964).

Волжский плес от г. Калинина до д. Единоново был занят водами, прогреваемыми равномерно до дна и имеющими температуру 22—23°. Расслоение водной толщи начиналось между д. Единоново и с. Свердлово, но особенно четко оно было выра-

жено в нижней части Волжского и в Ивановском плесе, где разность температур на поверхности и у дна превышала 7°.

Интересно отметить, что в июне 1961 г. из Ивановского водохранилища в Угличское сбрасывалась вода с температурой почти на 5° ниже поступающей в него. По расчетам В. И. Рутковского, температура воды в нижнем бьефе Ивановской ГЭС оказалась ниже средней температуры поперечного сечения в верхнем бьефе на 2,5°. Значит из Ивановского водохранилища вследствие особенностей расположения входных отверстий водоводов ГЭС сбрасываются воды

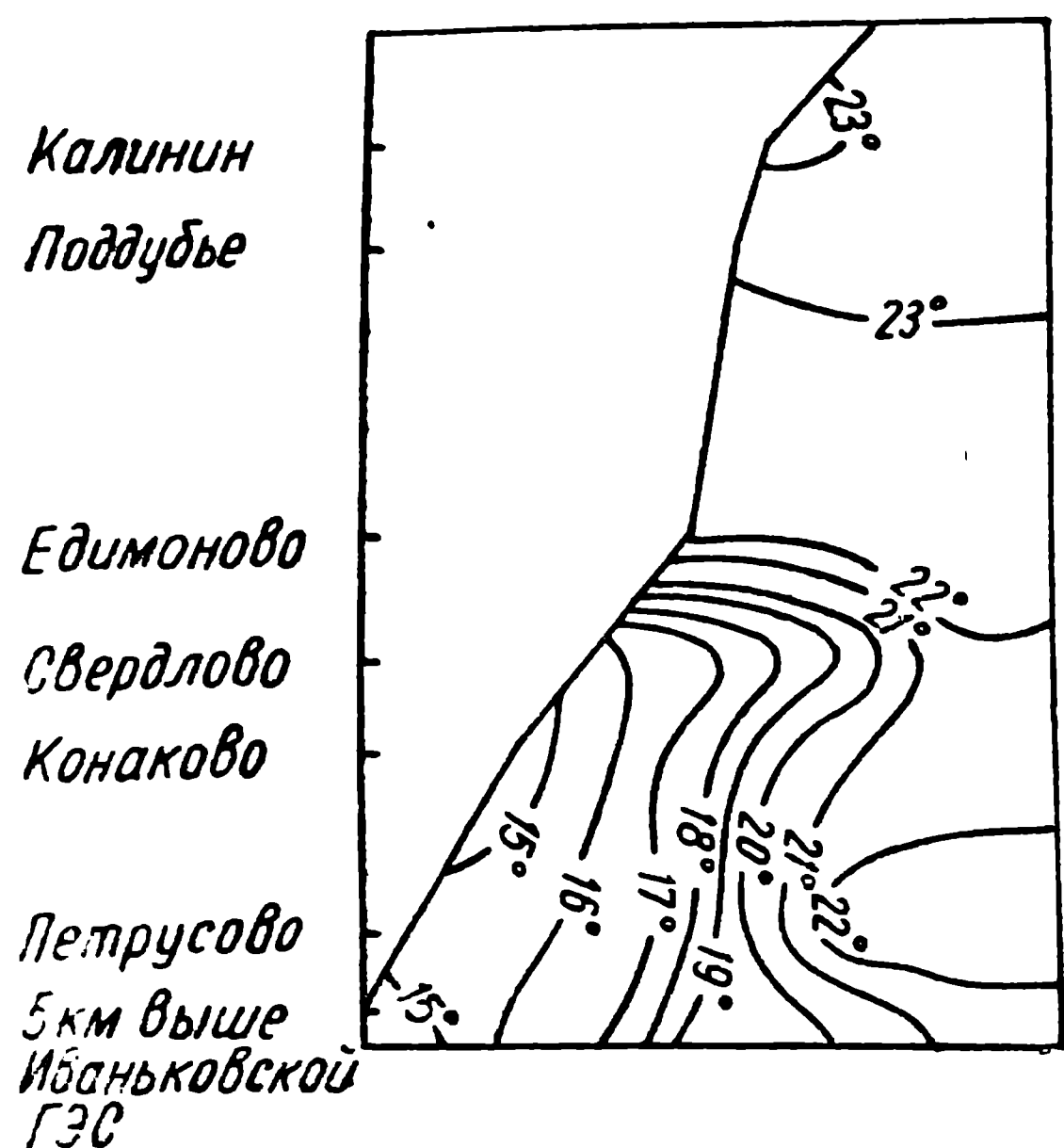


Рис. 6. Распределение температуры по длине Ивановского водохранилища 14, 15 июня 1961 г. (по В. И. Рутковскому).

преимущественно придонных слоев руслового участка, и принос тепла в него превышает вынос тепла в Угличское водохранилище (Рутковский, 1964).

В литературе имеются указания на слабо выраженную стратификацию вод Ивановского водохранилища и даже на ее отсутствие (Ласточкин, 1935; Щербаков, 1941). Однако данные Н. А. Зиминской (1959), В. И. Рутковского (1964) и ряда других авторов свидетельствуют о том, что температурная стратификация вод в этом водоеме, особенно в период интенсивного прогрева, довольно частое явление. Максимальные значения температуры воды в водохранилище достигают 25° и наблюдаются в зависимости от особенностей погоды летом в конце июня, в июле и начале августа. Так, за период 1951—1962 гг. наиболее высокая в году температура воды отмечалась в июне два раза, в июле — шесть раз, в августе — четыре раза (Тачалов, 1966).

Понижение температуры воды осенью, как и повышение ее весной, происходит неравномерно. Медленнее охлаждаются воды Ивановского плеса, и в октябре — ноябре температура воды здесь на 1—2° выше, чем в Волжском и Шошинском плесах. Так, если в последней декаде октября среднее многолетнее зна-

чение поверхностной температуры в Ивановском плесе  $5,6^{\circ}$ , то в Волжском —  $4,5^{\circ}$  (Зиминова, 1959). Осенью водная масса находится в состоянии близком к гомотермии.

В зимний период термические различия между отдельными участками водохранилища отсутствуют. По характеру вертикального распределения температур зимой выделяются лишь впадины затопленных озер, где прослеживается обратная стратификация с температурой у дна  $2-3^{\circ}$ . Сходная картина наблюдается в первой половине зимы и вблизи плотины, где температура воды придонного слоя бывает выше  $1^{\circ}$ . Толщина ледяного покрова по длине водохранилища меняется незначительно. Максимальная толщина льда наблюдается в марте: на приплотинном участке она равна  $60-80$  см, у г. Конаково —  $40-60$  см.

Анализ годового температурного цикла позволяет говорить о том, что ранней весной и зимой температурные условия в Ивановском водохранилище приближаются к речным, тогда как летом и осенью они близки к озерным. В связи с сооружением Конаковской ГРЭС и поступлением в водоем большого объема подогретых вод может существенно изменяться естественный термический режим той части водохранилища, которая принимает сбросные воды станции.

Конаковская ГРЭС построена на правом берегу нижней части Волжского плеса. Для подачи воды к насосной станции вырыт водопроводный канал с глубиной, примерно равной глубине водохранилища на русле Волги. Как указывалось, проектная мощность ГРЭС составляет 2400 тыс. кВт, и для обеспечения нормальной работы станции потребуется воды свыше  $90$  м<sup>3</sup>/сек. В 1967 г. строительство станции не было закончено и она потребляла воды  $30-40$  м<sup>3</sup>/сек, а с октября —  $40-50$  м<sup>3</sup>/сек. Отработавшая вода через открытый водоотводящий канал длиной 3 км и шириной 50 м, заканчивающийся водосливом, поступает в Мошковический залив водохранилища. Последний имеет примерно такую же длину, как и канал, но ширина его по ходу воды увеличивается от 100 до 500 м. Таким путем подогретые воды отводятся из района электростанции и сбрасываются в водохранилище примерно в 10 км ниже водозабора, в верхнюю часть Ивановского плеса.

В феврале 1967 г. при рекогносцировочном обследовании водоема и в заливе и в водохранилище по ходу подогретых вод была обнаружена обширная полынья. Длина ее оказалась равной 4,5 км, а максимальная ширина — около 1 км. В конце зимы размер полыньи заметно увеличился, и нижняя кромка ее по руслу Волги продвинулась в сторону Ивановской плотины. Наличие полыньи значительно осложнило организацию работ, поскольку в зимний период пришлось использовать плавательные средства. Для выяснения влияния сброса теплых вод Конаковской ГРЭС на температурный режим водохранилища,

в частности на температуру воды Иваньковского плеса, нами была разработана программа исследований и определен район работ (рис. 7). Сбор материалов осуществлялся в экспедициях; наблюдения зимой проводились со льда, а в полынье с лодки, в летне-осенний период — с экспедиционных судов. Наблюдения

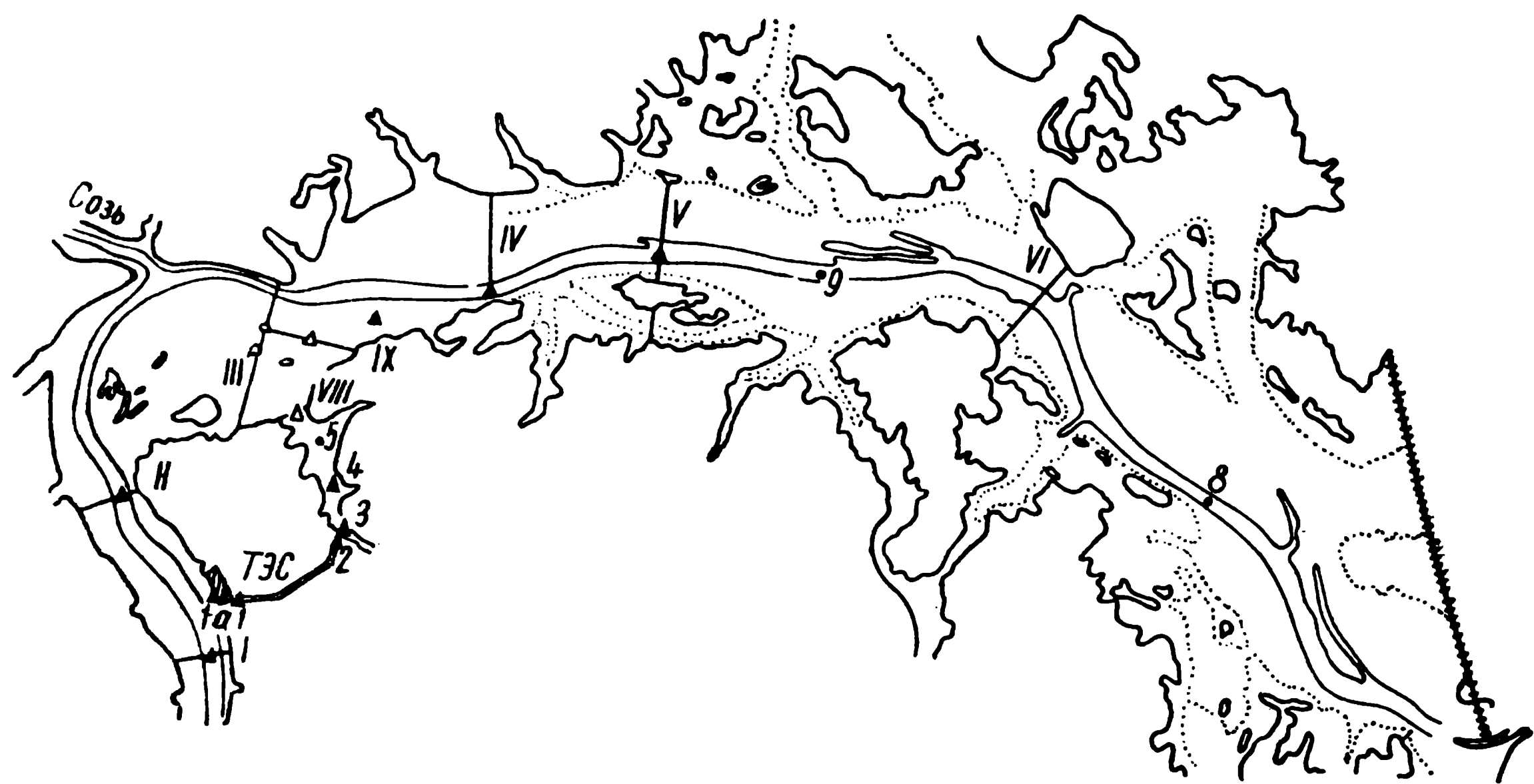


Рис. 7. Местоположение гидрологических станций и разрезов в районе работ (треугольниками отмечены станции зимних наблюдений). Римские цифры — номера разрезов.

были начаты в феврале 1967 г. Всего за первый год работ выполнено 11 рейсов (табл. 4).

Таблица 4

Распределение рейсов и объем наблюдений

Номер рейса	Дата	Уровень водохранилища, м	Число станций, измерений, отобранных проб воды				
			станции	измерения температуры воды	измерение электропроводности воды	пробы для определения кислорода	пробы для определения цветности
1	9, 10.II 1967	122,6	34	165	165	7	—
2	10—14.III 1967	120,2	43	248	13	13	—
3	4—6.V 1967	124,1	55	354	340	31	67
4	30.V—1.VI 1967	124,1	59	319	319	25	33
5	27—29.VI 1967	123,8	65	344	343	29	26
6	22—24.VII 1967	123,7	58	342	329	22	21
7	22—24.VIII 1967	123,6	57	343	339	24	24
8	26—28.IX 1967	123,6	60	371	367	18	22
9	22—24.X 1967	123,7	52	292	292	19	19
10	15,16.XI 1967	124,0	36	197	194	17	18
11	18—22.I 1968	—	29	191	174	6	—



Первоначально район работ охватывал участок водохранилища от 2 км выше водозабора ГРЭС до 5 км ниже его. Работы проводились на 6 гидрологических разрезах (29 станций). Кроме того, в канале, заливе и полынье по ходу теплых вод было намечено еще 5 отдельных станций. Весной 1967 г. границы исследуемого участка были расширены на 10 км в сторону Ивановской плотины, и с учетом двух дополнительных разрезов общее число станций увеличилось до 55. Начиная с марта 1968 г. наблюдениями охвачен весь Ивановский плес.

Расположение разрезов и отдельных станций выбрано с таким расчетом, чтобы наиболее полно осветить распространение подогретых вод в водоеме и составить представление об условиях их смешения с водами водохранилища. Решение этих вопросов при известном объеме теплых вод и зафиксированной исходной температуре позволит выявить их роль в искусственном нагревании водохранилища и определить интенсивность этого процесса в различные годы и сезоны. Измерение температуры воды производится электротермометрами с полупроводниковыми датчиками. Для одновременного определения температуры и электропроводности в экспедиционных условиях широко используются термокаппаметры (Ершова, Эдельштейн, 1966). При анализе материалов нами за основу принят годичный цикл наблюдений. В связи с этим рассмотрение данных проводится последовательно по сезонам года.

Первое обследование Ивановского водохранилища в районе Конаковской ГРЭС было выполнено в феврале 1967 г. (Буторин и др., 1968). В это время станция сбрасывала около 30 м<sup>3</sup>/сек воды. Температура воды в водозаборном канале станции составляла 0,4—0,5° у нижней кромки льда и 1,4° в придонном слое и соответствовала температуре на русловой вертикали I разреза, расположенного выше водозабора. После прохождения воды через конденсаторы температура ее повышалась до 9,5°. Несмотря на низкую температуру воздуха и скорость течения около 0,5 м/сек, в отводящем канале вода охлаждалась не более чем на 0,5° и в залив поступала с температурой 9°. Частичное охлаждение подогретых вод происходит уже в заливе: здесь на расстоянии 1 км ниже водослива температура воды в феврале 1967 г. понизилась до 7°, а при выходе из залива в водохранилище она изменялась от 0,8° в поверхностном слое у левой кромки полыньи до 5,6° у правой кромки. В придонном слое значения температуры соответственно были 3,2 и 5,5°. У кромки льда в конце полыньи температура равнялась 0,5° в поверхностном слое и 4° у дна.

Поток теплых вод прослеживался и ниже полыньи подолдом. Так, на разрезе IV, расположенном в 4,5 км ниже залива, температура воды на глубине 1 м изменялась от 0,3° у левого берега до 1,4° у правого, а в придонном слое — соответ-



венно от  $1,5$  до  $2,5^{\circ}$ . Ядро потока располагалось на глубине  $5-11$  м в центральной части русла Волги и имело температуру до  $3^{\circ}$  (рис. 8). Толщина льда по разрезу была неодинакова —  $30$  см у правого берега и  $50$  см у левого. Расчет показал, что за счет поступления теплых вод ГРЭС средневзвешенная температура воды на IV разрезе повысилась на  $0,8^{\circ}$ , а в русловой части потока — на  $1-1,3^{\circ}$ .

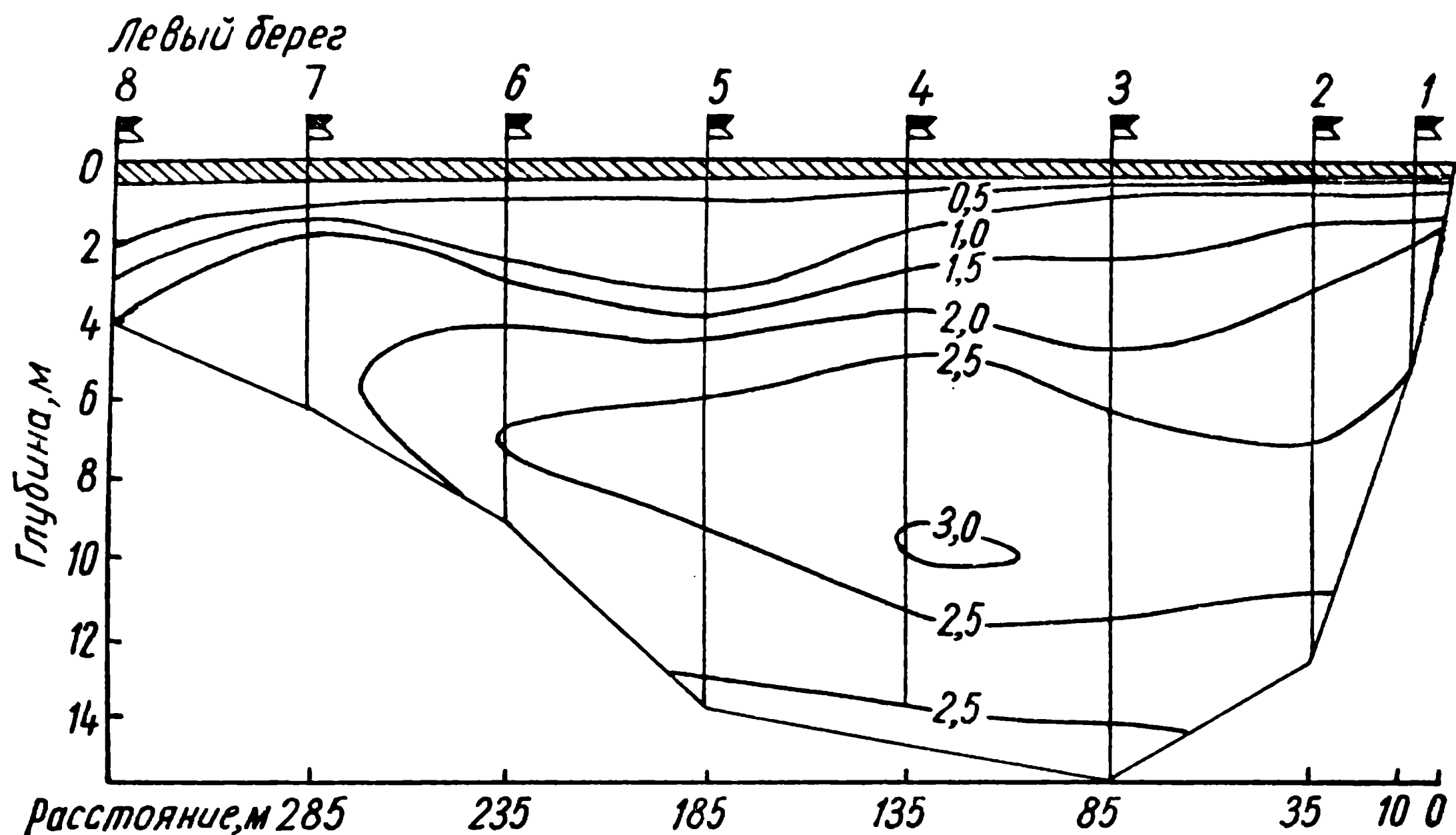


Рис. 8. Распределение температуры на IV разрезе 9 февраля 1967 г. Вверху по горизонтали — номера вертикалей, на которых измерялась температура воды.

Аналогичное распределение температуры воды наблюдалось и в марте 1967 г. Температура воды в волжском потоке выше водозабора была такой же, как в феврале —  $0,4-0,5^{\circ}$ . Но в отводящий канал вода поступала уже с температурой  $13,8^{\circ}$ . Как и в предшествующий месяц, охлаждение воды в канале было незначительным, и несмотря на  $3$ -метровый перепад на водосливе, образовавшийся в связи с понижением уровня водохранилища, температура воды, поступающей в Мошковический залив, составляла около  $13^{\circ}$ . В марте при повышении температуры воздуха охлаждение воды в заливе шло медленнее, чем в феврале, и в водохранилище вода поступала с температурой около  $11^{\circ}$ . Кромка полыни продвинулась к этому времени за IV разрез, поэтому наблюдения на разрезе были проведены лишь в полынье, над правым склоном русла. Измерения показали, что от февраля к марту температура воды здесь повысилась в поверхностном слое от  $0,5$  до  $6,4^{\circ}$ , в придонном — от  $2,5$  до  $5,5^{\circ}$ . Даже в конце полыни температура воды на поверхности и у дна оставалась равной  $6,4$  и  $5,5^{\circ}$ . Повышение средней температуры воды на поперечнике, выполненном ниже IV разреза, по сравне-

нию с районом водозабора в это время составляло уже около  $2^{\circ}$ , т. е. было заметно больше, чем в феврале, хотя расход сбросных вод оставался прежним — около  $30 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

В мае станция забирала и сбрасывала воды  $20 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Температура воды в водохранилище и в водозаборном канале составляла  $10,5^{\circ}$ . В отводящий канал вода поступала с температурой  $20^{\circ}$  и практически с той же температурой сбрасывалась в залив. Весной при высоком уровне водохранилища процесс выхолаживания подогретых вод в Мошковическом заливе происходит в основном за счет смешения теплых вод, идущих верхней частью водной толщи, с более холодными водами водохранилища, занимающими придонные слои. В результате температура воды на выходе из залива в верхней половине оказалась равной  $15\text{—}16^{\circ}$ , а в придонном слое —  $12^{\circ}$ .

В отличие от зимы весной четко выраженного потока с повышенной температурой в толще водохранилища не наблюдается: более теплые воды сосредоточены в поверхностном слое, а распространение их определяется прежде всего ветром. Так, в начале мая 1967 г. юго-восточным ветром воды были отнесены от залива к северному берегу водохранилища, где температура повышалась на  $1,5^{\circ}$ . В конце мая — начале июня устойчивым ветром северного и северо-восточного направления теплые воды были продвинуты вверх по водоему выше створа Конаковской ГРЭС, т. е. на  $8\text{—}9 \text{ км}$  от места выхода залива (рис. 9). На I разрезе температура этих вод снизилась до  $17,5^{\circ}$ , оставаясь на  $1,5^{\circ}$  выше температуры воды, поступающей в плес, а глубина проникновения достигала  $3\text{—}4 \text{ м}$ . Следует учесть, что среднесуточный расход станции составлял в это время всего около  $20 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Перемещаясь по направлению ветра, теплые воды в русловой части водохранилища частично включаются в общий поток, направленный в сторону плотины, и повышают его температуру. Поэтому если до сооружения Конаковской ГРЭС в Иваньковском водохранилище весной температура воды по ходу ее постепенно понижалась, то теперь в районе поступления подогретых вод она повышалась в среднем на  $1,5\text{—}2^{\circ}$ , а на более удаленных участках — на  $1\text{—}1,5^{\circ}$ . Так, на расстоянии  $14\text{—}15 \text{ км}$  ниже Мошковического залива температура воды в русловой части водоема в начале мая 1967 г. была почти на  $1^{\circ}$  выше, чем в районе водозабора.

Съемки, проведенные в июне, июле и августе, показали, что в это время основным фактором, определяющим направление потока подогретых вод, являлось стоковое течение. Значительное увеличение забора воды из водохранилища в канал им. Москвы, а также расход воды на шлюзование обеспечили необходимую проточность водоема, при которой подогретые воды распространялись главным образом в сторону плотины, особенно если направления стокового и дрейфового течений совпадали.

Наиболее далекое продвижение теплых вод по ходу основного потока отмечалось в конце июня, когда при высокой температуре воздуха и ветре преимущественно западной четверти теплые воды с температурой  $24\text{--}25^\circ$  прошли за IV разрез (рис. 10, а), а на V разрезе температура воды верхнего слоя 5—7 м в русловой части была на  $1\text{--}2^\circ$  выше, чем, например, температура на том же участке III разреза. В конце июля при ветре неустойчивого направления основная масса теплых вод двигалась также в сторону гидроузла, и только небольшая часть вод перемещалась по ветру к северо-западу. Аналогичное распространение теплых вод отмечалось и в конце августа, когда при том же расходе станции —  $20\text{--}25\text{ м}^3/\text{сек}$  и при ветре (рис. 10, б) намечалось как бы два потока: один — более мощный — в сторону плотины, другой — более

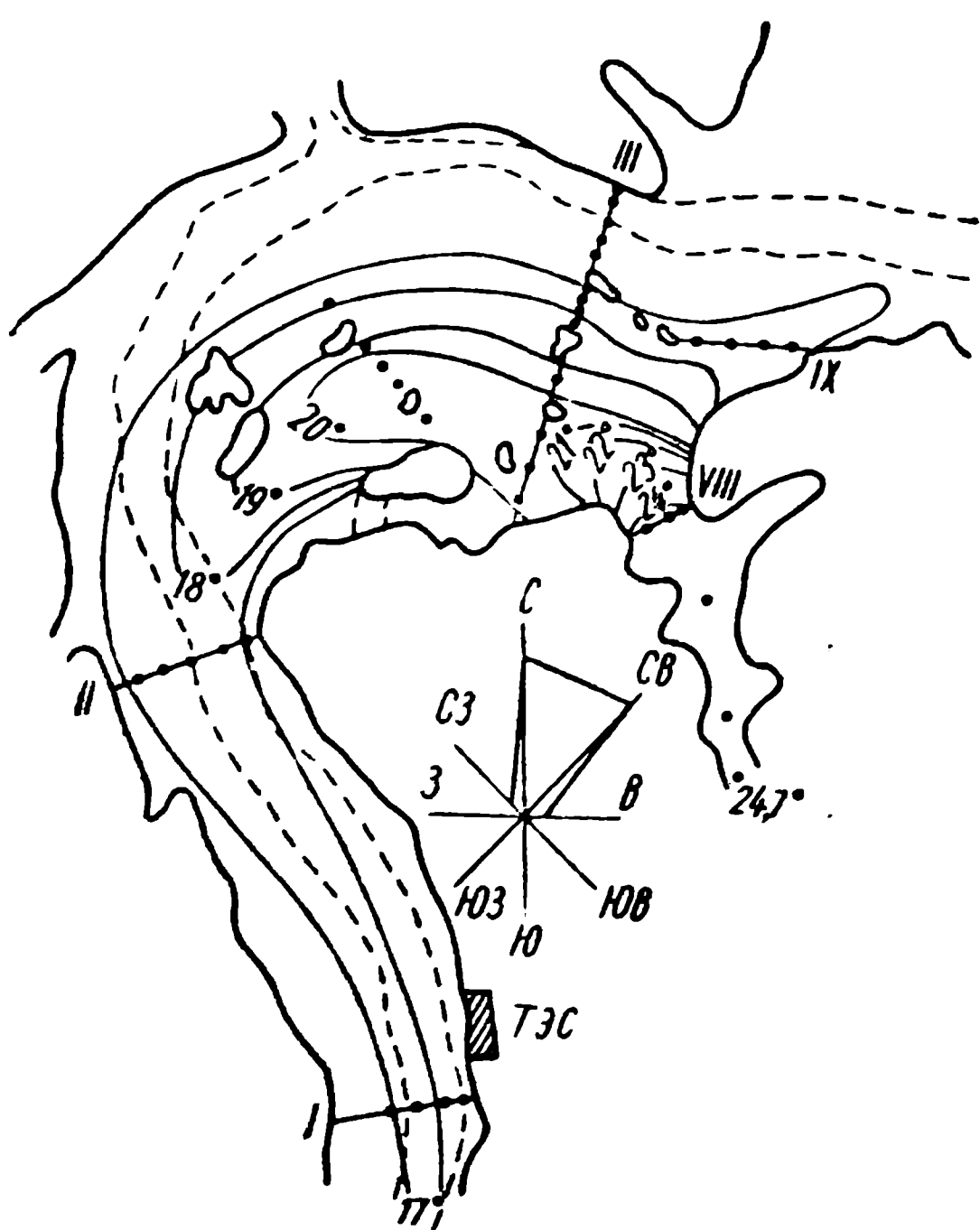
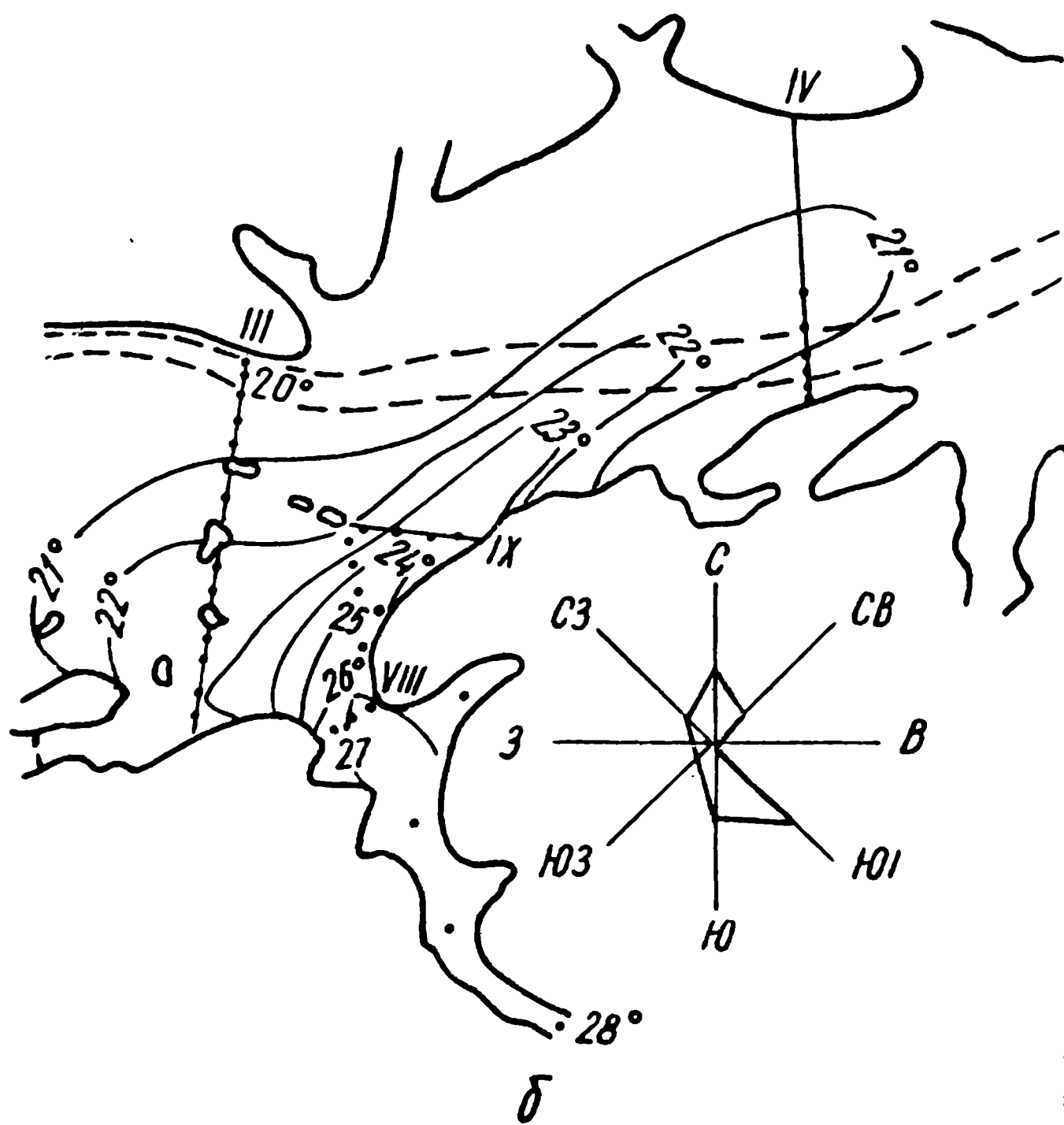
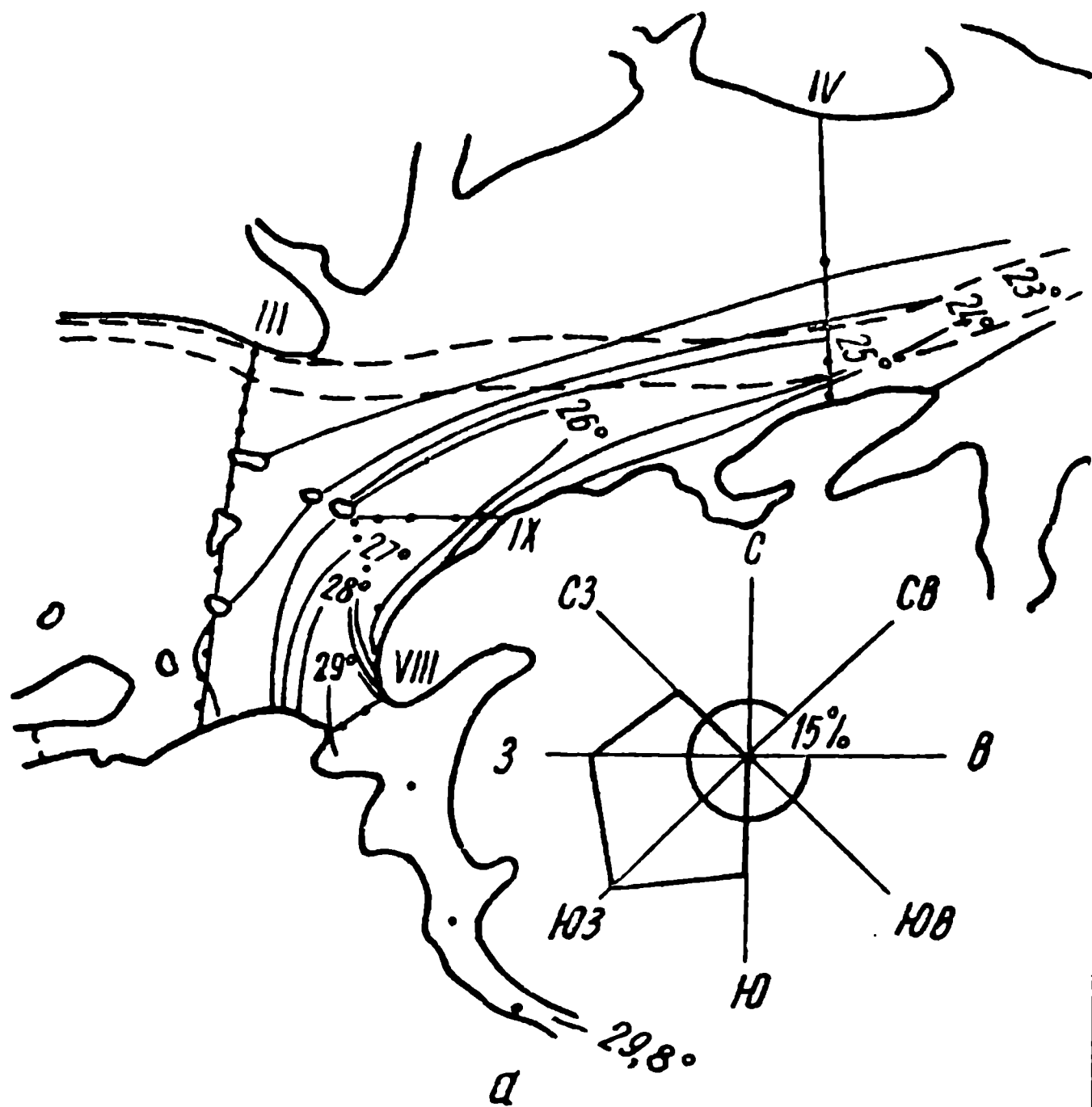


Рис. 9. Распространение подогретых вод 31 мая, 1 июня 1967 г. Роза ветров за 27.V—1.VI. Римские цифры — номера разрезов.

Рис. 10. Распространение подогретых вод 27, 28.VI (а) и 23, 24.VIII (б). Розы ветров за 24—28.VI и 20—24.VIII.

слабый — шел почти в противоположном направлении на запад от залива.

Осенние съемки, произведенные в конце сентября при расходе сбросных вод  $30 \text{ м}^3/\text{сек}$ , и в октябре и ноябре при расходе, составляющем до  $40 \text{ м}^3/\text{сек}$ , дали однотипное распространение теплых вод: во всех случаях по выходе в водохранилище поток поворачивал в сторону плотины, продвигаясь главным образом мелководьем близ правого берега водохранилища, что, очевидно, обусловлено изгибом русла Волги и направлением основного потока водохранилища. Охлаждение подогретых вод шло в это время значительно быстрее, чем весной и летом, не только за счет большей разности температуры, но и благодаря усилению ветрового перемешивания водной толщи. В сентябре влияние подогретых вод еще прослеживалось в поверхностном слое на IV разрезе, и температура была примерно на  $1^\circ$  выше, но в октябре и особенно в ноябре теплые воды смешивались с водами водохранилища, не доходя до IV разреза. При этом отмечалось как бы опускание теплого потока в толщу водоема (рис. 11).

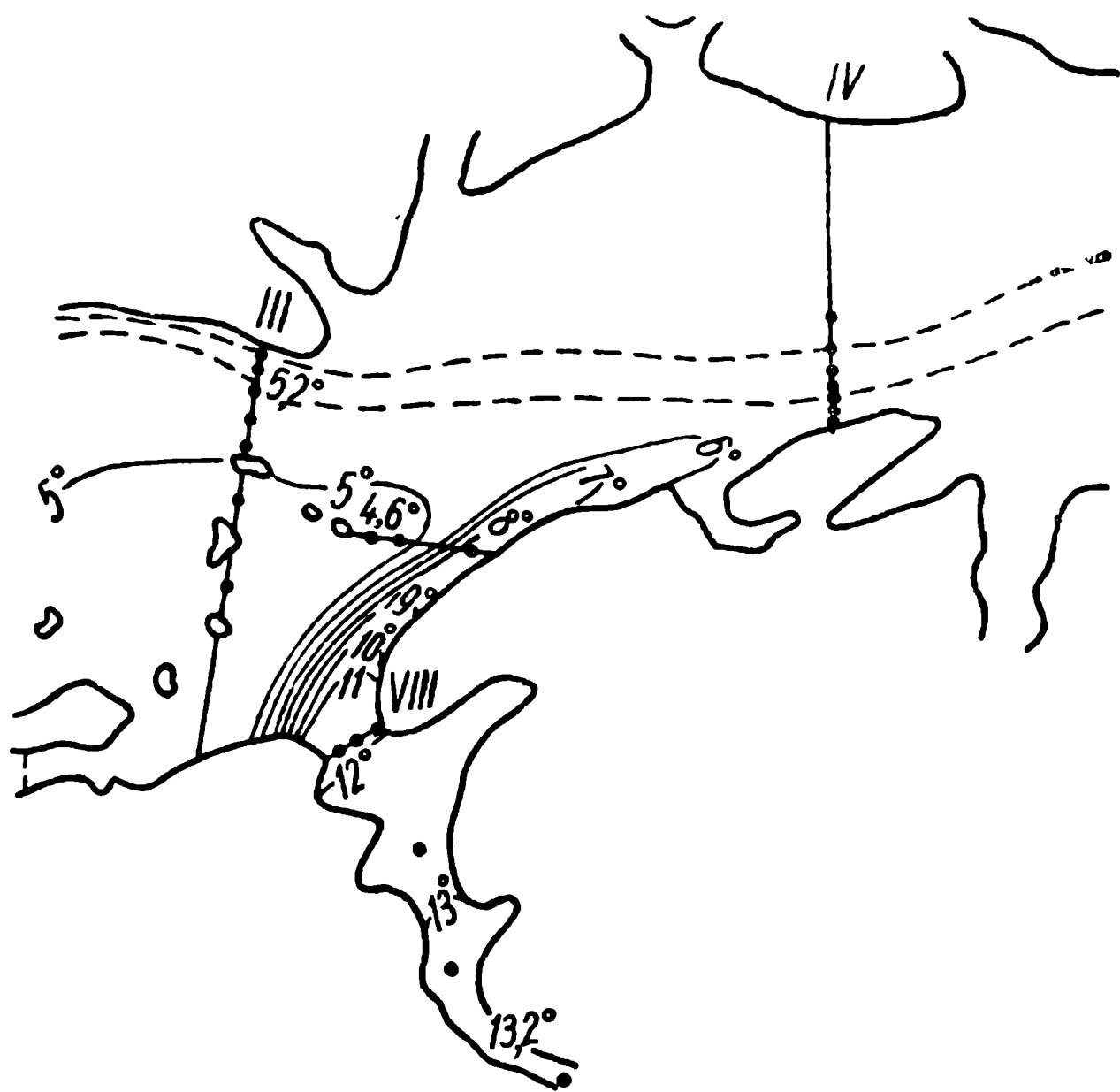


Рис. 11. Распространение подогретых вод 15, 16.XI 1967 г.  
Римские цифры — номера разрезов.

В декабре 1967 г. расход станции увеличился до  $50 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Наблюдения, проведенные в январе 1968 г. при этом расходе станции, показали, что с увеличением расхода теплых вод их влияние на ледово-термический режим прилегающего участка водоема усилилось. Размеры полыньи зимой 1968 г. были несколько больше, чем в то же время 1967 г. В частности, в январе нижняя кромка полыньи проходила между IV и V разрезами и только при понижении температуры воздуха до  $-25-30^\circ$  размеры полыньи сократились.

В январе 1968 г. температура воды в водоподводящем канале была  $1,2^\circ$ . В отводящий канал вода поступала с температурой около  $8^\circ$ , а в залив — с температурой  $7,5^\circ$ . Несмотря на низкую температуру воздуха, выхолаживание потока в заливе было незначительно и на выходе из залива температура воды была близка к  $6^\circ$ . В полынье в верхнем метровом слое температура не опускалась ниже  $3^\circ$ , а большая часть воды сохраняла темпе-



ратуру 4,5—5°. Из-за непрочного льда определить границы потока подогретых вод на IV разрезе не удалось. Установлено лишь, что над руслом на глубине 1 м температура воды составляла 1,2°; на 3 м она повышалась до 3°, на 7,5 м — до 4°, на 10 м — до 5,5°, а у дна (14,5 м) равнялась 5,7°, т. е. бо́льшая часть водного сечения оказалась занятой подогретыми водами, смешанными с водой водохранилища.

На V разрезе, расположенном в 3,5 км ниже разреза IV, величина и распределение температуры почти не изменилось и бо́льшая часть потока имела температуру от 2 до 5,5° (рис. 12). Толщина льда на разрезе менялась от 15 см у правого берега до 42 см у левого.

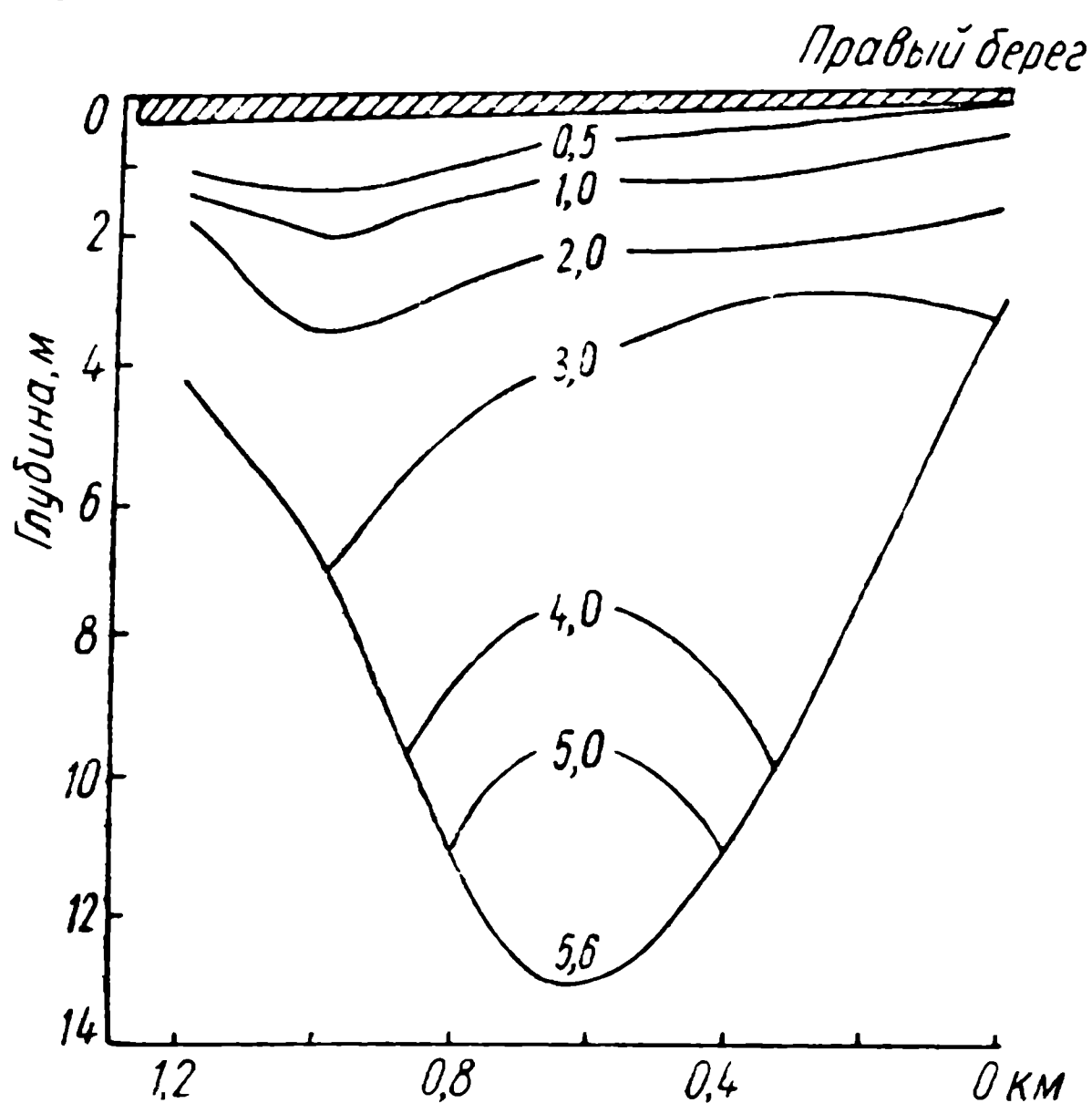


Рис. 12. Расположение изотерм на V разрезе 22.1.1968 г.

Средняя температура русловых вертикалей на IV и V разрезах составляла 4,2 и 4° против 1,5° в русле перед водозабором электростанции. Небольшая потеря тепла между IV и V разрезами дает основание считать, что влияние теплых вод распространялось в это время на бо́льшую часть Иваньковского плеса.

Представляют интерес сезонные особенности вертикального распределения температуры по ходу подогретых вод в Мошковическом заливе и водохранилище.

На рис. 13 показано типичное для каждого сезона распределение температуры воды на этом участке. Зимой (рис. 13, а) весь залив занят сбросными водами, температура которых по глубине практически одинакова и равномерно понижается по ходу воды. Так же равномерно охлаждаются теплые воды и в начале полыньи. Расслоение водной толщи начинается вблизи ее нижней кромки, где в поверхностном слое остаются более холодные воды, а ближе ко дну располагаются более теплые. Такое расположение подогретых вод сохраняется зимой на всей акватории их распространения.

Весной (рис. 13, б) вертикальная стратификация водной толщи наблюдается уже в заливе. Здесь верхним слоем глубиной 2—2,5 м идут подогретые воды, а у дна прослеживаются более холодные, их температура близка к температуре воды водохранилища. В придонном слое граница между теплыми и холодными водами располагается чаще у ст. 4. В течение лета (рис. 13, в) по глубине и длине залива температура постепенно вырав-



нивается, и вертикальная стратификация сохраняется лишь в русле ручья, выходящего из залива, где она отмечается и осенью. И весной и летом в водохранилище подогретые воды распространяются только верхним, преимущественно двухметровым слоем. Проникновение подогретых вод на большие глубины наблюдается только при значительном усилении волнения и перемешивания водной толщи.

Осенью температура воды в заливе практически одинакова (рис. 13, *г*), в водохранилище с увеличением вертикального объема смешение подогретых и холодных вод идет быстрее, чем весной и летом, поэтому на мелководных участках изотермы проходят почти вертикально, а под глубоководными — опускаются на глубину 4—5 м.

Таким образом, годовой цикл наблюдений, проведенных в Иваньковском плесе водохранилища в 1967—1968 гг., показал значительное влияние подогретых вод Конаковской ГРЭС на ледовотермический режим этого района. Зимой в Мошковическом заливе и в водохранилище по ходу подогретых вод постоянно существует полынья длиной до 5 км и более. Толщина льда на значительном пространстве близ полыньи уменьшается до 10—20 см против 50—70 см. Еще больше изменился температурный режим этого участка водоема. Распространение подогретых вод зимой в нижней части водной толщи, а летом — в верхних слоях способствует усилению ее температурного расслоения и изменению устойчивости. Зимой средняя температура воды на русловых станциях IV—V гидрологических разрезов повышалась по сравнению с температурой у водозабора электростанции на 1,5—2° при расходе ГРЭС 30 м³/сек и на 2,5—3° при расходе 50 м³/сек. Максимальная

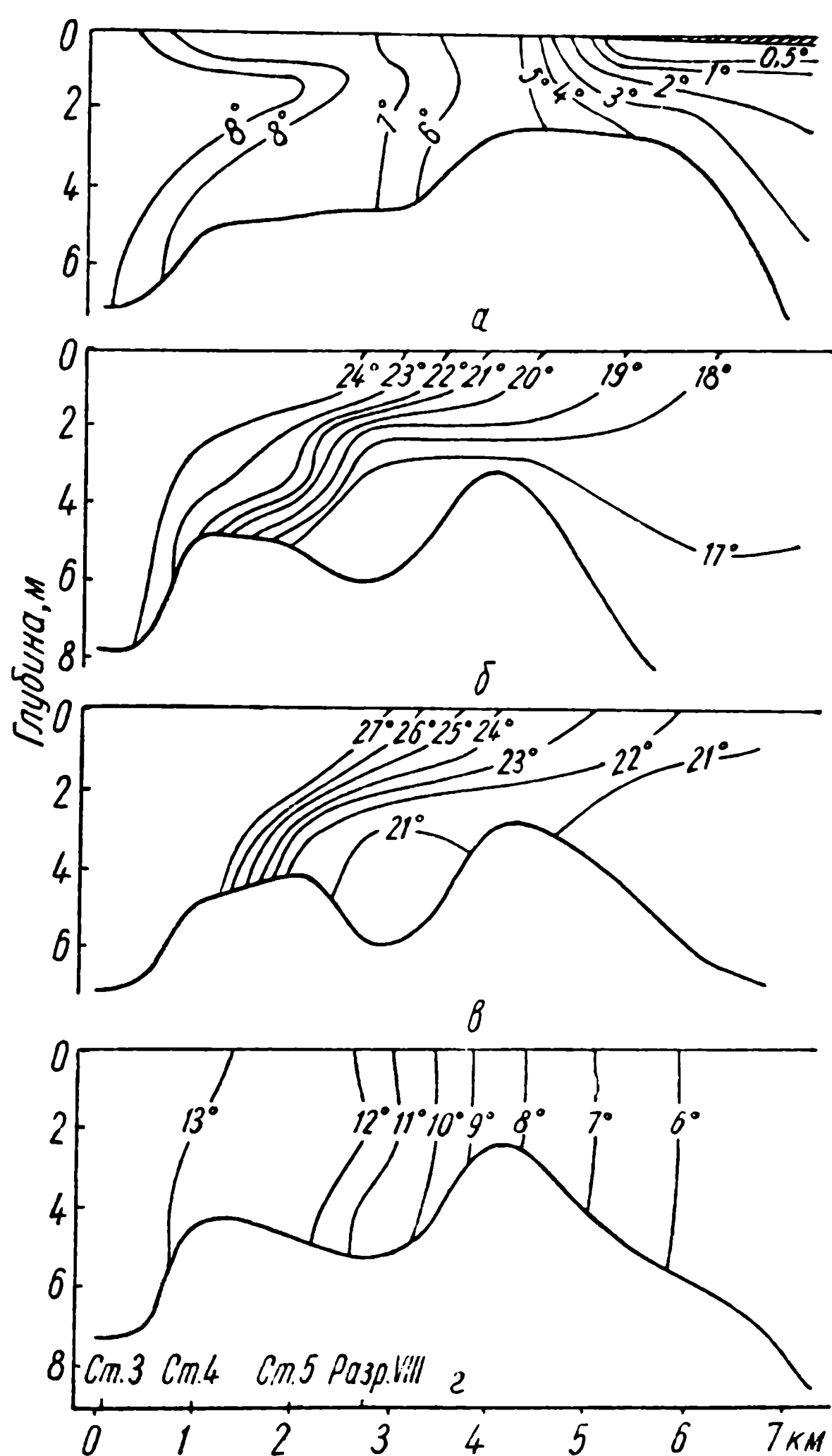


Рис. 13. Вертикальное распределение температуры по ходу подогретых вод в заливе и водохранилище в 1967 г.: 9.II (*а*); 31 V, 1 VI (*б*); 23, 24.VIII (*в*); 15, 16.XI (*г*).

средняя температура воды на русловых станциях IV—V гидрологических разрезов повышалась по сравнению с температурой у водозабора электростанции на 1,5—2° при расходе ГРЭС 30 м³/сек и на 2,5—3° при расходе 50 м³/сек. Максимальная

температура придонных слоев воды в русловой части водохранилища на тех же разрезах повышалась в январе 1968 г. до  $5,5-5,7^{\circ}$ , летом температура поверхностного слоя достигала  $25-26^{\circ}$ . Влияние подогретых вод в безледный период 1967 г. прослеживалось на участке водохранилища от 8—9 км выше Мошковического залива и до 9—10 км ниже его. В январе 1968 г. при расходе подогретых вод  $50 \text{ м}^3/\text{сек}$  акватория их влияния заметно увеличилась и, очевидно, охватывала большую часть Иваньковского плеса.

Отмеченные выше изменения температурных условий плеса уже в настоящее время оказали заметное влияние на развитие протекающих здесь биологических процессов. Так, по данным Т. Л. Поддубной (1968), сброс подогретых вод хотя и не повлек за собой резких изменений в видовом составе и распределении донного населения, однако повышение температуры грунта зимой и ранней весной привело к повышению биомассы бентоса главным образом на богатых органическими соединениями песчаных серых илах русла и склонов до  $5,7 \text{ г/м}^2$  против  $1,7 \text{ г/м}^2$  за пределами этой зоны. На заиленных почвах в заливе донное население менее обильно, чем на русле и склонах, и по видовому составу и численности не отличается от других участков с тем же грунтом. На всех указанных биотопах обильно развиваются тубифициды. Прогрев дна теплыми водами вызвал у тубифицид сокращение продолжительности температурной диапаузы, что обеспечило сдвиг их сроков размножения примерно на месяц раньше и появление в начале мая дополнительной генерации. К осени эта молодежь успевает созреть и принимает участие в размножении, увеличивая тем самым численность и биомассу бентоса.

Таким образом, уже на первом этапе эксплуатации Конаковской ГРЭС при расходе подогретых вод около  $30 \text{ м}^3/\text{сек}$  произошли заметные изменения не только в ледово-термическом режиме верхней части Иваньковского плеса, но и в ходе некоторых биологических процессов. Несомненно, с дальнейшим увеличением мощности ГРЭС и расходов сбросных вод влияние их на гидрологический и биологический режимы водоема будет усиливаться.

## ЛИТЕРАТУРА

Бакастов С. С. Теплофизические характеристики затопленных грунтов.— В кн.: Продукцирование и круговорот органического вещества во внутренних водоемах. Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР, 13(16). М.—Л., 1966.

Буторин Н. В. К вопросу о проточности Иваньковского и Угличского водохранилищ — Бюлл. Ин-та биол. водохр. АН СССР вып. 3, 1959.

Буторин Н. В., Бакастов С. С., Литвинов А. С. Рекогносцировочное обследование Иваньковского водохранилища в районе Конаковской ГРЭС.— Информ. Ин-та биол. внутр. вод, 2, 1968.

Гавеман А. В. Московское море. Калининское обл. изд-во, 1955.

Ершова М. Г. и Эдельштейн К. К. О методике измерения электропроводности водных масс волжских водохранилищ.— В кн.: Планктон и бентос внутренних водоемов. Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР, 2 (15). «Наука», М.— Л., 1966.

Зайцева Е. А. Водный баланс Иваньковского водохранилища. Рыбинская гидрометобсерватория.— В кн.: Гидрометеорол. режим верхневолжского водохранилища, 3. Гидрометеиздат, Л., 1966.

Зимина Н. А. Элементы гидрологического режима и водный баланс Иваньковского водохранилища.— В кн.: Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР, 2(5). М.— Л., 1959.

Курдин В. П. Грунты Иваньковского водохранилища.— В кн.: Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР, 4(7). М.— Л., 1961.

Ласточкин Д. А. Особенности распространения бентоса Московского моря.— Бюлл. МОИП, серия биол., 48, 4, 1939.

Поддубная Т. Л. Донная фауна Иваньковского водохранилища в зоне сброса теплых вод Конаковской ГРЭС. Первая конференция по изучению водоемов бассейна Волги.— В кн.: «Волга — I». Тольятти, 1968.

Рутковский В. И. Опыт применения скоростной съемки температуры и электропроводности для изучения температурного режима и перемещения водных масс водохранилища.— В кн.: Методы изучения и использования водных ресурсов. «Наука», М., 1964.

Рутковский В. И. и Курдина Т. Н. Водный баланс Рыбинского водохранилища за период 1947—1955 гг.— В кн.: Тр. Ин-та биол. водохр. АН СССР, 1(4), 1959.

Савина В. Д. Уровенный режим Иваньковского водохранилища. Рыбинская гидрометобсерв.— В кн.: Гидрометеорологический режим верхневолжского водохранилища, вып. 3. Гидрометеиздат, Л., 1966.

Себенцов Б. М., Биск Д. И., Мейснер Е. В. Режим и рыбы Иваньковского водохранилища в первые два года его существования.— В кн.: Тр. Воронежск. отд. Всеросс. ин-та пруд. рыбн. хоз-ва, 3, 2. Воронеж, 1940.

Тачалов С. М. Особенности термического режима Иваньковского и Рыбинского водохранилищ.— В кн.: Гидрометеорологический режим верхневолжского водохранилища, вып. 3. Гидрометеиздат, Л., 1966.

Щербаков А. П. Основные черты гидрохимического режима Иваньковского водохранилища.— В кн.: Тр. ЗИН, 7, 1, 1941.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДОЕМОВ — ОХЛАДИТЕЛЕЙ ГРЭС УКРАИНЫ**

*А. Д. КОНЕНКО, С. И. АБРЕМСКАЯ, В. М. КУТОВЕНКО*

Удельный вес тепловых электростанций в общем производстве электроэнергии в СССР составляет 84%. По данным 1968 г., на территории УССР имеются 25 тепловых электростанций, из них 15 с прямоточным водоснабжением и 10 с оборотным.

Введение в эксплуатацию новых энергетических мощностей ГРЭС, мощных энергоблоков значительно увеличивает сброс подогретой воды в реки и водоемы УССР, что должно повлечь за собой резкое изменение их теплового баланса и связанного с ним гидробиологического и гидрохимического режима водоемов. Степень этих изменений может быть различной в разных естественно-географических районах в зависимости от естествен-

## Характеристика водоемов—охладителей ГРЭС Украины

Водохранилище	Год сооруже- ния	Мощность ГРЭС, тыс. квт-ч	Источник питания водоема
Добротворское	1956—1960	1200	Западный Буг
Бурштынское	1965—1966	2500	Гнилая Липа Канал из р. Сев.
Змиевское	1960—1961	1500	Донец
Зуевское	1931	350	р. Крынка
Кураховское (Терновский пруд)	1935	400	р. Волчья
Пруд—охладитель Ворошилов- градской ГРЭС	1963	2400	р. Сев. Донец
Штеровское	1926—1932	138	р. Миус
Старобешевское	1958	2300*	р. Кальмиус
Мироновское	1956	500	р. Лугань
Криворожское	1966	900	Канал Днепр— Кривой Рог

\* В конце 1968 г.

ного уровня трофии водоемов, степени загрязнения, мощности ГРЭС, условий водообмена.

В настоящей статье на основании натурных наблюдений, обобщения архивных и литературных материалов дана сравнительная гидрохимическая характеристика водоемов-охладителей, находящихся в различных ландшафтных районах УССР, с целью выяснения степени отклонения их режима от естественного. Это, как мы полагаем, очень важно для определения закономерностей формирования и прогноза гидробиологического и гидрохимического режима водоемов-охладителей, находящихся в различных ландшафтных условиях.

### ОБЪЕМ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выяснения влияния сброса нагретых циркуляционных вод ГРЭС на гидрохимический и гидробиологический режим водоемов-охладителей нами с 1965 по 1968 г. изучался гидрохимический режим водоемов—охладителей Кураховской, Зуевской, Ворошиловградской, Криворожской и Старобешевской ГРЭС, а также производился сбор и анализ архивных материалов по режиму водоемов — охладителей Штеровской, Бурштынской и Добротворской ГРЭС.

Гидрохимический режим водоемов-охладителей изучался синхронно с гидробиологическими исследованиями путем стационарных наблюдений в различные сезоны года (зима, весна, лето, осень). Натурные наблюдения осуществлялись на участках аква-

Таблица 1

Объем водо- хранилища, млн. м <sup>3</sup>	Длина, км	Ширина, км	Средняя глу- бина, м	Площадь зер- кала при НПГ, км <sup>2</sup>	Площадь при ГМО, км <sup>2</sup>	Температура воды, °С		
						средняя годо- вая	средняя за вегета- ционный период	средняя зимняя
11,0	10	—	1,5—2	6,95	—	13—14	17,8	6,1
49,9	—	—	3,9	12,6	—	12—14	18,7	5—6
53,1	5	3,0	4,25	12,5	—	11—12	17,0	3,7
6,68	7,0	0,6	2,5	2,5	—	17—18	26,0	10
42,8	5	2	4,0	8,25	7,35	15,1	19,5	6,2
10,6	—	—	3,0	2,35	—	14—16	—	—
3,0	4	0,6	3,0	1,0	—	18,6—21,8	23,0	9,4
44,0	15,0	0,8	4,9	9,0	4,86	18—22	19—26	5—13
21,5	8,5	0,5	4,6	4,5	—	14—15,3	19,5	7,0
72,0	—	—	4,6	15,2	—	12—14	17,5	5,0

тории водоемов с различным температурным режимом на 3—6 станциях.

Всего за период исследования было проведено 32 экспедиции. Собрано и проанализировано более 500 проб воды (около 10 000 определений) и 70 проб донных отложений. Анализы проб воды производились стандартными, принятыми в гидрохимических исследованиях методами — определялся солевой состав воды, биогенные элементы, органическое вещество, растворенные газы.

Водоемы — охладители ГРЭС СССР (табл. 1) расположены главным образом в лесостепной и степной зонах. В лесостепной зоне находятся водохранилища Бурштынской и Добротворской ГРЭС, водохранилища Змиевской ГРЭС — на границе степной и лесостепной зоны. Основное количество водоемов-охладителей находятся в степной зоне и в области Донецкого края (водохранилища Криворожской, Зуевской, Ворошиловградской, Кураховской и Старобешевской ГРЭС). Условия формирования гидрохимического режима перечисленных водоемов различны как по характеру естественно-географических факторов, определяющих ионно-солевой состав вод и его изменение во времени, условия трансформации органических и биогенных веществ в водоемах, так и по степени и характеру влияния антропогенного фактора — деятельности человека.

Естественные условия формирования гидрохимического режима водоемов-охладителей, расположенных в лесостепной зоне, определяются влиянием широко распространенных на их водосборах карбонатных пород и богатых карбонатами почв.



В Западной Лесостепи формирование водно-солевого режима водоемов происходит в условиях теплого бореального климата. В восточных районах Лесостепи климат отличается более выраженной континентальностью.

Гидрохимический режим большинства исследованных водоемов формируется в условиях степного засушливого климата под влиянием засоленных сульфатами почво-грунтов. На естественный гидрохимический фон, определяемый этими факторами, в водоемах-охладителях накладывается влияние антропогенных факторов, одни из которых являются общими как для водоемов-охладителей, так и для других водоемов, а также для малых рек, другие — специфическими. К первым относится влияние сточных вод (промышленных и бытовых) — фактор, приобретающий на современном этапе весьма важное значение в гидрохимическом режиме рек и водоемов. Ко второй группе — специфических факторов — относятся условия эксплуатации водоемов-охладителей — сброс в них нагретых циркуляционных вод, определяющий тепловой баланс и температурный режим водоемов-охладителей. Антропогенное загрязнение водоемов Украины в определенной степени имеет региональный характер — наиболее загрязняются водоемы промышленных южных районов Украины и Донецкого бассейна. Влияние сброса циркуляционных вод имеет более ограниченный локальный характер и зависит от мощности станции и от размеров и морфометрических особенностей водоемов.

По характеру теплового баланса водоемов-охладителей различают следующие водоемы:

Водоемы с минимальным перегревом, с удельной тепловой нагрузкой в пределах  $1—2 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки и превышением температуры воды в жаркую декаду на  $0,5—1,5^\circ \text{C}$  выше естественной. Эти водоемы удовлетворяют санитарные нормы по температурному режиму (к ним, например, относятся Кураховское и Криворожское водохранилища).

Водоемы с умеренным перегревом, с удельной тепловой нагрузкой  $3—4 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки и превышением средней естественной температуры (в жаркую декаду) на  $5—6^\circ \text{C}$ . К этой группе относятся водоемы с температурой, превышающей санитарные нормы в 1,5—2 раза (р. Сев. Донец в районе Ворошиловградской ГРЭС, оз. Лиман — водоем — охладитель Змиевской ГРЭС).

Водоемы с сильным перегревом, с удельной тепловой нагрузкой  $5—6 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки и превышением средней температуры воды более чем на  $6^\circ \text{C}$ , т. е. в три раза и более превышающей допустимую санитарную норму (Зуевское водохранилище, пруд — охладитель Ворошиловградской ГРЭС и Старобешевское водохранилище) (см. статью М. П. Пидгайко в этом же сборнике).

Водоемы-охладители различаются по морфометрическим

характеристикам и по источникам питания. Среди исследованных водоемов имеются русловые водохранилища, сооруженные на малых реках (Добротворское, Бурштынское, Зуевское, Кураховское, Старобешевское, Штеровское, Мироновское) и наливные — копаные или одамбированные водоемы, наполняющиеся речной водой из близлежащей реки или магистрального канала (Змиевское и Криворожское). Для сравнительной гидрохимической характеристики водоемов-охладителей рассмотрим в региональном плане гидрохимический режим водоемов, характерных для определенных физико-географических и естественноисторических районов.

Добротворское водохранилище (гидрохимический режим его описан в статье Н. Т. Наталюк и Б. А. Шиманского в настоящем сборнике) является примером руслового водоема-охладителя, характерного для западного Полесья. По удельной тепловой нагрузке оно должно быть отнесено к первой группе — группе наименее перегретых водоемов.

По составу главных ионов вода водохранилища аналогична водам питающей его реки Западного Буга. По классификации О. А. Алекина она относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, преимущественно ко второму типу, к умеренно минерализованным водам. В результате сильного загрязнения питающей реки и водохранилища бытовыми и промышленными стоками в воде водохранилища отмечается высокая концентрация аммонийного азота и нитритов. Аккумуляция большого количества органических веществ на дне водоема обуславливает неблагоприятный газовый режим водохранилища. Сброс нагретых вод, который производится в приплотинную часть водохранилища, влияет на режим водоема лишь на ограниченном его участке.

Бурштынское водохранилище построено в 1965 г. в долине р. Гнилая Липа, левого притока Днестра. Среднемесячная температура воды в водохранилище в летний период не превышает  $24^{\circ}$ . Химический состав воды определяется составом речной воды р. Гнилая Липа. По составу главнейших ионов вода в водохранилище, как и в реке, относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, второго типа. Согласно данным наших исследований, в 1965 г. в воде водохранилища концентрация ионов Са достигала 110—122 мг/л, Mg — 20—24 мг/л. В воде в значительном количестве (0,33—0,42 мг/л) содержалось железо. Соединения азота и фосфора составляли:  $\text{NH}_4^+$  — 0,46—0,72 мгN/л;  $\text{NO}_3^-$  — 0,00—0,43;  $\text{NO}_2^-$  — 0,00—0,04 мгN/л;  $\text{PO}_4^{3-}$  — 0,021—0,039 мгP/л. Величины окисляемости воды не превышали в летний период 8,8 мгO/л.

Примером русловых водохранилищ-охладителей в степной зоне Украины являются водохранилища на малых реках: на р. Волчья — Кураховское, на р. Крынка — Зуевское, на р. Кальмиус — Старобешевское, на р. Лугань — Мироновское, на р. Ми-

Расчет характеристик карбонатно-кальциевого равновесия в водоемах — охладит

Водохранилище, станция	Дата	Температура во- ды, °C	pH	[H <sup>+</sup> ]	Сумма ионов, Σ <sub>ц</sub> , мг/л	Ионная сила, μ	Ca <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
							мг/л	
Добротворское	УП 1963 г.	27,2	7,6	2,5 · 10 <sup>-8</sup>	585,1	0,011	85,6	341,5
	УП 1966 г.	27,8	8,7	2,04 · 10 <sup>-9</sup>	2730,9	0,064	184,4	158,6
Кураховское, ст. 6	УП 1966 г.	32,6	8,5	2,95 · 10 <sup>-9</sup>	2374,3	0,057	175,2	155,6
ст.3**	УП 1966 г.	30,4	8,4	3,47 · 10 <sup>-9</sup>	1598,4	0,031	113,2	262,3
Зуевское, ст.4	УП 1966 г.	34,7	8,3	4,27 · 10 <sup>-9</sup>	1520,9	0,034	89,6	225,7
ст. 2**	УП 1966 г.	27,0	8,9	1,23 · 10 <sup>-9</sup>	766,7	0,015	46,9	308,1
Змиевское, ст.6	УШ 1966 г.	30,9	8,8	1,51 · 10 <sup>-9</sup>	760,8	0,015	46,9	308,1
ст.1**	УШ 1966 г.	26,4	8,6	2,09 · 10 <sup>-9</sup>	417,6	0,008	52,9	210,5
Криворожское, ст.4	УШ 1966 г.	29,1	8,6	2,09 · 10 <sup>-9</sup>	417,8	0,008	56,9	214,8
ст.1**	УШ 1966 г.	29,8	8,2	6,46 · 10 <sup>-9</sup>	1287,0	0,028	170,3	241,0
р. Сев. Донец, насосная Воро- шиловградской ГРЭС	УШ 1966 г.	37,6	8,2	6,46 · 10 <sup>-9</sup>	1276,3	0,028	170,3	231,9
Пруд, I отсек**	УШ 1966 г.							

\* При температуре воды выше 30° использованы данные по K<sub>2</sub> и S<sub>т</sub>° Харнида

\*\* Станции наблюдений в водоемах-охладителях, находящиеся под непосредственным

ус — Штеровское. Гидрохимический режим Кураховского водохранилища освещен в статье С. И. Абремской (1971).

От описанных водохранилищ лесостепной зоны они отличаются высокой минерализацией и высокой концентрацией ионов сульфата и натрия, преобладающих в составе речных вод и в воде водохранилищ.

Зуевское водохранилище на р. Крынка является резервуаром охлаждающей воды для Зуевской ГРЭС. Водный режим водохранилища в большой степени определяется зарегулированностью верхнего течения реки. Вследствие незначительной собственной площади водобора (49 км<sup>2</sup>) Зуевское водохранилище наполняется в основном за счет пусков из вышележащего Ханженковского водохранилища, а в период половодья — за счет Ольховского водохранилища. Термический режим водоема — охладителя Зуевской ГРЭС — «циркуляционного пруда» обусловлен поступлением в него подогретых циркуляционных вод, которые сбрасываются по открытому каналу в реку выше циркуляционного пруда. Водоем — охладитель Зуевской ГРЭС отличается от естественных водоемов Донбасса высокой зимней температурой воды. Согласно многолетним данным (1947—

Таблица 2

телях тепловых электростанций Украины

$[CO_3'']$ , г-моль/л (расчетная)	Коэффициенты активности			$K_2$	$f'' \cdot [Ca^{++}] \cdot f'' \cdot [CO_3''] = S'_{CaCO_3}$	$S''_{t^o}$	$\frac{S'_{CaCO_3}}{S''_{t^o}}$
	$f'_{HCO_3}$	$f'_{Ca^{++}}$	$f''_{CO_3}$				
$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,90	0,68	0,67	$4,87 \cdot 10^{-11}$	$13,78 \cdot 10^{-9}$	$4,44 \cdot 10^{-9}$	3,1
$10,7 \cdot 10^{-5}$	0,81	0,47	0,44	$4,96 \cdot 10^{-11}$	$102,11 \cdot 10^{-9}$	$4,36 \cdot 10^{-9}$	23,4
$8,06 \cdot 10^{-5}$	0,81	0,47	0,44*	$5,38 \cdot 10^{-11}$	$73,077 \cdot 10^{-9}$	$3,92 \cdot 10^{-9}$	18,7
$9,64 \cdot 10^{-5}$	0,84	0,55	0,53	$5,13 \cdot 10^{-11}$	$79,661 \cdot 10^{-9}$	$4,15 \cdot 10^{-9}$	19,2
$7,65 \cdot 10^{-5}$	0,83	0,54	0,51	$5,62 \cdot 10^{-11}$	$47,124 \cdot 10^{-9}$	$3,65 \cdot 10^{-9*}$	12,9
$25,6 \cdot 10^{-5}$	0,88	0,64	0,62	$4,87 \cdot 10^{-11}$	$118,909 \cdot 10^{-9}$	$4,44 \cdot 10^{-9}$	26,8
$22,77 \cdot 10^{-5}$	0,88	0,64	0,62	$5,23 \cdot 10^{-11}$	$105,76 \cdot 10^{-9}$	$4,09 \cdot 10^{-9}$	25,9
$9,87 \cdot 10^{-5}$	0,91	0,70	0,69	$4,82 \cdot 10^{-11}$	$47,67 \cdot 10^{-9}$	$4,48 \cdot 10^{-9}$	10,6
$10,5 \cdot 10^{-5}$	0,91	0,70	0,69	$5,04 \cdot 10^{-11}$	$72,015 \cdot 10^{-9}$	$4,29 \cdot 10^{-9}$	16,8
$4,86 \cdot 10^{-5}$	0,84	0,55	0,53	$5,13 \cdot 10^{-11}$	$60,313 \cdot 10^{-9}$	$4,2 \cdot 10^{-9}$	14,4
$5,28 \cdot 10^{-5}$	0,84	0,55	0,53	$5,82 \cdot 10^{-11}$	$65,679 \cdot 10^{-9}$	$3,38 \cdot 10^{-9}$	19,4

и Сколса (Harned, Scholes, 1941) и Крушеля (1955).  
влиянием нагретых циркуляционных вод тепловой электростанции.

1954 гг.), в декабре она достигает 9,8°, в январе — феврале 6,4—6,7°. Максимальная летняя температура (в июне — июле) составляет 25,1—27,3°.

Гидрохимический режим Зуевского водохранилища непосредственно связан с гидрохимическим режимом реки и расположенных выше него водохранилищ. Особенно сильное влияние на химический состав воды водохранилища оказывают воды, поступающие из Ханженковского водохранилища, которое очень сильно загрязняется промышленными сточными водами. В Зуевском водохранилище формируются воды преимущественно сульфатного состава соответственно индексам  $S^{Na} - SCl^{Na}$  в межень,  $CS^{Ca}$  — в половодье. Величины минерализации воды изменяются в пределах 2440—3960 мг/л в межень и 1800—1900 мг/л — в половодье. Вода в водохранилище характеризуется высокой общей жесткостью (8,3—12,8 мг-экв/л). Расчеты карбонатно-кальциевого равновесия показали также сильное перенасыщение воды карбонатом кальция (табл. 2).

Поступление в Зуевское водохранилище вод из Ханженковского водохранилища, загрязненных стоками азотно-тукового завода, в значительной степени определяет концентрацию



биогенных и органических веществ, а также газовый режим водоема — охладителя Зуевской ГРЭС. Согласно данным анализов лаборатории ГРЭС, в 1953 г. в воде водохранилища концентрация  $\text{NH}_4$  колебалась от 1,8 до 40,0 мг/л (средняя — 12,5 мг/л), концентрация  $\text{NO}'_2$  — в пределах — 0,14—17,0 мг/л (средняя за год — 7,3 мг/л), нитраты ( $\text{NO}'_3$ ) составляли 12,6—55,0 мг/л (в среднем — 26,6 мг/л).

Еще более высокая концентрация соединений азота в это же время наблюдалась в Ханженковском водохранилище. В обоих водохранилищах отмечалась также высокая перманганатная окисляемость воды: в водохранилище Зуевской ГРЭС 12,0—41,0 мгО/л и в Ханженковском — 14,4—52,0 мгО/л. В воде водохранилищ в большом количестве находились фенолы — 0,22—4,5 мг/л. Анализ состава воды в 1963—1965 гг. не показал сильного загрязнения, однако свидетельствовал о повышенном содержании минеральных и органических соединений азота, высокой окисляемости воды. Большое количество биогенных элементов, аккумулированное в циркуляционном пруду Зуевской ГРЭС, способствует сильному развитию в нем высшей и низшей водной растительности, для борьбы с которой применяются механические и химические методы (купоросование). Старобешевское водохранилище расположено в русле р. Кальмиус ниже впадения в нее р. Грузской и Берестовой. Водный баланс водохранилища определяется стоком р. Кальмиус, который в створе гидроузла, согласно проектным данным, в средний по водности год составляет 43,67 млн.  $\text{м}^3$ ; расход воды на водоснабжение и водопуски — 6,61 млн.  $\text{м}^3/\text{год}$  и на испарение (естественное и дополнительное) — 11,1 млн.  $\text{м}^3/\text{год}$  (Материалы исследования ТГ-1, издание СЭВ, 1968 г.). Водоем создан в 1958 г. для водоснабжения и охлаждения циркуляционных вод Старобешевской ГРЭС. Теплообменные воды конденсаторного цеха поступают в водохранилище по двум сбросным каналам — в верховье водохранилища и в приплотинную его часть. Забор воды на охлаждение производится из средней части водохранилища. В результате сброса в водохранилище теплообменных вод (скорость которых составляет 1,5—2,5 м/сек) температура воды в нем на 5—7° С выше температуры воды в реке. У выхода теплообменных вод эта разница достигает 8—9°. В течение года температура воды в водохранилище колеблется от 2,5° зимой до 32° летом.

Ионно-солевой состав воды в водохранилище близок к составу речной воды р. Кальмиус — минерализация воды изменяется от 1356 мг/л в половодье до 2570 мг/л в межень. В составе воды неизменно преобладают ионы  $\text{SO}''_4$  и Na. По классификации О. А. Алекина, вода относится к сульфатному классу, группе натрия, второго типа. В период сброса в реку шахтных вод в воде водохранилища резко увеличивается концентрация



ионов  $\text{SO}_4^{''}$  и  $\text{Cl}'$ . В 1967—1969 гг. концентрация  $\text{SO}_4^{''}$  достигла 1000—1113 мг/л,  $\text{Cl}'$  — 279—305 мг/л,  $\text{Na} + \text{K}$  — 500—512 мг/л. Вода характеризуется также высокой жесткостью, показатели которой в 1967—1969 гг. колебались в пределах 14,3—16,8 мг-экв/л.

Исследование карбонатно-кальциевого равновесия в воде водохранилища показало, что вода в нем сильно перенасыщена карбонатом кальция. Рассчитанное по аналитическим данным произведение активностей  $S'_{\text{CaCO}_3} = f'' \cdot [\text{Ca}^{''}] \cdot f'' \cdot [\text{CO}_3^{''}]$  более чем в 20 раз превышает термодинамическую константу  $S'_c$  (табл. 2). Такое сильное перенасыщение способствует образованию накипи на стенках конденсаторов и водонагревной аппаратуры, что снижает производительность электростанции, увеличивает затраты на очистку и ремонт аппаратуры.

Режим биогенных и органических веществ, а также газовый режим водохранилища в основном определяется загрязнением р. Кальмиус сточными водами. Это обуславливает высокую концентрацию нитратов, нитритов и аммонийного азота в воде водохранилища. В различные сезоны 1968—1969 гг. концентрация нитратного азота колебалась в пределах 4,6—24,7 мгN/л, содержание азота нитритов — в пределах 0,01—1,00 мгN/л, аммонийный азот составлял 0,23—7,4 мгN/л, фосфаты — 0,03—0,42 мгP/л. Наименьшие показатели концентрации соединений азота и фосфора отмечались в летний период (июнь, июль, август), что может быть объяснено более интенсивным потреблением биогенных элементов водорослями, а также прекращением сброса промышленных стоков в этот период.

Очень сильное загрязнение воды Старобешевского водохранилища наблюдалось в зимний и весенний период 1969 г. Бихроматная окисляемость воды достигала 46—74 мгО/л, концентрация ионов  $\text{NO}'_3$  в различных участках водохранилища составляла 21—24 мгN/л,  $\text{NH}_4$  — 6,30—7,40 мгN/л,  $\text{NO}'_2$  — 0,70—1,00 мгN/л. В речной воде в этот период нитратов было до 61 мгN/л, аммонийного азота — 33 мгN/л.

Сильное загрязнение реки легкоокисляющимися органическими веществами отрицательно влияет на ее газовый режим, а также на газовый режим водохранилища, вызывая периодически дефицит растворенного кислорода. В реке в период исследования концентрация кислорода колебалась от 5,5 до 1,8 мгО/л (33—16%). Содержание кислорода в водохранилище по сравнению с рекой значительно увеличивается. Летом (июль 1968 г.) в дневное время концентрация его в верхних слоях воды достигала 9,7—12,6 мгО/л (122—155%) насыщения, а в придонных слоях — 7,69 мгО/л (96%). Наиболее высокая концентрация кислорода наблюдалась в приплотинной части водохранилища и центральной его части при температуре воды 28—29°С.

В осенний период в связи с усиливающимся загрязнением приточных вод кислородный режим водохранилища заметно ухудшился — концентрация кислорода в верхних слоях воды уменьшилась до 70% насыщения.

В зимний период содержание кислорода в водохранилище обычно близко к 100% насыщения, в то время как в реке отмечался дефицит кислорода (16% насыщения). Улучшению кислородного режима водохранилища в этот период способствуют хорошие условия аэрации, создающиеся благодаря отсутствию ледяного покрова и интенсивной циркуляции теплообменных вод.

Мироновское водохранилище расположено в русле р. Лугань (в верхнем течении реки возле поселка Мироновского). Водохранилище предназначено для технического водоснабжения Мироновской ГРЭС. Объем водохранилища (при НПУ) 21,5 млн. м<sup>3</sup>, проектная площадь водного зеркала 450 га, средняя глубина 4,6 м, максимальная — 12—13 м.

Водный баланс водохранилища определяется притоком р. Лугань и поступлением паводочных и ливневых вод с водосборной площади водохранилища. Согласно проектным данным, средний годовой сток в водохранилище (для среднего по водности года 50% обеспеченности) составляет 18 млн. м<sup>3</sup>, 55% годового стока приходится на весенний период (март — апрель). Условия эксплуатации водохранилища рассчитаны на многократное использование воды в оборотной системе.

В результате сброса нагретых циркуляционных вод в водохранилище температура воды в нем повышается. В зимний период (ноябрь — январь) она колеблется в пределах 3—19°, летом — в пределах 26—30°. В различных участках водохранилища температура воды различна: зимой у водосброса 12—19°, у водозабора 3—8°; осенью — соответственно 19—20 и 14°, летом — 26—30 и 20—26°. В зимний период водохранилище не замерзает.

Химический состав воды в Мироновском водохранилище определяется составом воды в р. Лугань, который по соотношению ионов относится к сульфатному классу, к группе натрия, ко второму и третьему типу. Величина минерализации воды в реке в 1961—1962 гг. колебалась от 1631 мг/л в период половодья (1961 г.) до 1850 мг/л в межень. В водохранилище, согласно данным Донбассводтреста, минерализация воды в этот период изменялась в пределах 1364—1637 мг/л. В составе воды водохранилища преобладали ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ , концентрация которых в летнюю межень достигала 630 мг/л, весной — 526 мг/л. В воде водохранилища в значительном количестве (как и в реке) содержатся ионы  $\text{Cl}^-$  (178—207 мг/л). Вода характеризуется высокой общей жесткостью — 10—15 мг-экв/л, что обуславливает ее неудовлетворительное техническое качество — высокую накипеобразующую способность.

Биогенные элементы в воде водохранилища содержатся

в значительном количестве. Среди минеральных соединений наиболее высокой концентрации достигали аммонийные соединения ( $1,24—1,98 \text{ мгN/л}$ ), максимальные показатели наблюдались в летний период. Концентрация нитратов в летний период не превышала  $0,2 \text{ мгN/л}$ , зимой она увеличивалась до  $0,5 \text{ мгN/л}$ . Летом отмечалась также повышенная концентрация нитритов (до  $0,040 \text{ мгN/л}$ ). Перманганатная окисляемость воды составляла  $11—16 \text{ мгO/л}$ .

Высокая концентрация аммонийного азота и нитритов в воде реки и водохранилища, как и повышенная окисляемость, свидетельствуют об аллохтонном его загрязнении. Наряду с этим в водохранилище достаточно интенсивны процессы аэрации. Содержание кислорода достигало 100 и более процентов насыщения.

Штеровское водохранилище находится в верхнем течении р. Миус, ниже впадения в него притока р. Миусик. Территория водосбора относится к южной части Боково-Хрустальной котловины и представлена шахтными полями шахт Донбасс-Антрацит. Выше Штеровского водохранилища на р. Миус расположено Грабовское водохранилище, а на р. Миусик — Яновское, из которых во время паводков сбрасываются воды в Штеровское водохранилище, а во внепаводочный период поступают инфильтрационные воды, проходящие через тело плотины. Водообмен в водоеме — охладителе Штеровской ГРЭС осуществляется главным образом за счет весенних паводков. Максимальный расход р. Миус на данном участке наблюдается обычно в марте или апреле. Водоем — охладитель Штеровской ГРЭС сооружен в 1926 г. для технического водоснабжения и охлаждения конденсационной системы ГРЭС. Объем циркуляционных вод составляет  $332,8 \text{ млн. м}^3/\text{год}$ . В результате сброса нагретых циркуляционных вод в Штеровское водохранилище температура воды в нем увеличивается на  $5—8^\circ$  выше естественной.

Химический состав воды в водохранилище определяется стоком р. Миус и периодическим поступлением в него вод, аккумулярованных в Грабовском и Яновском водохранилищах. Характер почвогрунтов на водосборе этих водохранилищ, в значительной степени промытых от легкорастворимых солей, обуславливает относительно невысокую минерализацию вод поверхностного стока в период половодья. Минерализация воды в р. Миус в створе Матвеев Курган в период высокого половодья уменьшается до  $360 \text{ мг/л}$ . В Грабовском и Яновском водохранилищах она в этот период составляет  $370—374 \text{ мг/л}$ . Ионный состав воды в реке и в названных водохранилищах в период половодья характеризуется преобладанием ионов  $\text{HCO}_3'$  и  $\text{Ca}^{++}$  соответственно индексам  $\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}} — \text{CS}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ .

В межень минерализация воды в р. Миус и Яновском водохранилище увеличивается до  $1,9 \text{ г/л}$ , а в Грабовском водохра-

нилище — до 535 мг/л. Соответственно изменяется соотношение основных ионов. В речной воде, а также в Яновском водохранилище в межень резко повышается содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , благодаря чему изменяется класс воды из гидрокарбонатного в сульфатный; доминирующим катионом при этом остается кальций. Индекс воды  $S_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ . В Грабовском водохранилище в межень, как и в весенний период, состав воды относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция ( $C_{\text{II}}^{\text{Ca}}$ ).

В Штеровском водохранилище величины минерализации воды в годичном цикле (1966 г.) изменяются в пределах 953,6 мг/л — 1,70 г/л. В составе воды в течение года преобладают ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  (32—36% экв). Среди катионов большую часть года преобладает  $\text{Na}^+$  (20—23% экв), а в весенний период —  $\text{Ca}^{2+}$  (20—22% экв.).

Штеровское водохранилище отличается от Старобешевского и Зуевского водохранилищ меньшей концентрацией биогенных элементов. В летний период при средней интенсивности развития фитопланктона в воде содержалось:  $\text{NH}_4^+$  — 0,49—0,54 мгN/л;  $\text{NO}_2^-$  — 0,051—0,055 мгN/л;  $\text{NO}_3^-$  — 2,16—2,50 мгN/л;  $\text{PO}_4^{3-}$  — 0,013—0,31 мгP/л. Перманганатная окисляемость воды соответствовала 9,2—9,4 и бихроматная — 16,4—19,4 мгO/л (в Старобешевском водохранилище в этот период бихроматная окисляемость воды составляла 37—43 мгO/л). Значительного различия в содержании биогенных и органических веществ в наиболее теплой части водоема (29° С) и в наиболее холодной (24° С) не отмечалось.

Водоем — охладитель Змиевской ГРЭС является примером наливного водоема, питающегося за счет наполнения его водами р. Сев. Донец.

Водоем расположен в 3—4 км от берега р. Сев. Донец. В прошлом — это естественный солоноватоводный водоем озерного типа — оз. Лиман. С 1961 г. в связи с использованием его в качестве технического водоема-охладителя были проведены гидромелиоративные работы по углублению ложа, удалению иловых отложений и растительности; водоем был одамбирован.

В настоящее время водоем заполняется в половодье водой из р. Сев. Донец путем закачки двумя насосными станциями. Производительность их 13 млн. м<sup>3</sup> в месяц (5 м<sup>3</sup>/сек). Водообмен в водохранилище (продувка) осуществляется каждые два года. Расход циркуляционных вод — 86 м<sup>3</sup>/сек. Полный водообмен циркуляционных вод (через конденсационную систему) происходит каждые 6—6,5 суток.

Температурный режим водоема определяется сбросом в него нагретых циркуляционных вод. В 1963 г. температура воды достигала в июле 25,4—26,9° С, минимальная в феврале — 1,0—1,2°. В 1964 г. в июле — августе температура воды повысилась



до 28,2°, в феврале — до 1,1—1,4° С. В 1967 г. среднемесячная температура была не выше 24°. Гидрохимический режим водоема-охладителя зависит от условий заполнения его и водообмена.

Состав воды в водохранилище в течение годового цикла изменяется в относительно узких пределах. Согласно данным ежемесячных наблюдений 1966 г., величина минерализации воды колеблется в пределах 890—1150 мг/л. В ионном составе преобладают ионы  $\text{HCO}_3'$  — 245—335 мг/л, второе место занимают ионы  $\text{SO}_4''$  — 79—296 мг/л. Вода относится преимущественно к гидрокарбонатному классу, группе кальция и натрия.

Состав биогенных элементов в воде водохранилища характеризуется относительно высокой концентрацией аммонийного азота, которая на протяжении года колеблется в пределах 0,20—0,76 мгN/л; содержание фосфатов ( $\text{PO}_4'''$ ) колеблется в пределах 0,16—1,10 мг/л; периодически наблюдается повышенная концентрация нитритов — 0,050—0,150 мг/л, что свидетельствует о загрязнении водоема промышленными стоками.

Перманганатная окисляемость воды в летний период 1966 г. достигала 20—29,7 мгО/л. Минимальные величины ее, по данным наших наблюдений, составляют 11—12 мгО/л, которые близки к окисляемости питающей речной воды (11—16 мгО/л). Максимальные величины окисляемости воды наблюдаются в летний период; в осенне-зимний период они близки к окисляемости речной воды. Величины БПК<sub>5</sub> изменяются в пределах 3,5—7,1 мгО/л; наиболее интенсивное потребление кислорода отмечается в летний период в участках водохранилища с наиболее высокой температурой воды. Газовый режим Змиевского водохранилища характеризуется преимущественно умеренным насыщением воды растворенным кислородом, близким к 100% (6,0—8,7 мгО/л). Однако в период интенсивного развития фитопланктона наблюдаются значительные амплитуды: от перенасыщения воды кислородом, достигающего 150% (13,5 мгО/л), до выраженного дефицита его — 34,5% (3,4 мгО/л).

Водоем — охладитель Криворожской ГРЭС-2 представляет собой наливной одамбированный водоем (со струераспределительной дамбой), питающийся через канал подпитки водой из канала Днепр — Кривой Рог. Разница в температуре воды, забираемой и сбрасываемой ГРЭС, изменяется в зависимости от сезона года в пределах 2,7—6,5°. В результате сброса теплой воды в зимний период участок от водосброса до струераспределительной дамбы не замерзает.

Химический состав воды в водохранилище за период 1966—1967 гг. характеризовался средней минерализацией воды: от 376,8 до 509,7 мг/л. В ионном составе преобладают гидрокарбонатный ион ( $\text{HCO}_3'$  — 27,4—35,7% экв) и ион кальция ( $\text{Ca}''$  — 19,4—26,2% экв). Индекс, по Алекину, —  $\text{CII}^{\text{Ca}}$ . Содержание



аммонийного азота в водоеме — охладителе Криворожской ГРЭС колебалась в таких пределах:  $\text{NH}_4$  — 0,188—0,725 мгN/л;  $\text{NO}'_2$  — 0,005—0,014 мгN/л;  $\text{NO}'_3$  — 0,00—0,90 мгN/л; концентрация фосфатов ( $\text{PO}_4'''$ ) — 0,000—0,045 мгP/л. Концентрация биогенных элементов обусловлена поступлением их с питающими водами из канала подпитки и внутриводоемными процессами. Как и в других водохранилищах, сезонная динамика биогенных элементов связана с развитием гидробионтов. В летний период при интенсивном развитии фитопланктона концентрация  $\text{NO}'_3$ ,  $\text{NO}'_2$ ,  $\text{PO}_4'''$ ,  $\text{Fe}''$  уменьшается до аналитического нуля. Содержание аммонийного азота, наоборот, в летне-осенний период достигало максимума. Интенсивное перемешивание водных масс в чаше водохранилища и отсутствие застойных участков обуславливали относительно равномерное распределение биогенных элементов в поверхностных слоях воды по акватории водохранилища. В зимний период в теплом незамерзающем участке водохранилища наблюдалось некоторое уменьшение содержания биогенных элементов по сравнению с их концентрацией в холодной части водохранилища, покрытой льдом. Возможно, это можно объяснить более интенсивной вегетацией водорослей в обогреваемом участке водохранилища с повышенной температурой воды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ионно-солевой состав воды в водоемах-охладителях определяется главным образом региональными физико-географическими факторами, характером почвогрунтов и климатическими условиями, которые определяют степень аккумуляции в них минеральных веществ.

В зоне избыточного увлажнения — в западной Лесостепи (Бурштынское водохранилище) и в Малом Полесье (Добротворское водохранилище) в водохранилищах-охладителях, как и в питающих их реках, формируются воды умеренной минерализации гидрокарбонатно-кальциевого состава. Вызываемое сбросом нагретых вод относительно небольшое дополнительное испарение воды в водоемах с умеренным подогревом не оказывает существенного влияния на увеличение концентрации главных ионов. Концентрация доминирующих ионов  $\text{HCO}'_3$  и  $\text{Ca}''$  регулируется условиями карбонатного равновесия. Повышение теплового баланса водоемов, вызывая усиление вегетации водорослей и интенсивности фотосинтеза, способствует смещению карбонатно-кальциевого равновесия и образованию труднорастворимых карбонатов кальция, выпадающих из воды (биологическая декальцинация).

В водоемах-охладителях, расположенных в степной зоне с недостаточным увлажнением, на гидрохимический режим водоемов

существенное влияние оказывает испарение, способствующее накоплению в водоемах легкорастворимых солей сульфатов и хлоридов.

Физико-географические условия Донецкого бассейна определяют значительное накопление легкорастворимых солей в грунтовых и поверхностных водах. Последнее усугубляется влиянием антропогенного фактора — сбросом в реки и водоемы высокоминерализованных сульфатных шахтных вод. В р. Волчью выше Кураховского водохранилища производится сброс шахтных вод из 11 шахт. В Зуевское водохранилище поступают воды из вышележащего Ханженковского водохранилища, в которое сбрасываются промышленные стоки азотно-тукового завода. В Старобешевское водохранилище поступают шахтные воды и промышленные стоки, сбрасываемые в р. Кальмиус. Это определяет высокую минерализацию и выраженный сульфатный характер воды в водохранилищах. Лишь в период высоких паводков, после продувки водохранилищ, наблюдается уменьшение минерализации воды.

Минерализация воды и концентрация главных ионов в водохранилищах увеличивается в результате испарения, достигая максимума в межень. Менее засолены наливные водохранилища, питающиеся водами р. Сев. Донец — Ворошиловградское и Змиевское, и водохранилище Криворожской ГРЭС, наполняющиеся водами Днепра. Водохранилище Змиевской ГРЭС наполняется водой р. Сев. Донец главным образом в период половодья. Это определяет относительно невысокую минерализацию воды в нем. В Ворошиловградском водохранилище, через которое проходят воды р. Сев. Донец (в среднем его течении, которое находится под сильным влиянием сброса в реку промышленных стоков) наблюдается спорадическое увеличение концентрации ионов  $\text{Cl}'$ ,  $\text{SO}$  и  $\text{Na}'$ , а также повышение минерализации воды до 1000 мг/л и более. Класс воды и группа изменяются при этом соответственно индексам  $\text{C}_{\text{Ca, Na}} — \text{C}_{\text{SNa}}$ .

В Криворожском водохранилище состав воды близок к составу днепровской воды —  $\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}} — \text{C}_{\text{I}}^{\text{Ca}}$ . Минерализация воды не превышает 500 мг/л.

Исследование карбонатно-кальциевой системы воды водоемов-охладителей показало, что вода в них сильно перенасыщена карбонатом кальция. Наибольшая степень перенасыщения наблюдается в летний период при повышении рН воды. Повышенная концентрация гидрокарбонатов и сульфатов кальция и магния в воде водохранилищ обуславливает накипеобразующую способность этих вод при использовании их для охлаждения конденсаторов.

Режим биогенных и органических веществ и растворенных газов в водоемах-охладителях непосредственно связан с гидро-биологическим их режимом. Другим важным фактором,

определяющим концентрацию биогенных и органических веществ в водоемах-охладителях, является поступление в водохранилища и в питающие их реки промышленных и бытовых стоков. Последнее определяет очень высокую концентрацию соединений азота, спорадически наблюдающуюся в Добротворском, Зуевском, Старобешевском и Ворошиловградском водохранилищах. В меньшей степени загрязняются сточными водами Кураховское, Змиевское и Криворожское водохранилища.

Сброс нагретых циркуляционных вод в водохранилища со слабым водообменом, вызывая повышение их теплового баланса, влияет на интенсивность процессов метаболизма гидробионтов и на процессы трансформации биогенных и органических веществ. Удлинение вегетационного периода в обогреваемых участках водоемов-охладителей, по сравнению с естественными водоемами, способствует обогащению их органическим веществом и усилению его трансформации.

В результате сброса нагретых вод в водохранилищах создаются локальные участки с неравномерным распределением концентрации биогенных элементов и окисляемости, с различным характером стратификации кислорода, обусловленными температурой воды, степенью перемешивания водных масс и различными условиями минерализации органического вещества.

Повышение температуры, как известно, способствует увеличению скорости химических и биохимических реакций, активизирует биологические процессы обмена. Это определенным образом отражается на кислородном режиме обогреваемых водоемов и динамике биогенных и органических веществ. Повышение температуры воды в водоемах на 5—10°, по сравнению с естественной, вызывает существенное изменение в газовом режиме водоемов благодаря изменению растворимости кислорода и условий обмена его с атмосферой, а также в результате резкого повышения потребления его гидробионтами (пойкилотермными животными) и усиления потребления кислорода на процессы минерализации органического вещества. Некоторые авторы отмечают резкое повышение БПК<sub>5</sub> и ухудшение режима водоемов в связи со сбросом в них нагретых вод (Стангенберг, 1967). Экспериментальными исследованиями влияния повышения температуры воды (до 28°) на процессы минерализации органического вещества и натурными наблюдениями за гидрохимическим режимом водоемов, находящихся под влиянием нагретых циркуляционных вод ГРЭС, установлено, что биохимическое окисление органических веществ при повышении температур происходит более интенсивно. Значительно интенсивнее, по сравнению с естественным фоном, протекают также процессы аммонификации и нитрификации. В то же время благодаря более интенсивному развитию водорослей и их биологической активности биогенные элементы в обогреваемых участках водоемов потребляются бо-

лее интенсивно. Эти два взаимообусловленных процесса, действующих противоположно в отношении накопления биогенных элементов, определяют относительно небольшое различие в экстремальных концентрациях соединений азота и фосфора в воде водоемов мезотрофного типа. Таким образом, можно сделать вывод, что в водоемах с умеренным накоплением органического вещества, в водоемах мезотрофного типа, а тем более в олиготрофных водоемах сброс нагретых вод (с температурой не выше биологического порога) не приводит к ухудшению гидрохимического и газового режима. Однако в водоемах, сильно загрязненных стоками органических веществ, а также богатых автохтонным органическим веществом, повышенная интенсивность минерализации органического вещества под влиянием нагретых вод может привести к резким колебаниям в содержании растворенного кислорода и при сильной гипераккумуляции органического вещества может ухудшить их санитарно-химический режим.

#### ЛИТЕРАТУРА

А б р е м с к а я С. И. Гидрохимический режим водоемов — охладителей ГРЭС юга Украины.— В кн.: Материалы XII гидрохимического совещания. Тез. докл., 1. Новочеркасск, 1968.

А б р е м с ь к а С. Й. Газовий режим водойм-охолоджувачів теплових електростанцій України.— В кн.: III наукова конференція молодих учених Інституту гідробіології. «Наукова думка», К., 1968.

А б р е м с к а я С. И. Гидрохимический режим водоема — охладителя Кураховской ГРЭС.— Гидробиол. журн., 6, 1, 1971.

К р у ш е л ь Г. Е. Образование и предотвращение отложений в системах водяного охлаждения, Госэнергоиздат, Л., 1955.

Материалы по теме ТГ-1. Методика модельных и натурных исследований... подогреваемых водоемов, обеспечивающих водоснабжение крупных ТЭС с учетом комплексного их использования в народном хозяйстве. СЭВ, 1968.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. VI. Украина и Молдавия, вып. 3. Бассейн Северского Донца и реки Приазовья. Гидрометеониздат, Л., 1967.

С т а н г е н б е р г М. Естественные следствия сброса теплых вод в реки.— В кн.: Санитарная и техническая гидробиология. «Наука», М., 1967.

### ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОЕМОВ — ОХЛАДИТЕЛЕЙ ГРЭС ЮГА УКРАИНЫ

*А. Д. КОНЕНКО, С. И. АБРЕМСКАЯ, Н. И. КОЦАРЬ*

Донные отложения водоемов, являясь коллектором органического вещества, которое накапливается в них в результате седиментации детрита и метаболизма донных организмов, играют важную роль в круговороте веществ водоемов. Содержание органического вещества в донных отложениях принимается за основу современной классификации грунтов водохранилищ (Курдин, 1960). Содержание органического вещества в донных отложениях определяет их физико-химические свойства.



ва и роль в процессах самоочищения водоемов. Существует определенная зависимость теплопроводности грунтов от содержания в них органических веществ (Бакастов, 1966). Последнее имеет важное значение для жизнедеятельности донных организмов. Донные отложения водоемов-охладителей в отношении содержания и характеристики органического вещества изучены весьма слабо.

Материалом для настоящей статьи послужили результаты проведенных нами исследований донных отложений водоемов —

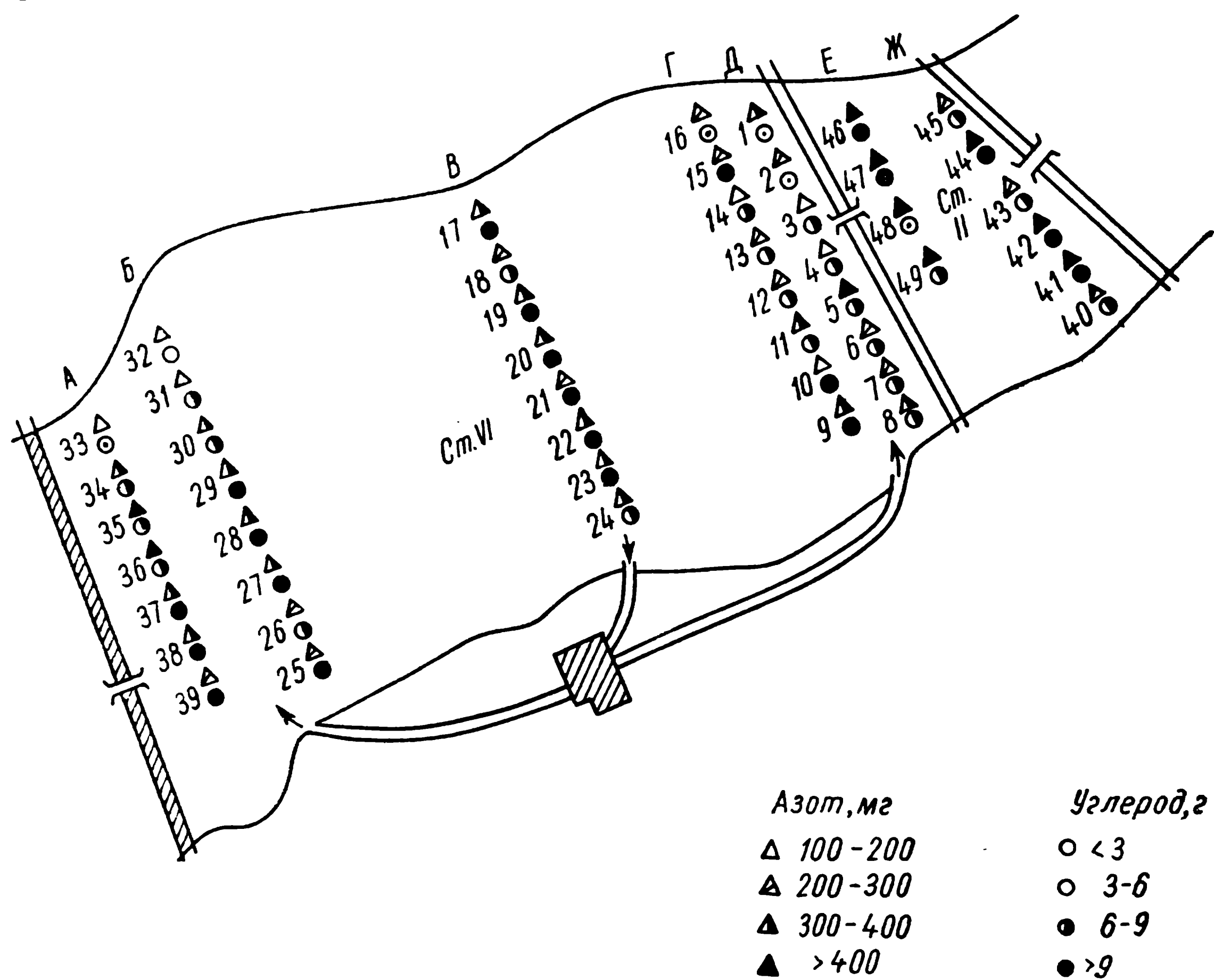


Рис. 1. Схема распределения органического углерода и азота в донных отложениях водохранилища Кураховской ГРЭС:  
А, Б, В, Г, Д, Е, Ж — разрезы.

охладителей Донецкого бассейна в летний период 1966—1967 гг.— Кураховского, Змиевского, Старобешевского, Зуевского, Штеровского. Из них более детально исследованы донные отложения водоема — охладителя Кураховской ГРЭС. Образцы донных отложений отбирались по разрезам, охватывающим наиболее характерные по температурному режиму и развитию водорослей участки акватории (рис. 1).

Анализ органического вещества производился из воздушно-сухого грунта после его размельчения, согласно прописи (Аринушкина, 1965). В грунте определяли валовое количество орга-

нического вещества по методу Тюрина (бихроматной окисляемости), органический азот по методу Кьельдаля, органический углерод — расчетным путем по величине бихроматной окисляемости, пользуясь коэффициентом 0,375. Фосфор определяли после сжигания серной кислотой по методу Денеже — Аткинса. Определяли также содержание подвижных, легкогидролизуемых соединений углерода, азота и фосфора в сернокислом гидролизате, пользуясь методами анализа сапропелей по Соколову (1953). Результаты анализа донных отложений даны в таблице.

Формирование донных отложений водоемов юга Украины, находящихся в степной полосе, происходит под влиянием интенсивной эрозии почвенного покрова и подстилающих лессовых отложений. В результате этого в водоемы в период паводков поступает большое количество мелкозема. На территории Донбасса заилению водоемов способствует сброс шахтных вод, содержащих большое количество глинистых частиц и угольной пыли.

По данным Донбассводтреста, ежегодно в различных водохранилищах аккумулируется 8,7—88 тыс. т наносов, из них за счет твердого стока питающих рек — от 15 до 100%. Наносы шахтных вод в некоторых водохранилищах (Кальмиусское) составляют 2,5—8,5%. Образующиеся таким образом донные отложения содержат большое количество угольной пыли и мелкой угольной крошки. В 1947—1949 гг. богатые углем донные отложения некоторых водоемов использовались в качестве топлива (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1967).

Органическое вещество донных отложений водоемов-охладителей Донбасса формируется за счет поступления с наносами почвенного гумуса, органических остатков ископаемых углей, за счет автохтонных биологических процессов — зарастания водоемов высшей водной растительностью, а также обрастаний (перифитона) и седиментации отмирающих планктонных организмов. При небольшой глубине водоемов постоянное ветровое перемешивание водных масс и взмучивание верхнего слоя донных отложений способствует их переотложению по акватории, а также усиливает минерализацию органического вещества донных отложений. В водоемах-охладителях минерализации органического вещества способствует турбулентность циркуляционных вод и их повышенная температура. Отмеченные выше общие для водоемов Донбасса условия формирования, а также локальные условия отдельных водоемов-охладителей определяют количество и состав органического вещества в донных отложениях этих водоемов.

**Кураховское водохранилище** представляет собой два смежных русловых пруда, находящихся на р. Волчья (бассейн Днепра): Ильинский водоем с естественным режимом и отделенный от него дамбой, расположенный ниже Терновский пруд — приемник циркуляционных вод Кураховской ГРЭС.

Характеристика органического вещества донных отложений водоемов — охладителей ГРЭС юга Украины (мг на 100 г воздушно-сухого грунта,  $\frac{\text{мин.} - \text{макс.}}{\text{средн.}}$ )

Водохранилище		Разрез или станция	Валовое количество			
			Бихроматная окисляемость	Углерод	Азот	C : N
Водохранилище Кураховской ГРЭС		А	$\frac{3772-10450}{8400}$	$\frac{1414-3919}{3150}$	$\frac{178-516}{370}$	$\frac{7,9-11,9}{9,0}$
Терновский водоем		Б	$\frac{2972-9712}{8080}$	$\frac{1114-3642}{3030}$	$\frac{106-377}{275}$	$\frac{9,0-14,5}{11,3}$
То же		В	$\frac{8282-11679}{9640}$	$\frac{3106-4380}{3620}$	$\frac{246-394}{334}$	$\frac{8,2-13,7}{11,1}$
То же		Г	$\frac{6051-11310}{8260}$	$\frac{2269-4241}{3100}$	$\frac{158-341}{269}$	$\frac{7,5-20,4}{12,5}$
То же		Д	$\frac{3669-8257}{6650}$	$\frac{1386-3093}{2490}$	$\frac{190-456}{300}$	$\frac{6,3-12,8}{9,3}$
Ильинский водоем		Е	$\frac{8277-10455}{9620}$	$\frac{3104-3921}{3610}$	$\frac{290-473}{378}$	$\frac{8,2-13,2}{9,8}$
То же		Ж	$\frac{5742-13350}{8940}$	$\frac{2153-5006}{3360}$	$\frac{402-600}{460}$	$\frac{3,6-12,4}{7,7}$
Водохранилище Змиевской ГРЭС		Ст. 2 (теплая)	11929	4473	1068	4,2
То же		Ст. 3 (за дамбой)	13277	4978	1268	3,9
То же		Ст. 5а	1441	540	160	3,4
То же		Ст. 5б	9948	3730	785	4,8
		Ст. 6	13413	5029	1191	4,2

Продолжение таблицы

Подвижные формы (в гидролизате по Соколову. 1953)						
Водохранилище	Разрез или станция	Бихроматная окисляемость	Углерод	Азот	C : N	Фосфор
Водохранилище Кураховской ГРЭС  Терновский водоем  То же  То же  То же	А	1048—1453 1215	395—595 470	46—173 127	3,9—9,8 4,4	18—56 41
	Б	995—2173 1410	373—815 529	93—205 137	3,3—8,3 4,2	18—52 36
	В	1135—1408 1370	426—528 512	166—201 182	2,7—3,1 2,8	23—70 40
	Г	956—2455 1690	358—921 631	93—224 154	3,4—8,4 4,6	18—78 40
	Д	917—1519 1220	344—570 458	44—252 155	2,0—9,8 4,3	13—56 34
Ильинский водоем  То же	Е	1305—1691 1450	489—634 543	136—313 177	3,2—4,4 3,4	13—52 34
	Ж	1205—2455 1580	452—921 593	156—330 215	3,0—5,0 4,5	28—44 35
	Ст. 2 (теплая)	1290	483	164	2,9	55
	Ст. 3 (за дамбой)	1382	520	179	2,9	19
	Ст. 5а	208	78	38	—	19
Водохранилище Змиевской ГРЭС  То же  То же  То же	Ст. 5б	1134	425	167	2,6	61
	Ст. 6	1585	594	211	2,7	77



Водохранилище	Разрез или станция	Валовое количество			
		Бихроматная окисляемость	Углерод	Азот	C : N
Водохранилище Зуевской ГРЭС	Ст. 4, 5, 6, 7, 8 (средние)	13543	5078	307,9	16,6
То же	Ст. 3	20148	7555	356	21,5
То же	Разрез 5-й (правый берег)	3143	1178	330	3,5
То же	Разрез 7 (средние)	15850	5943	778	7,6
То же	Разрез 13 (средние)	4418	1657	314	5,2
То же	Разрез 13 (левый берег)	6012	2254	367	6,1
Водохранилище Старобешевской ГРЭС	Верховье	22674	8502	536	15,9
То же	Низовье	14600	5475	376	14,6
Водохранилище Штеровской ГРЭС	Участок прогреваемый	51660	19372	763	25,6
То же	Участок холодный	33660	12622	753	16,7
Пруды Николаевской обл. *	—	—	1400—3360	131—438	4,8—11,4
Пойменные водоемы Днепра **	—	—	2000—3600	390—430	—
р. Конка **	—	—	2500	410—470	—

\* По данным А. Д. Коненко, М. Л. Пидгайко, Д. А. Радзимовского (1965).

\*\* По данным Ю. Г. Майстренко (1962).

Водохранилище	Разрез или станция	Подвижные формы (в гидролизате по Соколову, 1953)				
		Бихроматная окисляемость	Углерод	Азот	C : N	Фосфор
Водохранилище Зуевской ГРЭС	Ст. 4, 5, 6, 7, 8 (средние)	—	—	—	—	—
То же	Ст. 3	—	—	—	—	—
То же	Разрез 5-й (правый берег)	—	—	—	—	—
То же	Разрез 7 (средние)	—	—	—	—	—
То же	Разрез 13 (средние)	—	—	—	—	—
То же	Разрез 13 (левый берег)	—	—	—	—	—
Водохранилище Старобешевской ГРЭС	Верховье	—	—	—	—	—
То же	Низовье	—	—	—	—	—
Водохранилище Штеровской ГРЭС	Участок прогреваемый	—	—	—	—	—
То же	Участок холодный	—	—	—	—	—
Пруды Николаевской обл. *	—	—	146—846	21—104	4,6—15	15—69
Пойменные водоемы Днепра **	—	—	390—430	93—94	4,1—4,6	4—5
р. Конка **	—	—	410—470	45—57	8,2—9,2	3—4

\* По данным А. Д. Коненко, М. Л. Пидгайко, Д. А. Радзимовского (1965).

\*\* По данным Ю. Г. Майстренко (1962).

Донные отложения Кураховского водохранилища образуются за счет твердого стока р. Волчьей и ее притока р. Осиковой, в которые (выше водохранилища) производится сброс шахтных вод. Донные отложения представлены в основном заиленными суглинками, которые в мелководных участках прибрежной зоны содержат большое количество детрита. Количество органического вещества в донных отложениях Терновского пруда колеблется от 3,0 до 11,7 г на 100 г воздушно-сухого грунта (по бихроматной окисляемости), что составляет 1,1—4,8 г углерода в пересчете на органический углерод. В Ильинском пруду количество органического углерода составляет 2,1—5,0 г, в среднем 3,3—3,6 г на 100 г грунта.

Распределение грунтов с различным содержанием органического вещества (углерода и азота) представлено на рис. 1. Наибольшее количество органического вещества содержат илы в русловой части водохранилища. Относительно большое количество углерода (3,5—4,22 г на 100 г воздушно-сухого грунта) отмечено также в донных отложениях прибрежного участка Терновского водоема, находящегося под влиянием нагретых циркуляционных вод. Валовое количество органического азота в илах колеблется от 106 до 600 мг на 100 г грунта. Соотношение C : N изменяется в пределах 6,1—14,7.

В кислой фракции гидролизата, характеризующей подвижное органическое вещество, содержание органического углерода колеблется в пределах 917—2455 мг на 100 г воздушно-сухого грунта (в среднем составляет 14—20% валового). Количество подвижного азота изменяется от 44,8 до 252 мг (35—57% валового). Соответственно этому соотношение C : N подвижной фракции органического комплекса илов резко снижается по сравнению с валовым, не превышая в среднем 4,5. Наиболее богаты подвижным азотом донные отложения прибрежных участков, а также на участке сброса нагретых циркуляционных вод (ст. III).

Привлекает внимание содержание в донных отложениях Кураховского водоема большого количества фосфора, валовое количество которого в среднем составляет 62—78 мг на 100 г воздушно-сухого грунта; содержание подвижного фосфора (в гидролизате) колеблется от 13 до 64 мг (в среднем по разрезам 34—51 мг на 100 г воздушно-сухого грунта, см. таблицу). Распределение фосфора по акватории прудов представлено на рис. 2.

**Зуевское водохранилище** представляет собой русловое водохранилище на р. Крынке. Часть наносов, поступающих в Зуевское водохранилище из р. Крынки и притоков, задерживается вышележащими водохранилищами — Ханженковским и Ольховским. В основном твердый сток в водохранилище формируется за счет собственного водосбора, смыва со склонов и переработ-

ки берегов. Согласно данным Донбассводтреста (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1967), мощность наносов вблизи плотины в 1947 г. составляла 0,25—0,75 м, а в вершине водохранилища — 1,2—1,75 м. В среднем годовой прирост наносов составляет 1 млн. м<sup>3</sup>, из них 26% — наносы, поступающие из вышележащих водохранилищ, 28% — из собственной водосборной площади, 40% — смыв и размыв береговых склонов; 6% составляют наносы шахтных вод.

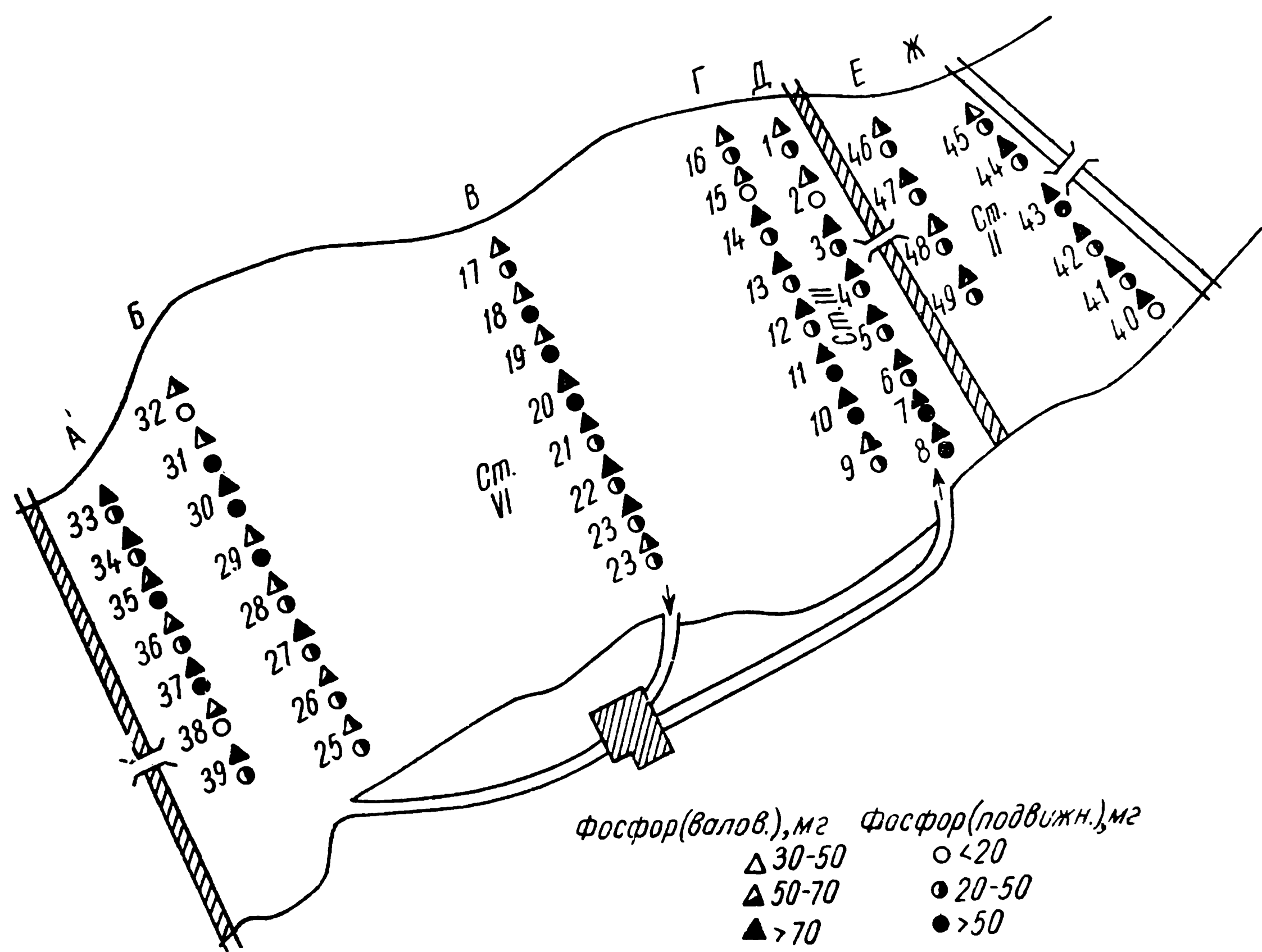


Рис. 2. Схема распределения фосфора в донных отложениях водохранилища Кураховской ГРЭС:  
А, Б, В, Г, Д, Е, Ж — разрезы.

Донные отложения водоема содержат значительное количество угольного шлака. Кроме того, они обогащаются органическим веществом автохтонного происхождения в результате сильного развития высшей водной растительности и планктона. Валовое количество органического вещества в донных отложениях Зуевского водохранилища в пересчете на углерод колеблется от 1,2 до 7,6 г на 100 г воздушно-сухого грунта. Органического азота содержится 314—778 мг на 100 г грунта; как и в Кураховском водохранилище, в донных отложениях находится значительное количество фосфора (57—106 мг на 100 г грунта).



**Старобешевское водохранилище.** Донные отложения Старобешевского водохранилища, расположенного в верхнем течении р. Кальмиус, образуются главным образом за счет стока взвешенных веществ, поступающих с водой р. Кальмиус и ее притока р. Грузской. Обе эти реки загрязняются шахтными водами, шлаком углеобогачительных фабрик, а также хозяйственно-бытовыми стоками. Ежегодный сток взвешенных веществ в р. Кальмиус составляет 5,51 тыс. т, а твердый сток р. Грузской — 9,49 тыс. т. После поступления в эти реки сточных вод г. Донецка они превращаются в сточные каналы, наполненные мутной водой. Ил в реках выше водохранилища — черный, клейкий. В Старобешевском водохранилище происходит осветление воды и накопление донных отложений, богатых углеродом и азотом.

Донные отложения Старобешевского водохранилища, в частности содержание в них микроэлементов, изучались В. Г. Дацко и В. Н. Красновым (1965). Авторы отмечают значительную аккумуляцию тяжелых металлов в иловых отложениях водохранилища, что в большой степени обусловлено характером органического вещества донных отложений \*.

Валовое содержание органического углерода в донных отложениях Старобешевского водохранилища составляет 8,5 г на 100 г воздушно-сухого грунта, а содержание азота не превышает 586 мг на 100 г грунтов. Соотношение С : N равно 14,6—16,0. Такое широкое соотношение С : N в данном случае объясняется, вероятно, наличием в донных отложениях угольной пыли. Как и в других исследованных водохранилищах, донные отложения в Старобешевском водохранилище характеризуются большим содержанием фосфора — 103—106 мг на 100 г грунта.

**Водоохранилище — охладитель Штеровской ГРЭС** находится на р. Миус в верхнем его течении (3 км ниже Яновского пруда). Водоохранилище представляет собой два смежных пруда-отсека, соединяющихся широким проливом. Холмистый характер водосбора способствует сильной эрозии грунтов, смыву мелкозема и заилению водоемов Штеровской ГРЭС. Этому способствует также сброс шахтных вод и стоков углеобогачительных фабрик в балки и реки выше водохранилища. По данным производственно-технического отдела Штеровской ГРЭС, объем заилиения водохранилища в 1967 г. составлял 1 млн. м<sup>3</sup>. Ежегодный твердый сток в водохранилище равен 100 500 м<sup>3</sup>, из них твердый сток с площади водосбора — 15 000 м<sup>3</sup>; сток сбрасываемых шахт-

---

\* Бэчман (Bachmann, 1963), М. Б. Фельдман, Е. П. Нахшина и др. (1968) установили, что цинк очень быстро поглощается верхним слоем ила, богатым органическими веществами. Авторы предполагают, что значительную роль в аккумуляции цинка донными отложениями играют процессы комплексообразования (образование хелатов и других соединений).

ных вод — 14 200 м<sup>3</sup>; спуск паводковых вод из вышележащих Яновского и Грабовского водохранилищ — 71 300 м<sup>3</sup>.

В водохранилище поступает большое количество угольного шлама. В 1966 г. только по балке Хрустальной его поступило более 50 м<sup>3</sup>. Для удаления ила из водохранилища постоянно работает земснаряд. Ежегодно на протяжении 1957—1967 гг. из водохранилища откачивается 85 000—400 000 м<sup>3</sup> ила.

По данным И. М. Аверьянова, В. А. Панова, Н. П. Фроленко (Отчет ГПИ, 1962—1963 гг. Архив Штеровской ГРЭС), в илах водохранилища содержится до 30% глинистой фракции; потери при прокаливании составляют 10,5—16,6%. Согласно результатам наших исследований, в донных отложениях водохранилища Штеровской ГРЭС количество органического углерода составляет 12,6—19,4 г на 100 г грунта. Валовое количество азота достигает 753—763 мг на 100 г грунта. Соответственно этому органическое вещество донных отложений отличается широким соотношением C : N (см. таблицу), которое здесь еще больше, чем в Старобешевском водохранилище. Последнее, очевидно, связано с наличием в донных отложениях угольного шлама. В донных отложениях Штеровского водохранилища, как и в остальных, содержится большое количество фосфора — 44,5—92,0 мг на 100 г грунта.

**Водоем — охладитель Змиевской ГРЭС** является замкнутым, одамбирсванным водоемом, который заполняется посредством канала водой из р. Сев. Донец. Перед заполнением водохранилища ложе ранее существовавшего на его месте естественного солоноватоводного водоема оз. Лиман было очищено от иловых отложений, берега водохранилища одамбированы.

Формирование донных отложений нового водохранилища происходит за счет переотложения глинистых фракций грунтов ложа и обогащения их органическим веществом планктонного происхождения. Следует отметить, что Змиевское водохранилище среди исследованных нами водоемов-охладителей является наиболее продуктивным по развитию фито- и зоопланктона. В летний период в нем в большом количестве (до степени «цветения») развиваются синезеленые водоросли. В результате интенсивной первичной продукции донные отложения Змиевского водохранилища отличаются повышенным количеством органического азота и относительно узким соотношением C : N. Валовое количество органического азота в образцах грунта колеблется от 785 до 1268 мг на 100 г сухого грунта, соотношение C : N изменяется в пределах 3,4—4,8.

В донных отложениях содержится также значительное количество подвижных форм углерода и азота. В гидролизате количество углерода составляет 425—594 мг на 100 г воздушно-сухого грунта, а подвижных легко гидролизующихся соединений азота — 164—211 мг. Донные отложения Змиевского водохранили-

ща также богаты фосфором, валовое количество которого достигает 137—148 мг на 100 г сухого грунта. В размытых глинистых грунтах ложа (например, на ст. 5а) содержится относительно небольшое количество органических веществ (см. таблицу).

Приведенная характеристика донных отложений различных водоемов показывает, что они значительно отличаются как по валовому количеству органического вещества, так и по характеру его элементарного состава. Наибольшее количество органического вещества и углерода содержат донные отложения Штеровского водохранилища, сильно заиленного и засоренного угольными шлаками. Донные отложения богатого планктоном Змиевского водохранилища отличаются наиболее высоким содержанием органического азота и узким соотношением C : N. Для всех исследованных водоемов характерно повышенное содержание в донных отложениях фосфора (валового и подвижного). По количеству фосфора они значительно богаче донных отложений естественных водоемов (например, пойменных водоемов Днепра по данным Ю. Г. Майстренко, 1962) и приближаются к высокопродуктивным илам сельских прудов степной зоны (пруды Николаевской области УССР).

При сравнении характера распределения органического вещества в донных отложениях различных участков водоемов, отличающихся по температурному режиму (участков с наиболее высокой температурой, находящихся под непосредственным влиянием горячих циркуляционных вод, и участков с естественным режимом), можно отметить отсутствие четкого различия их по степени аккумуляции в них органического углерода, азота и фосфора. Наряду с этим в донных отложениях участков водоемов, находящихся под постоянным влиянием нагретых циркуляционных вод, чаще наблюдается меньшее количество органического углерода и азота, чем в участках с естественным режимом.

Учитывая результаты исследований М. Л. Пидгайко, В. Г. Гринь, О. А. Сергеевой, О. А. Виноградской, которыми установлено более интенсивное развитие гидробионтов (более высокие биомасса и численность, интенсивность фотосинтеза) в обогреваемых участках водоемов, можно было бы ожидать, что будут обогащаться верхние слои донных отложений на этих участках автохтонными органическими веществами.

Отсутствие значительного накопления органического вещества в донных отложениях на участках водоемов, находящихся под непосредственным влиянием циркуляционных нагретых вод, может быть объяснено более интенсивной минерализацией органического вещества в условиях повышенных температур. Последнее подтверждается результатом проведенных исследований скорости биохимического потребления кислорода на обогреваемых участках водоемов и на участках с естественным режимом.

- Аринюшкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1961.
- Бакастов С. С. Теплофизическая характеристика затопленных грунтов.— В кн.: Тр. Ин-та биол. внутр. вод СССР, 13 (16). Л.— М., 1966.
- Дацко В. Г., Краснов В. Н. О содержании некоторых микроэлементов (тяжелых металлов) в воде и илах Старобешевского водохранилища.— В кн.: Гидрохимические материалы, 11. Гидрометеиздат, Л., 1965.
- Коненко Г. Д., Підгайко М. Л., Радзимовський Д. О. Ставки лісостепових, степових та гірських районів України. «Наукова думка», К., 1965.
- Курдин В. П. О классификации и происхождении грунтов водохранилищ.— Бюлл. Ин-та биол. водохранилищ. М.— Л., 1960.
- Майстеренко Ю. Г. Основные черты формирования органического вещества, донных отложений Каховского водохранилища в период его установления.— В кн.: Тр. зонального совещания по типологии внутренних водоемов юга СССР. Кишинев, 1962.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрометеиздат, Л., 1967.
- Соколов Д. Ф. Суммарное определение легкогидролизуемых азота, углерода и фосфора в сапропелях. Методика изучения сапропелевых отложений. М., 1953.
- Фельдман М. Б., Нахшина Е. П., Суховий А. В., Дмитриева А. Г. О возможности применения полиметаллических продуктов для борьбы с синезелеными водорослями.— Гидробиол. журн., 3, 1968.
- Bachmann R. W. Zn-65 in studies of the Freshwater zinc cycle "Radioecol". New York, 1963.

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОДОХРАНИЛИЩА — ОХЛАДИТЕЛЯ ДОБРОТВОРСКОЙ ГРЭС И р. ЗАПАДНЫЙ БУГ

*Н. Т. НАТАЛЮК, Б. А. ШИМАНСКИЙ*

Для технического водоснабжения Добротворской ГРЭС на р. Западный Буг сооружено водохранилище-охладитель. Заполнение водохранилища было осуществлено в феврале 1961 г. При проектной отметке 202,0 м объем воды в водохранилище составляет 11,55 млн. м<sup>3</sup>, площадь — 605 га, средняя глубина — 1,5—2,0 м. Добротворское водохранилище сравнительно узкое, S-образной формы, длина его около 10 км. Правый берег водохранилища более крутой, местами пологий, левый — пологий. В верховье водохранилище разливается на небольшую площадь, образует болота и переходит в р. Западный Буг.

В Западный Буг впадает р. Полтва, несущая все промышленно-бытовые стоки г. Львова, а также много сточных вод из ближайших городов (Краснэ, Буск, Золочев и др.). Загрязненная вода (черная или серо-черная с неприятным запахом), содержащая массу взвешенных веществ, поступает в водохранилище. Попадая из реки в верховье водохранилища, вода теряет скорость течения, здесь же происходит смешивание ее с водой



водохранилища и выпадение из нее крупных, средних и легких фракций взвешенных веществ, т. е. вода подвергается интенсивному биологическому самоочищению.

До заполнения водохранилища водой из р. Западный Буг мероприятия по подготовке ложа не осуществлялись ни с целью предупреждения последующего развития в нем растительности, ни с целью использования водохранилища в рыбохозяйственном и спортивном отношении. Поскольку водохранилище — охладитель Добротворской ГРЭС пополняется постоянно загрязненной водой из р. Западный Буг, оно является кроме того «биологическим прудом», где происходит интенсивная биологическая очистка сточных вод. Это положение подтверждается всеми гидробиологическими данными, собранными в различные сезоны года по Добротворскому водохранилищу в разных точках от верховья до плотины.

Наблюдения за гидрохимическим режимом Добротворского водохранилища были начаты с момента его заполнения. Минерализация воды в водохранилище после заполнения изменялась в пределах 340—490 мг/л. Примерно 70—75% общего солевого содержания составляли бикарбонатные ионы, что могло характеризовать ее как гидрокарбонатную. Остальные 25—30% составляли хлориды, сульфаты, ионы кальция, магния и др. Наличие в воде 78—119 мг/л ионов кальция и 6—14 мг/л ионов магния обеспечивали общую жесткость воды (5,8—6,5 мг-экв/л).

Сравнивая результаты химических анализов последующих лет наблюдений с первоначальными, сразу же после заполнения водохранилища, следует отметить, что общая минерализация за первый год (в 1962 г.) возросла на 70—80 мг/л и составляла в 1962 г. 553—561 мг/л. В марте 1964 г. максимальное содержание достигало 693 мг/л, т. е. за три года произошло увеличение минерализации на 200 мг/л. Общая жесткость за год повысилась на 0,6—0,8 мг-экв/л, достигнув 7,3—7,1 мг-экв/л. В последующие годы повышения жесткости не отмечалось. Общая щелочность за год возросла от 5,8—6,5 до 6,9—7,1 мг-экв/л. Повышение минерализации в первые годы произошло в основном за счет концентрирования ионов хлора и сульфатов, которые выщелачивались из минеральных веществ почвы ложа водохранилища после его заполнения.

Начиная с паводка 1964 по 1966 г. максимальная минерализация воды в водохранилище не превышала 583—590 мг/л.

Изменение минерализации воды в водохранилище зависит от изменения последней в р. Западный Буг. Поскольку водохранилище имеет большую проточность, то заметного отличия в общей минерализации и соотношении основных компонентов в реке и водохранилище не наблюдается. Минерализация воды в водохранилище и Западном Буге изменяется в пределах 330—590 мг/л. Весенний паводок на реке начинается обычно в марте,



поэтому вода в верховье водохранилища в это время более разбавлена. В конце апреля в верховье начинается повышение минерализации, в то время как у плотины она еще понижается. Перемешивание воды во всей чаще водохранилища происходит примерно в течение месяца.

Кроме наблюдений за изменениями химического состава воды по длине водохранилища велись наблюдения за изменением минерализации по его глубине. Общая минерализация воды по глубине водохранилища в меженный период не изменяется; в период весеннего паводка в поверхностных слоях она меньше, чем на глубине. Разница в солесодержании на глубине 4,0 и 8,0 м в районе 1-й береговой насосной станции в этот период составляла 20—40 мг/л.

Заметное изменение с глубиной наблюдается в содержании растворенного в воде кислорода и углекислоты. Разница в содержании углекислоты на поверхности и глубине колеблется от 1,0 до 4,5 мг/л. Когда на глубине содержание углекислоты увеличивается, содержание кислорода уменьшается. Это объясняется происходящими в придонных слоях процессами гниения отмерших водных растений, при которых идет потребление кислорода на окисление и выделение при этом углекислоты. В поверхностных слоях воды содержание кислорода повышается за счет лучшей аэрации из воздуха и зависит также от степени ее нагрева, освещенности и других факторов.

Из рис. 1 видно, что температура воды в водохранилище всегда выше (особенно летом) температуры в р. Западный Буг. Разница температуры в июне 1964 г. достигала 9°С. Количество растворенного в воде кислорода колеблется в основном в пределах 3,5—12,5 мг/л, за исключением зимнего периода 1962 и 1966 гг., когда содержание кислорода снизилось почти до нуля. В отдельные периоды года в водохранилище отмечалось перенасыщение верхних слоев воды кислородом. Так, осенью 1962 г. насыщение воды кислородом достигало 119%. А в 1965 и 1966 гг. максимальное насыщение водохранилища кислородом отмечалось весной и достигало 114—142%. Повышенное содержание кислорода весной объясняется усиленной аэрацией воды в паводковый период. Летом, несмотря на повышение температуры, насыщение воды кислородом составляло 90—100%, чему способствовали интенсивно протекающие в этот период процессы фотосинтеза. Начиная с осени насыщение воды кислородом снижалось и зимой иногда падало до нуля (январь 1966 г.). Снижение содержания кислорода в воде в осенне-зимний период, когда температура воды минимальная, объясняется интенсивным поглощением его при окислении отмерших водных организмов, минимальным количеством фитопланктона и отсутствием высшей водной растительности, а также ограниченным доступом его в ледоставный период из воздуха.

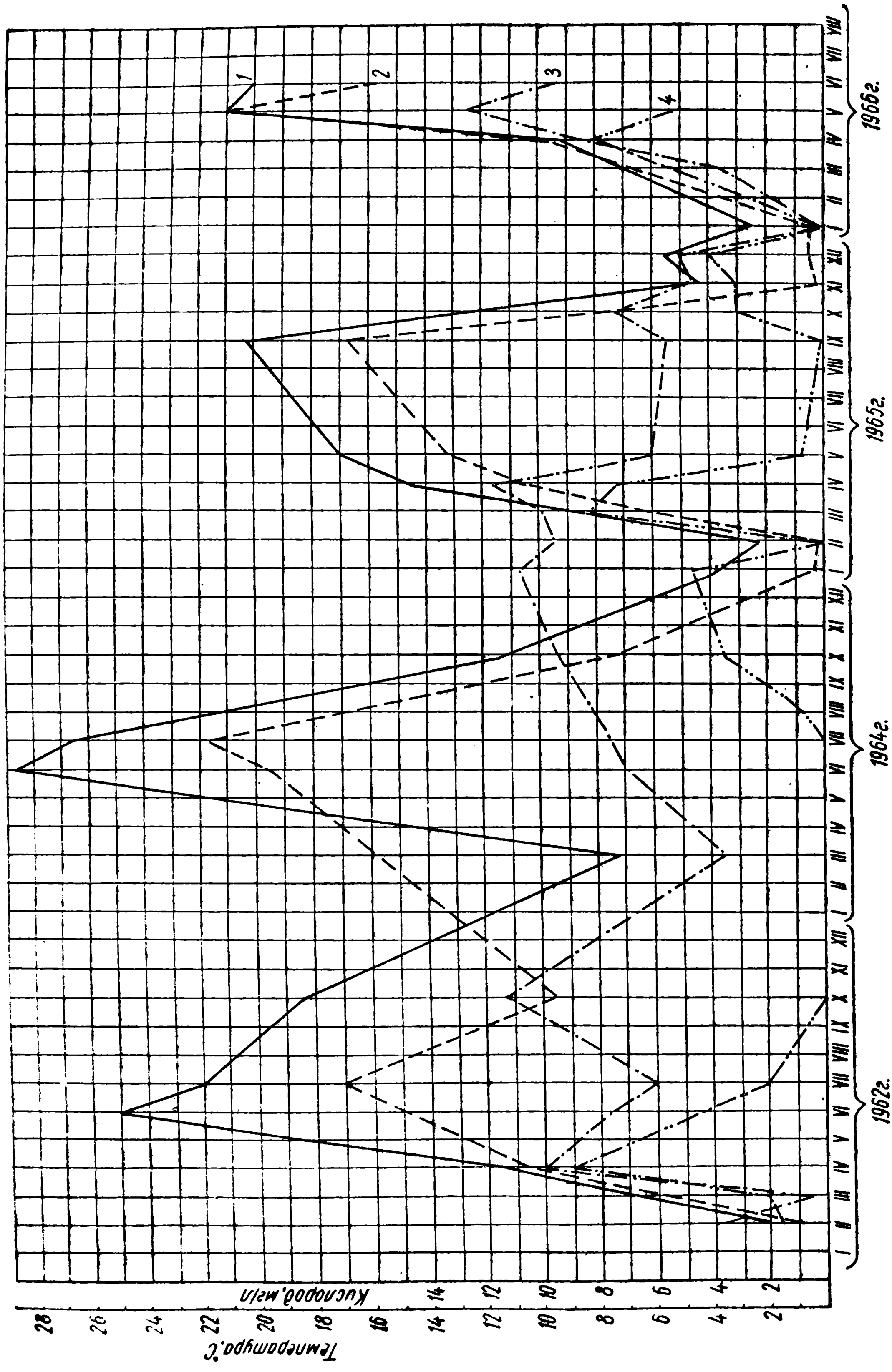


Рис. 1. Содержание растворенного кислорода и температура воды в водохранилище и р. Западный Буг в 1962—1966 гг.:  
 1 — температура воды в водохранилище; 2 — в р. Западный Буг; 3 — содержание кислорода в водохранилище; 4 — в р. Западный Буг.

Несмотря на то, что температура воды в р. Западный Буг всегда ниже, чем в водохранилище, содержание кислорода в ней также понижено (рис. 1). Очень часто летом, осенью и зимой содержание его в реке снижается до нуля. Отсутствие в воде растворенного кислорода или минимальное его содержание обусловлено загрязнением воды бытовыми и промышленными стоками.

Повышенное содержание кислорода в водохранилище-охладителе, несмотря на более высокую температуру воды в нем, в первую очередь свидетельствует о том, что водохранилище служит и «биологическим прудом», в котором происходит очистка сточных вод. Вторым показателем загрязнения воды р. Западный Буг сточными водами является наличие в нем большого количества свободной углекислоты, максимальное содержание которой в 1964—1965 гг. составляло 31—42 мг/л.

В противоположность растворенному в воде кислороду содержание углекислоты в реке в период весенних и осенних паводков минимальное и повышается только зимой, когда происходит интенсивное гниение растительных остатков, в процессе которого выделяется углекислота. Повышенное ее содержание является также результатом минимальных фотосинтетических процессов в водоеме в этот период. Кривая содержания свободной углекислоты в водохранилище повторяет ход кривой  $\text{CO}_2$  в р. Западный Буг, но количество ее в водохранилище несколько меньше, чем в реке (рис. 2).

Минимальное содержание углекислоты в водохранилище отмечается весной (в 1965—1966 гг. снижение до нуля). Зимой содержание углекислоты изменяется в пределах 10—18 мг/л. Летом 1964 г. содержание углекислоты достигло 20 мг/л, что явилось результатом обработки охлаждающей воды медным купоросом с целью уничтожения низшей водной растительности, вызвавшей «цветение» воды.

В тесной связи с содержанием углекислоты в воде находится и концентрация водородных ионов. Величина рН в зимне-весенний период 1962 г. находилась в пределах 7,1—7,5. Осенью при отсутствии углекислоты в воде рН повышалось до 8.

В 1964 г. концентрация водородных ионов несколько понизилась, и значение величины рН возросло до 7,4—8,2. Изменения реакции воды в водохранилище на протяжении 1965—1966 гг. почти не происходило, за исключением весенних периодов, когда величина рН при отсутствии углекислоты повышалась до 7,8—8,4.

Как видно из рис. 2, величина рН в р. Западный Буг на протяжении 1962—1966 гг. несколько ниже, чем в водохранилище и колеблется в пределах 7,0—7,8. Более низкие показатели рН воды в реке обусловлены повышенным содержанием углекислоты и ограниченным количеством водных растений в этом

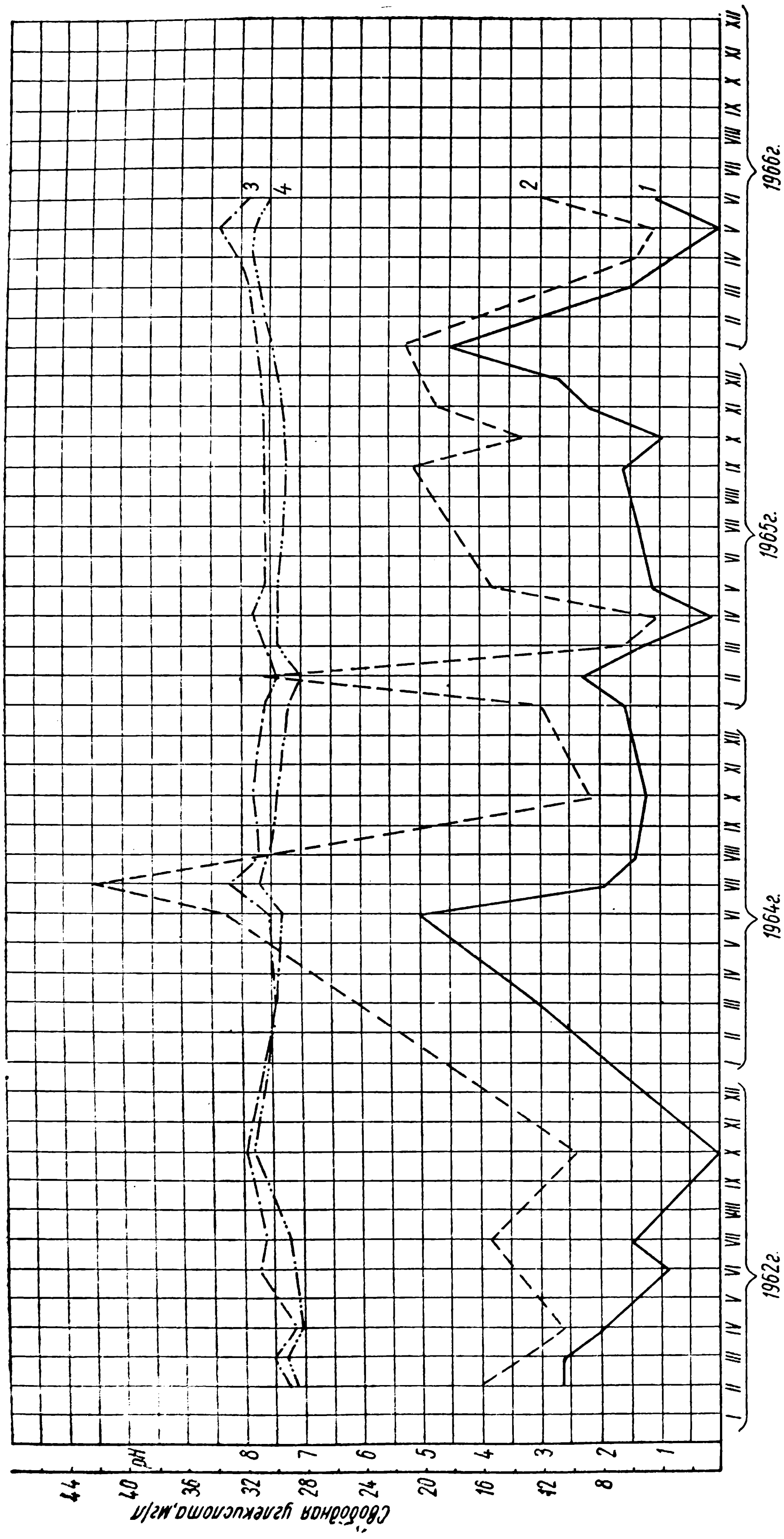


Рис. 2. Содержание углекислоты и величина pH в водохранилище и р. Западный Буг в 1962—1966 гг.:  
1 —  $\text{CO}_2$  в водохранилище; 2 —  $\text{CO}_2$  в р. Западный Буг; 3 — pH в водохранилище; 4 — pH в р. Западный Буг.



районе. Одним из основных факторов, характеризующих загрязнение воды органическими веществами, является ее окисляемость. По градации Алекина, воду данного водохранилища и р. Западный Буг можно отнести к водам с повышенной окисляемостью. Перманганатная окисляемость воды на протяжении наблюдаемого периода находилась в пределах 7,2—21,2 мг/л. Максимальная окисляемость в водохранилище отмечалась в летне-осенний период, когда происходит интенсивное развитие низшей водной растительности и ее отмирание. Окисляемость воды в р. Западный Буг находилась в пределах 8—20 мг/л.

Четко выраженной закономерности в содержании органических веществ в р. Западный Буг не наблюдалось, так как здесь играют роль количество и характер сточных вод, попадающих в реку.

Как видно из рис. 3, в первые годы после заполнения водохранилища окисляемость в р. Западный Буг была выше, чем в водохранилище, чему способствовали процессы самоочищения. В дальнейшем, начиная с 1964 г., в летний период в результате интенсивной фотосинтетической аэрации происходит накопление синтезированного вещества тел водорослей, и величина окисляемости в водохранилище превышает таковую в р. Западный Буг.

В тесной связи с органическими веществами и растворенными в воде газами находятся биогенные вещества, к которым относятся соединения азота, фосфора, железа и кремния. Поскольку р. Западный Буг загрязняется промышленно-бытовыми стоками, содержание в ней аммиачных соединений зависит в первую очередь от периодичности сброса сточных вод, их количества и качества. За наблюдаемый период с 1962 по 1966 г. количество аммонийного азота в реке колебалось в пределах 0,5—24,5 мг/л. На рис. 4 показаны изменения содержания аммонийного, нитритного и нитратного азота в р. Западный Буг и водохранилище-охладителе.

Из рис. 4 видно, что в водохранилище в результате биохимических процессов при участии микробиальной флоры происходит снижение содержания аммонийного азота. Наиболее интенсивное снижение его содержания отмечается летом. Количество аммонийного азота в этот период не превышает 3,0 мг/л. Максимальное его содержание (до 7,0 мг/л) наблюдается зимой, когда при пониженной температуре воды процессы нитрификации замедляются.

Снижение содержания аммонийного азота в водохранилище приводит к увеличению количества нитритного и нитратного азота. В летний период, когда происходят интенсивные процессы окисления аммиачных соединений, в водохранилище увеличивается количество нитритов и нитратов. Однако снижение содержания аммиачных соединений в водохранилище не приводит к накоплению эквивалентного количества нитритного и нитрат-

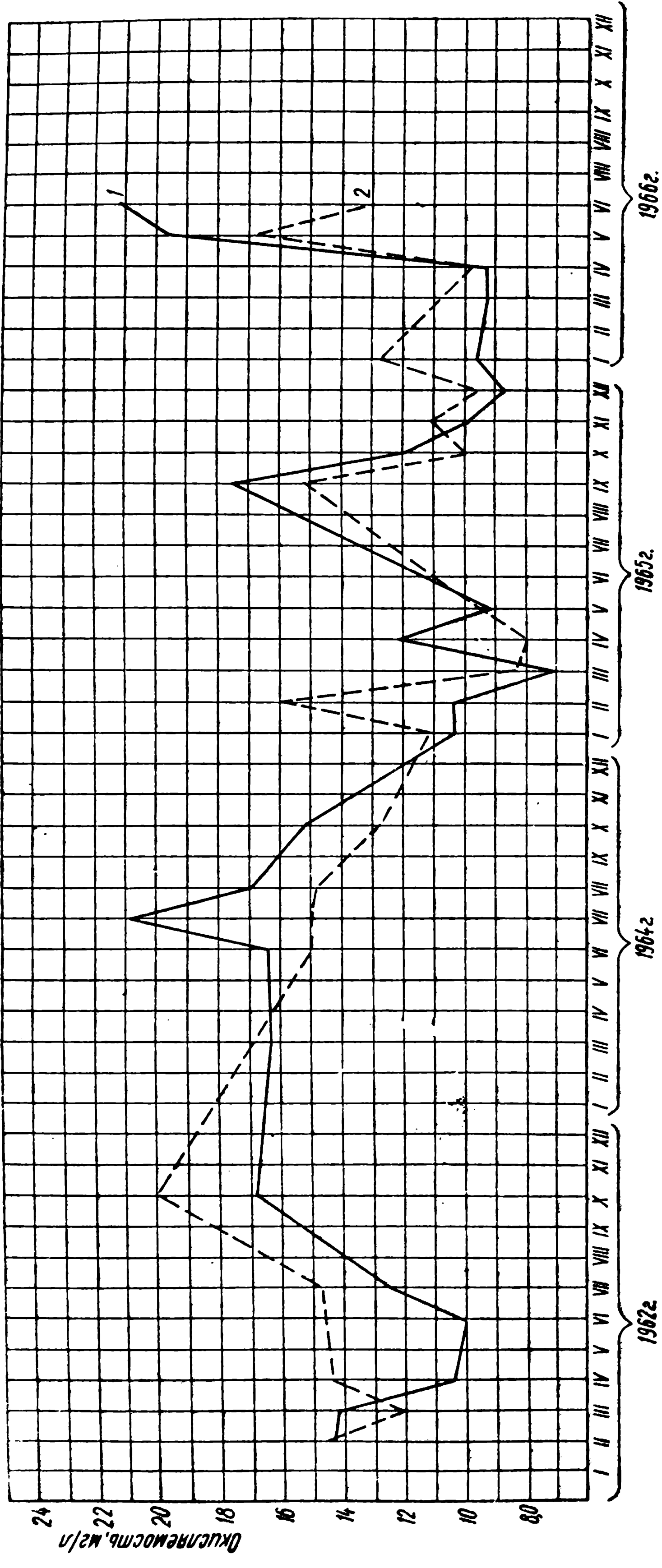


Рис. 3. Окисляемость в водохранилище и р. Западный Буг в 1962—1966 гг.:  
 1 — водохранилище; 2 — р. Западный Буг.

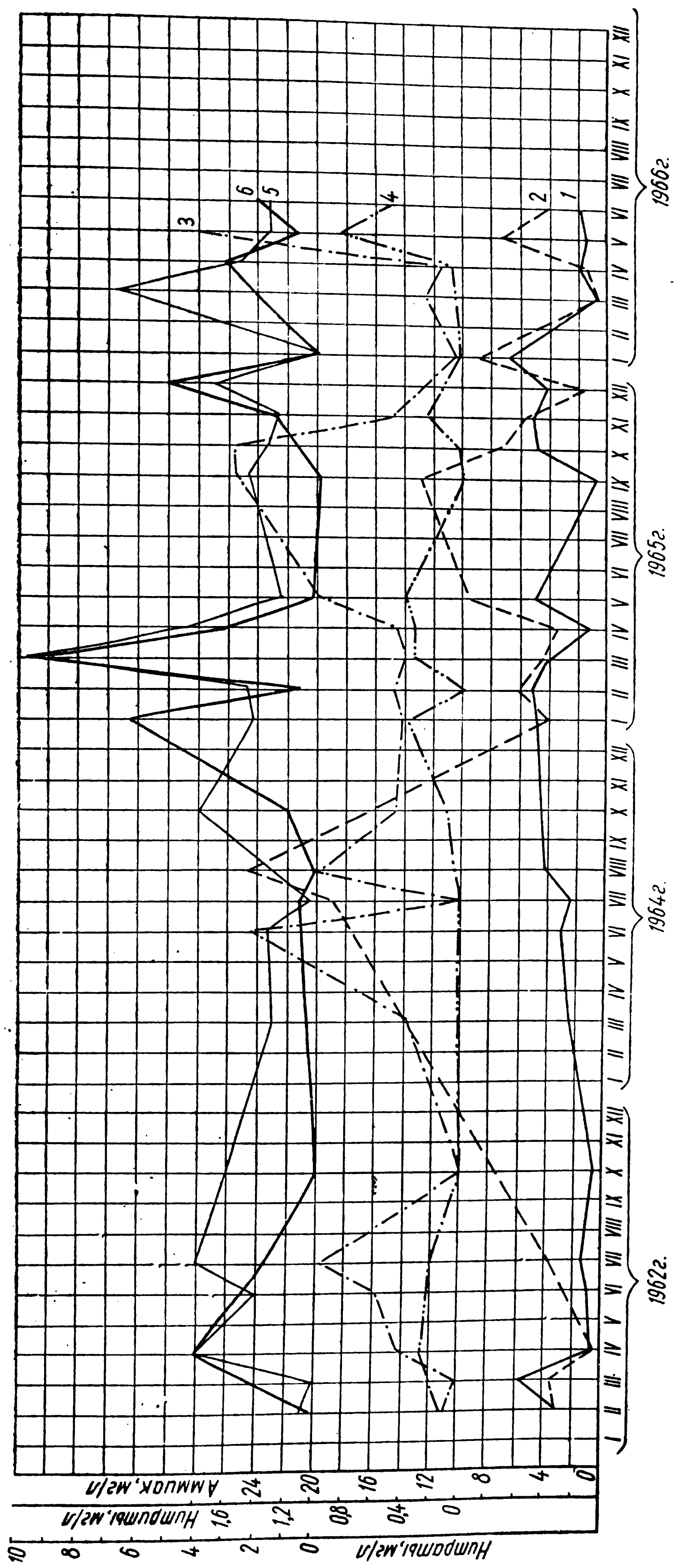


Рис. 4. Содержание соединений азота в водохранилище и р. Западный Буг в 1962—1966 гг.:

1 —  $\text{NH}_4$  — в водохранилище; 2 —  $\text{NH}_4$  — в р. Западный Буг; 3 —  $\text{NO}_3$  — в водохранилище; 4 —  $\text{NO}_3$  — в р. Западный Буг; 5 —  $\text{NO}_3$  — в водохранилище; 6 —  $\text{NO}_3$  — в р. Западный Буг.

ного азота, поскольку летом происходит частичное поглощение последнего развивающимся в водохранилище фитопланктоном.

Содержание нитритов в водохранилище колеблется в пределах 0,6—1,8 мг/л. В р. Западный Буг оно несколько меньше (0,0—0,85 мг/л). Это объясняется тем, что процессы нитрификации в реке происходят не так интенсивно, как в водохранилище. Количество нитратов в водохранилище и р. Западный Буг определяется 0—10 мг/л. Максимальное его содержание (7—10 мг/л) отмечалось в марте 1965 и 1966 гг. при сравнительно небольшом содержании аммиака в реке и водохранилище. Это связано с тем, что в результате протекавших ранее процессов нитрификации произошло накопление нитратов, а потребление аммиака еще не началось, поскольку в это время еще не наступило интенсивное развитие фитопланктона.

Развитие азотсобирающих бактерий интенсифицируется при наличии соединений фосфора ( $\text{PO}_4$ ), которого содержится в водохранилище 0,01—1,9 мг/л. Максимальное количество фосфатов приходится на осенне-зимний период, особенно в придонных слоях, а в весенне-летний период количество их снижается до минимума. Это происходит за счет обильного расходования соединений фосфора на питание водных растений. Наличие большого количества фосфорных соединений в реке и водохранилище является также результатом промышленно-бытовых стоков в р. Западный Буг.

Содержание кремниевой кислоты в реке и водохранилище колеблется в пределах 1—36 мг/л. В водохранилище наблюдается более выраженная закономерность в потреблении кислоты при развитии водной растительности. Так, минимальное содержание ее (1,0—7,0 мг/л) отмечается весной, летом и осенью при развитии высшей водной растительности и диатомовых водорослей, максимум приходится на зиму, когда отмирает водная растительность.

Количество железа в р. Западный Буг и водохранилище находится в пределах 0,2—1,3 мг/л. Наибольшее количество его отмечается зимой при установлении ледяного покрова и отсутствии в воде кислорода. В летний период при хорошем смешении воды и воздуха происходит окисление закисного железа в окисное, что способствует выпадению его из раствора в виде гидроокиси и снижению концентрации последнего в водоеме.

## ВЫВОДЫ

1. Изменений общей минерализации в водохранилище по сравнению с р. Западный Буг не отмечается. Общее содержание солей в речной воде и водохранилище колеблется в пределах 330—590 мг/л.

2. Стратификации в общем солесодержании по водохрани-



лищу в меженный период не наблюдается; в паводковый период разница в солесодержании на глубине 4,0 и 8,0 м составляет 20—40 мг/л.

3. В р. Западный Буг по сравнению с водохранилищем четко выражены изменения в содержании растворенных в воде газов. В реке, несмотря на более низкую температуру, содержание кислорода меньшее, чем в водохранилище, а содержание углекислоты, наоборот, большее, что связано со значительным загрязнением реки сточными водами.

4. Снижение концентрации углекислоты и более высокое содержание кислорода в водохранилище при повышенной температуре воды подтверждает происходящие в водохранилище биологические процессы очистки сточных вод.

5. Наличие в р. Западный Буг до 24,5 мг/л аммонийного азота свидетельствует о загрязнении ее промышленно-бытовыми стоками. В водохранилище-охладителе в результате процессов нитрификации, протекающих более интенсивно при повышенной температуре, происходит снижение содержания иона аммония; максимальное его количество не превышает 7,0 мг/л.

6. Водоохранилище-охладитель и р. Западный Буг характеризуются повышенной окисляемостью воды, что связано со сбросом вод в реку и интенсивно развивающимися в водохранилище водорослями.

7. Повышение температуры воды в водохранилище на 3—5° С улучшает его гидрохимический режим в результате интенсификации процессов самоочищения.

### **РЕЖИМ ИОННОГО СОСТАВА И ОБЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА — ОХЛАДИТЕЛЯ ЛИТОВСКОЙ ГРЭС**

*Г. А. ЛАУМЯНСКАС, Ю. Ю. СЛУКИШКИС*

Создание водохранилища — охладителя Литовской ГРЭС открыло большие возможности для развития рыбного хозяйства в этом районе.

Как известно, сброс подогретых вод с охладительных сооружений тепловых электростанций обуславливает изменение гидротермического режима водоемов, а это может иметь как положительные, так и отрицательные последствия. Повышение температуры ускоряет ход химических и биохимических процессов, способствует разложению органических веществ, влияет на изменение газового режима. Все это сказывается на физико-химическом режиме среды, изменение которого может повлечь за собой и изменение состава биоценозов (Стангенберг, 1967).

Изучение изменения физико-химического режима под влиянием тепловых электростанций заслуживает внимания еще и

потому, что соединения серы, содержащиеся в используемом электростанцией топливе в количестве до 4%, являются источником загрязнения атмосферы, а это представляет возможность аккумуляции серы как в водоемах, так и на суше.

#### КРАТКАЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ И ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА р. СТРЕВА И ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ

Водохранилище — охладитель Литовской ГРЭС было сооружено при подпоре вод р. Стрева плотиной, построенной в 1,5 км ниже группы озер Аникштай общей емкостью около 14,5 млн. м<sup>3</sup>. Чаша водохранилища до 94 м наполнялась водами весеннего и осеннего паводков 1962 г., а проектного уровня — 95 м она достигла весной 1963 г. Акватория водохранилища увеличилась до 10,8 км<sup>2</sup> и объем чаши — до 93,5 млн. м<sup>3</sup>. Максимальная глубина водохранилища — 32 м, средняя — 7,2 м. Водохранилище-охладитель имеет глубинный водозабор и струенаправляющую дамбу. Сброс теплой воды осуществляется по водоотводящему каналу с двумя ветвями. Уровень воды водохранилища регулируется сбросом в нижний бьеф через р. Стреву со средней части отводящего канала (см. рисунок).

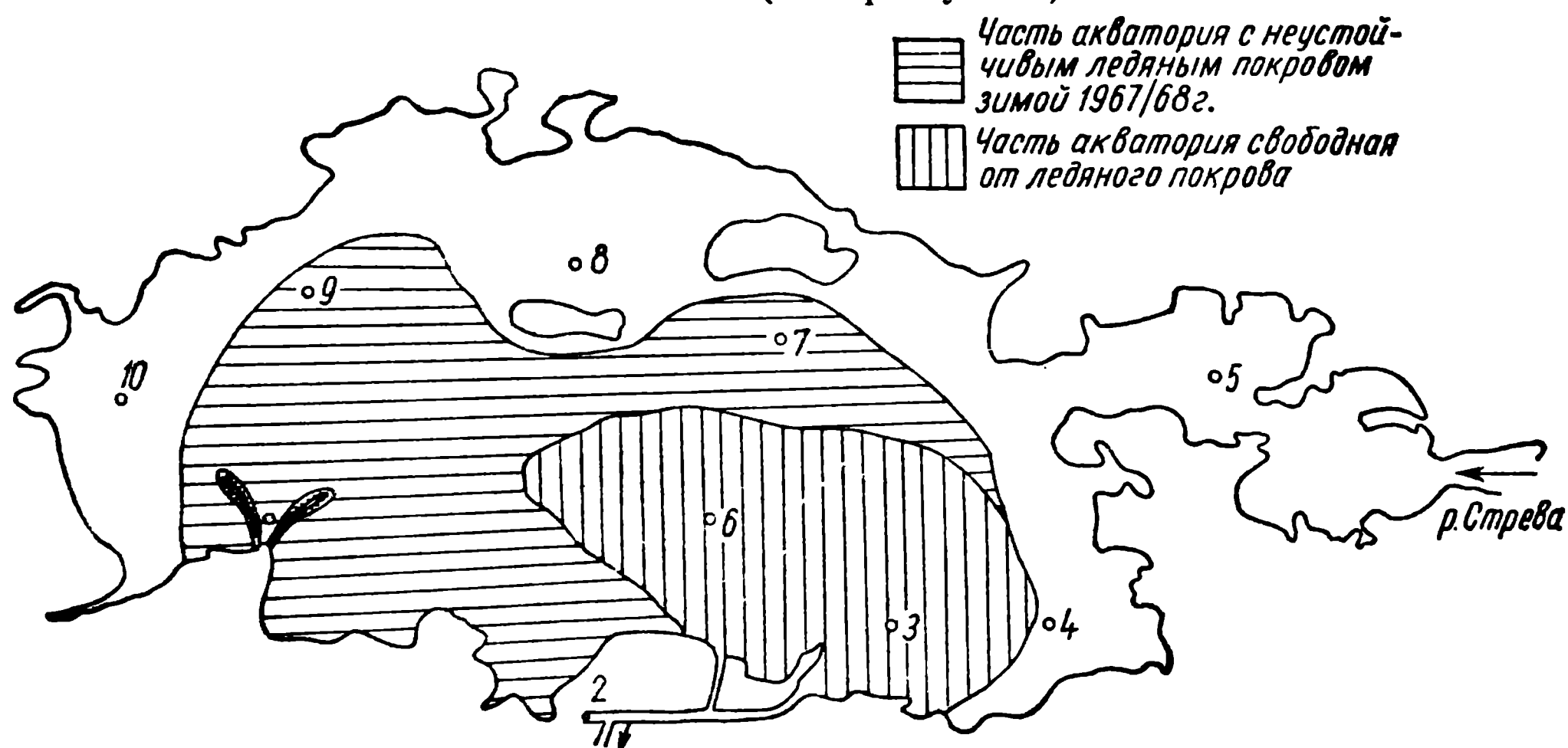


Схема водохранилища — охладителя Литовской ГРЭС.

В составе залитых угодий около 28% площади занимают озера Аникштай, Ягудис и Пуйкинас, 18% — торфяные участки средней степени разложения, остальные — кустарники и возделываемые сельскохозяйственные земли с очисткой порубочных остатков древесины и санитарной обработкой бывших населенных мест.

Район расположения водохранилища характеризуется дерновоподзолистыми суглинками и супесями, содержащими 1,5—

1,8% гумусовых веществ. Количество подвижного фосфора составляет 3—5 мг, калия — 10—13 мг на 100 г почвы (Lietuvos TSR, 1958).

Водохранилище наполняется водой главным образом р. Стрева, бассейн водосброса которой (227 км<sup>2</sup>) находится в южной части Литовской ССР, выше водохранилища. Средние многолетние расходы составляют 2,5 м<sup>3</sup>/сек. Бассейн р. Стрева находится в зоне умеренно холодного климата. Средняя месячная температура в январе 3—6°, в августе — более 17°. На территории за год выпадает в среднем 650 мм осадков. Из этого количества около 260 мм стекает в реки, а 390 мм — испаряется; 16% всех осадков приходится на август. Всего в году 168 дней с осадками. Снежный покров образуется в конце декабря, исчезает в середине марта. Относительная влажность — более 80%, зимой — 90% (Lietuvos TSR, 1958).

#### УСЛОВИЯ ОТБОРА ПРОБ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Пробы для химического анализа отбирались ежемесячно (расположение станций см. на рисунке) выше водохранилища, в речной части водохранилища (ст. 5), в водозаборном (ст. 1) и в водоотводящем (ст. 2) каналах, в глубоководных участках бывших сзер (ст. 7, 8, 9), в участке, прилегающем к устьям водоотводящего канала (ст. 3) и на мелководных участках (ст. 4). В местах глубиной до 2,5 м пробы отбирались только из поверхности, в более глубоких участках — на горизонтах через каждые 6 м, а для измерения температуры и газового состава — через каждые 3 м. Во время отбора проб определялись температура и рН. рН устанавливалось портативным рН-метром типа model 30b. Количество растворенного СО<sub>2</sub> определялось титрованием при помощи Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> с фенолфталеином и проверялось по номограмме для определения концентрации свободной углекислоты в воде (Апельцин, 1967). БПК<sub>5</sub> определялось по уменьшению содержания кислорода после хранения закупоренных образцов в темноте и при температуре 20°С в течение 5 суток (Драчев, 1953). Определение биогенных элементов, органических веществ, растворенного кислорода и физических свойств выполнялось по методикам, описанным О. А. Аلكиным (1954) при помощи фотоэлектроколориметра-нефелеметра ФЭК-Н-57.

Определение главных ионов проводилось следующими методами: Cl<sup>-</sup> — меркурометрически (Резников, 1963), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> — фотоэлектротурбидиметрически (Супаташвили, 1961), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> — волюметрически (титрованием 0,05-н. раствора HCl), Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> — трилометрически, Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> — фотометром пламени (model III).

# ОБЩАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

Отношение площади водосбора р. Стрева к площади водохранилища (удельный водосбор) составляет 21. Это свидетельствует о том, что гидрохимический режим водохранилища в значительной степени зависит от характера приточных вод.

Средние сезонные величины и пределы колебаний минерализации и ионного состава охлаждающей Литовской ГРЭС в 1966—1968 гг.

Ингредиенты	Сезон года	р. Стрева		оз. Аникштай	
		Предел колебаний, мг/л	Средняя величина, мг/л	Предел колебаний, мг/л	Средняя величина, мг/л
Cl'	Весна	2,21—5,50	4,12	7,10—21,30	—
	Лето	2,88—5,72	4,07	4,00—16,00	8,07
	Осень	2,88—5,51	6,03	—	—
	Зима	3,80—5,10	4,47	2,00—14,20	8,20
SO <sub>4</sub> "	Весна	13,24—22,60	18,71	8,00—16,00	—
	Лето	13,00—19,20	16,20	3,30—20,00	13,30
	Осень	13,00—23,50	17,53	—	—
	Зима	14,40—20,60	18,72	9,10—16,00	13,60
HCO <sub>3</sub> '	Весна	136,64—227,20	198,51	73,20—244,00	—
	Лето	202,65—222,65	217,49	207,10—244,00	227,40
	Осень	228,75—259,25	238,67	—	—
	Зима	236,37—274,50	253,47	219,60—280,00	241,70
Ca <sup>++</sup>	Весна	38,36—57,98	50,62	16,00—50,00	—
	Лето	47,07—52,60	50,36	46,00—65,20	52,90
	Осень	53,57—62,38	56,93	—	—
	Зима	49,12—71,50	59,54	48,00—68,00	57,50
Mg <sup>++</sup>	Весна	7,68—14,90	12,27	4,88—28,06	—
	Лето	14,00—17,30	15,56	2,60—19,52	15,98
	Осень	13,50—16,49	15,48	—	—
	Зима	14,72—17,13	16,11	9,76—17,08	14,90
Na' + K'	Весна	3,70—6,40	5,25	2,99—8,51	—
	Лето	5,20—7,43	6,39	0,00—12,19	6,61
	Осень	6,30—7,95	6,96	—	—
	Зима	5,48—7,82	6,82	2,99—7,59	5,86
Σ <sub>и</sub>	Весна	210,00—325,29	297,16	117,71—362,40	—
	Лето	302,81—333,65	316,94	304,08—359,97	324,50
	Осень	315,46—362,33	335,58	—	—
	Зима	339,01—388,54	361,51	309,50—389,71	348,10

Минимальная минерализация р. Стрева (210 мг/л) отмечается во время весеннего паводка, максимальная (388,5 мг/л) — приходится на зимнюю межень. По величине минерализации р. Стрева относится к среднеминерализованным с индексом  $S_{II}^{Ca}$  (см. таблицу). Как видно из данных таблицы, величины

средней минерализации за счет аккумуляции паводковых вод после зарегулирования уменьшились. Также уменьшились и амплитуды колебания минерализации воды по сезонам с максимумом в зимний период и минимумом — в летнюю межень. Причиной такого запоздалого уменьшения показателей минерализации является имеющийся в чаше водохранилища запас воды, тава воды р. Стрева, оз. Аникштай (до зарегулирования) и водохранилища —

Озерная часть водохранилища-охладителя								
Предел колебаний, мг/л	Средние величины по глубинам на станциях, мг/л							
	Ст. 1, 0,5 м	Ст. 2, 0,5 м	Ст. 3, 0,5 м	Ст. 6, 0,5 м	Ст. 6, 12 м	Ст. 8, 0,5 м	Ст. 8, 12 м	Ст. 9, 24 м
3,48—4,61	4,35	4,37	4,35	4,36	4,41	4,47	4,54	4,41
2,80—4,29	4,18	4,05	4,10	3,82	3,80	3,85	3,92	3,81
3,27—4,60	4,20	4,13	4,18	4,00	3,98	4,13	4,01	4,07
3,25—4,61	4,43	4,45	4,30	3,93	4,00	4,26	4,25	4,28
16,80—24,00	18,88	18,20	18,65	17,67	17,90	17,90	17,88	17,60
12,20—18,40	15,25	16,07	16,00	16,47	15,65	15,40	15,95	15,77
14,00—22,60	17,03	17,21	17,13	18,00	18,26	17,40	17,80	18,31
16,00—19,00	18,85	18,40	18,51	17,42	17,64	17,90	17,55	17,55
198,25—209,31	206,53	206,87	206,60	207,58	207,38	206,92	207,37	206,97
195,20—204,31	195,94	195,61	195,59	204,35	196,72	200,53	206,25	204,75
192,15—210,45	193,90	194,05	194,12	202,35	194,43	198,24	201,02	204,57
197,64—221,43	207,87	207,96	207,80	206,60	205,27	209,62	210,50	206,15
42,18—54,53	50,19	49,94	50,08	50,53	50,39	49,73	50,42	50,65
46,03—50,60	46,06	46,37	46,25	46,60	46,68	47,20	46,71	49,08
44,95—50,54	45,41	46,12	45,90	46,37	46,31	46,31	45,36	45,72
47,62—55,39	50,53	50,54	50,42	49,44	49,63	50,52	50,56	50,80
11,67—14,73	13,68	13,84	13,80	13,68	13,56	13,56	13,76	13,91
12,38—14,08	13,25	13,30	13,17	12,34	12,78	13,16	12,54	12,61
12,45—15,21	14,01	13,51	13,82	13,90	13,35	14,31	13,75	13,78
13,07—15,77	14,13	14,14	14,23	13,10	13,01	13,46	13,61	13,49
5,56—7,25	6,37	6,28	6,35	6,02	5,45	6,12	6,20	6,22
5,70—6,25	6,00	5,88	5,90	5,71	5,85	6,02	6,03	6,49
5,25—6,80	6,35	6,63	6,48	6,37	6,42	6,02	6,07	6,41
5,59—6,55	6,96	6,46	6,71	6,25	6,09	5,37	6,24	6,39
294,69—311,72	299,76	300,49	300,03	299,27	299,02	298,75	299,73	299,74
272,71—293,34	280,65	281,27	280,96	287,80	282,70	286,11	292,42	292,44
276,61—294,76	280,83	280,87	280,47	290,97	282,74	280,18	287,37	294,76
283,37—319,82	301,94	301,83	301,68	296,55	290,63	301,60	302,66	302,86

объем которого больше годового стока р. Стрева. До зарегулирования соотношение объема годового притока р. Стрева, равного 86 млн. м<sup>3</sup>, к емкости естественного озера Аникштай составляло 6. И приточные воды с минерализацией, соответствующей гидрологической фазе р. Стрева, проходили транзитом за



более короткое время. При наполнении водохранилища до нормального подпорного уровня (95 м) это соотношение было меньше 1. Поэтому для обмена воды требуется продолжительное время. Наблюдается также несоответствие между минерализацией воды и гидрологической фазой р. Стрева, что проявляется в сдвиге на более позднее время изменения минерализации. Во время весеннего паводка водохранилище большей частью заполняется зимней, более минерализованной водой. Летом, когда из р. Стрева начинает поступать более минерализованная вода, в водохранилище некоторое время сохраняется вода весеннего паводка.

В озерной части водохранилища в отношении минерализации наблюдается вертикальная стратификация. Более высокой она была ранней осенью 1966 г., когда в поверхностных слоях глубоководной части водохранилища (ст. 8) общая минерализация составляла 273,98 мг/л, а в придонных слоях — до 297,2 мг/л, что, очевидно, связано с реликтом зимней более минерализованной воды и влиянием грунтовых и подземных вод.

#### ИЗМЕНЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ

Сравнение данных по относительному составу озера Аникштай (до зарегулирования) и водохранилища (после зарегулирования) свидетельствует о некотором уменьшении среднего содержания и амплитуд колебаний главных ионов, за исключением сульфат-иона. До зарегулирования водохранилища среднее количество сульфат-иона составляло 13,3—13,6 мг/л. После сооружения Литовской ГРЭС эта величина возросла до 15,3—18,9 мг/л, а в отдельных случаях — до 22,6 мг/л. Повышение содержания сульфат-иона можно объяснить тем, что в топливе ГРЭС содержится значительное количество соединений серы. Это является источником загрязнения атмосферы сернистым газом и влечет за собой повышение содержания сульфат-иона в атмосферных осадках до 9,4 мг/л. В то же время изменение количества сульфат-иона в водохранилище может быть последствием смыва фосфорных удобрений, содержащих сульфат кальция, поверхностным стоком. Каких-либо изменений относительного состава воды в водозаборном и водоотводящем каналах не наблюдается.

Вода, по классификации О. А. Алекина, относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, ко II типу. Содержание основных ионов в среднем составляет (в % экв):  $\text{HCO}_3^-$  — 42,1—46,3;  $\text{SO}_4^{2-}$  — 3,4—6,3;  $\text{Cl}^-$  — 1,0—1,6;  $\text{Ca}^{2+}$  — 27,2—35,0;  $\text{Mg}^{2+}$  — 12,3—17,4;  $\text{Na}^+$  — 2,0—2,6;  $\text{K}^+$  — 0,4—0,7.

1. Сооружение водохранилища — охладителя Литовской ГРЭС обусловило уменьшение общей минерализации воды за счет аккумуляции паводковых вод и вызвало несоответствие между изменением минерализации и гидрологической фазы р. Стрева.

2. С уменьшением соотношения годового притока р. Стрева и емкости водохранилища по сравнению с соотношением до за-регулирования амплитуды изменения общей минерализации и содержания главных ионов, за исключением сульфат-иона, уменьшились.

3. Среднее содержание сульфат-иона вследствие загрязнения атмосферы сернистым газом, а также в результате влияния других факторов после сооружения Литовской ГРЭС увеличилось.

4. Содержание основных ионов в среднем составляет (в % экв):  $\text{HCO}_3^-$  — 42,1—46,3;  $\text{Ca}^{++}$  — 27,2—35,0;  $\text{Mg}^{++}$  — 12,3—17,4;  $\text{SO}_4$  — 3,4—6,3;  $\text{Na}^+$  — 2,0—2,6;  $\text{Cl}^-$  — 1,0—1,6;  $\text{K}^+$  — 0,4—0,7.

## ЛИТЕРАТУРА

Алкин О. А. Химический анализ вод суши. Гидрометеиздат, Л., 1954.

Апельцин Э., Сорокин М. Е. Определение форм углекислоты в природных водах.— Водоснабжение и санитарная техника, 6, 23, 1967.

Драчев С. М. и др. Методы химического и бактериологического анализа воды, 83. Медгиз, М., 1953.

Резников А. А. и др. Методы анализа природных вод, 193. Госгеолтехиздат, М., 1963.

Стангенберг М. Естественное следствие сброса теплых вод в реки.— В кн.: Санитарная и техническая гидробиология, 57. «Наука», М., 1967.

Супаташвили Г. Д. Фотоэлектротурбидиметрическое микроопределение сульфатов в природных водах.— Гидрохимические материалы, 33, 138, 1961.

Lietuvos TSR fizine geografija, Id., Valst. Polit. ir moksl. lit. I-kla. Vilnius, 1958.

## РЕЖИМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ГАЗОВОГО СОСТАВА ВОДОХРАНИЛИЩА — ОХЛАДИТЕЛЯ ЛИТОВСКОЙ ГРЭС

Г. А. ЛЯУМЯНСКАС, Ю. Ю. СНУКИШКИС

### ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

За период исследования с апреля 1966 г. в водохранилище ежедневно выбрасывалось в среднем 2 млн. м<sup>3</sup> подогретой воды, что составляет 2,2% емкости водохранилища.

Влияние теплой воды наиболее ощутимо на участке водохранилища, прилегающем к устьям водоотводящего канала, где

температура воды летом иногда повышается до  $30^{\circ}$ , т. е. на  $7—9^{\circ}\text{C}$  выше по сравнению с температурой поверхностного слоя воды в восточной непрогрываемой части. Средние сезонные данные по измерению температуры в наиболее характерных точках водохранилища даны в таблице, из которой видно, что в летнее время в водохранилище наблюдается температурное расслоение, причиной которого является прогрев верхних слоев воды солнцем. Для всего водохранилища в штилевую погоду характерно наличие мощного и до некоторой степени устойчивого верхнего слоя толщиной  $8—10\text{ м}$ , в котором преобладает лишь слабо выраженная термическая стратификация с градиентами  $0,05—0,35\text{ град/м}$ , или гомотермия. Это объясняется перемешиванием водных масс в слое преобладающих глубин (если учесть среднюю глубину водохранилища  $7,2\text{ м}$ ). В котловинах с глубиной более  $13—14\text{ м}$  наблюдается четко выраженный температурный скачок, нижняя граница которого более устойчива —  $13—14\text{ м}$ . Толщина слоя скачка составляет  $2—6\text{ м}$ . Наиболее устойчивыми являются скачки в восточной впадине (ст. 8), защищенной от ветра высоким восточным берегом и островом. Здесь толщина слоя скачка изменяется от  $5$  до  $6\text{ м}$ , а температурный градиент — от  $2$  до  $2,5\text{ град/м}$  с максимумом до  $3,6\text{ град/м}$ . Установлено, что максимальные температурные градиенты в слое скачка наступают после максимальных температур воздуха. В толще воды выше скачка летом и ранней осенью температура колеблется от  $20$  до  $25^{\circ}\text{C}$ , в то время как ниже скачка, во впадинах, занимающих сравнительно небольшие участки (ст. 8, 9), она иногда понижается до  $7^{\circ}\text{C}$ .

К началу декабря в озерной части водохранилища происходит равномерное охлаждение и наступает гомотермия с температурой  $3,5—4,0^{\circ}\text{C}$ . Лишь на участке вблизи отводящего канала температура держится на  $4—6^{\circ}\text{C}$  выше. Зимой 1966/67 г. за счет сброса теплых вод часть водохранилища у отводящего канала льдом не покрылась. В восточной части (ст. 8) толщина льда достигала  $40\text{ см}$ , а на участках ближе зоны распространения теплых вод — около  $15\text{ см}$ . Зимой 1967/68 г. над большей частью акватории ледяной покров не образовался, что объясняется увеличением сброса теплых вод. Таким образом, зимой наблюдается обратная термическая стратификация (см. таблицу).

#### **РЕЖИМ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ И ВЕЛИЧИНЫ рН р. СТРЕВА И ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ**

Максимальное содержание растворенного кислорода в р. Стрева наблюдается поздней осенью. В подледный период оно довольно большое и составляет в среднем  $11,45\text{ мг/л}$ . Это объясняется тем, что река выше места отбора проб аэрируется на плотине. Годовой минимум —  $7,16\text{ мг/л}$  приходится на лето, при

одновременном влиянии подогрева воды и притока грунтовых вод.

Содержание  $\text{CO}_2$  зимой в реке достигает  $13,25 \text{ мг/л}$ . Летом оно иногда уменьшается до  $0,7 \text{ мг/л}$ . Поэтому рН в зимний период падает до 7,7, а летом повышается до 8,55. Частичное отсутствие или неустойчивость ледостава в водохранилище обуславливает обогащение воды кислородом за счет поступления его из атмосферы. Поэтому, как видно из таблицы, зимой количество растворенного кислорода в водохранилище составляет  $9,81—12,45 \text{ мг/л}$ , что соответствует 72—91% нормального насыщения. Среднее содержание  $\text{CO}_2$  как в поверхностных, так и в придонных слоях озерной части водохранилища в зимний период составляет  $2,12—2,7 \text{ мг/л}$  и рН колеблется в пределах 8,23—8,34. Таким образом, условия перезимовки являются благоприятными для ихтиофауны. Весной содержание растворенного кислорода и  $\text{CO}_2$  несколько уменьшается и соответственно повышается рН.

Летом в зависимости от интенсивности фотосинтеза, окисления органического вещества, отсутствия перемешивания и других факторов в озерной части водохранилища наблюдается кислородная стратификация. В верхней десятиметровой толще она незначительна, а в придонных слоях бывших озер (ст. 7, 8, 9) выражена очень резко, иногда со снижением количества растворенного кислорода до аналитического нуля. Убыль кислорода сопровождается повышением содержания  $\text{CO}_2$ , среднее количество которого в отдельных случаях здесь повышается до  $14,9 \text{ мг/л}$  и рН уменьшается до 7,45, в то время как в средней части (ст. 6) в придонных слоях содержание  $\text{CO}_2$  не превышает  $6,3 \text{ мг/л}$  и рН ниже 7,75 не наблюдается.

Это, по-видимому, связано с более интенсивным перемешиванием вод под действием течений из водоотводящего канала и меньшей глубиной. В начале отводящего канала в связи с повышением температуры содержание кислорода уменьшается до  $4,06 \text{ мг/л}$  (49% нормального насыщения), но за счет интенсивной аэрации при довольно быстром течении разница в насыщенности кислородом теплой воды и необогретой исчезает еще в пределах канала.

Ранней осенью кислородная стратификация бывает выражена довольно резко, но в начале декабря с наступлением состояния, близкого к гомотермии, для большей части водохранилища характерно более равномерное распределение растворенных газов и величины рН.

Средние сезонные показатели концентрации биогенных и органических веществ, газового состава и физических свойств воды р. Стрева и водохранилища Литовской ГРЭС в 1966—1968 гг.

Показатели	Сезон года	р. Стрева							
		Ст. 1, 0,5 м	Ст. 2, 0,5 м	Ст. 3, 0,5 м	Ст. 5, 0,5 м	Ст. 6, 12 м	Ст. 8, 0,5 м	Ст. 8, 12 м	Ст. 8, 24 м
Температура, °С	Весенний	10,3	9,35	16,30	10,70	8,20	9,55	9,30	8,55
	Летний	20,9	21,05	28,22	22,90	17,25	22,65	9,20	8,83
	Осенний	9,9	11,00	20,40	13,25	12,70	12,95	11,95	10,00
	Зимний	0,6	2,10	11,100	2,50	3,00	1,15	2,25	3,00
рН	Весенний	8,15	8,48	8,47	8,51	8,52	8,53	8,51	8,52
	Летний	8,29	8,45	8,35	8,41	7,98	8,49	7,74	7,62
	Осенний	8,48	8,31	8,29	8,32	8,31	8,32	8,20	7,94
	Зимний	7,99	8,27	8,30	8,34	8,36	8,29	8,28	8,25
Прозрачность, м	Весенний	1,3	1,25	1,20	1,45	—	1,65	—	—
	Летний	—	1,10	1,05	1,50	—	1,30	—	—
	Осенний	1,0	1,35	1,25	1,30	—	1,50	—	—
	Зимний	—	1,30	1,20	1,40	—	—	—	—
Цветность, град.	Весенний	23,5	14,6	13,7	14,9	13,3	13,1	12,5	14,2
	Летний	14,2	15,3	13,4	15,3	14,1	12,9	14,2	12,5
	Осенний	18,1	16,2	14,2	14,5	15,4	12,5	13,0	15,3
	Зимний	13,7	12,8	13,5	16,0	12,9	14,2	16,3	17,1



О <sub>2</sub> , $\frac{мг/л}{\% \text{ насыщ.}}$	Весенний	$\frac{9,72}{90,6}$	$\frac{10,50}{90,20}$	$\frac{9,92}{98,5}$	$\frac{10,10}{89,1}$	$\frac{9,21}{77,6}$	$\frac{9,59}{79,0}$	$\frac{10,54}{90,0}$	$\frac{8,81}{75,7}$	$\frac{8,64}{72,8}$
	Летний	$\frac{8,65}{90,2}$	$\frac{8,40}{91,1}$	$\frac{6,43}{77,8}$	$\frac{7,30}{83,0}$	$\frac{7,93}{89,0}$	$\frac{2,80}{29,0}$	$\frac{7,87}{87,9}$	$\frac{5,01}{45,9}$	$\frac{4,60}{39,6}$
	Осенний	$\frac{10,49}{86,3}$	$\frac{9,92}{89,1}$	$\frac{9,13}{98,0}$	$\frac{9,43}{95,9}$	$\frac{9,31}{86,9}$	$\frac{9,10}{84,4}$	$\frac{9,22}{85,6}$	$\frac{9,04}{89,6}$	$\frac{6,01}{43,2}$
	Зимний	$\frac{11,45}{81,0}$	$\frac{12,32}{87,4}$	$\frac{11,15}{101,3}$	$\frac{11,50}{86,8}$	$\frac{12,03}{87,6}$	$\frac{12,07}{89,0}$	$\frac{11,45}{81,0}$	$\frac{11,61}{82,6}$	$\frac{10,63}{78,3}$
СО <sub>2</sub> , мг/л	Весенний	3,28	1,02	0,76	1,15	0,92	0,93	0,78	0,80	0,90
	Летний	1,83	1,12	1,40	1,25	1,22	4,67	0,62	7,03	10,07
	Осенний	3,47	1,78	1,67	1,85	1,70	1,72	1,79	2,11	4,95
	Зимний	7,25	2,67	2,01	2,10	2,15	2,12	2,65	2,70	2,82
Перманганатная окис- ляемость, мгО/л	Весенний	4,59	3,69	3,71	3,53	3,56	3,58	3,66	3,72	3,63
	Летний	4,14	4,10	3,55	3,46	4,06	3,42	3,37	3,04	2,98
	Осенний	3,29	3,72	3,70	3,56	3,45	3,57	3,41	3,49	3,59
	Зимний	2,44	3,52	3,59	3,35	3,39	3,48	3,17	3,11	3,46
Бихроматная окисляе- мость, мгО/л	Весенний	13,05	12,63	12,11	11,73	15,48	13,63	12,11	13,77	15,35
	Летний	14,09	12,58	13,05	12,00	15,99	14,02	11,89	11,67	9,94
	Осенний	11,88	13,55	12,10	12,63	14,37	11,19	12,46	10,57	13,12
	Зимний	11,55	13,88	13,58	11,88	11,94	12,20	14,42	12,90	13,90
БПК <sub>5</sub> , мгО/л	Весенний	1,84	1,12	1,09	2,23	1,12	0,60	1,98	3,07	2,90
	Летний	2,92	2,71	0,95	1,36	2,32	2,63	2,59	0,21	0,40
	Осенний	2,16	0,81	0,92	1,92	0,63	0,55	0,94	0,63	0,31
	Зимний	2,38	0,92	1,76	1,85	1,53	1,75	1,30	1,04	0,73

Показатели	Сезон года	р. Стрела	Ст. 1, 0,5 м	Ст. 2, 0,5 м	Ст. 3, 0,5 м	Ст. 6, 0,5 м	Ст. 6, 12 м	Ст. 8, 0,5 м	Ст. 8, 12 м	Ст. 8, 24 м
NO <sub>3</sub> <sup>'</sup> , мг/л	Весенний	0,490	0,723	0,671	0,673	0,527	0,740	0,645	0,706	0,795
	Летний	0,250	0,286	0,275	0,178	0,105	0,207	0,235	0,507	1,100
	Осенний	0,286	0,540	0,542	0,495	0,406	0,459	0,402	0,501	0,865
	Зимний	0,703	0,815	0,655	0,698	0,747	0,805	0,843	1,028	1,045
NO <sub>2</sub> <sup>'</sup> , мг/л	Весенний	0,006	0,004	0,004	0,003	0,008	0,007	0,008	0,005	0,007
	Летний	0,004	0,008	0,009	0,003	0,002	0,003	0,000	0,008	0,009
	Осенний	0,008	0,034	0,029	0,032	0,014	0,020	0,018	0,019	0,022
	Зимний	0,014	0,008	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004	0,002	0,002
NH <sub>4</sub> <sup>'</sup> , мг/л	Весенний	0,184	0,150	0,153	0,126	0,143	0,142	0,137	0,147	0,160
	Летний	0,290	0,223	0,114	0,172	0,191	0,180	0,245	0,187	0,192
	Осенний	0,168	0,210	0,147	0,161	0,171	0,165	0,171	0,157	0,206
	Зимний	0,145	0,120	0,112	0,122	0,125	0,135	0,122	0,112	0,127
Р, мин. раств., мг/л	Весенний	0,028	0,014	0,008	0,009	0,014	0,015	0,007	0,005	0,007
	Летний	0,037	0,007	0,016	0,014	0,011	0,012	0,007	0,011	0,012
	Осенний	0,017	0,027	0,025	0,026	0,032	0,030	0,031	0,031	0,032
	Зимний	0,013	0,029	0,023	0,023	0,025	0,030	0,018	0,021	0,024
Fe общ. мг/л	Весенний	0,137	0,028	0,031	0,059	0,011	0,014	0,012	0,014	0,015
	Летний	0,053	0,024	0,026	0,045	0,042	0,025	0,011	0,031	0,027
	Осенний	0,098	0,014	0,027	0,016	0,021	0,027	0,033	0,040	0,025
	Зимний	0,110	0,016	0,012	0,011	0,012	0,016	0,042	0,013	0,022
Si, мг/л	Весенний	2,83	2,45	2,35	2,34	2,05	2,15	2,41	2,45	3,15
	Летний	3,44	1,32	1,52	1,46	1,60	1,61	1,47	3,07	3,32
	Осенний	5,01	1,93	1,75	1,73	2,57	2,73	2,00	2,07	3,15
	Зимний	6,88	2,50	2,49	2,46	2,20	2,23	2,48	2,62	2,68

## РЕЖИМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ р. СТРЕВА И ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ

Значительную роль в формировании режима биогенных элементов играет приток р. Стрева с паводковыми водами, приносящий большое количество соединений азота, фосфора, железа и других элементов, а также подогрев воды, способствующий развитию биологических процессов.

**Соединения азота.** Усредненные данные по изменению содержания биогенных элементов в р. Стрева и в водохранилище приведены в таблице.

Минимальное количество нитрат-иона в р. Стрева наблюдается в вегетационный период. В отдельных случаях оно уменьшается до  $0,125 \text{ мг/л}$ , а в зимнюю межень возрастает до  $0,95 \text{ мг/л}$ . В водохранилище отмечается некоторое увеличение амплитуд изменения содержания нитрат-иона. Как видно из таблицы, в участке, прилегающем к устьям водоотводящего канала (ст. 3), содержание нитрат-иона всегда меньше, чем в водозаборном канале (ст. 1). Это объясняется более интенсивными биологическими процессами при повышенной температуре. Максимальное количество нитрат-иона обнаруживается зимой, когда его потребление минимально, а процесс нитрификации за счет некоторого повышения температуры, по-видимому, несколько ускоряется. Поэтому содержание нитрат-иона в феврале достигает  $1,22 \text{ мг/л}$ . Весной оно уменьшается и в вегетационный период достигает минимума, причем с резко выраженной вертикальной стратификацией, особенно в глубоководных участках (ст. 8, 9), где в поверхностных слоях в отдельных случаях падает до аналитического нуля, а на 25-метровой глубине достигает  $1,29 \text{ мг/л}$ .

Нитритный азот в р. Стрева в вегетационный период иногда совсем не обнаруживается. Зимой содержание нитрит-иона возрастает до  $0,02 \text{ мг/л}$ . В водохранилище количество этого ингредиента незначительно, а летом падает до аналитического нуля. Лишь в заборном и отводящем каналах оно составляет  $0,05 \text{ мг/л}$ .

Содержание аммонийного азота как в р. Стрева, так и в водохранилище в летний период увеличивается. Это можно объяснить влиянием атмосферных осадков, содержащих аммоний-ион в количестве  $0,295\text{—}11,61 \text{ мг/л}$ , а также смывом азотсодержащих соединений поверхностным стоком. Содержание аммоний-иона в течение года в водохранилище колеблется в пределах  $0,070\text{—}0,265 \text{ мг/л}$ . В отводящем канале оно иногда повышается до  $0,615 \text{ мг/л}$ , что связано с загрязнением.

**Фосфор.** При сопоставлении усредненных данных проявляется тенденция к увеличению содержания минерального растворенного фосфора летом в прогреваемой части водохранилища

по сравнению с водозаборным каналом. Это, по-видимому, связано с восстановлением фосфора при повышенной температуре по сравнению с расходом его в биологических процессах. В зимний период наблюдается противоположная тенденция, что объясняется интенсификацией потребления фосфора в прогреваемой воде (Стангенберг, 1967). Летом в поверхностных слоях содержание минерального растворенного фосфора падает до аналитического нуля, в то время как в придонной толще глубоководных впадин оно достигает  $0,054 \text{ мг/л}$ .

**Железо.** В преобладающем большинстве случаев двухвалентное железо в воде водохранилища (в р. Стрева в зимний период его количество достигает  $0,08 \text{ мг/л}$ ) не обнаруживается или составляет незначительное количество. Поэтому в таблице приведено среднее содержание общего железа. В р. Стрева максимальное количество общего железа ( $0,225 \text{ мг/л}$ ) отмечается во время весеннего паводка. Летом оно уменьшается до  $0,01 \text{ мг/л}$ .

До наполнения водохранилища содержание общего железа в оз. Аникштай изменялось от 0 до  $0,3 \text{ мг/л}$ . После зарегулирования реки пределы колебания уменьшились. Летом во многих случаях в поверхностной толще воды железо не обнаруживается, а в придонных слоях его содержание достигает  $0,07 \text{ мг/л}$ . Повышение содержания железа наблюдается в отводящем канале и в прилегающем к нему участке. Причиной этого может быть загрязнение воды на охладительных сооружениях и на территории ГРЭС.

**Кремний.** Содержание кремния в р. Стрева большей частью зависит от характера водного питания и изменяется от  $1,95$  до  $8,16 \text{ мг/л}$ . В водохранилище оно в значительной мере обуславливается интенсивностью поглощения кремния диатомовыми и синезелеными водорослями, а также другими организмами (Гусева, 1958). Из таблицы видно, что в вегетационном периоде образуется прямая стратификация. Зимой содержание кремния увеличивается. До зарегулирования реки количество кремния в оз. Аникштай достигало  $7,5 \text{ мг/л}$ . После наполнения водохранилища его содержание значительно снизилось. Характер изменения содержания кремния и минерального растворенного фосфора в прогреваемой части водохранилища по сравнению с водозаборным каналом в течение года одинаков.

**Органическое вещество.** Максимальные показатели перманганатной окисляемости ( $5,44 \text{ мгО/л}$ ) и бихроматной окисляемости ( $16,6 \text{ мгО/л}$ ) воды р. Стрева приходятся на весенний паводок, а минимальные (соответственно  $1,27$  и  $9,41 \text{ мгО/л}$ ) — на зимнюю межень (см. таблицу). Цветность воды колеблется от 12 до 37°.

Изменения показателей органического вещества в водохранилище следующие: перманганатная окисляемость —  $2,8—4,4 \text{ мгО/л}$ , бихроматная окисляемость —  $8,43—17,46 \text{ мгО/л}$ , цвет-

ность воды — 10—24°. На участке водохранилища, прилегающем к устьям отводящего канала, по сравнению с водозаборным каналом наблюдается тенденция к снижению как перманганатной, так и бихроматной окисляемости, что можно объяснить преобладающим влиянием подогретых вод на интенсификацию разложения органического вещества над его продукцией. Соотношение между показателями перманганатной и бихроматной окисляемости для воды водохранилища составляет в среднем 21,1—35%, что свойственно водам, содержащим в основном планктонное органическое вещество автохтонного происхождения. Выше 40% это соотношение характерно лишь для вод р. Стрева во время весеннего паводка в результате наличия аллохтонного органического вещества (Скопинцев, Михайловская, 1948).

Соотношение величин БПК<sub>5</sub> и перманганатной окисляемости, которое для вод водохранилища составляет меньше 1, тоже указывает на преобладание планктонного органического вещества. Количество органического углерода, рассчитанное по бихроматной окисляемости (применялся для пересчета эквивалент кислорода для р. Стрева равный 2,8 и для водохранилища — 3; Скопинцев, 1950), в р. Стрева составляет в среднем 3,73—5,03 мг/л, в водохранилище — 3,31—5,33 мг/л. Величина БПК<sub>5</sub> в р. Стрева изменяется в пределах 1,84—2,92 мг/л, в водохранилище — в пределах 0,21—3,07 мг/л.

Прозрачность воды по диску Секки как в р. Стрева, так и в речной части водохранилища минимальной величины (0,7 м) достигает во время весеннего паводка, а летом увеличивается до 2 м. В мелководных местах озерной части водохранилища прозрачность всегда ниже по сравнению с глубоководными. В заборном и отводящем каналах вследствие подъема механических частиц со дна при быстром течении прозрачность воды всегда ниже, чем в других участках.

## ВЫВОДЫ

1. Сброс подогретых вод с охлаждающей системы ГРЭС способствует повышению температуры в водохранилище-охладителе и обуславливает неустойчивость и частичное отсутствие ледяного покрова.

2. В зимний период отсутствие ледяного покрова создает условия для поступления кислорода из атмосферы. Условия перезимовки благоприятны для ихтиофауны.

3. В прогреваемой части водохранилища вследствие интенсификации биологических процессов содержание минеральных форм азота меньше, чем в водозаборном канале. Количество минерального растворенного фосфора и кремния в прогреваемой части водохранилища летом несколько больше, чем в водозаборном канале, в другие сезоны года — меньше.



4. Средние показатели органического вещества в результате более интенсивного разложения органического вещества в прогреваемой части водохранилища по сравнению с водозаборной ниже.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гусева Н. Н. О режиме биогенных веществ Цимлянского водохранилища в 1955 г.— Изв. Всесоюзн. научно-исслед. ин-та озерн. и рыбн. хоз-ва, 45, 45, 1958.

Скопинцев Б. А., Михайловская Л. А. О качественной характеристике органических веществ природных вод.— Гидрохимические материалы, 14, 108, 1948.

Скопинцев Б. А. О соотношении между кислородом окисляемости, органическим углеродом и общим содержанием органических веществ в природных водах.— Гидрохимические материалы, 18, 57, 1950.

Стангенберг М. Естественное следствие сброса теплых вод в реки.— В кн.: Санитарная и техническая гидробиология, 57. «Наука», М., 1967.

### БАКТЕРИОПЛАНКТОН ВОДОХРАНИЛИЩА — ОХЛАДИТЕЛЯ КУРАХОВСКОЙ ГРЭС

Л. Г. ЛЕНЧИНА

В последние годы вступает в эксплуатацию все больше тепловых электростанций. В водоемах — охладителях тепловых электростанций создаются своеобразные экологические условия: в результате сброса теплых вод в водоемах повышается температура, а это оказывает существенное влияние на гидробиологические и микробиологические процессы, в частности на минерализацию органических соединений. Температура является одним из важных факторов, определяющих развитие и активность микроорганизмов (Буткевич Н. В., Буткевич В. С., 1936; Дянова, Ворошилова, 1952; Логинова, Головачева, Егорова, 1966; Уайт, 1957; Reinheimer, 1965, и др.).

Настоящая работа посвящена изучению бактериопланктона Кураховского водохранилища и выявлению влияния создающихся в нем в результате сброса перегретых вод различных температур на общую численность бактерий и микроорганизмов некоторых физиологических групп.

Водоем — охладитель Кураховской ГРЭС относится к проточным водоемам водохранилищного типа (Пидгайко и др., 1967). Он построен в 1935 г. в результате зарегулирования стока реки Волчья (бассейн Днепра) для технического водоснабжения Кураховской ГРЭС. Кураховское водохранилище насыпью — дамбой со шлюзами — делится на две части. Одна из них — Терновская является собственно водоемом — охладителем ГРЭС. В нее сбрасываются отработанные воды систем охлаждения тепловой электростанции, в результате чего в этой части

водоема отмечается значительное повышение температуры, которая уменьшается по мере удаления от места сброса нагретых вод. Во вторую — Ильинскую часть водохранилища отработанные воды не поступают. Эта часть водохранилища (ст. 2) служила нам контролем при изучении влияния температуры на бактериопланктон водоема.

Пробы воды в Терновской — теплой части водохранилища отбирали в следующих пунктах: ст. 6 — в центре, температура воды здесь на 1—2° выше для каждого сезона года по сравнению с неотепленной — Ильинской частью водохранилища; ст. 3 — недалеко от теплого водослива с температурой воды на 7—8° выше, чем на ст. 2; ст. 11 — в водосбросном канале теплой воды, где температура воды выше на 9—10°, чем в Ильинской части водоема. В водосбросном канале температура воды выше на 2—3° для каждого сезона года, чем в самой теплой точке водоема.

В отобранных пробах воды определяли общую численность бактериопланктона методом прямого счета на мембранных фильтрах; количество гетеротрофных сапрофитных бактерий (в том числе и споровых форм) — методом разливок на МПА; количество бактерий, обладающих протеолитическими свойствами, — методом разливок на среде, состоящей из одной части молока и 1—5 частей 3%-ного агара (см. Большой практикум по микробиологии, 1962).

Исследования на Кураховском водохранилище проводились в июле — августе, октябре 1967 г. и феврале, апреле, июле, октябре 1968 г. В июле — августе 1967 г. в Ильинской части водохранилища средняя температура воды в исследуемый период была 22,9°, в Терновской части на ст. 6 — 24,5°, на ст. 3 — 29,5°, в водосбросном канале теплой воды (ст. 11) — 32,6°.

Следовательно, летом 1967 г. в Кураховском водохранилище, включая водосбросный канал, создавалась разница температур воды в 10°. Как видно из табл. 1, при разнице температуры воды в 1,6°, зарегистрированной на ст. 2 и 6, общее количество бактерий, обнаруженное на ст. 6, существенно не отличалось от содержания микроорганизмов в воде ст. 2, составляя 11,4 млн. кл/мл. Количество гетеротрофных бактерий на ст. 6 увеличилось в 2 раза (табл. 2), бактерий, обладающих протеолитическими свойствами, — в 1,7 раза (табл. 3).

На ст. 3 температура воды на 6,6° выше, чем на ст. 2. Численность бактериопланктона в воде этой точки водохранилища заметно возросла и составляла 13,3 млн. кл/мл, количество гетеротрофных сапрофитов увеличилось в 4 раза, протеолитических бактерий — в 4,3 раза (табл. 1, 2, 3). Еще большее влияние на численность микроорганизмов оказывало повышение температуры воды почти на 10°. На ст. 11, где отмечалась указанная разница в температуре, общее количество

Т а б л и ц а   1

Численность бактериопланктона (в млн. кл/мл) в Кураховском водохранилище

Место отбора проб	1967 г.				1968 г.			
	Июль		Октябрь		Февраль		Апрель	
	Температура, °C	Численность бактериоплан- ктона	Температура, °C	Численность бактериоплан- ктона	Температура, °C	Численность бактериоплан- ктона	Температура, °C	Численность бактериоплан- ктона
Ильинская, неотеплен- ная часть водохранили- ща (ст. 2)	22,9	10,0	14,2	4,6	0,5	2,9	11,6	4,4
Терновская часть водо- хранилища, центр (ст. 6)	24,5	11,4	15,7	5,1	1,3	3,5	12,7	4,9
Терновская часть водо- хранилища, недалеко от водослива теплой воды (ст. 3)	29,5	13,3	22,8	6,3	10,8	4,0	15,7	6,6
Водосбросный канал теплой воды (ст. 11)	32,6	15,6	23,2	8,0	12,1	5,3	18,8	7,4

микроорганизмов в воде увеличилось в 1,5 раза, численность гетеротрофных сапрофитов — в 6 раз, протеолитических бакте- рий — в 5 раз (табл. 1, 2, 3).

В октябре 1967 г. в Ильинской части водохранилища сред- няя температура воды составляла 14,2°, в Терновской части в центре (ст. 6) — 15,7°, на ст. 3 — 22,8°, на ст. 11 — 23,2°. Следовательно, осенью 1967 г. в Кураховском водохранилище создавалась разница температур в холодной и самой теплой

Численность гетеротрофных сапрофитов (в тыс. кл/мл) в Кураховском водохра

Место отбора проб	1967 г.					
	Июль			Октябрь		
	Температура, °C	Общее коли- чество	Споровые, %	Температура, °C	Общее коли- чество	Споровые, %
Ильинская, неотепленная часть водохра- нилища (ст. 2)	22,9	0,5	9	14,2	0,4	5
Терновская, теплая часть водохранили- ща, центр (ст. 6)	24,5	1,1	7	15,7	0,7	5
Терновская часть водохранилища, недале- ко от водослива теплой воды (ст. 3)	29,5	2,1	5	22,8	1,4	4
Водосбросный канал теплой воды (ст. 11)	32,6	3,3	7	23,2	1,9	4

(водосбросный канал) точке в 9°. Такое повышение температуры воды вызывало увеличение численности бактериопланктона в 1,4—1,7 раза, гетеротрофных бактерий — в 3,5—4,7, бактерий, обладающих протеолитическими свойствами, — в 3—4,5 раза (табл. 1, 2, 3).

Осенью в Кураховском водохранилище наблюдалась более низкая температура воды, чем летом. Разница в температуре в некоторых пунктах водоема летом и осенью достигала 9°. На основании полученных нами ранее данных, снижение температуры в таких пределах должно было бы способствовать значительному уменьшению численности бактерий. Результаты проведенных исследований показали, что снижение содержания микроорганизмов в осеннее время по сравнению с летом было меньшим, чем следовало ожидать. Количество гетеротрофных сапрофитов сократилось в 1,5—1,7, протеолитических бактерий — в 1,5—1,6 раза. В осенний период идут процессы разложения отмирающего фитопланктона, сопровождающиеся выделением органических веществ. Об этом свидетельствуют более высокие, чем летом, показатели бихроматной и перманганатной окисляемости, а также БПК<sub>5</sub> (см. статью А. Д. Коненко, С. И. Абремской, В. М. Кутовенко). Наличие достаточного количества органических веществ обуславливало и значительное содержание микроорганизмов, несмотря на снижение температуры воды.

В феврале 1968 г. происходит дальнейшее понижение температуры воды в Кураховском водохранилище. В Ильинской его части средняя температура воды в исследуемый период составляла 0,5°, в Терновской части на ст. 6—1,3°, на ст. 3—10,8°, на

Т а б л и ц а 2

нилище

1968 г.											
Февраль			Апрель			Июль			Октябрь		
Температура, °С	Общее количество	Споровые, %	Температура, °С	Общее количество	Споровые, %	Температура, °С	Общее количество	Споровые, %	Температура, °С	Общее количество	Споровые, %
0,5	0,13	7	11,6	0,3	5	23,8	0,5	8	12,6	0,5	5
1,3	0,15	6	12,7	0,4	6	23,6	0,8	8	14,6	0,6	5
10,8	0,22	17	15,7	1,0	7	30,8	2,0	3,5	19,0	1,2	5
12,1	0,30	13	18,8	1,7	6	33,7	3,0	3,0	21,9	2,2	4

Таблица 3

Численность протеолитических бактерий (тыс. кл/мл) в Кураховском водохранилище

Место отбора проб	1967 г.						1968 г.					
	Июль		Октябрь		Февраль		Апрель		Июль		Октябрь	
	Температура, °C	Количество бактерий	Температура, °C	Количество бактерий	Температура, °C	Количество бактерий	Температура, °C	Количество бактерий	Температура, °C	Количество бактерий	Температура, °C	Количество бактерий
Ильинская, неотепленная часть водохранилища (ст. 2)	22,9	0,3	14,2	0,2	0,5	0,07	11,6	0,20	23,8	0,3	12,6	0,2
Терновская часть водохранилища, центр (ст. 6)	24,5	0,5	15,7	0,3	1,3	0,08	12,7	0,25	23,6	0,4	14,6	0,3
Терновская часть водохранилища, недалеко от водослива теплой воды (ст. 3)	29,5	1,3	22,8	0,6	10,8	0,10	15,7	0,50	30,8	1,1	19,0	0,5
Водосбросный канал теплой воды (ст. 11)	32,6	1,5	23,2	0,9	12,1	0,15	18,8	0,70	33,7	1,4	21,9	0,8

ст. 11—12,1°. Зимой 1968 г. в Кураховском водохранилище, включая водосбросный канал, создавалась разница температур в 11,6°.

В связи с низкой температурой воды зимой численность бактериопланктона, количество гетеротрофных сапрофитов и протеолитических бактерий как в неотепленной, так и в отепленной частях водохранилища значительно уменьшилось по сравнению с летним и осенним периодами исследований. Однако и зимой повышение температуры воды в Кураховском водохранилище вызывало увеличение численности микроорганизмов изучаемых групп, но возрастание численности бактериопланктона в 1,4—1,8 раза, содержания гетеротрофных сапрофитов в 1,8—2,3, протеолитических бактерий — в 1,5—2 раза происходило при более значительной разнице температуры — почти 12°.

В апреле 1968 г. средняя температура воды на ст. 2 составляла 11,6°, на ст. 6 — 12,7°, на ст. 3 — 15,7°, в водосбросном канале — 18,8°. Следовательно, весной 1968 г. в Кураховском водохранилище, включая водосбросный канал, создавалась разница температур в 7,2°. В этот период в связи с общим повышением температуры воздуха и воды в Кураховском водохранилище увеличивалась численность исследуемых групп микроорганизмов. Так, содержание бактериопланктона колебалось в пределах 4,4—7,4 млн. кл/мл, количество гетеротрофных сапро-



фитов — 0,3—1,7 тыс. кл/мл, число протеолитических бактерий — 0,1—3,5 тыс. кл/мл. Такое количество бактерий указанных групп было близким к содержанию их в октябре 1967 г. (табл. 1, 2, 3, рис. 1, 2).

Весной в связи со значительным поступлением с талыми водами аллохтонной микрофлоры и активизацией бактериальных процессов увеличение численности бактериопланктона в 1,7 раза, гетеротрофных сапрофитов — в 6 раз, протеолитических бактерий — в 3,5 раза было вызвано значительно меньшей разницей в температуре воды (приблизительно 7°).

В июле 1968 г. в Кураховском водохранилище средняя температура воды была: на ст. 2 — 23,8°, на ст. 6 — 23,6°, на ст. 3 — 30,8°, в водосбросном канале — 33,7°. Летом в Кураховском водохранилище создавалась разница температур в холодной и самой теплой точке почти в 10°. Распределение численности гетеротрофных и протеолитических бактерий в пунктах водохранилища с различной температурой воды существенно не отличалось от количества этих бактерий летом 1967 г. (табл. 2, 3, рис. 2). Повышение температуры воды на 9,9° в Кураховском водохранилище в июле 1968 г. вызвало увеличение численности гетеротрофных бактерий в 6 раз, протеолитических — в 4,6 раза.

В октябре 1968 г. в Ильинской части водоема (ст. 2) средняя температура в период наших исследований составляла 12,6°, в Терновской части на ст. 6 — 14,6°, на ст. 3 — 19°, в водосбросном канале — 21,9°. Следовательно, осенью 1968 г. в Кураховском водохранилище, включая водосбросный канал, создавалась разница температур в 9,3°. Как видно из табл. 2 и 3, количество гетеротрофных и протеолитических бактерий в воде различных пунктов водохранилища при повышении температуры было аналогично распределению численности этих бактерий по тем же пунктам водохранилища осенью 1967 г. Количество гетеротрофных сапрофитов возросло в 4,4, протеолитических бактерий — в 4 раза.

В водохранилище споровые формы бактерий от общего количества гетеротрофных сапрофитов, учитываемых на МПА, не превышали 10% (табл. 2). Только в феврале 1968 г. в отдельных пунктах водоема их численность увеличилась до 17%.

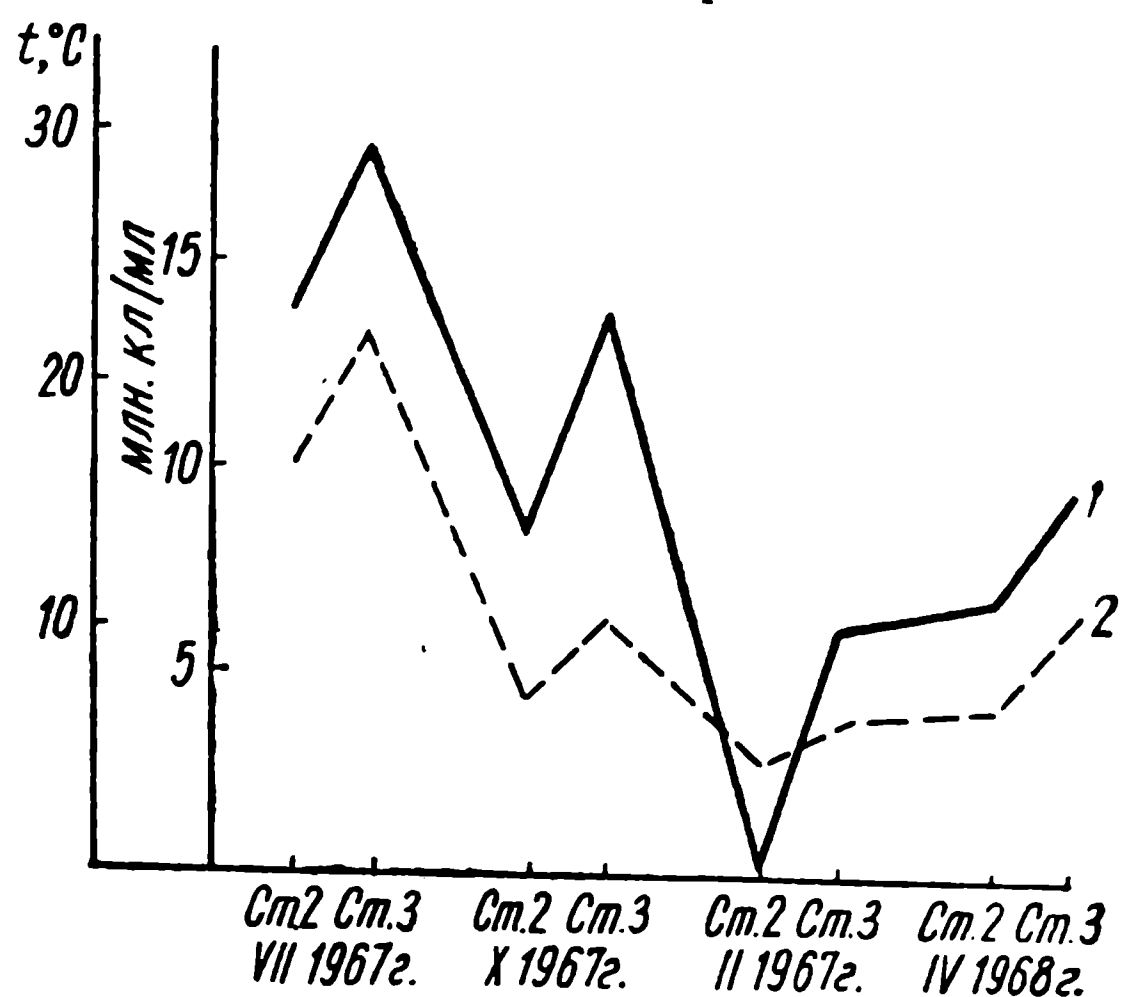


Рис. 1. Численность бактериопланктона в Кураховском водохранилище в зависимости от температуры:

1 — температура, °C; 2 — численность бактериопланктона, млн. кл/мл.

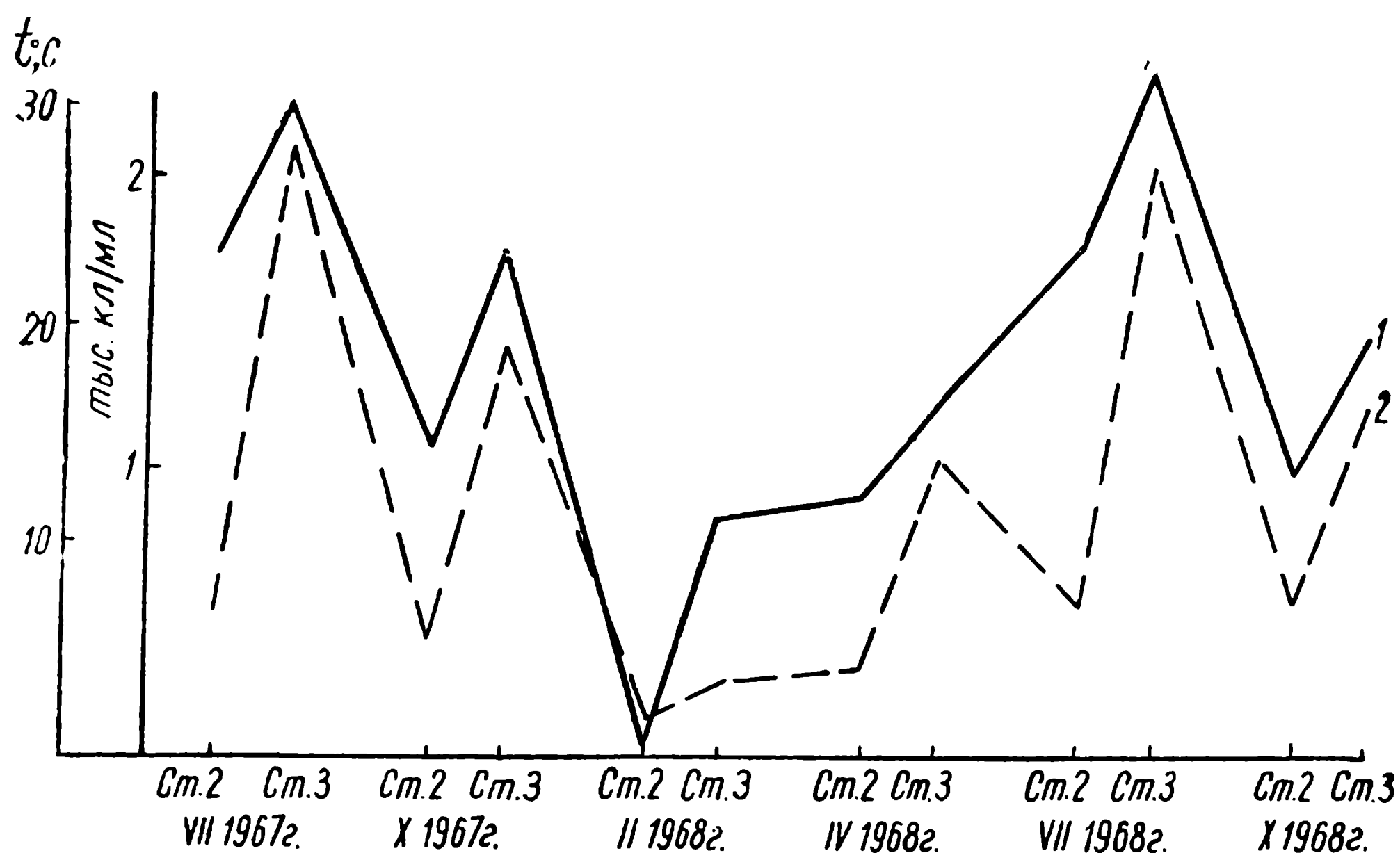


Рис 2. Численность гетеротрофных бактерий в Кураховском водохранилище в зависимости от температуры:

1 — температура, °C; 2 — численность гетеротрофных бактерий, тыс. кл/мл.

Наименьшее содержание споровых форм (4—5%) отмечалось в осенний период. Это связано с наличием достаточного количества доступных для микроорганизмов органических веществ, выделяющихся при распаде отмирающего фитопланктона (Кузнецов, 1952).

## ВЫВОДЫ

1. Исследование сезонной динамики общей численности бактериопланктона, а также входящих в его состав гетеротрофных сапрофитов и бактерий, обладающих протеолитическими свойствами, показало, что максимальное их развитие наблюдалось в летний период, минимальное — в зимний.

2. Повышение температуры воды в водохранилище в результате сброса в него теплых вод тепловой электростанции приводило к увеличению как общего числа бактерий, так и гетеротрофных сапрофитов и протеолитических микроорганизмов. Повышение температуры воды на 7—12° способствовало повышению содержания бактериопланктона в 1,5—1,8 раза. Увеличение числа гетеротрофных бактерий и микроорганизмов, обладающих протеолитическими свойствами, колебалось в более широких пределах.

3. Наряду с температурой большое значение в развитии бактерий имеет наличие питательных веществ. В частности, это касается бактерий — минерализаторов органических соединений (гетеротрофные сапрофиты и протеолитические микроорганиз-

мы). Сравнительно небольшое содержание легко доступных органических веществ зимой обусловило значительно меньшее увеличение с повышением температуры численности указанных бактерий по сравнению с другими сезонами года.

## ЛИТЕРАТУРА

Большой практикум по микробиологии (под общей редакцией проф. Се-либера). «Высшая школа», М., 1962.

Буткевич Н. В., Буткевич В. С. Размножение морских бактерий в зависимости от состава среды и температуры.— Микробиология, 4, 4, 1936.

Дианова Е. В., Ворошилова А. А. Закономерности развития сапро-фитных бактерий в процессе самоочищения загрязненных рек.— Микробиоло-гия, 21, 3, 1952.

Кузнецов С. И. Роль микроорганизмов в круговороте веществ в озе-рах. Изд-во АН СССР, М., 1952.

Логина Л. Г., Головачева Р. С., Егорова Л. А. Жизнь микроорганизмов при высоких температурах. «Наука», М., 1966.

Пидгайко М. Л., Гринь В. Г. и др. Гидробиологический режим во-доемов-охладителей тепловых электростанций Украины.— Гидробиол. журн., 3, 5, 1967.

Уайт Дж. Технология дрожжей. Пищепромиздат, М., 1957.

Rheinheimer G. Der Einfluss der Temperatur auf das Bacterienleben in den Gewässern.— Naturwissensch. Rundschau, 18, 12, 1965.

## РАЗВИТИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В КУЧУРГАНСКОМ ЛИМАНЕ — ОХЛАДИТЕЛЕ МОЛДАВСКОЙ ГРЭС

В. М. ШАЛАРЬ, Н. И. ЯЛОВИЦКАЯ

В последнее время все больший размах приобретает строи-тельство крупных тепловых электростанций, которые использу-ют для охлаждения конденсаторов огромное количество воды из рек или стоячих водоемов. Обратный сброс в водоемы подо-гретых вод приводит к изменению термического режима, в ре-зультате чего происходят глубокие изменения в жизни водоема.

Изучение изменений фауны и флоры под воздействием теп-ловых электростанций очень важно особенно в водоемах комп-лексного использования. Тем не менее имеется еще мало работ, посвященных влиянию отработанных перегретых вод на разви-тие гидробионтов в водоемах-охладителях. Из немногочисленных работ (Шиманский, 1963; 1965; 1965а; Пидгайко и др., 1967; Гринь и Виноградская, 1968) известно, что сброс в водоемы-охладители стоячего типа отработанных перегретых вод приво-дит к интенсивному развитию в этих водоемах высшей водной растительности и альгофлоры. Особенно интенсивно развивается растительность в зонах циркуляции теплых вод.

Развитие макро- и микрофлоры в водоемах-охладителях происходит настолько сильно, что в летний период становится серьезной помехой в работе тепловых электростанций. Поэтому разработка мер по регулированию развития растительности в таких водоемах является первоочередной задачей гидробиологии.

Кучурганский лиман стал водоемом-охладителем Молдавской ГРЭС с конца 1964 г. К этому времени сведения о фитопланктоне этого водоема ограничивались лишь краткими данными, приведенными в работах Ф. Ф. Егермана (1926) и А. И. Иванова (1953), основанных на одно- и двухразовых наблюдениях. Естественно, такие данные не могли служить основанием для суждения относительно изменений фитопланктона, вызванных пуском Молдавской ГРЭС. Поэтому в 1964 г. нами проводились сезонные исследования фитопланктона в лимане перед началом работы ГРЭС. Отбор проб осуществлялся на восьми станциях, расположенных в трех створах лимана.

Как уже отмечалось (Шаларь и Яловицкая, 1966), фитопланктон Кучурганского лимана перед пуском Молдавской ГРЭС был довольно разнообразен. В нем обнаружено 140 видов и разновидностей водорослей, среди которых преобладали диатомовые и протококковые. Доминирующими видами протококковых были *Scenedesmus quadricauda* var. *quadricauda*, *S. acuminatus* var. *acuminatus*, *Schrederia setigera*, *Crucigenia quadrata*, *Hyaloraphidium rectum* и др. Среди диатомовых преобладали в основном донные и донно-планктонные виды водорослей, как *Cyclotella meneghiniana* var. *meneghiniana*, *Cymbella ventricosa* var. *ventricosa*, *C. lanceolata* var. *lanceolata*, *Synedra ulna* var. *ulna*, *S. acus* var. *acus*, *Fragilaria intermedia* var. *intermedia*, *Cocconeis pediculus* var. *pediculus*, *Nitzschia sigmoidea* var. *sigmoidea* и др.

Характерно, что в 1964 г. до пуска Молдавской ГРЭС ни один вид протококковых и диатомовых водорослей не достигал массового развития в лимане, на что в свое время обращали внимание также Ф. Ф. Егерман (1926) и А. И. Иванов (1953). Это объясняется тем, что ко времени пуска Молдавской ГРЭС лиман был неглубоким. Максимальная глубина в нем не превышала 1,5 м при площади 1500 га. Во время даже незначительных ветров вода постоянно взмучивалась, что отрицательно сказывалось на жизнедеятельности эупланктонных форм многих групп водорослей. И только среди синезеленых в массовом количестве развивались *Aphanizomenon flos-aquae* f. *flos-aquae*, *Anabaena spiroides* f. *spiroides*, *A. sphaerica* var. *conoidea* и *Microcystis aeruginosa* f. *aeruginosa*. Из других групп планктонных водорослей чаще всего в лимане встречались *Trachelomonas* sp., *T. intermedia* var. *intermedia*, *Phacotus coccifer*, *Ceratium hirundinella*, *Dinobryon sertularia* и др. Основная же масса водорослей представлена единичными экземплярами.



В связи с тем, что до пуска Молдавской ГРЭС уровень воды в лимане был низким и вода часто и легко взмучивалась, в планктон постоянно попадало значительное количество донных и эпифитных водорослей. Количество этих видов составляло 68% общего разнообразия фитопланктона. Эупланктонные формы водорослей, за исключением синезеленых, встречались довольно редко.

Вода Кучурганского лимана характеризуется повышенной минерализацией. На протяжении 1964 г. минерализация воды в лимане, по данным С. Е. Бызгу, колебалась в пределах 410—1200 мг/л с преобладанием ионов гидрокарбоната и сульфата натрия. Поэтому основная масса обнаруженных нами водорослей, исходя из шкалы галобности, установленной для диатомовых (Прошкина-Лавренко, 1953), относится к индифферентным (65%). Наряду с этим в лимане обнаружено много мезогалинных видов, составляющих 25% общего видового состава водорослей.

Что касается индикаторов сапробности, то 74% видового состава образуют бета-мезосапробные формы, 14% — олигосапробные и только 12% видов составляли альфа-мезосапробы, причем все они встречались единичными экземплярами. Таким образом, исходя из состава водорослей — индикаторов сапробности, мы можем отметить, что до начала работы Молдавской ГРЭС вода Кучурганского лимана не отличалась значительной загрязненностью органическими веществами.

В отношении количественного развития фитопланктон лимана до начала работы Молдавской ГРЭС характеризовался довольно высокими показателями, причем разными в различных участках лимана. Даже зимой суммарная численность фитопланктона достигала почти 29 тыс. кл/л за счет диатомовых и отчасти золотистых водорослей. Весной развитие фитопланктона заметно интенсифицировалось и в отдельных участках лимана достигало около 1288 тыс. кл/л с преобладанием синезеленых, диатомовых, эвгленовых и частично протококковых. Особенно интенсивно развивался фитопланктон летом, когда его численность на отдельных станциях среднего участка лимана достигала 409 357 тыс. кл/л за счет почти исключительно синезеленых водорослей: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena spiroides* и *A. sphaerica* var. *conoidea*. Средняя же численность синезеленых летом 1964 г. по этому участку составляла 208 966 тыс. кл/л при суммарной численности 209 285 тыс. кл/л.

В верхнем участке лимана в значительном количестве, помимо синезеленых, развивались эвгленовые, вольвоксовые и пиррофитовые водоросли (табл. 1). Нижний же участок лимана даже летом характеризовался довольно низким развитием фитопланктона при том же преобладании синезеленых, количество



Численность фитопланктона Кучурганского лимана (в тыс. кл/л) в 1964 г.

Группа водорослей	Зима			Весна			Лето			Осень		
							Участок лимана					
	верх- ний	сред- ний	ниж- ний	верх- ний	сред- ний	ниж- ний	верхний	средний	нижний	верхний	средний	ниж- ний
Cyanophyta	15,6	—	—	865,2	139,5	138,1	68 022	208 966	4223	25 414	24 776	—
Chrysophyta	—	—	—	—	20,0	—	—	—	—	2,4	—	—
Bacillariophyta	7,2	2,4	7,2	16,8	131,6	116,5	43,2	—	9	21,6	1668	—
Xanthophyta	1,2	24,0	2,4	—	—	2,4	—	—	—	—	—	—
Pyrrhophyta	—	2,4	—	6,0	8,5	0,5	235,2	118,8	2,4	—	—	—
Euglenophyta Chlorophyta	—	—	—	381,6	140,4	38,8	928,8	64,8	3,0	50,4	37,2	14,4
Volvociphyceae	—	—	3,6	—	1,5	0,8	530,0	—	—	—	3,6	—
Protococcophyceae	—	—	—	18,0	78,4	43,2	64,8	131,8	38,4	7,2	90,0	—
Desmidiiales	—	—	—	—	—	—	—	3,6	—	—	—	—
Всего	24,0	28,8	13,2	1287,6	519,9	340,3	69 824,0	209 285,0	4275,8	25 495,6	26 572,8	14,4

которых не превышало 4223 тыс. кл/л. Общая численность фитопланктона в этом участке летом составляла 4276 тыс. кл/л.

Осенью, в октябре, вегетация фитопланктона заметно уменьшается, однако преобладающей группой водорослей попрежнему остаются синезеленые. Наибольшая суммарная численность фитопланктона в это время обнаружена в том же среднем участке лимана— 26 577 тыс. кл/л, из которых на долю синезеленых приходилось 24 776 тыс. кл/л. В нижнем участке лимана численность фитопланктона осенью была исключительно низкой и не превышала 14,4 тыс. кл/л, из которой 90% составляли эвгленовые водоросли.

В среднем по лиману численность фитопланктона в 1964 г. изменялась следующим образом. Зимой она не превышала 22 тыс. кл/л, весной — 715,9, летом — 94 476, а осенью—17 361,6 тыс. кл/л. Таковыми были основные характерные черты развития фитопланктона в Кучурганском лимане к моменту пуска Молдавской ГРЭС.

С началом работы электростанции, мощность которой уже в настоящее время достигла 1200 тыс. квт/час, условия развития фитопланктона в лимане

резко изменились. Прежде всего это сказалось на термическом режиме водоема. Среднегодовая температура воды в лимане с пуском Молдавской ГРЭС увеличилась на 7—8°. Это привело к массовому развитию высшей водной растительности. Если в 1965 г. общая биомасса макрофитов в лимане едва достигала 30 тыс. т, то в 1967 г. она уже превышала 100 тыс. т. Особенно интенсивно развиваются макрофиты в нижнем участке лимана, где такие растения, как *Potamogeton perfoliatus*, *Vallisneria spiralis*, *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton pectinatus* и др., образовали сплошные подводные заросли. Заросли макрофитов, как видно из рис. 1, занимают более двух третей площади лимана.



Рис. 1. Схема распространения макрофитов в лимане.

Существенное влияние на развитие фитопланктона оказывает также ежегодное (с 1965 по 1967 г.) внесение в лиман сернокислой меди с целью подавления массового развития синезеленых водорослей. В целом повышение температуры воды в лимане прямо или косвенно привело прежде всего к увеличению общего разнообразия фитопланктона. Если в 1964—1965 гг. в лимане было обнаружено всего лишь 140 видов и разновидностей планктонных водорослей, то в последующие два года (1966—1967) их найдено 190. Увеличение разнообразия фитопланктона происходило в основном за счет диатомовых, вольвоксовых, протококковых и десмидиевых водорослей (табл. 2). Из вновь появившихся видов среди протококковых водорослей следует отметить *Crucigenia fenestrata*, *Micractinium quadriseta*, *Golenkinia brevispina*, *Ankistrodesmus fusiformis*, *Lauterborniella appendiculata*, *Lambertia ocellata*, *Schroederia spiralis*, *Sch. nitzschoides*, *Pediastrum simplex*, среди вольвоксовых — *Pandorina charkowiensis*, *Eudorina elegans*, *Lobomonas denticulata*, *Carteria pallida* и др.

Обращает на себя внимание появление теплолюбивой формы диатомовых — *Melosira granulata* var. *granulata* и var. *angustissima*, ставших доминирующими водорослями в лимане, особенно в зоне циркуляции теплых вод. Раньше этот вид диа-

томовых в лимане не встречался. Среди вновь появившихся видов много представителей заболоченных мест. Это свидетельствует об интенсивном заболачивании лимана в результате гниения огромной массы развивающихся в лимане макрофитов. В связи с этим увеличилось количество альфа-мезосапробных видов водорослей, некоторые из которых достигают заметного развития.

Кучурганский лиман, как видно из рис. 1, имеет вытянутую с северо-запада на юго-восток форму. Двумя естественными сужениями он разделяется

Т а б л и ц а 2  
Соотношение видового разнообразия фитопланктона в Кучурганском лимане по годам

Группа водорослей	1964—1965 гг.	1966—1967 гг.
Cyanophyta	17	15
Chrysophyta	1	3
Bacillariophyta	52	68
Xanthophyta	3	2
Pyrrhophyta	2	2
Euglenophyta	19	28
Chlorophyta		
Volvociphyceae	3	11
Protococcophyceae	35	48
Desmidiaceae	8	13
Всего	140	190

на три плеса — нижний, средний и верхний. Площадь лимана в настоящее время достигает 3000 га при средней глубине 3 м. Объем воды в нем 90 млн. м³. Верхний и нижний плесы полностью заросли воздушно-водными и погруженными макрофитами. Забор воды для охлаждения конденсаторов ГРЭС и сброс перегретых вод производится в нижнем плесе лимана, поэтому температура воды в нем на 7—8° выше, чем в остальных.

В первый год работы Молдавской ГРЭС (в 1965 г.) наблюдения за развитием фитопланктона ли-

мана проводились ежемесячно с апреля по декабрь включительно, а в 1966 г. — в январе, феврале, марте, июле и ноябре. В 1967 г. исследования вновь проводились ежемесячно на протяжении всего года. В этом же году начиная с 15 мая наблюдения проводились через каждые пять дней, для того чтобы уловить момент начала интенсивного развития синезеленых водорослей.

Естественный ход развития фитопланктона с начала работы Молдавской ГРЭС был нарушен ежегодным внесением в лиман сернокислой меди. В 1965 г. сотрудниками ЮЖОРГРЭС в лиман было внесено около 37 т медного купороса. Это сказалось прежде всего на развитии синезеленых водорослей, численность которых в июле в среднем по лиману не превышала 11 504 тыс. кл/л с биомассой 1144 мг/м³ (табл. 3) при максимуме 29 420 тыс. кл/л в верхнем плесе лимана и полном их отсутствии в нижнем плесе. С повышением температуры воды в лимане период вегетации фитопланктона значительно увеличился. Зимой 1965 г. средняя по лиману численность фитопланктона со-

Изменение средней по лиману численности и биомассы  $\left( \frac{\text{тыс. кл/л}}{\text{мг/м}^3} \right)$  фитопланктона в 1965 г.

Группа водорослей	Ян- варь	Фев- раль	Март	Ап- рель	Май	Июнь	Июль	Ав- густ	Сен- тябрь	Ок- тябрь	Но- ябрь	Де- кабрь
Суанophyta	—	—	—	$\frac{56,2}{5,6}$	$\frac{1350,0}{144,3}$	$\frac{109,4}{95,4}$	$\frac{11503,8}{1144,1}$	$\frac{1508,4}{273,7}$	$\frac{1737,1}{15,9}$	$\frac{14,1}{1,8}$	—	$\frac{54,2}{7,5}$
Chrysophyta	—	—	—	—	$\frac{43,2}{113}$	—	—	—	—	—	—	—
Bacillariophyta	—	$\frac{7,2}{10,8}$	—	$\frac{146,9}{152,7}$	$\frac{111,6}{187,9}$	$\frac{50,0}{30,9}$	$\frac{320,6}{715,4}$	$\frac{284,4}{341,2}$	$\frac{151,8}{2293,6}$	$\frac{349,2}{598,1}$	$\frac{128,8}{240,2}$	$\frac{7,2}{43,8}$
Xanthophyta	—	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{10,8}{10,8}$	—	—	—
Pyrgophyta	—	$\frac{7,2}{28}$	—	—	$\frac{3,6}{2,4}$	$\frac{66,2}{173}$	$\frac{28,1}{84}$	$\frac{46,8}{141}$	$\frac{10,8}{32}$	—	—	$\frac{44,2}{119}$
Euglenophyta	—	—	—	$\frac{10,5}{605,6}$	$\frac{72,0}{715,7}$	$\frac{10,1}{211,7}$	$\frac{46,7}{421,6}$	$\frac{212,7}{1264,1}$	$\frac{14,9}{1850,9}$	$\frac{32,4}{182,4}$	$\frac{3,6}{19,1}$	$\frac{39,9}{210,7}$
Chlorophyta	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Volvociphyceae	—	—	—	$\frac{6,2}{13}$	$\frac{10,8}{15,3}$	$\frac{86,4}{69,9}$	$\frac{36,0}{53,2}$	$\frac{3,6}{24,5}$	$\frac{231,1}{230,6}$	—	—	—
Protococcophyceae	—	$\frac{7,2}{4,6}$	—	$\frac{153,4}{41,3}$	$\frac{14,4}{4,9}$	$\frac{64,1}{33,8}$	$\frac{2016,1}{101,4}$	$\frac{144,3}{69,4}$	$\frac{182,4}{80,5}$	$\frac{126,0}{79,1}$	$\frac{3,6}{5,7}$	$\frac{25,2}{6,4}$
Desmidiates	—	—	—	—	—	—	$\frac{10,8}{56}$	$\frac{3,6}{19,7}$	$\frac{2,1}{6,3}$	$\frac{3,6}{15,7}$	—	—
Всего	—	$\frac{21,6}{15,4}$	—	$\frac{373,2}{818,2}$	$\frac{1605,6}{1071,8}$	$\frac{386,2}{618,7}$	$\frac{13972,1}{2475,7}$	$\frac{2203,8}{2129,6}$	$\frac{2341,0}{4509,8}$	$\frac{525,6}{867,1}$	$\frac{136,0}{265,0}$	$\frac{170}{377}$

Изменение суммарной численности и биомассы фитопланктона по участкам лимана в 1965 г.,  $\frac{\text{тыс. кл/л}}{\text{мг/м}^3}$ 

Участок лимана	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Верхний	—	$\frac{5983}{15293}$	—	$\frac{3024}{5091}$	$\frac{1041}{1714}$	$\frac{2028}{1077}$	$\frac{29831}{3235}$	$\frac{3359}{3988}$	$\frac{6512}{9329}$	$\frac{345}{883}$	—	$\frac{97}{407}$
Средний	$\frac{76}{345}$	$\frac{76}{84}$	—	$\frac{536}{657}$	$\frac{2354}{449}$	$\frac{4281}{407}$	$\frac{7117}{2312}$	$\frac{3164}{1339}$	$\frac{11848}{11169}$	$\frac{637}{1063}$	$\frac{162}{326}$	$\frac{151}{272}$
Нижний	$\frac{129}{630}$	$\frac{2970}{11609}$	—	$\frac{438}{883}$	$\frac{420}{995}$	$\frac{130}{242}$	$\frac{497}{887}$	$\frac{669}{593}$	$\frac{353}{540}$	$\frac{594}{669}$	$\frac{97}{230}$	$\frac{184}{39}$

ставляла 350 тыс. кл/л с биомассой 655 мг/м<sup>3</sup> при явном преобладании эвгленовых водорослей. В отдельных же участках лимана количество фитопланктона достигало 432 тыс. кл/л с таким же преобладанием эвгленовых водорослей. До начала работы Молдавской ГРЭС продукция фитопланктона зимой была очень низкой и колебалась в отдельных участках лимана от 13,2 до 28,8 тыс. кл/л с преобладанием диатомовых водорослей. В апреле количество фитопланктона увеличилось и в среднем по лиману составляло 915 тыс. кл/л с биомассой 1514 мг/м<sup>3</sup>. Максимальная же численность фитопланктона в апреле отмечалась в верхнем участке лимана, где она составляла 3024 тыс. кл/л при биомассе 5091 мг/м<sup>3</sup>.

Доминирующими группами водорослей в этот период почти в одинаковой степени были диатомовые, протококковые и синезеленые водоросли. В последующие месяцы продукция фитопланктона, как видно из табл. 3, постоянно нарастала за счет увеличения количества тех же синезеленых, протококковых и диатомовых. Нарастание вегетации фитопланктона отмечалось до середины июля, когда средняя по лиману суммарная численность фитопланктона достигла 12 482 тыс. кл/л с биомассой 2144 мг/м<sup>3</sup>. До этого эвгленовые водоросли не достигали сколько-нибудь заметного развития и всегда занимали второстепенное значение.



После купоросования лимана во второй половине июля резко уменьшилась численность синезеленых и протококковых и в меньшей мере — диатомовых. В то же время продукция эвгленовых водорослей заметно увеличилась, достигая в августе 213 тыс. кл/л с биомассой 1264 мг/м<sup>3</sup>. После непродолжительного спада в августе численность синезеленых вновь стала возрастать и в сентябре достигла 1737 тыс. кл/л с биомассой 159 мг/м<sup>3</sup>. Что касается остальных групп водорослей, то в сентябре их вегетация уменьшилась, за исключением вольвоксовых и протококковых, продукция которых, как и синезеленых, несколько увеличилась по сравнению с предыдущим месяцем.

В дальнейшем с понижением температуры воды численность фитопланктона стала постепенно уменьшаться и в декабре в среднем по лиману не превышала 144 тыс. кл/л с биомассой 239 мг/м<sup>3</sup>.

Условия развития фитопланктона в отдельных плесах лимана различны. Поэтому и его продукция по этим плесам разная. Как видно из табл. 4, наиболее интенсивно фитопланктон развивался в верхнем и среднем плесах лимана, а в нижнем плесе его вегетация всегда немного ниже. Это объясняется тем, что нижний плес лимана сильно зарастает макрофитами, главным образом погруженными, являющимися серьезными конкурентами фитопланктона. Если в верхнем и среднем плесах лимана почти всегда численно преобладают *Anabaena* и *Aphanizomenon*, то в нижнем участке эти водоросли почти всегда отсутствуют в планктоне. Зато здесь среди зарослей макрофитов в огромном количестве развиваются различные виды *Gloeotrichia*, которые вначале прикреплены к субстрату, а потом всплывают на поверхность. Иногда количество *Gloeotrichia* настолько велико, что с поверхности воды 1 м<sup>2</sup> можно собрать до 2—3 кг сырой массы этих водорослей. Чаше всего встречаются *Gloeotrichia natans* var. *natans*, *G. natans* var. *gigantaea*, *G. echinulata* и др.

Интересно отметить, что зимой, ранней весной и поздней осенью, когда макрофиты в лимане, особенно погруженные виды, отсутствуют, особой разницы в составе и количественном развитии фитопланктона по участкам лимана не наблюдается. Такая разница начинает выявляться лишь с появлением погруженных макрофитов и проявляется тем резче, чем интенсивнее развиваются макрофиты.

В 1966 г., как уже отмечалось, наблюдения за развитием фитопланктона проводились в январе, феврале, марте, июле и ноябре. В январе, как видно на табл. 5, фитопланктон был довольно бедным и мало отличался от такового в декабре 1965 г. Февраль характеризуется более высокими показателями фитопланктона. Его численность в это время в среднем по лиману составляла 3008 тыс. кл/л и биомасса 8995 мг/м<sup>3</sup>. Домини-

рующей группой водорослей, как и в январе, являются эвгленовые численностью 1631 тыс. кл/л и биомассой 8723 мг/м<sup>3</sup>. Доминирующими видами эвгленовых в это время были *Trachelomonas* sp., *Tr. intermedia*, *Strombomonas acuminata* var. *verrucosa* и др. Интересно отметить, что почти во всех пробах зим-

Т а б л и ц а 5

Сезонные изменения численности и биомассы фитопланктона Кучурганского лимана в 1966 г.

тыс. кл/л  
мг/м<sup>3</sup>

Группа водорослей	Зима	Весна	Лето	Осень
Суанophyta	<u>477,0</u> 36,5	—	<u>27 853,2</u> 3128,7	<u>837,0</u> 108,8
Chrysophyta	—	—	<u>21,6</u> 108	—
Bacillariophyta	<u>102,7</u> 125,9	<u>773,5</u> 1194,2	<u>955,8</u> 1806,8	<u>280,8</u> 860,1
Xanthophyta	<u>115,3</u> 36	—	—	—
Pyrrophyta	<u>5,4</u> 31	—	<u>43,2</u> 172	—
Euglenophyta	<u>855,0</u> 4584,7	<u>30,3</u> 153,3	<u>54,0</u> 1076,7	<u>10,8</u> 27,0
Chlorophyta				
Volvociphyceae	—	<u>48,6</u> 37,3	—	—
Protococcophyceae	<u>3,6</u> 1,1	<u>24,0</u> 6,1	<u>2885,0</u> 2241,9	—
Desmidiiales	—	—	<u>43,2</u> 215	—
Всего	<u>1553,6</u> 4415,2	<u>876,4</u> 1390,9	<u>31 834,4</u> 9759,1	<u>1128,6</u> 995,9

него фитопланктона в значительном количестве обнаруживался *Aphanizomenon flos-aquae*. До начала работы Молдавской ГРЭС эта водоросль в зимнем фитопланктоне лимана встречалась очень редко. В марте количество фитопланктона заметно уменьшается по сравнению с предыдущим месяцем, что объясняется сильным разбавлением воды лимана мутными паводковыми водами Днестра. Это приводит лишь к увеличению количества диатомовых водорослей, численность которых резко увеличивается по сравнению с предыдущим месяцем, достигая 774 тыс. кл/л при биомассе 1194 мг/м<sup>3</sup>. Среди доминирующих

видов диатомовых следует отметить *Diatoma elongatum* var. *elongatum*, *Cyclotella* sp., *Nitzschia longissima* var. *reversa* и др.

Летом численность фитопланктона в лимане увеличилась до 37 734 тыс. кл/л с биомассой 8 242 мг/м<sup>3</sup>. Из них синезеленые водоросли составляли 27 853 тыс. кл/л при биомассе 3 129 мг/м<sup>3</sup>. Довольно высокой была также продукция протококковых, достигающая 2 885 тыс. кл/л, биомасса 2 242 мг/м<sup>3</sup>. Доминирующими видами водорослей в июле 1966 г. были *Aphanizomenon flos-aquae* f. *flos-aquae*, *Anabaena spiroides* f. *spiroides*, *Coelastrum microporum*, *Ankistrodesmus angustus*, *A. acicularis* var. *acicularis*, *Scenedesmus bijugatus* var. *bijugatus*, *Micractinium pusillum* var. *pusillum* и др. В отдельных точках верхнего участка лимана суммарная численность фитопланктона в это время достигала 74 547 тыс. кл/л с биомассой 15 914 мг/м<sup>3</sup>, из которых 55 223 тыс. кл/л с биомассой 6 212 мг/м<sup>3</sup> составляли синезеленые водоросли. Продукция фитопланктона в нижнем участке была гораздо ниже и не превышала 921 тыс. кл/л при биомассе 669 мг/м<sup>3</sup>.

В это время в лимане проводилось купоросование, которое затянулось на две недели, и мы не имели возможности проследить за поведением планктонных водорослей в лимане в связи с внесением меди. Численность фитопланктона в ноябре не превышала в среднем по лиману 1 079 тыс. кл/л с биомассой 996 мг/м<sup>3</sup>, из которых 837 тыс. приходилось на долю синезеленых, 281 тыс. — на диатомовые.

Наиболее детальное изучение фитопланктона лимана проводилось нами в 1967 г. — третий год работы Молдавской ГРЭС, когда был сдан в эксплуатацию последний блок и электростанция набрала проектную мощность. Повышение температуры воды способствовало развитию фитопланктона в этом году даже в зимних условиях. В январе, например, при среднемесячной температуре воды 2,5° численность фитопланктона в среднем по лиману составляла 449 тыс. кл/л с биомассой 511 мг/м<sup>3</sup> при полном преобладании диатомовых и синезеленых водорослей (табл. 6). В марте количество фитопланктона в лимане достигало в среднем 1 288 тыс. кл/л при биомассе 2 429 мг/м<sup>3</sup>. Доминирующими группами в это время были диатомовые, протококковые, эвгленовые и вольвоксовые водоросли.

В апреле количество фитопланктона в лимане заметно уменьшилось из-за неблагоприятных условий, связанных с повышением уровня воды. После этого в мае продукция фитопланктона вновь стала увеличиваться. Начиная с середины мая наблюдения проводились через каждые пять дней вплоть до конца августа. После купоросования пробы отбирались на протяжении нескольких дней ежедневно в пяти точках лимана — по одной в каждом из его плесов, а также у входной канавы и у выхода из ГРЭС. Эти наблюдения проводились с целью

Изменение численности и биомассы фитопланктона Кучурганского лимана в 1967 г.,  $\frac{\text{тыс. кл/л}}{\text{мг/м}^3}$

Группа водорослей	Ян-варь	Фев-раль	Март	Ап-рель	Май	Июнь	Июль	Ав-густ	Сен-тябрь	Ок-тябрь	Но-ябрь	Де-кабрь
Суанophyta	293 <u>49,4</u>	0,9 <u>0,1</u>	1,7 <u>0,2</u>	—	21,1 <u>21,2</u>	255 <u>29,8</u>	13 <u>1,7</u>	178,9 <u>17,5</u>	289,8 <u>28,2</u>	242,2 <u>19,0</u>	21,6 <u>2,8</u>	10,8 <u>1,4</u>
Chrysophyta	—	—	11,6 <u>57</u>	—	32,4 <u>72,9</u>	—	—	—	0,9 <u>0,45</u>	—	—	—
Bacillariophyta	139 <u>242</u>	27 <u>76,6</u>	691,9 <u>113</u>	131,7 <u>2840,6</u>	43,2 <u>68,9</u>	4315 <u>270,5</u>	245,2 <u>691,5</u>	1166,4 <u>636,8</u>	160,1 <u>253,6</u>	489,6 <u>614,6</u>	623,9 <u>805,9</u>	84,2 <u>69,1</u>
Xanthophyta	—	—	9,1 <u>1,9</u>	—	2,1 <u>0,1</u>	—	—	—	—	43,2 <u>2,8</u>	—	—
Pyrrhophyta	—	—	—	10,8 <u>34</u>	6,3 <u>19</u>	—	17,3 <u>38,2</u>	3,9 <u>7,3</u>	1,8 <u>1,3</u>	—	—	—
Euglenophyta	14,5 <u>219,3</u>	25,2 <u>163</u>	188,6 <u>298,1</u>	259,8 <u>47233,3</u>	15,3 <u>213,8</u>	12,9 <u>221,6</u>	49,7 <u>937</u>	28,5 <u>570</u>	40,5 <u>659,8</u>	10,8 <u>28,6</u>	—	10,8 <u>57,2</u>
Chlorophyta	—	—	178,6 <u>116,4</u>	10,8 <u>52,3</u>	25,9 <u>22,1</u>	112,3 <u>73,3</u>	55,8 <u>49,2</u>	24,6 <u>35,8</u>	14,4 <u>12,4</u>	10,8 <u>52,3</u>	—	—
Volvociphyceae	—	—	206 <u>112,3</u>	151,2 <u>65,9</u>	52,9 <u>29,6</u>	63,1 <u>26,9</u>	142,6 <u>78,6</u>	68,7 <u>33,1</u>	135,0 <u>68,8</u>	124,2 <u>75,5</u>	172,8 <u>103,7</u>	—
Protococcophyceae	1,6 <u>1,04</u>	27,9 <u>17</u>	—	—	—	0,7 <u>3,9</u>	1,1 <u>5,7</u>	1,5 <u>5,2</u>	2,7 <u>12,2</u>	—	10,8 <u>53,3</u>	—
Desmidiates	—	0,9 <u>4,6</u>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Всего	448,1 <u>511,7</u>	41,9 <u>256,7</u>	1287,5 <u>697</u>	564,3 <u>50216,1</u>	199,2 <u>447,6</u>	4759 <u>622,1</u>	524,7 <u>1801,9</u>	1472,5 <u>1305,7</u>	645,2 <u>1023,25</u>	920,8 <u>792,8</u>	829,1 <u>965,7</u>	105,8 <u>127,7</u>

определить момент начала массового развития синезеленых водорослей — *Aphanizomenon*, *Anabaena* и *Microcystis*. Указанные водоросли вегетируют в планктоне почти круглый год, но интенсивно они начинают развиваться обычно со второй половины мая, когда температура воды в лимане достигает около 20—22°. В зависимости от погодных условий этот срок может сдвигаться на более ранний или более поздний период.

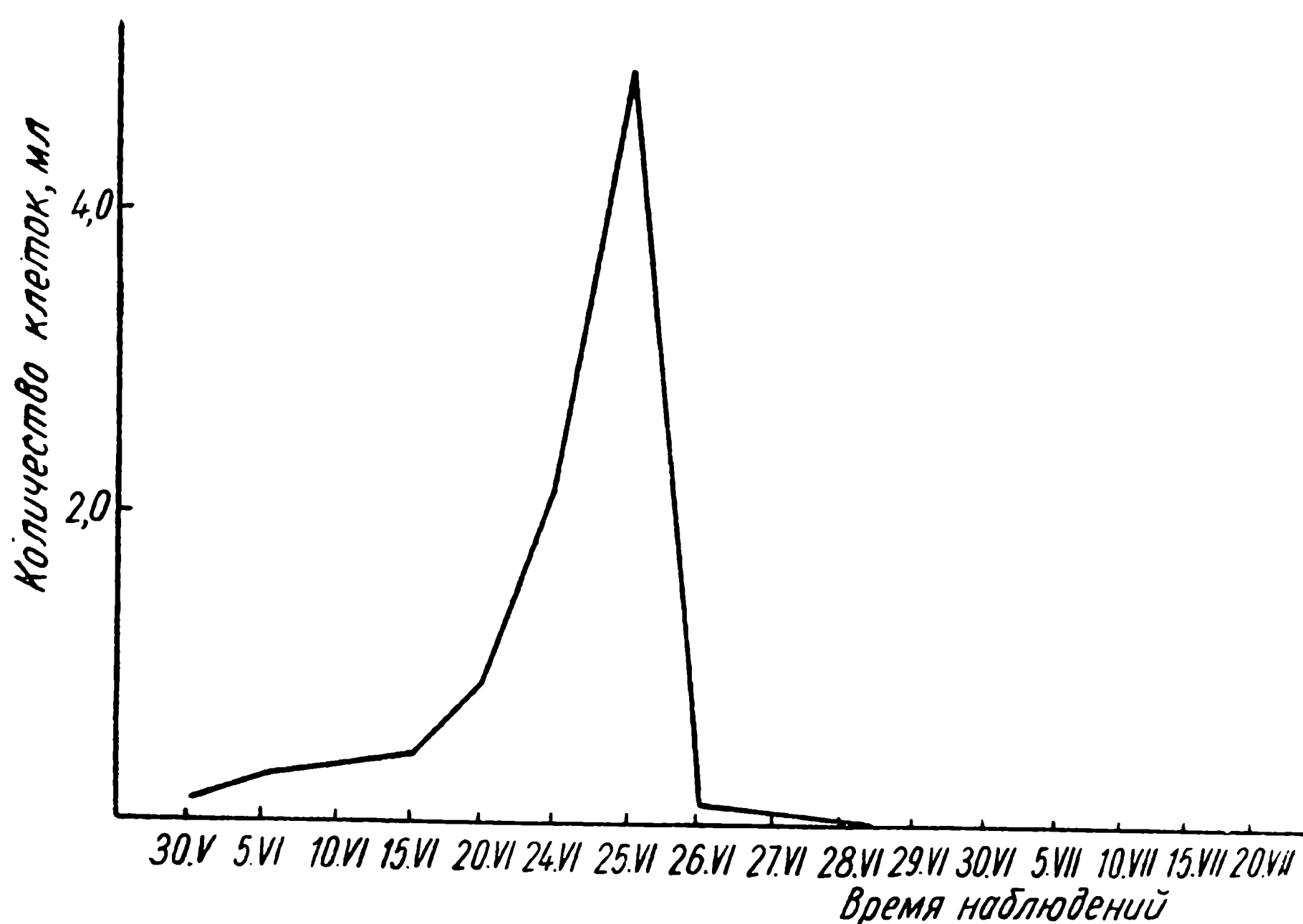


Рис. 2. Изменение численности синезеленых водорослей летом 1967 г.

На рис. 2—5 по оси ординат — количество клеток в млн/л.

Проведенные в 1967 г. наблюдения показали, что в весьма незначительном количестве массовые формы синезеленых водорослей встречались вплоть до середины июня, после чего их количество стало заметно возрастать. Например, 20 июня в верхнем участке лимана численность синезеленых водорослей в основном за счет *Anabaena spiroides* f. *spiroides* достигала 1 735 тыс. кл/л; 25 июня она составляла уже 4 960 тыс. кл/л, а 26 июня — 7 146 тыс. кл/л (рис. 2). В этот же день в среднем участке лимана продукция синезеленых составляла 23 571 тыс. кл/л, причем в одинаковой степени развивались *Anabaena spiroides* f. *spiroides* и *Aphanizomenon flos-aquae* f. *flos-aquae*. Наряду с этим увеличивалась продукция и диатомовых водорослей. Например, 25 июня их численность (почти полностью за счет *Melosira granulata* var. *granulata* и *Melosira granulata* var. *angustissima*) составляла в верхнем участке 10 506, а в среднем — 12 005 тыс. кл/л. Интересно, что до этого года такого массового развития диатомовых в лимане не наблюдалось.



Чтобы не дать возможности синезеленым водорослям развиваться дальше, 26 июня было начато купоросование лимана. В предыдущие годы купоросование производилось сотрудниками ЮЖОРГЭС при помощи металлических сетчатых мешков,

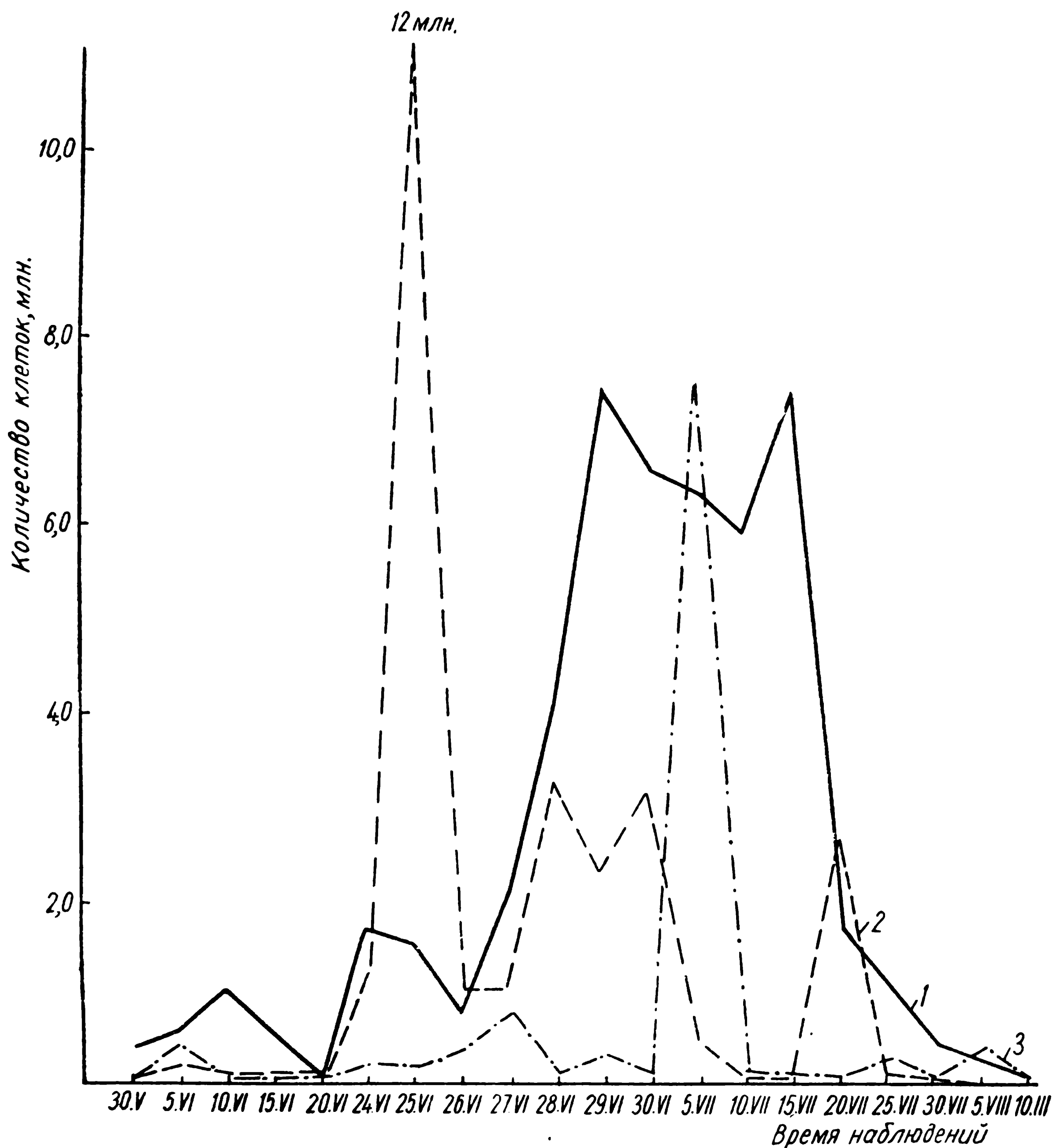


Рис. 3. Изменение численности диатомовых водорослей летом 1967 г.:  
1 — верхний плес; 2 — средний плес; 3 — нижний плес.

подвешенных к самоходным понтонам. Это приводило к неравномерному распределению меди в воде и созданию локальных очень высоких концентраций, достигающих иногда 11—12 мг меди на 1 л. Наибольшая концентрация меди наблюдалась, как правило, в придонных слоях, где осаждались наиболее крупные кристаллы меди.

Естественно, такое неравномерное распределение меди в воде и тот факт, что процесс купоросования продолжался 14—15 дней, не могло радикальным образом сказаться на развитии синезеленых. Поэтому спустя месяц после купоросования синезеленые водоросли начинали развиваться вновь. Учитывая недостатки существующих методов внесения сернокислой меди в водоем, мы предложили свою установку, позволяющую вносить сернокислую медь в виде раствора в поверхностный слой воды, где отмечается наибольшая концентрация синезеленых водорослей. При помощи такой установки весь лиман был обработан указанным альгицидом в течение двух дней. В результате этого уже на второй день после внесения сернокислой меди количество синезеленых водорослей уменьшилось от 7146 до 867 тыс. кл/л в верхнем участке лимана и от 23 571 до 133 тыс. кл/л в среднем участке. Через два дня после внесения меди синезеленые водоросли (*Arhanizomenon* и *Anabaena*) совсем исчезли из состава фитопланктона. Спорадически они стали появляться в незначительном количестве лишь во второй половине июля. Однако до конца вегетационного периода 1967 г. эти водоросли не достигли сколько-нибудь заметного развития в фитопланктоне. Не развивались в массе синезеленые и на протяжении 1968 г.

Вначале внесенная нами сернокислая медь из расчета 0,08 мг на 1 л оказала отрицательное воздействие и на диатомовые водоросли, численность которых на второй день после начала купоросования уменьшилась более чем вдвое. Однако через несколько дней, как видно из рис. 3, продукция диатомовых стала вновь нарастать за счет той же водоросли — *Melosira granulata* var. *granulata* и *M. granulata* var. *angustissima*. К 10 июля численность этих водорослей в отдельных участках лимана достигала уже 10—15 млн. кл/л.

Аналогичное действие оказала сернокислая медь и на зеленые водоросли, в частности на вольвоксовые (рис. 4), численность которых в первые дни после купоросования несколько уменьшилась. Однако спустя некоторое время их продукция стала увеличиваться и в середине июля в отдельных участках лимана достигла 32 423 тыс. кл/л с явным преобладанием *Pandorina morum*. После внесения меди наблюдалась вспышка в развитии также протококковых, однако массовое развитие этих водорослей длилось недолго, и в середине июля численность их резко уменьшилась.

Следует отметить и тот факт, что внесенная нами доза меди оказала стимулирующее действие на нитчатые водоросли — *Enteromorpha prolifera*, *Chaetomorpha linum*, виды *Tribonema*, *Cladophora*, *Spirogyra* и др. После купоросования эти водоросли стали развиваться в таком количестве, что в отдельных участках лимана с 1 м<sup>2</sup> собирали до 10 кг их сырой массы. Особенно

интенсивно развивались нитчатки в нижнем плесе лимана среди зарослей погруженных макрофитов.

Начиная с августа, через полтора месяца после внесения в воду сернокислой меди, качественный состав фитопланктона лимана постепенно обогащается, однако в отношении количест-

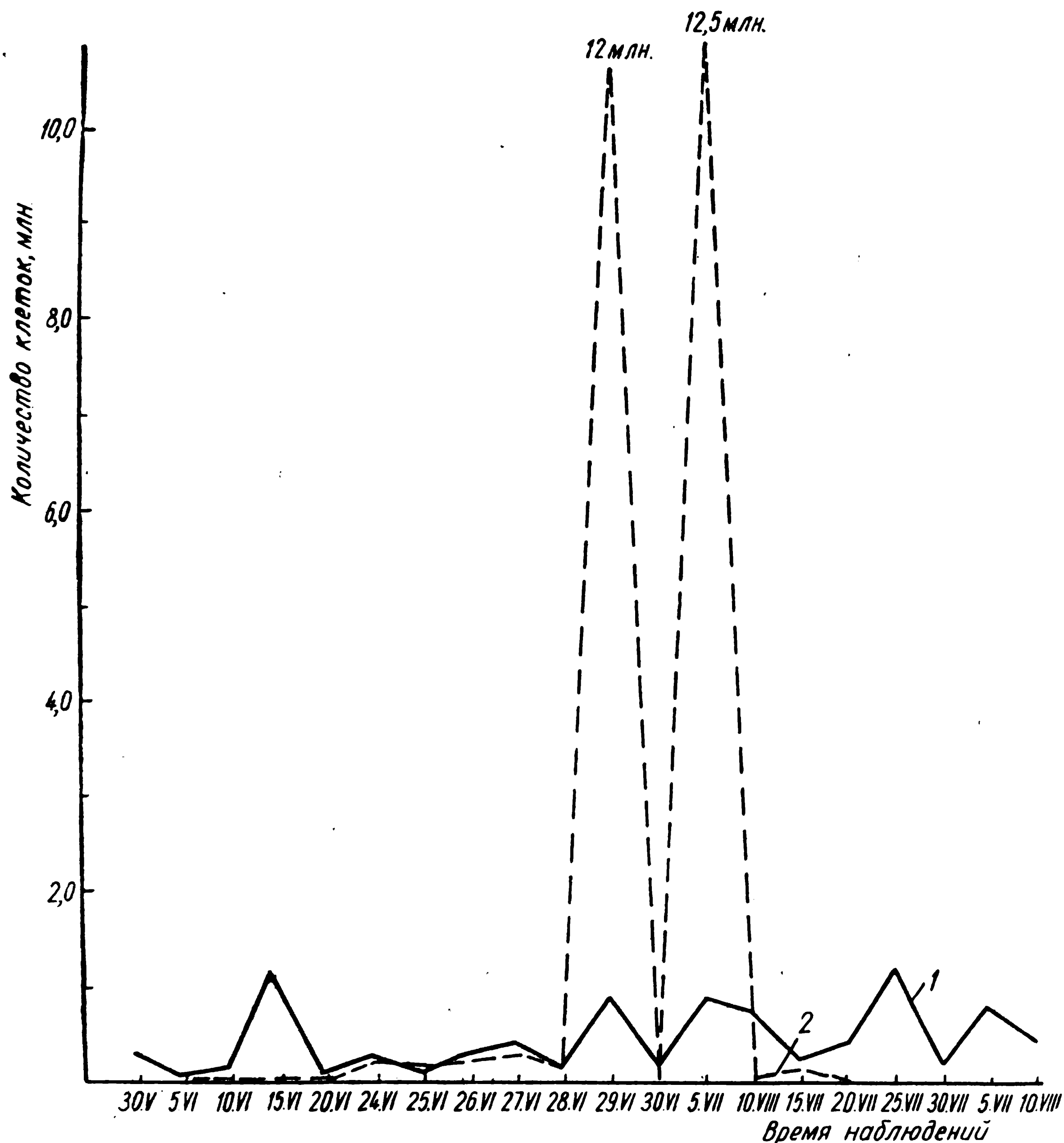


Рис. 4. Изменение численности зеленых водорослей летом 1967 г.:  
1 — верхний плес; 2 — средний плес.

венного развития до конца вегетационного периода остается на более низком уровне, чем был до 1967 г.

Как видно из приведенной табл. 7, количество фитопланктона в Кучурганском лимане в среднем уменьшилось по сравнению с тем, какое было до вступления в строй Молдавской ГРЭС. Уменьшение вегетации фитопланктона происходило глав-

ным образом за счет синезеленых водорослей. Что же касается диатомовых, протококковых, вольвоксовых и отчасти эвгленовых, то их вегетация в лимане после начала работы ГРЭС несколько увеличилась.

Причины уменьшения общего количества фитопланктона в лимане различны. Во-первых, это связано с внесением в воду сернокислой меди, что приводило к полному подавлению массовых видов синезеленых водорослей, составлявших до начала работы ГРЭС основную часть среднегодовой продукции фитопланктона. Во-вторых, увеличение среднегодовой температуры воды в лимане на 7—8° в связи с работой ГРЭС создало благоприятные условия для массового развития в лимане высшей водной растительности, отрицательно сказывающегося на развитии планктонных водорослей, в частности синезеленых. И, наконец, значительное количество фитопланктона разрушается

Таблица 7

Изменение численности и биомассы фитопланктона Кучурганского лимана по годам, тыс. кл/л  
мг/м<sup>3</sup>

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1964	—	22,0 *	—	715,9	—	—	94476,0	—	—	17361,6	—	—
1965	—	$\frac{240,0}{723,6}$	—	$\frac{914,9}{1514,0}$	$\frac{1271,9}{1252,6}$	$\frac{1346,1}{441,6}$	$\frac{9712,3}{1995,6}$	$\frac{2106,2}{2475,0}$	$\frac{3,9}{4663,7}$	$\frac{0,5}{871,5}$	$\frac{0,1}{277,6}$	$\frac{0,1}{239,2}$
1966	$\frac{111,6}{535,1}$	$\frac{3007,6}{—}$	$\frac{771,4}{1421}$	—	—	—	$\frac{37734,1}{8291,5}$	—	—	—	$\frac{1128,6}{995,9}$	—
1967	$\frac{423,3}{430,1}$	$\frac{90,0}{263,3}$	$\frac{1288,4}{2429,1}$	$\frac{173,9}{553,0}$	$\frac{383,5}{428,3}$	$\frac{870,2}{624,7}$	$\frac{530,0}{1758,1}$	$\frac{1473,2}{1294,3}$	$\frac{731,9}{1019,4}$	$\frac{920,8}{740,5}$	$\frac{829,1}{912,4}$	$\frac{105,8}{127,7}$
1968	$\frac{351,5}{1380,7}$	$\frac{1191,6}{1537,8}$	$\frac{2451,7}{2387,9}$	$\frac{215,8}{271,0}$	$\frac{256,2}{21,3}$	$\frac{2190,7}{3115,3}$	—	—	—	—	—	—

\* Приведена только численность.

при прохождении воды через охлаждающую систему ГРЭС.

Наблюдения, проведенные нами у насосной станции и при выходе из ГРЭС, показали, что в среднем около 72% фитопланктона разрушается при прохождении воды через охлаждающую систему ГРЭС (рис. 5). Если учесть тот факт, что

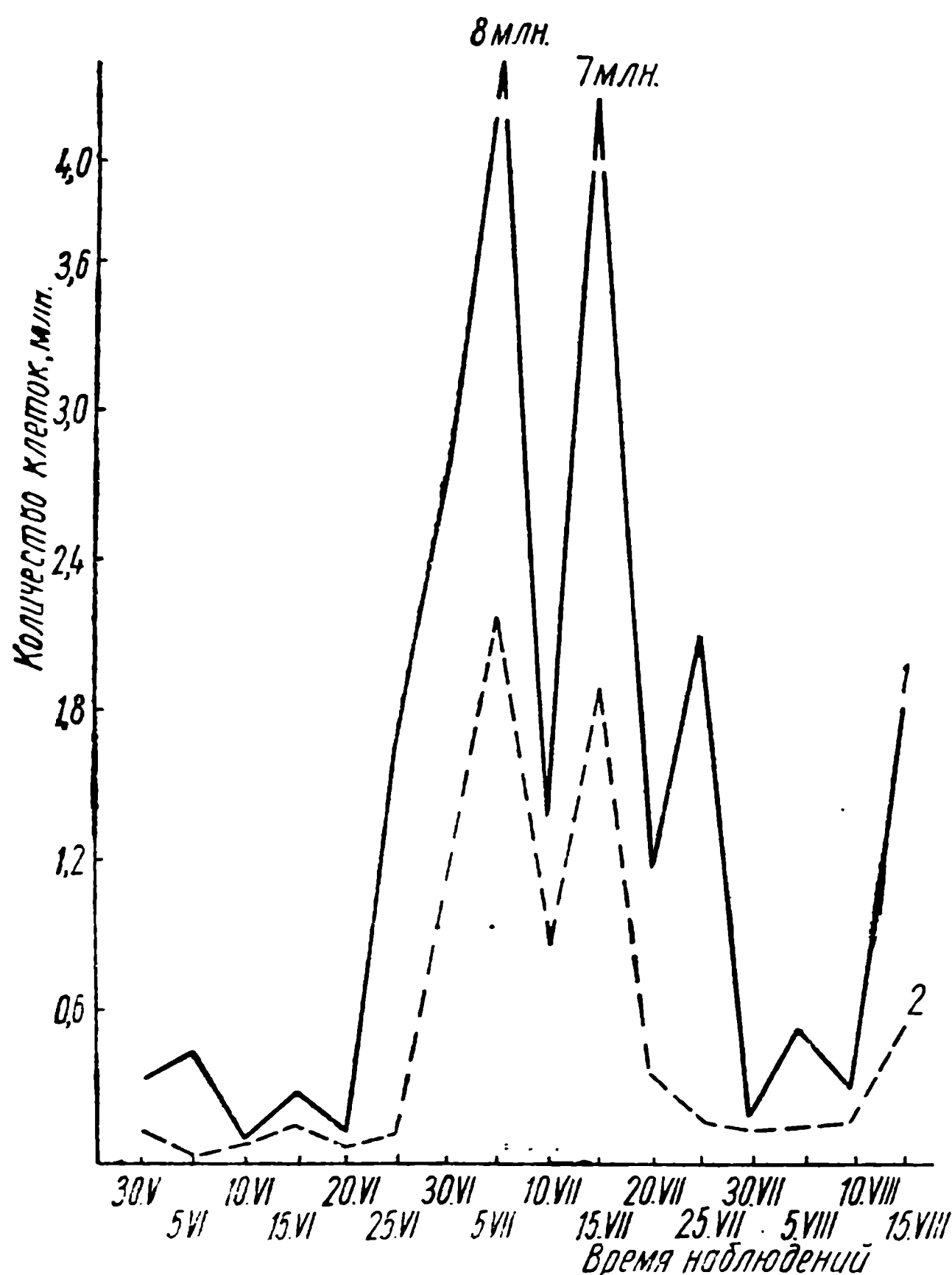


Рис. 5. Изменение численности фитопланктона у водозаборной станции (1) и при выходе из ГРЭС (2) в 1967 г.

среднегодовая биомасса фитопланктона в лимане составляет около  $2,2 \text{ г/м}^3$  и что ГРЭС ежесуточно потребляет около 3 млн.  $\text{м}^3$  воды, то за сутки разрушается примерно 5 т фитопланктона. Это довольно внушительная цифра, если принять во внимание, что валовая биомасса фитопланктона в среднем для лимана составляет 180 т.

Нами установлено, что при прохождении через конденсатор сильнее всего разрушаются синезеленые водоросли, потом потококковые и вольвоксовые. Что же касается диатомовых, то они почти не разрушаются. Наоборот, в некоторых случаях количество диатомовых водорослей в выходной канаве оказалось даже выше, чем при входе в ГРЭС.

Мы не ставили специальных опытов по выявлению жизнеспособности клеток, оставшихся целыми после прохождения через систему охлаждения ГРЭС. Очень возможно, что многие из них были мертвыми. А это еще больше снижает способность фитопланктона к воспроизводству. Таким образом, с одной стороны, основа воспроизводства фитопланктона в лимане снижается в результате внесения ядохимикатов и гибели клеток при прохождении через охлаждающую систему, с другой стороны — интенсивным развитием макрофитов, особенно в нижнем участке лимана. По этой причине на протяжении всего вегетационного периода 1968 г. синезеленые водоросли, например, встречались в весьма незначительном количестве.



## ВЫВОДЫ

1. До начала работы электростанции высшая водная растительность в лимане занимала менее одной трети площади лимана. Поэтому макрофиты не препятствовали массовому развитию фитопланктона. Особенно интенсивно развивались в лимане синезеленые водоросли, вызывающие продолжительное «цветение» воды. Наибольшая вегетация фитопланктона наблюдалась в среднем участке лимана, где заросли макрофитов отсутствовали.

2. С повышением температуры воды в лимане и установлением более или менее постоянного уровня создались благоприятные условия для массового развития высшей водной растительности, заросли которой в 1968 г. занимали свыше двух третей площади лимана. Это оказалось неблагоприятным для развития фитопланктона, в первую очередь синезеленых водорослей.

3. пышное развитие макрофитов в лимане, ежегодное на протяжении трех лет работы ГРЭС внесение сернокислой меди в воду и постоянное значительное разрушение клеток водорослей при прохождении через охлаждающую систему ГРЭС в значительной степени влияет на численность и биомассу фитопланктона. В результате этого из года в год наблюдается уменьшение вегетации фитопланктона в лимане.

## ЛИТЕРАТУРА

Гринь В. Г., Виноградская Т. А. Перегретые воды тепловых электростанций как фактор формирования фитопланктона в водоемах-охладителях.— В кн. «Цветение» воды. Наукова думка, К., 1968.

Егерман Ф. Ф. Материалы по планктону Кучурганского лимана бассейна р. Днестра за 1924 г. (май — декабрь).— В кн.: Тр. Всеукр. гос. Черном.-Азовск. научно-промысл. опытной станции, 1. Херсон, 1925.

Иванов А. И. Фитопланктон Днестровского лимана и низовий реки Днестра.— В кн.: Материалы по гидробиологии и рыболовству лиманов северо-западного Причерноморья. Сборник научных статей. Одесса, 1952.

Пидгайко М. Л., Гринь В. Г., Поливанная М. Ф., Виноградская Т. А., Сергеева О. А., Петрук Г. Ф., Бабко М. Н. Гидробиологический режим водоемов — охладителей тепловых электростанций Украины.— Гидробиол. журн., 3, 5, 1967.

Прошкина-Лавренко А. И. Диатомовые — показатели солености воды.— В кн.: Диатомовый сборник. М., 1953.

Шаларь В. М. и Яловицкая Н. И. Фитопланктон Кучурганского лимана.— В кн.: Биологические ресурсы водоемов Молдавии, 4. Кишинев, 1966.

Шиманский Б. А. Активные меры борьбы с зарастанием водохранилищ-охладителей.— В кн.: Тр. ВГБО, 14 (Природа биологических помех в водоснабжении). М., 1963.

Шиманский Б. А. Техничко-гидробиологическая характеристика водохранилищ — охладителей тепловых электростанций.— Гидробиол. журн., 1, 2, 1965.

Шиманский Б. А. Развитие синезеленых водорослей в водохранилищах — охладителях тепловых электростанций и меры борьбы с ними.— В кн.: Экология и физиология синезеленых водорослей. М.— Л., 1965.

# ВЛИЯНИЕ ПОДОГРЕВА НА РАЗВИТИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ВОДОХРАНИЛИЩА — ОХЛАДИТЕЛЯ КУРАХОВСКОЙ ГРЭС

Т. А. ВИНОГРАДСКАЯ

В данной работе изложены результаты исследований влияния сброса подогретых вод на развитие фитопланктона в водохранилище — охладителе Кураховской ГРЭС, проведенных с февраля 1965 г. по октябрь 1967 г. Значение температурного фактора для развития гидробионтов вообще и фитопланктона в частности в естественных водоемах, используемых в качестве охладителей тепловых электростанций, в современной литературе освещено недостаточно. В немногочисленных работах отечественных и зарубежных авторов имеются отрывочные данные о развитии фитопланктона под влиянием обогрева в реках и море (Стангенберг, 1967; Кондратюк, 1968; Wurtz, 1961; Appouichaux, 1965; Warinner, Brehmer, 1966). Еще более ограничены сведения о развитии водорослей в водохранилищах-охладителях (Журкина, 1963; Шиманский, 1965, 1968; Пидгайко и др., 1967; Гринь и др., 1968). Вместе с тем в настоящее время и в ближайшем будущем основой технического водоснабжения тепловых электростанций остается обратная система с водохранилищами-охладителями, что наряду с вопросом комплексного их использования еще больше подчеркивает актуальность поставленного вопроса.

Водоохранилище — охладитель Кураховской ГРЭС расположено на юге Донецкой области и образовано в результате зарегулирования р. Волчья. Насыпной дамбой оно разделено на две части: Ильинскую (лежащую выше по течению) — необогреваемую и Терновскую — обогреваемую (см. рисунок). Наличие необогреваемой части, которая может служить контролем, выгодно отличает его от других водохранилищ, поскольку дает возможность проводить одновременные исследования в сравнительном плане. Площадь водного зеркала обогреваемой части равна 15,5 км<sup>2</sup>, объем — 51,5 млн. м<sup>3</sup>, средняя глубина — 4—5 м, максимальная — до 9 м.

Расположение водохранилища в степной зоне определяет до некоторой степени его физико-химический характер. Исследования Д. О. Свиренко (1922, 1936) и А. И. Прошкиной-Лавренко (1932, 1954) показали, что характерной чертой степных водоемов является повышенная степень минерализации воды, которая обусловлена особенностями степного климата и определенным образом сказывается на составе альгофлоры. К таким осолоненным степным водоемам относится изучаемое Кураховское водохранилище. Минерализация его в период исследований изменялась в пределах 2374—3677 мг/л. Общая жесткость воды

высокая. Величина рН порядка 8,21—8,69. Кислородный режим характеризуется умеренным насыщением воды кислородом в поверхностных слоях (73—109%) и дефицитом в придонных (39—94%). Запасы биогенных элементов выражаются средними величинами с падением до аналитического нуля в период максимального развития водорослей (Абремская, 1969). Прозрачность воды в период исследований колебалась в зависимости от сезо-

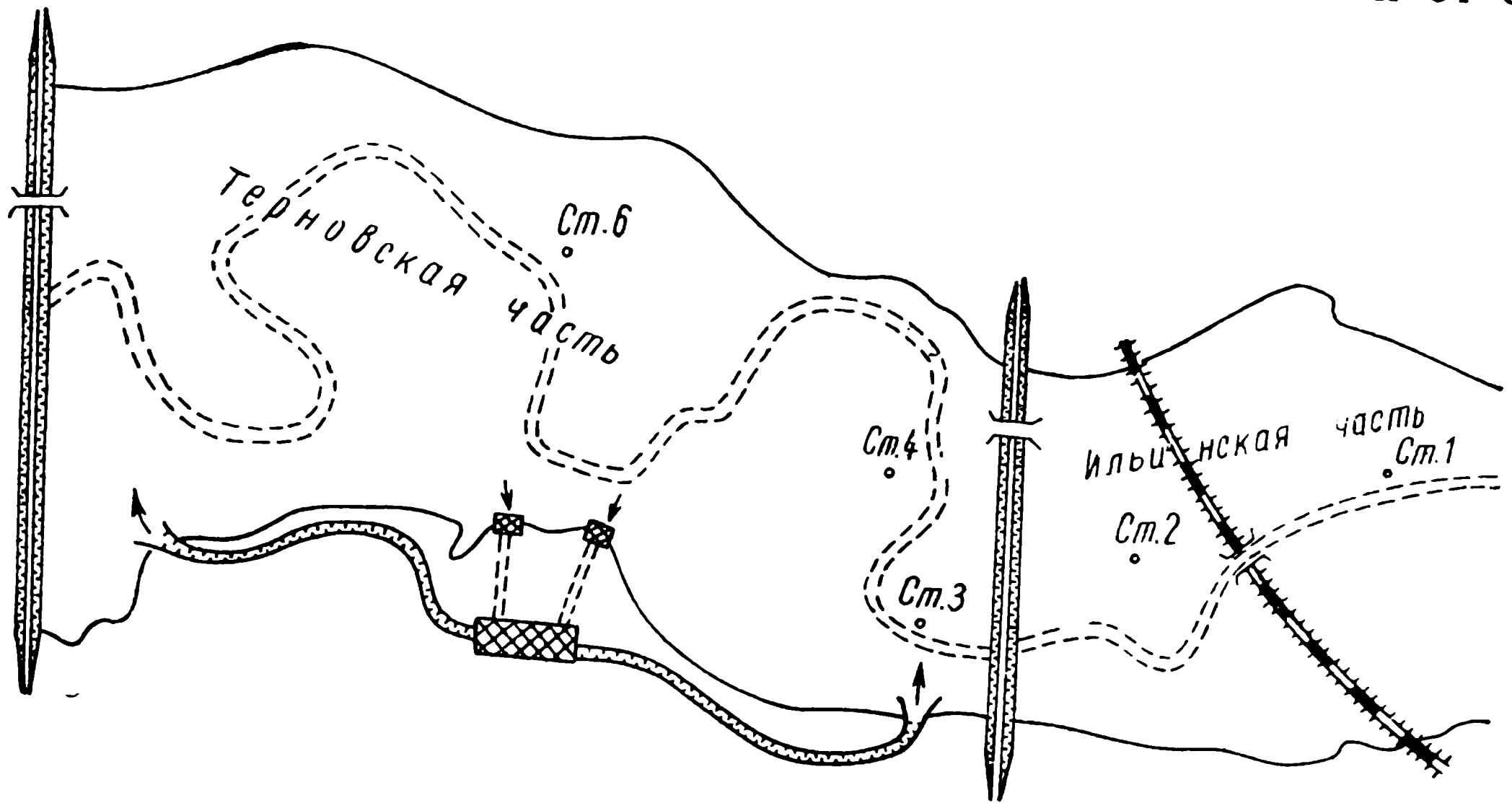


Схема водохранилища — охладителя Кураховской ГРЭС.

на от 70 до 145 см (по диску Секки). Наиболее высокой она была в феврале и наиболее низкой — в июле — октябре (в период массового развития синезеленых водорослей).

Температурный режим водохранилища-охладителя находится под влиянием сброса подогретых вод, объем которых в зимний период составляет 52 тыс.  $\text{м}^3/\text{час}$  с температурой до  $11-16^\circ$ , в летний — 78 тыс.  $\text{м}^3/\text{час}$  с температурой до  $31-38^\circ$ . Разница в температуре воды, забираемой для охлаждения конденсаторов паровых турбин и сбрасываемой после него, составляет в зависимости от сезона  $7-14^\circ$ . Это приводит к тому, что температура поверхностного слоя воды участков, подверженных наименьшему влиянию обогрева, превышает температуру воды необогреваемой части в зависимости от сезона на  $1,1-2,3^\circ$ , а участков с наибольшим обогревом — соответственно на  $3,9-5,7^\circ$ .

В табл. 1 приведены среднемесячная и среднегодовая \* температура воды обогреваемой и необогреваемой частей водохранилища, разница между которыми составляет 2,8—4,0°.

Средняя температура воды в обогреваемой части водохранилища в жаркую декаду превышает таковую в необогреваемой

\* Перечисленные показатели температуры воды являются приближенными к истинным, поскольку выведены на основании измерений температуры на станциях исследований в период отбора проб.

части на 2,9°. Такое повышение температуры воды, не превышающее санитарных норм, можно определить как слабый нагрев \*. Его влияние больше всего сказывается в зимний период. В теплые зимы он обуславливает почти полное отсутствие ледяного покрова водохранилища, а в более суровые — наблюдается периодическое частичное его замерзание. При этом толщина льда колеблется от 2—5 до 30 см, а в необогреваемой части в это же время она достигает 50—60 см. В летнее время влия-

Т а б л и ц а 1

Температура воды (в °С) в обогреваемой и необогреваемой частях Кураховского водохранилища (средние данные за 1965—1967 гг.)

Часть водохранилища	Февраль	Апрель	Июль	Ок- тябрь	Средневе- гетацион- ная	Средне- годовая
Обогреваемая	3,3	13,8	27,8	14,8	18,8	14,9
Необогреваемая	0,3	11,0	24,8	10,8	15,5	11,7

ние подогрева на температурный режим водоема выражено не так четко, т. к. сглаживается высоким естественным нагревом.

Материал по фитопланктону собирали посезонно (февраль, апрель, июль, октябрь) во время экспедиционных обследований. Для количественного учета водорослей пробы отбирались батометром Руттнера из поверхностного слоя воды (0—30 см) объемом 0,5 л и концентрировались отстойным методом, для качественного — планктонной сеткой из мельничного сита № 76. Учет клеток проводился в счетной камере Ножотта объемом 0,01 см<sup>3</sup>. Биомасса вычислялась общепринятым объемно-весовым методом.

Для выяснения влияния подогрева на распределение фитопланктона по акватории водохранилища отбирали пробы на станциях наблюдений, охватывающих участки с различной степенью обогрева. Одна станция находилась в районе наиболее сильного обогрева, у устья сбросного канала (ст. 3), другая — на некотором расстоянии от него (ст. 4) с умеренной степенью обогрева, следующая — в центре (ст. 6) с наименьшим обогревом. Кроме того, две станции (ст. 1, 2) были расположены в необогреваемой контрольной части водохранилища (см. рисунок).

Анализ обработанного материала показал, что на перечисленных станциях наблюдений в обогреваемой части водохранилища в одни и те же сезоны года наблюдались непостоянные колебания показателей качественного и количественного развития фитопланктона. Объясняется это тем, что в силу наличия

\* См. статью М. Л. Пидгайко в настоящем сборнике (стр. 19).



в водохранилищах-охладителях сложного комплекса специфических течений (градиентных, плотностных, компенсационных), естественного, хотя и небольшого, стока воды и больших ветровых волнений в обогреваемой части водохранилища происходит большее по сравнению с необогреваемой перемешивание водных масс. Это нарушает закономерность в распределении фитопланктона по акватории водохранилища в зависимости от температурного градиента и мешает проследить приуроченность отдельных планктонных форм к участкам с наиболее высокой степенью обогрева. В связи с этим в тексте мы будем пользоваться усредненными данными о развитии фитопланктона обогреваемой части водохранилища по сравнению с необогреваемой и лишь в случае необходимости — останавливаться на фитопланктоне отдельных участков водоема.

За период исследований в водохранилище-охладителе было обнаружено 312 видов, разновидностей и форм водорослей, а в контрольном водоеме — 249, относящихся к 10 систематическим группам. Из них протококковые, диатомовые, синезеленые и в меньшей степени эвгленовые являются основой видового богатства фитопланктона, причем их доминирующая роль сохраняется в обеих частях водохранилища. Остальные группы — золотистые, желтозеленые, пирофитовые, вольвоксовые и десмидиевые — менее разнообразны и большого значения в общем составе планктона не имеют.

Набор форм в обогреваемой и необогреваемой частях водохранилища на протяжении всего периода исследований был почти одинаков, о чем свидетельствует высокий коэффициент сходства видов (80%). Отмечено также большое сходство состава фитопланктона с таковым в других степных водоемах юга СССР. Преобладают в водохранилище-охладителе обычные широко распространенные эвритермные виды водорослей. Условия высокой минерализации воды обеспечили наличие большого количества (50%) галофильных форм диатомовых. Все это свидетельствует о том, что видовой состав фитопланктона в обогреваемой части водохранилища формируется под влиянием такового необогреваемой, а также гидрологических и физико-химических условий водоема.

Подогрев не вызвал коренных изменений в составе фитопланктона. Его влияние проявлялось в основном в повышении в каждом сезоне года видового разнообразия за счет удлинения сроков вегетации многих общих для обеих частей водохранилища видов водорослей.

Влияние подогрева на количественное развитие фитопланктона более четко и определено. Оно проявляется в значительном усилении на протяжении всего года роста численности почти всех видов водорослей, вегетирующих в водоеме, что в свою очередь приводит к увеличению общего количества фитопланк-



Таблица 2  
Количественное развитие фитопланктона в обогреваемой и необогреваемой частях Кураховского водохранилища по сезонам

Год исследования	Февраль		Апрель		Июль		Октябрь		Среднее за год	
	Необогреваемая часть	Обогреваемая часть	Необогреваемая часть	Обогреваемая часть	Необогреваемая часть	Обогреваемая часть	Необогреваемая часть	Обогреваемая часть	Необогреваемая часть	Обогреваемая часть
1965	694 0,253	2805 0,691	7812 2,960	9423 1,787	74 481 4,792	101 424 5,203	20 814 2,512	40 868 3,461	25 950 2,630	38 630 2,786
1966	2748 0,487	10 784 3,648	7202 2,706	22 902 4,968	117 688 8,144	231 259 11,323	177 198 8,106	298 681 19,077	76 209 4,861	140 907 9,754
1967	1864 0,259	15 196 0,957	23 750 4,115	41 027 4,348	92 903 8,727	66 252 9,445	183 655 5,888	105 124 6,960	75 543 4,747	56 900 5,428

Примечание. В числителе дана в тыс. кл/л, в знаменателе — биомасса в мг/л.

тона. За период исследований под влиянием обогрева численность его увеличилась в среднем на 34%, биомасса — на 50%. Среднегодовое колебание численности изменяется в пределах 38,6—140 млн. кл/л, биомассы — в пределах 2,78—9,75 мг/л. В необогреваемой части эти величины были гораздо ниже: численность колебалась в пределах 25,9—76,2 млн. кл/л, биомасса — в пределах 2,63—4,86 мг/л (табл. 2). Из табл. 2 видно, что как самые низкие показатели количественного развития водорослей в обогреваемой части водохранилища (2,8 млн. кл/л с биомассой 0,69 мг/л), так и самые высокие (298,6 млн. кл/л с биомассой 19,07 мг/л) — выше крайних показателей развития фитопланктона в необогреваемой части.

Основную роль в количественном развитии фитопланктона играли синезеленые, протоккокковые, диатомовые, улотриксковые и в меньшей степени пиррофитовые водоросли. Остальные группы — золотистые, эвгленовые, вольвоксовые и десмидиевые в сумме составляли 0,06—0,60% общей численности фитопланктона (соответ-

ственно 60—177 тыс. кл/л) и в количественном развитии фито-планктона заметной роли не играли.

Степень влияния подогрева как на общее количество фито-планктонных организмов, так и на развитие отдельных ведущих групп в разные сезоны года неодинакова. Наиболее слабая вегетация фитопланктона, несмотря на самую высокую степень влияния на нее подогрева, отмечена в зимний период (февраль). При среднемесячной температуре воды в обогреваемой части водохранилища 3,3° численность его составляла всего лишь

Таблица 3  
Численность фитопланктона (тыс. кл/л) в Кураховском водохранилище по сезонам (усредненные данные за 1965—1967 гг.)

Группа водорослей	Февраль		Апрель		Июль		Октябрь	
	Необогре- ваемая часть	Обогре- ваемая часть	Необогре- ваемая часть	Обогре- ваемая часть	Необогре- ваемая часть	Обогре- ваемая часть	Необогре- ваемая часть	Обогре- ваемая часть
Cyanophyta	280	5141	5124	11334	84524	127830	125989	143150
Chrysophyta	3	1	24	5	18	7	88	140
Bacillariophyta	83	412	2292	1453	135	252	70	159
Xanthophyta	—	—	—	—	22	1	10	1
Pyrrophyta	127	182	34	57	266	309	72	188
Euglenophyta	3	2	13	14	42	16	3	4
Chlorophyta								
Volvocineae	75	54	63	59	14	18	6	6
Protococcineae	1189	3317	5447	9975	8788	2844	1215	2708
Ulotrichineae	5	488	126	1211	956	1457	176	1801
Desmidiales	—	3	3	8	60	40	34	28
Всего	1765	9600	13130	24116	94825	132774	127663	148185

9,6 млн. кл/л, биомасса — 1,76 мг/л (табл. 3, 4), однако она превышала численность фитопланктона в необогреваемой части водохранилища в 5,4 раза и биомассу в 5 раз.

Численно превосходящими были синезеленые и протококковые водоросли, доминирующими по биомассе — диатомовые и пиррофитовые. Синезеленые водоросли оставляли 53% общей численности (5,1 млн. кл/л) и 11% биомассы (0,19 мг/л), превышая соответствующие показатели в необогреваемой части в 18 и 48 раз. В зависимости от года они были представлены на 30—80% *Gomphosphaeria lacustris* Chod. и на 20—40% *Oscillatoria agardhii* Gom. В значительно меньшем количестве встречались *Microcystis aeruginosa* Kuetz. emend. Elenk. (до 1,1 млн. кл/л) и *Coelosphaerium dubium* Grun. (до 0,5 млн. кл/л). В необогреваемой части синезеленые, занимая второстепенное положение, были предоставлены *Gomphosphae-*

*ria lacustris*, *Oscillatoria agardhii*, *Merismopedia minima* G. Веск., численность которых колебалась в пределах 45—230 тыс. кл/л.

Протококковые водоросли составляли 34% общей численности (3,3 млн. кл/л) и 10% биомассы (0,12 мг/л). Количество их под влиянием обогрева увеличилось в среднем в 2,8 раза. Самый богатый видовой состав протококковых и составлял фон зимнего фитопланктона. Ведущими были некоторые общие с не-

Т а б л и ц а 4  
Биомасса фитопланктона (мг/л) в Кураховском водохранилище по сезонам (усредненные данные за 1965—1967 гг.)

Группа водорослей	Февраль		Апрель		Июль		Октябрь	
	Необогре- ваемая часть	Обогре- ваемая часть	Необогре- ваемая часть	Обогре- ваемая часть	Необогре- ваемая часть	Обогре- ваемая часть	Необогре- ваемая часть	Обогре- ваемая часть
Cyanophyta	0,004	0,194	0,169	0,437	2,206	3,603	4,177	6,578
Chrysophyta	—	—	0,004	0,001	0,011	0,002	0,019	0,030
Bacillariophyta	0,034	0,895	2,493	1,844	0,602	1,278	0,754	1,825
Xanthophyta	—	—	—	—	0,029	0,002	0,005	0,001
Pyrrhophyta	0,117	0,337	0,226	0,305	2,326	3,303	0,190	0,392
Euglenophyta	0,005	0,017	0,122	0,042	0,411	0,219	0,027	0,019
Chlorophyta								
Volvocineae	0,081	0,024	0,018	0,011	0,007	0,011	0,006	0,001
Protococcineae	0,087	0,178	0,540	1,109	1,089	0,363	0,330	0,443
Ulotrichineae	0,001	0,052	0,020	0,188	0,107	0,202	0,024	0,252
Desmidiaceae	—	0,004	0,006	0,013	0,095	0,085	0,054	0,060
Всего	0,332	1,701	3,598	3,950	6,883	9,068	5,586	9,601

обогреваемой частью виды, но численность их под влиянием обогрева значительно увеличивалась: *Dictyosphaerium pulchellum* Wood — до 2,5 млн. кл/л, *Crucigenia quadrata* Mогген и *C. tetrapedia* (Kirchn.) W. et W.— до 1,8, *Tetrastrum glabrum* (Roll) Ahlstr et Tiff.— до 1,5, *Raphidonema longiseta* Vischer — до 1,0 млн. кл/л (в необогреваемой части численность указанных видов колебалась в пределах 0,3—1,0 млн. кл/л). В меньшей степени развивались виды родов *Didymocystis*, *Kirchneriella*, *Scenedesmus*. А такие, как *Elacatothrix acuta* Pasch., *Scenedesmus quadricauda* var. *spinosus* Deduss., *Tetraedron minimum* (A. Br.) Hansg. и др., развивавшиеся в обогреваемой части водохранилища в сравнительно небольшом количестве, в необогреваемой — совсем не встречались.

Доля диатомовых водорослей в общей численности фитопланктона невелика. Несмотря на то, что под влиянием обогрева она увеличивалась в 5 раз, среднесезонная численность

их составляла всего лишь 412 тыс. кл/л, или 4% общего количества фитопланктона. Биомасса диатомовых была наибольшая. По сравнению с необогреваемой частью она увеличилась в 26 раз и составляла 56% общей зимней биомассы фитопланктона. Происходит это, с одной стороны, за счет развития таких планктонных диатомовых, как *Amphiprora palludosa* var. *subsalina* C l., *Coscinodiscus lacustris* Grun., *Nitzschia acicularis* W. S m., *N. longissima* var. *reversa* W. S m., которые в необогреваемой части развивались очень плохо или совсем не развивались, с другой стороны — за счет сравнительно большого количества в планктоне перифитовых и донно-планктонных форм (представителей родов *Nitzschia*, *Diatoma*, *Gomphonema*, *Suriella*, *Gyrosigma* и др.), интенсивная вегетация которых наблюдалась в районе высокого обогрева.

Большое удельное значение в общей биомассе фитопланктона имела группа пиропитовых водорослей, которые за счет *Cryptomonas ovata* Ehr. и *Glenodinium* sp. достигали 0,34 мг/л (20% общей биомассы), что в 2,9 раза превышает биомассу этой группы в контрольной части.

Особый интерес вызывают улотриксые водоросли, которые представлены *Binuclearia lauterbornii* (Schmidle) R g.-L a w r \*. В необогреваемой части они или совсем не развивались или численность их не превышала 5 тыс. кл/л, в обогреваемой — в отдельные зимы они достигали 1,4 млн. кл/л. Средняя численность *Binuclearia lauterbornii* составляла 488 тыс. кл/л, биомасса — 0,05 мг/л, превышая таковые показатели в необогреваемой части соответственно в 92 и 52 раза. Таким образом, подогрев воды в зимний период способствует развитию фитопланктона и приводит к значительному увеличению численности и биомассы всех ведущих групп водорослей. Наиболее чувствительными были улотриксые и синезеленые.

Весной (апрель) по сравнению с зимой с повышением естественной температуры воды в водоеме, влияние ее подогрева на количественное развитие фитопланктона снижалось и приводило к увеличению количества водорослей по сравнению с необогреваемой частью в среднем лишь на 80% по численности и на 10% по биомассе. Средняя численность фитопланктона в обогреваемой части составляла 24,1 млн. кл/л (биомасса — 3,95 мг/л), в необогреваемой — 13,1 млн. кл/л (биомасса — 3,59 мг/л). Ведущими по численности являлись синезеленые и протококковые водоросли, по биомассе — диатомовые и протококковые.

Численность синезеленых водорослей достигала 11,3 млн. кл/л, что составляет 46% общего количества фитопланктона, биомас-

---

\* Впредь под названием улотриксые водоросли будет подразумеваться развитие *Binuclearia lauterbornii*.



са — 0,44 мг/л (11 %). Подогрев приводил к увеличению их количества по сравнению с необогреваемой частью не в такой сильной степени, как зимой, — всего лишь в 2 раза, биомассы — в 2,5 раза (в необогреваемой части синезеленые водоросли только в апреле достигали зимнего уровня численности таковых в обогреваемой части — 5 млн. кл/л). Преобладающими (до 40—80 %) видами в обеих частях водохранилища оставались те же виды, что и зимой, — *Gomphosphaeria lacustris* и *Oscillatoria agardhii*. В некоторые годы (1966) в обогреваемой части процент их в общей массе синезеленых снижался, т. к. сравнительно большого развития достигали *Microcystis aeruginosa* (до 1,5 млн. кл/л) и *Coelosphaerium dubium* (до 1,0 млн. кл/л).

Развитие протококковых водорослей в обеих частях водохранилища характеризуется резким подъемом. В обогреваемой части они достигали максимума — 16,6 млн. кл/л. Средняя численность протококковых составляла 9,9 млн. кл/л (41 % общего количества), биомасса — 1,11 мг/л (30 %). Благодаря подогреву уже в середине апреля они достигали летнего уровня развития протококковых в необогреваемой части, а в иные годы даже превышали его. В необогреваемой части протококковые, оставаясь ведущей группой, не превышали средневесеннюю численность — 5,45 млн. кл/л и биомассу — 0,54 мг/л.

Руководящие виды зимнего планктона весной достигали еще большего развития. Численность *Crucigenia tetrapedia*, *C. quadrata*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Tetrastrum glabrum*, *Oocystis submarina* Lagerh., *Raphidonema longiseta* колебалась от 0,5 до 8,5 млн. кл/л, биомасса — от 0,03 до 1,28 мг/л. Такие организмы, как *Coelastrum microporum* Naeg., *Scenedesmus acuminatus* var. *bisseriatus* Reinh., *Ankistrodesmus angustus* Bern., *A. minutissimum* Korschik., *Didymocystis planctonica* Korschik., *D. inconspicua* Korschik., *Kirchneriella obesa* (West) Schmidle, *K. lunaris* (Kirchn.) Moeb., являлись общими для обеих частей водохранилища, но в обогреваемой части численность их всегда была намного выше, чем в необогреваемой, а в отдельные годы они являлись массовыми формами. Так, *Ankistrodesmus minutissimum* в 1966 г. достигал 3 млн. кл/л, *A. angustus* в 1967 г. — 2,4 млн. кл/л, *Scenedesmus acuminatus* var. *bisseriatus* в 1966 г. — 1,5 млн. кл/л. В необогреваемой части количество их колебалось в пределах 200—900 тыс. кл/л.

Диатомовые водоросли в апреле достигали максимума своего развития в обеих частях водохранилища (в обогреваемой — численность 1,5 млн. кл/л, биомасса — 1,8 мг/л; в необогреваемой — соответственно 2,3 млн. кл/л и 2,5 мг/л), причем количество их в необогреваемой части было на 37 %, а биомасса на 26 % выше, чем в обогреваемой части. Причина этому — массовое развитие *Diatoma elongatum* (Lungb.) Ag., численность которой достигала 4,5 млн. кл/л, биомасса — 3,2 мг/л.



Она является, очевидно, более холодолюбивой формой, т. к., будучи одной из ведущих диатомовых в обогреваемой части, не достигала в ней такого бурного развития.

Основную роль в обогреваемой части играли *Coscinodiscus* etz., *Amphiprora palludosa* var. *subsalina*, *Stephanodiscus hantzschii* Grun., количество которых под влиянием обогрева достигало 0,7—1,5 млн. кл/л, что превышает численность этих организмов в необогреваемой части в 2—6 раз. Большую роль в диатомовом планктоне весной, как и зимой, продолжали играть факультативно-планктонные формы — представители родов *Cymbella*, *Gomphonema*, *Roicosphaenia*, *Navicula*, *Fragilaria*, *Synedra*, *Nitzschia* и др. Численность их была невелика, но в общей биомассе удельный вес их значительный.

Большую роль в количественном составе фитопланктона продолжали играть улотриксые водоросли, достигая в отдельные годы 3 млн. кл/л. Средневесенняя численность их составляла 1,2 млн. кл/л, биомасса — 0,19 мг/л. По обоим количественным показателям они превышали развитие таковых в необогреваемой части водохранилища более чем в 9 раз.

Разница в численности пиропитовых водорослей в обогреваемой и необогреваемой частях увеличилась по сравнению с зимним периодом, но абсолютное их количество в обеих частях снизилось. Биомасса за счет развития *Glenodinium* sp. оставалась примерно такой же.

Таким образом, подогрев воды в весенний период продолжает стимулировать количественное развитие всех основных групп водорослей, хотя и в меньшей мере, чем зимой (исключение составляли некоторые виды диатомовых водорослей). Наиболее чувствительными к подогреву были те же, что и зимой, — улотриксые и синезеленые водоросли. Протококковые и диатомовые достигали максимума развития. Сглаживание средневесенней биомассы фитопланктона в обогреваемой и необогреваемой частях водохранилища происходит за счет массового развития в последней *Diatoma elongatum*.

В июле повышение среднемесячной температуры воды до 27,8° продолжало стимулировать развитие фитопланктона по сравнению с необогреваемой частью, но в еще меньшей степени, чем весной. Общая средняя численность фитопланктона в обогреваемой части водохранилища превышала таковую в необогреваемой только на 40% и составляла 132,7 млн. кл/л, биомасса — на 32% (9,07 мг/л). Основная роль в общей численности принадлежала синезеленым, протококковым и в меньшей мере улотриксвым водорослям, в биомассе — синезеленым, пиропитовым и диатомовым.

Для летнего фитопланктона характерно массовое развитие синезеленых водорослей. На их долю приходилось 96% числен-

ности (127,8 млн. кл/л) и 40% биомассы (3,60 мг/л), т. е. по обоим количественным показателям они занимали ведущее место и превышали таковые в необогреваемой части соответственно на 50 и 60%. Резко увеличилась численность тех же, что и весной, руководящих видов — *Gomphosphaeria lacustris* и *Oscillatoria agardhii*. Первый из них (в отдельные годы) достигал 200 млн. кл/л, что составляет 90% общей численности синезеленых водорослей. Большого развития по сравнению с весной достигали *Aphanizomenon flos-aquae* (Lyngb.) Gréb. (2—13 млн. кл/л), *Microcystis aeruginosa* (1—5 млн. кл/л), *Coelosphaerium dubium* (1—6 млн. кл/л), но в сумме они составляли не более 5% общего количества синезеленых. Следует отметить, что вегетация *Coelosphaerium dubium* в большей степени, чем у других синезеленых водорослей, была приурочена к обогреваемой части водохранилища. Второстепенную роль в численности и биомассе фитопланктона играли виды родов *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Gloeocapsa*, *Mirismopedia* и др.

Численность протококковых в обогреваемой части водохранилища снизилась до 2,8 млн. кл/л, биомасса — до 0,36 мг/л. Общее их количество по сравнению с весной уменьшилось в 3 раза и составляло 2% численности и 4% биомассы летнего планктона. В необогреваемой части они достигали максимума — 12 млн. кл/л. Средняя численность их составляла 8,7 млн. кл/л, биомасса — 1,09 мг/л, но эти показатели значительно ниже соответствующих показателей весеннего максимума протококковых в обогреваемой части водохранилища.

Ведущим остался почти тот же набор видов. Изменилось в основном их количественное соотношение. Сравнительно высокую численность сохраняли *Crucigenia quadrata* и *C. tetrapedia* (до 700 тыс. кл/л), *Oocystis submarina* (до 300), *Scenedesmus bijugatus* (Тигр.) Kuetz. (до 200 тыс. кл/л) и др. Получили большее развитие, чем весной, *Oocystis crassa* Wittg. (до 600), *Tetraedron minimum* и *Lambertia ocellata* Korschik. (до 500), *Lagerheimia genevensis* Chod. (до 200 тыс. кл/л) и др. Они встречались и в другие сезоны года, но в значительно меньшем количестве.

Диатомовые водоросли составляли всего 2% общей численности и в летнем планктоне особой роли не играли. Будучи представлены такими крупными планктонными формами, как *Coscinodiscus lacustris*, *Chaetoceros mülleri* Lemm., *Cyclotella meneghiniana* Kuetz., они достигали биомассы 1,28 мг/л (14% общего ее количества) и занимали третье место после синезеленых и пиррофитовых. Указанные диатомовые водоросли и в летний период значительно больше развивались в обогреваемой части водохранилища. Численность их увеличивалась по сравнению с необогреваемой частью на 86%, биомасса — на 112%. В 1967 г. наблюдалась вспышка развития *Chaetoceros mülleri*,

причем приурочена она была к району наибольшего обогрева и составляла 90% численности и 40% биомассы диатомовых. Роль факультативно-планктонных форм в летний период была практически ничтожной.

Интенсивность развития самой теплолюбивой группы — улотриковых водорослей несколько снизилась, но все же численность их в обогреваемой части водохранилища была на 50% выше, чем в необогреваемой. Обычно (за исключением 1967 г.) летом наблюдался максимум их развития. В отдельные годы количество их достигало 2,9 млн. кл/л, а в среднем составляло 1,5 млн. кл/л с биомассой 0,20 мг/л. (В первой декаде августа 1966 г. численность их достигала 5,5 млн. кл/л.).

Пирофитовые водоросли в июле достигли максимума развития и по численности и по биомассе в обеих частях водохранилища. Поскольку они являлись вообще немногочисленной группой, среднее количество их не превышало 309 тыс. кл/л и составляло 0,2% общей численности летнего фитопланктона. Степень влияния на них подогрева снизилась и привела к тому, что численность пирофитовых в обогреваемой части превышала численность последних в необогреваемой всего лишь на 16%. Средняя биомасса их за счет развития таких крупных форм, как *Ceratium hirundinella* (O. F. M.) Berg h, *Peridinium* sp. и *Cryptomonas ovata*, достигала 3,30 мг/л и превышала биомассу таких в необогреваемой части на 42%. Самая высокая численность *Ceratium hirundinella* до 150 тыс. кл/л (биомасса 7 мг/л) была отмечена в районе наибольшего обогрева в 1967 г.

Итак, подогрев воды в жаркую декаду летнего периода на 3,0° продолжает способствовать возрастанию общей численности и биомассы фитопланктона, однако в меньшей степени, чем в предыдущий сезон. Реакция на подогрев отдельных ведущих групп неодинакова.

Наиболее чувствительными к подогреву были диатомовые водоросли, численность которых в обогреваемой части водохранилища увеличилась по сравнению с необогреваемой в 1,8 раза, биомасса — в 2 раза. Численность и биомасса синезеленых и улотриковых увеличилась лишь в 1,5 раза. Количество пирофитовых увеличилось незначительно. Развитие протококковых снизилось.

В октябре, несмотря на снижение среднемесячной температуры воды в обогреваемой части водохранилища до 15°, общее количество фитопланктона продолжало увеличиваться, достигая годовых максимальных величин численности (298 млн. кл/л) и биомассы (19,07 мг/л). Средняя численность водорослей в обогреваемой части составляла 148 млн. кл/л, биомасса — 9,60 мг/л, превышая соответствующие показатели в необогреваемой части на 17 и 72% (в последней численность за счет синезеленых тоже увеличивалась). Ведущими по численности

были, как и летом, синезеленые и протококковые, по биомассе — синезеленые и диатомовые. Основой осеннего фитопланктона, как и летнего, являлись синезеленые водоросли. В обогреваемой части они достигали в среднем за сезон 143 млн. кл/л (биомасса — 6,58 мг/л), в необогреваемой — 125,9 млн. кл/л (биомасса — 4,18 мг/л), что составляло соответственно 97 и 98% общей численности водорослей. В обеих частях водохранилища они достигали годового максимума, но максимум синезеленых в обогреваемой части был выше, чем максимум последних в необогреваемой в среднем на 13% по численности и на 57% по биомассе. Последнее объясняется не только большей численностью синезеленых водорослей в обогреваемой части, но и изменением их ведущего состава. Преобладающая во все предыдущие сезоны года мелкоклеточная форма *Gomphosphaeria lacustris* уступала место более крупным — *Aphanizomenon flos-aqua* и *Microcystis aeruginosa*, массовое развитие которых в осенний период часто наблюдается и в других естественных водоемах.

Общее количество протококковых снизилось по сравнению с летом очень незначительно, а биомасса за счет развития *Crucigenia tetrapedia*, *Oocystis submarina*, *O. crassa*, *Scenedesmus bijugatus*, *S. arcuatus* Lemm., *Tetrastrum glabrum*, *Lagerheimia genevensis* и др. увеличилась на 22%. Видовой состав их остался почти таким же, как и летом. Несколько изменилось лишь соотношение численности доминирующих видов. Если сравнить развитие протококковых в обогреваемой части водохранилища с развитием последних в необогреваемой, то видно, что степень влияния подогрева на их количественное развитие снова возрастает и приводит к увеличению разницы между численностью и биомассой протококковых в обогреваемой и необогреваемой частях соответственно до 123 и 34%. Количество улотриковых водорослей в отдельные годы падает до 150—350 тыс. кл/л, хотя средняя численность остается довольно высокой (в основном за счет бурного развития в 1967 г.). Роль же подогрева в их развитии снова возрастает и приводит к превышению их численности в обогреваемой части по сравнению с необогреваемой в зависимости от года в 4—13 раз.

Численность диатомовых по сравнению с летом снизилась незначительно, а биомасса за счет развития *Coscinodiscus lacustris* возросла. По сравнению с необогреваемой частью водохранилища в обогреваемой численность диатомовых была больше в 2,2 раза, биомасса — в 2,4 раза.

Численность и особенно биомасса пиропитовых водорослей по сравнению с таковыми в июле упали, но были более чем в 2 раза выше по сравнению с необогреваемой частью. Резкое снижение биомассы произошло за счет почти полного исчезно-



вения летних форм *Ceratium hirundinella* и *Peridinium* sp. В планктоне преобладала *Cryptomonas ovata*.

Таким образом, и в осенний период, несмотря на естественное снижение температуры воды, общее количество фитопланктона под влиянием обогрева продолжает оставаться высоким, достигая за счет синезеленых годовых максимальных величин численности и биомассы. Роль подогрева в количественном

Т а б л и ц а 5

Количественное развитие фитопланктона в различных стоячих и полупроточных водоемах УССР (в летний период)

Тип водоема	Численность, млн. кл/л	Биомасса, мг/л	Годы исследования	Источник
Пруды	0,018—648,5	0,005—46,065	1957—1959	Радзимовский, 1965
Водохранилища				
Краснооскольское	0,230—489,2	—	1959—1961	Жупаненко, 1966
Октябрьское	2,196—36,1	0,754—4,605	1962—1965	Черницкая, 1968
Южное	0,370—22,9	0,08—2,718	1962—1965	Черницкая, 1968
Каховское	0,641—156,3	0,394—79,832	1956—1959	Цееб, Литвинова, сб. «Каховське водоймище», 1964
Кременчугское	24,96—901,8	1,893—77,688	1960—1964	Литвинова, 1967

развитии всех ведущих групп водорослей в обогреваемой части водохранилища после некоторого летнего сглаживания снова возрастает. Самыми чувствительными к подогреву были улотриксковые водоросли.

Сопоставляя изложенные данные о количественном развитии фитопланктона в обогреваемой части водохранилища с таковыми в необогреваемой (табл. 2, 3, 4) и в других водоемах замкнутого и полупроточного типа юга Украины (табл. 5), можно отметить, что достигаемый в обогреваемой части уровень численности и биомассы фитопланктона сравнительно высокий, но не превышает уровня количественного развития фитопланктона в указанных эвтрофных водоемах.

В отличие от необогреваемой части в обогреваемой в результате среднегодового подогрева воды на 2,8—4,0° (в зависимости от периода года) происходит систематическое увеличение общей численности и биомассы фитопланктона во все сезоны года (кроме июля и октября 1967 г.).

Увеличение количества фитопланктона происходит за счет интенсивно проходящих под влиянием подогрева процессов деления и роста клеток водорослей как общих для обеих частей водохранилища (для каждого конкретного сезона), так и сов-



сем не развивающихся (в соответствующий сезон) в контрольной части.

Изложенный фактический материал хорошо иллюстрирует неодинаковую степень влияния подогрева на количественное развитие фитопланктона в разные сезоны года. Больше всего подогрев сказывается в зимний период, повышая численность водорослей по сравнению с необогреваемой частью на 400% и меньше всего — в осенний, увеличивая количество фитопланктона на 17%. В остальные сезоны происходит увеличение фитопланктона на 40—80%.

Наблюдаемое в летний период частичное угнетение некоторых (особенно протококковых) групп водорослей можно объяснить рядом причин — биологией самих организмов, недостатком биогенов в летний период, конкурентными взаимоотношениями между отдельными группами водорослей (возможно, очень сложными в условиях повышенных температур), выеданием их беспозвоночными животными, большим механическим разрушением, обусловленным увеличением в летний период расхода циркуляционной воды и, наконец, массовым развитием синезеленых водорослей (Гуревич и др., 1965; Топачевский и др., 1968).

Неодинаковое влияние подогрева на увеличение общего количества фитопланктона в разные сезоны года не вызывает существенных изменений в его сезонной динамике, а только приводит к некоторому сглаживанию сезонных колебаний его количественных показателей.

Как показывает изложенный материал, основные ведущие в количественном отношении группы водорослей — синезеленые, протококковые, диатомовые и пирофитовые — были общими для обеих частей водохранилища. Кроме того, подогрев способствовал систематическому увеличению количества улотриксковых водорослей, которые вследствие этого были также одной из ведущих групп в обогреваемой части водохранилища. В необогреваемой части они развивались очень слабо.

Перечисленные группы водорослей являлись одновременно и самыми чувствительными к обогреву, что проявлялось в значительном увеличении их количества при повышении температуры воды. Среднегодовая численность улотриксковых водорослей в обогреваемой части увеличивалась по сравнению с необогреваемой в 28 раз, синезеленых — в 7,7 раза, диатомовых — в 2,2, протококковых и пирофитовых — в 1,7 раза. Однако степень реакции этих групп водорослей на обогрев в разные сезоны года неодинакова, что приводит к нарушению сезонных ритмов в развитии отдельных групп фитопланктона и к изменению соотношения ведущих групп по сезонам в обогреваемой и необогреваемой частях водохранилища. Остальные группы — золотистые, эвгленовые, вольвоксовые и десмидиевые не проявляли

заметной реакции на повышение температуры воды. Подогрев если и стимулировал их количественное развитие, то в такой незначительной степени, что при общей малочисленности видов этих групп уловить его влияние трудно.

Нужно отметить, что в Кураховском водохранилище в период исследований массовыми видами синезеленых водорослей, вызывающими «цветение» воды, были *Gomphosphaeria lacustris* и *Oscillatoria agardhii*. Наиболее распространенные возбудители «цветения», такие как *Aphanizomenon flos-aqua* и *Microcystis aeruginosa*, играли в водоеме второстепенную роль.

Следует обратить внимание еще на то, что прохождение воды водохранилища через концентраторы ГРЭС безусловно отрицательно сказывается на целостности клеток водорослей и, следовательно, на общем их количестве. Однако количественную оценку этому факту мы пока дать не можем.

Для оценки санитарного состояния водохранилища-охладителя была проведена обработка альгологического материала за 1965 г. по методу М. Зелинки и Р. Марвана, изложенному в изданных СЭВ «Унифицированных методах исследования качества вод» (1966 г.). Для выявления водорослей — индикаторов сапробности были использованы новейшие списки индикаторных организмов, приведенные там же. Нами было обнаружено 32 вида водорослей — показателей различных степеней сапробности. Анализ процентного соотношения их количественного развития в разные сезоны и в среднем за год (табл. 6) показал, что преобладающими в течение всего года в обеих частях водохранилища были организмы, характерные для бета-мезосапробной зоны. В среднем они составляли 62,6% в обогреваемой части и 66,6% — в необогреваемой. Олигосапробных форм в обогреваемой части было на 4,2% меньше, а альфа-мезосапробных — на 8% больше. Это указывает на то, что в обогреваемой части при общем бета-мезосапробном состоянии водоема происходило некоторое ухудшение санитарного состояния по сравнению с необогреваемой частью. Однако в данном случае еще трудно сказать, является ли это результатом незначительного повышения температуры воды.

В заключение можно отметить следующее. Температурный режим водохранилища-охладителя находится под влиянием сброса подогретых вод. Это влияние проявляется в повышении среднесезонных и среднегодовых температур воды, а в зимний период также в частичном или полном отсутствии ледяного покрова, что приводит к удлинению вегетационного периода и определенным образом сказывается на развитии фитопланктона. Проявляется это в том, что под влиянием обогрева численность и биомасса всех ведущих групп водорослей (кроме отдельных холодолюбивых видов) имеют четко выраженную тен-

Процентное соотношение численности водорослей — показателей различных степеней сапробности в обогреваемой и необогреваемой частях Кураховского водохранилища в 1965 г. (по системе Зелинки и Марвана)

Части водохранилища	Февраль				Апрель				Июль				Октябрь				Среднее за год			
	О		Е-з		Е-х		О		Е-з		Е-х		О		Е-з		Е-х		О	
	д	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у
Обогреваемая	14,3	47,8	37,6	2,2	12,6	69,9	17,5	18,1	67,5	14,4	18,0	50,2	31,8	15,8	62,6	21,5	0,02			
Необогреваемая	18,8	59,0	21,7	—	27,0	63,6	9,4	15,8	68,0	16,2	9,9	72,1	18,0	20,0	66,6	13,4	—			

Примечание. О — олигосапробы, β-п — бета-мезосапробы, α-п — альфа-мезосапробы, р — полисапробы.

денцию к увеличению во все сезоны года (хотя степень положительной реакции разных групп водорослей на повышение температуры неодинакова в разные сезоны).

Среднегодовой подогрев воды на 3,2° приводит к увеличению среднегодовой численности фитопланктона на 34%, биомассы — на 50%. Увеличение численности и биомассы (в каждый конкретный сезон) происходит за счет усиленного развития общих с контролем видов и за счет развития форм, не развивающихся в данный период в необогреваемой части.

Ранневесеннее состояние фитопланктона обогреваемой части водохранилища в феврале, летняя картина в апреле (как по составу групп, так и по количественному развитию большинства их), высокий уровень развития в октябре (иногда превышающий летний) дают основание сделать заключение, что под влиянием обогрева происходит удлинение сроков вегетации большей части водорослей в среднем на два месяца.

Однако, несмотря на удлинение вегетационного периода и значительное повышение количественного развития водорослей под влиянием обогрева, общий продукционный уровень фитопланктона Кураховского водохранилища находится в пределах колебаний такового эвтрофных русловых водохранилищ данной географической зоны.

Среднегодовой подогрев воды такого водохранилища на 3,2° не приводит к ухудшению условий развития в нем фитопланктона и к заметному изменению санитарного состояния. Однако есть основание предполагать, что более сильный подогрев может привести к значительному вторичному загрязнению водоема.

А б р е м с к а я С. И. Сравнительная гидрохимическая характеристика водоемов-охладителей ГРЭС Украины.— Гидробиол. журн., 5, 1, 1969.

Г р и н ь В. Г., В и н о г р а д с к а я Т. А. Перегретые воды тепловых электростанций как фактор формирования фитопланктона в водоемах-охладителях. «Наукова думка», К., 1968.

Г у р е в и ч Ф. А., Х р и с т е н к о Н. Г. О взаимоотношениях между синезелеными, зелеными водорослями и другими гидробионтами.— Изв. Сиб. отд. АН СССР, 12, сер. биол.-мед. наук, вып. 3, 1965.

Ж у п а н е н к о Р. П. О фитопланктоне Краснооскольского водохранилища в годы его становления.— Гидробиол. журн., 2, 3, 1966.

Ж у р к и н а В. В. Планктон Сучанского водохранилища и первые опыты по биологическим мерам борьбы с «цветением» водоемов в Приморском крае.— В кн.: Сообщ. Дальневосточного филиала Сиб. отд. АН СССР, 17, 1963.

К о н д р а т ю к В. Г. Влияние сброса подогретых вод тепловых электростанций на реки.— В кн.: Материалы XIV конференции по изучению внутренних водоемов Прибалтики, т. 2. Рига, 1968.

Л и т в и н о в а М. А. Сезонная динамика фитопланктона основных заливов Кременчугского водохранилища.— Гидробиол. журн., 3, 4, 1967.

П и д г а й к о М. Л., Г р и н ь В. Г., П о л и в а н н а я М. Ф., В и н о г р а д с к а я Т. А., С е р г е е в а О. А., П е т р у к Г. Ф., Б а б к о М. Н. Гидробиологический режим водоемов-охладителей тепловых электростанций Украины.— Гидробиол. журн., 3, 5, 1967.

П р о ш к и н а - Л а в р е н к о А. І. До питання про альгофлору степових річок як елемент степового ландшафту.— Вісн. Київськ. бот. саду, вип. 14, 1932.

П р о ш к и н а - Л а в р е н к о А. И. Экологический очерк водорослей водоемов левобережных террас долины реки Сев. Донец.— В кн.: Споровые растения, вып. 9. М.— Л., 1954.

Р а д з и м о в с ь к и й Д. О. Ставки лісостепових, степових та гірських районів України. «Наукова думка», К., 1965.

С в и р е н к о Д. О. Микрофлора стоячих водоемов, ч. 1. Харьков — Екатеринослав, 1922.

С в и р е н к о Д. О. До питання про гідробіологію степових водойм.— Вісті АН УРСР, 4, 1936.

С т а н г е н б е р г М. Естественные следствия сброса теплых вод в реки.— В кн.: Санитарная и техническая гидробиология. Материалы I съезда ВГБО. «Наука», М., 1967.

Т о п а ч е в с к и й А. В., С и р е н к о Л. А., С а к е в и ч А. И. Роль летучих выделений синезеленых водорослей в формировании биоценозов «цветения».— Гидробиол. журн., 4, 2, 1968.

Унифицированные методы исследования качества вод, разд. 3, ч. 6. СЭВ, М., 1966.

Унифицированные методы исследования качества вод, разд. 2, ч. 4. СЭВ, М., 1966.

Ч е р н и ц к а я Л. Н. Фитопланктон каналов юга СССР.— В кн.: Каналы СССР. «Наукова думка», К., 1968.

Ш и м а н с к и й Б. А. Развитие синезеленых водорослей в водохранилищах-охладителях тепловых электростанций и меры борьбы с ними.— В кн.: Экология и физиология синезеленых водорослей «Наука». М.— Л., 1965.

Ш и м а н с к и й Б. А. Биологические помехи в эксплуатации систем технического водоснабжения тепловых электростанций и методы борьбы с ними.— Гидробиол. журн., 4, 2, 1968.

А р р о у ч а у х М. Effects de la température de l'eau sur la faune et la flore aquatiques: — L'eau, 52, 7, 1965.



Warinner I. E., Brehmer M. U. The effects of thermal effluents on marine organisms.— Air and Water Pollution, 10, 4, 1966.

Wurtz Ch. B. The effects of heated discharges on aquatic life and water use.— Paper. Amer. Soc. Mech. Engrs, № Wa-142, 1961.

## ДОННАЯ АЛЬГОФЛОРА ВОДОЕМОВ — ОХЛАДИТЕЛЕЙ ГРЭС УКРАИНЫ

В. Г. ГРИНЬ

Повышение температуры воды в водоемах-охладителях Украины в результате работы ГРЭС приводит к значительным изменениям условий существования водных организмов. Изучение влияния перегретых вод на развитие донных фитоценозов имеет большое значение, так как роль их в общей биопродуктивности довольно велика. Однако данных о развитии бентических комплексов водорослей под влиянием обогрева в отечественной и зарубежной литературе нами не обнаружено.

Видовое богатство, количественное развитие фитомикробентоса определяется не только сезонностью отдельных видов, но и гидрологическими условиями водоема. Основное внимание при изучении фитомикробентоса было направлено на определение его удельного веса в производительности водоема, на выяснение флористических группировок в участках водохранилища, отличающихся по температурному режиму, освещению, составу донных отложений, зарастанию водной растительностью, загрязнению органическими веществами.

Для характеристики фитомикробентоса послужили качественные и количественные сборы материала, собранные в водоемах тепловых электростанций Украины, расположенных на территории Криворожско-Донецкого бассейна. Для них характерен оборотный тип водоснабжения. Исследованные водоемы — Кураховское и Зуевское — относятся к проточным, образованным в результате зарегулирования стока небольших рек, Змиевский Лиман — к непроточным — замкнутому водоему озерно-прудового типа.

Материал собирался на постоянных станциях наблюдения с расчетом изучения водорослей в участках, подвергающихся наибольшему и наименьшему подогреву. Одновременно отбор проб производился в водоемах и участках, не подверженных влиянию обогрева. Эти данные служили контролем. Количественные пробы фитомикробентоса в прибрежной зоне (до 3 м) отбирались трубкой на разборном шесте (Владимирова, 1961). Подсчет организмов производился в камере Ножжота объемом



0,01 см<sup>3</sup>. Численность и биомассу водорослей пересчитывали на 10 см<sup>2</sup> поверхности грунта.

Исследования проводились с 1965 по 1968 г. в одни и те же сроки зимой в феврале, весной в апреле, летом в июле, осенью в октябре. Однако не все водоемы-охладители были изучены одинаково. Наиболее полно изучено Кураховское водохранилище. Объем исследований на других водоемах был меньшим. Иногда не делали зимних съемок. Всего было собрано и обработано 444 пробы.

В зависимости от тепловой нагрузки изученные водоемы-охладители можно разделить на группы — с минимальным, умеренным и сильным обогревом (см. статью М. Л. Пидгайко в настоящем сборнике, стр. 19). Характеристика результатов стационарных наблюдений по сезонной динамике фитомикробентоса в водоемах-охладителях в исследуемые годы дается нами отдельно по водоемам.

#### ФИТОМИКРОБЕНТОС КУРАХОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО ПОДОГРЕВА

Водоем — охладитель Кураховской ГРЭС является техническим водохранилищем Донбасса, созданным на р. Волчья (бассейн Днепра). После постройки электростанции водоем был разделен дамбой на два участка: верхний — Ильинский с естественным режимом и нижний — Терновский, находящийся под влиянием сброса нагретых циркуляционных вод ГРЭС. Ильинский водоем является контрольным. Максимальная температура воды летом в нем достигала 23—25° С. Воды Терновского участка используются для охлаждения турбин электростанции. В летний период температура воды в этой части водоема поднимается до 26—32°. Неравномерный обогрев воды позволил проследить развитие водорослей как по участкам водоема, отличающихся по температуре воды, так и сравнить их развитие с развитием фитомикробентоса естественного водоема.

Донные отложения в прибрежной части водохранилища состоят в основном из темных илов с примесью песка и глины.

Водная растительность в водохранилище развивается вдоль берегов. Представлена она сообществом тростника, камыша и рогоза узколистного. Полупогруженная растительность составляет полосу зарослей шириной 2—4 м. Максимального развития достигают растения в центральном районе Терновского участка и в верховье Ильинской части водохранилища. Из погруженной растительности наиболее распространены сообщества рдеста пронзенолистного и гребенчатого, вегетация которых ограничена в основном прибрежной зоной водоема. В обогреваемом участке водоема уже со второй половины марта погружен-

ные водные растения покрывают значительную площадь водоема, в то время как в Ильинском участке растительность почти отсутствует. Максимальное развитие макрофитов в обогреваемом участке отмечается в июне — июле, их вегетация продолжается здесь до конца ноября, в необогреваемом — большая часть растений прекращает вегетировать к середине октября.

Т а б л и ц а 1

Динамика группового состава фитомикробентоса Кураховского водохранилища в 1965—1968 гг.

Группа водорослей	Терновский участок		Ильинский участок		Общее количество видов
	количество видов	%	количество видов	%	
Cyanophyta	26	11,4	12	7,6	28
Chrysophyta	1	0,4	3	1,5	3
Bacillariophyta	128	55,6	105	61,5	148
Pyrrhophyta	2	0,9	1	0,5	2
Euglenophyta	10	4,4	7	4,1	11
Chlorophyta					
Volvocineae	4	1,7	2	1,0	5
Protococcineae	53	23,3	39	22,8	61
Ulotrichineae	2	0,9	1	0,5	2
Desmidiaceae	3	1,4	1	0,5	3
Всего	229	100	171	100	263

Наблюдения за динамикой видового состава и количественного развития фитобентоса проводились в Терновском участке: в районе наибольшего обогрева ниже сбросного канала (ст. 3) и у насосной станции, в центральном участке, в зоне минимального обогрева (ст. 6), в Ильинском участке водохранилища — у насыпи дамбы (ст. 2) и в центре водоема. Пробы отбирались с глубины 0,5—3 м.

За период наших наблюдений в 1965—1968 гг. в фитомикробентосе Кураховского водоема-охладителя обнаружено 263 формы водорослей (табл. 1). По флористическому разнообразию первое место принадлежит диатомовым — 148 видов, разновидностей и форм (57,7%) от общего числа водорослей, зеленые занимают второе место — 71 вид, разновидность и форма. В их состав входят вольвоксовые (5 видов), улотриксые (2 вида), десмидиевые (3 вида), протококковые (61 вид). Последние составляют 23,9% всех водорослей. За ними идут синезеленые — 28 видов, разновидностей и форм (10,8%). Остальные типы водорослей представлены бедно: евгленовые — 11 видов, хризифитовые — 3, пирифитовые — 2, желтозеленые — 1 вид. Распреде-

ние бентических водорослей в участках, отличающихся по обогреву воды, неравномерно.

Руководящую роль в комплексе донных водорослей играют диатомовые. В обогреваемом участке они составляют 86%, в не обогреваемом — 70% общего количества диатомей. Синезеленые летне-осенний период из-за массового развития ряда видов рода *Oscillatoria* занимают господствующее положение в бентосе в количественном отношении. Из группы зеленых водорослей выделяется подкласс *Protococcineae*. Подогрев воды стимулировал развитие всей группы водорослей. В обогреваемом участке обнаружено в два раза больше организмов, вегетирующих круглогодично и на протяжении трех сезонов. Влияние подогрева на увеличение видового разнообразия протококковых особенно ощущается в зимне-весенний период. Таким образом, количество видов в участке, находящемся под влиянием круглогодичного обогрева, кроме летнего периода, увеличивается. В состав фитомикробентоса Терновского участка входит 229 видов, в состав Ильинского — 171 вид, разновидность и форма. Коэффициент общности видового фитомикробентоса в исследуемых водоемах составляет 51%. При значительном сходстве видового состава фитобентоса структура его фитомикробентических комплексов несколько отличалась. Количество руководящих видов в Ильинском участке в 2—3 раза было меньшим. Состав воды в водоеме как в обогреваемом, так и в необогреваемом участке на протяжении исследования, по данным С. И. Абремской (1969), характеризовался высокой минерализацией (2274—3677 мг/л) с максимумом в осенний период. Жесткость воды изменялась в пределах 15,4—27,5 мг-экв/л. По минерализации и жесткости воды обогреваемый и контрольный участки отличались незначительно.

Диатомовые водоросли являются хорошими индикаторами условий среды. По отношению к содержанию солей их можно разделить на ряд групп в соответствии с классификацией Кольбе (1927), уточненной для условий СССР А. И. Прошкиной-Лавренко (1953). Повышенная концентрация солей в воде способствует развитию в Кураховском водохранилище двух экологических групп водорослей: олигогалобов и мезогалобов. Количество галофильных и мезогалобных форм в исследуемых участках водоема не отличалось. Основной комплекс солоноватоводных организмов состоит из следующих форм: *Amphora ovalis* Kütz., *Coscinodiscus lacustris* Grun., *Diatoma elongatum* (Lyngh.) Ag., *Navicula cryptocephala* Kütz., *Nitzschia palea* (Kütz.) K. Sm., *Rhizosphaeria curvata* (Kütz.) Grun., *Surirella robusta* Ehr. Кроме диатомовых в бентосе вегетировали представители галофилов из синезеленых. Сюда относятся

Таблица 2

Динамика численности и биомассы ведущих групп фитомикробентоса Кураховского водохранилища по сезонам (в среднем за период исследования),  $\frac{\text{млн} \cdot \text{кл}}{\text{мг}} \cdot \text{на } 10 \text{ см}^2$

Группа организмов	Февраль			Апрель			Июль			Октябрь		
	Ст.2	Ст. 3	Ст. 6	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 6	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 6	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 6
Суанophyta	2,3	4,8	2,0	1,6	15,0	11,8	7,3	102,6	34,8	190,3	199,7	318,4
Bacillariophyta	1,0	4,3	0,2	0,4	9,0	1,0	5,3	134,0	10,0	60,6	249,8	25,3
	1,4	14,3	0,8	2,6	18,3	2,4	1,2	2,4	2,4	5,3	13,1	4,6
Protococcineae	10,8	43,4	5,6	22,5	23,3	10,3	13,0	18,0	36,5	18,1	45,3	33,3
	0,8	1,2	0,6	0,8	5,1	1,8	0,8	0,9	1,4	0,8	1,3	1,3
Всего	0,3	0,1	0,09	0,2	0,6	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,5	0,3
	5,2	22,0	4,1	6,2	57,4	17,5	9,9	106,6	39,6	196,7	215,0	325,1
	11,5	48,1	6,0	23,7	33,9	11,8	18,6	152,3	47,3	78,9	296,2	59,0

*Gloeocapsa turgida* (Kütz.) Hollerb. emend., *Oscillatoria tenuis* Ag., *Oscillatoria chalybaea* (Mert.) Gom., *Spirulina major* Kütz. Они составляли 18% общего количества синезеленых водорослей.

Разные температурные условия в различных участках водоема приводят к тому, что сезонный ход количественного развития фитомикробентоса в них протекает по-разному. Данные по количественному развитию по ведущим группам в Кураховском водохранилище представлены в табл. 2.

Наблюдения в зимний период (февраль) показали, что температура воды в Ильинском участке не превышала 0,5°, в Терновском она была различной в разных частях водоема: ниже устья сбросного канала (ст. 3) — 6—9°, в центре, у насосной станции (ст. 6), — 0,3—0,5°, в сбросном канале — 12—14°. Следовательно, лишь обогреваемая зона водоема не замерзала, тогда как центральная часть Терновского и весь Ильинский участок покрывались льдом на протяжении 3—4 м. Толщина льда в феврале достигала 50—70 см. В годы наблюдений снежный покров достигал 40—50 см. Основной фон зимнего фитомикробентоса создают диатомовые. Они составляли 84,5% всей биомассы в обогреваемом участке и 93% — в необогреваемом. Преобладаю-



шими видами в этот период были *Coscinodiscus lacustris* Grun., *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Ag., *Navicula cryptocephala* Kütz., *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm.

Ниже сбросного канала в участке водоема с умеренным обогревом зимой развивались не только типичные обитатели дна, но и формы, обнаруженные в планктоне, обрастаниях, отсутствующие или единично представленные в центре Терновского и Ильинского участков водохранилища. Отрываясь от субстрата водоросли в виде пленок поднимались в верхние горизонты и сносились из циркуляционного канала течением в водоем. Наибольшую численность составляли *Cymbella ventricosa* Kütz., *Gomphonema olivaceum* (Lyngb.) Kütz., *Rhoicosphaenia curvata* (Kütz.) Grun., *Cladophora glomerata*, *Oedogonium* sp. Температура и отсутствие льда стимулировали темп деления водорослей на дне. Если в необогреваемом участке фитомикробентос в феврале был представлен 40—45 видами, разновидностями и формами, то в обогреваемом их количество возросло до 80—85.

Сравнивая видовой состав и численность водорослей, найденных в планктоне и бентосе в зимний период, мы отмечали увеличение численности бентических организмов по сравнению с фитопланктоном. Так, в Терновском участке в районе максимального обогрева (ст. 3) численность водорослей на дне доходила до 168 млн. кл/л (1966 г.) — 378 млн. кл/л (1967 г.), тогда как в планктоне (по данным Т. А. Виноградской, см. статью в настоящем сборнике) она не превышала 1—6 млн. кл/л. Такое развитие донной альгофлоры еще раз подтверждает данные многих авторов о том, что вегетация водорослей происходит в основном на дне (Гусева, 1947; Горюнова, Насонова, 1955; Кондратьева, 1959; Владимирова, 1958, 1964, 1968). Искусственный подогрев воды, возможно, способствует в зимний период более раннему подъему покоящихся клеток водорослей из ила и началу более быстрого деления их у поверхности, в то время как осенью оседание их на дно несколько затягивается. Под влиянием обогрева численность синезеленых увеличилась за счет *Gomphosphaeria lacustris* Chod., *Oscillatoria okenii* Ag., *Merismopedia glauca* (Ehr.) Näg. В период исследования их биомасса в феврале составляла 3,1—6,0 мг на 10 см<sup>2</sup>, в обогреваемом участке — 2,2 мг на 10 см<sup>2</sup>. Доминирующим видом в течение всего исследования зимой здесь был *Gomphosphaeria lacustris* Chod. Подогрев воды способствует повышению видового разнообразия и численности протококковых водорослей. Наиболее массовыми формами в Терновской части водоема были *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Gréb., *Westella botryoides* (W. West.) Wild., *Crucigenia quadrata* Mørgen, *Oocystis borgei* Snow. В необогреваемой части большого развития достигали виды *Westella botryoides* (W. West.) Wild., *Cruci-*



*genia quadrata* M o r r e n. В исследуемый период среднегодовая биомасса фитомикробентоса зимой в прибрежной зоне (на глубине 0,5—2,5 м) составляла в обогреваемом участке 48,1 мг на 10 см<sup>2</sup>, в центре водоема — 6,0 мг, в необогреваемом — 11,5 мг на 10 см<sup>2</sup>. Увеличение биомассы бентического комплекса под влиянием обогрева (ст. 3) происходило в основном за счет вегетации диатомовых водорослей. Она была выше биомассы Ильинского участка и в 4—8 раз выше биомассы центрального участка. Данные по биомассе донных водорослей различных систематических групп в феврале 1967 приведены на рис. 1.

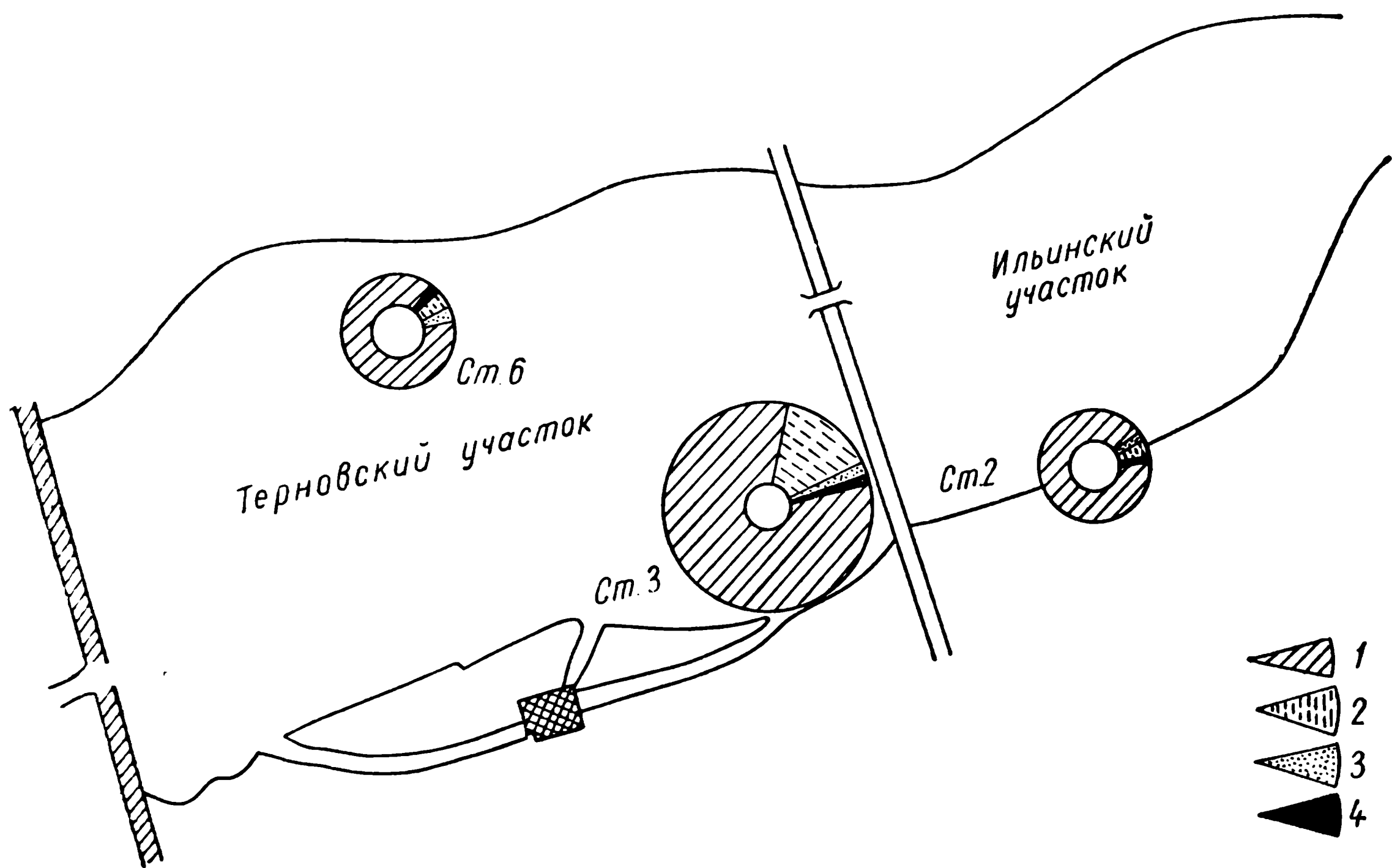


Рис. 1. Распределение биомассы фитомикробентоса Кураховского водохранилища по участкам (биомасса выражена через площадь круга):  
1 — диатомовые; 2 — синезеленые; 3 — протококковые; 4 — другие водоросли.

В апреле в Терновском участке в связи с прогреванием воды до 16° (ст. 3) и 11—13° (ст. 6), 19° в сбросном канале и в Ильинском участке до 12° отмечается повышение интенсивности развития донных водорослей. Качественный состав фитобентоса в Терновском участке в этот период наиболее разнообразен (77—75 видов, разновидностей и форм), в Ильинском несколько меньше — 45—48. Диатомовые и протококковые водоросли достигают максимума для своего годовичного цикла развития. По количеству клеток преобладали протококковые (до 5 млн. на 10 см<sup>2</sup>), но ввиду небольших размеров они составляли всего 0,3—0,6 мг на 10 см<sup>2</sup>, т. е. 2—3% общей биомассы. Доминантами были *Dictyosphaerium pulchellum* W o o d., *Crucigenia quadrata* M o r r e n, *Scenedesmus quadricauda* (T u r p.) B r e b.,

*Westella botryoides* (W. West.) Wild. В весенние месяцы биомасса диатомовых составляла в обогреваемом участке 70—75%, в центральном и необогреваемом — до 95% всей биомассы. В руководящий комплекс входили *Coscinodiscus lacustris* Grun., *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Ag., *Navicula cryptocephala* Kütz. В обогреваемом участке их численность изменялась в пределах 2,5—18,3 млн. клеток, в необогреваемом — 1,3—5,3 млн. клеток на 10 см<sup>2</sup>.

В Ильинском участке в отличие от Терновского в большом количестве вегетировали также *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh., *Amphora ovalis* Kütz. В обогреваемом участке на иле и песке диатомовые совместно с синезелеными, в основном с некоторыми представителями рода *Oscillatoria*, образуют пленку. В результате усиленного фотосинтеза водорослей эта пленка покрывается пузырьками воздуха и при незначительном волнении разрывается и всплывает на поверхность. В виде «плюшек» они разносятся благодаря течению по всему водоему. Синезеленые ниже сбросного канала в апреле составляли до 20—21% всей биомассы (4,1—13,4 мг на 10 см<sup>2</sup>). В необогреваемом водоеме ведущей формой была *Gomphosphaeria lacustris* Chod.

Водоросли из группы *Oscillatoria* здесь вегетировали в очень небольшом количестве. Весной в результате обогрева увеличилось значение в бентосе желтозеленых и евгленовых. Создались благоприятные условия для развития биоценоза фитообращений на откосах канала. Наряду с перифитонными формами *Cymbella ventricosa* Kütz., *Fragilaria capucina* Desm., *Diatoma vulgare* Bory, *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. на откосах развивались типичные бентосные формы — *Navicula cryptocephala* Kütz., *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Sm., *Nitzschia fonticola* Grun., *Amphora ovalis* Kütz., *Cymatopleura solea* (Breb.) W. Sm., *Oscillatoria geminata* (Menegh.) Gom.

Наиболее разнообразный состав бентических и эпифитных водорослей обнаружен в зарослях водной растительности, которая состоит из *Potamogeton perfoliatus*, *P. crispus*, и на нитчатых зеленых водорослях. Наиболее часто на стеблях поселяются из диатомовых *Cocconeis placentula* Ehr., *Navicula rhynchocephala* Kütz., *Cymbella lanceolata* (Ehr.) V. H., *Epithemia zebra* (Ehr.) Kütz., *Gomphonema acuminatum* Ehr., из синезеленых *Lyngbya Kuetzingii* (Kütz.) Schmidle, *Phormidium favosum* (Bory) Gom., из протококковых *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., *Scenedesmus acuminatus* (Lagerh.) Chod., *Coelastrum microporum* Naeg., *Pediastrum duplex* Meyen.

В среднем за период исследования биомасса фитомикробентоса за весенний период составляла в обогреваемом участке 33,9 мг на 10 см<sup>2</sup>, в центре — 11,8 мг и в необогреваемом участке — 23,7 мг на 10 см<sup>2</sup>. Численность в обогреваемом участке

превышала численность в необогреваемом в 8—9 раз (57,4—6,2 млн. клеток на  $10\text{ см}^2$ ). Несоответствие численности и биомассы наблюдалось благодаря значительному развитию сине-зеленых водорослей, клетки которых меньше диатомовых по объему. Данные биомассы по отдельным группам водорослей и участкам водоема в апреле 1967 г. приведены на рис. 2. Неравномерное распределение водорослей по дну наблюдалось и в летний период (июль — август). В обогреваемой части водоема

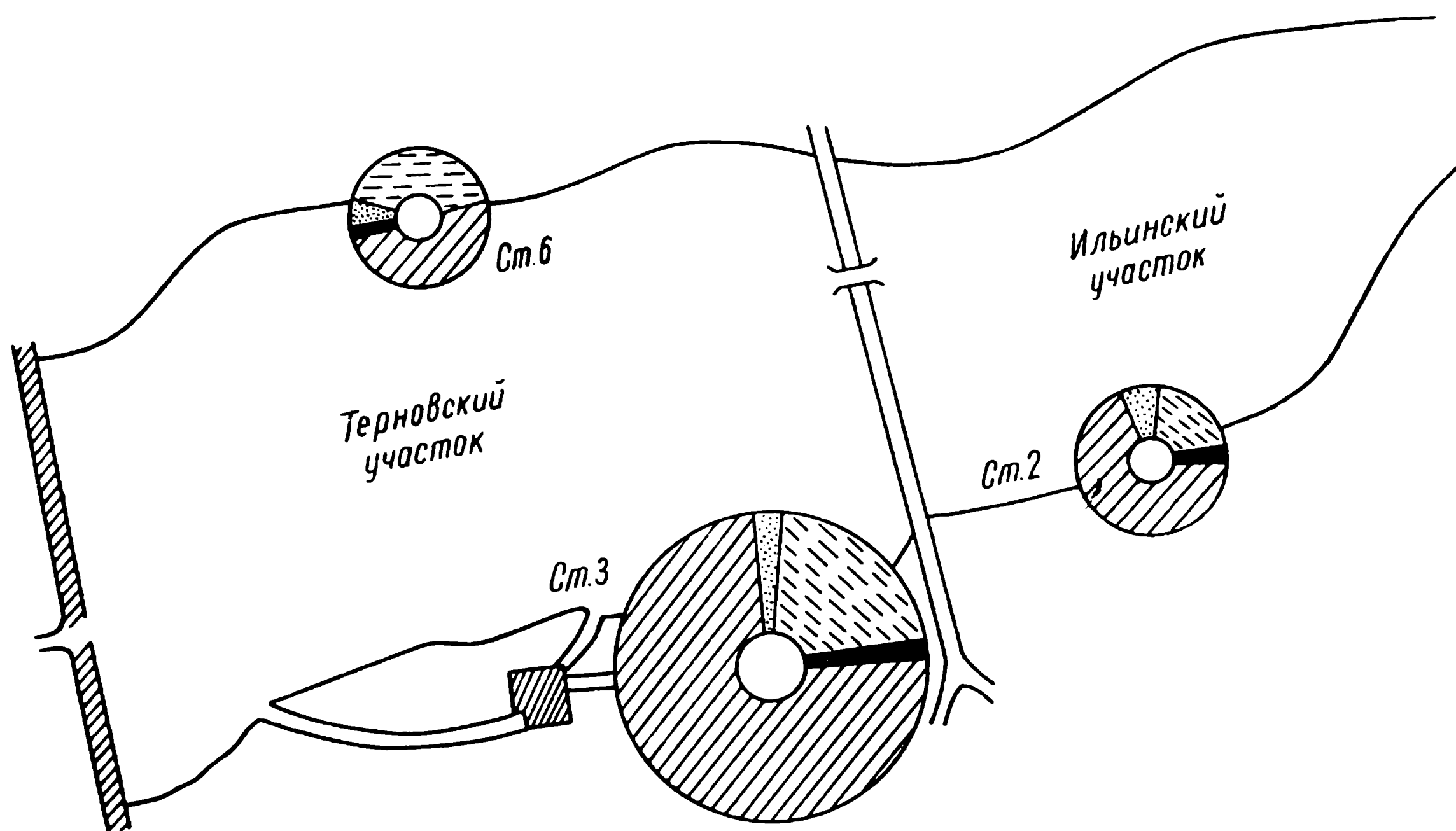


Рис. 2. Распределение биомассы фитомикробентоса Кураховского водохранилища по участкам в апреле 1967 г. Обозначения такие же, как на рис. 1.

температура воды достигала  $26\text{--}29^\circ$ , в центре обогреваемого участка —  $24\text{--}25^\circ$ , в сбросном канале —  $33\text{--}34^\circ$ . В Ильинском участке температура воды не превышала  $25^\circ$ . Под влиянием значительного обогрева в фитомикробентосе Терновского участка наблюдалось снижение флористического состава, численности и биомассы диатомовых, протококковых и массовое развитие синезеленых водорослей. Увеличение биомассы синезеленых шло в основном за счет представителей из группы *Oscillatoria* (*Osc. okenii* A g., *Osc. formosa* B o r y, *Osc. geminata* (M e n e g h.) G o m., *Osc. amphibia* A g., *Osc. proboscidea* G o m.). Их биомасса повышалась до  $134\text{ мг}$  на  $10\text{ см}^2$ , составляя  $87\%$  всей биомассы. Удельный вес диатомовых в участке с умеренным обогревом (ст. 3) начиная с весны снизился до  $18\text{ мг}$  на  $10\text{ см}^2$ , что составляло  $11,5\%$  всей биомассы. В Ильинском участке и в центре Терновского (ст. 6) в исследуемые годы летом первое место по биомассе продолжали занимать диатомеи. Они составляли соответственно  $13,0$  и  $36,5\text{ мг}$  на  $10\text{ см}^2$ , или  $70\text{--}77\%$  об-

шей биомассы. Доминировал в обоих участках *Coscinodiscus lacustris* Gr ün.

В необогреваемом участке также в значительном количестве вегетировали *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Ag., *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh. По абсолютной величине биомасса диатомовых в обогреваемом и необогреваемом участках почти не отличалась (18—13 мг на 10 см<sup>2</sup>), но в то же время в процентном отношении от общей биомассы это различие было

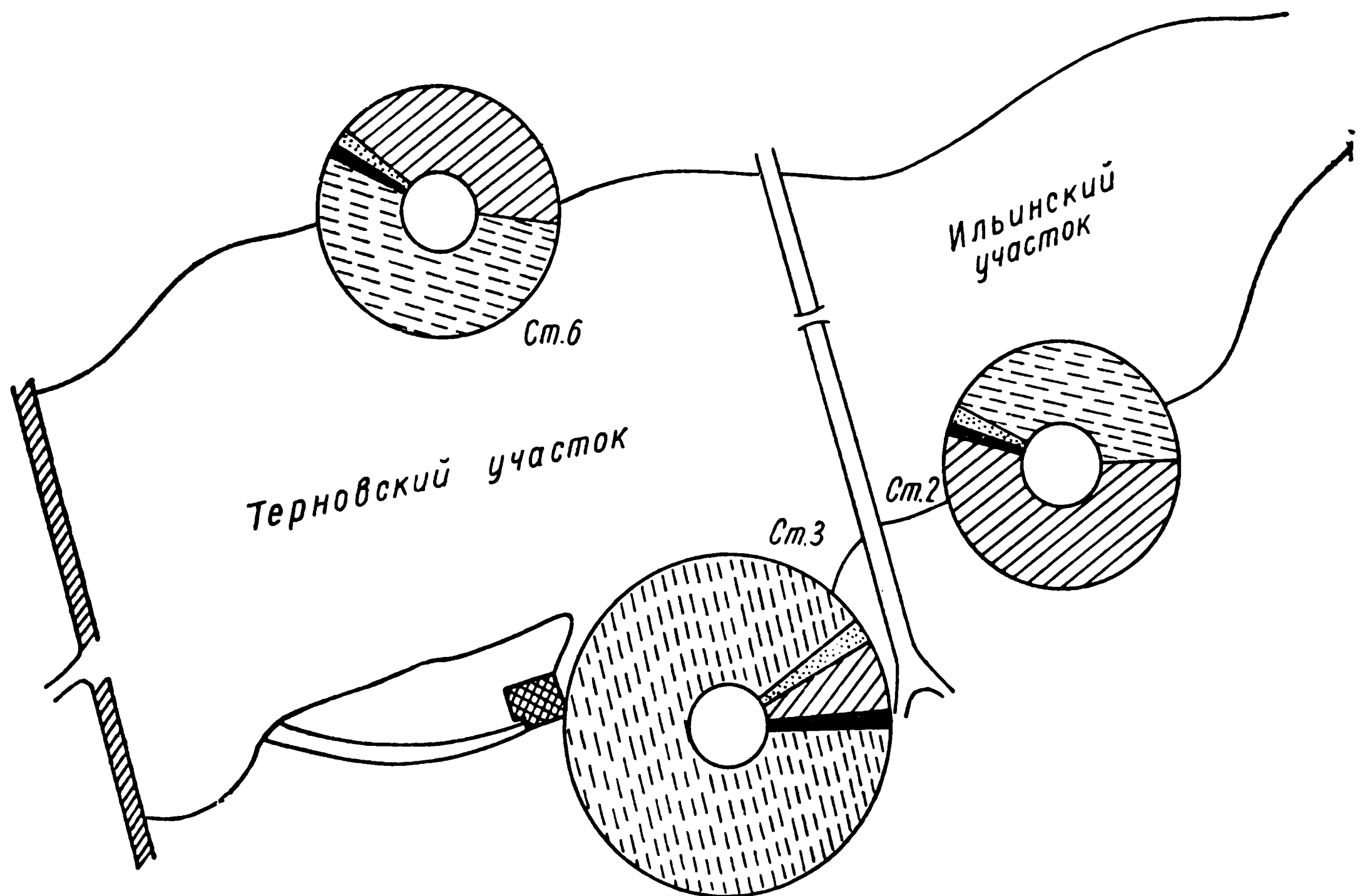


Рис. 3. Распределение биомассы фитомикробентоса Кураховского водохранилища по участкам в июле 1968 г. Обозначения такие же, как на рис. 1.

значительным — 10 и 84% (рис. 3). Повышение температуры до 29° отрицательно сказалось и на развитии протококковых. В необогреваемом участке они в летний период составляли свой годовой максимум развития (0,8—0,9 млн. клеток на 10 см<sup>2</sup>). Наиболее массовыми были *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., *Crucigenia quadrata* Mörren, *Oocystis submarina* Lagerh.

В октябре снижение температуры воды в Терновском участке ниже сбросного канала до 16—19°, в центре водоема — до 8—15° способствовало восстановлению видового состава и численности донных водорослей. В бентическом комплексе продолжали доминировать эвритермные формы из синезеленых водорослей, сходные с летними видами. Ниже сбросного канала их биомасса доходила до 200 мг на 10 см<sup>2</sup>, или составляла 80% всей биомассы (рис. 4). Особенно повысилась роль синезеленых

осенью в Ильинском участке, где они составляли 90% всей биомассы (60,6 мг на 10 см<sup>2</sup>). Здесь доминировали представители рода *Oscillatoria*, а круглогодичная форма *Gomphosphaeria lacustris* в это время достигала пика своего годового развития (140 (ст. 2) — 422 (ст. 6) млн. клеток на 10 см<sup>2</sup>).

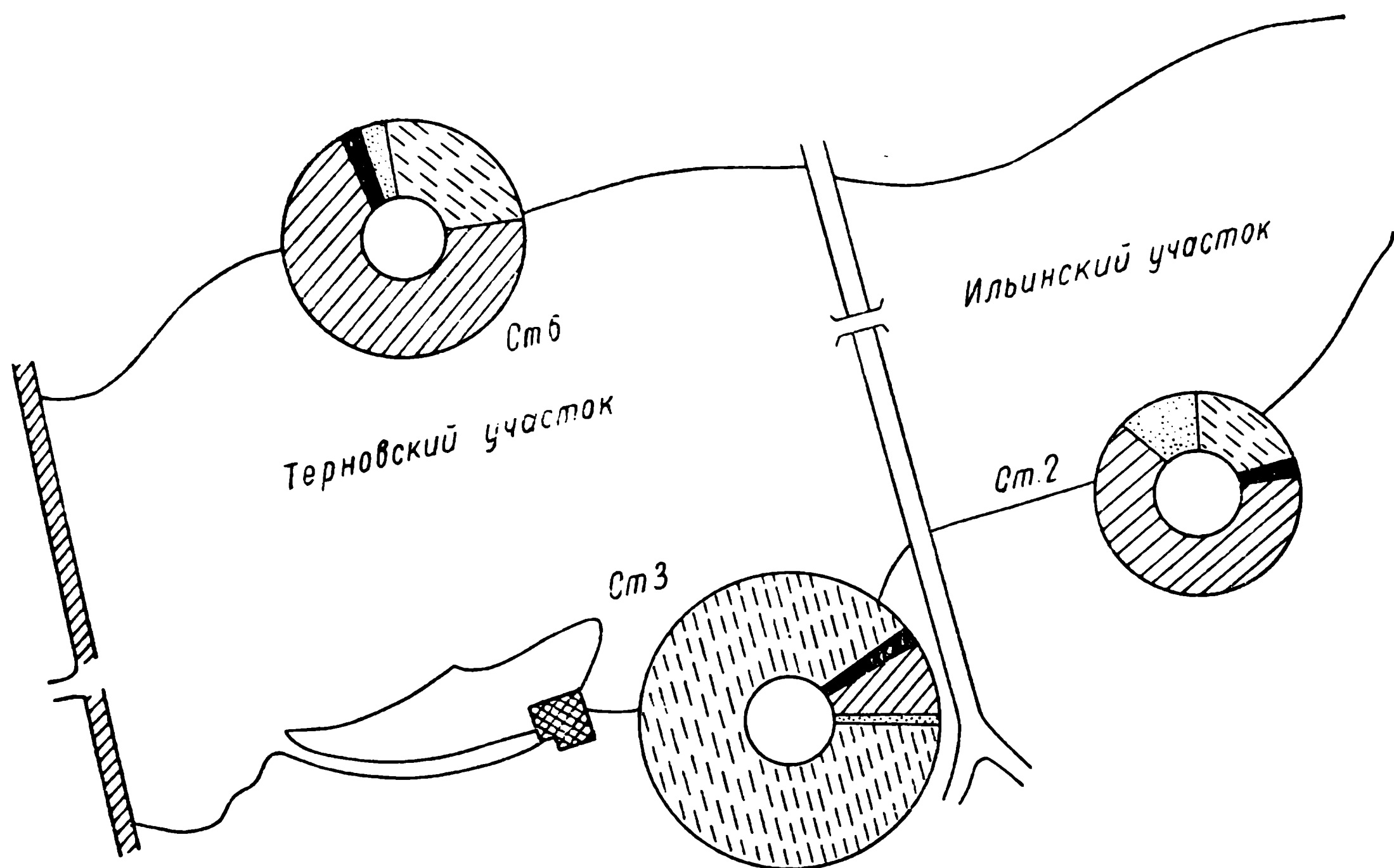


Рис. 4. Распределение биомассы фитомикробентоса Кураховского водохранилища по участкам в октябре 1967 г. Обозначения такие же, как на рис. 1.

В обогреваемом участке биомасса диатомовых увеличилась в 2 раза и составляла 45,3 мг на 10 см<sup>2</sup>. Массового развития в этот период достигали *Coscinodiscus lacustris*, *Amphora ovalis* Kütz., *Navicula cryptocephala* Kütz. Продукция протококковых осенью также увеличилась в основном за счет резкого повышения численности *Westella botryoides* Wild.

Следовательно, при сопоставлении годичного цикла развития фитомикробентоса в водоеме — охладителе Кураховской ГРЭС в результате круглогодичного подогрева сбросными теплыми водами заметно увеличение видового состава, количественного развития донных ценозов водорослей. В обогреваемой части водохранилища в связи с неодинаковыми температурными условиями выделяются районы с минимальным (ст. 6) и умеренным (ст. 3) обогревом. Внутригодовое распределение донных водорослей под влиянием круглогодичного обогрева изменяется. Максимум развития протококковых водорослей смещается на весенний период, тогда как в необогреваемом участке он приходится на лето. Круглогодичный подогрев воды способствует массовому развитию на дне водоема синезеленых водорослей из группы *Oscillatoria* с ранне-весеннего периода. На основа-



нии количественного учета в районе водоема с умеренным обогревом биомасса фитомикробентоса превосходила таковую в не-обогреваемом в 4—5 раз. Качественный и количественный анализ фитомикробентоса по системе Зелинки и Марвана (1966) по сезонам показал, что наиболее высокие показатели сапробности во все сезоны имели бета-мезосапробные организмы фитомикробентоса.

### ФИТОМИКРОБЕНТОС ЗМИЕВСКОГО ЛИМАНА ЗМИЕВСКОЙ ГРЭС И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО ПОДОГРЕВА

Змиевский Лиман — водоем — охладитель Змиевской ГРЭС расположен в пойме р. Сев. Донец. Его площадь 12,5 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 5 м. Грунт илистый, под ним залегает мелкозернистый песок. Водоем используется как непроточный водоем-охладитель с 1961 г. После сооружения Змиевской ГРЭС на озере проведен ряд мелиоративных мероприятий: углубление дна с удалением иловых отложений, выкашивание и уничтожение гербицидами высшей водной растительности. Увеличение мощности ГРЭС способствовало повышению среднегодовой температуры водоема в 1966 г. до 19°. По степени обогрева водоем относится к умеренно нагреваемым.

Фитомикробентос изучался в апреле, июле и октябре 1966 г. Забор проб производился в участке водоема ниже сбросного канала (максимальный обогрев), в центре, в районе поступления воды из р. Сев. Донец и у насосной станции (минимальный обогрев). Исследования проводились в прибрежной зоне до глубины 2,5 м. За период исследования в фитомикробентосе Змиевского Лимана выявлено 189 видов, разновидностей и форм водорослей. Сезонный ход развития их в участках, различающихся по температурным условиям, имеет свои особенности. Доминирующими группами в водоеме были диатомовые, сине-зеленые, протококковые и евгленовые. Руководящий комплекс донных водорослей состоит из следующих форм: *Oscillatoria tenuis* A g., *Osc. simplicissima* G o m., *Anabaena Hassalii* (K ü t z.) W i t t r., *Gomphosphaeria lacustris* Ch o d., *Melosira granulata* (E h r.) R a l f., *Cyclotella Meneghiniana* K ü t z., *Pediastrum boryanum* (T u r p.) M e n e g h. В связи с неоднородными гидрологическими условиями на исследуемых участках видовое разнообразие и количественное развитие фитомикробентоса также изменяется. На участке с минимальным обогревом температура воды у дна достигала в апреле 12°, в июле 26°, в октябре 15°. В районе максимального обогрева температура повышалась до 16° в апреле, до 29° в июле, до 18° в октябре. Количественное развитие основных систематических групп фитомикробентоса по сезонам приведено в табл. 3.

Доминирующую роль донного населения в апреле 1966 г. определяли диатомовые водоросли. Под влиянием увеличения температуры воды ниже сбросного канала до 15—16° численность и биомасса фитомикробентоса по сравнению с необогреваемым участком повысилась в 3 раза. Изменялся и комплекс ведущих видов. В участке максимального обогрева доминировали

Т а б л и ц а 3

Погрупповое количественное развитие фитомикробентоса  $\left(\frac{\text{млн. клеток}}{\text{мг}} \text{ на } 10 \text{ см}^2\right)$   
по сезонам в водоеме—охладителе Змиевской ГРЭС в 1966 г.

Группа водорослей	Апрель		Июль		Октябрь		В среднем за вегетационный период	
	Минимальный обогрев 12°	Максимальный обогрев 15,5°	Минимальный обогрев 26,5°	Максимальный обогрев 29°	Минимальный обогрев 15,5°	Максимальный обогрев 17°	Минимальный обогрев	Максимальный обогрев
Cyanophyta	1,1	5,6	12,3	1,3	89,2	111,0	31,8	39,3
Bacillariophyta	0,9	1,8	52,0	18,7	144,7	75,4	65,8	10,2
	5,1	17,6	22,6	21,9	10,8	73,7	12,8	37,2
Euglenophyta	6,3	15,7	152,4	108,4	164,2	82,4	107,6	68,8
	0,8	1,7	1,4	0,1	1,5	4,0	1,2	1,9
Protococcineae	1,5	2,4	1,3	0,8	0,9	1,4	1,3	1,5
	2,5	3,8	3,2	0,5	20,1	0,9	8,6	1,7
Всего	0,6	1,7	0,7	0,08	4,6	0,2	1,9	0,6
	9,5	44,9	45,6	26,8	119,6	489,6	54,4	80,6
	9,3	43,5	206,4	131,9	320,4	159,3	176,3	91,1

*Melosira granulata* (Ehr.) Ralfs., *M. granulata* var. *angustissima* (O. Mull.), у насосной станции или в необогреваемом участке — *Amphora ovalis*, *Navicula hungarica* Grun., *Cyclotella Meneghiniana* Kütz. Весной разнообразный видовой состав отмечался среди протококковых, синезеленых и евгленовых. Наиболее обильно вегетировали *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh., *Coelastrum microporum* Naeg., *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., *Oscillatoria tenuis* Ag., *Gomphosphaeria lacustris* Chod., *Merismopedia glauca* (Ehr.) Nag., *Euglena oxyuris* Schmarda, *Trachelomonas volvocina* Ehr. Однако ввиду своих небольших размеров они составляли всего до 15% биомассы.

Летом общая продукция фитомикробентоса по водоему увеличивалась до 148,1 мг на 10 см<sup>2</sup>. Наибольший процент биомассы фитомикробентоса продолжали составлять диатомовые и синезеленые водоросли. Увеличение шло в основном за счет количественного развития донных водорослей в участках, наибо-

лее отдаленных от обогрева циркуляционными водами. Сильно обогреваемый участок характеризовался резким снижением видового состава и биомассы всех систематических групп водорослей. Однако ряд видов, несмотря на повышение температуры воды до 29—30°, вегетировал в значительном количестве. К таким видам относились *Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria planctonica*, *Oscillatoria geminata*, *Oscillatoria simplicissima*, *Melosira granulata*, *Navicula hungarica*, *Amphora ovalis*, *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus quadricauda*. Снижение температуры воды до 15—18° в октябре способствовало восстановлению, особенно в необогреваемых участках, как видового состава, так и количественного развития зеленых растений (протококковых — до 20 млн. клеток, вольвоксовых — 101,5 млн. клеток на 10 см<sup>2</sup>), диатомовых — 73,7 млн. клеток на 10 см<sup>2</sup>. По всему дну водоема увеличилась продукция и синезеленых до 144,7 мг на 10 см<sup>2</sup> у насосной станции и до 75,4 мг на 10 см<sup>2</sup> ниже сброса горячей воды. В осенних пробах для грунтов водохранилища характерно наличие кроме бентических в значительном количестве планктонных осевших форм. Наиболее массовыми были *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., т. е. виды, вызывающие «цветение» в водоеме в летне-осенний период.

Таким образом, в течение вегетационного периода 1966 г. продукция фитомикробентоса, несмотря на значительный обогрев водоема, была довольно высокой. Средневегетационная биомасса в водоеме составляла 133,7 мг на 10 см<sup>2</sup>. Эта величина сходна с умеренно обогреваемым участком (ст. 3) водоема — охладителя Кураховской ГРЭС.

#### ФИТОМИКРОБЕНТОС ВОДОЕМА — ОХЛАДИТЕЛЯ ЗУЕВСКОЙ ГРЭС И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО ПОДОГРЕВА

Зуевское водохранилище, созданное на р. Кринка (бассейн р. Миус), небольшое, его площадь 2,5 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 5 м. Дно песчаное с различной степенью заиления. Большая часть его покрыта слоем темного, жидкого ила, со слабым запахом сероводорода. В связи с тем, что многие десятки лет электростанция работает на отходах каменного угля, на дне водоема происходит накопление сажи и угольного шлака. Для водохранилища характерна значительная мутность воды. В прибрежных участках отмечаются обширные заросли тростника, камыша, рогоза. Сброс циркуляционных вод повышает среднегодовую температуру до 20°С, т. е. она превышает допустимую санитарную норму более чем в 3 раза. Разница в температуре воды в обогреваемом участке водохранилища (ст. 2) и в его вершине, у насосной станции (ст. 4), составляет 9—11°С.

Наблюдения над развитием фитомикробентоса проводились на протяжении 1965—1966 гг. (апрель, июль, октябрь) в прибрежной зоне водохранилища.

За период исследования в бентических пробах найдено 149 видов, разновидностей и форм, из которых наиболее разнообразны диатомовые (65) и протококковые (47), затем идут сине-зеленые (11), евгленовые (11), вольвоксовые (7). Десмидиевые, улотриксковые, золотистые представлены 2—3 формами. Видовое разнообразие определяется в водоеме-охладителе не только сезонностью отдельных видов, но и гидрологическими условиями, в частности температурным режимом. Максимальное количество было найдено весной и осенью, минимум — летом. Снижение видового разнообразия фитомикробентоса особенно отмечается в участке водоема, который подвергается максимальному обогреву на протяжении летне-осеннего периода. В водоеме вегетирует более 50% всего количества видов круглогодично, в результате чего наблюдается сглаживание сезонных изменений в видовом составе. Особенно это заметно среди синезеленых водорослей.

Состав воды на протяжении исследования характеризовался высокой минерализацией — 1800 мг/л (Абремская, 1969). Повышенная концентрация солей в воде способствует развитию в Зуевском водохранилище двух экологических групп водорослей — олигогалобов и мезогалобов. К основному комплексу солоноватоводных организмов относятся из диатомовых *Cyclotella Meneghiniana* Kütz., *Nitzschia hungarica* Grun., *Navicula cryptocephala* Kütz., *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Ag., *Bacillaria paradoxa* Gmelin, *Amphiprora paludosa* W. Sm., из синезеленых *Oscillatoria amphibia* Ag., *Oscillatoria brevis* (Kütz.) Gom., *Oscillatoria tenuis* Ag., *Spirulina major* Kütz. Количественное развитие фитомикробентоса в водохранилище в период исследований было невысоким. В среднем на водоем за два года исследований биомасса достигала 13,8 мг на 10 см<sup>2</sup>. Сезонные изменения численности и биомассы основных систематических групп и доминирующих видов в исследуемые годы в основном были сходны.

Весной (апрель) температура воды колебалась в водоеме от 17,5 до 22,5°, т. е. она соответствует ранне-летней температуре воды в водоемах с естественным обогревом. По видовому разнообразию и биомассе основную часть составляли диатомовые и евгленовые водоросли. Преобладающими из диатомовых были *Cyclotella Meneghiniana* Kütz., *Diatoma vulgare* Bory, *Navicula cryptocephala* Kütz. По водоему они распределялись равномерно, составляя в среднем на водоем 2,8 мг на 10 см<sup>2</sup>. Евгленовые водоросли составляли 61% всей биомассы, или 8 мг на 10 см<sup>2</sup>. Наиболее массовыми были *Euglena caudata* Hübner, *Euglena texta* (Duj.) Hübner, *Euglena oxyuris*



Schmarda, *Trachelomonas volvocina* Ehr., *Trachelomonas hispidus* (Perty) Stein emend. Defl. В апреле максимальных (6,7 млн. клеток на  $10\text{ см}^2$ ). Доминировали *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., *Coelastrum sphaericum* Naeg., *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh.

Следует отметить, что весной в бентических пробах постоянно присутствовали организмы, которые в массе развивались и в планктоне водохранилища. В значительном количестве на откосах канала, дамб, остатках растительности вегетировали типичные формы обрастаний — *Rhoicophaenia curvata* (Kütz.) Grun., *Cymbella ventricosa* Kütz., *Cladophora fracta*, *Stigeoclonium tenue*. Максимального количества и биомассы фитомикробентос достигал весной в наиболее обогреваемом участке водохранилища. Так, средняя биомасса за два года здесь в апреле колебалась от 9,1 до 17,5 мг на  $10\text{ см}^2$ . Несколько ниже — 11,6—13,3 мг на  $10\text{ см}^2$  она была на ст. 4 (у насосной станции). В летний период температура воды у дна по водоему изменялась в пределах 26—34,7°. Руководящая роль в бентосе принадлежит синезеленым из группы осцилляторий — *Oscillatoria amphibia* Ag., *Oscillatoria simplicissima* Gom., *Oscillatoria planctonica* Wolosz.

В большом количестве вегетировали улотриковые за счет *Binuclearia lauterbornei* (Schmidle) Gr. Lavr., численность которых доходила до 1,5 млн. клеток на  $10\text{ см}^2$ . Удельный вес в бентосе диатомовых, протококковых и евгленовых снизился по сравнению с весенним развитием. Кроме сильного подогрева воды отрицательными факторами в этот период были повышение щелочности (рН не снижались ниже 8,2), отсутствие ионного железа, незначительное количество азота, массовое развитие синезеленых. Средняя биомасса на водоем в августе исследуемых лет изменялась в пределах 14,6—16,6 мг на  $10\text{ см}^2$ .

Восстановление бентических ценозов к октябрю происходило очень незначительно, несмотря на то что температура воды в октябре снижалась до 19° (ст. 2) и 17,5° (ст. 4). Наиболее высокой численность и биомасса фитомикробентоса были в центральном участке и у насосной станции, т. е. в участках с минимальным обогревом. Увеличение здесь шло за счет развития протококковых, численность которых доходила до 5,7 млн. клеток на  $10\text{ см}^2$ , диатомовых — 10,2 млн. клеток, вольвоксовых — 3,8 млн. клеток, евгленовых — 1,4 млн. клеток на  $10\text{ см}^2$ , однако руководящей группой по численности продолжали оставаться синезеленые водоросли (17—22,9 млн. клеток на  $10\text{ см}^2$ ).

Следовательно, круглогодичный сильный подогрев отрицательно сказывается на развитии бентического комплекса водорослей. Кроме того, сказывалась значительная мутность воды



в результате поступления в водоем большого количества промышленных и бытовых стоков, большой примеси каменного угля, медного купороса. Сильный подогрев также нарушает уровеньный режим, что в свою очередь приводит к снижению количества фитоценозов литорали и эпифитного комплекса, а значит уменьшается фотосинтетическая деятельность водорослей на дне, что тормозит процессы минерализации и приводит к загрязнению водоема.

Биологический анализ фитомикробентоса дал возможность определить степень загрязнения водоема. Наличие в бентосе показателей загрязнения, как осцилляторий, спироулин, прикрепленных водорослей *Gomphonema olivaceum* (L y n g b.) K ü t z., *Diatoma elongatum* (L u n g b.) A b., *Synedra ulna* (N i t z s c h.) E h r., зеленых нитчаток *Stigeoclonium* sp., *Cladophora fracta*, вольвоксовых *Phacotus lenticularis*, свидетельствует о значительном загрязнении водоема. Исследуемый водоем относится к бета-мезосапробному водоему с уклоном в сторону альфа-мезосапробности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сопоставлении годовичного развития фитомикробентоса в водоемах — охладителях тепловых электростанций Украины, расположенных в лесостепной и степной зонах Украины, четко выступает зависимость видового состава, количественного развития донных ценозов от температурного режима воды в результате круглогодичного подогрева сбросными теплыми водами. В зависимости от тепловой нагрузки изученные водоемы-охладители делятся на группы: с минимальным, умеренным и сильным перегревом. В водоемах с минимальным перегревом, куда относится слабо проточный водоем — охладитель Кураховской ГРЭС, тепловая нагрузка составляет  $1\text{—}2 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки дополнительного тепла.

Летом температура воды превышает естественную на  $0,5\text{—}3,0^\circ$ . В водоемах с умеренным перегревом (водоем — охладитель Змиевской ГРЭС) тепловая нагрузка составляет  $3\text{—}4 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки, в жаркую декаду температура воды превышает естественную на  $4\text{—}6^\circ$ . В водоемах с сильным перегревом (Зуевское водохранилище) с удельной тепловой нагрузкой  $5\text{—}6 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки превышение средней температуры воды составляет в жаркую декаду летом более  $6^\circ$ .

Проведенные исследования показали, что круглогодичный обогрев приводит к удлинению вегетационного периода водорослей до 2—3 месяцев. Наиболее ощутимо это влияние в холодный и теплый периоды года. Увеличивается количество круглогодичных форм. В водоемах и участках водоема с минимальным перегревом видовой состав и количественное развитие всех

групп фитомикробентоса отличается незначительно от естественных водоемов, находящихся в сходных ландшафтно-климатических зонах. Усиление вегетации особенно заметно в летне-осенний периоды за счет диатомо-осцилляторного комплекса водорослей. Умеренный обогрев значительно усиливает вегетацию бентических водорослей. При этом представители различных систематических групп реагируют на температурный фактор по-разному. Максимум развития протококковых водорослей под влиянием повышенной температуры воды смещается на осенний период, тогда как в необогреваемом водоеме он приходится на летне-осенний. Диатомовый комплекс организмов занимает доминирующее положение в зимне-весенний период. Летом отмечается его резкое снижение, в то время как в контрольных водоемах и водоемах с минимальным обогревом диатомовые продолжают вегетировать в значительном количестве на протяжении года. Отмечается массовое развитие синезеленых водорослей с ранней весны до поздней осени. В естественных водоемах и в водоемах с минимальным обогревом синезеленые водоросли составляют значительно меньшую биомассу с максимумом в летне-осенний период.

В сильно перегреваемых водоемах, в которых обогрев более чем в 3 раза превышает допустимую санитарную норму, в результате круглогодичного значительного перегрева наблюдается снижение биологической производительности. Меняется видовое и количественное соотношение ведущих систематических групп водорослей. Угнетение организмов особенно сказывается в прибрежной зоне водоема в летний период года, где перегрев достигает 38°. Сильный летний перегрев воды наиболее заметно отражается на развитии диатомовых и протококковых водорослей. Восстановление фитобентических ценозов к осени очень незначительно. Синезеленые водоросли, в основном представители группы *Oscillatoria*, развиваются на дне на протяжении всего года в большом количестве.

Для фитомикробентоса исследуемых водоемов характерны не только типичные обитатели дна, но и эпифитные, эвритопные и планктонные виды водорослей. Соотношение и количественное развитие их зависит от глубины водоема, степени зарастания его макрофитами. В бентосе прибрежной зоны в местах значительного развития высшей водной растительности водоросли разных экологических групп составляют до 30% и выше. Численность и видовой состав фитомикробентоса на разных грунтах неодинаков. Условия для вегетации водорослей наиболее благоприятны на заиленном рыхлом песке (Терновская часть Кураховского водохранилища, Змиевский Лиман). Снижается количественное их развитие на плотных песках с небольшой заиленностью и примесью глины (Ильинская часть Кураховского водохранилища). Беднее видовое разнообразие водо-

рослей на жидких черных илах с примесью сажи и угля (Зуевское водохранилище). Под влиянием ветровых волнений и циркуляции на поверхность воды всплывают «плюшки» синезеленых водорослей, в результате чего их биомасса на дне несколько снижается.

На основании количественного учета определена биомасса донных водорослей в водоемах-охладителях. В водоемах и участках с умеренным обогревом численность фитомикробентоса в 4—5 раз превышала таковую в контрольном водоеме. Повышение среднегодовых температур до 20,5° и перегрев приводят к значительному снижению количественного развития донных водорослей. Средняя биомасса фитомикробентоса в Зуевском водохранилище за вегетационный период составляет 13,8 мг на 10 см<sup>2</sup>, т. е. в 8—9 раз ниже по сравнению с водоемами с умеренным обогревом и в 2—3 раза ниже по сравнению с водоемами с естественным обогревом.

Значительное развитие фитобентического комплекса организмов в зимний период на участках водоема свободных от льда должно оказывать благоприятное влияние на обогащение водоема кислородом, а следовательно, и на стимуляцию процесса минерализации и самоочищения.

Исследования фитомикробентоса водоемов — охладителей Украины позволили сделать некоторые выводы о санитарном состоянии этих водоемов. Круглогодичный подогрев воды способствует массовому развитию на дне водоема с ранней весны представителей родов *Oscillatoria* и *Spirulina*. В водоемах наблюдается вегетация нитчаток — *Cladophora fracta*, *Stigeoclonium* sp., большого количества прикрепленного комплекса диатомовых водорослей, улотриковых — *Binuclearia lauterbornei* (Schmidle) Pr. Lavr., вольвоксовых — *Phacotus lenticularis* (Ehr.) Stein. Качественный и количественный анализ фитомикробентоса по системе М. Зелинки и Р. Марвана (1966) по сезонам и годам показал, что наиболее высокие показатели сапробности во все сезоны в водоемах с умеренным и сильным обогревом имели бета-мезосапробные организмы с уклоном к альфа-мезосапробным, в водоемах с минимальным обогревом преобладали бета-мезосапробы.

#### ЛИТЕРАТУРА

А б р е м с к а я С. И. Сравнительная гидрохимическая характеристика водоемов-охладителей ГРЭС Украины.— Гидробиол. журн., 1, 1, 1969.

В л а д и м и р о в а К. С. Удосконалений прилад для збору проб фітомікробентосу.— Укр. бот. журн., 18, 2, 1961.

В л а д и м и р о в а К. С. Взаимосвязь между фитопланктоном и фитомикробентосом водохранилищ.— В кн.: «Цветение» воды. «Наукова думка», К., 1968.

В л а д и м и р о в а К. С. Фитомикробентос водохранилищ днепровского каскада.— В кн.: Гидробиологический режим Днепра в условиях зарегулированного стока. К., 1967.

Горюнова С. В., Насонова М. В. Количество и состояние фитопланктона в различные сезоны года в озере Белом.— Микробиология, 24, 4, 1955.

Гусева К. А. Причины периодичности в развитии фитопланктона Учинского водохранилища.— Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, 2, 6, 1967.

Долгов Г. И., Никитинский Я. Я. Гидробиологические методы исследования.— В кн.: Стандартные методы исследования питьевых и сточных вод. М., 1927.

Зелинка М., Марван Р. Методы биологического и микробиологического анализа вод.— В кн.: Унифицированные методы исследования качества вод, ч. 2, вып. 2, 5, 6. М., 1966.

## ЗООПЛАНКТОН ВОДОЕМА — ОХЛАДИТЕЛЯ ЗМИЕВСКОЙ ГРЭС

А. З. МИРОШНИЧЕНКО

Озеро Змиевский Лиман, являющееся водоемом — охладителем Змиевской ГРЭС, расположено в Харьковской области в 15 км от г. Змиева. Гидробиологические исследования оз. Змиевского Лимана были начаты в конце прошлого столетия (Пирт, 1863; Рейнгарт, 1870; Янушкевич, 1891) и продолжались отдельными исследователями в первые десятилетия нашего века (Дедусенко-Шеголева, 1927; Прошкина-Лавренко, 1936). Эти исследования касались главным образом водной растительности озера. По данным Н. Т. Дедусенко-Щеголевой, указанный водоем отличался рядом характерных особенностей. При значительной площади озера, достигавшей 12,7 км<sup>2</sup>, длине 7,5 км, ширине 3 км глубина его едва достигала 2,5 м, и озеро было почти сплошь заросшим надводной растительностью. Особенностью озера являлось периодическое изменение его уровней, что приводило то к его усыханию, то к наполнению водой. Питалось озеро за счет ключей, расположенных в южной и юго-западной его части. По химическому составу вода озера характеризовалась значительным количеством солей магния и натрия, что сказывалось на видовом составе водорослей, отличавшемся наличием солоноводных и солоноватоводных форм. В 1933 и 1938 гг. озеро начал изучать коллектив сотрудников Донецкой гидробиологической станции, о чем упоминает Л. А. Шкорбатов (1940). Однако данные этих исследований не опубликованы.

Змиевский Лиман, как крупный водоем, всегда привлекал внимание рыбохозяйственных организаций, но помехами для ведения рыбного хозяйства в нем были зарастание и «цветение» озера. Эти же помехи могли иметь место при предполагаемом использовании озера как водоема-охладителя в связи со строительством Змиевской ГРЭС. Поэтому в 1960 г. после постройки ГРЭС на озере были проведены углубление дна с удалением иловых отложений, купоросование, выкашивание и уничтоже-



ние гербицидами высших водных растений, одамбирование отдельных его участков. После этого котловина озера была заполнена водой из р. Сев. Донец через специально построенный канал — Сев. Донец — оз. Лиман. В связи с проведенными мероприятиями изменились и морфометрические показатели озера. Средняя глубина озера в 1961 г. достигала 4,25 м, максимальная — 6,5 м. Площадь озера составляла 11 км<sup>2</sup>, длина — 5,9 км, ширина — 2,9 км. Высшие водные растения как полупогруженные (тростник, сусак, камыш, рогоз), так и погруженные (рдесты, роголистник), занимавшие прежде значительные площади, после мелиорации развивались крайне слабо. Изменилась в сторону понижения и общая минерализация озера, и водоем качественно стал иным.

Начиная с 1961 г. озеро используется уже как водоем-охладитель. При мощности станции, не достигшей пока проектной величины, несмотря на постоянное поступление нагретых вод, влияние этих вод на температуру озера очень незначительно. По данным гидрометслужбы г. Комсомольска, различия между температурой воды в сбросном канале и в разных участках озера мало проявлялись в теплое время года и больше ощущались лишь в холодное время.

В сентябре в сбросном канале температура воды достигала 28°, а наибольшая температура в озере составляла 22,1° (западная часть). В ноябре 1962 г. в сбросном канале температура была 11°, а в озере вне непосредственного воздействия теплых вод — 6—7°. Зимой на протяжении декабря, января, февраля и частично марта температура воды озера колебалась от 1,0 до 2,7°. В последней декаде апреля вода нагревалась уже выше 10°. В мае устанавливалась летняя температура выше 17° и не снижалась уже до второй половины сентября. Температура выше 24° отмечалась в 1962 г. на протяжении 15 дней, в 1963 г. — 44 дней и в 1964 г. — 23 дней. Максимальная температура наблюдалась в июле и в августе, причем наиболее высокая температура — 29,5° — отмечалась в конце июля 1964 г. в западной части озера (ст. 4) ближе к впадению сбросного канала, в то время как в центральном участке было 27,0° (ст. 5), а в юго-западной (ст. 3) — 28°. В осенний период, со второй половины сентября, температура воды в озере постепенно понижалась. В ноябре 1963 г. в западной части озера (ст. 4) температура воды была 8,5°, а возле насосной станции (ст. 1) — 5,5°. В ряде случаев, особенно в холодное время, в озере отмечалось неравномерное горизонтальное распределение поверхностных температур, причем разница в температуре между западной более отепленной частью озера и другими участками составляла 2—3°.

В связи с небольшой глубиной и значительным перемешиванием различных слоев воды разница между поверхностной и придонной температурой не превышала 1—2°. Интересно отме-

тить еще, что среднегодовая температура воды в период исследований повышалась с каждым годом. В 1962 г. она составляла  $11^{\circ}$ , в 1963 г. —  $11,9^{\circ}$ , в 1964 г. —  $12,2^{\circ}$ , что связано, возможно, с усилением влияния циркуляционных вод на озеро.

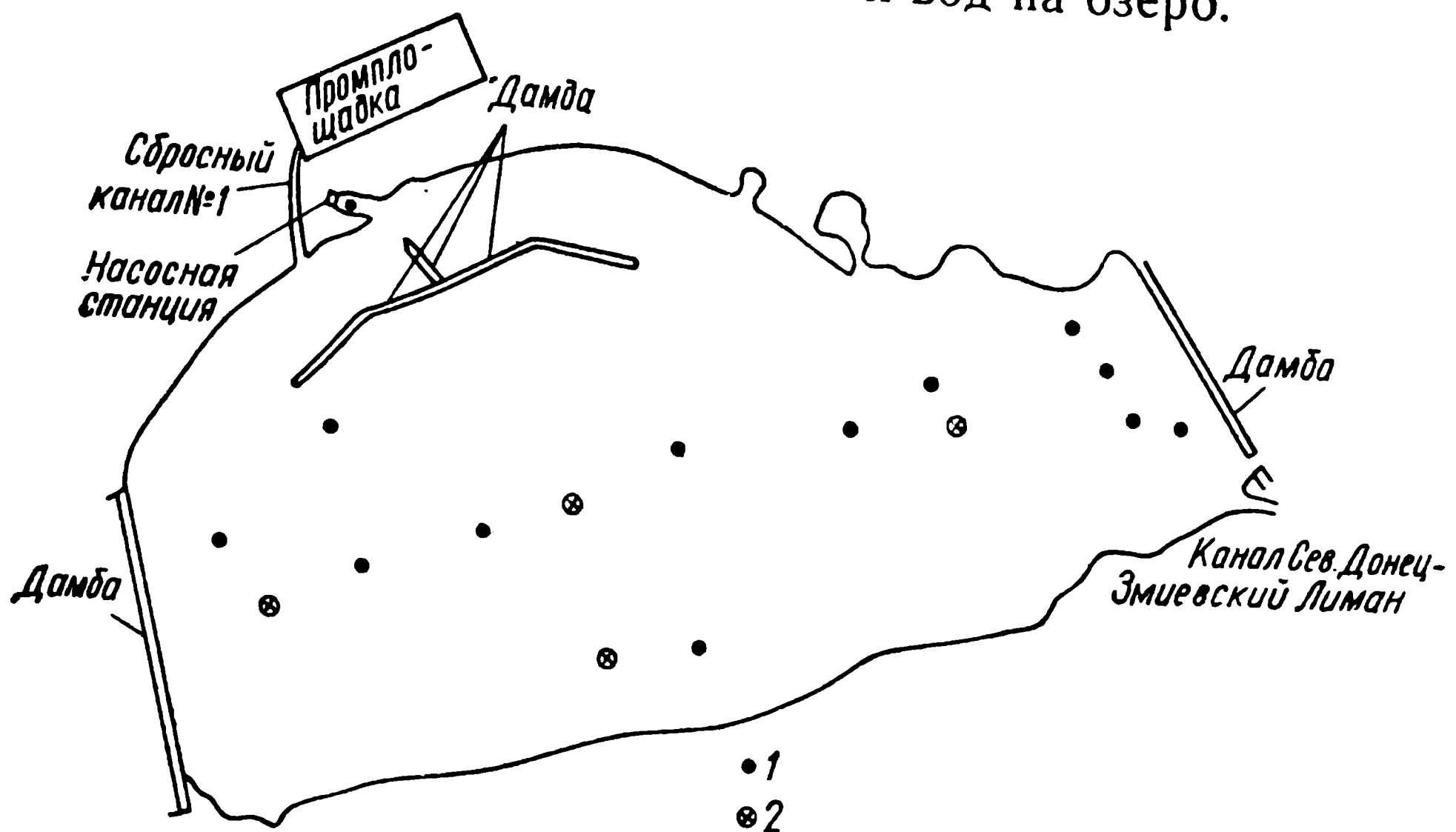


Рис. 1. Схема оз. Змиевский Лиман:

1 — станции взятия проб в 1962 г.; 2 — станции взятия проб в 1963 и 1964 гг.

Змиевский Лиман изучался Институтом гидробиологии в 1962—1964 гг. В 1962 г. зоопланктон был собран более полно в мае (12 проб из разных участков озера) и в меньшем количестве — в декабре (5 проб). В 1963 и 1964 гг. сборы проводились на 5 постоянных станциях (рис. 1). Полученные материалы — 87 поверхностных проб, 13 фракционных для характеристики вертикального распределения зоопланктона и 6 из р. Сев. Донец были переданы нам для обработки.

Количественный учет организмов проводился в счетном кристаллизаторе. Очень бедные зимние пробы просчитывались целиком. Биомасса организмов определялась главным образом по имеющимся литературным данным (Мельников, 1936; Амелина, 1941; Грезе, 1948; Мордухай-Болтовской, 1954, и др.).

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОНА ЗМИЕВСКОГО ЛИМАНА

В Змиевском Лимане в 1962—1964 гг. был обнаружен богатый состав зоопланктона, в котором насчитывалось 88 таксономических единиц, в число которых входило более 60 видов. Наиболее разнообразно были представлены коловратки и ветвистоусые ракообразные: коловратки — 46 таксонов ( $52,3\%$ ), ветвистоусые — 33 ( $37,5\%$ ), веслоногие — 9 таксонов ( $10,2\%$ ). Среди зоопланктеров озера преобладали эупланктические фор-

мы озерно-прудового комплекса — *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia hyalina*, *Ceriodaphnia pulchella*, *Moina dubia*, *M. rectirostris*, *Mesocyclops leuckarti*, *M. crassus*, *M. oithonoides*, *Polyarthra trigla*, различные виды рода *Brachionus*. Наряду с этим в зоопланктоне развивались также представители озерного комплекса — *Daphnia cucullata*, *Cyclops vicinus*, *Polyarthra euryptera*.

Бентопланктические и зарослевые формы были представлены небольшим числом видов (*Monostylla lunaris*, *Testudinella mucronata*, *Macrothrix laticornis*, *Chydorus sphaericus* и др.) и никогда не развивались в сколько-нибудь значительном количестве. В составе зоопланктона не было обнаружено показателей значительного органического загрязнения. Большинство отмеченных форм являются характерными представителями олиго-β-мезосапробной зоны, и оз. Змиевский Лиман в годы исследования не был загрязненным водоемом. Сравнение качественного состава зоопланктона за 1963—1964 гг. показывает, что видовой состав его был богаче в 1963 г. на 11 видов, главным образом за счет форм зарослевого комплекса. Наряду с обеднением состава зоопланктона в 1964 г. в нем появился в небольшом количестве новый вид — *Daphnia pulex middendorffiana*.

#### СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ЗООПЛАНКТОНА

Сезонная динамика развития зоопланктона в водоемах различных типов определяется множеством различных факторов, влияющих на размножение планктических организмов. Из этих факторов температура, как известно из ряда работ (Рарапическу, 1910; Mortimer, 1935; Зеликман, 1944; Мануйлова, 1954, 1964; Мордухай-Болтовская, 1959, и др.), является одним из основных факторов, влияющих на интенсивность размножения зоопланктеров и их цикличность. Такое же значение имеет и наличие подходящей для планктонных организмов пищи, что освещено в работах Г. С. Гаевской (1941, 1948), А. Г. Салимовской-Родиной (1940), А. Г. Родиной (1946, 1948). Кроме того, ряд других экологических факторов, как содержание растворенных органических веществ, кислорода, углекислоты, рН среды, освещенность, имеют важное значение для развития планктических организмов и влияют на пространственное их распределение. При хозяйственном воздействии человека на водоем неоднородность в распределении экологических факторов, а отсюда и организмов может проявляться еще сильнее. Такое воздействие испытывает и Змиевский Лиман. С одной стороны в него спускаются нагретые воды ГРЭС, с другой — поступает речная вода по каналу Сев. Донец — Змиевский Лиман. При рассмотрении сезонной динамики зоопланктона оз. Змиевский Лиман необхо-

димо учитывать и неравномерность его горизонтального распределения в различных участках озера. Зимой (декабрь, январь) при низкой температуре воды, изменявшейся в среднем от 1,4 до 1,8°, общее развитие зоопланктона отличалось бедностью. Численность и биомасса его\* изменялись от 80 экз. до 264,9 тыс. экз. и от 0,066 до 390,6 мг. Преобладающее значение по численности в большинстве случаев имели коловратки и веслоногие рачки. Биомасса последних была почти всюду доминирующей, составляя 43,9—93,0% общей биомассы зоопланктона.

В зимние месяцы наибольшее количество зоопланктона отмечалось в западной части озера (ст. 4) и составляло здесь 264,9 тыс. экз. и 250 мг биомассы в 1963 г. и 4850 экз. и 390 мг в 1964 г., на ст. 1 — соответственно 106 тыс. и 99 мг, а на остальных — 80—100 экз. и 0,06—0,43 мг. Большая численность зоопланктона в западной части озера была связана с более интенсивным развитием *Bosmina longirostris* и *Cyclops vicinus*. Численность *Bosmina* здесь была в 11 и 27 раз больше, чем у водозабора. Для зимнего планктона характерно развитие простейших *Tintinnidium*, *Vorticella* и других реснитчатых инфузорий, встречающихся главным образом в западной части озера. Качественный состав зоопланктона в зимние месяцы был беден. В нем в разных пробах насчитывалось 2—8 видов. Постоянными компонентами планктона были широко распространенные виды коловраток — *Brachionus angularis* var. *bidens*, *B. urceolaris*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Polyarthra vulgaris*, *Brachionus budapestinensis*, *Ascomorpha saltans* и изредка встречался холоднолюбивый вид — *Notholca squamula*. Ракообразные были представлены в основном *Bosmina longirostris* и *Cyclops vicinus* с его личиночными и ювенальными формами.

В ранневесенний период (март 1963 г.) при средней температуре воды 3,6° зоопланктон стал несколько богаче, чем в зимние месяцы. Общая численность и биомасса изменялись по разным станциям от 33 460 до 218 440 экз. и от 172 до 438,5 мг. Преобладающими по количеству экземпляров были коловратки (59 500—171 600 экз.), среди которых руководящее значение имели *Synchaeta stylata*, *Polyarthra vulgaris* и *Brachionus angularis*. По биомассе же, как и в зимний период, доминировали веслоногие рачки, составлявшие 47,2—97,1% общей биомассы зоопланктона. Кроме *Cyclops vicinus*, в небольшом количестве встречались *Acanthocyclops bicuspidatus* и *Eurytemora velox*. Развитие ветвистоусых (*Bosmina*) было незначительным. Как и зимой, в планктоне встречались различные реснитчатые инфузории, в большем количестве встречающиеся в западной части озера.

---

\* Численность и биомасса везде даны на 1 м<sup>3</sup> воды.



Общее развитие зоопланктона в марте 1964 г. было значительно беднее, чем в 1963 г., в связи с меньшей численностью коловраток и веслоногих ракообразных. Численность его изменялась от 18 400 до 24 280 экз., биомасса — от 190,3 до 217,3 мг. Общий же характер планктона был очень сходен. Преобладающими были также веслоногие рачки, составлявшие 93,0—94,6% по биомассе. Зоопланктон озера Змиевский Лиман в конце апреля 1964 г. по видовому составу и по количественному развитию мало отличался от планктона марта 1964 г. На раз-

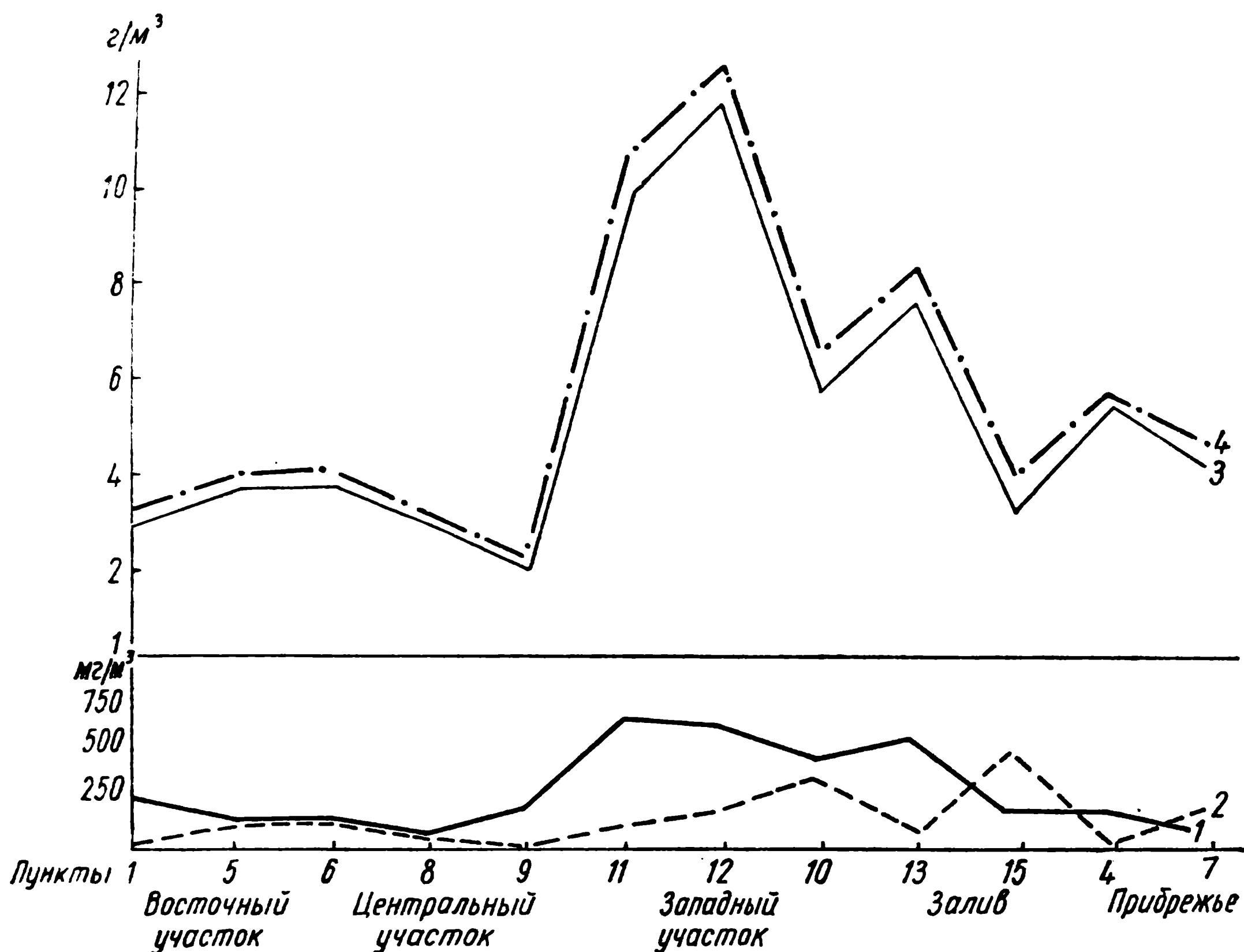


Рис. 2. Распределение биомассы зоопланктона оз. Змиевский Лиман 31.V 1962 г.:

1 — коловратки; 2 — веслоногие ракообразные; 3 — ветвистоусые ракообразные; 4 — общая биомасса зоопланктона.

ных станциях численность его изменялась от 17 120 до 37 645 экз. Как и в марте, преобладающее значение на всех станциях имели веслоногие рачки, составлявшие 74,7—94,5 численности и 84,1—99,1% биомассы. На втором месте по численности и биомассе были ветвистоусые, количество которых заметно увеличилось по сравнению с мартом. При этом качественный состав их характеризовался более разнообразными вариантами и морфами — *Bosmina longirostris* (var. *typica*, *longirostris*, *brevicornis*) и *Daphnia cucullata* (m. *apicata*, *berolinensis*). Наиболее богатым был зоопланктон на ст. 3 за счет более интенсивного развития *Brachionus quadridentatus* и *Cyclops vicinus*. На ст. 4 было максимальное количество науплиусов (19 тыс.).

В мае на протяжении всех лет исследования средняя температура воды была довольно высокой. В 1962 г. она составляла  $17,3^{\circ}$ , в 1963 г. —  $18,9^{\circ}$  и в 1964 г. —  $16,0^{\circ}$ . В мае 1962 г. на второй год после проведения мелиоративных мероприятий в озере был обнаружен уже богатый и разнообразный зоопланктон. В составе его насчитывалось более 30 видов зоопланктеров, в том числе коловраток более 20 видов, веслоногих ракообразных 4 вида, ветвистоусых 8 видов.

Большой численности достигали, однако, только следующие виды: *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Brachionus quadridentatus*, *Br. calyciflorus*, *Br. angularis*, а также молодые стадии циклопов, науплисы и *Bosmina longirostris*. Общее развитие зоопланктона было высоким и четко проявлялась неоднородность горизонтального его распределения (рис. 2). Меньшее развитие зоопланктона было обнаружено в восточном, центральном районах озера и в конце залива у насосной станции. Наиболее богат был зоопланктон в западной части озера, ближе расположенной к выходу сбросного канала (от 1654 тыс. до 2705 тыс. экз. и от 7,45 до 13,4 г), за счет более интенсивного развития представителей всех его групп. Можно предположить, что в западных участках озера постоянное, хотя и небольшое влияние теплых вод сбросного канала оказывает воздействие на интенсивность размножения зоопланктона, что приводит к увеличению его численности.

В общем зоопланктон озера в конце мая 1962 г. характеризовался богатым развитием ракообразных и коловраток. Численность всех групп колебалась в широких пределах: коловраток — от 157 520 до 1 927 946 экз., веслоногих — от 2460 до 53 082 экз., ветвистоусых — от 203 050 до 858 844 экз. Соответственно изменялась и биомасса их: коловраток — от 88,2 до 700 мг, веслоногих — от 27,9 до 547,0 мг и ветвистоусых — от 2,84 до 12,5 г. Биомасса ветвистоусых ракообразных составляла 84—96% общей биомассы зоопланктона.

Майский зоопланктон 1963 и 1964 гг. (рис. 3, 4) также характеризовался высоким развитием (сотни тысяч и миллионы экз.), значительной биомассой (2,7—4,8 г в 1963 г. и 3,4—12,6 г в 1964 г.) и преобладанием ветвистоусых ракообразных, среди которых *Bosmina longirostris* составляла 61,6—81,9% биомассы в 1963 г. и 67,4—86,9% в 1964 г. Лишь в восточной части озера в 1963 г. (ст. 2) коловратки (932 000 экз. и 2,3 г) составляли в мае 85% численности и 59,8% биомассы. Ряд коловраток — *Polyarthra vulgaris*, *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Brachionus angularis* и *Asplanchnidae* — *Asplanchna priodonta*, *A. sieboldi*, *A. amphora*, *Asplanchnopus syrix* — имел значительно большее развитие, чем на остальных станциях озера. Это можно отнести за счет влияния р. Сев. Донец, вода которой через канал поступает в этот участок озера. Планктон реки в это время также

характеризовался преобладанием коловраток, составлявших 83,7% численности и 71,6% биомассы, но абсолютное развитие его было значительно меньше (1,9 г — в реке и 3,9 г — в озере). В мае наибольшее развитие зоопланктона отмечено в западном районе озера в 1963 г. и в центральном — в 1964 г. Видовой состав зоопланктона в мае 1963 г. и 1964 г. был довольно богат и состоял из 25 и 19 видов. К руководящим видам, однако,

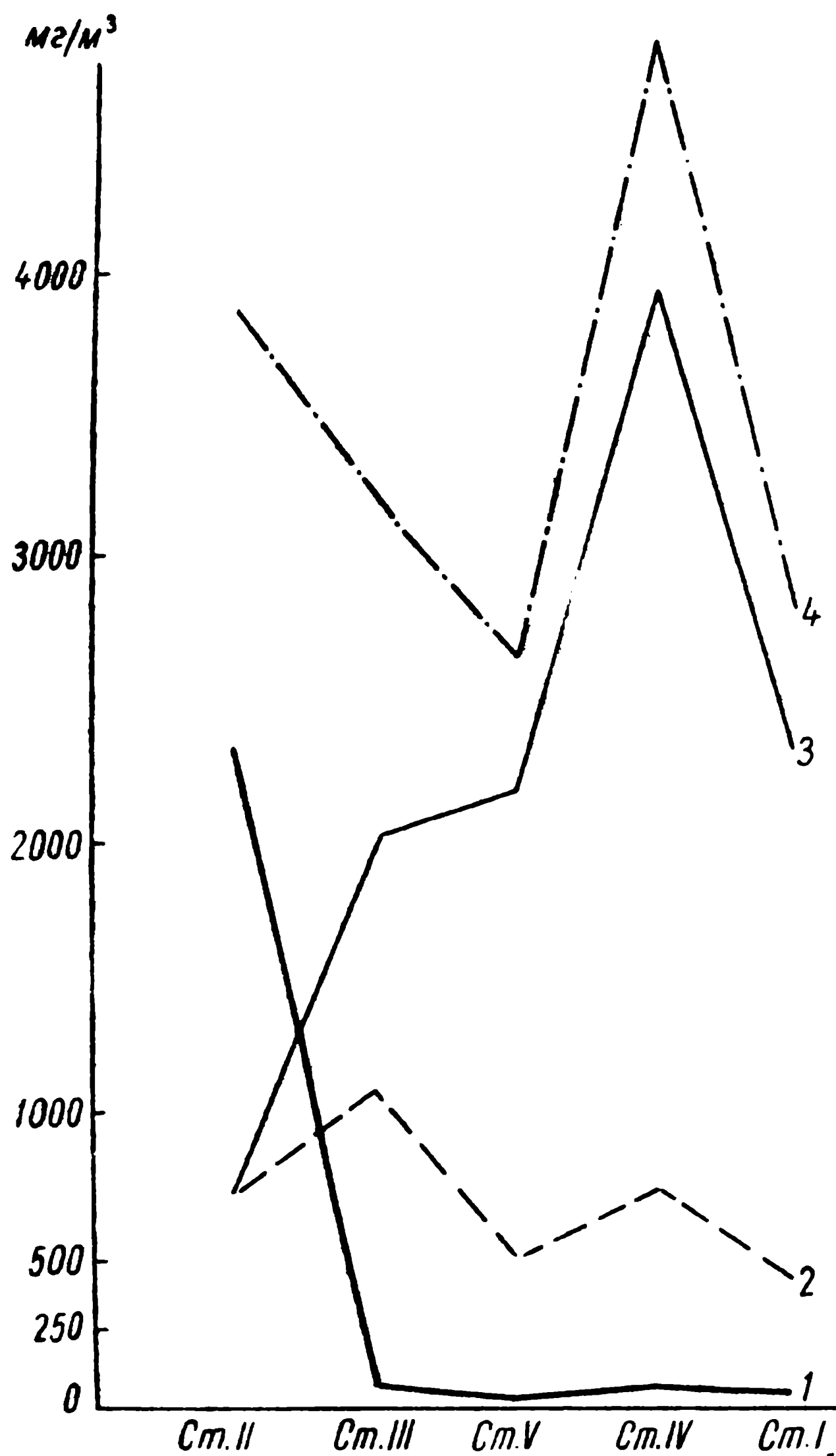


Рис. 3. Распределение биомассы зоопланктона оз. Змиевский Лиман 25.V 1963 г.:

1 — коловратки; 2 — веслоногие ракообразные; 3 — ветвистоусые ракообразные; 4 — общая биомасса зоопланктона.

зоопланктона в мае 1963 г. и 1964 г. был довольно богат и состоял из 25 и 19 видов. К руководящим видам, однако,

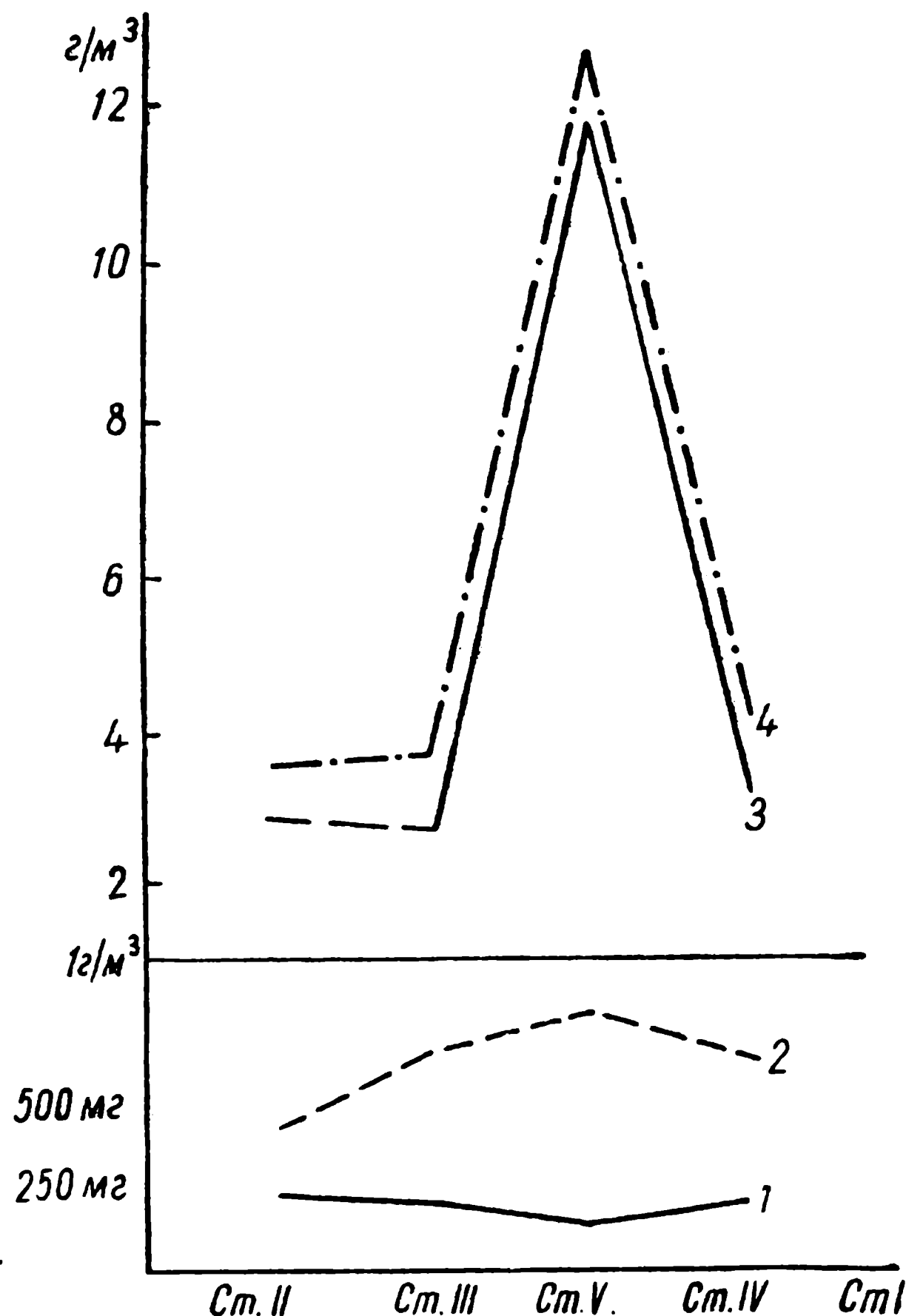


Рис. 4. Распределение биомассы зоопланктона оз. Змиевский Лиман 25.V 1964 г.:

1 — коловратки; 2 — веслоногие ракообразные; 3 — ветвистоусые ракообразные; 4 — общая биомасса зоопланктона.

относились *Bosmina longirostris*, *Pomphlyx complanata*, *Asplanchnidae* (*Asplanchna priodonta*, *A. sieboldi*), *Asplanchnopus syrinx*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Polyarthra vulgaris*, а также науплии и молодые стадии циклопов.

Зоопланктон в мае 1962, 1963 и 1964 гг. характеризовался многими общими чертами, к которым следует отнести высокое

развитие, обилие обнаруженных видов, преобладание ветвистоусых рачков, доминирование *Bosmina longirostris*. Однако степень развития его в разные годы в о. Змиевский Лиман по средним данным была различной:

	1962 г.	1963 г.	1964 г.
Средняя температура в мае, °С	17,3	18,3	16,0
Коловратки	754239 363,6	305100 519,7	122850 188,6
Веслоногие	19646 204,0	96568 747,3	144525 643,6
Ветвистоусые	446348 6258,6	160428 2255,2	343140 5090,6
Всего зоопланктона	1220233 6826,2	562096 3522,2	610515 5922,8

Как видно из приведенных данных, развитие зоопланктона было наибольшим в 1962 г., на второй год после проведения мелиоративных мероприятий. В последующие годы (1963 и 1964) изменения общей численности и биомассы зоопланктона совпадали с отличиями в развитии ветвистоусых ракообразных — в 1963 г. отмечалось снижение их количества, в 1964 г. — подъем. У веслоногих наблюдалось постепенное повышение численности от года к году, а у коловраток — постепенное ее снижение.

В июне в разные годы исследования зоопланктон оз. Змиевский Лиман значительно отличался по количественному развитию и составу доминирующих видов. В 1963 г. в июне здесь отмечалось богатое развитие зоопланктона, общая численность и биомасса которого колебалась на разных станциях от 216,8 тыс. до 2,13 млн. экз. и от 2,8 до 16,1 г. Максимальное развитие зоопланктона было на ст. 2 (1,32 млн. экз.; 5,1 г) и ст. 3 (2,13 млн.; 16,1 г). На этих станциях по численности преобладали коловратки, составлявшие 70,7 и 61,8% общего количества зоопланктона. По биомассе же на ст. 2, 3, 5 доминировали веслоногие, а на ст. 1, 4 — ветвистоусые ракообразные, составлявшие 61,4 и 57,1% общей биомассы зоопланктона. В июне 1964 г. зоопланктон Змиевского Лимана был значительно беднее, чем в июне 1963 г. Общая численность и биомасса его изменялась от 37 тыс. до 234,2 тыс. и от 0,614 до 3,84 г. Максимальное развитие было отмечено на ст. 2 и 4, причем почти на всех станциях преобладали ветвистоусые, составлявшие 56,6 — 85,8% по биомассе. Еще более четко видны различия в планктоне озера



в июне 1963 и 1964 гг. из сопоставлений средних величин численности и биомассы:

	1963 г.	1964 г.
Коловратки	481360 <hr/> 484,26	4321 <hr/> 36,53
Веслоногие	327032 <hr/> 3299,3	19493 <hr/> 386,56
Ветвистоусые	133464 <hr/> 2224,8	52726 <hr/> 943,2
Зоопланктон в целом	941856 <hr/> 6008,36	76540 <hr/> 1367,29
Общее количество видов	28	20

Средняя биомасса зоопланктона в июне 1964 г. была в 4,3 раза, а численность в 12,3 раза меньше, чем в 1963 г. Состав руководящих видов зоопланктона озера в разные годы также отличался. В 1963 г. преобладали *Bosmina longirostris*, *Cyclops vicinus*, его личиночные и ювенальные формы, *Keratella cochlearis*, *Brachionus calyciflorus*, *Pompholyx complanata*, *Asplanchnidae*, *Polyarthra vulgaris*, *Filinia longiseta*, а в 1964 г. *Bosmina longirostris*, *Acanthocyclops vernalis*, его личиночные и ювенальные формы, *Diaphanosoma brachyurum* var. *frontosa*, *Asplanchnopus syrinx*, *Brachionus calyciflorus*.

Следует отметить, что в 1963 г. в сбросном канале, на 25 м ниже выпуска теплых вод, развитие зоопланктона было также высоким — 675,3 тыс. экз. и 6,1 г. В этом пункте биомасса ветвистоусых была близкой к максимальной в озере, а численность и биомасса веслоногих и коловраток мало отличались от аналогичных величин на большинстве станций. Это свидетельствует о небольшом влиянии в летнее время сбрасываемых вод на развитие зоопланктона.

В конце июля 1963 г. наблюдалось резкое снижение численности и биомассы зоопланктона по сравнению с июнем. Численность планктона в среднем снизилась в 17 раз, биомасса — в 5,4 раза, причем снижение наблюдалось во всех группах планктона. Аналогичное явление наблюдалось и в р. Сев. Донец, что заставляет предполагать об общих причинах этого явления, связанных, возможно, с погодными условиями и цикличностью размножения видов. Состав руководящих форм зоопланктона также изменился. Среди руководящих форм в июне и июле общими были: *Bosmina longirostris*, *Nauplii*, ювенальные формы циклопов. Только в июле доминировали *Diaphanosoma brachyurum*, *Acanthocyclops vernalis*, *Asplanchnidae*, *Hexarthra mira* и *Brachionus diversicornis*. Общая численность зоопланктона

в июле изменялась от 34 470 до 83 560 экз., биомасса — от 608,0 мг до 2,05 г. Наибольшее развитие зоопланктона отмечалось на ст. 2 и 3, где было обнаружено большее количество коловраток из семейства Asplanchnidae, а также *Acanthocyclops vernalis* с его ювеноальными и личиночными формами. Некоторое превосходство численности *Bosmina longirostris* было отмечено в западной части озера.

В августе 1963 г. при среднемесячной температуре 24° количественное развитие зоопланктона в озере (по средним данным) по сравнению с развитием его в июле заметно возросло — с 54 тыс. до 181 тыс. экз., что произошло за счет веслоногих ракообразных (июль — 22 тыс., 380 мг, август — 176 тыс., 3183 мг в 1 м<sup>3</sup> воды). В то же время численность и биомасса коловраток и ветвистоусых рачков уменьшились. Соответственно этому изменилось и соотношение групп. Первое место и по численности, и по биомассе в августе занимали веслоногие, составлявшие 96,0—97,8% по численности и 95,7—99,0% по биомассе. Видовой же состав и состав руководящих видов в августе стал беднее. Основную роль в нем играли веслоногие рачки *Acanthocyclops vernalis* и *Cyclops vicinus*, особенно их ювеноальные стадии. Количественное развитие зоопланктона изменялось от 50 тыс. до 427 тыс. экз. и от 884 до 7706 мг и было наименьшим на ст. 4 в западной части озера и наибольшим — на ст. 3. В августе 1964 г. общее развитие зоопланктона было ниже, чем в августе 1963 г., колеблясь от 78,3 тыс. до 137,2 тыс. экз. и от 966 до 1790 мг в 1 м<sup>3</sup>. Наибольшее развитие зоопланктона отмечено в центральной части озера на ст. 5, где доминировали веслоногие рачки (78,9% численности и 84% биомассы). Аналогичное доминирование веслоногих констатировано и на ст. 2. На ст. 1 коловратки были преобладающей группой по численности — 44 000 экз. и ветвистоусые — по биомассе — 816,6 мг.

Сравнивая развитие зоопланктона в августе 1963 г. и 1964 г. по средним данным, мы видим, что зоопланктон в августе 1964 г. был в три раза беднее за счет меньшего развития веслоногих. Количество же коловраток (22 617 экз.) и ветвистоусых (14 080 экз.), наоборот, было большим, чем в 1963 г. Более разнообразен был видовой состав (26 видов) и состав руководящих форм. К числу последних, кроме общих с 1963 г. *Acanthocyclops vernalis*, *Cyclops vicinus*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Brachionus calyciflorus*, *Br. diversicornis*, следует отнести *Daphnia cucullata*, *D. hyalina*, *Keratella cochearis*, *K. quadrata*, *Polyarthra vulgaris*.

В осенний период материалы были собраны в октябре и ноябре 1963 г. В октябре общее развитие зоопланктона на разных станциях колебалось от 103 тыс. до 1375 тыс. экз. и от 1,18 до 1,98 г. Наибольшее развитие планктона наблюдалось при этом на ст. 4 в западной части озера и на ст. 3, где отмечена макси-

мальная численность всех видов коловраток, а также взрослых и молодых *Cyclops vicinus*. На всех станциях отмечалось преобладание коловраток по численности (от 74,0 до 90,5%) и веслоногих рачков — по биомассе (85—93%). Биомасса ветвистых не превышала 5%. В ноябре при понижении среднемесячной температуры до 8,2° снижалось и количество зоопланктона. Общая численность его колебалась от 8220 до 30 380 экз. По средним данным, она снизилась в 20 раз, биомасса — в 5,8 раз.

В видовом составе зоопланктона насчитывалось 11 видов, 7 видов широко распространенных коловраток, среди которых

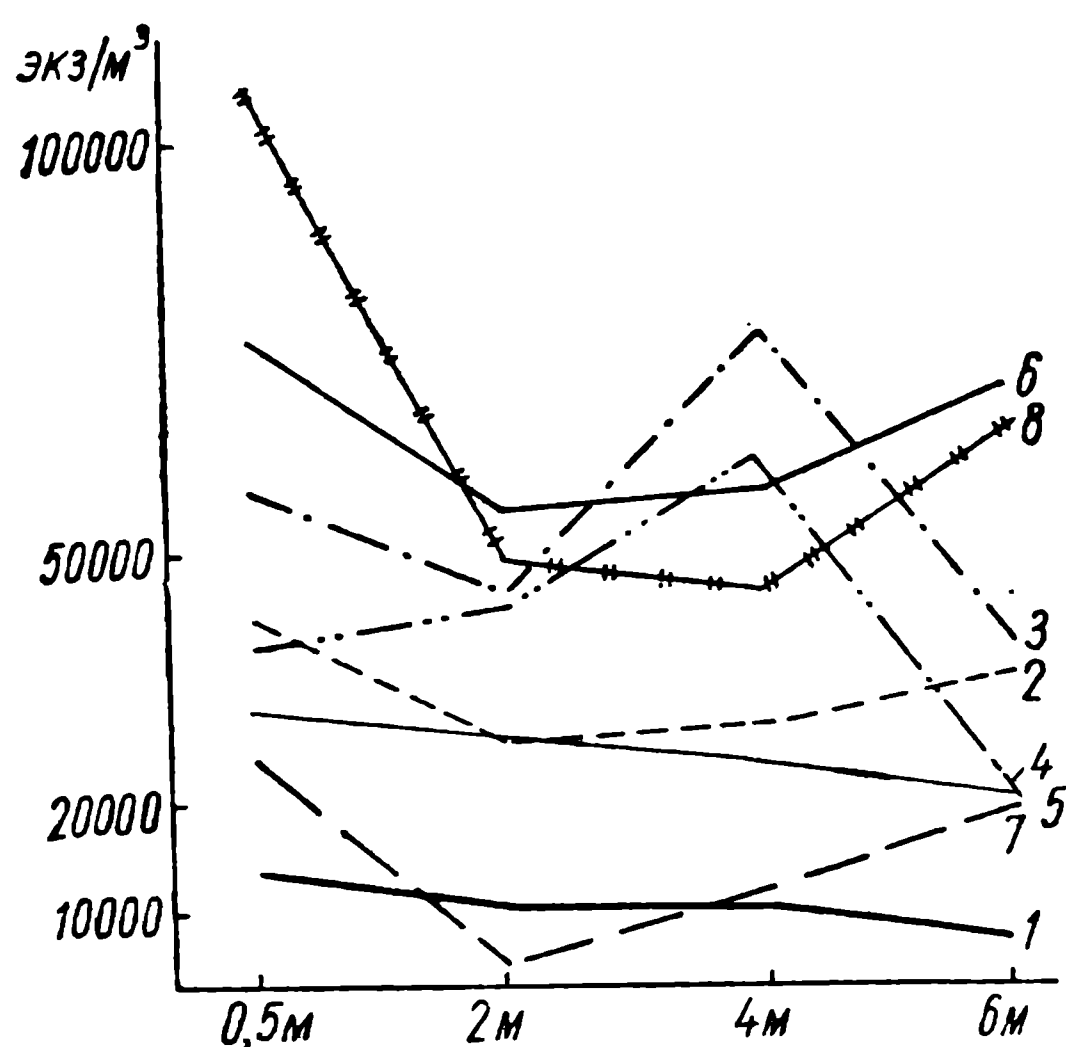


Рис. 5. Вертикальное распределение основных форм зоопланктона в центральном районе оз. Змиевский Лиман (ст. 5) 4.VII 1964 г.:

1 — *Brachionus angularis*; 2 — *Keratella cochlearis*; 3 — *Polyarthra vulgaris*; 4 — *Pompholyx complanata*; 5 — *Hexarthra mira*; 6 — *Nauplii*; 7 — *Diaphanosoma brachyurum*; 8 — *Bosmina longirostris*.

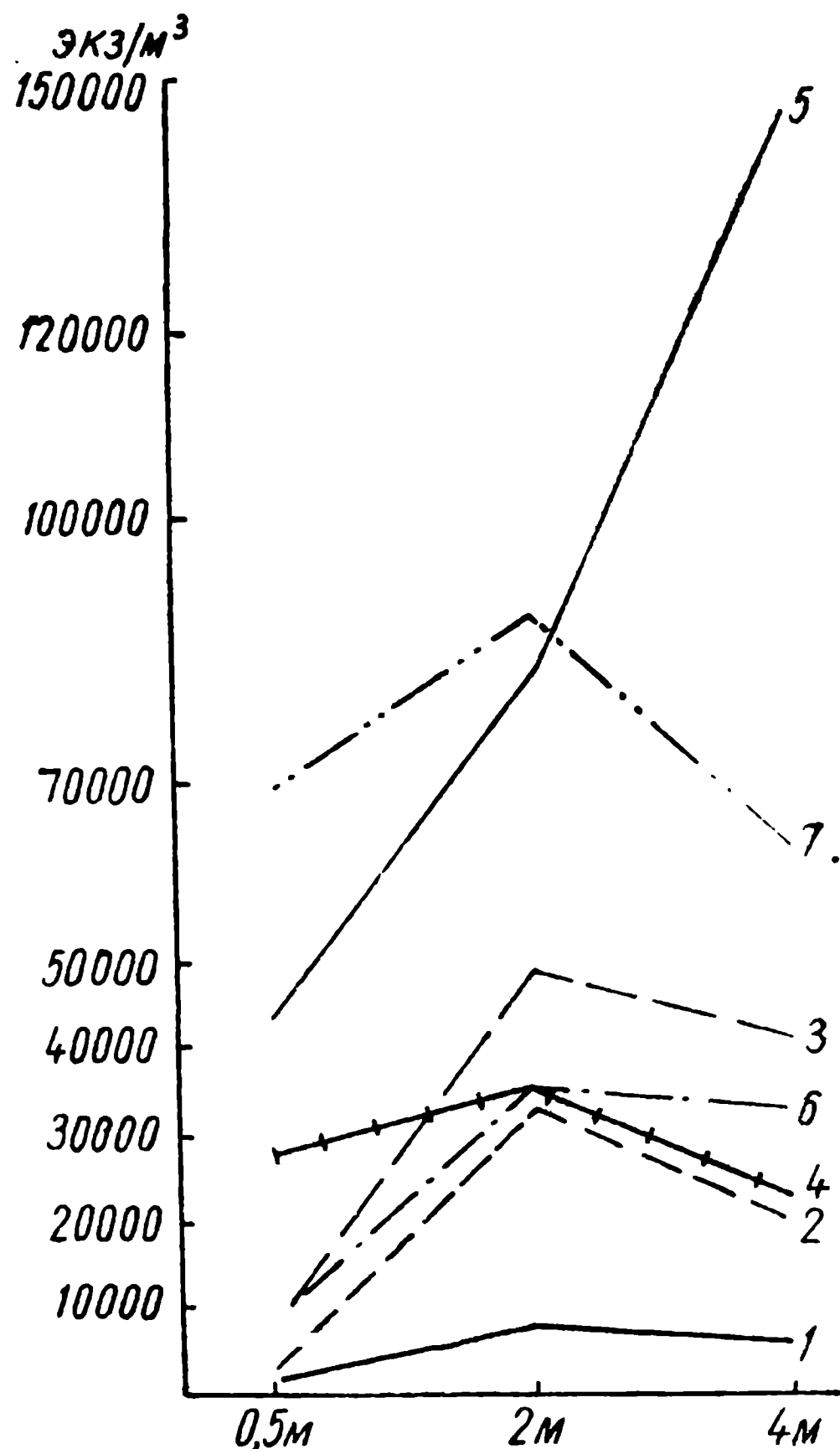


Рис. 6. Вертикальное распределение основных форм зоопланктона в западном районе озера Змиевский Лиман (ст. 4) 4.VII. 1964 г.:

1 — *Brachionus angularis*; 2 — *Keratella cochlearis*; 3 — *Polyarthra vulgaris*; 4 — *Hexarthra mira*; 5 — *Nauplii*; 6 — *Diaphanosoma brachyurum*; 7 — *Bosmina longirostris*.

был холодолюбивый вид *Notholca squamula*, 3 вида ветвистых (*Daphnia longispina*, *D. cucullata*, *Bosmina longirostris*) и один вид веслоногих рачков — *Cyclops vicinus*, представленный всеми стадиями его развития, составлявших 68,3% общей численности и 61,6% биомассы. В осенние месяцы складывался комплекс организмов, который был характерен для зимнего периода.

В дополнение отметим, что исследование вертикального распределения руководящих видов зоопланктона, проведенное в

наиболее глубоких участках озера в дневные часы 4 июля при незначительной разнице температур поверхностных и придонных слоев ( $0,3-1,0^{\circ}$ ), показало, что в озере отмечается неоднородность вертикального распределения видов. Для одних и тех же видов (*Brachionus angularis*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Hexarthra mira*, *Diaphanosoma brachyurum*) в центральном и западном участках озера отмечено почти противоположное вертикальное распределение (рис. 5, 6). Это свидетельствует о различии экологических условий, которые могут создаваться на разных участках озера в связи с динамикой нагретых вод и поступлением воды из р. Сев. Донец.

## СПИСОК ЗООПЛАНКТОННЫХ ОРГАНИЗМОВ ОЗЕРА ЗМИЕВСКИЙ ЛИМАН

### Rotatoria

*Brachionus quadridentatus* Hermann, *Br. calyciflorus calyciflorus* Pallas, *Br. calyciflorus* var. *amphiceros* Ehrenberg, *Br. calyciflorus* var. *dorcas* Gosse, *Br. calyciflorus* var. *dorcas* f. *spinosus* Wierzejski, *Br. urceolaris* O. F. Müller, *Br. budapestinesis* Daday, *Br. diversicornis* Daday, *Br. diversicornis* var. *homoceros* Wierzejski, *Br. angularis* Gosse, *Br. angularis* var. *bidens* Plate, *Mytilina mucronata* O. F. Müller, *Euchlanis* sp., *Keratella cochlearis* Gosse, *K. cochlearis* var. *tecta* Gosse, *K. valga* Ehrenberg, *K. quadrata* O. F. Müller, *K. quadrata* var. *divergens* Voigt, *K. quadrata* var. *monospina* Klausener, *K. quadrata* var. *heterospina*, *Anureopsis fissa* Gosse, *Notholca squamula* O. F. Müller, *Lecane* sp., *Trichocerca pusilla* Jennings, *Ascomorpha* sp., *Asplanchna priodonta* Gosse, *A. sieboldi* Leidig, *A. amphora* Hudson, *Asplanchna* sp., *Asplanchnopus*, *Polyarthra vulgaris* Garlin, *P. euryptera* Wierzejski, *Synchaeta stylata* Wierzejski, *Synchaeta* sp., *Testudinella mucronata* Gosse, *Pempholix complanata* Gosse, *Hexarthra mira* Hudson, *Filinia longiseta* Ehrenberg, *F. terminalis* Lange, *Conochilus unicornis* Rosslet, *Diglena* sp., *Monostylla lunaris* Ehrenberg, *Monostylla* sp., *Dinoccharis tetractis* Ehrenberg.

### Copepoda

*Cyclops vicinus* Uljanin, *C. strenuus* Fischer, *Acanthocyclops vernalis* Fischer, *A. bicuspidatus* Claus, *Mesocyclops leuckarti* Claus, *M. crassus* Fischer, *Eurytemora velox* Lilljeborg, Harpacticoida.

### Cladocera

*Diaphanosoma brachyurum* Lievin, *D. brachyurum* var. *frontosa* Lilljeborg, *D. dubia* Manuilova, *Daphnia longispina typica* O. F. Müller, *D. longispina littoralis* G. O. Sars, *D. longispina cavifrons* Lilljeborg, *D. hyalina* Leidig, *D. cucullata cucullata* Sars, *D. cucullata apicata* Kurz, *D. cucullata herolinensis* Schödler, *D. pulex middendorffiana* Fischer, *Ceriodaphnia reticulata* Jurine, *C. quadrangula* O. F. Müller, *C. pulchella* Sars, *Moina dubia* Guern et Rich., *M. rectirostris* Leidig, *Scapholeberis mucronata* O. F. Müller, *Bosmina longirostris typica* O. F. Müller, *B. longirostris cornuta* Jurine, *B. longirostris curvirostris* Fischer, *B. longirostris brevicornis* Hellich, *B. longirostris similis* Lilljeborg, *B. lon-*



*girostris pellucida* Stingelin, *Macrothrix laticornis* Jurine, *Peracantha truncata* O. F. Müller, *Rhynchotalona rostrata* Koch., *Alona rectangularis* Sars, *A. quadrangularis* O. F. Müller, *Alona* sp., *Graptoleberis testudinaria* Fischer, *Chydorus sphaericus* O. F. Müller, *Ch. gibbus* Lilljeborg, *Leptodora kindtii* Focke.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качественный состав зоопланктона оз. Змиевский Лиман довольно богат. В нем насчитывалось 88 таксономических единиц, в число которых входило более 60 видов зоопланктеров. Из них коловраток — более 30 видов, ветвистоусых — 23 вида и веслоногих — 7 видов. Преобладающими по количественному развитию были обычные, широко распространенные эвритопные виды — *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Brachionus calyciflorus*, *Br. angularis*, *Pompholyx complanata*, *Filinia longiseta*, *Polyarthra vulgaris*, *Asplanchna priodonta*, *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Acanthocyclops vernalis*. В планктоне немалое значение имели также озерные формы — *Daphnia cucullata*, *D. hyalina*, *D. longispina*, *Leptodora Kindtii*, *Cyclops vicinus*, *Eurytemora velox*. Качественный состав зоопланктона оз. Змиевский Лиман можно охарактеризовать как озерно-прудовой эвтрофного типа.

Исследование сезонной динамики зоопланктона показало, что в течение вегетационного периода (май — октябрь) остаточная продукция его была довольно высокой. Биомасса зоопланктона колебалась в этот период в 1963 г. от 0,5 до 16,1 г, в 1964 г. — от 0,617 до 12,6 г на 1 м<sup>3</sup> воды (в среднем 1,07—6,82 г). Отмечалось постоянное преобладание наиболее ценных в пищевом отношении для рыб ветвистоусых и веслоногих ракообразных. Поэтому оз. Змиевский Лиман можно считать ценным водоемом для разведения в нем рыб, использующих зоопланктон в качестве пищи.

Спуск теплых вод Змиевской ГРЭС в Змиевский Лиман оказывал незначительное влияние на повышение температуры воды в озере, которое проявлялось главным образом в западной его части больше в холодное время года и не превышало 2—3°. Это повышение температуры положительно влияло на развитие некоторых зоопланктеров. Так, в зимние месяцы 1963 и 1964 гг. численность *Bosmina longirostris* была соответственно в 11 и 27 раз больше в западной части озера, чем у водозабора.

Аналогичное явление в менее яркой форме было выражено у *Bosmina longirostris* и в ноябре. В то же время большое скопление холодолюбивого *Cyclops vicinus* со всеми стадиями его развития было отмечено на ст. 1 и 3 с более низкой температурой. В теплое время года в мае 1962 и 1963 гг. в западных участках озера при доминировании *Bosmina longirostris* планктон был в 2—3 раза богаче, чем на остальных (рис. 2, 3). Однако в мае 1964 г. такая закономерность уже не проявлялась.

В другие месяцы исследования часто не отмечалось преобладания тех или иных видов в западной части озера и обычно наблюдалась довольно пестрая картина горизонтального распределения зоопланктона с максимумами на различных участках озера.

Надо полагать, что в таком крупном водоеме, каким является Змиевский Лиман, в результате разнообразных сочетаний биотических и абиотических факторов в разных участках создаются различные изменяющиеся экологические условия, в связи с чем и наблюдается в нем большая неоднородность горизонтального и вертикального распределения зоопланктона. Эта неоднородность может зависеть, в частности, и от динамики водных масс, связанной с циркуляцией нагретых вод в озере и поступлением воды через канал р. Сев. Донец — оз. Змиевский Лиман.

#### ЛИТЕРАТУРА

Амелина Л. Г. Питание молоди карповых в пойменных водоемах дельты р. Волги. — В кн.: Тр. ВНИРО, 16. М., 1941.

Гаевская Н. С. О методах выращивания живого корма для рыб. — В кн.: Тр. Моск. техн. ин-та рыбн. промысл. им. Микояна. М., 1941.

Гаевская Н. С. Трофологическое направление в гидробиологии. — В кн.: Сборник памяти акад. С. А. Зернова. М. — Л., 1948.

Грезе Б. С. Материалы по продуктивности зоопланктона в Валдайском озере. — Изв. ВНИОРХ, 26, 2. Л., 1948.

Дедусенко-Шеголева Н. Т. Микрофлора озера Лиман. — Русск. архив протистологии, 6, 1—4, 1927.

Зеликман А. Плодовитость *Cyclops serrulatus* Fischer в зависимости от температуры. — Зоол. журн., 23, 6, 1944.

Мануйлова Е. Ф. Некоторые данные о динамике численности ветвистоусых рачков в озерах в связи с температурным и пищевым фактором. — В кн.: Тр. проблемн. и тематич. совещаний ЗИН, 2. М. — Л., 1954.

Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки (*Cladocera*) фауны СССР. «Наука», М., 1964.

Мельников Г. Б. Питання про дійсну біомасу зоопланктону. — В кн.: Зап. Дніпропетр. держ. ун-ту. Дніпропетровськ, 1936.

Мордухай-Болтовской Ф. Д. Материалы по среднему весу водных беспозвоночных бассейна Дона. — В кн.: Тр. проблемн. и тематич. совещаний ЗИН, 2. М. — Л., 1954.

Мордухай-Болтовская Э. Д. О влиянии температуры на партеногенетическое размножение *Bythotrephes*. — Бюлл. Ин-та биологии водохранилищ, 5. М., 1959.

Пирт А. С. О студенистых водорослях Змиевского Лимана. — В кн.: Протоколы собрания Харьков. губерн. статистич. комиссии. Харьков, 1863.

Прошкина-Лавренко А. И. Интересный случай цветения озера Лиман Харьковской области. — Советская ботаника, 4, 1936.

Рейнгарт Л. В. Отчет об экскурсии в Белгород и окрестности Змиева. — В кн.: Тр. О-ва испыт. природы при Харьковском ун-те, 1-2. Харьков, 1870.

Родина А. Г. Опыты по питанию *Daphnia magna*. — Зоол. журн., 25, 3, 1946.

Родина А. Г. Водоросли как пища *Cladocera*. — ДАН, 59, 2, 1948.

Салимовская-Родина А. Г. Бактерии и дрожжевые грибки как пища для *Cladocera*. — ДАН, 29, 3, 1940.

Шкорбатов Л. А. 25 років Донецької гідробіологічної станції ім. проф. Арнольдї.— В кн.: Тр. Донецької гідробіол. ст., 1. Харків, 1940.

Янушкевич А. Материалы по альгологии Харьковской губернии.— В кн.: Тр. О-ва испытат. природы при Харьковском ун-те, 25. Харьков, 1891.

Mortimer C. H. Untersuch über den generationswechsel bei Cladoceren.— Naturwissenschaft, 26/28, 1935.

Papanicolaou G. Experimentelle Untersuchungen über die Fortpflanzungsverhältnisse der Daphniden.— Biol. Centralblatt, 30, 1910.

## **ЗООПЛАНКТОН ВОДОЕМОВ — ОХЛАДИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ УКРАИНЫ**

*М. Ф. ПОЛИВАННАЯ, О. А. СЕРГЕЕВА*

В водоемах-охладителях под влиянием сброса теплообменных вод электростанций создаются особые температурные условия, которые влияют на гидробиологический режим этих водоемов.

В литературе имеются сведения об исследовании гидробиологического режима водоемов-охладителей, однако таких работ немного (Markowski, 1958; Wurtz Charles, 1961; Кузьмина, 1961; Стангенберг, 1967, и др.).

Марковский, например, отмечает, что животные организмы могут жить и размножаться в прудах-охладителях, хотя условия окружающей среды в них сильно нарушены. Массовое развитие различных видов животных в прудах-охладителях подтверждает это предположение. Одинаковый качественный и количественный состав беспозвоночных животных в воде, поступающей в систему охлаждения и выходящей из нее, свидетельствует о том, что организмы хорошо переносят повышение температуры, давление и бурное перемешивание при прохождении через систему охлаждения. В прудах-охладителях встречаются яйценосные самки и их молодь. Это указывает на то, что организмы способны размножаться в прудах-охладителях.

В работе Вюртца Чарльза рассмотрено возможное влияние на живые организмы поступления в реки горячих стоков. Указывается, что неблагоприятное действие таких стоков следует ожидать только в жаркое время года.

М. Стангенберг, проводя исследования на р. Ныся Лужицкая, отмечает, что повышение температуры в реках вызывает изменения в составе растений и животных и тем самым влияет на хозяйственные ресурсы и может вызвать как положительные, так и отрицательные последствия. В результате повышения температуры воды в реке в июне, июле, августе (до 36°) уменьшается количество видов в растительном планктоне, а также число особей в животном планктоне; происходит массовое развитие организмов, количество которых в реке было большим, а также появление новых видов для данной реки. Согласно Стан-

генбергу, прогревание воды в реке вызывает далеко идущие изменения в составе ее биоценозов.

М. Ф. Кузьмин, проводивший исследования на Ижевском водохранилище, отмечает, что использование водохранилища, имеющего большую водную массу, для спуска охлаждающих вод тепловых электростанций при прямоточном снабжении не вызывает значительных изменений в жизни водохранилища.

В работе И. К. Ривьер (1968) о влиянии сбросных вод Конаковской ГРЭС на зоопланктон Иваньковского водохранилища отмечается, что в водоеме в результате чрезмерного нагрева поверхностных слоев наблюдается уход зоопланктеров в летний период на глубину, а также максимальное их количество в участках, не подверженных обогреву.

Т а б л и ц а 1  
Количество обработанных проб по водоемам—охладителям ГРЭС Украины

Водоем-охла- дитель	1965 г.				1966 г.				1967 г.			
	Фев- раль	Ап- рель	Июль	Ок- тябрь	Фев- раль	Ап- рель	Июль	Ок- тябрь	Фев- раль	Ап- рель	Июль	Ок- тябрь
Змиевская			50	14	5	15	12	11				
Зуевская	4	6	11	3	5	5	6	6				
Кураховская	11	8	10	6	5	16	14	7	22	15	36	22

Целью нашей работы было выяснить влияние сброса тепло-обменных вод ГРЭС на видовой состав, динамику численности и биомассу зоопланктона некоторых водоемов Украины в разные сезоны и годы.

Наши исследования являются частью комплексных исследований, проводимых отделом санитарной гидробиологии Института гидробиологии АН УССР. Материалом для данной статьи служили посезонные сборы зоопланктона на водоемах—охла-дителях Зуевской, Кураховской и Змиевской ГРЭС. Всего об-работано 325 проб, количественных—232, качественных—93. Распределение материала по годам и водоемам представлено в табл. 1.

В 1965—1966 гг. пробы зоопланктона отбирали, зачерпывая 10-литровым ведром 100 л воды и процеживая ее через планк-тонную сеть с газом № 58. В придонных слоях сбор производил-ся планктоночерпачком (объем 12,5 л). В 1967 г. на водоеме—охладителе Кураховской ГРЭС на каждой станции проводили тотальный сбор проб зоопланктона.

Гидробиологические станции в водоеме-охладителе соответст-вовали участкам с максимальной и минимальной температурой, а контролем для них служили участки водоема, наиболее уда-ленные от сбросного канала. На водоеме—охладителе Курахов-



ской ГРЭС контролем служила Ильинская часть водохранилища, расположенная выше по течению реки и отделенная от водоема-охладителя насыпной дамбой.

В результате обработки полученных материалов было установлено, что видовой состав зоопланктона исследованных водоемов — охладителей ГРЭС характеризуется небольшим набором видов и в основном сходен с видовым составом необогреваемых водоемов этой зоны. В зоопланктоне представлены эвритермные и теплолюбивые виды — *Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*, *Mesocyclops crassus*, *Mesocyclops leuckarti* и др. В зависимости от типа водоема набор видов зоопланктона, а также их количественное развитие неодинаковы.

#### ЗУЕВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

За время исследования в водоеме — охладителе Зуевской ГРЭС обнаружено 35 видов зоопланктона, но по годам количество их колебалось от 26 в 1965 г. до 30 в 1966 г.

В составе зоопланктона Зуевского водохранилища существенное значение имели коловратки и веслоногие ракообразные, что указывает на речной характер зоопланктона. Кроме того, встречались в нем и типично-прудовые и озерно-прудовые формы, такие как *Notholca acuminata*, *Lecane luna*, *Daphnia cucullata*, *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Eudiaptomus graciloides*.

Ведущее место в видовом составе занимали коловратки — 60% общего количества видов, по сезонам — 55—83%. Ведущими среди коловраток были представители сем. Brachionidae — *Brachionus calyciflorus*, *Br. angularis*, *Br. quadridentatus*, а также представители других семейств — *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Filinia longiseta*. Менее разнообразно представлены две группы зоопланктона. Так, из 8 видов ветвистоусых ракообразных, что составляет 23% общего числа видов, обычны в планктоне только 2 вида — *Daphnia cucullata* и *Bosmina longirostris*. А такие виды, как *Diaphanosoma brachyurum*, *Alona rectangula*, *Pleuroxus aduncus*, встречаются в планктоне спорадически как в центральной, так и в прибрежной зоне, никогда не достигая большой численности.

Веслоногие ракообразные представлены 6 видами, что составляет 17% всех видов. Доминирующее положение среди копепод занимают *Mesocyclops crassus* и *Eudiaptomus graciloides*. Круглогодично встречаются все доминирующие коловратки, *Bosmina longirostris*, *Mesocyclops crassus*. Только зимой были обнаружены *Notholca acuminata*, *Trichotria* sp. В теплое время года встречаются *Brachionus falcatus*, *Brachionus diversicornis*, *Keratella valga*, *Lecane luna*, *Euchlanis* sp., Asplanchnidae, *Synchaeta* sp., *Hexarthra mira*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia*

*cuscollata*, *Moina micrura*. Различий по видовому составу между участками водоема с различной степенью обогрева за исследованный период не наблюдалось.

Благодаря круглогодичному незамерзанию водоема несколько сглаживаются сезонные изменения в видовом составе зоопланктона. Так, теплолюбивая форма *Mesocyclops crassus*, встречающаяся в других водоемах только в теплое время года, в Зуевском водохранилище обнаруживается круглый год. Общая численность зоопланктона по годам, сезонам и станциям

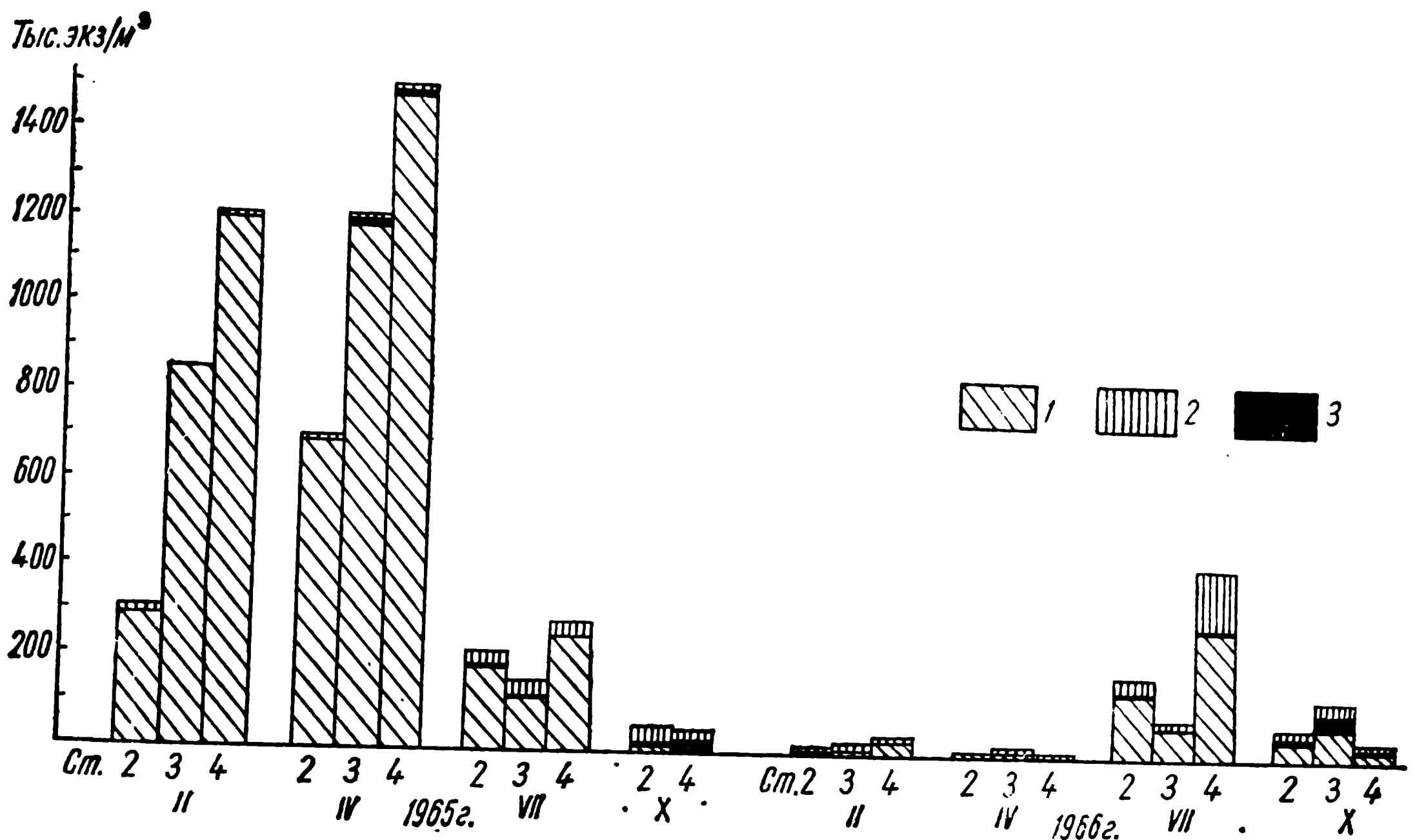


Рис. 1. Погрупповая динамика численности зоопланктона Зуевского водохранилища:

1 — коловратки; 2 — веслоногие ракообразные; 3 — ветвистоусые ракообразные.

значительно колебалась, что обуславливалось главным образом колебаниями численности коловраток. Ветвистоусые и веслоногие ракообразные имели подчиненное значение (рис. 1).

Более высокие показатели численности коловраток по сравнению с 1966 г. отмечались в 1965 г. Это было связано с массовым развитием в зимний период *Keratella quadrata*, численность которой в среднем на водоеме составила 165 тыс. экз/м³ и *Brachionus angularis* с численностью 258 тыс. экз/м³, и весной *Brachionus calyciflorus*, причем численность последней составляла 290 тыс. экз/м³, *Keratella quadrata* — 234 тыс. экз/м³.

В динамике количественного развития зоопланктона за период исследования подъемы приходились на весну 1965 г. и лето 1966 г. (рис. 2). Доминирующими организмами были *Brachionus calyciflorus* и *Mesocyclops crassus*. Такие подъемы обусловлены рядом факторов, среди которых большое значение имели ход весны и в связи с этим прогрев воды, а также условия питания

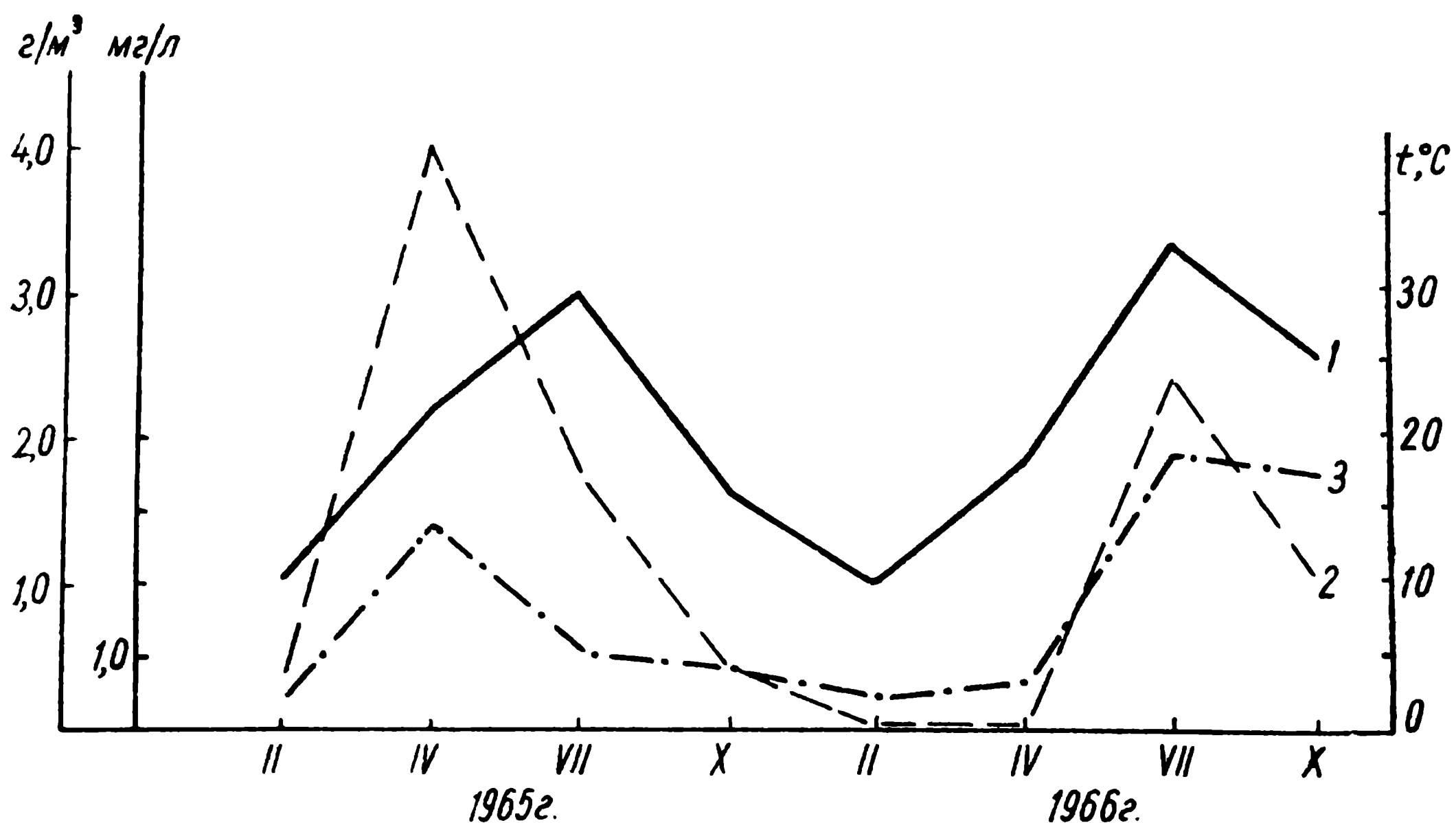


Рис. 2. Динамика биомассы зоопланктона, протококковых водорослей и температуры водоема — охладителя Зуевской ГРЭС:  
1 — температура; 2 — биомасса зоопланктона; 3 — биомасса протококковых водорослей.

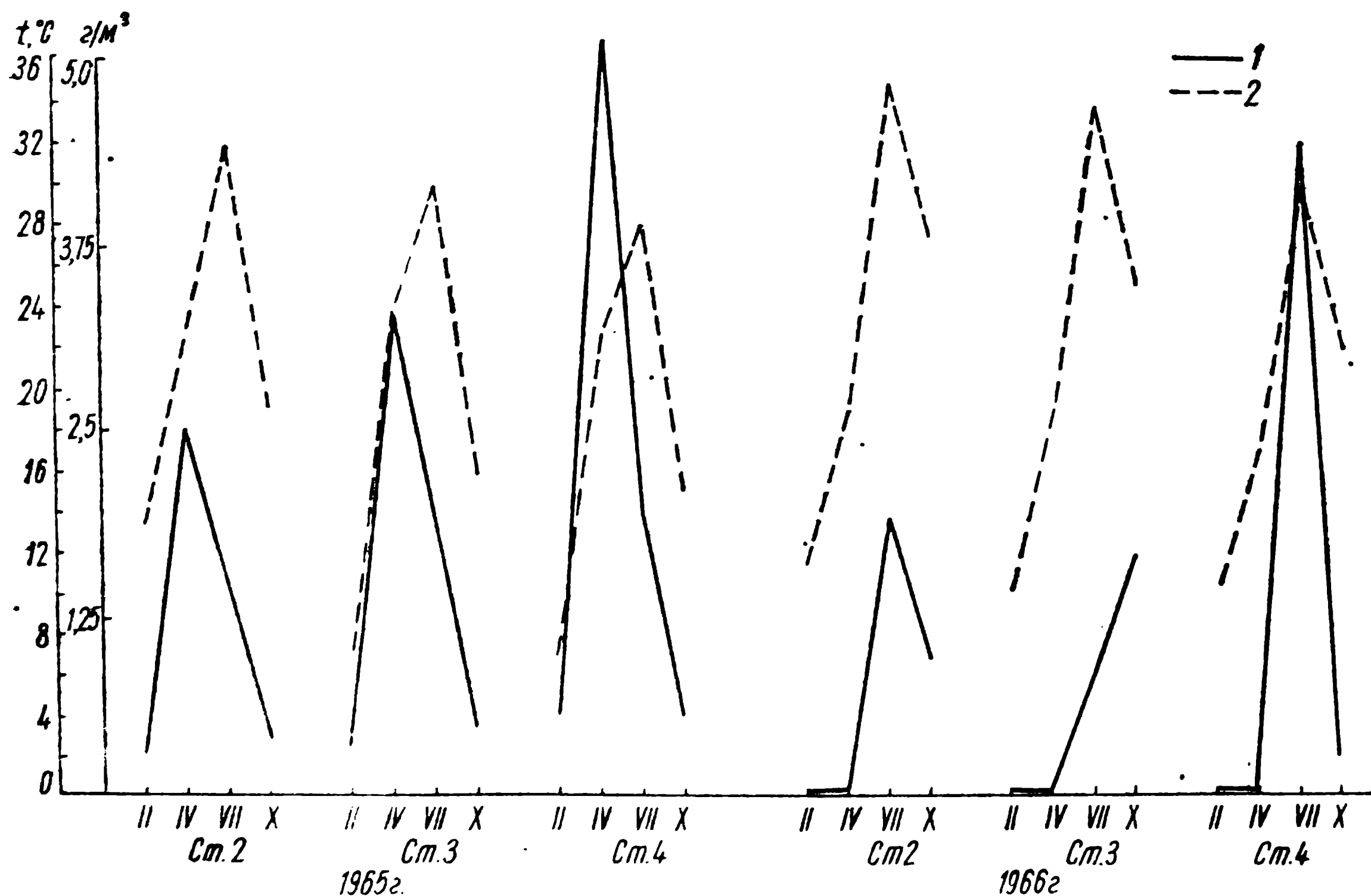


Рис. 3. Сезонная динамика биомассы зоопланктона по участкам Зуевского водохранилища в зависимости от температуры:  
1 — биомасса; 2 — температура.

организмов (наличие протококковых водорослей и бактерий). На рис. 2 хорошо видна прямая связь развития зоопланктона с развитием протококковых водорослей.

По мере удаления от сбросного канала, т. е. с понижением температуры, увеличивается биомасса зоопланктона (рис. 3). Эта зависимость была выражена в оба года. Данные, касающиеся развития зоопланктона Зуевского водохранилища за два года, представлены на табл. 2.

Сезонная динамика зоопланктона в Зуевском водохранилище (1965—1966 гг.) Таблица 2

Год	Показатель	Февраль	Апрель	Июль	Октябрь	Средняя за год	Средняя за вегетационный период
1965	Температура, °С	10,7	23	30,5	16,7	20,2	23,4
	Биомасса, г/м³	0,30	3,08	1,70	0,45	1,38	1,74
1966	Температура, °С	10,7	18,4	32,9	24,8	21,7	25,3
	Биомасса, г/м³	0,02	0,01	2,40	0,90	0,83	1,10
Среднее за два года	Температура, °С	10,7	20,7	31,7	20,7	20,9	24,3
	Биомасса, г/м³	0,16	1,55	2,05	0,67	1,10	1,40

Из табл. 2 видно, что развитие зоопланктона по сезонам за два исследованных года происходило неодинаково. Так, если в 1965 г. зимне-весенний период характеризовался довольно высокими показателями биомассы зоопланктона, то развитие зоопланктона зимой — весной 1966 г. было крайне бедным. Летне-осенние показатели биомассы зоопланктона 1966 г. в 1,5—2 раза выше, чем в 1965 г. Это связано со значительным развитием ракообразных, особенно копепод в 1966 г. Осенние, несколько большие показатели связаны с тем, что осень 1966 г. была теплая и развитие зоопланктона в водоеме соответствовало летнему уровню. Средняя на водоем биомасса зоопланктона за два года исследования составляла 1,1 г/м³, а средняя за вегетационный период — 1,42 г/м³ соответственно при температуре 20,9 и 24,3°.

Ниже приведена санитарная характеристика (в %) качественного состава и количественного развития зоопланктеров Зуевского водохранилища за 1965 г. по системе Зелинки — Марвана.

Степень са- пробности	Фев- раль	Ап- рель	Июль	Ок- тябрь
х	3,7	6,8	0,15	6,2
О	5,4	15,1	1,3	14,7
β	49,8	51,4	50,1	52,4
α	41,0	26,6	48,4	26,6
ρ	0,05	0,04	—	—



Зуевское водохранилище, как видно из приведенных данных, характеризуется как  $\beta$ -мезосапробный водоем со значительным удельным весом  $\alpha$ -мезосапробных зоопланктеров.

### Оз. ЛИМАН — ВОДОЕМ — ОХЛАДИТЕЛЬ ЗМИЕВСКОЙ ГРЭС

Видовой состав зоопланктона оз. Лиман определяется, с одной стороны, составом видов, полученных из источника водоснабжения (Сев. Донец), с другой — условиями существования в водоеме, обеспечивающими развитие в водоеме-охладителе видов аборигенов. Для водоема характерно сравнительно небольшое видовое разнообразие организмов зоопланктона — 34 вида. Из них коловраток — 18, ветвистоусых ракообразных — 8, веслоногих ракообразных — 6 видов и 2 массовых вида простейших \*. Особенностью зоопланктона оз. Лиман является то, что ряд теплолюбивых видов встречается в водоеме круглогодично. Так, в феврале 1966 г. основу биомассы составляли *Daphnia pulex* и *Diaphanosoma brachyurum* — виды теплого времени года.

Весной (в апреле) коловратки имели подчиненное значение, их биомасса составляла  $0,003 \text{ г/м}^3$  (табл. 3). Доминирующее значение имели *Daphnia pulex* и *Eudiaptomus graciloides*, кроме них в большом количестве на отдельных станциях (середина водоема) встречались *Bosmina longirostris* и *Cyclops vicinus*. Зоопланктон в количественном отношении в апреле был довольно богат ( $3,15 \text{ г/м}^3$ ), однако горизонтальное распределение его по озеру отличалось значительной неоднородностью. Наиболее бедным оказался район озера возле канала подкачки воды. Наиболее высокое количественное развитие организмов зоопланктона было посередине озера. Общая численность составляла  $254\,500 \text{ экз/м}^3$ , биомасса —  $18,31 \text{ г/м}^3$ , причем 90% ее приходилось на *Daphnia pulex*.

В конце июня 1965 г. в оз. Лиман имело место интенсивное количественное развитие *Daphnia magna*, которая в изобилии была обнаружена в источнике водоснабжения. В водоеме-охладителе этот вид дал колоссальную биомассу с максимальными показателями в наиболее обогреваемых участках.

При непосредственном взвешивании (по методике Уломского) осадка состоящего в основном из дафний, биомасса составляла  $57—378 \text{ г/м}^3$ . Интенсивное развитие дафний было непродолжительным. Биомассу определяли непосредственным взвешиванием,

---

\* В настоящем сборнике в статье А. З. Мирошниченко изложены результаты исследований по зоопланктону оз. Лиман за 1962—1963 гг. Сбор материала в эти годы производился здесь более регулярно, чем в последующее время работы на водоеме.

поэтому эти показатели не вошли в сводные цифровые материалы за два года. Кроме этого вида встречались в небольшом количестве (преимущественно молодь) *Daphnia pulex* и единично *Keratella quadrata*.

На протяжении всего лета 1965 г. *Daphnia magna* была ведущим видом в зоопланктоне, обуславливая значительную долю биомассы. К началу июля имело место уменьшение ее численности по сравнению с июньским, затем ее количество постепенно возрастало, и второй максимум в развитии наблюдался в конце июля, когда численность составляла 27 400 экз/м<sup>3</sup>, биомасса — 11 г/м<sup>3</sup>.

В конце июля и в августе помимо *D. magna* большую численность дали *Diaphanosoma brachyurum*, *Bosmina longirostris* и *Eudiaptomus graciloides*. Коловратки в летнем зоопланктоне имели незначительный удельный вес с небольшой биомассой.

Летом 1966 г. (август) руководя-

Таблица 3

Погрупповое количественное развитие зоопланктона в водоеме—охладителе Змиевской ГРЭС в разные сезоны (в  $\frac{\text{экз/м}^3}{\text{г/м}^3}$ )

Группа организмов	Весна			Лето			Осень		
	18,2° C	15,3° C	14,8° C	30,5° C	27,1° C	27,0° C	21° C	17,0° C	15,5° C
Rotatoria	1157 0,003	9316 0,003	4800 0,002	2050 0,005	4300 0,022	1000 0,005	1370 0,002	1558 0,001	450 0,004
Cladocera	11082 1,09	69616 6,10	10900 0,80	25275 1,89	83225 5,83	53900 2,35	40287 6,62	35635 3,42	70350 0,76
Corepoda	8764 0,30	23116 0,80	13600 0,35	16587 0,26	48855 1,86	26150 1,33	102550 2,95	44040 1,38	90000 2,15
Всего зоопланктона	21003 1,39	102048 6,90	29300 1,15	43912 2,16	136380 7,71	81050 3,69	144207 9,57	81233 4,80	160800 2,91
В среднем на водоем		50783 3,15			87114 4,52			122737 6,33	

шими видами в планктоне были *Diaphanosoma brachyurum*, *Mesocyclops crassus*, большую численность в центральных участках озера давала также *Bosmina longirostris*. В среднем биомасса организмов зоопланктона в августе 1966 г. составляла 5,28 г/м³, в августе 1965 г.— 3,7 г/м³.

Максимальное количественное развитие организмов в летнее время имело место в центральных участках водоема (см. табл. 3), а наибольшее разнообразие отмечено в районе подкачки воды из Сев. Донца. Суммарная численность организмов зоопланктона в августе 1966 г. по отдельным станциям составляла 44—209,5 тыс. экз/м³, биомасса — 1,07—8,65 г/м³, в 1965 г.—соответственно 24,6—54,6 тыс. экз/м³ и 1,3—6,7 г/м³. По мере удаления от района обогрева отмечалось увеличение суммарных количественных показателей зоопланктонных организмов.

Т а б л и ц а 4

Вертикальное распределение зоопланктона (в тыс. экз/м³) 15.VII 1965 г.  
на оз. Лиман

Горизонт лова	Температура, °С	Cladocera	Copepoda	Rotatoria	Всего зоопланктона
Вблизи водослива					
Поверхность	26,5	11 500	14 300	2200	28 000
Придонный слой	26,0	195 667	171 000	29 333	396 000
Середина озера					
Поверхность	25,5	31 700	136 100	4800	172 600
Придонный слой	25,0	3547 667	67 666	4000	3619 332

Помимо неоднородности показателей в горизонтальном направлении для водоема-охладителя отмечено явление массового скопления организмов при высокой летней температуре в придонных слоях воды.

В табл. 4 дана погрупповая и суммарная численность организмов зоопланктона за 15 июля 1966 г. для двух станций озера.

Приведенные в табл. 4 данные свидетельствуют о том, что в придонных слоях в районе обогрева суммарная численность зоопланктона больше в 14 раз, чем в поверхностных, на середине озера — в 21 раз. Это говорит о том, что зоопланктон, реагируя на высокую летнюю температуру и циркуляцию водной массы, уходит в придонные слои воды.

В октябре отмечается наибольшее количество зоопланктона, хотя в это время преобладают другие по сравнению с летом виды. В октябре 1966 г. высокой численностью характеризуется

*Chydorus sphaericus*, а также молодь циклопов. Численность хидоруса по озеру составляла 34,9 тыс. экз/м<sup>3</sup>, или 62% численности ветвистоусых ракообразных. Следующим массовым видом из ветвистоусых ракообразных была *Bosmina longirostris*.

В октябре 1965 г. ведущими видами в планктоне были *Daphnia pulex* и Diaptomidae. На отдельных станциях попадались также *Daphnia magna*, повсеместно встречались *Chydorus sphaericus* и циклопы, однако количество последних не было таким высоким, как в 1966 г.

Численность зоопланктеров в октябре колебалась в пределах 81,0—160,8 тыс. экз/м<sup>3</sup>, биомасса — от 2,9 до 9,5 г/м<sup>3</sup>. Разница по годам заключалась в преобладании ветвистоусых в 1965 г. и веслоногих в 1966 г.; этим определяется и биомасса — более высокая в первом случае (8,2 г/м<sup>3</sup>) по сравнению со вторым (4,6 г/м<sup>3</sup>). Средняя биомасса зоопланктона на водоем за период исследования составляла 4,57 г/м<sup>3</sup>.

#### КУРАХОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

В Кураховском водохранилище обнаружено 38 видов зоопланктеров: коловраток — 19, ветвистоусых ракообразных — 10, веслоногих — 9. По годам видовой состав зоопланктона подвержен некоторым изменениям. Процент общности видового состава зоопланктона Кураховского водохранилища за 1965—1967 гг. составлял 60%. В Ильинской части водохранилища было обнаружено 34 вида зоопланктеров: коловраток — 17, ветвистоусых ракообразных — 8, веслоногих ракообразных — 9. В Терновской части водоема было найдено также 34 вида зоопланктеров: коловраток — 18, ветвистоусых ракообразных — 9, веслоногих — 7. Только в Терновской части были обнаружены *Brachionus diversicornis*, *Conochilus*, *Alona costata* и только в Ильинской части — *Brachionus falcatus*, *Macrocylops fuscus*, *Acanthocyclops viridis*.

При сравнении видового состава зоопланктона необогреваемой и обогреваемой частей Кураховского водохранилища за период исследования, т. е. за три года, видно, что он характеризуется большим процентом общности (79).

Из табл. 5 видно, что наименьший процент сходства (40—47%) наблюдается в зимний период. Это связано с тем, что коловратки зимой более разнообразны в видовом отношении в обогреваемой Терновской части водохранилища. В остальное время года процент сходства видового состава зоопланктона в двух частях

Таблица 5  
Процент общности видового состава зоопланктона Терновской и Ильинской частей по сезонам

Годы	Февраль	Апрель	Июль	Октябрь
1965	40	68	53	61
1966	—	70	62	77
1967	47	76	66	66



водохранилища довольно высокий — от 53 до 77%. К числу доминантных видов относятся *Cyclops vicinus*, *Mesocyclops crassus*, *Eurytemora velox*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia cucullata*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Brachionus calyciflorus*, *Keratella quadrata*. Круглогодично встречаются *Brachionus calyciflorus*, *Keratella quadrata*, *Filinia longiseta*, *Chydorus sphaericus*, *Eurytemora velox*.

К видам, которые встречаются только зимой, ранней весной

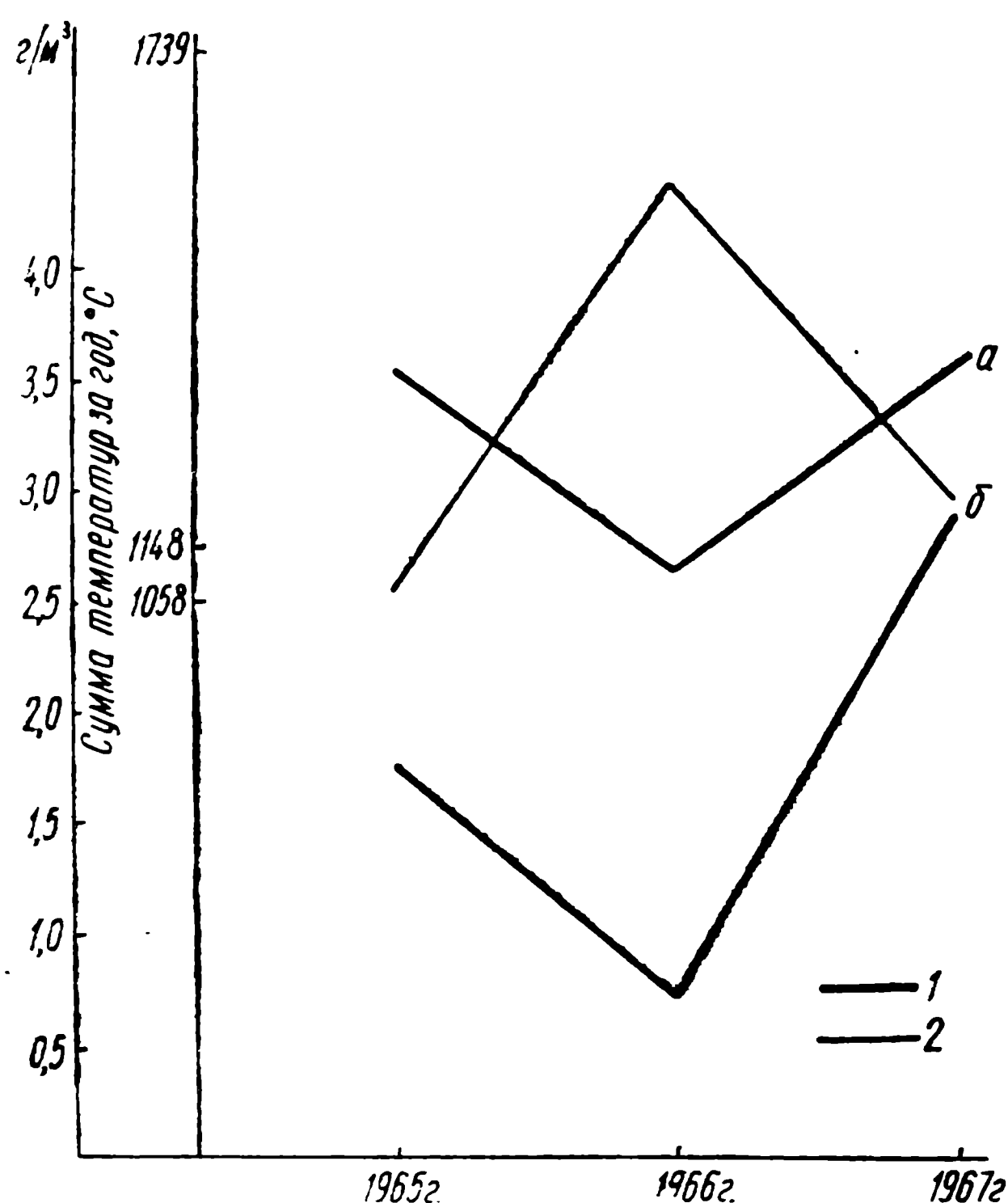


Рис. 4. Динамика биомассы зоопланктона и температуры Кураховского водохранилища за вегетационный период в разные годы:

1 — биомасса; 2 — температура; а — Ильинская часть водохранилища; б — Терновская часть водохранилища.

и поздней осенью, относятся *Notholca acuminata*, *N. striata*, *Cyclops vicinus*, а такие, как *Diaphanosoma brachyurum*, *Mesocyclops crassus*, *Mesocyclops leuckarti*, встречаются только в теплое время года. Зимой и весной преобладают в зоопланктоне веслоногие ракообразные, летом и осенью ведущая роль принадлежит ветвистоусым рачкам. Таким образом, сброс теплообменных вод электростанций не влияет существенным образом на видовой состав зоопланктона, поэтому резких различий в видовом составе между Терновской и Ильинской частями водохранилища не отмечалось во все сезоны года, за исключением зимнего периода, когда подогрев воды несколько стимулировал развитие коловраток в Терновской части водохранилища.

Количественное развитие организмов зоопланктона в водоеме-охладителе как по отдельным годам исследования, так и по сезонам подвергается существенным изменениям. Сопоставление биомассы зоопланктона по трем годам исследования с суммой средних суточных температур воздуха за каждый год свидетельствует об обратной зависимости: минимальная биомасса зоопланктона наблюдалась в обеих частях водохранилища в 1966 г., когда сумма температур была наиболее высокой. В Терновской части водохранилища, где накладывается нагрев в результате сброса теплообменных вод, снижение биомассы зоопланктона происходит более резко (рис. 4). Это свидетельствует о том, что ведущее значение в динамике биомассы зоопланктона по годам принадлежит погодному фактору. Нужно, однако, от-

метить, что этот фактор имеет ведущее значение для водоемов с умеренным перегревом \*. А тепло, получаемое в результате сброса теплых вод электростанцией, для данного типа водоемов имеет второстепенное значение. Ниже приводим особенности сезонной динамики зоопланктона.

Динамика количественного развития зоопланктона по группам в Кураховском водохранилище зимой (в  $\frac{\text{экз/м}^3}{\text{г/м}^3}$ ) Таблица 6

Год	Ст. 2				Ст. 3				Ст. 6			
	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланк-тона	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланк-тона	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланк-тона
Температура 2°					Температура 8,2°				Температура 1,1°			
1965	3332 0,002	1701 0,04	42869 4,25	47902 4,29	586 0,001	2217 0,04	5712 0,40	8515 0,44	841 0,0004	176 0,002	1728 0,15	2745 0,15
Температура 8,5°												
1966					30820 0,014	930 0,012	2500 0,022	34250 0,048				
Температура 1,1°					Температура 5,8°				Температура 1,5°			
1967	7381 0,003	338 0,004	13564 0,45	21483 0,46	6178 0,003	178 0,003	4850 0,15	11206 0,15	12661 0,005	80 0,001	8142 0,15	20793 0,15

Зоопланктон зимнего периода характеризуется массовым развитием веслоногих ракообразных — *Cyclops vicinus*. По биомассе они составляют 95—98% общей биомассы зоопланктона. Коловратки по биомассе, а ветвистоусые ракообразные как по численности, так и по биомассе имели подчиненное значение в обеих частях водохранилища. Численность и биомасса зоопланктеров (табл. 6) Ильинской части водохранилища в 1967 г. по сравнению с 1965 г. резко уменьшилась (с 47,9 тыс. экз/м<sup>3</sup> при биомассе 4,29 г/м<sup>3</sup> до 21,5 тыс. экз/м<sup>3</sup> при биомассе 0,46 г/м<sup>3</sup>) за счет снижения количества *Cyclops vicinus*. Биомасса зоопланктона Терновской части в эти годы находилась почти на одном уровне (0,3 и 0,2 г/м<sup>3</sup>). При сравнении биомассы зоопланктона Ильинской части водохранилища с Терновской за зимний период исследования видно, что биомасса зоопланктеров неотепленной части водохранилища в 5 раз выше, чем отепленной части,— 2,4 г/м<sup>3</sup> против 0,44 г/м<sup>3</sup> при температуре соответственно 1,5 и 4,1° (табл. 7).

\* См. статью М. Л. Пидгайко в настоящем сборнике (стр. 19).

Для весеннего зоопланктона характерно уменьшение численности взрослых форм циклопов, появление большого количества молоди, а также *Mesocyclops*, *Ceriodaphnia*, некоторое увеличение видового разнообразия, численности и биомассы ветвистоусых рачков, хотя, как и зимой, они имеют подчиненное значение. Численность коловраток заметно возрастает по сравнению с зимним периодом.

Таблица 7

Сезонная динамика биомассы зоопланктона в Кураховском водохранилище (средние данные за 1965—1967 гг.)

Сезон	Ильинская часть		Терновская часть	
	Температура воды, °С	Биомасса, г/м³	Температура воды, °С	Биомасса, г/м³
Зима	1,5	2,40	4,1	0,44
Весна	11,7	0,84	13,7	0,71
Лето	24,8	4,70	26,9	2,90
Осень	7,8	4,40	15,6	1,03

Биомасса зоопланктеров Ильинской части весной по сравнению с зимой уменьшается в 3 раза, а в Терновской — увеличивается в 1,6 раза (табл. 7). И хотя в разные годы численность зоопланктеров была различной, соотношение биомассы в Терновской и Ильинской частях во все годы находилось почти на одинаковом уровне (табл. 8). При сравнении усредненных данных по количественному развитию зоопланктона весеннего периода можно отметить, что биомасса зоопланктона в Ильинской и Терновской частях была почти одинаковой — 0,84—0,71 г/м³ при температуре 11,7 и 13,7° (табл. 7). Это связано с паводковым сбросом воды из Ильинской в Терновскую часть водоема.

В летний период ведущая роль в зоопланктоне переходит от веслоногих рачков к ветвистоусым — *Daphnia cucullata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia reticulata*. Биомасса появившегося весной *Mesocyclops* летом составляла 0,5—2,9 г/м³. Среди коловраток ведущее место заняли *Brachionus calyciflorus*, *Keratella quadrata*, *Asplanchnidae*, которые более интенсивно развивались в Ильинской части водохранилища, причем виды семейства *Asplanchnidae* преобладали по биомассе, а роды *Brachionus* и *Keratella* — по численности. Показатели количественного развития зоопланктона в летний период наиболее высокие по сравнению с другими сезонами года и колеблются в разные годы от 2,4 до 5,9 г/м³ для Ильинской части и от 0,78 до 5,07 г/м³ для Терновской (табл. 9).

Усредненные данные за летний период свидетельствуют о том, что биомасса зоопланктона Ильинской части превосходит таковую Терновской части в 1,6 раза (см. табл. 7).

Зоопланктон осеннего периода, как и летом, характеризуется доминированием ветвистых ракообразных, появлением *Cyclops vicinus*. Численность и биомасса *Mesocyclops* снижаются в 4—5 раз по сравнению с летом, а численность и биомасса ветвистых ракообразных остается на уровне летнего периода. Биомасса зоопланктона в Ильинской части в разные годы колеблется от 2,85 до 7,16 г/м³, в Терновской — от 0,43 до 2,8 г/м³ (табл. 10).

Биомасса осеннего зоопланктона Ильинской части за все время исследования в 4 раза больше биомассы зоопланктона Терновской части (см. табл. 7).

Количественное развитие зоопланктона в целом и отдельных его представителей зависит от

Таблица 8  
Динамика количественного развития организмов зоопланктона по группам в Кураховском водохранилище весной (в экз/м³)

Год	Ст. 2				Ст. 3				Ст. 6			
	Температура 11,0°				Температура 15,2°				Температура 12,0°			
	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона
	88876 0,22	5451 0,14	37264 0,59	131591 0,95	1290 0,002	1997 0,04	18632 0,56	21919 0,60	35 0,00001	1272 0,03	5103 0,50	6414 0,53
1965	Температура 12,3°				Температура 13,3°				Температура 13,2°			
	43100 0,02	800 0,02	3860 0,11	47760 0,15	13836 0,01	1886 0,02	6586 0,23	22318 0,26	26180 0,02	5600 0,07	3010 0,10	34790 0,19
	Температура 11,9°				Температура 15,5°				Температура 13,2°			
1966	53445 0,03	1489 0,03	85756 1,38	140690 1,44	27545 0,01	882 0,01	63695 1,16	92122 1,18	43182 0,02	595 0,01	85594 1,53	12937 1,56
1967												



Таблица 9  
Динамика количественного развития организмов зоопланктона по группам в Кураховском водохранилище в летнее время  
(в  $\frac{экз/м^3}{г/м^3}$ )

Год	Ст. 2				Ст. 3				Ст. 6			
	Температура 24°				Температура 29,5°				Температура 22, 5°			
	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона
1965	Температура 25,6°				Температура 28,8°				Температура 27,8°			
	93500 0,99	46000 1,01	18000 0,41	157500 2,41	13650 0,20	42875 0,89	12500 0,35	69025 1,44	45500 0,66	101500 3,41	33500 1,00	180500 5,07
1966	Температура 23,4°				Температура 30°				Температура 24,9°			
	25060 0,26	97750 3,32	74150 2,05	196960 5,63	19407 0,11	22810 0,71	37085 0,93	79302 1,75	4080 0,02	11450 0,42	12020 0,34	27660 0,78
1967	Температура 24,9°				Температура 27,8°				Температура 22, 5°			
	30754 0,28	117523 3,51	101894 2,15	250171 5,94	7453 0,10	90322 1,95	152628 2,42	250404 4,47	6292 0,09	82925 2,24	117561 1,78	206778 4,11

Динамика количественного развития организмов зоопланктона по группам в Кураховском водохранилище в осеннее время

Т а б л и ц а 10

( в  $\frac{\text{экз/м}^3}{\text{г/м}^3}$  )

Год	Ст. 2					Ст. 3					Ст. 6				
	Rotatoria		Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона	Rotatoria		Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона	Rotatoria		Cladocera	Copepoda	Всего зоопланктон - тона
	Температура 4,2°					Температура 17,3°					Температура 8,0°				
	67000 0,03	458000 6,90	7000 0,23	532000 7,16		17030 0,14	9695 0,29	13175 0,45	39900 0,88		Данных не получено				
1966	Температура 11,5°					Температура 16,4°					Температура 13°				
	38500 0,06	64500 2,32	15400 0,47	118400 2,85		94000 0,34	16650 0,94	8600 0,21	119250 1,49		111400 0,16	3900 0,12	7100 0,15	122400 0,43	
	Температура 14°					Температура 19,9°					Температура 15,5°				
	51045 0,10	191997 2,6	27954 0,48	270996 3,18		81545 0,27	44831 0,90	35668 0,43	162044 1,60		53440 0,22	67448 1,78	36670 0,81	157558 2,81	

ряда факторов. Немаловажную роль играют глубина, температура, освещенность, пища, состав и эколого-физиологические особенности зоопланктеров. Полученные данные по водоему — охладителю Кураховской ГРЭС подтверждают это положение как в отношении изменения количественных показателей по сезонам, так и по годам (табл. 6, 7, 8, 9, 10; рис. 3), однако имеются определенные закономерные отличия.

Таблица 11

Санитарная характеристика Кураховского водохранилища (в %) за 1965 — 1967 гг. по сезонам

Показате- ли сапроб- ности	Февраль		Апрель		Июль		Октябрь	
	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть
X	8,4	9,1	11,0	11,6	3,0	4,3	10,6	12,5
O	17,3	19,3	23,9	22,3	40,8	35,7	26,6	32,4
β	56,6	60,3	54,7	48,4	48,8	45,6	50,9	46,4
α	17,7	11,3	10,4	17,6	7,1	13,1	11,8	8,7
P	—	—	—	—	0,2	1,2	—	—

Полученные данные последних лет исследований, как и материалы 1953—1956 гг. (Поливанная, 1958), свидетельствуют о том, что пик численности и биомассы организмов зоопланктона приходится на летне-осеннее время, а в отдельные годы подъемы имеют место и в начале лета (конец мая — июнь).

В течение всего периода исследования как численность, так и биомасса зоопланктона более высокие в Ильинской — необогреваемой части водоема. Это можно объяснить составом ведущих видов зоопланктона — *Bosmina longirostris*, *Daphnia cucullata*, *Cyclops vicinus*, *Keratella quadrata*, *Asplanchnidae*, которые в Ильинской части водоема имели более благоприятные условия обитания как по температуре, так и, очевидно, по условиям питания, а более теплолюбивые — *Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia reticulata* преобладали в Терновской части.

Кроме отмеченных факторов, определяющих продукционные возможности зоопланктеров в Терновской части Кураховского водохранилища, следует отметить еще один фактор — воздействия на пелагические организмы циркуляции воды в связи с забором и сбросом ее. Это особенно губительно может сказываться на пелагических озерных элементах зоопланктона.

Анализируя имеющиеся в нашем распоряжении материалы по качественному составу и количественному развитию организмов зоопланктона водоема — охладителя Кураховской ГРЭС в санитарном отношении, мы полагаем, что его можно отнести

к  $\beta$ -мезосапробным водоемам. Выше приведены данные (табл. 11), полученные в результате обработки наших материалов по системе Зелинки и Марвана (Zelinka, Marvan, 1961).

Из табл. 11 видно, то наиболее высокие показатели сапробности во все сезоны года имели  $\beta$ -мезосапробные организмы зоопланктона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составе зоопланктона исследованных водоемов-охладителей преобладают виды эврибионтные, широко распространенные в водоемах Европейской части СССР, а также теплолюбивые и южные элементы фауны. В зависимости от тепловой нагрузки изученные водоемы-охладители по развитию зоопланктона характеризуются определенными отличиями.

В Кураховском водохранилище как слабо проточном водоеме с тепловой нагрузкой  $1-2 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки, когда в самую жаркую декаду температура воды превышает естественную на  $0,5-1,5^\circ$ , состав зоопланктона свойствен водоемам данного типа в пределах соответствующей ландшафтно-климатической зоны. Влияние повышенной температуры на состав зоопланктона ограничивается определенным временем и наиболее выражено летом и зимой. Об этом свидетельствует процент общности видового состава Терновской и Ильинской частей. Весной и осенью он наиболее высокий ( $71,3-68\%$ ), летом — меньше ( $60,3\%$ ). Самые большие различия в составе зоопланктона здесь наблюдаются зимой ( $43,5\%$ ), когда в отепленном водоеме фауна более разнообразна.

Кроме температуры на развитие зоопланктона влияет циркуляция воды. Эти два фактора являются определяющими для смены доминирующих организмов, а следовательно, определяют величину биомассы. Высокий летний нагрев хорошо переносили *Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Mesocyclops crassus*, *Eurytemora velox*, *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus angularis*. *Daphnia cucullata* и *Bosmina longirostris* доминировали в необогреваемой части водохранилища.

По уровню количественного развития зоопланктона водоемы-охладители с небольшой тепловой нагрузкой аналогичны водоемам с естественным температурным режимом. Осредненные данные суммарной биомассы за период исследования по сезонам года минимальны зимой, небольшое повышение отмечается весной, максимум — летом и довольно высокие показатели зарегистрированы осенью. За время исследования в связи с доминированием веслоногих ракообразных и летним уменьшением показателей озерных элементов в зоопланктоне биомасса последнего в течение года была выше в неотепленной части водохранилища. По мере удаления от обогрева в пределах во-



доема-охладителя суммарная биомасса организмов зоопланктона увеличивается.

В водоемах-охладителях с умеренным перегревом и удельной тепловой нагрузкой  $3-4 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки (оз. Лиман, Змиевская ГРЭС) в зоопланктоне доминируют теплолюбивые виды. На протяжении вегетационного периода, который здесь растянут с апреля по октябрь, наблюдается равномерно высокая биомасса зоопланктона с явным преобладанием ракообразных — то веслоногих, то ветвистоусых. Суммарная биомасса за вегетационный период в оз. Лиман значительно выше, чем в проточных водоемах, и составляет в среднем за 2 года  $4,6 \text{ г}/\text{м}^3$ . В период летнего перегрева, а также в результате циркуляции водных масс имеет место концентрация организмов в глубинных слоях воды. Во все сезоны года максимум организмов отмечался на середине озера.

В слабопроточных водоемах с сильным перегревом и удельной тепловой нагрузкой  $5-6 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки при повышении средней температуры воды в жаркую декаду более чем на  $6^\circ$  (Зуевское водохранилище) по сравнению с естественными водоемами по составу и количественному развитию в зоопланктоне на протяжении всего года преобладают коловратки. Развитие ракообразных здесь угнетено, они появляются спорадически на непродолжительное время.

В Зуевском водохранилище менее четко выступают сезонные смены состава зоопланктеров, с наличием типично летних видов — *Brachionus calyciflorus*, *Mesocyclops crassus*, *Daphnia cucullata*, *Ceriodaphnia reticulata*. Для сезонной динамики биомассы зоопланктона характерен или ранний подъем уже в апреле с летне-осенней депрессией или подъем смещается на лето. Суммарная биомасса зоопланктона ниже, чем в водоемах с умеренным нагревом, и составляет в среднем за год  $1,1 \text{ г}/\text{м}^3$ .

По санитарному состоянию исследованные водоемы-охладители относятся к умеренно загрязненным. Наиболее неблагоприятным в санитарном отношении является летний период, когда происходит массовый отход организмов в связи с нагревом и циркуляцией водных масс, о чем свидетельствует уменьшение численности и биомассы зоопланктеров по мере приближения к сбросу теплой воды.

#### ЛИТЕРАТУРА

Кузьмин М. Ф. Гигиеническая оценка Ижевского водохранилища, используемого для спуска циркуляционных (охлаждающих) вод.— В кн.: Гигиена водохранилища. М., 1961.

Поливанная М. Ф. Наслідки гідробіологічних досліджень водосховищ Сталінської області. Повідомлення I.— В кн.: Вісник КДУ, серія біол., 1, 2. К., 1958.

Ривьер И. К. Влияние сбросных теплых вод Конаковской ТЭС на зоопланктон Ивановского водохранилища.— Первая конференция по изучению водоемов бассейна Волги.— В кн.: «Волга-1». Тольятти, 1968.

Стангенберг М. Естественные следствия сброса теплых вод в реки.— В кн.: Санитарная и техническая гидробиология. Мат-лы I съезда Всесоюзного гидробиолог. о-ва. М., 1967.

Markowski S. The cooling water of power stations is a new factor in the environment of marine and freshwater invertebrates.— J. Animal Ecology, 28, 2, 1959.

Zelinka M., Marvan P. Zur Prazisierung der biologischen Klassifikation der Beinheit fließender Gewässer.— Arch. Hydrobiol., 57, H. 3, 1961.

Wurtz Charles B. The effects of heated discharges an aquatic life and water use. — Paper Amer. Soc. Mech. Engrs, NWA-142, 8, 1961.

## ЗООМАКРОБЕНТОС КУРАХОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО ПОДОГРЕВА

М. Л. ПИДГАЙКО

Кураховская ГРЭС мощностью 400 тыс. квт. сбрасывает теплообменные воды в Терновскую часть Кураховского водохранилища. Вышерасположенная по течению Ильинская часть, отделенная от Терновской дамбой, не подвергается подогреву. Удельная тепловая нагрузка Кураховского водохранилища невелика (в пределах  $2 \text{ т} \cdot \text{кал}/\text{м}^2$  в сутки), и перегрев воды у насосной станции в наиболее жаркую декаду не достигает  $3^\circ$ . Грунты в обеих частях водохранилища представлены илами, хорошо промывающимися через шелковый газ № 16. В поверхностном слое грунта Терновского водохранилища отмечается значительная примесь отходов от сжигания угля, поэтому ил имеет черный цвет. Илы Ильинской части более светлые, серые. Литоральная зона довольно узкая, водохранилище имеет каньонообразное ложе. Прибрежная полоса до глубины 2 м зарастает рдестом гребенчатым и пронзеннолистным. Кое-где имеются куртины тростника и камыша. При НПУ побережье до глубины 2,5 м занимает 23% всей площади. Регулярные исследования проводились в трех участках водохранилища: I — наиболее прогретый (станция наблюдения 3), площадь радиусом около 500 м перед сбросом циркуляционной воды с глубиной 4 м; II — необогреваемое Ильинское водохранилище (станция наблюдения 2 в центре) на глубине 4 м; III — центральный участок Терновского водохранилища (станция наблюдения 6), занимающий по температуре промежуточное положение между I и II участками, на глубине 5—6 м. Учет населения литорали производился менее регулярно.

В зообентосе центральной зоны Терновского водохранилища (ст. 6) были обнаружены олигохеты, личинки хирономид и геллейд. Среди олигохет доминировали *Euilliodrillus hammonien-*  
*sis* Mich. и *Tubifex tubifex* Müller. На ст. 3, близко распо-

Погрупповое развитие донной фауны в Кураховском водохранилище в 1967 г. (в экз/мг/м²)

Группа организмов	Февраль		Март		Апрель	
	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть
	Температура					
	2,1	3,6	1,9	3,3	11,3	12,7
Oligochaeta	<u>1869</u> 650	<u>1038</u> 1301,5	<u>390</u> 440	<u>455</u> 800	<u>2160</u> 3273	<u>691</u> 1153
Mollusca	<u>33</u> 744	—	—	<u>15</u> 155	—	—
Gammaridae	—	—	—	—	—	—
Chironomidae larvae	<u>1493</u> 2519	<u>1522</u> 6365	<u>870</u> 4100	<u>1660</u> 8975	<u>986</u> 6246	<u>930</u> 4447
Heleidae larvae	<u>18</u> 2	—	<u>20</u> 19	<u>10</u> 7,5	<u>30,3</u> 113,0	<u>17</u> 106
Chaoborinae larvae	<u>7</u> 10	—	—	<u>5</u> 7,5	—	—
Trichoptera larvae	—	—	—	—	—	<u>10</u> 50
Всего	<u>3420</u> 3925	<u>2560</u> 7666,5	<u>1280</u> 4559	<u>2145</u> 9945	<u>3176,3</u> 9632,0	<u>1638</u> 5706

Примечание. Среднее за период исследования в Ильинской части  $\frac{2404,8}{3905,5}$

ложенной к литорали, кроме того встречался *Psammoryctes barbatus* Grube; среди личинок хирономид преобладали *Chironomus* из группы *semireductus* Lenz и *Procladius* indet. В литорали состав населения был более разнообразным. Кроме указанных встречались в большом количестве *Cryptochironomus conjugens* Kieff, в небольшом — *Polypedilum* из группы *convictum* Walk., *Polypedilum* из группы *nubeculosum* Mg. и другие виды; высшие раки — *Astacus* indet., *Pontogammarus robustoides* Grimm, *Gammarus lacustris* G. O. S.; моллюски — *Valvata piscinalis* Müll., *Radix ovata* Drap., *Limnea*, *Anodonta cygnea* L., *Sphaerium corneum* L., *Planorbis* indet.; личинки ручейников — *Ecnomus tenellus* Ramb., *Limnophilus flavicornis* Fbr.; личинки поденок, стрекоз, жуков и клопов.

В составе зообентоса Ильинской части, в центре на ст. 2 и в литоральной зоне, были обнаружены в основном те же самые

Таблица 1

Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
Ильин- ская часть	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть	Ильин- ская часть	Тернов- ская часть
у дна, °С							
22,7	25,4	22,9	25,4	16,1	19,7	13,9	15,4
$\frac{350}{173,5}$	$\frac{385}{53,5}$	$\frac{80}{4}$	$\frac{2179}{270,25}$	$\frac{910}{510}$	$\frac{145}{40}$	$\frac{3344}{488}$	$\frac{1304}{584}$
—	—	—	—	—	—	—	—
$\frac{5}{25}$	—	—	—	—	—	$\frac{4}{16}$	—
$\frac{30}{1026,5}$	$\frac{228}{1717,5}$	$\frac{410}{841,5}$	$\frac{386}{2333,3}$	$\frac{1490}{3640}$	$\frac{1640}{5405}$	$\frac{2124}{1332}$	$\frac{1694}{7342}$
—	$\frac{5}{9}$	$\frac{35}{77}$	—	$\frac{50}{150}$	$\frac{20}{45}$	$\frac{100}{430}$	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
$\frac{410}{1234}$	$\frac{618}{1780}$	$\frac{525}{922,5}$	$\frac{2564}{2603,55}$	$\frac{2450}{4300}$	$\frac{1805}{5490}$	$\frac{5572}{2766}$	$\frac{3006}{7858}$

в Терновской части —  $\frac{2048}{5864}$ .

виды, что и в Терновской части. Доминирующими среди них в центре были те же виды олигохет, а также *Chironomus* из группы *semireductus* и *Procladius*, а в литорали — *Pontogammarus robustoides*, *Valvata piscinalis*. Таким образом, следует подчеркнуть сходство общего видового состава зоомакробентоса обогреваемой и необогреваемой частей водохранилища и его ведущих видов. Количественное развитие зоомакробентоса по месяцам 1967 г. приведено в табл. 1.

Поскольку большая часть площади водохранилища-охлади-теля (до 77%) занята зоной с глубиной более 2,5 м, сравнение количественного развития донной фауны приводим именно по этой зоне.

Из табл. 1 видно, что перегрев у дна в разные месяцы колеблется от 1,4 до 2,7°, в среднем составляя 1,9°. При таком уме-

Численность и биомасса зоомакробентоса по группам в наиболее отепляемом участке

Группа организмов	Февраль			Март		Апрель				Ию	
	Да										
	18	22	25	1	4	17	21	25	28	16	20
	Температура										
	4,0	4,7	5,4	3,5	6,0	12,0	12,0	13,0	15,5	30,0	26,7

	1967 г.										
Oligochaeta	$\frac{0,5}{0,4}$	$\frac{1,7}{2,9}$	$\frac{0,7}{0,9}$	$\frac{0,2}{0,4}$	$\frac{0,08}{0,02}$	$\frac{0,4}{1,0}$	0	$\frac{0,06}{0,04}$	$\frac{0,04}{0,01}$	0	+
Mollusca	0	0	0	$\frac{0,06}{0,6}$	0	0	0	0	0	0	0
Chironomidae larvae	$\frac{1,3}{2,1}$	$\frac{1,7}{3,4}$	$\frac{0,7}{6,0}$	$\frac{1,8}{8,6}$	$\frac{1,7}{5,6}$	$\frac{0,6}{1,7}$	$\frac{0,6}{0,8}$	$\frac{1,2}{11,6}$	$\frac{1,2}{2,0}$	$\frac{0,06}{0,01}$	$\frac{0,04}{0,02}$
Heleidae larvae	0	0	0	0	$\frac{0,04}{0,03}$	0	$\frac{0,02}{0,07}$	0	0	0	0

Примечание. (+) — единичные экземпляры.

ренном перегреве количественное развитие макробентоса во все сезоны года происходит сильнее в тепловодной Терновской части водохранилища. Однако надо отметить, что имеются участки (ст. 3), где в летний период при сильном нагреве (до 26—30°, при средней температуре за июль — август 26,6°) в течение длительного времени (до двух месяцев) почти полностью исчезают донные животные (табл. 2).

Особенно страдали от высокой температуры олигохеты. Восстановление их численности после летней гибели происходило только к зиме. Личинки хирономид и гелиид, по-видимому, выпадают из состава бентоса на более короткий срок и появляются уже в конце сентября. Живые моллюски на этом участке почти полностью отсутствовали, встречались в небольшом количестве лишь раковины отмерших.

На ст. 6, где температура воды у дна летом ниже (средняя температура за июль — август составляет 24,3°, максимальная достигает 25—26°), все группы донных животных в значительном количестве сохранялись на протяжении всего года.

Весеннее развитие донных животных после зимнего оцепенения в отепленной части начинается примерно на месяц раньше, чем в неотепленной, и заканчивается осенью на месяц поз-



Кураховского водохранилища в 1967 и 1968 гг. (в  $\frac{\text{тыс. экз}}{\text{г}} / \text{м}^2$ ) Таблица 2

ль		Август					Сентябрь		Октябрь					Февраль	
та															
24	28	1	5	20	31	9	24	2	7	11	15	19	17	21	
воды у дна, °C															
24,4	25,4	26,6	26,4	25,4	28,0	23,2	24,9	19,4	15,4	20,4	16,0	16,2	4,0	7,3	
														1968 г.	
0	0	0	0	+	0	0	0	0	+	0	0	0	0	$\frac{7,8}{9,4}$	$\frac{0,1}{0,1}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	$\frac{0,02}{0,4}$	$\frac{0,1}{0,16}$	$\frac{1,5}{1,3}$	$\frac{2,4}{15,2}$	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{0,4}{0,8}$	$\frac{0,02}{0,4}$	0	$\frac{1,3}{7,1}$	$\frac{3,3}{8,6}$	
0	0	0	0	0	0	$\frac{0,02}{0,06}$	$\frac{0,04}{0,08}$	0	0	0	0	0	0	0	0

же. На рис. 1 представлен годичный цикл динамики биомассы зообентоса в Терновской и Ильинской частях водохранилища на илистом грунте.

В неотепленном Ильинском водоеме в 1967 и 1968 гг. весенний пик биомассы наблюдался в апреле, в то время как в отепленном Терновском водоеме он отмечался уже в марте. Летом в одном и другом водоемах биомасса была минимальной. В октябре в неотепленном водоеме в центральной зоне отмечалось незначительное понижение биомассы. Биомасса бентоса в литральной зоне определялась только весной и осенью. Весной она была выше в отепленной части, осенью — в неотепленной.

Таким образом, умеренный подогрев воды в Терновской части Кураховского водохранилища благоприятно сказался на развитии зообентоса: на два месяца удлинился вегетационный период. Плотность донного населения профундали в среднем изменилась мало, биомасса же значительно увеличилась. В среднем за 1967 г. продуктивность по биомассе возросла за счет подогрева на 34%. Небольшой подогрев хотя и вызывал летнее угнетение донной фауны в наиболее отепленном участке (ст. 3), площадь этого участка была сравнительно невелика, поэтому

уменьшения общей биомассы бентоса в профундали водоема не произошло. Увеличение биомассы в отепленной части водохранилища произошло за счет увеличения биомассы личинок хирономид. Средняя за период исследования биомасса олигохет, второй по значению группы бентоса, в противоположность личинкам хирономид была несколько ниже в обогреваемой части водохра-

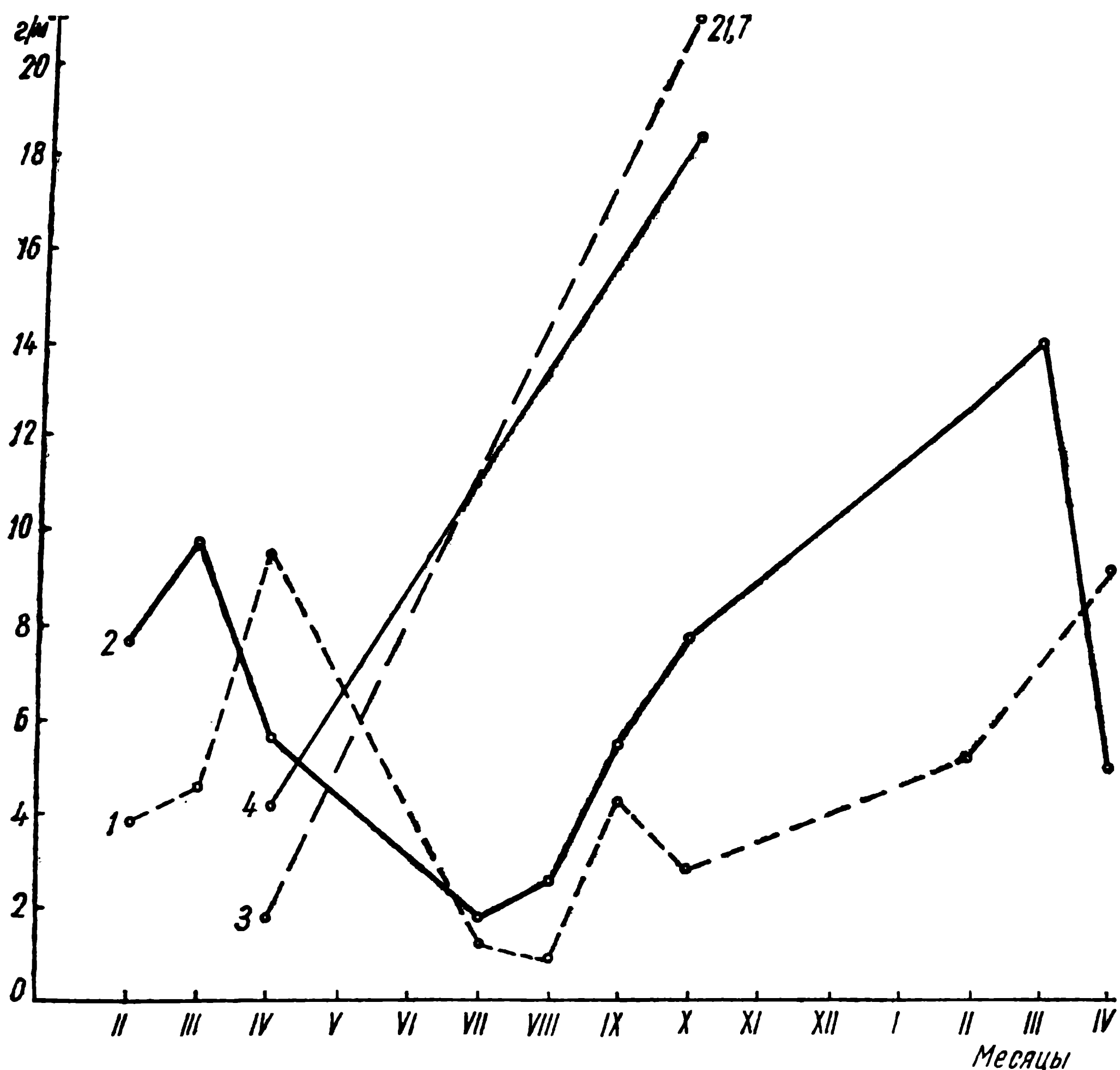


Рис. 1. Динамика биомассы зообентоса в Кураховском водохранилище:

1 — центральная зона Ильинской части водохранилища; 2 — центральная зона Терновской части водохранилища; 3 — литораль Ильинской части; 4 — литораль Терновской части.

нилища. Значительное возрастание среднегодовой биомассы некоторых животных при близких величинах их численности указывает на то, что незначительное повышение температуры положительно сказывается на их росте и накоплении ими органического вещества. Рост других животных при повышении температуры замедляется. А. С. Константинов (1958) установил, что с повышением температуры от 10 до 25° рост личинок хирономид в лабораторных условиях выращивания значительно ускоряется, но при 25° замедляется. По данным Л. А. Кितिцной (1968), средний дефинитивный размер и вес *Pontogam-*

*marus robustoides* были выше в отепленных участках Кураховского водохранилища. Это же отмечено нами для личинок *Procladius*. Преобладание по численности личинок *Chironomus* в тепловодной, а *Procladius* в холодноводной части водохранилища можно объяснить степенью их оксифильности. Первый вид является менее, а второй более оксифильным (Константинов, 1958). Распределение личинок этих видов в Кураховском водохранилище соответствует содержанию кислорода в воде: в Ильинской части — 13 мг/л, в Терновской — 11 мг/л (Абремская, 1969).

Плотность личинок *Chironomus* из группы *semireductus* и *Procladius* и их средний вес находились в обратной зависимости по отношению друг к другу и температуре воды (рис. 2). Средний вес за период исследования одного экземпляра олигохет и личинок гелеид был выше в неотепленной части водохранилища. Критической средней температурой для зообентоса Кураховского водохранилища, если она держится на протяжении 2 месяцев, следует считать 26°. При средней за июль — август температуре 24,3° развитие бентоса происходило нормально. По данным А. С. Константинова, личинки хирономид плохо переносят температуру выше 25°. Он рекомендует принять за предельно высокую температуру воды при искусственном выращивании личинок 31—32°, а за оптимальную — 25°. Мы попытались определить продукцию и коэффициенты Р/В для олигохет и личинок хирономид, для чего был применен несколько измененный метод Нисса и Дагдала (Neess a. Dugdale, 1959). С этой целью были определены средняя плотность и биомасса олигохет и личинок хирономид в отепленной и неотепленной частях водохранилища и средний вес одного экземпляра в каждый месяц. На основании этих данных определены сроки массового размножения и число генераций в году каждой популяции. В контрольной неотепленной части водоема они у олигохет соответствовали апрелю и октябрю, в отепленной части — февралю, августу. Таким образом, в обеих частях водохранилища в течение года было по две четко выраженных генерации олигохет, развитие и существование их продолжалось по шесть месяцев. Построенные на графике кривые, ограничивающие площади, соответствовали продукции каждой генерации. Суммированием их была получена годовая продукция олигохет и личинок хирономид в каждом водоеме за 1967/68 г. Оказалось, что продукция олигохет в контрольном водоеме равнялась 7050 мг/м<sup>2</sup>, в отепленном — 5800 мг/м<sup>2</sup>. Средняя биомасса за этот период соответствовала 1273 и 1090 мг/м<sup>2</sup>. Коэффициенты Р/В составляли 5,5 и 5,3, т. е. Р/В был незначительно ниже в отепленной части водоема, что объясняется, по-видимому, менее благоприятными условиями роста червей в отепленной части водохранилища в 1967/68 г. Средняя плотность червей на единицу площади была

выше в отепленной части водохранилища, а средний их размер ниже. Это согласуется с известным положением, что более высокая температура ускоряет развитие животных, что может привести в свою очередь к уменьшению их размера. Прирост био-

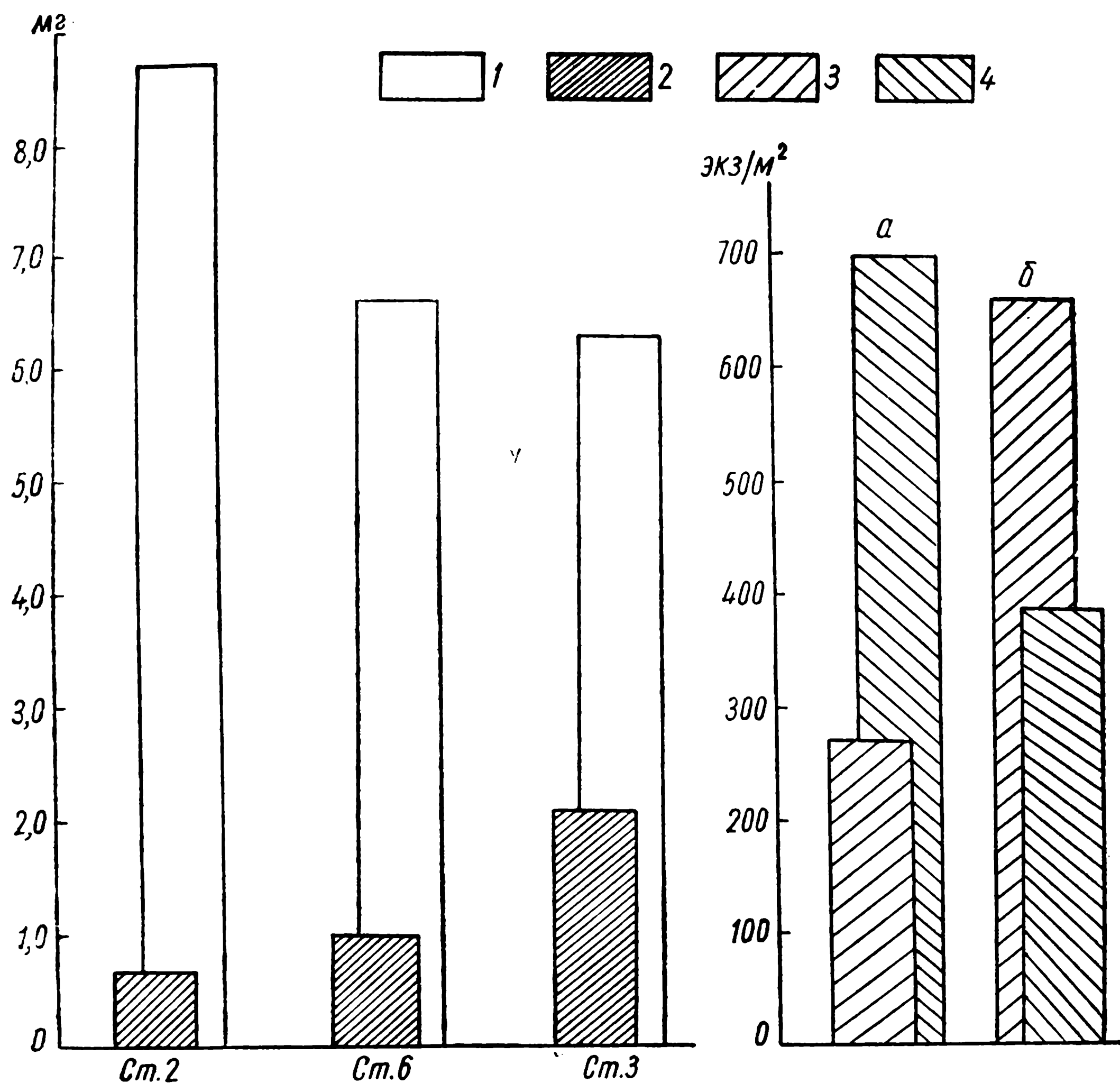


Рис. 2. Средний вес личинок *Chironomus* из группы *semireductus* и *Procladius* indet. и плотность их популяций в различных по нагреваемости участках Кураховского водохранилища:

1 — средний вес личинок *Chironomus* из группы *semireductus*; 2 — средний вес личинок *Procladius* indet.; а — средняя численность популяции *Chironomus* из группы *semireductus*; б — средняя численность популяции *Procladius* indet.; 3 — Ильинская часть водохранилища (контроль); 4 — Терновская часть водохранилища (обогреваемая).

массы червей как в неотепленной, так и в отепленной частях водохранилища происходил, кроме периодов массового размножения, только в осенне-зимнее время, а в весенне-летнее прогрессирующе уменьшалась как численность популяций, так и индивидуальный вес животных. Это можно объяснить только интенсивным выеданием червей в данный период. В середине лета, перед новым массовым размножением, численность и индивидуальный вес животных в дночерпательных пробах падали

почти до нуля. В осенне-зимний период развитие популяций происходило по-разному в неотепленной и отепленной частях водохранилища. В первом закономерно уменьшалась плотность популяции при одновременном приросте индивидуального веса животных. Такой ход динамики популяции является обычным для животных с единовременным размножением в естественных условиях существования. В отепленной части водохранилища зимой 1967/68 г. имел место прирост популяции, причем как за счет индивидуального роста червей, так и за счет увеличения плотности популяции. Последнее свидетельствует о процессе размножения и росте червей в осенне-зимних условиях, который, по-видимому, начинается еще в октябре и является результатом подогрева воды. Кроме того, интересно отметить, что в период массового весеннего размножения средний индивидуальный вес червей в популяции как в одной, так и в другой частях водохранилища сохраняется высоким и только в дальнейшем начинает уменьшаться. Это связано, по-видимому, с отсутствием выедания в зимний период и сохранением к началу массового размножения значительной доли нерестовой части популяции червей. На основании измерения более 3500 экз. *Chironomus* из группы *semireductus* и *Procladius* была установлена ширина головной капсулы, соответствующая четырем размерным стадиям.

Размер головной капсулы по ширине довольно сильно варьирует. Личинки *Ch. semireductus* первой размерной группы имели ширину головы, близкую к 200 мк, второй группы — к 350—400 мк, третьей — к 500 мк и четвертой — к 600—700 мк. У *Procladius* indet., были установлены следующие размеры ширины головных капсул: первая возрастная группа — 100—150 мк, вторая — 300—400 мк, третья — 500 мк, четвертая — 600—700 мк. Закономерного изменения ширины головных капсул личинок в обогреваемых участках обнаружено не было.

Смена генераций на протяжении года происходит у *Chironomus* из группы *semireductus* и *Procladius* в общем сходно, но вылет имагинальных стадий *Procladius* и откладка ими яиц более растянуты. В течение всего вегетационного периода в пробах встречались молодые стадии *Procladius* — первая, вторая, а также четвертая. На основании преобладания в пробах тех или иных стадий можно сделать заключение о наличии не менее двух генераций в течение года как у *Chironomus* из группы *semireductus*, так и у *Procladius*. На всех станциях вылет перезимовавшей генерации начался в конце марта — апреле и продолжался в последующие месяцы, причем на ст. 3 с максимальным нагретой водой этот процесс начался и закончился раньше. На этой станции отмечалось отсутствие личинок *Chironomus* из группы *semireductus* в июле и августе и личинок *Procladius* — в июле. В значительном количестве они появлялись только в сентябре. Это указывает на не вполне благоприятные условия



в зоне повышенной температуры воды для развития личинок. С конца сентября до конца года развитие личинок происходило нормально на всех станциях. С февраля по апрель наблюдалась смена возрастных групп в направлении преобладания старших возрастов, в июле встречались исключительно личинки третьей и четвертой групп. Только в конце августа появлялись личинки второй возрастной группы. Осенью в зообентосе присутствовали личинки всех возрастов и в таком составе они перезимовывали.

Годовая продукция личинок *Chironomus* из группы *semireductus* в неотепленной части водохранилища составляла в 1967 г.  $22,4 \text{ г/м}^2$ . Поскольку их среднегодовая биомасса достигала  $3,15 \text{ г/м}^2$ , то коэффициент Р/В равнялся 7,1. На обогреваемых станциях продукция колебалась в значительных пределах. На ст. 6 она была максимальной и составляла  $42,8 \text{ г/м}^2$ , на ст. 3 — была минимальной —  $14,2 \text{ г/м}^2$ . Среднегодовые коэффициенты Р/В были 6,2 и 6,4. Годовая продукция *Procladius* indet. в контрольной части водохранилища составляла  $3,4 \text{ г/м}^2$  при среднегодовой биомассе  $0,52 \text{ г/м}^2$ ; Р/В равнялся 6,5. На наиболее обогреваемой станции годовая продукция была  $7,2 \text{ г/м}^2$ , среднегодовая биомасса —  $1,26 \text{ г/м}^2$ , Р/В — 4,9; на промежуточной по тепловому режиму станции продукция составляла  $3,7 \text{ г/м}^2$ , биомасса —  $0,62$  и Р/В — 6,0.

## ВЫВОДЫ

1. Допустимый нагрев придонной воды, не лимитирующий развития большинства видов донной фауны в водоемах-охладителях юга Украины, равен  $25^\circ$ .

2. В водоемах с минимальным перегревом состав и количественное развитие зообентоса почти на всей площади дна изменяется незначительно по сравнению с аналогичными водоемами с естественным термическим режимом. Угнетение донной фауны в период летней жары происходит только на участках, непосредственно примыкающих к сбросу теплообменных вод.

## ЛИТЕРАТУРА

Абремская С. И. Сравнительная гидрохимическая характеристика водоемов-охладителей ГРЭС Украины. — Гидробиол. журн., 1, 1, 1969.

Кітїцина Л. А. Темпи росту *Pontogammarus robustoides* (Grimm) у водоймищі — охолоджувачі Курахівської ДРЕС. — В кн.: Наук. конф. молодих учених. К., 1968.

Константинов А. С. Биология хирономид и их разведение. — В кн.: Тр. Саратовск. отд. Гос. НИОРХ, 5, 1958.

Ness I. a. Dugdall R. Computation of production for population of aquatic Midgelarvae Ecol., 4013, 1959.

**ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБМЕНА  
PONTOGAMMARUS ROBUSTOIDES GRIMM  
В ВОДОЕМЕ — ОХЛАДИТЕЛЕ  
КУРАХОВСКОЙ ГРЭС**

*Л. А. КИТИЦЫНА*

В настоящее время накоплен большой материал по влиянию температуры на интенсивность обмена пойкилотермных животных, в частности ракообразных. Получены данные о том, что водные пойкилотермные животные в экспериментальных условиях реагируют определенным образом на изменение температуры и насыщенность воды кислородом. Меньше внимания уделялось определению влияния сезонных условий на метаболизм этих животных.

Большинство авторов судит об интенсивности обмена веществ животных по скорости потребления кислорода в связи с тем, что в процессе дыхания потреблению одной весовой единицы кислорода соответствует выделение определенного количества энергии. Поэтому интенсивность газообмена в полной мере характеризует уровень энергетических затрат организма на все жизненные процессы, т. е. является интегральной характеристикой его обмена веществ. Скорость потребления кислорода не только наиболее распространенный и доступный, но и наиболее объективный показатель интенсивности обмена, особенно для водных животных (Винберг, 1956).

Рядом исследований доказано, что температурная адаптация сопровождается закономерным изменением основного обмена (Винберг, 1936). Так Э. Я. Граевский (1946) показал, что при отклонении температуры среды в сторону более высокой температуры имеет место закономерное нарастание интенсивности дыхания, а при понижении температуры среды происходит его снижение. Эта реакция организма на термические воздействия характерна для разных групп организмов, наземных и водных. Снижение интенсивности дыхания или его неизменность в определенной для данного вида температурной области Э. Я. Граевский объясняет наилучшим соответствием между отдельными звеньями обмена веществ в организме, вследствие чего эта область характеризуется и наименьшими энергетическими затратами.

В основе температурных адаптаций пойкилотермных животных лежат реакции, связанные с изменениями ряда физиологических показателей. Степень воздействия температурного фактора зависит от генетической характеристики вида и определяется интервалом изменяющейся температуры. Особенность действия температурного фактора заключается в том, что температура определяет скорость физиологических процессов во всем диапазоне биокинетической зоны. Температурная зависимость

физиологических показателей является сложной функцией, определяемой рядом моментов, одним из которых являются предшествующие адаптации животных к температурным условиям постоянных мест обитания (Ивлева, 1965; Ивлева, Попенкина, 1968).

Способность пойкилотермных животных совершать нормальные жизненные отправления при значительных изменениях температуры тела отмечает В. А. Пегель (1949). Эта способность определяется у них сохранением постоянства соотношений функций организма при общем изменении интенсивности жизнедеятельности соответственно колебаниям температуры окружающей среды

В задачу нашего исследования входило изучение интенсивности обмена животных, обитающих в сходных экологических условиях разных участков водоема-охладителя, которые отличаются в основном температурой, что интересно как с точки зрения определения пищевых потребностей и продукции этих животных, так и для выяснения влияния температуры на обмен в зависимости от приспособлений популяции, являющихся реакцией организма на своеобразные условия существования.

Водоем — охладитель Кураховской ГРЭС расположен по руслу р. Волчьей (бассейн Днепра). Верховья водоема не подвергаются влиянию нагретых вод и имеют естественный температурный режим со среднегодовой температурой воды 11—12°. Этот участок (Ильинская часть водоема, ст. 2) с температурой 0—25° мы рассматриваем как контрольный по отношению к той части водоема, на которую влияют теплообменные воды ГРЭС (Терновская часть, ст. 3 и 11). Среднегодовая температура в последней составляет (мощность ГРЭС — 400 тыс. квт-ч, объем — 46 млн/м<sup>3</sup>) 17° с колебаниями в пределах 0—35° С.

Представитель понто-каспийской фауны бокоплав *Pontogammarus robustoides* G r i m m является ценным кормом для рыб. Этот вид хорошо акклиматизировался в водоеме — охладителе Кураховской ГРЭС, куда он, очевидно, попал из нижележащего Васильковского водохранилища, которое в 50-х годах было заселено различными видами бокоплавов и мизид (Журавель, 1958, 1961). Интенсивность обмена *Pontogammarus robustoides* в этом природном макро-политермостате изучалась нами в разные сезоны года.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Опыты проводились в течение года по одному месяцу в сезон (февраль, апрель, июль, октябрь). В каждый сезон собирали животных на станциях с разной температурой воды: ст. 3 — вода подогрета (4 сезона); ст. 11 — сбросной канал с максимально горячей водой (зима, весна); ст. 2 с естественным температурным режимом служила контролем. Интенсивность обмена опре-

деляли при следующей температуре: зимой — 5 и 10°; весной — 12, 16, 20, 21°; летом — 24, 28 и 33°; осенью — 15 и 23°.

Интенсивность обмена определяли методом замкнутых сосудов, в качестве респирометров использовали склянки с притертыми пробками объемом 300 мл. Речную воду фильтровали через тройной бумажный фильтр. Собранных на данной станции животных сортировали по размерным группам и помещали в склянки, которые погружали на дно водоема у берега на глубину 0,5—1 м с двухчасовой экспозицией. Количество организмов подбирали, учитывая их вес, чтобы за срок экспозиции количество кислорода к концу опыта оставалось в пределах  $\frac{2}{3}$  исходного содержания его в воде. Содержание кислорода в воде определяли методом Винклера. В опыты брали по 10—30 организмов. Колебания температуры в течение опыта не превышали 1—2°. В склянках животные были активны, плавали в респирометре или медленно передвигались по дну. Всегда наряду с опытными ставили контрольные склянки с водой без животных. Потребление кислорода рассчитывали по разности результатов в контрольных и опытных сосудах. После опыта из респирометров отбирали сифоном воду в маленькие (30 мл) склянки для трех параллельных определений, а животных обсушивали на фильтровальной бумаге, взвешивали на торсионных весах, измеряли. Исследования проводились в одно и то же время в промежутке между 11 и 14 час. Всего поставлено 36 опытов с использованием 6000 организмов. Таким образом, все измерения были выполнены при температуре и освещении очень близким к естественным. Только зимой (при температуре воздуха ниже —10°) эксперименты со свежесловленными животными проводили в лаборатории при той же температуре (5 и 10°), при которой обитали рачки. Экспозиция длилась 3—4 час.

Согласно имеющимся данным (Weymouth, и др., 1944; Zeuthen, 1947; Винберг, 1950; Wolvekamp, Waterman, 1960), зависимость интенсивности дыхания у ракообразных от их индивидуальных размеров, как и у других животных, четко выражается степенной функцией  $Q = aW^k$ , где  $Q$  — скорость поглощения кислорода,  $W$  — вес животного,  $a$  и  $k$  — коэффициенты. При логарифмировании данная функция оказывается линейной, что дает возможность наглядно сопоставить различные серии опытов.

Расчет потребленного кислорода производили на экземпляр и на 1 г сырого веса за 1 час при данной температуре. Степенные уравнения, показывающие зависимость между интенсивностью обмена и весом животных при разной температуре, вычисляли методом наименьших квадратов. Данные всех экспериментов обработаны статистически.



РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Высчитанные степенные уравнения зависимости интенсивности обмена от веса тела для различных сезонов приведены в табл. 1. Интенсивность обмена на ст. 2 (контроль) в различное время года была следующей:

весной (12°)  $Q = 0,203W^{0,71 \pm 0,036};$  (1)

летом (24°)  $Q = 0,233W^{0,67 \pm 0,040};$  (2)

осенью (15°)  $Q = 0,249W^{0,74 \pm 0,020}.$  (3)

В течение года диапазон температур в Ильинской части водоема (ст. 2) колеблется в пределах 0—25°. Зимой эта часть покрывается слоем льда (толщина 50 см), и температура воды придонных слоев на глубине 3—4 м составляет 1,5—1,9°.

Т а б л и ц а 1  
Результаты вычисления параметров степенных уравнений, связывающих обмен и вес тела *P. robustoides* для разных сезонов

Сезон	Номер уравнений	Станция	Температура, С	n	r	$\Sigma y$	a	$k \pm \sigma_k$
Зима	5	11	10	24	0,994	0,015	0,199	$0,83 \pm 0,02$
Весна	6	11	21	25	0,976	0,057	0,280	$0,70 \pm 0,03$
Зима	4	3	5	34	0,932	0,047	0,163	$0,80 \pm 0,05$
Весна	7	3	16	19	0,993	0,035	0,215	$0,74 \pm 0,02$
Лето	8	3	28	30	0,946	0,080	0,725	$0,92 \pm 0,057$
Лето	9	3	33	27	0,977	0,047	0,505	$0,82 \pm 0,034$
Осень	10	3	23	22	0,980	0,036	0,196	$0,64 \pm 0,027$
Весна	1	2	12	29	0,964	0,026	0,203	$0,71 \pm 0,036$
Лето	2	2	24	23	0,953	0,071	0,233	$0,67 \pm 0,044$
Осень	3	2	15	21	0,991	0,031	0,249	$0,74 \pm 0,021$

П р и м е ч а н и е: n — число повторностей; r — коэффициент корреляции;  $Q = aW^k$  при  $W = 1$   $Q = a$ ;  $\Sigma y = \sigma_y \sqrt{1-r^2}$ .

Очевидно, животные подо льдом находятся в состоянии оцепенения, потребляя минимальное количество кислорода. Для выяснения зимнего режима дыхания некоторых волжских амфипод А. И. Янковской (1941) были поставлены опыты при температуре 0—1°. Она отмечает, что в этих условиях потребность рачков в кислороде падает по сравнению с таковой при оптимальной температуре (22°) на 50—75%. Аналогичное наблюдал Круг (Krog, 1954), изучая влияние сезонных изменений внешней среды на метаболизм у *Gammarus limneus* в оз. Аляска. Это



озеро замерзает на 7 месяцев не на всю глубину, и гаммарусы, находящиеся долгое время подо льдом, снижают уровень поглощения кислорода до минимума. Автор связывает это с низким содержанием кислорода в воде в этот период, объясняя торной регуляцией обмена, направленной на самый критический в данный момент фактор — минимальное количество, растворенного в воде кислорода, при котором еще возможно аэробное дыхание.

Весной на ст. 2 определяли интенсивность обмена у рачков разного размера. Преобладали рачки длиной 12—15 мм, но встречались единичные экземпляры размером 6—8 мм, т. е. в этот период популяция состояла в основном из половозрелых перезимовавших особей. Часто встречались спаренные особи и яйценосные самки. Из 520 рачков, использованных весной в опытах на этой станции, 24% составляли яйценосные самки. Летний сезон на этой станции характеризовался температурой воды в литоральной зоне 22—25°. В опыты был взят 661 рачок, в том числе 136 яйценосных самок (20,5%). Размер опытных рачков колебался от 3,5 до 15 мм, вес — от 3 до 40 мг. В отличие от весны размерный состав животных летом значительно шире — было много новорожденных и молодых рачков. Интенсивность обмена яйценосных самок несколько выше, чем у других рачков такого же размера. Осенью здесь встречались рачки размером 3—15 мм и весом 3—45 мг. Температура в этот период колебалась в пределах 14—16°. Из 626 рачков, взятых в опыт, не встретилось ни одной яйценосной самки (табл. 2).

На двойном логарифмическом графике (рис. 1), согласно уравнениям (1, 2 и 3), построены прямые и нанесены эмпирические точки, характеризующие интенсивность обмена рачков на ст. 2 в течение трех сезонов.

Отличия в температуре воды весной и осенью на ст. 2 незначительны, средняя температура воды составляет соответственно 12 и 15°. Прямые на графике, характеризующие интенсивность обмена в эти сезоны, проходят друг от друга достаточно близко. Однако в эти сезоны различно физиологическое состояние рачков, поскольку весной в репродуктивной деятельности участвует максимальное количество организмов, а осенью процессы размножения полностью прекращаются.

Таблица 2  
Количество рачков, использованных в опытах на ст. 2

Сезон	Температура, °C	Общее количество рачков	Яйценосные самки	
			экз.	%
Весна	12	520	123	24
Лето	24	661	136	20,5
Осень	15	626	—	—
Всего		1807	259	

Обработка данных за три сезона (ст. 2) показала, что у животных средних размеров (вес 25—40 мг) статистически достоверные различия показателей интенсивности обмена выявляются при разнице в сезонной температуре, соответствующей 9° (лето — осень) и 12° (лето — весна). Разница в температуре весной и осенью составляла 3°, и различия средних показателей интенсивности обмена по этой же размерной группе животных оказались незначительными и статистически не достоверными.

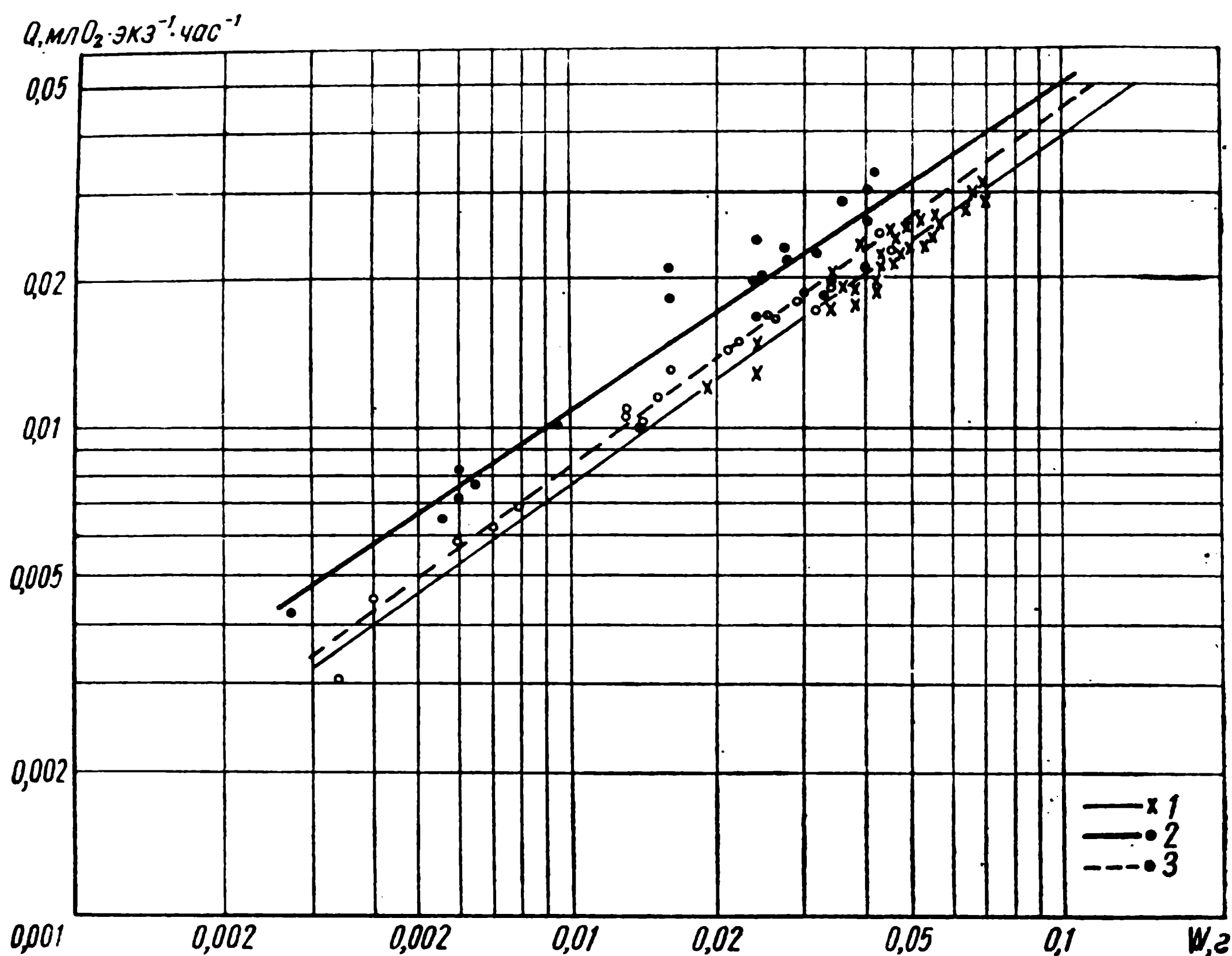


Рис. 1. Уровень обмена веществ рачков в разные сезоны на ст. 2 (контроль):

1 — весна (12°); 2 — лето (24°); 3 — осень (15°).

На рис. 2 на фоне «нормальной кривой» Крога (Krogh, 1941) показана уплощенная кривая, демонстрирующая изменение интенсивности обмена (в %) при изменении температуры в указанном диапазоне. Многие авторы, как указывает Г. Г. Винберг (1956), обращали внимание на то, что эмпирически полученные кривые зависимости интенсивности обмена от температуры у различных пойкилотермных животных имеют уплощенный или даже горизонтальный участок, свидетельствующий о том, что в некотором интервале средних температур интенсивность обмена при разных температурах отличается лишь в слабой степени. На насекомых это явление описал И. В. Кожанчиков (1946), на водных легочных моллюсках — Э. Я. Граевский (1946). Указанные авторы считают, что уплощенный участок кривой рас-

положен в интервале оптимальных температур. Наши данные согласуются с установленной зависимостью интенсивности обмена от температуры, но кривая на нашем графике резко уплощена по сравнению с «нормальной кривой» Крога и пересекает ее.

Изучение интенсивности обмена *P. robustoides* в участках с теплообменными водами (Терновская часть, ст. 3 и 11) показало картину несколько отличную от контрольного участка (ст. 2).

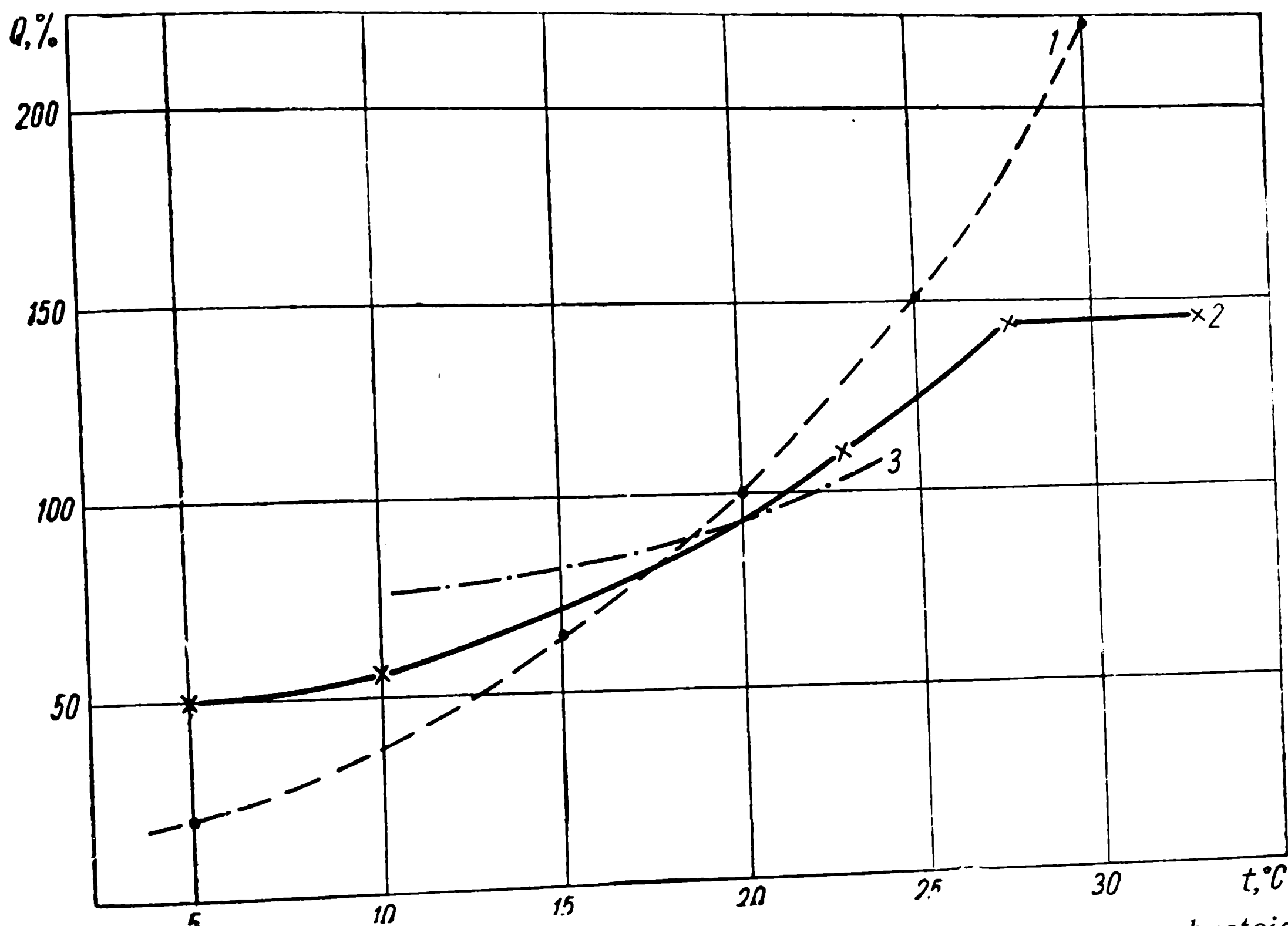


Рис. 2. Зависимость интенсивности обмена *Pontogammarus robustoides* от температуры:  
1 — «нормальная кривая» Крога; 2 — ст. 3; 3 — ст. 2.

В сбросном канале (ст. 11) рачки обитают только зимой и весной (при температуре 10—20°), летом при температуре 35° их здесь обнаружить не удастся, осенью — тоже. Сообщение между ст. 3 и 11 позволяет рачкам беспрепятственно проникать из одной в другую в отличие от ст. 2 (в Ильинской части), расположенной в верхнем участке водоема, куда рачки из отепленной части попасть не могут. В связи с этим данные, полученные на ст. 11, можно объединять с данными для ст. 3 и сопоставлять с результатами опытов на ст. 2. В опытах, проведенных на станциях в Терновской части, использовано около 4000 особей (табл. 3).

Интенсивность обмена *P. robustoides* определяли зимой при температуре воды 5 и 10°. В этот период в отепленной части водоема рачки интенсивно размножаются, спариваются.

Встречаются особи всех размеров от 2 мм (новорожденные) до 18 мм, однако в опытах использовались рачки размером 10—18 мм (вес 20—90 мг), поскольку мелкие экземпляры, которые в большом количестве скоплялись на зеленых нитчатых водорослях в канале на течении, погибали при отборе проб.

Таблица 3

Количество рачков, использованных в опытах на станциях в Терновской части водохранилища

Станция	Сезон	Температура, °С	Количество особей	Яйценосные самки	
				экз.	%
3	Зима	5	605	116	19
11	Зима	10	474	86	18
3	Весна	16	613	95	18
11	Весна	21	640	164	25
3	Лето	28	795	141	19
3	Лето	33	414	53	13
3	Осень	23	443	62	14
Всего			3984	717	

Прямые, соответствующие выведенным степенным уравнениям зависимости интенсивности обмена от веса животных при температуре 5 и 10° (рис. 3), расположены параллельно и имеют близкие коэффициенты. Об этом свидетельствуют уравнения

$$Q_{5^{\circ}} = 0,163W^{0,80} \pm 0,05; \quad (4)$$

$$Q_{10^{\circ}} = 0,199W^{0,83} \pm 0,02. \quad (5)$$

Весной 1967 и 1968 гг. при температуре 20—21° в канале (ст. 11) и 15—17° на ст. 3 интенсивность обмена рачков описывается соответственно уравнениями

$$Q_{21^{\circ}} = 0,280W^{0,70} \pm 0,03; \quad (6)$$

$$Q_{16^{\circ}} = 0,215W^{0,67} \pm 0,02. \quad (7)$$

Следовательно, интенсивность обмена весной выше, чем зимой, и, судя по значениям коэффициента  $k$ , зависимость обмена от веса тела также больше весной. Весной в канале встречаются самые крупные рачки, достигающие 20—22 мм длины и свыше 100 мг веса.

Летний подъем интенсивности обмена наблюдался при повышении температуры до 28—33°.

$$Q_{28^{\circ}} = 0,725W^{0,92 \pm 0,06}; \quad (8)$$

$$Q_{33^{\circ}} = 0,505W^{0,82 \pm 0,03}. \quad (9)$$

Судя по уравнениям (8, 9), интенсивность обмена в этот период возрастает по сравнению с зимой и весной. При температуре 28° интенсивность обмена мало зависит от веса тела рачков ( $k = 0,92$ ), поскольку при  $k = 1$  обмен возрастает пропорционально весу.

Осенью в отепленном участке (ст. 3) при температуре 23° интенсивность обмена описывается уравнением

$$Q_{23^{\circ}} = 0,196W^{0,64 \pm 0,03}. \quad (10)$$

Коэффициент  $k$ , равный 0,64, указывает на тесную зависимость обмена от веса тела животных. Описанный уравнениями (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) характер зависимости интенсивности обмена *P. robustoides* от их размера в разные сезоны показан на двойном логарифмическом графике (рис. 3).

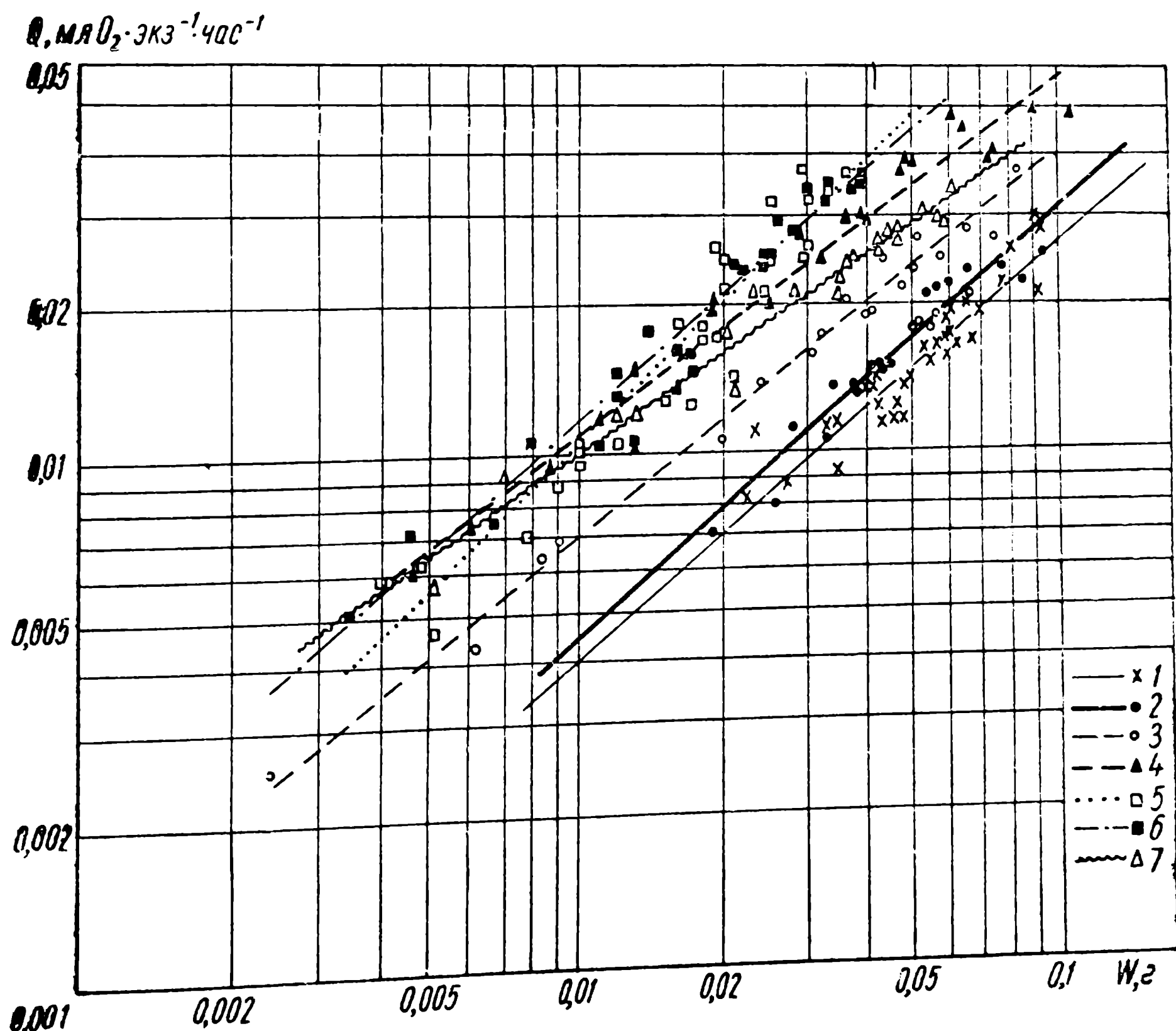


Рис. 3. Уровень обмена рачков по сезонам в Терновской части:  
1 — зима (5°); 2 — зима (10°); 3 — весна (16°); 4 — весна (21°); 5 — лето (28°);  
6 — лето (33°); 7 — осень (23°).



Очевидно, температура оказывает различное действие на процессы поглощения кислорода у рачков разного размера. Уровень и наклон прямых на графике не постоянен. Коэффициент  $k$  имеет следующие значения:

$t, ^\circ\text{C}$	5	10	12	16	20	23	28	33
$k$	0,80	0,83	0,71	0,74	0,69	0,64	0,92	0,82

Как видно из приведенных данных, коэффициент  $k$  снижается в области средних температур (12—23°), а повышается в крайних зонах.

Статистическая обработка показателей интенсивности обмена



Рис. 4. Зависимость потребления кислорода от температуры у рачков разного размера: 1 — вес 0,0025 г; 2 — 0,01 г; 3 — 0,04 г; 4 — 0,06 г; 5 — вес 0,1 г.

для четырех сезонов в отепленной части водоема (ст. 3 и 11) показала, что у животных среднего размера (вес 20—40 мг) различия в интенсивности обмена при разной температуре достоверны. Разница в температуре в отдельные сезоны составляет 5—12°.

Рис. 4 наглядно демонстрирует изменение интенсивности потребления кислорода при повышении температуры у рачков разного размера. Направление кривых на графике показывает, что мелкие организмы весом 2,5—10 мг менее интенсивно реагируют на повышение температуры, а при высокой температуре у них несколько снижается интенсивность обмена. Более крупные особи (весом 60—100 мг) с увеличением веса более резко реагируют на повышение температуры. И только у особей среднего веса (40 мг) при повы-

шении температуры до 33° интенсивность обмена повышается.

А. С. Константинов (1958), изучая интенсивность обмена у разных по размеру личинок *Chironomus dorsalis* L., обратил внимание на то, что изменение интенсивности дыхания с возрастанием температуры тем выше, чем старше (крупнее) организм. Другими словами, величина температурного коэффициента  $Q_{10}$  прямо пропорциональна возрасту животных. Эрмитаж (Armitage, 1962), изучая поглощение кислорода у одного вида антарктических амфипод, обитающих при температуре близкой к 0°, приводит график соотношения между потреблением кислорода и температурой у различных по размеру амфипод, из которого видно, что реакция рачков на изменение температуры не одинакова у мелких и крупных рачков. Высокая температура больше сказывается на метаболизме крупных животных (Ивлева, Попенкина, 1968).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В задачу нашего исследования входило выяснение влияния температуры на интенсивность обмена у *Pontogammarus robustoides* в водоеме — охладителе Кураховской ГРЭС. Каспийская фауна в целом в высокой степени эвритермна, но обычно каспийские виды плохо переносят температуру выше 30° (Мордухай-Болтовской, 1960). В условиях водоема-охладителя рачки хорошо адаптируются к температуре 2—30°. При температуре 28° у них наблюдается максимальная интенсивность обмена, что свидетельствует о том, что температура воды 28—30° входит в диапазон оптимальных для этого показателя. В отепленном участке исследуемого водоема рачки в большом количестве встречались при температуре 32°. Избираемая животными температура соответствует географическому ареалу обитания данного вида или популяции — более южные формы, как правило, предпочитают более высокую температуру (Ивлев, Лейзерович, 1960). Это положение, очевидно, распространяется и на данного представителя понто-каспийской фауны, хорошо адаптированного к условиям отепленного участка водоема.

Температура 33° и выше угнетающе влияет на организм (интенсивность обмена понижается), и рачки исчезают из участка (сбросного канала), где температура летом поднимается до 35°.

Анализируя результаты, полученные при изучении интенсивности обмена в Ильинской части (ст. 2, контроль), мы приходим к заключению, что интенсивность обмена в диапазоне температур 10—25° описывается кривой, пересекающей «нормальную кривую» Крюга. При низкой температуре обмен выше, чем следует по Крюгу, а при высокой — соответственно ниже. Мы наблюдали, что рачки в опытах перемещались по респирационному

сосуду. Зейтен (Zeuthen, 1947) указывает на то, что у ракообразных среднего размера обмен при непрерывном движении не более чем вдвое выше обмена в неподвижном состоянии. Мы не наблюдали непрерывного движения рачков во время опытов, но их состояние нельзя назвать неподвижным, поэтому мы относим полученные нами результаты интенсивности обмена к общему обмену, включающему определенную величину активного обмена.

Сравнивая полученные уравнения (1, 2, 3) для участка водоема имеющего естественный температурный режим, с выведенным Г. Г. Винбергом (1950) общим уравнением для бокоплавов

$$Q = 0,233 W^{0,81} \text{ при } 20^{\circ},$$

мы видим хорошее их совпадение.

Объяснить пологую форму кривой, описывающей зависимость интенсивности обмена от температуры в Ильинской части (ст. 2) можно тем, что при естественном плавном изменении температуры воды организмы постепенно адаптируются к этим нерезким ее переходам, повышая при этом соответственно уровень обмена. Так, при повышении температуры воды с  $12^{\circ}$  весной до  $24^{\circ}$  летом интенсивность поглощения кислорода повышается на 27%, а при повышении температуры с  $12^{\circ}$  весной до  $15^{\circ}$  осенью интенсивность поглощения кислорода увеличивается на 8%.

В отепленных участках водоема (ст. 3 и 11) диапазон температуры несколько шире, чем на ст. 2 ( $2-35^{\circ}$ ). Животные активны здесь круглый год. Температура воды в течение года в этих участках выше на  $4-8^{\circ}$  по сравнению с Ильинской частью. Кривая, описывающая зависимость интенсивности обмена рачков от температуры на ст. 3, имеет несколько более крутую форму, чем на ст. 2, однако она более пологая, чем кривая Крога.

При температуре воды  $28-30^{\circ}$  (лето) интенсивность обмена составляла 143%, при  $5^{\circ}$  (зима) — 50%, т. е. была в три раза ниже. Интенсивность дыхания при  $20^{\circ}$  принимали за 100%.

Возрастные различия изменения интенсивности обмена при повышении температуры наблюдались во всем диапазоне размеров (весов) исследованных рачков. У рачков более крупного размера при повышении температуры до  $28^{\circ}$  резко повышается интенсивность обмена. Дальнейшее возрастание температуры до  $33^{\circ}$  приводит к снижению у них интенсивности обмена. Мелкие, а следовательно более молодые, особи слабее реагируют на подъем температуры; у них понижается интенсивность обмена уже при температуре  $23^{\circ}\text{C}$ . У рачков среднего размера повышение температуры способствует постепенному увеличению интенсивности обмена.

## ВЫВОДЫ

1. Кривая, описывающая интенсивность обмена у *Pontogammarus robustoides* (Grimm) в разных участках водоема — охладителя Кураховской ГРЭС в зависимости от температуры, пересекает «нормальную кривую» Крога, имеет пологую форму при большем диапазоне температур (ст. 3) и резко уплощенную при меньшем диапазоне (ст. 2).

2. В Ильинской части с естественным температурным режимом наблюдаемые различия интенсивности обмена рачков весной и осенью при статистической обработке оказались недостоверными (разница температур  $3^{\circ}$ ). Достоверные различия в интенсивности обмена у исследованных рачков установлены между летом и осенью, а также между летом и весной, что, по-видимому, связано со значительной разницей температур в эти сезоны.

3. В отепленной Терновской части водоема подъем интенсивности обмена летом при температуре  $28^{\circ}$  свидетельствует о том, что такая температура не влияет на рачков угнетающе. При  $33^{\circ}$  интенсивность обмена понижается. Статистическая обработка данных по интенсивности обмена для рачков одного размера (вес 20—40 мг) за четыре сезона показала достоверные сезонные отличия.

4. Установлены возрастные различия в интенсивности обмена: на повышение температуры воды в диапазоне  $5\text{—}33^{\circ}$  резче реагируют более крупные особи.

## ЛИТЕРАТУРА

- Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и температурная адаптация.— Усп. совр. биол., 5, 2, 1936.
- Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и размеры ракообразных.— Журн. общ. биол., 11, 5, 1950.
- Винберг Г. Г. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Изд-во Белор. гос. ун-та. Минск, 1956.
- Граевский Э. Я. Термопреферендум и температурный оптимум пресноводных моллюсков и членистоногих.— Журн. общ. биол., 7, 6, 1946.
- Журавель П. О. Нові види ракоподібних у Васильківському водоймищі на р. Вовчий.— Доп. АН УРСР, 8, 1958.
- Журавель П. О. Опыт обогащения кормовой фауны для рыб в малых реках степной зоны Украины и возникающих на них водохранилищах.— В кн.: Малые водоемы равнинных областей СССР и их использование. М.— Л., 1961.
- Ивлев В. С., Лейзерович Х. А. Экологический анализ распределения животных в градиентных температурных условиях.— В кн.: Тр. Мурманск. морск. биол. ин-та, 5, 1 (5). М.— Л., 1960.
- Ивлева И. В. Температурные адаптации водных животных.— В кн.: Физиол. основы экологии водных животных. К., 1965.
- Ивлева И. В., Попенкина М. И. О температурной зависимости обмена у пойкилотермных животных.— В кн.: Биология моря, 15, К., 1968.
- Кожанчиков И. В. К вопросу о жизненном термическом оптимуме.— Зоол. журн., 25, 1, 1946.

Константинов А. С. Биология хирономид и их разведение.— В кн.: Тр. Саратовского отделения ВНИОРХ, 5, 1958.

Мордухай-Болтовский Ф. Д. Каспийская фауна в Азово-Черноморском бассейне. Изд-во АН СССР. М., 1960.

Пегель В. А. Температура и соотношение функций у животных.— В кн.: Уч. зап. Томск. гос. ун-та, 12, 1949.

Янковская А. И. Изучение интенсивности дыхания некоторых волжских амфипод.— В кн.: Рефераты работ учрежд. отд. биол. наук АН СССР за 1940 г. М.—Л., 1941.

Armitage K. Temperature and oxygen consumption of *Orchomonella chilensis* (Heller).— Biol. Bull., 123, 2, 1962.

Krog J. The influence of seasonal enviromental changes upon the metabolism, lethal temperature and rate of heart beat of *Gammarus limneus* taken from an Alaskan lake.— Biol. Bull., 107, 3, 1954.

Krogh A. The comparative physiology of respiration mechanisms. Philadelphia, 1941.

Weymouth F. W. et al. Totals and tissue respiration in relation to body weight. — Physiol. zool., 17, 1944.

Woivekamp H. P., Waterman T. H. The physiology of Crustacea, Academic Press. New York, 1, 1960.

Zeuthen E. Body size and metabolic rate in the animal kingdom with special regard to the marine micro-fauna.— Comptes rendus trav. lab. Carlsberg, Ser. Chim., 26, 3, 1947.

## О ВЛИЯНИИ ПОДОГРЕТЫХ ВОД ВОРОШИЛОВГРАДСКОЙ ГРЭС НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЫБ СЕВЕРСКОГО ДОНЦА И ЕГО ПРИТОКА АЙДАР

А. Я. ЩЕРБУХА

Сведения по биологии рыб, обитающих в водоемах с повышенным температурным режимом, очень ограничены. В связи с этим в течение 1966—1968 гг. были проведены наблюдения и собран материал о рыбном населении Сев. Донца и его притока Айдар в районе сброса в них подогретых вод Ворошиловградской ГРЭС.

В настоящем сообщении основное внимание уделено освещению вопроса о распределении рыб на разных в температурном отношении участках указанных водоемов в разные сезоны года, поскольку, по наблюдениям исследователей, подогретые воды привлекают рыб (Van-Vliet, 1957, по Привольневу, 1965; Engle, 1963; Булахов и Мельников, 1965; Нусенбаум, 1965, и др.), оказывают на них вредное влияние (Доценко, 1958) или могут оказывать его при определенных условиях (Alabaster, 1963; Denzer, 1966, и др.).

Отработанные подогретые воды Ворошиловградской ГРЭС направляются в Сев. Донец по двум каналам. Часть из них без предварительного охлаждения сбрасываются в реку вблизи станции, другая — в 8—10 км выше последней по течению



Сев. Донца после некоторого охлаждения в пруду-охладителе и в русле Айдара. Учитывая сказанное и наличие на Сев. Донце русловой плотины, обеспечивающей нормальное водоснабжение станции в меженный период, в указанных водоемах обнаруживаются три участка, отличающиеся по температурным и гидрологическим условиям.

В предплотинном участке Сев. Донца, куда вливаются воды Айдара, а вместе с ними и воды из пруда-охладителя, разница в показателях температуры воды между зонами с естественным и повышенным температурным режимом в период проведения исследований не превышала 1—4°. На двух других участках — в Айдаре и на участке Сев. Донца, расположенном ниже плотины, разница в показателях температуры воды по сравнению с естественным температурным режимом иногда достигала 10°, чаще же она не превышала 6—8°. Температурный режим каждого из участков и их гидрологические особенности в большой мере зависят от количества сбрасываемой воды, а также от естественного стока обеих рек, сезона года, метеорологических условий и других факторов. Следует также отметить, что предплотинный участок Сев. Донца и участок Айдара, расположенный выше сбросного канала, имеют черты русловых водохранилищ с несколько замедленным течением. Участок Айдара, расположенный ниже сбросного канала, и участок Сев. Донца, расположенный ниже плотины, характеризуются проточностью, свойственной рекам. Температурный режим и гидрологические особенности каждого участка определенным образом влияют на распределение их рыбного населения, что и является предметом дальнейшего изложения.

В Айдаре видовой состав рыб в уловах мальковой волокушей был богаче в водах с пониженным (естественным) температурным режимом, чем в водах с повышенным температурным режимом, причем щука, елец, верховка и бычки отмечались лишь в водах первой из указанных зон, а язь и карась — только во второй. По количеству выловленных рыб плотва, голавль, красноперка, горчак и окунь преобладали в водах с пониженным температурным режимом, пескарь и укля — в водах с повышенным температурным режимом; лещ отмечался почти в одинаковом количестве в водах обеих зон, хотя количество его несколько преобладало в водах зоны с пониженным температурным режимом (табл. 1). Средние линейно-весовые показатели рыб, за исключением леща и окуня, были большими в водах с повышенным температурным режимом, чем в водах с пониженным температурным режимом.

В сетных уловах (табл. 2) в водах Айдара с пониженным температурным режимом весной и в летне-осенний период несколько преобладали щука, голавль, красноперка, окунь. В водах с повышенным температурным режимом преобладающими

Таблица 1

Соотношение видов рыб и их линейно-весовые показатели в уловах мальковой волокушей в Айдаре при температуре воды 16,5—17,2° ( $n=651$ , числитель) и 26,0—27,0° ( $n=652$ , знаменатель) в сентябре 1966 г.

Вид	В % по		Длина, см		Средний вес, г
	количест- ву	весу	средняя	предел	
Щука	<u>1,7</u> —	<u>15,9</u> —	<u>18,7</u> —	<u>16,4—21,3</u> —	<u>60,2</u> —
Плотва	<u>31,6</u>	<u>26,9</u>	<u>6,2</u>	<u>1,9—11,8</u>	<u>5,4</u>
	<u>4,3</u>	<u>5,7</u>	<u>6,6</u>	<u>4,6—8,7</u>	<u>5,9</u>
Елец	<u>2,6</u>	<u>2,9</u>	<u>7,5</u>	<u>6,3—8,5</u>	<u>6,8</u>
	—	—	—	—	—
Голавль	<u>12,3</u>	<u>14,5</u>	<u>7,1</u>	<u>5,5—12,9</u>	<u>7,4</u>
	<u>3,5</u>	<u>7,4</u>	<u>7,9</u>	<u>6,2—9,1</u>	<u>9,8</u>
Язь	—	—	—	—	—
	<u>0,4</u>	<u>1,2</u>	<u>4,9</u>	<u>3,8—6,8</u>	<u>3,1</u>
Красноперка	<u>9,5</u>	<u>6,0</u>	<u>5,7</u>	<u>4,2—8,5</u>	<u>4,0</u>
	<u>2,6</u>	<u>3,1</u>	<u>5,9</u>	<u>3,7—8,5</u>	<u>5,3</u>
Верховка	<u>1,9</u>	<u>0,1</u>	<u>3,1</u>	<u>2,2—4,5</u>	<u>0,4</u>
	—	—	—	—	—
Пескарь	<u>1,7</u>	<u>1,3</u>	<u>6,8</u>	<u>6,4—7,5</u>	<u>4,8</u>
	<u>1,1</u>	<u>0,9</u>	<u>6,8</u>	<u>6,4—7,5</u>	<u>3,8</u>
Уклея	<u>9,9</u>	<u>3,8</u>	<u>5,3</u>	<u>2,1—7,5</u>	<u>3,4</u>
	<u>78,5</u>	<u>64,5</u>	<u>6,3</u>	<u>4,8—7,3</u>	<u>3,7</u>
Густера	<u>15,2</u>	<u>6,0</u>	<u>4,9</u>	<u>3,6—6,2</u>	<u>2,5</u>
	<u>3,5</u>	<u>6,4</u>	<u>6,9</u>	<u>4,1—9,3</u>	<u>8,2</u>
Лещ	<u>4,3</u>	<u>6,8</u>	<u>7,4</u>	<u>5,5—9,3</u>	<u>10,0</u>
	<u>3,8</u>	<u>6,6</u>	<u>7,0</u>	<u>4,5—10,5</u>	<u>7,8</u>
Горчак	<u>1,2</u>	<u>0,5</u>	<u>4,3</u>	<u>3,0—5,4</u>	<u>2,8</u>
	<u>0,5</u>	<u>0,3</u>	<u>4,9</u>	<u>4,2—5,3</u>	<u>3,1</u>
Карась	—	—	—	—	—
	<u>0,4</u>	<u>1,3</u>	<u>6,1</u>	<u>6,0—7,5</u>	<u>6,7</u>
Окунь	<u>6,9</u>	<u>14,2</u>	<u>8,7</u>	<u>7,8—10,3</u>	<u>13,0</u>
	<u>1,4</u>	<u>2,6</u>	<u>7,7</u>	<u>6,2—10,0</u>	<u>8,7</u>
Бычки	<u>1,2</u>	<u>1,1</u>	<u>5,9</u>	<u>2,5—8,3</u>	<u>5,8</u>
	—	—	—	—	—
Всего, шт.	<u>421</u> 656				

были густера и лещ. Плотва отмечалась лишь в водах с пониженным температурным режимом, карась, сазан-каarp и линь — в водах с повышенным температурным режимом. Присутствие судака или некоторое его преобладание в водах с повышенным температурным режимом связано с тем, что здесь в большом количестве находилась укля (табл. 1), которой он, вероятно,

Т а б л и ц а   2

Соотношение видов рыб (в % к количеству экземпляров), выловленных сетями в Айдаре в водах с пониженным и повышенным температурным режимом в 1966 г.

Вид	Май		Август — сентябрь	
	Температура воды, ° С		Температура воды, ° С	
	18,4— 0,8	23,0—26,8	14,7—17,2	22,8—28,5
Щука	15,2	2,9	7,3	8,7
Плотва	6,7	—	8,8	—
Голавль	2,8	2,1	5,9	—
Язь	16,2	1,6	—	—
Красноперка	5,8	1,6	5,9	0,9
Жерех	—	—	—	0,4
Линь	—	4,7	—	8,7
Подуст	—	7,1	—	0,9
Густера	3,8	35,3	—	8,7
Лещ	32,4	34,1	26,5	39,6
Синец	—	0,2	—	—
Карась	—	3,3	—	2,2
Сазан-каarp	—	1,1	—	19,5
Сом	—	—	—	0,4
Судак	—	2,9	2,9	3,5
Окунь	17,1	3,1	42,7	6,5
Всего, шт.	105	423	68	230

питался. Щука в водах с повышенным температурным режимом встречалась преимущественно в затонах, где температура воды была на 1—2,5° ниже, чем в основном русле реки.

В весенний период в водах той и другой температурной зоны преобладающее число видов рыб в среднем характеризовалось близкими линейно-весовыми показателями. В летне-осенний период почти все рыбы, которые обнаружены в водах обеих температурных зон, в противоположность их молодн были крупнее и имели больший вес (табл. 3).

В водах предплотинного участка Сев. Донца в отличие от Айдара осенью 1966 г. видовой состав рыб в сетных уловах был несколько богаче в зоне с пониженным температурным режимом по сравнению с таким же составом рыб в зоне с повышенным температурным режимом (табл. 4). В последней из указанных зон по сравнению с первой рыбы отличались бо́льши-

Таблица 3

Средние линейные и весовые показатели (соответственно в см и г) рыб, выловленных сетями в Айдаре в водах с пониженным и повышенным температурным режимом в 1966 г.

Вид	Май		Август — Сентябрь			
	Температура воды, °С		Температура воды, °С			
	18,4—20,8	23,0—26,8	14,7—17,2		22,8—28,5	
	Длина	Длина	Длина	Вес	Длина	Вес
Щука	33,2	34,9	35,3	509	34,0	395
Плотва	15,7	—	16,4	103	—	—
Голавль	21,7	21,7	30,1	647	—	—
Язь	19,1	20,9	—	—	23,0	285
Красноперка	14,9	14,5	15,4	80	16,4	101
Жерех	—	—	—	—	31,6	484
Линь	—	20,3	—	—	17,4	144
Подуст	—	18,4	—	—	21,4	162
Густера	13,7	14,3	—	—	15,4	104
Лещ	16,6	16,2	19,7	200	16,7	115
Синец	—	16,1	—	—	—	—
Карась золотой	—	15,9	—	—	12,1	72
Карась серебряный	—	—	—	—	12,4	59
Сазан-каarp	—	25,6	—	—	18,7	198
Сом	—	—	—	—	31,0	337
Судак	—	28,5	36,9	—	28,0	321
Окунь	16,5	16,0	18,1	130	17,7	101

Таблица 4

Соотношение видов рыб (в % по количеству экземпляров), выловленных в предплотинном участке Сев. Донца в водах с различным температурным режимом в сентябре 1966 г.

Вид	Температура воды, °С	
	17,6—17,7	19,0—20,5
Щука	2,1	—
Плотва	13,4	28,2
Голавль	8,3	4,2
Язь	6,2	2,8
Красноперка	7,2	—
Линь	3,1	—
Подуст	1,0	—
Густера	38,1	40,9
Лещ	6,2	15,5
Сазан-каarp	1,0	1,4
Судак	9,3	4,2
Окунь	4,1	2,8
Всего, шт.	97	71

Таблица 5

Средние линейные и весовые показатели (соответственно в см и г) рыб, выловленных сетями в предплотинном участке Сев. Донца в водах с различным температурным режимом в сентябре 1966 г.

Вид	Температура воды, °С			
	17,6—17,7		19,0—20,5	
	Дли- на	Вес	Дли- на	Вес
Щука	26,1	152	—	—
Плотва	16,5	106	15,9	100
Голавль	24,2	325	27,9	471
Язь	23,9	317	24,1	322
Красноперка	15,2	79	—	—
Линь	19,4	184	—	—
Подуст	19,4	145	—	—
Густера	14,9	92	16,4	135
Лещ	16,0	153	20,2	176
Сазан-каarp	25,1	480	29,1	740
Судак	26,1	221	24,3	169
Окунь	16,1	91	16,2	95

ми линейно-весовыми показателями (табл. 5), причем плотва здесь избирала в большей мере зону с повышенным температурным режимом в противоположность тому, что отмечалось в Айдаре. Это объясняется меньшей разницей в показателях температуры воды между зонами с повышенным и пониженным температурным режимом в Сев. Донце, чем в Айдаре. С последним связано и то, что относительное количество густеры было почти одинаковым на обоих участках, а лещ охотнее избирал воду с повышенным температурным режимом.

Таблица 6

Соотношение видов рыб ( $n=147$ ) и их линейно-весовые показатели в сетных уловах в водах совмещенной поймы Айдара и предплотинного участка Сев. Донца в апреле — мае 1967 г.

Вид	В % по		Длина, см		Средний вес, г
	количеству	весу	средняя	предел	
Щука	3,1	12,6	40,3	26,4—60,0	692
Плотва	6,6	3,2	15,6	9,5—21,1	76
Голавль	0,7	1,7	25,8	20,1—28,8	380
Язь	3,9	8,5	25,2	20,6—31,5	341
Красноперка	7,6	3,9	15,0	11,8—20,6	79
Линь	10,6	17,2	20,6	14,2—35,0	253
Густера	48,2	28,4	14,6	7,5—23,5	92
Лещ	13,6	18,9	20,8	10,8—34,5	218
Карась	2,5	1,4	13,8	9,1—20,3	101
Сазан-каarp	0,8	2,3	25,4	19,7—34,2	521
Гибрид карпа и карася	0,5	0,2	15,3	12,5—23,0	88
Судак	0,2	0,5	28,3	25,0—33,0	348
Окунь	1,7	1,2	16,7	13,8—26,4	109
Всего, шт.	147				

Весной 1967 г. разница в показателях температуры воды в Сев. Донце выше и ниже устья Айдара не превышала 0,2—1,0°. Такой же она была в Айдаре и в Сев. Донце, что объясняется большим паводком и сокращенным сбросом воды через пруд-охладитель. В связи с залитием междуречья Сев. Донца и Айдара рыбы почти отсутствовали в руслах обеих рек. В большей массе они вылавливались в пойме. Поэтому видовой состав и линейно-весовые показатели рыб в совмещенной пойме Сев. Донца и Айдара (табл. 6) очень близки к таким же показателям рыб из того и другого водоема (табл. 3, 5). Это свидетельствует, с одной стороны, о постоянном обмене ихтиофауной между Айдаром и предплотинным участком Сев. Донца, с другой стороны, об отсутствии такого обмена или его ограниченности меж-



ду предплотинным участком Сев. Донца и участком последнего, расположенном ниже плотины, о чем свидетельствуют данные о видовом составе рыб в том и другом участках (табл. 4, 6, 7, 9).

Сравнение видового состава рыб Сев. Донца, выловленных на участке, расположенном в 5—7 км ниже плотины (I участок), и на участке, удаленном от нее на расстояние до 35—40 км (II участок), интересно тем, что в последнем видовой состав рыб богаче и разнообразнее (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Соотношение видов рыб (в % к количеству экземпляров), выловленных сетями в водах Сев. Донца ниже плотины в апреле 1966 г.

Вид	Участок	
	первый	второй
Щука	1,2	0,3
Плотва	48,8	7,4
Голавль	13,2	1,6
Язь	2,4	1,1
Жерех	—	0,3
Подуст	—	41,8
Шемая	—	0,3
Густера	11,5	23,3
Лещ	3,6	20,6
Рыбец	6,0	1,1
Карась	1,8	0,8
Сазан-каarp	2,4	—
Судак	0,6	0,3
Окунь	8,5	1,1
Всего, шт.	166	364

Т а б л и ц а 8

Линейные размеры (в см) рыб, выловленных сетями в водах Сев. Донца ниже плотины в апреле 1966 г.

Вид	Участок	
	первый	второй
Щука	31,2	34,8
Плотва	11,6	14,2
Голавль	27,4	23,3
Язь	28,5	21,3
Жерех	—	30,5
Подуст	—	18,4
Шемая	—	18,2
Густера	16,4	17,2
Лещ	20,9	17,0
Рыбец	26,9	27,0
Карась	15,4	16,5
Сазан-	23,5	—
Судак	30,5	34,7
Окунь	17,8	18,4

Размерный состав рыб на разном удалении от плотины был очень близким, хотя средний размер большинства видов рыб несколько увеличивался с удалением вниз по течению от плотины (табл. 8).

В сентябре 1967 г. среди взрослых рыб больше 90% составлял подуст, тогда как среди их молоди преобладающими видами были подуст, горчак и пескарь, в меньшем количестве попадались в уловах плотва, голавль, носарь и укля (табл. 9).

На участке Сев. Донца, расположенном ниже плотины, видовой состав рыб и их соотношение в уловах мальковой волокушей в сентябре 1967 г. (табл. 9) несколько отличались от таковых в августе 1968 г. (табл. 10). Это объясняется температурными условиями в период сбора материала, а также численностью молоди рыб в каждом году исследований. Например, в 1967 г. в уловах преобладал подуст, особи которого родились

весной указанного года в условиях среднего паводка. В августе 1968 г. на этом же участке обнаруживались лишь двухлетки подуста, т. е. особи, родившиеся весной 1967 г. Отсутствие сеголетков подуста объясняется плохими условиями для его размножения весной 1968 г. (высокий весенний паводок, резкие колебания уровня воды и температуры). Это же относится и к плотве. Линейно-весовые показатели плотвы и подуста в августе 1968 г. были более высокими (табл. 11), чем в сентябре 1967 г. Отсутствие носаря в уловах 1968 г. можно, вероятно, объяснить

Т а б л и ц а 9

Соотношение видов рыб ( $n=626$ ) и их линейно-весовые показатели в уловах мальковой волокушей в водах Сев. Донца ниже русловой плотины в сентябре 1967 г.

Вид	В % по		Длина, см		Средний вес, г
	количест- ву	весу	средняя	предел	
Щука	0,2	0,6	13,2	—	20,0
Плотва	7,7	3,8	5,2	3,8—6,2	2,6
Елец	0,3	0,2	6,1	5,6—6,6	3,0
Голавль	6,9	13,3	8,0	4,2—11,9	10,1
Язь	0,6	0,4	5,8	4,8—7,1	4,0
Красноперка	0,2	0,2	6,7	—	6,0
Подуст	30,8	48,4	7,6	5,7—9,1	8,2
Верховка	0,2	0,1	4,0	—	1,0
Пескарь	14,9	10,2	6,0	3,6—8,6	3,6
Уклея	3,2	1,1	4,8	3,3—8,1	1,9
Густера	0,2	0,1	4,7	—	3,0
Горчак	27,9	12,8	4,5	3,6—5,8	2,4
Окунь	2,2	2,7	6,6	5,3—9,5	6,4
Носарь	3,9	5,5	7,6	6,2—8,7	7,2
Бычки	0,8	0,6	4,9	4,1—6,0	3,8
Всего, шт.	626				

повышенной чувствительностью его к воде повышенной температуры, которая в период облова в последнем году исследования достигала 32,4°, а в 1967 г.—лишь 25,0°. При сравнении видового состава рыб и их соотношения в обеих температурных зонах предплотинного участка и участка, расположенного ниже плотины, видно, что на последнем из них в уловах присутствовали преимущественно рыбы-реофилы.

В Айдаре в водах с пониженным температурным режимом преобладала плотва, ей уступали горчак, голавль, язь и окунь, а в водах с повышенным температурным режимом преобладающими видами были плотва, уклея, горчак, язь, елец и густера (табл. 10). При сравнении линейно-весовых показателей рыб,

Таблица 10

Соотношение видов рыб (в % к количеству экземпляров — числитель и к весу — знаменатель) в уловах мальковой волокушей в Айдаре и Сев. Донце в августе 1968 г.

Вид	Айдар		Сев. Донец		
	Температура воды, ° С		Температура воды, ° С		
	20,4	27,0	24,4	25,4	32,4
Щука	0,5 2,9	—	7,0 30,7	1,3 5,4	—
Плотва	53,3 36,1	18,3 9,1	38,0 21,7	31,3 30,0	1,7 3,7
Елец	1,0 0,9	8,6 9,1	—	0,3 0,1	5,5 3,1
Голавль	9,4 23,3	3,2 6,5	—	—	2,8 4,1
Язь	4,0 3,9	11,8 10,0	1,5 0,7	0,9 1,1	1,1 2,1
Красноперка	2,7 4,5	4,3 12,5	12,7 19,9	12,2 24,1	—
Линь	—	—	—	0,9 0,1	—
Верховка	—	—	—	—	0,5 0,1
Подуст	—	—	—	—	7,8 27,3
Пескарь	0,1 0,7	2,2 1,8	—	4,0 3,2	13,1 9,1
Уклея	3,6 4,1	18,3 26,8	15,4 12,4	24,7 18,6	64,7 47,7
Густера	1,0 0,5	6,4 6,5	4,2 2,8	14,4 6,5	—
Лещ	0,4 1,1	3,2 2,8	4,2 5,9	0,9 2,2	—
Горчак	17,4 6,6	17,2 5,2	5,6 0,4	0,3 0,1	—
Карась	—	1,1 1,1	—	—	—
Сазан	—	—	—	—	1,1 1,5
Щиповка	0,4 0,1	—	—	—	—
Окунь	4,9 14,9	4,3 6,1	9,9 3,9	8,2 8,2	1,7 1,3
Бычок песочник	1,3 0,4	1,1 2,5	1,5 1,6	0,6 0,4	—
Всего, шт.	223	93	71	320	181

Т а б л и ц а 11

Средние линейные (в см, числитель) и весовые (в г, знаменатель) показатели рыб в уловах мальковой волокушей в Айдаре и в Сев. Донце в августе 1968 г.

Вид	Айдар		Сев. Донец		
	Температура воды, ° С		Температура воды, ° С		
	20,4	27,0	24,4	25,4	32,4
Щука	14,7 32,0	— —	15,0 35,2	13,8 25,5	— —
Плотва	5,4 3,3	4,5 2,3	5,7 4,6	6,1 5,5	9,4 16,0
Елец	6,9 5,0	6,2 5,0	— —	5,8 3,0	5,9 3,9
Голавль	8,1 12,0	7,3 9,6	5,8 4,0	— —	8,3 10,6
Язь	6,0 4,8	3,3 4,0	— —	3,5 7,7	7,8 13,5
Красноперка	7,4 8,1	8,5 13,7	9,1 12,7	6,8 10,8	— —
Линь	— —	— —	— —	2,7 2,2	— —
Верховка	— —	— —	— —	— —	4,3 1,5
Подуст	— —	— —	— —	— —	11,1 25,1
Уклея	7,7 5,5	7,2 6,9	6,2 6,5	6,5 4,3	7,0 5,3
Пескарь	6,3 4,0	6,5 4,0	— —	6,4 4,8	6,8 4,8
Густера	5,2 2,7	6,0 5,1	6,3 5,3	4,9 2,7	— —
Лещ	8,5 12,0	5,8 4,0	7,7 11,3	8,4 14,7	— —
Горчак	3,8 1,8	3,7 1,5	2,4 0,5	2,1 1,0	— —
Карась	— —	5,6 4,5	— —	— —	— —
Сазан	— —	— —	— —	— —	6,7 9,5
Щиповка	3,0 0,5	— —	— —	— —	— —
Окунь	9,2 17,8	6,6 6,7	5,4 3,1	5,8 5,7	6,6 5,6
Бычок песочник	4,0 1,3	8,4 11,0	7,6 9,0	3,7 4,0	— —

выловленных в Айдаре в августе 1968 г. в водах с пониженным и с повышенным температурным режимом, показательным является то, что в водах первого участка преобладающее число видов рыб было бóльшего размера, чем в водах второго участка (табл. 11), тогда как в сентябре 1967 г. (табл. 1) отмеченная зависимость была противоположной. Это объясняется сезонными перемещениями рыб из вод одной температурной зоны в другую и наоборот, а также температурной чувствительностью рыб разных размерных групп.

В предплотинном участке Сев. Донца в водах с пониженным температурным режимом преобладали плотва, красноперка, укляя, окунь, горчак, лещ и густера. В водах с повышенным температурным режимом преобладающими видами были почти те же, что и на предыдущем участке, с той только разницей, что обнаруженные виды рыб в зависимости от их численности располагаются несколько в ином порядке (табл. 10). Почти такая же зависимость отмечалась в распределении рыб и по их весу. Различия в линейно-весовых показателях рыб, выловленных в зонах с повышенным и пониженным температурным режимом предплотинного участка Сев. Донца, менее значительны, чем в Айдаре, что объясняется меньшей разницей в показателях температуры воды в первом из указанных водоемов по сравнению со вторым.

Несомненно, на распределение рыб в рассмотренных участках влияли не только температурный режим их воды, но и гидрохимические условия, наличие в воде кормовых организмов и некоторые другие факторы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение рыб в зависимости от температуры воды во все сезоны года более четко выражено в Айдаре, где наблюдается наибольшая разница в показателях температуры воды между зонами с повышенным и естественным (пониженным) температурным режимом. В меньшей мере это выражено на предплотинном участке Сев. Донца, где разница в показателях температуры воды между указанными выше зонами менее существенна на участке Сев. Донца, расположенном ниже плотины. С удалением от последней вниз по течению количество видов рыб возрастает (особенно в весенний период) за счет подхода их из Дона. На видовой состав рыб и их распределение на каждом участке оказывают влияние и гидрологические условия.

Размер рыб на разных участках в различные сезоны года непостоянный и зависит от температурного режима на каждом из участков. Весной в Айдаре и в предплотинном участке Сев. Донца в водах с повышенным и пониженным температурным режимом средний размер рыб в сетных уловах почти одинаковый.



В летне-осенний период размер рыб несколько бóльший в Айда-тинном участке с пониженной температурой воды, а в предплотинном участке Сев. Донца — на участке с повышенной температурой воды. В уловах рыб мальковой волокушей их средние линейно-весовые показатели в Айдаре и предплотинном участке Сев. Донца были меньшими в водах с повышенным температурным режимом в летний период и большими — в осенний. Линейно-весовые показатели рыб на участке Сев. Донца, расположенном ниже плотины, увеличиваются с удалением от плотины вниз по течению.

Рыбы при неблагоприятных условиях в водах той или другой температурной зоны уходят в места, где эти условия более приемлемые. Причем, температурная чувствительность более развита у крупных рыб, чем у мелких особей одного и того же вида. В различные сезоны года температурная чувствительность разных видов рыб и даже различных возрастных групп одного и того же вида, вероятно, различная.

В связи с тем, что речные долины Айдара и предплотинного участка Сев. Донца соприкасаются, между указанными водоемами происходит обмен рыбным населением. Наиболее интенсивно это происходит в период весеннего половодья, хотя при изменениях уровня режима в водохранилище интенсивные перемещения рыб из Айдара в Сев. Донец и наоборот наблюдаются и летом.

Рыб Айдара и Сев. Донца по отношению к температуре воды можно условно разделить на две группы, в одну из которых входят рыбы, предпочитающие держаться весной, летом и ранней осенью при температуре воды до 20° (щука, плотва, голавль, горчак, окунь, бычки), в другую — рыбы, придерживающиеся в указанные сезоны участков с температурой 22—28° (густера, лещ, линь, карась, карп-сазан, уклея, пескарь).

В Айдаре и в Сев. Донце в районе сброса в них подогретых вод Ворошиловградской ГРЭС в период проведения исследований гибели рыб не наблюдалось. По сообщениям рыбаков, в реках трупы рыб отмечались преимущественно в июле — начале августа. В Айдар они частично попадали из пруда-охладителя, в котором рыбы гибли в результате повышения температуры воды в нем до 40°, а иногда и больше. В связи с этим в летние месяцы подогретые воды Ворошиловградской ГРЭС перед сбросом их в Сев. Донец и в Айдар необходимо подвергать большому охлаждению.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Булахов В. Л. и Мельников Г. Б. Об условиях развития тюльки *Clupeonella delicatula* (Nordmann) в Ленинском водохранилище. — *Вопр. ихтиол.*, 5, 3 (36), 1965.
- Доценко А. П. Почему мелеет и беднеет рыбой Северский Донец. — *Природа*, 4, 1958.

Нусенбаум Л. М. Дискуссия.— В кн.: Тр. координац. совещ. по гидротехнике, 24. «Энергия», М.—Л., 1965.

Привольнев Т. И. Влияние сбросных вод тепловых электростанций на организм и поведение рыб.— В кн.: Тр. координац. совещ. по гидротехнике, 24. «Энергия», М.—Л., 1965.

Alabaster J. S. The effect of heated effluents on fish.— Internat. J. Air and water Pollut, 7, 6-7, 1963.

Denser H. W. Über die temperaturbedingte Grenze des Lebensraumes einiger Fische und Fischnartiere der Fließwasserregionen.— Sitzungsber. Ges. Naturforsch. Freunde Berlin, 6, 1—3, 1966.

Engle M. D. Condensing water how does it affect the river? — Mech. Engng., 83, 1, 1961.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
Топачевский А. В., Пидгайко М. Л. Цели и задачи гидробиологического исследования водоемов — охладителей тепловых электростанций	6
Германов Е. Я. Системы и схемы водоснабжения тепловых электростанций и вопросы, связанные с влиянием сброса теплых вод на гидробиологический режим и санитарное состояние водоемов . . . . .	10
Пидгайко М. Л. Материалы к сравнительной физико-географической характеристике водоемов — охладителей тепловых электростанций Украины . . . . .	19
Буторин Н. В., Курдина Т. Н. О температурном воздействии Конаковской ГРЭС на воды Иваньковского водохранилища . . . . .	36
Коненко А. Д., Абремская С. И., Кутовенко В. М. Характеристика гидрохимического режима водоемов — охладителей ГРЭС Украины	57
Коненко А. Д., Абремская С. И., Коцарь Н. И. Органическое вещество донных отложений водоемов — охладителей ГРЭС юга Украины	73
Наталюк Н. Т., Шиманский Б. А. Гидрохимический режим водохранилища — охладителя Добротворской ГРЭС и р. Западный Буг . . . . .	85
Лаумянскас Г. А., Снукишкис Ю. Ю. Режим ионного состава и общей минерализации воды водохранилища — охладителя Литовской ГРЭС	95
Лаумянскас Г. А., Снукишкис Ю. Ю. Режим биогенных элементов, органических веществ и газового состава водохранилища — охладителя Литовской ГРЭС . . . . .	101
Ленчина Л. Г. Бактериопланктон водохранилища — охладителя Кураховской ГРЭС . . . . .	110
Шаларь В. М., Яловицкая Н. И. Развитие фитопланктона в Кучурганском лимане — охладителе Молдавской ГРЭС . . . . .	117
Виноградская Т. А. Влияние подогрева на развитие фитопланктона водохранилища — охладителя Кураховской ГРЭС . . . . .	136
Гринь В. Г. Донная альгофлора водоемов — охладителей ГРЭС Украины . . . . .	154
Мирошниченко А. З. Зоопланктон водоема — охладителя Змиевской ГРЭС . . . . .	173
Поливанная М. Ф., Сергеева О. А. Зоопланктон водоемов — охладителей тепловых электростанций Украины . . . . .	188
Пидгайко М. Л. Зоомакробентос Кураховского водохранилища и влияние на него подогрева . . . . .	207
Китицына Л. А. Интенсивность обмена <i>Pontogammarus robustoides</i> G r i m m. в водоеме — охладителе Кураховской ГРЭС . . . . .	217
Щербуха А. Я. О влиянии подогретых вод Ворошиловградской ГРЭС на распределение рыб Северского Донца и его притока Айдар . . . . .	230

УДК 577472(28)

**Цели и задачи гидробиологического исследования водоемов — охладителей тепловых электростанций.** Топачевский А. В., Пидгайко М. Л.— Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

Сформулированы основные цели и задачи гидробиологического изучения водоемов — охладителей тепловых электростанций и дано санитарно-биологическое и гидротехническое их обоснование.

Библ.— 5.

УДК 621.3111+577.472(28)+614

**Система и схемы водоснабжения тепловых электростанций и вопросы, связанные с влиянием сброса теплых вод на гидробиологический режим и санитарное состояние водоемов.** Германов Е. Я.— Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с освоением водоемов как охладителей тепловых электростанций. Приводятся технические данные различных систем и схем водоснабжения, условия образования биопомех в конденсаторах при теплообменных процессах, данные по тепловому режиму различных водоемов-охладителей в связи с их подогревом. Дан анализ имеющихся в литературе данных по результатам влияния повышенной температуры на гидрохимический и санитарно-биологический режим водоемов-охладителей. Высказываются соображения относительно организации и планирования научно-исследовательских работ в области изучения водоснабжения и биологических помех тепловых электростанций.

Табл.— 2. Библ.— 2.

УДК 551.482(477)

**Материалы к сравнительной физико-географической характеристике пресноводных водоемов — охладителей тепловых электростанций Украины.** Пидгайко М. Л.— В сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

Исследованы водоемы — охладители тепловых электростанций в различных районах Украины. Дана характеристика особенностей физико-географических районов, в которых расположены эти водоемы (западное Полесье, западная Лесостепь, восточная Лесостепь, северная Степь, южная Степь), гидрологического и термического режимов водоемов-охладителей и их морфологии. Показано значение среднегодовых температур, а также максимальных показателей перегрева воды и удельной тепловой нагрузки на гидробиологический режим водоемов-охладителей, предложена их классификация.

Табл.— 5. Библ.— 11.

УДК 551.482.

**О термическом воздействии Конаковской ГРЭС на воды Иваньковского водохранилища.** Буторин Н. В., Курдина Т. Н.— В сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

В статье дана обстоятельная характеристика гидрологического и термического режима Иваньковского водохранилища. На основании анализа материалов натурных наблюдений, проведенных в течение годового цикла 1967—1968 гг., показано влияние сброса нагретых вод Конаковской ГРЭС на температурный режим водохранилища в основные фазы его гидрологического режима. Зимой средняя температура воды повышалась на русловых участках по сравнению с водозабором на 1,5—3°С. Максимальная температура придонных слоев воды зимой достигала 5,7°С. Летом температура поверхностного слоя составляла 25—26°С. Влияние подогретых вод в безлед-

ный период прослеживалось на 11—13 км выше и ниже впадения подогретых вод в водохранилище.

Табл.— 4. Рис.— 13. Библ.— 16.

УДК 551.482.214

**Характеристика гидрохимического режима водоемов — охладителей ГРЭС Украины.** Коненко А. Д., Абремская С. И., Кутовенко В. М.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

На основании собственных и архивных данных приведена сравнительная характеристика водоемов-охладителей, расположенных в различных физико-географических условиях и отличающихся по характеру источников питания, интенсивности водообмена и тепловой нагрузке. Установлены локальные изменения в распределении биогенных и органических веществ в воде и донных отложениях под влиянием более интенсивного развития гидробионтов, вызванного повышением температуры воды в водоемах благодаря поступлению подогретых циркуляционных вод тепловой электростанции.

Табл.— 2. Библ.— 7.

УДК 551.482.214

**Органическое вещество донных отложений водоемов — охладителей ГРЭС юга Украины.** Коненко А. Д., Абремская С. И., Коцарь Н. И.—В сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

Показаны особенности формирования донных отложений и их органического вещества в водоемах — охладителях Кураховской, Змиевской, Старобешевской, Зуевской и Штеровской ГРЭС. Дана характеристика элементарного состава органического вещества — содержание углерода, азота и фосфора (валовых и подвижных форм). Установлена зависимость содержания органических веществ от биомассы планктона.

Табл.— 1. Рис.— 2. Библ.— 10.

УДК 551.482.214

**Гидрохимический режим водохранилища — охладителя Добротворской ГРЭС и р. Западный Буг.** Наталюк Н. Т., Шиманский Б. А.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

В статье дана сравнительная характеристика гидрохимического режима р. Западный Буг и сооруженного на ней водохранилища-охладителя с повышенной температурой воды в результате работы Добротворской ГРЭС. Показано влияние пруда-охладителя на очистку сточных вод, попадающих в р. Западный Буг.

Рис.— 4.

УДК 551.482.214

**Режим ионного состава и общей минерализации воды водохранилища — охладителя Литовской ГРЭС.** Лаумянская Г. А., Снукишкис Ю. Ю.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

Дана краткая морфометрическая и гидрологическая характеристика водохранилища-охладителя, рассмотрен режим ионного состава воды в нем и в питающей р. Стрев. Доказано незначительное влияние сброса нагретых вод ГРЭС на состав воды в водохранилище. Отмечено увеличение концентрации сульфатного иона в результате загрязнения атмосферы дымовыми газами ГРЭС.

Табл.— 1. Рис.— 1.



**Режим биогенных элементов, органических веществ и газового состава водохранилища — охладителя Литовской ГРЭС.** Лаумянскас Г. А., Снукишкис Ю. Ю.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

Дана гидротермическая характеристика водохранилища — охладителя Литовской ГРЭС, рассмотрен режим биогенных и органических веществ и растворенных газов. Сделан вывод о положительном влиянии нагретых циркуляционных вод на газовый режим водохранилища-охладителя в последний период. Установлено влияние сброса нагретых циркуляционных вод на содержание биогенных и органических веществ в водоеме-охладителе.

Табл.— 1. Библ.— 4.

УДК 576.8 : 577.475(28)

**Бактериопланктон водохранилища — охладителя Кураховской ГРЭС.** Ленчина Л. Г.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

В статье рассматривается сезонная динамика общей численности бактериопланктона, а также входящих в его состав гетеротрофных бактерий и бактерий, обладающих протеолитическими свойствами, в водохранилище Кураховской ГРЭС и влияние подогрева воды теплыми водами на эти показатели. Показано, что повышение температуры воды в водохранилище в результате сброса в него теплых вод приводит к увеличению как общей численности бактериопланктона, так и гетеротрофных и протеолитических бактерий. Сезонный ход динамики этих показателей не нарушается — максимум наблюдается летом, минимум — зимой.

Табл.— 3. Рис.— 2. Библ.— 8.

УДК 581.526.323(28)

**Развитие фитопланктона в Кучурганском лимане — охладителе Молдавской ГРЭС.** Шаларь В. М., Яловицкая Н. И.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

В статье приведены данные об изменении качественного состава и количественных показателей фитопланктона, высшей водной растительности в результате работы Молдавской ГРЭС. Изучен характер изменений этих показателей под влиянием купоросования лимана. Установлено, что после постройки ГРЭС вегетация фитопланктона значительно уменьшилась за счет бурного развития высшей водной растительности и разрушения клеток фитопланктонных организмов при прохождении через охладительную систему ГРЭС.

Табл.— 7. Рис.— 5. Библ.— 9.

УДК 581.526.323(28)

**Влияние подогрева на развитие фитопланктона водохранилища — охладителя Кураховской ГРЭС.** Виноградская Т. А.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

Приведены данные количественного развития фитопланктона в водохранилище — охладителе Кураховской ГРЭС (Донецкая обл.) под влиянием сброса подогретых вод на протяжении 1965—1967 гг. Отмечено закономерное повышение численности и биомассы почти всех видов доминирующих групп водорослей — синезеленых, протококковых и диатомовых (за исключением некоторых холодолюбивых видов). Несмотря на то, что синезеленые водоросли оказались наиболее чувствительными к подогреву, развитие их не вызывало высокой степени «цветения» воды. Преобладали *Gomphosphaeria lacustris* Chod. и *Oscillatoria agardhii* Gom. Дана оценка санитарного состояния водоема.

Табл.— 6. Рис.— 1. Библ.— 23.

УДК (581.526.323.576.8)28

**Донная альгофлора водоемов — охладителей ГРЭС Украины.**  
Гринь В. Г.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

Изучено влияние степени обогрева в водоемах — охладителях ГРЭС Украины с оборотным водоснабжением на развитие данных водорослей, качественное и количественное их распределение по водоему в зависимости от температуры воды на протяжении года по сезонам. Показано увеличение биологической производительности данного фитоценоза под влиянием круглогодичного обогрева. Обогрев способствует удлинению вегетационного периода водорослей на 2—3 месяца. Наиболее ощутимо влияние в холодный период года.

Табл.— 3. Рис.— 4. Библ.— 8.

УДК 591.524.12(28)

**Зоопланктон водоема — охладителя Змиевской ГРЭС.** Мирошниченко А. З.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

Статья посвящена изучению состава и особенностей развития зоопланктона Змиевского Лимана, используемого как водоем — охладитель Змиевской ГРЭС. Изучены сезонные изменения его численности и биомассы. Показана разная степень развития зоопланктона на различных участках озера в связи с влиянием теплых вод электростанции и неоднородность вертикального его распределения.

Отмечается неодинаковый уровень развития зоопланктона в разные годы и постоянное преобладание в вегетационный период наиболее ценных в пищевом отношении для рыб ветвистоусых и веслоногих ракообразных.

Рис. 6. Библ.— 21.

УДК 591.524.12(28)

**Зоопланктон водоемов — охладителей тепловых электростанций Украины.** Поливанная М. Ф., Сергеева О. А.—Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

В статье рассматривается вопрос о влиянии спуска подогретых вод тепловых электростанций на видовой состав, динамику численности и биомассы зоопланктона в разные сезоны и годы. Дана санитарная оценка водоемов-охладителей по зоопланктону.

Табл.— 11. Рис.— 4. Библ.— 7.

УДК 591.524.11(28)

**Зоомакробентос Кураховского водохранилища и влияние на него подогрева.** Пидгайко М. Л.—В сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Наукова думка», К., 1971, с.

В течение 1967—1968 гг. изучался зоомакробентос водохранилища — охладителя Кураховской ГРЭС. Кураховское водохранилище, расположенное на р. Волчья, приток Самары (бассейн Днепра), относится к слабо нагреваемым водоемам-охладителям. Приведен видовой состав и количественное развитие зоомакробентоса. Показано, что в отепленной части водохранилища годовая продукция олигохет составляла 5,8 г/м<sup>2</sup>, на 18% ниже, чем в необогреваемой части. Коэффициент Р/В равнялся 5,3. Годовая продукция личинок *Procladius* в наиболее нагретом участке составляла 7,2 г/м<sup>2</sup>, что соответствует 212% продукции необогреваемого участка. Коэффициент Р/В равнялся 4,9. Годовая продукция личинок *Chironomus* из группы *semireductus*

в наиболее теплой части составляла 14,9  $с/м^3$  в слабоотопленной — 42,8  $с/м^3$  в неотопленной — 22,4  $с/м^3$  Коэффициенты  $W/B$  соответственно равнялись 6,4, 6,2 и 7,1.

Табл.— 2. Рис.— 2. Библи.— 4.

УДК 595.371.11(28)

Интенсивность обмена *Pomogommatus robustoides* Grtzm в водоеме — охладителе Кураховской ГРЭС. Котляшова Л. А.— Сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Научная мысль», К., 1971, с.

Изучено влияние температурного режима разных участков водоема — охладителя Кураховской ГРЭС на интенсивность обмена божьякава *Pomogommatus robustoides* в различные сезоны. Рассчитаны уравнения зависимости интенсивности обмена от веса тела при разной температуре. Показаны возрастные различия изменения интенсивности обмена при повышении температуры воды от 5 до 33°.

Табл.— 3. Рис.— 4. Библи.— 20.

УДК 597(28)577.42

О влиянии подогретых вод Воронежско-Курской ГРЭС на распределение рыб Северского Донца и его притока Айдар. Щербук А. Я.— В сб.: Гидрохимия и гидробиология водоемов — охладителей тепловых электростанций СССР. «Научная мысль», К., 1971, с.

В статье приведены сведения по распределению рыб Северского Донца и его притока Айдар на разных температурных участках указавших водоемов в районе сброса в них подогретых вод Воронежско-Курской ГРЭС. В характеристике рыбного населения содержатся сведения о соотношении видов рыб и их линейно-весовых показателей в разные сезоны года в зависимости от температуры воды на каждом из участков.

Табл.— 11. Библи.— 7.