

АКАДЕМИЯ
НАУК
СССР

**БИОЛОГИЯ
ВНУТРЕННИХ
ВОД**

№

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

2

СС
ИФ
Б63

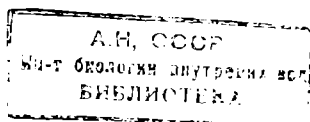
АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ВНУТРЕННИХ ВОД
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ
ГИДРОБИОЛОГИИ, ИХТИОЛОГИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ВОДОЕМОВ

БИОЛОГИЯ ВНУТРЕННИХ ВОД

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 2

24421-7



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Ленинград · 1968

Главный редактор

доктор биологических наук

Б. С. КУЗИН

Редактор издания

доктор биологических наук

Б. К. ШТЕГМАН

ГОДИЧНАЯ СЕССИЯ ЛАБОРАТОРИИ ГИДРОЛОГИИ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ ВНУТРЕННИХ ВОД АН СССР

Изучение гидрологического режима водохранилищ и отдельных его элементов имеет важнейшее значение для понимания закономерностей биологических процессов. В связи с этим особую роль приобретает разработка вопросов гидрологии, связанных с познанием взаимосвязей различных организмов и определенных водных масс. Исследования в этом направлении в течение ряда лет ведутся в Лаборатории гидрологии Института биологии внутренних вод АН СССР.

В целях ознакомления с направлением работ, применяемой методикой и результатами своих исследований Лаборатория гидрологии начиная с 1965 г. проводит отчетные годовые сессии с приглашением заинтересованных специалистов других научных учреждений и высших учебных заведений. В очередном обсуждении работ Лаборатории, состоявшемся в Борке с 28 февраля по 2 марта 1967 г., кроме сотрудников Института и его Куйбышевской станции, приняли участие представители следующих учреждений: Института географии АН СССР, Института энергетики СО АН СССР, Гидрологического института, Всесоюзного научно-исследовательского института водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии, Лаборатории озероведения Ленинградского университета, Московского и Пермского университетов, Ярославского педагогического института, Учинской лаборатории Мосводопровода и Рыбинской гидрометеорологической обсерватории.

Основное содержание докладов отчетной сессии касалось вопросов методики выделения (М. Г. Ершова, К. К. Эдельштейн, Н. В. Буторин и Т. Н. Курдина), формирования (К. К. Эдельштейн, Ю. И. Горин) и трансформации (Н. В. Буторин, М. А. Фортунатов, Н. А. Дзюбан) водных масс в водохранилищах волжской системы. Ряд докладов был посвящен вопросам формирования грунтов (В. П. Курдин и Н. А. Зиминова), режиму взвесей (Н. А. Зиминова и В. П. Курдин) и донных температур (С. С. Бакастов, С. Н. Тачалов) Рыбинского водохранилища.

Во время отчетной сессии было заслушано несколько докладов представителей других учреждений. Среди них значитель-

ный интерес представляют доклады Т. Н. Филатовой «О классификации течений в озерах и водохранилищах», Г. Л. Мельниковой «Мелководья, их место и роль в гидрологии водохранилищ» и В. Л. Рохмистрова «Структура минимального стока рек бассейна Рыбинского водохранилища». Все они непосредственно касаются различных вопросов гидрологии водохранилищ и определенным образом способствуют разработке вопросов, связанных с изучением их водных масс.

Особого внимания заслуживают доклады Н. М. Сваткова «Опыт применения представлений о географической оболочке как о естественноисторическом теле к анализу влияния на ее развитие водохозяйственной и промышленной деятельности человеческого общества» и И. П. Дружинина «Резкие изменения солнечной активности и переломы многолетнего хода природных процессов на Земле».

Основное содержание большинства докладов публикуется в настоящем номере «Информационного бюллетеня».

В процессе обсуждения докладов была отмечена перспективность работ, проводимых Лабораторией гидрологии, для познания закономерностей биологических процессов, протекающих в водохранилищах, необходимость дальнейшего расширения их, в частности, в сторону исследований стока и его вариаций как основного фактора формирования водных масс этих водоемов. Было признано целесообразным и в будущем проводить подобные обсуждения результатов работ Лаборатории, приобретающие значение более широкого форума для гидрологов, соприкасающихся с проблемами, разрабатываемыми гидробиологическими учреждениями.

Н. В. Буторин

К. К. Эдельштейн

ФОРМИРОВАНИЕ ВОДНЫХ МАСС ВОДОХРАНИЛИЩ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Особенности процесса формирования водных масс в весенний период в водоемах сезонного и годичного регулирования стока рассматриваются нами на примере Горьковского и Рыбинского водохранилищ, средние коэффициенты водообмена которых за апрель—май соответственно равняются 2.1 и 0.3.

Весеннее наполнение озерной части Горьковского водохранилища начинается с момента поступления в нее вод начальной фазы половодья Унжи и Немды. Мало минерализованные и относительно теплые воды этих рек сначала вытесняют зимние воды из приустьевых заливов, а затем быстро заполняют надпойменный участок Юрьевоцкого расширения. Быстрый подъем уровня воды наблюдается в это время не только в Юрьевоцком расширении, но и в приплотинном плесе водохранилища, который в этот момент бывает еще заполнен зимними водами. Повышение уровня у плотины вызывается вытеснением зимней водной массы из северной части водоема в южный, приплотинный его участок, речными водами. Одновременно с началом подъема уровня начинают увеличиваться расходы воды через Горьковскую ГЭС. В начале весеннего наполнения водохранилища в нижний бьеф сбрасываются находящиеся у плотины зимние воды. С увеличением расхода ГЭС при пропуске половодья фронт весенних речных вод быстро перемещается в сторону плотины и подходит к ней спустя одну-две недели после начала подъема уровня. Относительно высокие скорости стокового течения способствуют интенсивному перемешиванию речных и остатков зимних вод на всю глубину водоема, вследствие чего зона смешения обеих водных масс с приближением к плотине заметно расширяется. К концу половодья зимние воды из водохранилища полностью вытесняются и оно оказывается заполненным мало минерализованными речными водами.

После пропуска половодья расход гидроузла и скорости стоковых течений уменьшается. В результате радиационного теплообмена с воздухом поверхностные горизонты малоподвижной водной массы, наполняющей озерную часть водохранилища, на-

чинают прогреваться. Возникает температурная стратификация вод, способствующая интенсивному развитию фитопланктона. Одновременно меняется газовый режим водной массы и ее оптические свойства. В поздневесенний период в Горьковском водохранилище происходит столь значительная трансформация речных вод, что можно говорить о формировании здесь качественно новой водной массы — весенней водной массы водохранилища.

При наполнении Рыбинского водохранилища речные воды также вытесняют зимние воды из речных участков плесов в центральную часть водоема. Но в отличие от Горьковского водохранилища большая часть зимней водной массы Рыбинского водохранилища до конца его наполнения сохраняется в водоеме. С выходом речных вод в открытые районы водоема скорость их перемещения резко снижается и между ними и зимней водной массой водохранилища образуются четко выраженные гидрологические фронты с относительно высокими значениями горизонтальных градиентов физических и химических характеристик. Детальные гидрологические съемки, выполненные нами весной 1965 и 1966 гг. в расширенной части Моложского плеса на участке гидрологического фронта между речными моложскими водами и зимними водами водохранилища, дали возможность составить достаточно полное представление о процессах, происходящих во фронтальной зоне. В результате этих наблюдений установлено, что формирование весенней водной массы водохранилища происходит в значительной степени в зонах смешения речных и зимних вод, причем в зависимости от гидрологических особенностей весны этот процесс имеет различные формы.

В холодную и ветреную погоду при наличии в водоеме достаточно четко выраженных стоковых течений речная и зимняя водные массы бывают хорошо перемешаны по вертикали, а фронтальная поверхность между ними имеет вертикальное положение. Под действием ветра в водоеме возникает сложная система потоков. При этом зона смешения водных масс значительно расширяется и изгибается, а граница водных масс меандрирует внутри этой зоны, оконтуривая отдельные потоки вод. Именно эти области наибольшего горизонтального обмена различных вод и являются очагами формирования весенней водной массы водохранилища. В дальнейшем ареал вновь образовавшейся водной массы быстро увеличивается за счет смешения с окружающими ее исходными массами.

В теплую погоду со слабыми ветрами и при отсутствии заметных стоковых течений водохранилище быстро прогревается. Возникающая при этом температурная стратификация более четко бывает выражена в относительно холодной зимней водной массе, чем в водах половодья. Так, во второй декаде мая 1966 г. придонные слои зимних вод имели температуру 7—8°, а температура их верхних горизонтов повысилась до 12—13°. Слой температур-

ного скачка со средним градиентом 2 град./м находился на глубине около 5 м. Температура весенних моложских вод была более однородной и изменялась по вертикали в пределах 10—12°. В такие периоды отмечается натекание более теплых и мало минерализованных речных вод на более плотные зимние воды водохранилища. В результате этого поверхность раздела водных масс приобретает наклон в сторону ядра зимней массы. Натекание речных вод на зимние сопровождается интенсивным смешением их в эпилимниальном слое. Одновременно наблюдается медленное растекание зимних вод вдоль дна водоема от ядра этой массы к ее периферии, вследствие чего наклон поверхности гидрологического фронта еще более увеличивается. С течением времени гипolimнион водоема оказывается занятым остатками зимних вод, над которыми в эпилимнионе располагается водная масса, возникшая в результате смешения весенних речных и зимних вод водохранилища. Постепенное погружение зоны температурного скачка приводит к тому, что все новые слои зимних вод вовлекаются в перемешивание. Подобное явление наблюдалось нами и ранее в Центральном плесе Рыбинского водохранилища (Эдельштейн, 1963). Тенденция развития этого процесса дает основание полагать, что формирование весенней водной массы водохранилища в условиях погоды со слабыми ветрами заканчивается после того, как металимнион достигнет дна и все остатки зимних вод перемешаются с водами эпилимниона.

Таким образом, весенние водные массы водохранилищ сезонного регулирования стока формируются из аккумулярованных вод половодья путем их трансформации под воздействием гидрометеорологических и биологических процессов, протекающих в этих водах. Весенние водные массы водохранилищ годового регулирования стока формируются в результате смешения вод притоков и зимних водных масс, сохраняющихся в водоемах до конца весны. В относительно мелководных водохранилищах, типа Рыбинского, характер этого процесса определяется гидрометеорологическими особенностями весеннего периода.

ЛИТЕРАТУРА

Эдельштейн К. К. 1963. О слое температурного скачка и его динамике в Рыбинском водохранилище. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 6 (9).

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О СТРУКТУРЕ ВОД ЧЕРЕМШАНСКОГО ЗАЛИВА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Черемшанский залив Куйбышевского водохранилища, образовавшийся в пойме реки Большого Черемшана, представляет собой большое водное угодье, длина которого 70, ширина 8—12 км. Этот залив превышает некоторые водохранилища, например Ивановское и Угличское, по объему в 2 раза, а по площади в 1.5 раза. Общая гидрологическая и биологическая характеристики Черемшанского залива даны Н. А. Дзюбаном и

А. И. Елисеевым (1966). Структура его вод изучалась нами в 1966 г.

Весенняя гидрологическая съемка залива производилась 26—29 мая, когда уровень в водохранилище был выше нормального проектного горизонта на 2 м. Для первого представления о размещении водных масс и зон их смешения нами был выполнен продольный разрез (рис. 1). При движении судна по разрезу через каждый километр отбирались пробы воды, в которых на судне определялись температура и электропроводность с помощью термокапметра.

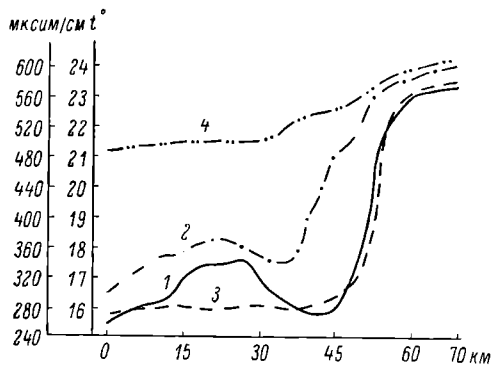


Рис. 1. Распределение температуры и электропроводности в Черемшанском заливе Куйбышевского водохранилища в поверхностном слое.

1 — электропроводность в мае 1966 г.; 2 — температура в мае 1966 г.; 3 — электропроводность в июле 1966 г.; 4 — температура в июле 1966 г.

Точность измерения этих характеристик составляла 0.1° и 2—4 мксим./см (Ершова и Эдельштейн, 1966). Обработка материалов и составление графиков распределения температуры и электропроводности в поверхностном слое воды производились во время съемки. Это дало возможность правильно распределить последующие станции с целью более полного охвата наиболее интересных участков залива.

После выполнения продольного разреза было сделано определение температуры и электропроводности на 25 вертикалях 4 поперечных разрезов. Графики распределения электропроводности и температуры на разрезах показывают, что электропроводность вод в верхней части залива в 2.5 раза, а температура

з среднем на 4.5° выше, чем в водохранилище. Это объясняется тем, что весной, во время наполнения водохранилища, одна из ветвей течения проникает вдоль правого берега в среднюю часть Черемшанского залива. Встречая в этом районе поток вод Боль-

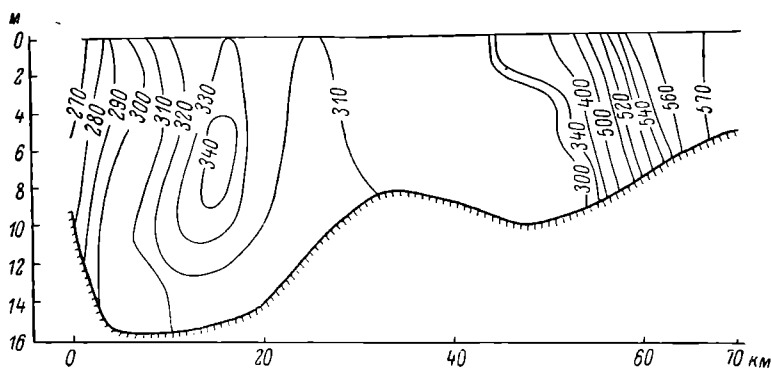


Рис. 2. Распределение электропроводности (в мксим./см) в Черемшанском заливе в весенний период.

шого Черемшана, она поворачивает и вдоль левого берега направляется обратно в водохранилище. В нижней части Черемшанского залива она встречает течение из Сусканского залива, водные массы которого повышают электропроводность в этом районе до 320—340 мксим./см (рис. 1, 2).

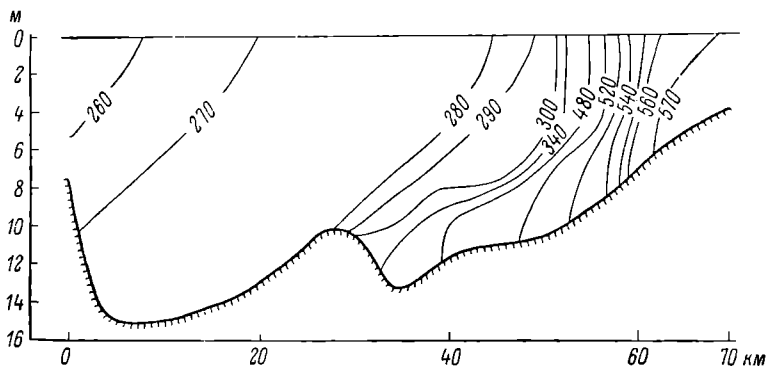


Рис. 3. Распределение электропроводности (в мксим./см) в Черемшанском заливе в летний период.

Воды Большого Черемшана, как более теплые, натекают на водохранилищные. Это хорошо прослеживается в средней части залива (рис. 2). Таким образом, весной Черемшанский залив заполнен тремя водными массами: речной — из Большого Черемшана, водами водохранилища и водами Сусканского залива.

Во время летних съемок основные наблюдения производились на тех же станциях, что и во время весенней. В это время уровень водохранилища стабилизировался и скорости течения заметно снизились. Температура воды в заливе и смежной части водохранилища выровнялась (рис. 1). Приток воды из р. Большого Черемшана сильно уменьшился, а из р. Сускана почти прекратился. Эти причины вызвали изменения в количестве и размещении водных масс Черемшанского залива. Воды Сусканского залива перестали проникать в Черемшанский, и в нем остались только две водные массы: речная (из Большого Черемшана) и водохранилищная. Их площадь увеличилась. Как и весной, электропроводность вод в верхней части залива была в 2,5 раза выше, чем в водохранилище (рис. 1).

Воды Большого Черемшана, поступая в верхнюю часть залива, полностью сохраняют свои свойства (электропроводность 530—570 мксим./см, температура 22—24°). В среднюю часть залива они, как более минерализованные, проникают по руслу реки в придонном слое. Толщина этого слоя колеблется в пределах 3—6 м. Далее, вниз по заливу, речные воды постепенно смешиваются с водами залива (рис. 3). Нижняя часть залива, где весной находились воды Сусканского залива и наблюдалась повышенная электропроводность, к июлю заполнилась водами водохранилища (электропроводность 260—280 мксим./см, температура до 20°).

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Д з ю б а н Н. А. и Е л и с е е в А. И. 1966. Некоторые особенности гидрологического режима и биологических процессов в Черемшанском заливе Куйбышевского водохранилища. Сборник работ Комсомольской ГМО, 6.
- Е р ш о в а М. Г. и Э д е л ь ш т е й н К. К. 1966. О методах измерения электропроводности водных масс волжских водохранилищ. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 12 (15).

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

Н. В. Б у т о р и н

О ДВУХ ТИПАХ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНЫХ МАСС В ВОДОХРАНИЛИЩАХ

В настоящее время можно считать установленным, что воды, сформировавшиеся в одинаковых физико-географических условиях, имеют устойчивый комплекс физических и химических характеристик и в определенных районах водохранилищ

сохраняют их продолжительное время. Но с течением времени и при перемещении из одного района в другой водная масса изменяет свои первоначальные свойства. Она становится более теплой или холодной, более цветной или менее цветной, более мутной или прозрачной, и удельная электропроводность ее также не остается постоянной, так как изменяется солевой состав. Еще менее консервативным является ее газовый состав. Таким образом, в водоеме непрерывно происходит трансформация его водных масс.

Термин «трансформация» при изучении водоемов различного типа употребляется часто. Так обычно обозначают любые изменения характеристик воды, как незначительные, так и весьма существенные, в результате которых образуется новая водная масса. Поскольку широкое применение понятия «трансформация» соответствует смысловому значению этого слова, с ним приходится согласиться, хотя условность его употребления в ряде случаев очевидна.

В ходе исследования волжских водохранилищ было обнаружено, что наиболее резкое изменение основных характеристик вод происходит в районах соприкосновения различных водных масс (Буторин, 1965; Эдельштейн, 1965). Этот процесс имеет сходство с перемешиванием вод во фронтальных зонах океана (Ханайченко, 1947) и представляет собой своего рода фронтальную трансформацию водных масс.

Поскольку водохранилища являются проточными водоемами, то, естественно, в них наблюдаются стоковые течения, обусловленные горизонтальной составляющей силы тяжести. Почти для всех естественных потоков характерен режим течений, при котором отмечается пульсация скорости и связанный с ней постоянный взаимокompенсирующий обмен объемами соседних областей жидкости (Караушев, 1960). Иными словами, в естественных потоках происходит турбулентное перемешивание вод. Если в пределах одной водной массы в результате турбулентного перемешивания наблюдается лишь выравнивание абсолютных значений ее характеристик, то в зоне соприкосновения различных вод этот же процесс приводит к смешению минимум двух водных масс и часто сопровождается образованием новой водной массы.

Таким образом, один из типов трансформации водных масс в водохранилищах представляет собой изменение их характеристик в результате турбулентного обмена, обусловленного стоковыми течениями. Особенность трансформации такого типа заключается в том, что она возникает под влиянием градиента скорости внутри самих водных масс, протекает непрерывно и практически охватывает всю толщу вод. Роль ее в водохранилищах особенно велика, так как преимущественно в результате нее из речных вод образуется водная масса озерного типа со всеми присущими ей особенностями (Россолимо, 1964).

Исходя из генезиса трансформации такого типа, мы характеризуем ее как гидрогенную.¹

Так как гидрогенная трансформация является результатом турбулентного перемешивания вод, обусловленного стоковым течением, интенсивность ее может характеризоваться интенсивностью турбулентного обмена. В свою очередь последний определяется величиной соответствующих коэффициентов обмена. Отдельные вычисления показали, что в Рыбинском водохранилище коэффициенты горизонтального турбулентного обмена летом в зонах смешения имели значения от 0.24 до $1.92 \cdot 10^6$ г/см · сек. Поскольку для вычисления коэффициентов турбулентного обмена используются данные о скорости и направлении течения, то естественно, что между интенсивностью гидрогенной трансформации и скоростью течения существует прямая зависимость: интенсивность трансформации вод, располагающихся ближе к динамической оси потока, где скорости повышены, значительно, чем на периферийных участках (Эдельштейн, 1965).

Изменение свойств водных масс в водохранилищах происходит не только в результате гидрогенной трансформации, но и под воздействием метеорологических факторов. Особенно значительную роль в этом играет сила и направление ветра. Ветровое воздействие на воды водохранилища вызывает ветровые течения, волнение, сгонно-нагонные колебания уровня. Даже при слабых и неустойчивых ветрах в озеровидных участках водохранилищ наблюдается значительная подвижность вод. При определенных условиях скорости ветровых течений в этих районах бывают соизмеримы со скоростями стоковых (Литвинов, 1966). Любое перемещение вод характеризуется определенной скоростью, а с пульсациями последней связан турбулентный обмен, который в данном случае усиливается волнением (Дмитриев и Бончковская, 1953).

Следовательно, как и при гидрогенной трансформации, существенную роль в изменении свойств водных масс под воздействием ветра играет турбулентный обмен. Но в данном случае трансформация вод возникает на границе раздела двух различных сред (воды и воздуха), представляет собой временный процесс и протекает в той части акватории и водной толще, где проявляется действие ветра.

Интенсивность трансформации вод под воздействием ветра при горизонтальном переносе зависит от скорости переноса и характеризуется соответствующими коэффициентами горизонтального турбулентного обмена, которому в Рыбинском водохранилище принадлежит решающая роль в перемешивании вод. Вертикальный обмен, обусловленный ветровым волнением, значительно меньше горизонтального. Так, в центре водохранилища при ско-

¹ Этот термин был предложен в устном сообщении Н. А. Дзюбана.

рости ветра 5 м/сек. и длине волны 6.2 м коэффициент вертикального турбулентного обмена на поверхности составляет всего 34.9 г/см·сек.

Из других метеорологических факторов существенную роль в трансформации вод водохранилищ играет радиационный баланс и температура воздуха. Радиационный баланс определяет тепловой эффект солнечной радиации на подстилающую поверхность. От него в значительной степени зависит распределение температуры в воде и в прилегающих к ней слоях воздуха, а следовательно, и характер теплообмена между водой и атмосферой.

При положительном теплообмене, когда вода теплее воздуха, количество тепла, отдаваемого водой воздуху, прямо пропорционально разности температур этих сред и не зависит от скорости ветра (Шулейкин, 1953). По мере нагревания холодного воздуха от более теплой воды слои его, непосредственно прилегающие к воде, становятся более легкими и поднимаются вверх, вызывая конвекцию. В результате отдачи тепла воздуху поверхностные слои воды охлаждаются, становятся более тяжелыми и опускаются вниз, вызывая конвекцию в водной среде. В данном случае конвективное перемешивание обуславливает трансформацию водных масс независимо от механического воздействия ветра.

При отрицательном теплообмене верхний слой воды, получивший часть тепла от воздуха, и охладившийся нижний слой воздуха на пограничной поверхности образуют своего рода «подушки» (Шулейкин, 1953), затрудняющие теплообмен и дальнейшее перемешивание вод. В таких подушках температура воздуха и воды может быть весьма близкой, и лишь ветер, вызывая механическое перемешивание воздуха и воды, уничтожает их и способствует дальнейшему теплообмену и трансформации вод. В данном случае изменение свойств водных масс происходит в результате конвективного перемешивания.

Интенсивность трансформации вод при конвективном перемешивании можно характеризовать величиной вертикальной скорости движения вод. Для водохранилищ эта величина нам неизвестна, но данные о вертикальной скорости движения вод в озерах в литературе имеются. Так, в оз. Мендота, по расчетам Брисона и Суоми (Bryson a. Suomi, 1952), она колеблется от $2 \cdot 10^{-1}$ до $4 \cdot 10^{-1}$ см/сек. Ликенс и Рагоцкий (Likens a. Ragotzkie, 1965) в небольшом озере под ледяным покровом определили ее равной 10^{-2} — 10^{-3} см/сек., а Рагоцкий и Братник (Ragotzkie a. Bratnick, 1965) в оз. Верхнем — равной 4.5×10^{-3} см/сек.

Изменение свойств водных масс под воздействием метеорологических факторов является важной стороной механизма трансформации и представляет собой ее другую форму. Эту форму транс-

формации водных масс, учитывая обуславливающие ее факторы. Мы называем метеогенной.

Гидрогенная и метеогенная трансформация водных масс в водохранилищах часто происходят одновременно, но иногда могут проявляться и самостоятельно. Так, в Рыбинском водохранилище зимой и в период интенсивного его наполнения решающую роль в трансформации вод играет гидрогенная трансформация. Во второй половине весны постепенно увеличивается значение метеогенной трансформации. Это подтверждается особенностями сезонного распределения водных масс в водоеме (Буторин, 1965).

ЛИТЕРАТУРА

- Б у т о р и н Н. В. 1965. К изучению водных масс Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 7 (10).
- Д м и т р и е в А. А. и Б о н ч к о в с к а я Г. В. 1953. К вопросу о турбулентности в волне. ДАН СССР, 41, 1.
- К а р а у ш е в А. В. 1960. Проблемы динамики естественных водных потоков. Л.
- Л и т в и н о в А. С. 1966. Некоторые данные о ветровых течениях в Рыбинском водохранилище. Сборник работ Рыбинской ГМО, 3, Л.
- Р о с с о л и м о Л. Л. 1964. Основы типизации озер и лимнологического районирования. В сб.: Накопление вещества в озерах, М.
- Х а п а й ч е н к о Н. К. 1947. О видах трансформации водных масс. Метеор. и гидрол., 1.
- Ш у л е й к и н В. В. 1953. Физика моря. М.
- Э д е л ь ш т е й н К. К. 1965. Водные массы озерной части Горьковского водохранилища. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 7 (10).
- B r y s o n R. A. and S u o m i V. E. 1952. The circulation of Lake Mendota. Trans. Amer. Geophys., 33 (5).
- L i k e n s G. E. and R a g o t z k i e R. A. 1965. Vertical water motions in a small icecovered lake. Journ. Geophys. Res., 70, 10.
- R a g o t z k i e R. A. and B r a t n i c k M. 1965. Infrared temperature patterns on lake Superior and inferred vertical motions. Proc. eighth confer. on Great. lakes research, 13.

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

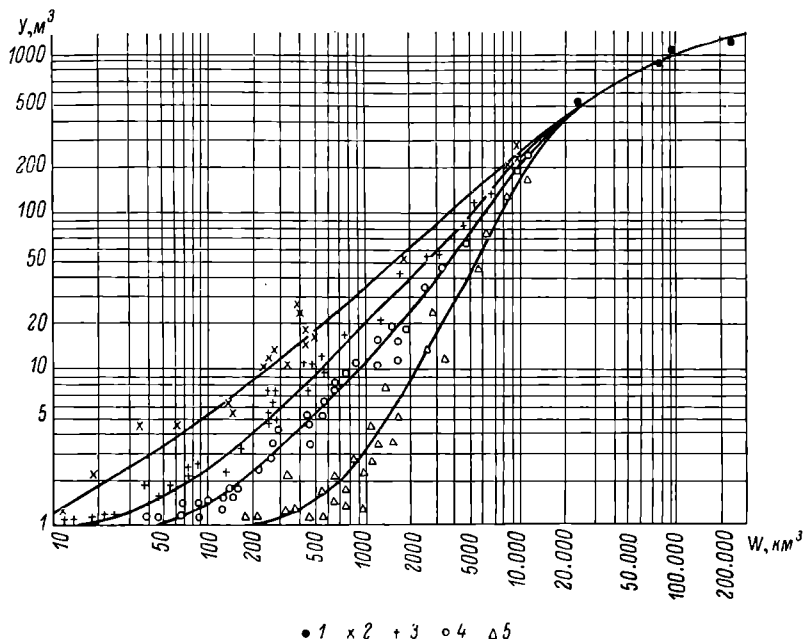
В. Л. Рохмистров

СТРУКТУРА МИНИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК БАСЕЙНА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Определение естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена требует затраты больших средств на буровые работы. Поэтому широкое распространение получили методы приближенной оценки этих ресурсов. Одним из таких

етодов является метод генетического расчленения гидрографа, который на основе гидрологических расчетов дает возможность остроения различных гидролого-гидрогеологических карт.

Анализ физико-географических условий поверхностного и подземного стока рек бассейна Рыбинского водохранилища и опоставление наших расчетов с данными наблюдений показали, то подземное питание малых рек в первом приближении можно



Кривые зависимости минимального стока рек (Y м³) от-объема их бассейнов (W км²).

1 — реки с объемом бассейна более 15 тыс. км²; 2—5 — реки с объемом бассейна менее 15 тыс. км².

определить по многолетним среднемесячным расходам в период летне-осенней межени. Во время межени отмечается относительная устойчивость отметок минимальных уровней. Она может нарушаться после дождевых паводков, отчленение которых на гидрографе стока не представляет больших затруднений. Естественно, что минимальный сток несколько превышает по объему подземный, так как первый, кроме подземного, включает также часть поверхностного стока, например сток озерных и болотных вод, выделение которых на гидрографе затруднительно.

Как отмечалось ранее (Рохмистров, 1963а, 1963б), между величинами минимального стока рек и объемом речных бассейнов наблюдается определенная зависимость, которая выражается

в том, что с увеличением объема бассейна реки увеличивается и доля подземного стока в его годовом объеме. По исследованиям А. М. Норватова (1962) известно, что подземное питание рек возрастает с увеличением глубины вреза речных долин. Наши исследования в бассейне Верхней Волги показали, что глубина вреза речных долин в пределах одного геоморфолого-гидрогеологического района одинакова для всех рек независимо от их длины и площади бассейна.

Однако глубина вреза речных долин — это лишь линейная характеристика речного бассейна, имеющего определенный объем и содержащего соответствующее количество подземных вод. Логично предположить, что объем подземного стока должен возрастать с увеличением объема речного бассейна. Имея необходимые данные о гидрогеологических условиях данной территории и выяснив гидравлическую связь поверхностных вод с подземными водоносными горизонтами, мы построили кривые зависимости минимального стока рек от объема их бассейнов (см. рисунок). Объем минимального стока был определен по методу Б. И. Куделина (1960). Гидрографы строились по средним многолетним данным.

Анализ кривых позволяет сделать следующие выводы. При объеме бассейна, равном 15 тыс. км³ и более, точки образуют одну кривую, которая показывает постепенное увеличение доли минимального стока от среднегодового с увеличением бассейна. С уменьшением объема бассейна реки резко проявляются местные, а зональные факторы, среди которых особо важную роль играют гидрогеологические условия бассейна.

Поэтому для рек с объемом бассейна менее 15 тыс. км³ зависимость между объемом бассейна и минимальным стоком выражается в виде четырех кривых связи. Как показали данные гидрогеологических исследований, точки, образующие кривую 2 связи, относятся к рекам, имеющим значительный приток озерных или болотных вод и поэтому не отнесенных к какому-либо геоморфолого-гидрогеологическому району. Кривую 3 дают точки, характеризующие реки, бассейны которых находятся в области высокого уровня залегания обильных грунтовых вод. Кривую 4 связи объема бассейна с минимальным стоком образуют точки, относящиеся к речным бассейнам, расположенным в области среднего по глубине уровня залегания грунтовых вод, и 5 — точки для бассейнов, находящихся в гидравлической связи преимущественно с межпластовыми водоносными горизонтами. Установлено, что чем ближе кривая к оси абсцисс, тем горизонт грунтовых вод речных бассейнов лежит глубже, а в питании реки все большее значение приобретают межпластовые воды.

Реки бассейна Рыбинского водохранилища относятся к области близкого и среднего залегания уровня грунтовых вод (кривые 3, 4). Они имеют наиболее непостоянный режим минимального

тока. Колебание минимального стока в сторону верхнего предела нередко достигает 200 и даже 400%, а в сторону нижнего — 10—50%. Большая амплитуда колебания минимального стока обусловлена здесь в первую очередь изменчивостью количества атмосферных осадков, проникающих на поверхность водоносного слоя. Из других факторов, на наш взгляд, наибольшее значение имеет фильтрационная способность грунта, определяющая условия поверхностного стока и скорость движения влаги в водоносном горизонте.

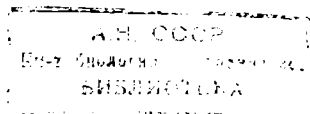
Разброс точек кривых 3 и 4 объясняется различием гидрогеологических условий бассейнов рек, что дает возможность выделить в пределах описываемой территории пять подрайонов.

Некоузский подрайон характеризуется равнинностью, развитым основным водоносным горизонтом и слабо обводненной четвертичной толщей. Минимальный сток рек мал — 4—6% от годового — и характеризуется большими отклонениями от среднего многолетнего значения: в сторону увеличения на 200—300%, а в сторону уменьшения до 88%. Резкие колебания минимального стока вызваны тем, что долины рек врезаны в основной водоносный горизонт на небольшую глубину, а водообильность четвертичного комплекса зависит от режима атмосферных осадков.

В Вареговском подрайоне преобладают плоские заболоченные пространства. Основной водоносный горизонт развит спорадически, обводненность четвертичного водоносного комплекса значительна. Минимальный сток рек составляет не менее 26% общего годового стока, отклонения от среднемноголетнего значения не превышают 27—33%. Зарегулированность минимального стока объясняется тесной гидравлической связью речных и подземных вод.

Пошехонно-Володарский подрайон охватывает западные склоны Даниловской и южные склоны Грязовецкой возвышенностей. Местность пологоволнистая. В подрайоне нет выдержанного пресного водоносного горизонта (кроме триасового). Однако довольно часто встречаются крупные песчано-гравийные линзы, расход воды из которых может достигать 2—10 л/сек. Минимальный сток рек составляет от 10 до 13% от среднегодового, колебания минимального стока в многолетнем периоде значительны: в сторону верхнего предела до 300—350%, в сторону нижнего предела до 70%.

Пришекснинский подрайон — подрайон плоских, местами пологоволнистых равнин. Поверхность слабо дренирована и характеризуется небольшим коэффициентом густоты речной сети. Грунтовые воды имеют прерывистое распространение, разнообразны по степени обильности и минерализации; воды коренных отложений залегают на глубине от 10 до 40 м. Минимальный сток рек формируется за счет верховодки, межморенных вод и вод современных аллювиально-болотных отложений; в годовом ба-



лансе он составляет 22—35%. Колебания минимального стока возможны до 250—300% в сторону верхнего предела и до 65% в сторону нижнего предела. В Молого-Судском подрайоне преобладают плоские озерно-ледниковые равнины. Территория слабо дренирована, речная сеть врезана на небольшую глубину, коэффициент густоты речной сети не превышает 0.25. Четвертичный водоносный комплекс водообилен, грунтовые воды залегают близко от поверхности, нередко вызывая заболачивание водоразделов. Коренные породы залегают на глубине от 20 до 40 м. Минимальный сток рек составляет 15—35% от годового, колебания в сторону верхнего предела достигают 250%, в сторону нижнего предела не превышают 35—40%.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Куделин Б. И. 1960. Принципы региональной оценки природных ресурсов подземных вод. М.
- Норватов А. М. 1962. Условия формирования летнего меженного стока рек Прибалтики и прогноз водности их с большой заблаговременностью. Тр. ГГИ, 97.
- Рохмистров В. Л. 1963а. О зависимости минимального стока от физико-географических условий речных бассейнов. Метеор. и гидрол., 9.
- Рохмистров В. Л. 1963б. К характеристике минимального стока малых рек Ярославского Поволжья. Вестн. МГУ, сер. V, География.
- Ярославский педагогический институт.

Г. Л. Мельникова

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА МЕЛКОВОДЬЯХ ВОДОХРАНИЛИЩ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

В пределах крупных водохранилищ на равнинных реках на долю мелководных пространств с глубинами до 2 м¹ нередко приходится более 1/4 акватории водоема, что составляет, по нашим расчетам, на Рыбинском водохранилище — 21%, Угличском — 27.6, Днепродзержинском — 3.04, Киевском — 32,

¹ Нам кажется наиболее целесообразным в целях получения сравнимых данных в масштабах больших регионов или целой страны принятие постоянного критерия: «взаимодействие волн со дном в устойчивых границах от нормального подпорного горизонта (НПГ) до глубины в 2 м». Однако такое ограничение в какой-то мере условно, так как при понижениях уровня мелководьями могут становиться и участки глубоководной зоны, в то время как акватории с глубинами до 2 м от НПГ никогда не превращаются в глубоководные зоны (Вендров, 1966).

Лявинском — 37, Днепровском — 41.7% всей площади зеркала. Встречаются они на различных участках и по своему характеру очень неоднородны. На основании изучения водохранилищ бассейна Волги нами была предложена классификационная схема мелководий с выделением трех основных типов: А — мелководья по заливам, находящиеся под сильным влиянием ландшафта водосбора; Б — заостровные мелководья, формирующиеся на базе вод самого водохранилища или его притоков, и В — открытые мелководья, природные условия которых находятся под сильным влиянием процессов, происходящих на открытом водохранилище и при очень слабом влиянии окружающего ландшафта побережья (Мельникова, 1967).

Малые объемы воды, аккумулируемые мелководьями, имеют значительную тепловую инерцию, и все процессы носят резко выраженный сезонный характер. Режим уровней во многом определяет своеобразие мелководий как среды обитания организмов.

Ранней весной, перед половодьем, отметки уровня достигают наинизшего положения. На большинстве водохранилищ мелководья к этому времени уже выходят на поверхность, и условия существования водных организмов (в особенности бентоса) определяются глубиной промерзания грунта.

Защищенные мелководья (заостровные и по заливам), при условии выхода из-под уровня воды еще в теплый период, к наступлению зимы находятся в относительно просохшем состоянии. Обычно они покрываются наземной растительностью, способной образовывать дернину, защищающую грунт от глубокого промерзания. Пример заостровного мелководья у Борка на Волжском плесе Рыбинского водохранилища показывает, что подобные участки уже на глубине 7.5—8 см имеют незамерзший грунт (Луферов, 1965). Когда обсыхание дна совпадает с наступлением отрицательных температур, глубина промерзания может превысить 10 см.

Открытые мелководья плесовых участков при зимней сработке покрываются осевшим льдом, который тает на месте. Под ледяным панцирем не происходит глубокого промерзания, и часто лишь к нижней стороне льда примерзает грунт, который с остатками льда уносится полыми водами. Несмотря на то что ледяная эрозия в ранневесеннее время не является решающим фактором условий жизни на отмелях, все же смыв грунта может отрицательно сказаться на дальнейшей судьбе бентоса, так как основная его масса зимует в поверхностном, мощностью 2—3 см, слое (Грезе, 1960). Разрушению и удалению верхних горизонтов отмелей также благоприятствует выветривание, особо интенсивно происходящее весной при обильном увлажнении пород талыми водами склонового стока и резких суточных колебаниях температуры воздуха. Эти явления чаще всего наблюдаются на глинистых

грунтах, а на песчаных отмелях заметную роль играют эоловые процессы (Иконников, 1963).

В заливах, образовавшихся на притоках, половодье проходит раньше, чем в главной чаше, и мелководья заполняются водами, которые могут заметно отличаться по своему составу от плесовых. Так, на Горьковском водохранилище весенняя минерализация воды Немды и Унжи равна 30.5—45.3 мг/л, что в 3—4 раза меньше, чем волжской, — 144.1 мг/л (Зенин, 1965). Раннее по времени затопление мелководий притоков способствует лучшему прогреву воды. В наиболее глубоко врезанных заливах, где ветроволновое перемешивание минимально, термические условия обеспечивают гидробионтам благоприятные условия развития. В лопастных заливах затишье также приводит к быстрому и интенсивному прогреву воды, температура которой следует за температурой воздуха. По нашим наблюдениям, на Рыбинском водохранилище в мае 1966 г. различия в температуре воды открытой части водохранилища (Моложский плес) и защищенных мелководий (по рекам Тереше и Удрисе) при штормовой погоде (температура воздуха 19°) достигали 3° (14—17°). Весенний прогрев вызывает температурное расслоение по всей водной толще с амплитудой до 13.5° (Буторин и Курдина, 1965). Однако в открытой части термическая стратификация, как правило, неустойчива и нарушается ветровым перемешиванием с последующей гомотермией. Напротив, на мелководьях в условиях затишья различия в температуре между поверхностными и придонными слоями воды сохраняются продолжительное время и даже в мае месяце при глубине 160—170 см могут достигать 1.5—2°.

Хорошая прогреваемость воды, а также и ее осветление при осажении взвесей в участках, блокированных от основного плеса, обеспечивает раннее начало вегетации макрофитов. На Рыбинском водохранилище в верховьях мелководных заливов мы наблюдали весеннее развитие водной растительности, среди которой главная роль принадлежала рдестам и горецу земноводному. Огромные листья калуужницы поднимались на затопленных поймах с глубины 60—70 см. Майское половодье 1966 г. немного превысило отметку НППГ, что позволило обследовать наряду с ежегодно затопляемыми участками и свежезалитые, которые покрываются водой лишь в период форсирования уровня.

На свежезалитых участках среди цветущих ив и зеленых сосен преобладал рдест блестящий. Поверхностный слой грунта представлял луговую почву с моховым покровом. Вероятно, в таких дернинах и сохраняются зачатки водных растений до половодья, вегетируя лишь при самых высоких уровнях.

Обобщая значение весеннего половодья как одного из главных факторов формирования экологической обстановки мелководья, следует подчеркнуть, что важным моментом здесь является соотношение во времени температуры воды и температуры затопляе-

ного участка. Если полые воды заливают немерзлый или слабо промерзший грунт, т. е. температура воды больше или равна температуре грунта, то при быстром прогреве на защищенном мелководье, как было отмечено выше, возникающие условия стимулируют развитие водных организмов. Такая обстановка наблюдается при прохождении половодья в апреле—начале мая. Если сроки затопления мелководья отодвигаются на более позднее время — конец мая—июнь (на водохранилищах нижних ступеней каскада или при медленном подъеме уровня), т. е. если температура воды ниже температуры грунта, тогда мелководье сильно высыхает, что затрудняет расселение водных организмов. Примером могут служить мелководья Волгоградского водохранилища и отчасти Куйбышевского (Экзерцев, 1963) или отмельные берега Сылвинского залива Камского водохранилища, которые затопляются водами Сылвы лишь в первых числах июня (Овеснов и Аристова, 1962). Большинство зачатков водных растений не переносит длительного иссушения и теряет способность вегетировать, особенно в тех случаях, когда полая вода низкой температуры заливает хорошо прогретые грунты.

Таким образом, раннее прохождение половодья благоприятствует развитию животных и растительных организмов на мелководьях и, следовательно, способствует повышению их продуктивности. Напротив, позднее затопление при значительном различии в температуре воды и грунта отрицательно сказывается на жизни водных обитателей, и в этом следует искать одну из причин бедности подобных акваторий.

ЛИТЕРАТУРА

- Б у т о р и н Н. В. и К у р д и н а Т. Н. 1965. Характеристика гидрологических сезонов Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 9 (12).
- В е н д р о в С. Л. 1966. Динамика берегов крупных водохранилищ в связи с использованием водных ресурсов. Изв. АН СССР, сер. географ., 2.
- Г р е з е В. П. 1960. Холодостойкость литоральной фауны Камского водохранилища и его биологическая продуктивность. Зоол. журн., 39, 12.
- З е н и н А. А. 1965. Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. Л.
- И к о н н и к о в Л. Б. 1963. Об изменении берегов Горьковского водохранилища в весеннее время. В сб.: Природные физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления, М.
- Л у ф е р о в В. П. 1965. О пагоне прибрежья Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 8 (11).
- М е л ь н и к о в а Г. А. 1967. Природные условия мелководий крупных равнинных водохранилищ. Изв. АН СССР, сер. географ., 2.
- О в е с н о в А. М. и А р и с т о в а Г. А. 1963. Растительность мелководий Сылвинского залива Камского водохранилища на 3—4-м году наводнения. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, 12.
- Э к з е р ц е в В. А. 1963. Зарастание литорали волжских водохранилищ. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 6 (9).

Институт географии АН СССР.

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ РЕЖИМА ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА РЫБИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Для характеристики ветрового волнения за период с мая по октябрь включительно обработаны данные волномерных наблюдений по характерным для Рыбинского водохранилища волномерным пунктам с. Брейтово и мыс Рожновский за период 1959—1964 гг. Для получения сопоставимых характеристик режима ветрового волнения использовались материалы наблюдений по трем срокам (8, 14 и 20 час.). В отдельные годы период и сроки наблюдений не совпадали с приведенными выше. В таких случаях значения высоты волны были получены по зависимостям высоты волны от скорости ветра.

По данным наблюдений, наибольшая повторяемость высоты волны ≥ 75 см наблюдается в районе мыса Рожновского, в среднем до 17% времени, и изменяется в отдельные годы от 26 (1961 г.) до 6% (1960 г.) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Повторяемость различных градаций высоты волны наблюдавшихся по волномерам, %

Пункт наблюдений	Высота волны, см					
	0	до 45	50—70	75—100	105—150	более 155
С. Брейтово	4.0	75.2	10.9	6.6	3.0	0.3
Мыс Рожновский . .	4.0	58.1	20.9	12.5	4.2	0.3

Среднее количество дней с высотой волны ≥ 100 см в районах с. Брейтово и мыса Рожновский равно 22. В отдельные годы в этих районах оно увеличивается до 40 (мыс Рожновский, 1959 г.).

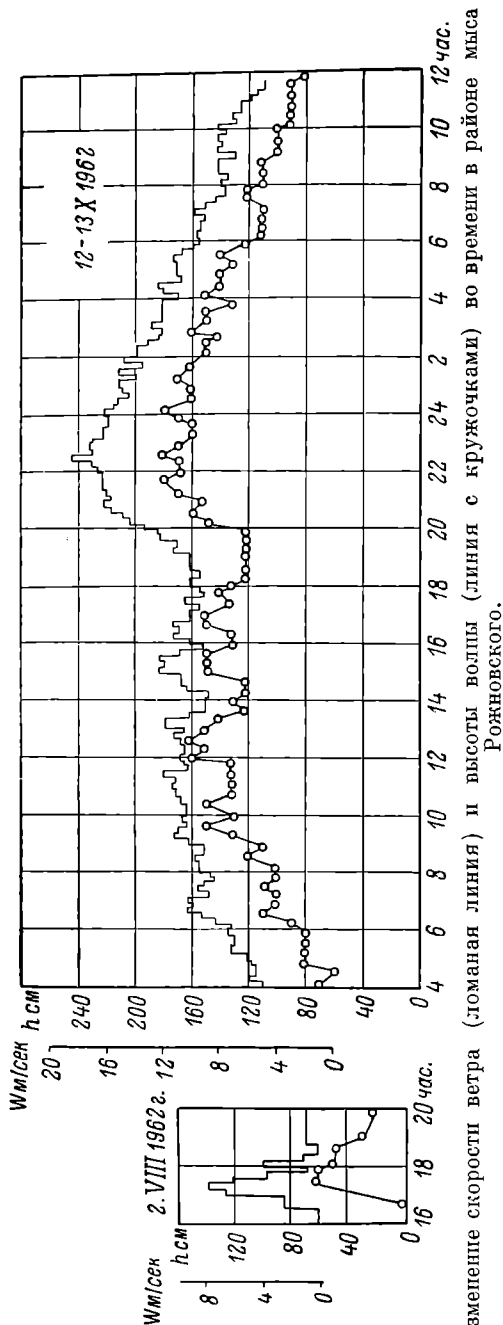
Наблюдения максимальной высоты волны в различных пунктах водохранилища представлены в табл. 2. Рассчитанная по методу А. П. Браславского (1952), максимальная высота волны 1%-обеспеченности в данной системе волнения на наиболее глубоководных открытых частях водохранилища может достигать 3.30 м. Такая высота волны наблюдается очень редко, не чаще одного раза в 2—5 лет, при скоростях ветра, близких к 30 м/сек. Наибольшая повторяемость значительного волнения с высотой волны ≥ 75 и ≥ 100 см наблюдается на Рыбинском водохранилище при ветрах С, СВ и СЗ направлений (табл. 3). На эти направления ветра приходится при высоте волны ≥ 75 см — 70.8%, при ≥ 100 см — 73.9% от общего числа случаев.

зависимость высоты волны от направления и скорости ветра

Пункт наблюдений	Дата	Ветер		Максимальная высота волны, м	Способ измерения
		направление	скорость, м/сек.		
д. Брейтово {	20 IX 1961 13 VIII 1964	С СВ	15 14	{ 1.90	Электроконтактный волномер.
Мыс Рожновский {	8 VII 1961 9 VIII 1961	ЗСЗ З	16 18	{ 2.0	То же.
Пункт открытого моря	9 VIII 1953	Ю	12	1.20	Волномерная вежа.
О. Молога	3 IX 1950	В	16	1.18	Самописец «Ильмень».
С. Леонтьевское . .	29 VIII 1947	СВ	20	3.0	Волномерная вежа.
Рейдовая вертикаль (пос. Переворы) . . .	30 VI 1961	ЗСЗ	14	0.90	Максимально-минимальная волномерная вежа.
62-й судовой ход (37-й км) . . .	5 VI 1962	ССВ	9	1.35	ГМ-16.
63-й судовой ход (57-й км) . . .	5 VI 1962	ССВ	9.5	1.66	»
64-й судовой ход (50-й км) . . .	6 VI 1962	ССВ	9	1.44	»

Значительное и сильное волнение на Рыбинском водохранилище чаще всего наблюдается в июне, августе и сентябре. Однако в отдельные годы бывают отклонения. Так, например, наибольшая повторяемость значительного волнения ≥ 100 см наблюдалась в мае 1960 г. (30.9%) и в октябре 1959 г. (25.9%), наименьшая — в июне 1961 г. (2.4%) и в августе 1963 г. (3.4%).

В отдельные годы (1956, 1959, 1962) на водохранилище наблюдается усиленная штормовая деятельность, которая охватывает почти весь безледный период. В эти годы повторяемость значительного волнения представляется по месяцам почти равномерно. При одной и той же скорости ветра высота волны на мелководных и прибрежных участках значительно уменьшается при уровне водохранилища ниже нормального подпорного, поскольку на этих участках уменьшается глубина и длина разгона волны. На глубоководных открытых участках водохранилища это уменьшение незначительно (не более чем на 5—15%). Вследствие этого повторяемость значительного волнения в октябре, когда уро-



Изменение скорости ветра (ломаная линия) и высоты волны (линия с кружочками) во времени в районе мыса Рожновского.

вень воды на водохранилище наблюдается наименьшим для безледного периода, обычно уменьшается, несмотря на значительную повторяемость штормовых ветров.

Учащенные наблюдения показали, что при резком усилении ветра, а затем его постоянстве по направлению и скорости быстро наступает относительно установившееся волнение (см. рисунок). При этом время, необходимое для развития волнения до установившегося, составляет не более 1.5—2 час. Эти наблюдения показали также, что чем больше длина разгона волн и глубина и чем меньше скорость ветра, тем дольше не наступает установившееся волнение. Наоборот, волнение становится установившимся быстрее при малых глубинах, малых длинах разгона волн и больших скоростях ветра.

При ослаблении ветра затухание волнения на водохранилище происходит медленнее, чем развитие его, и может длиться на участках водохранилища с большими длинами разгона волн и значительными глубинами до нескольких часов. На мелководных участках водохранилища с малыми длинами разгона волн затухание волнения происходит быстро (Гущин, 1965).

Средняя повторяемость волн высотой ≥ 75 см и ≥ 100 см
по направлениям, %

Пункт наблюдений	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
С. Брейтово	35.7	34.8	13.1	1.8	0.0	0.6	0.0	14.0
	37.2	41.7	15.3	0.7	9.7	0.7	0.0	3.7
Мыс Рожновский . .	20.7	0.0	0.0	2.3	5.7	19.3	15.7	36.3
	25.6	0.0	0.0	0.9	3.3	14.4	16.3	39.5
В среднем . .	28.2	17.4	6.6	2.0	2.8	10.0	7.8	25.2
	31.4	20.9	7.6	0.8	2.0	7.6	8.1	21.6

Примечание. В числителе приводится повторяемость высоты волны ≥ 75 см, в знаменателе — ≥ 100 см.

Вследствие мелководности Рыбинского водохранилища и резких изменений глубин на пути разгона волн длина и скорость распространения волн значительно изменяются по его акватории и имеют меньшие величины, чем на глубоководных водоемах. По данным натурных наблюдений, максимальная длина волны 30—37 м, средняя — 9—15 м, при высоте волны 0.70—1.40 м 1%-й обеспеченности.

Крутизна волн на водохранилище в связи с его мелководностью больше, чем на глубоководных водоемах, и увеличивается с уменьшением глубин. При этом более крутые волны наблюдаются при нарастающем волнении и более пологие — при затухающем. Максимальная крутизна волн колеблется от 1 : 6 до 1 : 17, средняя — от 1 : 14 до 1 : 50.

В результате специальных наблюдений в районе мыса Рожновского в 1962 г. и анализа всех материалов наблюдений, по волномерным пунктам Брейтово и мыс Рожновский получена зависимость соотношения между глубиной волновой ложбины и высотой волны (Гущин, 1964).

Эта зависимость в среднем имеет следующий вид:

$$h_x = h^{0.775},$$

где h — максимальная разность волновых горизонтов 1%-й обеспеченности; h_x — глубина волновой ложбины 1%-й обеспеченности.

Для нарастающего волнения отношение высоты волнового гребня к глубине волновой ложбины бывает наибольшим, а для затухающего наименьшим.

- Браславский А. П. 1952. Расчет ветровых волн. Тр. ГГИ, 35 (89).
 Гущин В. Ф. 1964. Волновой запас глубины. Речной транспорт, 11.
 Гущин В. Ф. 1965. Некоторые особенности развития и затухания высот ветровых волн на мелководных водоемах. Сборник работ Рыбинской ГМО, 2, Л.

Рыбинская гидрометеорологическая обсерватория.

А. С. Литвинов

О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЛН ПОПУСКОВ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ УГЛИЧСКОЙ ГЭС

В нижнем бьефе Угличской ГЭС наблюдаются сезонные, недельные и суточные колебания уровня. Сезонные колебания уровня отражают приток и сброс воды за длительный промежуток времени. Недельные и суточные обусловлены режимом сработки вод Угличским гидроузлом. Недельные колебания уровня заключаются в воскресных понижениях его за счет опорожнения бьефа в результате провалов в нагрузке ГЭС. Амплитуда этих колебаний изменяется от 40—50 см в непосредственной близости от ГЭС до 8—10 см в районе с. Коприно (70 км от ГЭС). Суточные колебания уровня связаны с прохождением в нижнем бьефе ГЭС волн попусков, возникающих в ходе суточного регулирования работы ГЭС. Недельные и суточные колебания уровня наиболее отчетливо выражены в зимний период, когда отсутствуют сгонно-нагонные колебания уровня.

В зависимости от уровня водохранилища и расхода воды через ГЭС амплитуда суточных колебаний уровня может существенно меняться. Наиболее значительные колебания уровня отмечаются у Угличского водомерного поста, где амплитуда его при различных попусках изменяется от 20 до 100 см. По мере удаления от ГЭС вследствие расплывания волн попусков она уменьшается и у с. Коприно обычно не превышает 20 см, а у мыса Рожновского (около 100 км от ГЭС) — 6 см.

С удалением от ГЭС изменяется не только амплитуда колебаний уровня, но и характер колебаний. Если у Угличского водомерного поста колебания уровня происходят синхронно с изменениями сбросных расходов, то в районе с. Коприно они сглаживаются и сдвигаются по фазе (см. рисунок).

Длинные волны, возникающие в нижнем бьефе ГЭС, в зависимости от направления их движения можно разделить на прямые, направление перемещения которых совпадает с направле-

нием течения, и обратные — перемещающиеся против течения. По форме волны разделяются на положительные, волны повышения, и отрицательные, волны понижения (Егiazаров, 1937; Архангельский, 1947).

При перемещении волн по бьефу возможны два случая их отражения: отражение от вертикальной стенки и отражение от

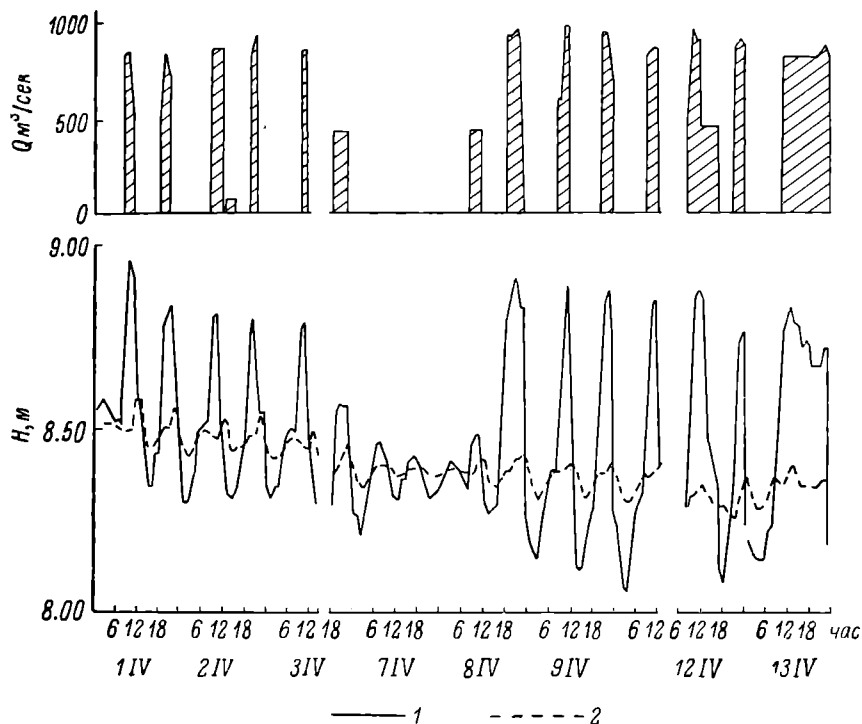


График колебания уровней в нижнем бьефе Угличской ГЭС.

1 — у Углича; 2 — у с. Коприно. Вверху — расход воды.

водной массы широкого водоема (Грушевский, 1962). При наличии вертикальной стенки граничные условия могут быть представлены как $V=0$ или $Q=0$, где V — скорость течения и Q — расход воды. Физический смысл этого условия состоит в том, что жидкость не протекает сквозь стенку. При отражении волны от водной массы широкого водоема граничным условием служит $\Delta H=0$, где H — уровень воды, т. е. уровень воды в водоеме не меняется. Смысл этого условия состоит в том, что объемы воды, перемещающиеся при прохождении волны, малы по сравнению с объемом водной массы большого водоема и практически не влияют на его уровень. В этом случае отражение прямой поло-

жительной волны от водной массы водоема дает обратную отрицательную волну, а прямая отрицательная волна, отразившись от водной массы водоема, образует обратную положительную волну.

Рассмотрим некоторые наиболее характерные попуски воды через Угличский гидроузел в ходе суточного и недельного регулирования его работы, в частности, случай одиночного, сравнительного кратковременного пуска в практически опорожненный бьеф. Такими являются первые попуски после воскресного провала в работе ГЭС. Вследствие резкого увеличения сбросных расходов через ГЭС, например 1 апреля (см. рисунок), когда за 10 мин. расходы воды возросли от 4 до 860 м³/сек., в нижнем бьефе наблюдается интенсивный подъем уровня и возникает прямая положительная волна. Высота подъема уровня в первый час после начала пуска может достигать 50—60 см. За счет сил сопротивления и трения, с одной стороны, и увеличения площади водного сечения, с другой, волна пуска расплывается, что приводит к значительному уменьшению ее высоты и сглаживанию профиля по мере удаления от ГЭС (см. рисунок). Пройдя Волжский плес, она отражается от водной массы центральной части водохранилища и перемещается вверх по плесу уже в виде обратной отрицательной волны.

В период падения нагрузки в энергосистеме в створе ГЭС возникает второе возмущение, вызванное резким уменьшением расхода. Это приводит к образованию прямой отрицательной волны. Уровень воды вначале быстро падает, а затем интенсивность падения его по мере опорожнения бьефа уменьшается. При подходе к ГЭС отраженной отрицательной волны происходит дополнительное понижение уровня, и возникает вторая прямая отрицательная волна. Отражение двух прямых отрицательных волн от водной массы центральной части водохранилища образует две обратные положительные волны, которые, подойдя к ГЭС, вызывают повышение уровня на Угличском водомерном посту в виде двух ступенек (см. рисунок). Отражение этих волн от ГЭС приводит к возникновению прямых положительных волн.

Таким образом, волновые перемещения в нижнем бьефе ГЭС, вызванные отдельным непродолжительным пуском, образуют полный волновой цикл, состоящий из следующих волн: прямой положительной волны, обратной отрицательной, двух прямых отрицательных волн и двух обратных положительных. В случае отсутствия последующих вынужденных возмущений, обусловленных работой ГЭС, следующий цикл начинается с прямой положительной волны. Затухание волн вызывается главным образом силами сопротивления и трения. Наиболее отчетливо эта система волн прослеживается в период воскресного провала в работе ГЭС (см. рисунок, 7 апреля), когда у Угличской ГЭС колебания уровней заметны на протяжении трех циклов, а у с. Коприно — первых двух. При подготовке Угличского водохранилища

к пропуску весеннего половодья продолжительность попусков значительно увеличивается (13 апреля). В этом случае обратная отрицательная волна, образованная отражением прямой положительной волны от водной массы центральной части водохранилища, при подходе к ГЭС вызывает понижение уровня у Углича порядка 10—20 см, даже при относительно постоянных расходах через ГЭС. При наличии постоянного расхода отражение отрицательной волны происходит по типу отражения от вертикальной стенки, но в ослабленном виде, и вниз по бьефу распространяется прямая отрицательная волна (Грушевский, 1962). Отражение этой волны от вод центральной части образует обратную положительную волну, которая при подходе к ГЭС должна бы вызвать повышение уровня. Но в этот момент в створе ГЭС возникает значительно более сильное возмущение, вызванное уменьшением расходов, и образуется прямая отрицательная волна, которая накладывается на подходящую сюда обратную положительную волну и гасит ее. Дальнейшее распространение волн по бьефу в случае отсутствия сбросов через ГЭС аналогично описанному выше.

Наиболее сложная картина наблюдается в период недельного цикла работы Угличской ГЭС, когда сбросы воды, как правило, производятся два раза в сутки. При этом происходит наложение волн и ход уровня у Углича и с. Коприно значительно усложняется. В эти периоды наибольший интерес представляет возможность возникновения явления резонанса, когда период собственных колебаний волнового цикла совпадает с периодом вынужденных колебаний за счет сбросов воды через ГЭС. В этом случае можно ожидать значительного увеличения амплитуды колебания уровня. Приближением к этому явлению можно считать колебания уровня на Угличском водохранилище с 8 до 12 апреля. В этот период их амплитуда увеличилась по сравнению с предыдущей неделей на 40—50%, тогда как максимальная величина сбросов воды через ГЭС возросла только на 8—11%.

Для определения скорости распространения волн попусков в нижнем бьефе Угличской ГЭС в качестве характерной точки на профиле волны была взята точка ее гребня, т. е. точка максимального подъема уровня (Ведерников и др., 1947). Скорость распространения гребня волны попуска определялась по времени добегания гребня от Угличского водохранилища поста до Копринского, расстояние между которыми составляет 70 км. Так как профиль волны в створе с. Коприно сильно сглажен и отчетливый максимум уровня не всегда наблюдается, то моменты прохождения гребня волны могли быть определены довольно приблизительно, как точка пересечения касательных к ветвям спада и подъема. Для исключения влияния наложения волн при определении момента прохождения гребня предпочтение отдавалось волнам, образованным первым попуском после воскресного провала

нагрузки на ГЭС, т. е. волнам, распространяющимся по практически опорожненному бьефу. Определенная таким образом скорость распространения гребня волны попуска на участке от Углича до с. Коприно составляет 9.7 м/сек.

Среднюю скорость распространения гребней волн попусков можно еще определить исходя из следующих соображений. Так как в течение полного цикла волна проходит по плесу четыре раза, то ее средняя скорость (пренебрегая различиями в скорости прямых и обратных волн) будет равна учетверенной длине плеса, деленной на период полного цикла. Период полного цикла, определенный по колебаниям уровня на Угличском водомерном посту в период воскресного провала нагрузки на ГЭС, оказался равным 10 час. Принимая, что отражение волн от водной массы центральной части водохранилища происходит в районе Зональная—мыс Рожновский (около 100 км от ГЭС), получим среднюю скорость распространения волны (11.1 м/сек.).

Эти цифры, как и следовало ожидать, близки между собой. Некоторое увеличение скорости распространения гребня волны, определенной во втором случае, может быть отнесено за счет неточности определения места отражения волн. Скорости распространения волн попусков в нижнем бьефе Угличской ГЭС, вычисленные А. Н. Кренке (1958) на участке Углич—Коприно, составляют 7—8 м/сек. Несколько меньший порядок скоростей, приводимый в работе А. Н. Кренке, может быть связан, с одной стороны, с неопределенностью точки на профиле волны, относительно которой определялась скорость перемещения (скорость перемещения волны определялась по времени, прошедшему от начала работы ГЭС до появления заметных скоростей течения в створе), а с другой стороны, как указывает сам автор, за счет несинхронности наблюдений.

В заключение отметим, что представленная схема распространения волн попусков в нижнем бьефе Угличской ГЭС хорошо согласуется с результатами машинных расчетов распространения волн попусков в канале с трапецеидальным сечением (Грушевский, 1962).

ЛИТЕРАТУРА

- Архангельский В. А. 1947. Расчеты неустановившегося движения в открытых водотоках. М.
- Ведерников В. В., Мостицкий И. В. и Потапов М. В. 1947. Неустановившееся движение водного потока в открытом русле. М.—Л.
- Грушевский М. С. 1962. Использование электронной цифровой машины для расчета неустановившегося движения воды в призматическом русле. Тр. ГГИ, 94.
- Егiazаров И. В. 1937. Неустановившееся движение в длинных бьефах. Изв. ВНИИГ, 21.
- Кренке А. Н. 1958. Материалы по течениям Рыбинского водохранилища. Тр. биол. ст. Борок АН СССР, 3.

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О ТЕЧЕНИЯХ В ПРИПЛОТИННОМ УЧАСТКЕ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

С 9 по 11 июля 1966 г. в приплотинном участке Волгоградского водохранилища нами была проведена серия наблюдений над течениями. В качестве основных приборов использовались самописцы течений БПВ-2р, морская вертушка (ВММ) и свободно плавающие поплавки. Самописцы были установлены приблизительно в 4.5 км от ГЭС на буйковой станции с затопленным буюм на горизонтах 6 и 23 м при общей глубине вертикали 28 м. Наблюдения вертушками ВММ велись синхронно с трех судов, установленных на два якоря (один носовой и один кормовой). Местоположение станций и результаты синхронных измерений скорости течения на соответствующих горизонтах представлены в таблице.

Результаты измерения скорости течения на разрезе в 4.5 км от ГЭС за 15 час. (9 июля)

№№ стан-ций	Расстояние по нормали от правого берега, м	Глубина станции, м	Горизонты наблюдений, м					
			поверх-ность	5	10	15	20	25
1	700	34	8/90	9/190	12/180	17/200	22/160	—
2	3300	31	8/105	10/180	14/190	19/190	13/190	10/180
2а *	3800	28	—	14/190	—	—	—	13/190
3	5000	16	6/100	6/190	10/220	8/220	—	—

* Примечание. В числителе скорость, см/сек., в знаменателе направление течения, град. Станция 2а — место постановки самописцев БПВ-2р, горизонты наблюдений 6 и 23 м.

В поверхностном слое для избежания влияния корпуса судна на показания вертушек ВММ скорость и направление течения измерялись поплавками. На станции 1, вследствие того что длина троса на лебедке была недостаточна, наблюдения ограничивались горизонтом 20 м. Интервалы между наблюдениями составляли 3 часа. За указанный период синхронно было выполнено три суточных станции вертушками ВММ и двухсуточная станция самописцами БПВ-2р. Кроме точечных наблюдений в поверхностном слое (0—1 м) и в слое 9—10 м, были произведены наблюдения по площади свободно плавающими поплавками, которые пеленговались секстаном с лодки по береговым ориентирам. Конструкция поплавков практически исключала влияние ветра на траекторию их перемещения (Литвинов, 1966).

Наблюдения показали, что режим течений в приплотинном участке Волгоградского водохранилища определяется главным образом режимом сброски воды через ГЭС. На рис. 1 представлен хронологический график изменения скорости течения на буйковой станции и расходов воды через ГЭС, из которого видно, что при сбросах воды порядка 7000—8000 м³/сек. скорости течения на расстоянии около 4,5 км от ГЭС составляют 14—20 см/сек. Причем максимальные скорости наблюдаются с некоторым сдвигом во времени по отношению к максимальным расходам через ГЭС. Такого же порядка скорости течения наблюдались и на станциях 2 и 3. Несколько большие величины скоростей (до 24—26 см/сек.) были зафиксированы на станции 1, расположенной на затопленном русле Волги. С приближением к ГЭС скорости течения постепенно увеличивались и в непосредственной близости от последней достигали 40—50 см/сек.

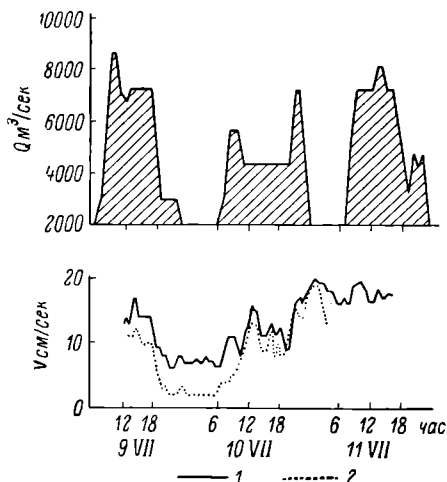


Рис. 1. Хронологический график изменения скорости течения в приплотинном участке Волгоградского водохранилища и расходов воды через ГЭС.

1 — скорость течения на горизонте 6 м; 2 — скорость течения на горизонте 23 м. Вверху — расход воды.

сти и ко дну. Таким образом, наибольшее количество воды в нижний бьеф поступает, вероятно, из средних слоев, однако в результате турбулентного перемешивания в сбросе принимают участие также и воды поверхностного и придонного слоев.

При наличии ветра над акваторией водохранилища в поверхностном слое развивается ветровое течение, скорость которого может достигать 15—25 см/сек. при скорости ветра 8—10 м/сек. Направление перемещения поверхностных слоев воды в открытых участках водохранилища, как правило, совпадает с направлением ветра. Какой-либо определенной закономерности в отклонении поверхностного течения от направления ветра за период наблюдений не обнаружено. При скорости ветра до 8—10 м/сек. в направлении его перемещается поверхностный 2—3-метровый слой воды. На более глубоких горизонтах в результате ослабления ветрового

течения скорости течения постепенно уменьшались и в непосредственной близости от последней достигали 40—50 см/сек.

Вертикальное распределение скоростей течения на всех трех станциях было однотипным. В качестве примера на рис. 2 представлены эпюры скоростей на станции 2. Максимальные скорости, как правило, наблюдались на глубинах 15—20 м и несколько понижались к поверхно-

течения и взаимодействия его со стоковым направление течения отклоняется от направления ветра.

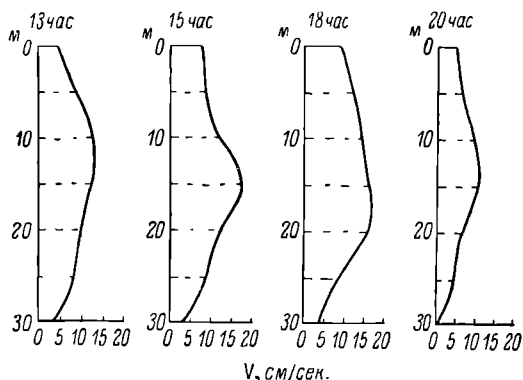


Рис. 2. Эпюры скоростей течения на станции 2 (9 июля).

В поверхностных слоях при подходе водных масс к берегу они начинают перемещаться вдоль него, причем направление движения определяется главным образом направлением ветра по отношению к береговой черте. Водные массы, как правило, перемещаются в сторону проекции скорости ветра на береговую черту (Иванов, 1957).

Анализ собранных материалов показывает, что в приплотинном участке Волгоградского водохранилища на глубинах более 7—10 м, независимо от местоположения станции и направления ветра, направление течения устойчиво и водные массы перемещаются в сторону ГЭС, т. е. отчетливо прослеживается стоковое течение (рис. 3). На перемещение водных масс в придонных слоях оказывает влияние также и рельеф дна водохранилища — максимальные скорости стокового течения, как правило, приурочены к наиболее глубоководным участкам. Вследствие этого основной поток воды, поступающий к Волгоградской ГЭС, прослеживается по старому руслу Волги вдоль западного берега водохранилища.

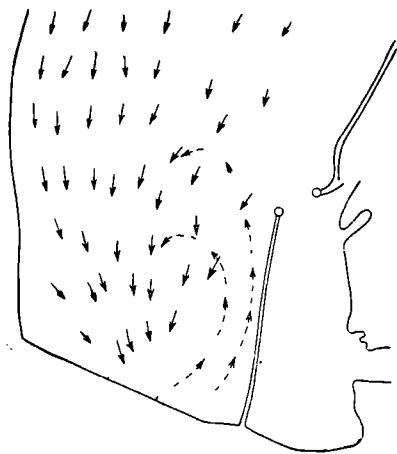


Рис. 3. Схема перемещения вод в глубинных слоях приплотинного участка Волгоградского водохранилища.

Так как водозаборные отверстия у Волгоградской ГЭС расположены на протяжении почти километра, то при работе только первых 12 агрегатов усиливается поток воды вдоль восточного берега по затопленному руслу Волжки. При резком уменьшении расходов воды через ГЭС в период провалов в нагрузке энергосети вследствие большой инерции водных масс в юго-восточной части приплотинного участка прослеживается циркуляционная зона с пере-

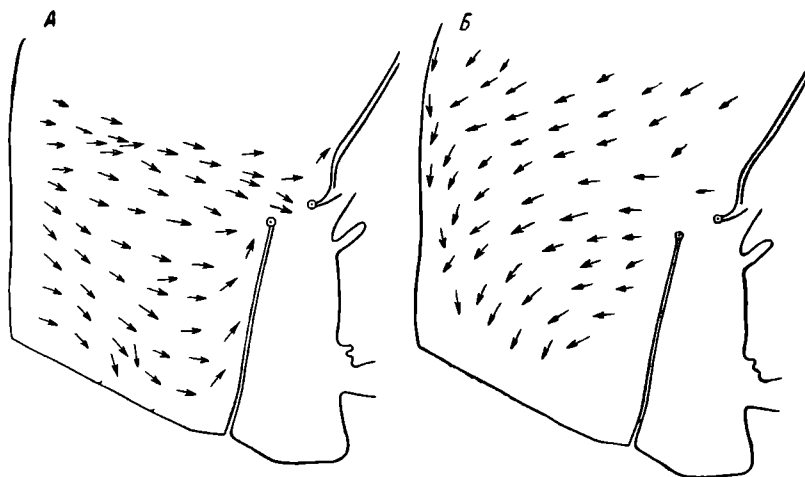


Рис. 4. Схема перемещения вод в поверхностных слоях приплотинного участка Волгоградского водохранилища.

А — при западном ветре (9—10 июля); Б — при северо-восточном ветре (11 июля).

мещением водных масс против часовой стрелки со скоростями, достигающими 10—14 см/сек. (рис. 3).

В случае отсутствия ветра над акваторией водохранилища перемещение водных масс в поверхностных слоях совпадает по направлению с глубинным. При западном ветре в поверхностном слое воды наблюдается восточный перенос (рис. 4, А). В районе ГЭС в результате усиливающегося стокового течения направление течения в поверхностном слое несколько отклоняется к югу, а вдоль пирса усиливается поток воды, идущий на север. При северо-восточном ветре поверхностные слои воды перемещались в юго-восточном направлении (рис. 4, Б). Над руслом Волги и вдоль западного берега водохранилища направление течения отклонялось к югу и поверхностные слои вовлекались в основной поток, идущий к ГЭС.

- Иванов Р. Н. 1957. Влияние берега на направление ветрового поверхностного течения. Тр. Морск. гидрофиз. инст., XI.
- Литвинов А. С. 1966. Некоторые данные о ветровых течениях в Рыбинском водохранилище. Сборник работ Рыбинской ГМО, 3, Л.
- Институт биологии внутренних вод АН СССР.

Н. А. Зимина, В. П. Курдин

О ЗАИЛЕНИИ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

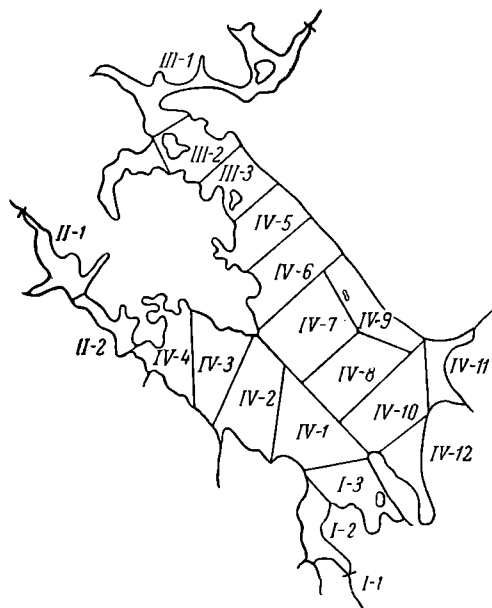
Мощность донных отложений Рыбинского водохранилища была определена на 721 станции. Пробы отбирались трубкой Океанографического института. Плеса водохранилища были разбиты на участки с однородной морфометрией и гидрологическим режимом (см. рисунок). Для каждого участка определялась средняя высота слоя отложений в определенных интервалах глубин. Объемы грунта, отложившегося на различных глубинах, суммировались, и определялся общий объем заиления данного участка к 1965 г.

В стрежневой части русла Волжского плеса устойчивое накопление донных отложений начинается с середины участка I-2, там, где заметное расширение плеса сопровождается уменьшением проточности. Средняя мощность отложений, представленных в русле песчанистым серым и серым илом, на участке I-2 равна 35 см, на участке I-3 — 48 см. На склонах русла мощность отложений несколько большая, чем в стрежневой части, — 38—78 см. Более интенсивное осадкообразование на склонах русла в плесах с отчетливо выраженными стоковыми течениями определяется распределением скоростей в поперечном сечении потока. На пойме мощность отложений уменьшается с уменьшением глубины, песчанистые илы сменяются илистыми песками и песками. Высота слоя отложений на глубинах 4—6 м уменьшается по мере расширения плеса и соответственного расширения зоны волнового воздействия на дно и составляет на участке I-1 6.5, на участке I-2 4.6 см. На участке I-3 накопления отложений на этих глубинах не происходит. Глубины 0—4 м на большей части Волжского плеса заняты почвами и песками.

В Моложском плесе стрежневая часть русла занята незаиленными аллювиальными песками. На склонах русла мощность серого песчанистого ила составляет в среднем 28 см. Высота слоя отложений на поймах — 1.5—3.0 см. Размываемые почвы встре-

чаются в плесе сравнительно редко, так как волнение, развивающееся здесь, недостаточно для интенсивного размыва.

В Шекснинском плесе в силу малой его проточности накопление отложений в русловой части начинается с верхнего участка. Мощность их в стрежневой части русла составляет 22—65 см, на его склонах — 13—17 см. В остальном распределение мощности отложений не отличается существенно от наблюдаемого в других плесах.



Участки Рыбинского водохранилища, в которых определялись объемы заиления.

Во всех речных плесах интенсивность заиления по длине плеса изменяется на разных глубинах неоднородно. На малых глубинах, где преобладает волнение, интенсивность накопления отложений, достигнув сравнительно небольшого максимума на верхнем участке, уменьшается вниз по плесу до нуля. На больших глубинах, где подвижность водной массы определяется главным образом течением, интенсивность заиления возрастает вниз по плесу.

В Главном плесе распределение мощности отложений разнообразно. Верхняя граница зоны аккумуляции подвержена значительным колебаниям в зависимости от гидродинамической активности водной массы на участке и механического состава первичных грунтов. На большинстве участков (*IV-3*, *IV-5*, *IV-7*, *IV-12*) аккумуляция пылеватого песка начинается на глубинах 4—6 м, где его мощность к 1965 г. составила всего 1—3 см. В тех местах, где высокая гидродинамическая активность сочетается с наличием легко размываемых грунтов, граница зоны аккумуляции смещается на глубины 6—8 и даже 8—10 м (участки *IV-1*, *IV-2*, *IV-6*). Средняя высота слоя отложений в верхних горизонтах зоны аккумуляции на большинстве участков не превышает 4 см. Иногда наблюдается резкое уменьшение высоты слоя на глубинах 8—10 м при переходе от песчаных отложений к илистым (участки *IV-3*, *IV-5*). В общем на центральных участках плеса, где глубины 8—10 м заняты в основном песчанстыми илами, мощность последних равна 0.5—4.8 см. Ниже изобаты 10 м располагается

юна, на которую не распространяется размывающее действие волнения и в которой вследствие этого менее развиты процессы трансседиментации. Поэтому здесь резко увеличивается мощность отложений, достигая максимума на глубинах больше 14 м. К 1965 г. ее средняя величина колебалась в пределах 40—150 см, а максимальная (170 см торфянистого ила) была измерена в русле Шексны на участке IV-10.

Отсутствие годичной слоистости в отложениях не позволяет судить об изменениях интенсивности заиления по колонкам отложений. Однако некоторые соображения по этому поводу можно высказать на основании изучения участия различных источников грунтообразующего материала в формировании отложений. В начальный период существования водохранилища большую роль в образовании вторичных грунтов играл размыв ложа и торфяных сплавин. К настоящему времени поступление материала из этих источников значительно сократилось, так как формирование рельефа и грунтов мелководий в основном закончилось, образование торфяных сплавин заметно сократилось, а доступные волнению сплавинны почти полностью разрушены. Это, несомненно, вызвало уменьшение интенсивности осадконакопления, основными факторами которого в настоящее время является сток взвешенных наносов рек и вегетация фитопланктона.

Игнорирование местных источников грунтообразующего материала при прогнозе заиления водохранилища привело к значительным расхождениям между расчетными и фактическими объемами заиления. Объем заиления водохранилища за 25 лет должен был равняться 0.035 км^3 . Фак-

Среднегодовое накопление донных отложений по плесам Рыбинского водохранилища, см

Плес	Глубина, м					Объем отложений к 1965 г., км^3
	0—4	4—6	6—8	8—10	10—14	> 14
Волжский	0.00—0.16	0.18—1.52	0.18—0.54	0.81—0.88	1.52—3.42	0.05—1.92
Моложский	0.06—0.08	0.12	0.00—0.06	1.12	0.00—0.20	0.006
Шексинский	0.00—0.06	0.00—0.20	0.10—0.50	0.25—1.02	0.52—1.08	1.80—2.60
Главный	0.00—0.42	0.00—0.50	0.00—1.06	0.02—3.42	0.28—3.04	0.18—6.00
Всего						0.283

тический объем заиления, определенный по измерениям высоты слоя вторичных грунтов, равен 0.283 км^3 (см. таблицу). Сравнение расчетных и фактических объемов заиления отдельных участков водохранилища показало, что только для участка I-1, где местные источники грунтообразующего материала не могли иметь существенного значения, прогноз оправдался. Для всех остальных участков фактические объемы заиления в 2—9 раз превосходят расчетные. Приведенный прогноз основан на предпосылке, что основными факторами заиления являются твердый сток рек и переформирование берегов. Это справедливо для водохранилищ руслового типа. Но для больших водохранилищ, затопивших значительные пространства долин и водоразделов в зоне сравнительно слабого развития эрозионных процессов, расчет по такой схеме не может дать удовлетворительных результатов. Опыт изучения мощности донных отложений Рыбинского водохранилища показывает также, что прогнозируемая обычно на основе балансовых расчетов средняя высота слоя отложений, без дифференцирования ее по участкам и глубинам, имеет для большого водоема чисто формальный характер и не отражает происходящих в нем процессов.

В заключение необходимо предостеречь от расчетов сроков заиления по среднегодовым показателям скорости заиления, найденным до окончания интенсивной переработки ложа и берегов водохранилища, так как после завершения переформирования берегов и ложа поступление автохтонного грунтообразующего материала резко снижается, и последующие годовые приросты слоя отложений значительно уменьшаются.

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

В. П. Курдин, Н. А. Зимина

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ В ГРУНТОВОМ КОМПЛЕКСЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Сравнение материалов грунтовых съемок, выполненных в мае 1955 г. и июле—августе 1965 г., позволило проследить процесс формирования грунтового комплекса водохранилища в этот период и определить возможный состав грунтов на ближайшее время.

По морфометрическим показателям Рыбинское водохранилище относится к водоемам озерного типа. Поэтому основными формами гидродинамической активности для него являются ветровое волне-

ние и ветровые течения. До начала 60-х годов развитию волнения в значительной степени препятствовали оставшаяся на корню при заполнении водохранилища древесная и развивавшаяся под ее защитой водная растительность. Кроме того, на некоторых участках водоема распространение волнения задерживалось торфяными сплавами. За период с 1941 по 1961 г. произошло постепенное самоочищение водохранилища от затопленной древесной растительности, а торфяные сплавы были в значительной степени разрушены (Тачалов, 1965). По мере очищения водоема увеличивались размеры волн и возрастало их воздействие на ложе и берега. В результате этого происходило интенсивное переформирование первичных и образование вторичных грунтов по всему диапазону глубин. В настоящее время величина волнения ограничена только существующими в водохранилище глубинами и разгонами волн.

Способность волнения размывать подстилающие грунты и принимать активное участие в сортировке частиц, слагающих отложения, определяется глубиной размывающего действия волны, зависящей от ее высоты. Чем больше повторяемость волн определенной высоты, тем интенсивнее происходит образование вторичных грунтов на соответствующих глубинах.

О повторяемости волн разной высоты можно судить по повторяемости ветра различной скорости. Повторяемость ветра (средняя за 1951—1962 гг.) по гидрометеорологической станции Пункт открытого моря, наиболее репрезентативной для акватории водохранилища, в навигационный период равна: в интервале 0—7 м/сек. — 67%, в интервале 8—15 м/сек. — 32% и больше 15 м/сек. — около 1%; и только для октября — соответственно 56,42 и около 2% (Гущина, 1966). При такой повторяемости ветра наиболее интенсивно формирование вторичных грунтов должно происходить на глубине размывающего действия волн, возникающих при ветре до 7 м/сек. Несколько медленнее этот процесс идет при высоте волны, обусловленной ветром 8—15 м/сек., и явно затяжной характер он имеет на глубинах, определенных волной при ветре больше 15 м/сек. Глубины размывающего действия волны, вычисленные от нормального подпорного горизонта с учетом минимальных сработок уровня водохранилища на конец навигационного периода и соответствующие высотам волн при предельных значениях скоростей ветра в указанных интервалах, соответственно равны 5 и 8 м. Наибольшая глубина размывающего действия волны на Рыбинском водохранилище 10 м; она соответствует волнению, возникающему при ветре 20 м/сек. (Гущина, 1966).

Таким образом, граница между областью переработки грунтов и областью аккумуляции высвободившихся при этом частиц на основной части водохранилища лежит на глубине 10 м. Причем на глубинах меньше 10 м процесс формирования вторичных грунтов протекает с различной интенсивностью, резко уменьшающейся по мере приближения к указанной границе. Различная интенсив-

ность грунтообразования в диапазоне глубин 0—10 м, во-первых, привела к завершению формирования грунтов на глубинах до 6 м с появлением здесь вторичных песков и, во-вторых, оказалась причиной сохранения почв в интервале глубин от 6 до 10 м. Зона с глубинами более 10 м с первых лет существования водохранилища стала местом аккумуляции илистых отложений.

Съемка грунтов, выполненная в 1955 г., показала картину их распределения в период, когда в результате самоочищения водоема от растительности значительная часть литорали оказалась доступной волновому воздействию в интервале глубин от 0 до 6 м, где интенсивная переработка первичного грунта обеспечивалась волнами, имеющими самую большую повторяемость. На глубинах же больше 6 м, до границы зоны аккумуляции илов, о возможном переформировании первичных грунтов можно было судить только по отсутствию на поверхности почв илистого наилка и частичному исчезновению дерновины (Курдин, 1959).

Съемка распределения грунтов в 1965 г. подтвердила границу распространения илистых отложений на изобате 10 м. Песчанистые грунты продвинулись до глубины 7—8 м, а на глубинах 8—10 м появились явные признаки эрозии почв, выраженные размывом дерновины с образованием песчанистого наилка из пылеватого песка или песчанистого ила. Местами толщина слоя отложений достигала нескольких сантиметров.

Направленность процесса образования вторичных грунтов, выявленная при сравнении материалов съемок, позволяет сделать вывод, что в недалеком будущем песчанистые отложения распространятся на весь диапазон глубин до границы зоны аккумуляции илов. Это приведет к перестройке грунтового комплекса Рыбинского водохранилища. Песчанистые грунты (песок и илистый песок) будут занимать значительно большие площади, а илистые отложения, изменив свой состав, — тот же район, который они занимают теперь (см. таблицу).

Одновременно с распространением песков в глубь водоема в Главном плесе водохранилища происходит обеднение органиче-

Изменения в составе грунтов Рыбинского водохранилища в связи с перестройкой грунтового комплекса, % от площади зеркала водохранилища

Грунт	По съемке 1955 г.	После перестройки грунтового комплекса
Пески и илистые пески	20	75
Незаиленные почвы	55	—
Песчанистый серый и серый ил . .	8	25
Переходный ил	4	—
Торфянистый ил	13	—

ким веществом верхнего слоя илистых отложений (Курдин и Зимина, 1968), вызванное уменьшением его поступления за счет окрашивания размыва торфяных сплавин, уменьшением площадей, занятых высшей водной растительностью, и иссяканием запасов рунтообразующего материала, поступавшего в водохранилище при его самоочищении от затопленной древесной растительности. Следовательно, распространенные на водохранилище в настоящее время переходный и торфянистый илы должны замещаться серым илом, биологическая продуктивность которого выше продуктивности других илов, представленных в водоеме. Дополнительные площади серых илов в Главном плесе с их относительно высокими биомассами бентоса могут создать новые нагульные площади для рыб-энтофагов в районах водохранилища, где раньше этих площадей не было. Однако улучшение условий развития бентоса в центральных частях Рыбинского водохранилища на площадях, где происходит замещение существующих илов на более продуктивный серый ил, не вызовет общего увеличения его биомассы, так как биомасса бентоса на исчезающих почвах, которые занимали 55% площади дна, в 2—3 раза больше, чем на вытесняющих почвы песках (Поддубная, 1958).

ЛИТЕРАТУРА

- Зимина Л. А. 1966. Ветровой режим Рыбинского водохранилища. Сборник работ Рыбинской ГМО, 3, Л.
- Курдин В. П. 1959. Классификация и распределение грунтов Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, 1 (4).
- Курдин В. П. и Зимина Н. А. 1968. Изменение количества органического вещества в илистых отложениях Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 14 (17).
- Поддубная Т. Л. 1958. Состояние бентоса Рыбинского водохранилища в 1953—1955 гг. Тр. биол. ст. Борок АН СССР, 2.
- Пачалов С. Н. 1965. Динамика изменения площадей затопленной древесной растительности и торфяных сплавин на Рыбинском водохранилище. Сборник работ Рыбинской ГМО, 2, Л.
- Институт биологии внутренних вод АН СССР.

С. С. Бакастов

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГРУНТАХ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Температурный режим донных отложений до последнего времени остается наименее изученной областью в общем термическом режиме внутренних водоемов.

В настоящей статье приводятся результаты наблюдений над температурой в грунтах Рыбинского водохранилища, получен-

ные с помощью специально сконструированного нестационарного прибора — донного термощупа с полупроводниковым датчиком (Бакастов, 1963). Прибор позволяет измерять температуру в любой точке водохранилища, как в илах, так и в плотных грунтах, на 7 постоянных горизонтах до 1 м от поверхности грунта. Полученные при гидрологических съемках материалы по температуре в грунтах на всей территории водохранилища дают несравненно более полное представление о ходе донных температур и о факторах этого процесса, чем данные, полученные на одной стационарной установке.

При делении года на сезоны мы приняли схему, предложенную Н. В. Буториным и Т. Н. Курдиной (1965). Она разработана для Рыбинского водохранилища и основана на анализе гидрологического режима, в первую очередь уровня и термического. По принятой схеме, гидрологическая весна продолжается 3 месяца (апрель—июнь), лето — 2 месяца (июль—август), осень — 2 месяца (сентябрь—октябрь) и гидрологическая зима — 5 месяцев (ноябрь—март).

В предвесенний период поверхность грунта в центральных малопроточных частях обычно имеет температуру $3-4^{\circ}$ и $0-1^{\circ}$ в более проточных плесовых, а также на всех мелководных участках. В грунте в это время устанавливается обратная стратификация и температура на глубине в 1 м от поверхности на $2-3^{\circ}$ выше, чем на поверхности. Прогрев дна весной под воздействием проникающей через лед солнечной радиации начинается после очищения льда от снега еще задолго до схода ледяного покрова. Прогрев грунта в этом случае происходит не только под непосредственным влиянием солнечных лучей, проникающих на глубину, равную величине прозрачности в это время (около 2 м), но и на более глубоких местах (до 4—5 м) за счет конвективной передачи тепла грунту от прогретых солнечной радиацией верхних слоев воды. Температура поверхности грунта в результате подледного прогрева на мелководных участках повышается от $0-1$ до $3-4^{\circ}$, что приводит к выравниванию температуры поверхности грунта на большей части водохранилища. На мелководных участках в метровом слое грунта в это время наблюдается гомотермия при $3-4^{\circ}$, а в центральных частях сохраняется еще предвесеннее распределение температуры.

Одновременно с грунтом прогреваются и воды мелководий как проникающей, так и отраженной от дна солнечной радиацией, следствием чего является более быстрое разрушение льда на прибрежных участках, чем в центре водохранилища. Очищение от льда мелководий способствует еще большему прогреву их воды и грунта. Освобождение от льда прибрежных участков содействует более быстрому очищению от льда всего водохранилища, так как он начинает дрейфовать под действием ветра и быстрее разрушается.

В последние дни ледостава, когда температура поверхности грунта на мелководьях повышается до $3-4^{\circ}$, в грунтах плесовых участков, занимающих около 30% площади водохранилища, продолжает сохраняться предвесеннее распределение температуры и поверхностные слои грунта имеют температуру $0.3-0.7^{\circ}$. Она даже несколько снижается, так как грунт отдает еще тепло уже поступающим в водохранилище водам начала паводка с низкой (около 0°) температурой.

Основным источником тепла, оказывающим весной решающее влияние на повышение температуры в донных отложениях плесовых участков, является тепло паводковых вод притоков, поступающих во второй половине весеннего периода (май). Водохранилище к этому времени очищается от льда, но поверхностные слои грунта центральных его частей имеют еще температуру, близкую по значению к зимней ($2-4^{\circ}$), а температура поверхностных слоев грунта Моложского, Шекснинского и Волжского плесов резко повышается под влиянием уже значительно прогретых (до $8-12^{\circ}$) паводочных вод больших притоков.

Так, по данным температурной съемки 9 мая 1960 г., температура в поверхностных слоях донных отложений всей центральной части не превышала $2-4^{\circ}$, в Волжском же и Шекснинском плесах она повысилась до $7-8^{\circ}$, а в Моложском до $8-10^{\circ}$. По данным съемки 3 июня 1960 г., в центральных частях водохранилища грунты прогрелись только до $9-10^{\circ}$, а в плесовых участках до $14-15^{\circ}$. Приведенные примеры свидетельствуют о том, что большая разница в интенсивности прогрева донных отложений центральной части и плесовых участков водохранилища весной может сохраняться продолжительное время.

К началу летнего периода заканчивается наполнение водохранилища. Уменьшение притока речных вод, имеющих иную температуру, и ветровое перемешивание сглаживают температурные различия в водной массе и грунтах отдельных частей водохранилища. Интенсивное ветровое перемешивание вод способствует быстрому проникновению тепла в придонные слои и грунт. Температура в грунтах продолжает повышаться и достигает максимума в поверхностных слоях в июле или августе. Максимум температуры на глубине 1 м от поверхности грунта наступает с запозданием на 40—50 дней и достигает $14-16^{\circ}$. Высокий прогрев донных отложений летом является особенностью Рыбинского водохранилища. Температура поверхностных слоев грунта здесь часто повышается до $20-25^{\circ}$, что значительно превышает температуру в грунтах тех озер и водохранилищ, в которых в летний период наблюдается стратификация.

Обычные для летнего периода различия в температуре поверхностных слоев грунта отдельных частей водоема в $2-3^{\circ}$ увеличиваются в редкие на Рыбинском водохранилище дни штилевой погоды. В это время происходит температурное расслоение водной

массы и температура поверхностных слоев грунта непродолжительное время может быть на мелководных участках на 4—6° выше, чем на глубоководных. Прогрев грунта водохранилища непосредственно проникающей солнечной радиацией незначителен из-за малой прозрачности воды; все изменения в температуре грунта в безледный период происходят в результате теплообмена между грунтом и придонными слоями воды.

Характерной особенностью осеннего периода является наличие постоянного теплового потока из водоема в атмосферу, благодаря чему температура в воде и грунтах постепенно понижается от максимальных значений до близких к 0° перед ледоставом. Под действием частых штормов в этот период происходит полное перемешивание всей водной массы водохранилища, и охлаждение ее продолжается в условиях гомотермии по площади и глубине. Температура поверхности дна выравнивается во всех частях водохранилища, а температура на глубине 1 м от поверхности дна в илах бывает на 2—3° выше, чем в песчанистых грунтах, так как последние имеют большую в 2—2.5 раза теплопроводность и быстрее охлаждаются. Во время замерзания водохранилища температурные различия в поверхностных слоях грунта его отдельных частей опять увеличиваются, что объясняется влиянием вод притоков, поступающих с различной температурой. В Моложском и Шекснинском плесах ледостав наступает раньше и поверхностные слои грунта здесь охлаждаются до 0.1—0.2°, а в Волжском плесе, находящемся под воздействием более теплых вод, сбрасываемых Угличской ГЭС, в них еще сохраняется температура 3—4°. К моменту ледостава в Волжском плесе температура дна в нем также понижается до 0.1—0.2°.

Зимой происходит прогрев поверхностных слоев грунта и воды за счет поступления тепла из нижележащих слоев. Повышение температуры грунта в разных частях водохранилища различно. На участках с большой проточностью температура дна повышается от значений, близких к 0°, перед ледоставом до 0.2—0.6° к концу зимы. К ним относятся верхние части Моложского и Шекснинского плесов, весь Волжский плес и прилегающая к нему южная часть водохранилища. Такую же низкую температуру имеет поверхность дна мелководий. На понижение ее влияет большая теплоотдача через незначительный слой воды и лед в атмосферу. В центральных малопроточных районах поверхностные слои грунта прогреваются до 2—3, а в отдельные годы до 4—5°. На глубине 1 м от поверхности грунта температура бывает на 3—4° выше.

Таким образом, все сезонные изменения температуры в верхнем слое донных отложений Рыбинского водохранилища происходят в результате теплообмена с придонными слоями воды и зависят от конкретных температурных условий, сложившихся в водной массе его отдельных частей. Прогрев грунта непосредственно проникающей солнечной радиацией незначителен вследствие ма-

лой прозрачности воды. Годовые изменения температуры в метровом слое донных отложений можно подразделить на следующие фазы: весенне-летнее накопление тепла, осеннее выхолаживание и зимнее накопление тепла. Наибольшие различия в температуре донных отложений центральной части и плесовых участков наблюдаются весной (до 10°), наименьшие — осенью (десятые доли градуса).

ЛИТЕРАТУРА

- Бакастов С. С. 1963. Донный термощуп. Матер. 1-го научно-технич. совещ. по изуч. Куйбышевск. водохр., 1, Куйбышев.
Буторин Н. В. и Т. Н. Курдина. 1965. Характеристика гидрологических сезонов Рыбинского водохранилища Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 9 (12).

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

Н. В. Буторин, С. С. Бакастов,
А. С. Литвинов

РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ КОНАКОВСКОЙ ГРЭС

В связи с сооружением на Иваньковском водохранилище Конаковской ГРЭС ожидаются изменения в термическом режиме этого водоема. Как предполагает Г. В. Никольский (1966), под влиянием сбросных вод значительная часть Иваньковского водохранилища по режиму температур приблизится к водоемам Объединенной Арабской Республики. Круглогодичный приток теплых вод безусловно отразится на биологических процессах, протекающих в водоеме, что, очевидно, может оказать заметное влияние на использование его вод.

По термическому режиму Иваньковское водохранилище занимает промежуточное положение между рекой и озером (Зиминова, 1959). Наиболее существенные различия в температуре воды отдельных его участков наблюдаются весной и в начале лета, в период интенсивного прогрева водоема. Осенью во время выхолаживания водной толщи различия в температуре отдельных участков, как правило, не превышают 1.0—1.5°. Зимой температура поверхностного слоя воды колеблется в пределах 0.0—0.2°, а придонного 0.0—0.3°, и только в затопленных озерах и в русловых участках у дна достигает 2—3°.

Для выяснения влияния сброса теплых вод Конаковской ГРЭС на термический режим водохранилища нами в период с 8 по 11 февраля 1967 г. были выполнены некоторые наблюдения в районе, примыкающем к станции (рис. 1). Строительство ГРЭС еще не завершено, и во время наших исследований станция работала только на одну треть проектной мощности.

При рекогносцировочном обследовании района выяснилось, что в заливе водохранилища, куда сбрасываются воды из отводного канала станции, имеется полынья, распространяющаяся до русла Волги. Длина полыньи около 4,5 км, а максимальная ширина около 1 км. В зависимости от суровости зимы размеры полыньи меняются. Так, по опросным данным, более теплой зимой 1966 г. полынья наблюдалась не только в заливе, но прослеживалась на 5 км вдоль русла Волги в сторону Ивановской ГЭС.

Во время обследования работы производились со льда, а в полынье — с лодки. За время съемки было выполнено 6 гидрологических разрезов с общим количеством станций 29 и 5 отдельных вертикалей. На каждой станции измерялась глубина, толщина льда, высота снега и через метр по глубине температура и электропроводность воды. Выборочно отбирались пробы, в которых определялось содержание кислорода. На русловых вертикалях разрезов *I* и *II* (рис. 1) были установлены самописцы течений БПВ-2р, а в конце отводного канала и в полынье скорость течения определялась поплавками.

Предварительный анализ собранных материалов показал, что в водозаборном канале температура воды была $0.4\text{--}0.5^\circ$ у нижней кромки льда и 1.4° в придонном слое и соответствовала температуре на русловой вертикали 4, расположенной выше водозабора (рис. 1).

После прохождения через конденсаторы пара вода, нагревшаяся до температуры 9.5° , поступает в отводной канал. Этот канал (его длина 3 км) служит не только для отвода подогретых вод, но и для их охлаждения. Скорость течения в канале около 0.5 м/сек. По нашим измерениям, по длине канала происходило лишь незначительное охлаждение воды и температура ее у водослива составляла 9° .

Более значительное выхолаживание теплых вод наблюдалось в заливе водохранилища. Там, на станции 2, расположенной примерно в 1 км от водослива (рис. 1), температура воды понизилась до 7.0° , а на разрезе *III* в конце полыньи она на поверхности изменялась от 0.8 у левого до 5.6° у правого края полыньи. В придонном слое на том же разрезе температура воды составляла соответственно 3.2 и 5.5° . Основной поток теплых вод был прижат к правому берегу залива. Непосредственно у кромки льда в конце полыньи на станции *I* температура воды равнялась 0.5° у поверхности и 4.0° у дна.

Влияние ГРЭС на температуру водной толщи прослеживается не только в заливе, но и в самом водохранилище. Замыкающий створ исследуемого участка (разрез *II*) был расположен в районе дер. Корчева (рис. 1). В этом районе водохранилище было покрыто

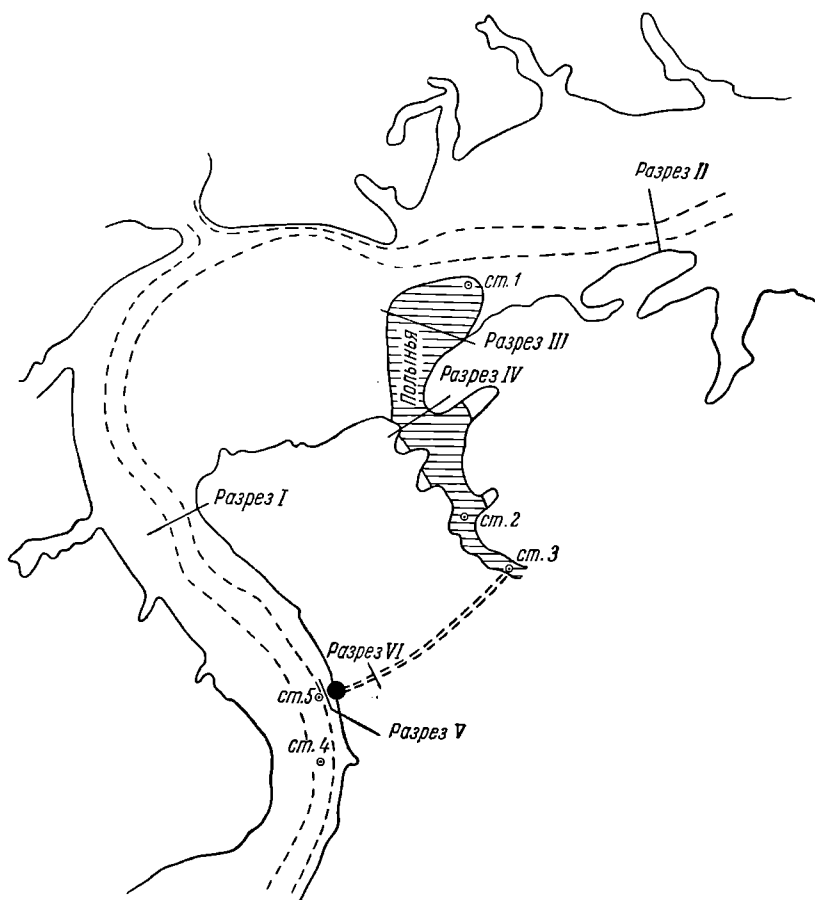


Рис. 1. Схема Иваньковского водохранилища в районе Конаковской ГРЭС.

льдом, толщина которого изменялась от 30 см у правого берега до 50 см у левого.

На разрезе *II* отчетливо прослеживается поток подогретых вод проходящий в русле Волги несколько ближе к приглубому правому берегу. Ядро потока занимало центральную часть русла (рис. 2). Температура воды по разрезу на горизонте 1 м изменялась от 0.3° у левого берега до 1.4° у правого, а в придонном слое

соответственно от 1.5 до 2.5° . Наиболее высокая температура отмечена на русловой вертикали 4, где на горизонте 10 м она достигала 3° . Высокая температура воды у правого берега обуславливает здесь меньшую толщину льда и способствует образованию полыньи.

Если на русловой вертикали 4 (выше водозабора) и в водозаборном канале средняя температура была около 1° , то на данном

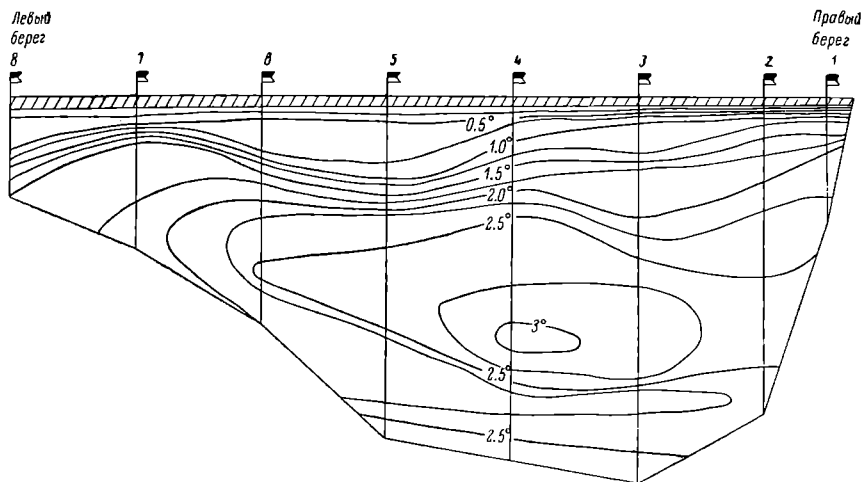


Рис. 2. Распределение температуры воды на разрезе II.

разрезе средняя температура увеличилась до 2.3° . Это дает основание полагать, что влияние подогретых вод Конаковской ГРЭС на термику водохранилища распространяется и дальше Корчевы, в сторону Ивановской ГЭС.

Таким образом, уже на начальном этапе эксплуатации ГРЭС в прилегающем районе Ивановского водохранилища в зимний период четко прослеживается влияние подогретых вод на термику водоема. Оно выражается в заметном повышении температуры воды и в образовании обширной полыньи.

ЛИТЕРАТУРА

1. З и м и н о в а Н. А. 1959. Элементы гидрологического режима и водный баланс Ивановского водохранилища. Тр. Инст. бпол. водохр. АН СССР, 2 (5).
2. Н и к о л ь с к и й Г. В. 1966. Основные задачи гидробиологии и ихтиологии в текущем пятилетии. Гидробиол. журн., 6.

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

ДАННЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ НА БЕЛОМ НИЛЕ

Гидрологические и гидрохимические наблюдения на Белом Ниле производились советской научно-исследовательской рыбохозяйственной экспедицией, обследовавшей участок реки протяженностью 1550 км, от г. Бор до плотины водохранилища Джебель-Аулия (см. рисунок). По этому маршруту было сделано два рейса: первый продолжался с ноября 1963 по февраль 1964 г. и охватил засушливый сезон, второй — с апреля по май 1964 г., он совпал с началом дождливого периода в южной части бассейна реки.

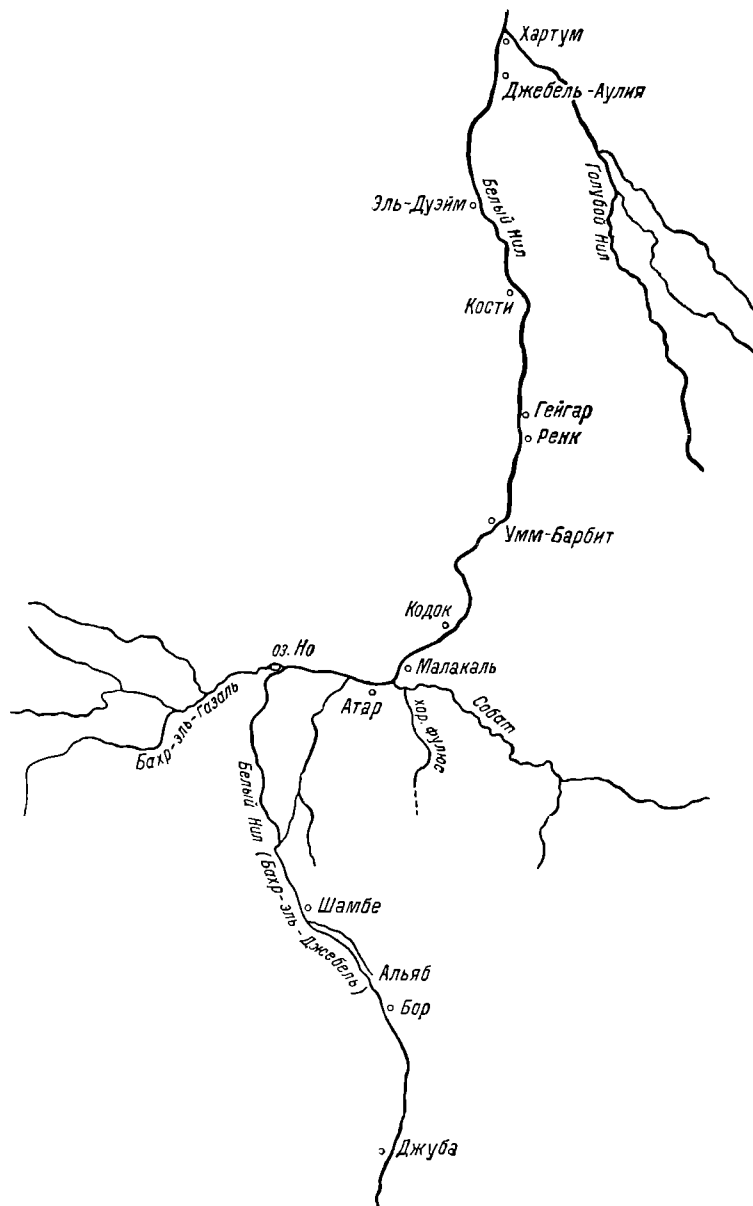
Пробы воды отбирались батометром Рутнера. Определение концентрации водородных ионов, двуокиси углерода, растворенного кислорода, нитритов, нитратов, минерального растворимого фосфора, жесткости и перманганатной окисляемости производились в соответствии с принятой у нас методикой (Алекин, 1954), причем окисляемость определялась в кислой среде, а жесткость — трилонометрическим методом.

Тип питания Белого Нила дождевой. Распределение атмосферных осадков по длине реки неравномерно и резко убывает от истоков (1250 мм) к месту слияния с Голубым Нилом (200 мм). Осадки, выпадающие в нижнем течении реки, в основном расходуются на испарение и поэтому в ее питании почти не участвуют. По материалам Метеорологической службы Республики Судан, испарение с открытой водной поверхности в районе Джебель-Аулии в 13.5 раза превышает годовую сумму осадков, а у Бора только в 1.6 раза. Благодаря большому испарению и транспирации растительностью с болот области Сэدد, расположенных вдоль русла реки между Бором и оз. Но (площадь болот равна 6500 км²), Белый Нил выше устья Собата теряет половину годового стока, что составляет 12 км³. Ниже устья Собата сток восстанавливается до 27.5 км³, однако у Хартума он снова уменьшается на 2.3 км³ (Херст, 1954).

Характерной особенностью Белого Нила на всем его протяжении является присутствие в воде очень большого количества взвешей растительного происхождения, представленных в основном остатками водяного гиацинта (*Eichhornia crassipes*).

Материалы, полученные при гидрологическом и гидрохимическом изучении Белого Нила, даны в таблице. Эти материалы позволяют сделать следующие обобщения.

По гидрологическим и гидрохимическим показателям обследованную часть Белого Нила можно разделить на три участка (см. рисунок): от Бора до Малакаля, от Малакаля до Ренка и во-



Карта-схема среднего и нижнего течения Белого Нила.

Гидрологические и гидрохимические характеристики Белого Нила

Показатели	Станции					
	Джебел-Аулия (верхний бьеф плотины)	Эль-Дуайм	Костй	Гейгар	Ум-Барбит	Кодок
П е р в ы й р е й с						
Дата отбора пробы . . .	14 XI 63	19 XI 63	28 XI 63	14 XII 63	12 XII 63	16 XII 63
Глубина станции, м . .	8.80	8.55	7.55	6.80	6.00	8.90
Температура воды, °С	24.0	25.0	24.0	22.3	22.8	24.6
Прозрачность по белому диску, см	60	95	105	145	160	200
Скорость течения на вер- тикали, м/сек . . .	0.18	0.17	0.40	0.51	0.70	0.72
pH	8.00	7.85	7.25	7.20	7.20	7.10
Двуокись углерода, мг CO ₂ /л	—	—	4.7	7.3	9.4	9.9
Растворенный кислород, мг O ₂ /л	—	—	5.64	5.03	2.97	2.55
Насыщение кислорода, %	—	—	67	60	35	31
Жесткость, мг-экв./л	1.82	1.86	1.90	1.86	1.89	1.90
Окисляемость перманга- натная, мг O ₂ /л . .	4.20	4.63	4.73	4.00	4.82	4.57
Нитраты, мг NO ₃ /л . .	0.050	0.035	0.035	0.020	0.020	0.015
Фосфаты, мг P/л . . .	0.007	0.011	0.009	0.006	0.004	0.004

Показатели	Станции					
	Малакаль (у левого берега)	Малакаль (у правого берега)	Р. Собат у Хор. Фулюс	Атар	у озера Но	у озера Шамбе
Первый рейс						
Дата отбора пробы . . .	20 XII 63	20 XII 63	26 XII 63	18 II 64	14 II 64	26 I 64
Глубина станции, м . .	10.3	6.80	12.0	5.70	8.50	4.40
Температура воды, °С . .	26.0	25.9	25.1	23.4	23.4	26.3
Прозрачность по бстому диску, см	120	95	55	190	130	75
Скорость течения на вер- тикали, м/сек	0.96	0.70	0.55	0.52	0.53	0.94
pH	7.10	7.05	6.80	7.25	7.25	7.35
Двуокись углерода, мг CO ₂ /л	12.0	11.1	7.0	10.2	9.6	6.0
Растворенный кислород, мг O ₂ /л	1.68	2.24	4.31	1.85	3.76	4.86
Насыщение кислородом, %	21	28	52	22	45	61
Жесткость, мг-экв./л . .	2.06	1.67	1.03	2.34	1.84	1.55
Окисляемость перман- ганатная, мг O ₂ /л . .	5.28	4.17	4.97	5.32	5.59	3.76
Нитраты, мг NO ₃ /л . . .	0.030	0.130	0.650	0.005	0.010	0.015
Фосфаты, мг P/л	0.006	0.004	0.002	0.005	0.004	0.004

Показатели	Станции				
	Днебель-Аулия (верхний бьеф плотины)	Эль-Дузйи	Кості	Гейгар	Умм-Барбит
Кодок					

Второй рейс

Дата отбора пробы . . .	3 IV 64	17 IV 64	19 IV 64	22 IV 64	23 IV 64	25 IV 64
Глубина станции, м . . .	10.2	9.90	9.00	5.60	—	—
Температура воды, °С . . .	26.4	28.6	27.2	27.1	26.3	27.4
Прозрачность по белому диску, см	110	170	105	85	—	—
Скорость течения на вер- тикали, м/сек	0.16	0.18	0.31	0.40	—	—
pH	8.40	7.70	7.85	7.70	7.70	—
Двуокись углерода, мг СО ₂ /л	—	1.6	2.4	2.7	3.4	—
Растворенный кислород, мг О ₂ /л	8.90	6.04	6.56	6.52	5.48	4.26
Насыщение кислородом, %	110	78	83	82	68	54
Жесткость, мг-экв./л . . .	2.42	2.42	2.44	2.44	2.44	2.39
Окисляемость, перман- ганатная, мг О ₂ /л . . .	4.93	5.50	5.59	5.07	4.82	5.41
Нитраты, мг NO ₃ /л	0.010	0.015	0.015	0.110	0.150	0.150
Фосфаты, мг P/л	0.006	0.007	0.005	0.004	0.004	0.004

Показатели	Станции					
	Малакаль (у левого берега)	Малакаль (у правого берега)	р. Собат у хор. Фулюс	Атар	у озера Но	у озера Шамбе
Второй рейс						
Дата отбора пробы . . .	26 IV 64	26 IV 64	2 V 64	30 IV 64	9 V 64	21 V 64
Глубина станции, м . . .	8.60	4.50	7.40	4.90	7.70	9.70
Температура воды, °С . . .	28.2	28.3	25.5	29.5	29.6	28.8
Прозрачность по бело- му диску, см	75	70	30	110	85	110
Скорость течения на вер- тикали, м/сек	0.59	0.44	0.22	0.63	0.64	0.80
рН	7.40	7.35	7.15	7.35	7.17	7.00
Двуокись углерода, мг СО ₂ /л	7.9	7.0	3.6	9.8	9.9	12.4
Растворенный кислород, мг О ₂ /л	3.31	3.73	6.20	2.57	2.43	0.66
Насыщение кисло- рода, %	42	48	81	34	32	9
Жесткость, мг-экв./л . . .	2.39	2.24	1.15	2.42	1.83	1.36
Окисляемость перман- ганатая, мг О ₂ /л	5.39	5.06	3.94	5.39	6.21	4.94
Нитраты, мг NO ₃ /л	0.075	0.180	0.700	0.030	0.070	0.075
Фосфаты, мг P/л	0.010	0.004	0.004	0.008	0.004	0.004

* Примечание. Пробы воды на всех станциях отбирались с глубины 0.5 м. У Джебель-Аули 3 IV 1964 в воде присутствует СО₂' (4.1 мг СО₃/л). Содержание нитригов (NO₃) по всем станциям в обоих рейсах меньше чувствительности метода Грисса (< 0.001 мг NO₂/л).

дохранилище Джебель-Аулия, подпор от плотины которого распространяется до Ренка.

Первый участок характеризуется значительными скоростями течения воды (до 1.0 м/сек), незначительным содержанием растворенного кислорода (до 0.7 мг O_2 /л) и наименьшей жесткостью воды в верхней части (1.4—1.6 мг-экв/л).

На втором участке скорости течения снижаются до 0.4—0.5 м/сек., а содержание растворенного кислорода увеличивается до 5.0—6.5 мг O_2 /л в месте выклинивания подпора водохранилища (Гейгар—Ренк).

На третьем участке (водохранилищном) происходит дальнейшее уменьшение скорости течения до 0.16—0.18 м/сек., содержание кислорода повышается на всем протяжении водохранилища, особенно в приплотинной части (до 8.9 мг O_2 /л), вода имеет слабо щелочную реакцию (рН=8.35—8.40) и самую большую жесткость (1.8—2.4 мг-экв./л).

Река Собат, годовой сток которой составляет половину стока Белого Нила у Малакаля, оказывает существенное влияние на режим ниже расположенного участка реки. Она повышает содержание нитратов, улучшает газовый режим, понижает минерализацию и прозрачность воды.

Вода Белого Нила может быть охарактеризована как мягкая (1.5—3.0 мг-экв./л), причем в период дождей на участке выше оз. Но может считаться очень мягкой (меньше 1.5 мг-экв./л). Низкая минерализация воды является следствием слабого выщелачивания кристаллических пород, распространенных в верховьях Белого Нила, а ее увеличение в нижнем течении реки определяется огромными потерями воды на испарение и транспирацию растительностью, особенно с территории, занятой болотами (область Сэدد).

Активная реакция воды колебалась от 6.8 (устье Собата) до 8.4 (верхний бьеф плотины Джебель-Аулия), причем на большинстве станций ее величина не превышала 7.4. Это обусловлено значительным содержанием двуокиси углерода (до 12.0 мг CO_2 /л).

Высокое содержание двуокиси углерода, а также сравнительно низкие величины перманганатной окисляемости (3.8—6.2 мг O_2 /л) свидетельствуют об интенсивном процессе биохимического распада высших водных растений. С этим же связан значительный дефицит кислорода, особенно на участке реки выше зоны выклинивания подпора водохранилища, где при среднем значении растворенного кислорода около 3 мг O_2 /л, или 38% насыщения, его содержание в некоторых случаях снижалось до 0.7—1.8 мг O_2 /л (9—22%).

Минимальная величина растворенного кислорода найдена во втором рейсе у оз. Шамбе (0.66 мг O_2 /л) в период начала дождливого сезона. Обнаруженный парадокс обусловлен поступлением в Белый Нил дополнительного количества растительных остат-

ков и обедненных кислородом вод из-под растительных сплавин (папирусы) обширной области болот на участке Бор—оз. Но. Это поступление вызвано подъемом уровня воды, связанного с увеличением стока.

Из-за своеобразных климатических условий Судана, обеспечивающих круглогодичную вегетацию макрофитов, малый цикл биотического круговорота биогенных веществ интенсивен и не прерывен, поэтому содержание фосфора в воде Белого Нила среднее, а азота низкое.

Материалы по компонентам гидрохимического режима Белого Нила, приведенные нами, вполне согласуются с данными Х. М. Бишай (Bishai, 1962), полученными им при исследовании реки от Джубы до Хартума в декабре 1960 и январе 1961 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- А лекс и п О. А. 1954. Химический анализ вод суши (при стационарном изучении).
Х е р с т Г. 1954. Нил (общее описание реки и использование ее вод). М.
B i s h a i Н. М. 1962. The Water Characteristics of the Nile in the Sudan with a Note on the Effect of *Eichhornia crassipes* on the Hydrobiology on the Nile. *Hydrobiology*, XIX, 4.

Институт биологии внутренних вод АП СССР.

Ф. И. Безлер

К МЕТОДИКЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ, ГАЗОВОГО РЕЖИМА И ЦВЕТЕНИЯ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ

В связи с осуществлением программы гидростроительства актуальное значение приобрела задача прогнозирования качества воды водохранилищ для питьевого, бытового и промышленного использования. Прогнозирование солевого состава воды водохранилищ достигло большого совершенства (Кривенцов и др., 1964), чего нельзя сказать в отношении тех свойств воды, которые определяются биотическими факторами. Поэтому проектными организациями был поставлен вопрос о тематической разработке соответствующей методики прогноза. Предполагается, что прогнозы, составленные по такой методике, помогут изыскать способы регулирования качества воды применительно к нуждам на-

родного хозяйства путем использования природных факторов и инженерных мероприятий.

Главными недостатками воды водохранилищ, препятствующими ее использованию в целях питьевого и отчасти технического водоснабжения, помимо неблагоприятного ионного состава, считаются: 1) цветность, т. е. окрашенность продуктами распада растений; 2) цветение планктонными водорослями; 3) содержание патогенных микроорганизмов; 4) запах.

Величина цветности в общем определяется степенью заболоченности водосборной площади, а ее сезонные и многолетние изменения — последовательностью чередования разных по водности лет и уровенным режимом водохранилища (Аничкова, 1959, 1960; Фортунатов, 1959). Максимальное развитие планктонных водорослей обычно наблюдается в первые 3—4 года в связи с интенсивным поступлением органических и биогенных соединений из залитых почв. Благоприятные условия для развития синезеленых водорослей создаются в застойных участках водохранилищ при температуре не ниже 15°, оптимальные — при 20—25°. Развиваются синезеленые в верхнем слое воды до глубины 3—4 м. Благоприятные условия для развития диатомовых создаются в проточных участках водохранилищ в температурных пределах 0—20°. Развиваются они обычно во всей толще воды. В проточных водохранилищах с постоянным уровенным режимом и значительной площадью мелководий основным продуцентом органического вещества в водоеме постепенно становится развивающаяся высшая водная растительность. В водохранилищах, чаша которых не была подготовлена к заполнению водой, в течение первых лет интенсивно протекают процессы гниения древесины и травянистой растительности.

При большом объеме терригенных взвесей и большой проточности прозрачность воды падает до нескольких сантиметров, процессы цветения развиваются незначительно, первичная продукция ничтожна (Романенко, 1963). Согласно К. А. Гусевой (1966), абиотические частицы взвеси могут влиять на развитие планктона механически, повышая трение воды о клетку, и косвенным путем, снижая светопроницаемость воды.

Появление патогенных бактерий кишечной группы связано с фекальными загрязнениями, запахи — с процессами гниения, сульфатредукцией, содержанием железа свыше 1 мг/л, обильным цветением, поступлением сточных вод.

Развитие водных растений, цветение водорослями, цветность воды и другие явления тесно связаны с составом и количественным содержанием биогенных и органических соединений в водоеме, их круговоротом, режимом растворенных газов. Поступление органики и биогенов с водосборов, их накопление в водоеме, газовый режим водоема также в основном определяются режимом уровней (Аничкова, 1959, 1960).

По нашему мнению, методику прогноза качества воды можно разработать на основе материалов исследований и опыта эксплуатации водохранилищ, накопленных в СССР и за рубежом.

Ниже предлагается предварительная схема такой разработки, которая, возможно, частично позволит решить задачи по прогнозу качества воды, сформулированные О. А. Алекиным (1961).

ПОДГОТОВКА НЕОБХОДИМЫХ СВЕДЕНИЙ

I. Обобщение всех литературных и фондовых материалов по существующим водохранилищам СССР и зарубежных стран с учетом следующих их характеристик:

- 1) географическое положение;
- 2) типы залитых почв и угодий;
- 3) тип водохранилища (речной, озерный, смешанный и др.);
- 4) морфология и морфометрия водоема;
- 5) площадь водосбора;
- 6) подготовка ложа;
- 7) проточность;¹
- 8) режим уровня;
- 9) водность года (по объему половодья и по количеству атмосферных осадков);
- 10) среднемесячная температура воздуха;
- 11) сезонная динамика притоков (объем поступления по сезонам и за год при разной водности);
- 12) темпы заиления ложа речными наносами и за счет размыва берегов;
- 13) объем поступления сточных вод, их биохимическое потребление кислорода (БПК), коли-титр и др.;
- 14) трофическая характеристика (эвтрофное, дистрофное, олиготрофное и т. д.).

II. Сопоставление перечисленных характеристик со следующими биологическими и химическими процессами и показателями:

- 1) цветение в первые 3—4 года после заполнения и преобладающий состав фитопланктона;
- 2) численность и биомасса зоопланктона, зообентоса и бактерий;
- 3) режим растворенных газов (O_2 , CO_2 , H_2S);
- 4) температурный режим;
- 5) солевой состав и тип воды по соотношению ионов;
- 6) содержание общего и минерального азота и фосфора, общего количества органических веществ в периоды максимального развития (летом) и максимального отмирания фитопланктона и водной растительности (зимой);
- 7) цветность и прозрачность по сезонам;

¹ Недостаточно определенное понятие «водообменность» заменено более конкретным — «проточность».

Примерная схема содержания перфокарты

№№	До заполнения	После заполнения
1	Географическое положение.	—
2	Типы почв.	—
3	Растительный покров.	—
4	Климат.	—
5	Тип водохранилища.	—
6	Площадь водосбора.	—
7	Площадь водохранилища.	—
8	Отношение площади к объему.	—
9	Подготовка ложа.	—
10	Проточность.	—
11	Режим уровней.	—
12	Объем поступления воды притоков по сезонам и годам разной водности.	Объем воды водохранилища в разные по водности годы.
13	Химизм воды притоков: а) минеральный, газовый и органический состав; б) цветность, прозрачность, температура; в) сток растворенных веществ.	Химизм воды водохранилища и притоков в зоне подпора: а) минеральный, газовый и органический состав; б) цветность, прозрачность, температура. —
14	Твердый сток.	Темпы заиливания ложа.
15	Очаги, объем поступления и степень загрязненности сточных вод.	Санитарное состояние водоема.
16	Биологические показатели. — — г) первичная продукция и деструкция органического вещества. —	Биологические показатели: а) интенсивность цветения, преобладающие виды фитопланктона; б) развитие водных макрофитов, преобладающие виды; в) развитие зоопланктона и зообентоса; г) первичная продукция и деструкция органического вещества; д) трофическая характеристика водохранилища, в том числе по общему числу бактерий.

8) солевой состав, газовый режим, общее содержание азота, фосфора и их минеральные формы, общее содержание органических веществ в воде главных притоков водохранилища (до и после регулирования их стока плотинами);

9) санитарное состояние водохранилища;

10) первичная продукция и деструкция органического вещества в водохранилище и в притоках (до и после регулирования).

Сведения должны по возможности характеризовать летний и зимний периоды.

Необходимо подчеркнуть, что невозможно заранее оценить значимость того или иного показателя. Она может оказаться различной в зависимости от обстоятельств. Так, например; отношение площади к объему водохранилища может быть хорошим показателем при сравнении резко различающихся по глубине, но сходных по площади водоемов и, наоборот, быть второстепенным показателем при сравнении водоемов, различающихся только по площади. Очевидно, значимость показателя может выявиться лишь в процессе изучения конкретных материалов. По этой же причине предлагаемый набор показателей может быть подвергнут в зависимости от обстоятельств тем или иным изменениям и уточнениям.

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Наиболее простым и удобным представляется следующий способ обработки материалов. Все сведения по пунктам наносят на перфокарты. Примерная форма перфокарты показана в таблице. Левая половина карты должна содержать данные, характеризующие район будущего водохранилища до заполнения, правая — данные, относящиеся к периоду эксплуатации водохранилища. Основные географические, морфометрические и гидрологические показатели (всего 16) помечают порядковыми номерами.

После заполнения перфокарт их ставят в картотеку. Из всей пачки выбирают те карты, которые подходят к условиям, отвечающим проектному заданию по первому пункту — географическое положение, и группируют их в отдельную пачку. Из этой пачки выбирают карточки, отвечающие второму показателю — типу почв, предназначенных к заливанию, и также группируют их в отдельную пачку, и т. д. Пачка, сгруппированная по последнему показателю, позволит, очевидно, характеризовать те изменения, которые произойдут в водохранилище с показателями, аналогичными проектируемому.

ЛИТЕРАТУРА

- А лекс и н О. А. 1961. Состояние и задачи прогнозирования качества воды. Гидрохимические материалы, XXXII, М.
- А н и ч к о в а Н. И. 1959. Некоторые черты гидрохимического режима северной части Рыбинского водохранилища. Тр. Дарвинск. зап.-ведн., V, Вологда.
- А н и ч к о в а Н. И. 1960. Некоторые черты гидрологического и гидрохимического режима северной части Рыбинского водохранилища, имеющие значение в жизни рыб. Тр. Дарвинск. заповедн., VI, Вологда.
- Г у с е в а К. А. 1966. Мутность и цветность воды Рыбинского водохранилища как химические факторы в развитии водорослей. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 11 (14).
- К р и в е н ц о в М. И., П е т р е н к о М. В., Х о м е н к о А. Н. 1964. Сравнение точности основных методов прогноза солености водохранилищ. Гидрохимические материалы, XXXVII, Л.

- Романенко В. И. 1963. Общая микробиологическая характеристика Ташкепринского и Сарыязынского водохранилищ. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 6 (9).
- Фортунатов М. А. 1959. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатель его режима. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, 2 (5).

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

К. К. Эдельштейн

ОПЫТ КОМПЛЕКСНОЙ СЪЕМКИ ВОДНЫХ МАСС В ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Одновременно с гидрологическими исследованиями фронтальной зоны водных масс, в Моложском плесе Рыбинского водохранилища весной 1966 г. были предприняты две комплексные съемки. Целью этих съемок была попытка установить, насколько существенны различия водных масс водоема по составу, численности и биомассе планктона и ответить на вопрос, имеется ли возможность использования биологических показателей для выделения генетически разнородных вод. Кроме того, мы стремились получить представление об интенсивности ряда биологических и биохимических процессов (фотосинтез, деструкция органического вещества, гетеротрофная ассимиляция углекислоты), протекающих как в самих водных массах, так и в зоне их смешения.

В качестве опытного полигона для отработки методики съемок был выбран участок открытой части Моложского плеса водохранилища площадью около 250 км³ (Ершова, 1968, рисунок), в котором наиболее ярко выражен гидрологический фронт между водами половодья р. Мологи и зимней водной массой водохранилища. Первая съемка была выполнена утром 4 мая, спустя неделю после очищения исследуемого района ото льда. В этот период медленное наполнение водохранилища еще продолжалось, хотя уровень его уже достиг нормального подпорного горизонта; стоковые и ветровые течения были очень слабыми и не регистрировались гидрометрическими приборами. Во время съемки судно следовало от пункта 1 к пункту 19 последовательно по четырем параллельным разрезам, пересекавшим фронтальную зону водных масс. Пробы отбирались на полном ходу судна ведрами и батометром с кормы, в струе из-под винта, где воды поверхностного четырехметрового слоя хорошо перемешаны. В пробах, отобранных через каждый километр, измерялись температура и удельная электропроводность воды термокаппаметром, а также ее цветность; через

2 км в пробах из батометра определялось содержание растворенного в воде кислорода. В каждой из 19 точек полигона, удаленных друг от друга на 4 км, кроме перечисленных определений, отбирались пробы на полный анализ воды. Последний заключался в определении перманганатной и бихроматной окисляемости, содержания важнейших биогенных элементов (Fe, N (NO_3), P и Si), деструкции органического вещества, фотосинтеза и гетеротрофной ассимиляции углекислоты с помощью радиоактивного углерода. В этих же точках отбирались пробы на зоопланктон объемом 100 л воды, фильтровавшейся через планктонную сетку, и литровые пробы для учета состава и количества фитопланктона. Съемка водных масс полигона продолжалась всего 3.5 часа, что позволяет считать собранные материалы практически синхронными. Повторная съемка была выполнена по аналогичной программе вечером 5 мая, через 30 час. после первой. Такое дублирование дало нам возможность составить представление о репрезентативности физических, химических и особенно биологических показателей водных масс.

По окончании обработки собранных материалов были составлены карты распределения в поверхностном слое полигона всех перечисленных выше характеристик. В результате анализа их пространственного распределения и статистической обработки (Ершова, 1968) установлено, что в пределах исследованного района в момент съемок находились две крупные водные массы — весенние речные воды Мологи и зимние воды собственно водохранилища. В каждой из этих масс достаточно четко выделялись две разновидности, или модификации. Правая пойма и старое русло Мологи от Первомайских островов до устья Сити были заполнены наиболее теплыми водами с низкой минерализацией. Они составляли основной объем половодья этой реки и продолжали поступать в открытую часть Моложского плеса из его речного участка. Над левобережной поймой находились воды начальной фазы моложского половодья, узкой полосой пересекавшие полигон с севера на юг. Вся центральная часть полигона была заполнена почти не трансформированными зимними водами водохранилища с высокой минерализацией и низкой температурой. На мелководьях Молого-Шекснинского междуречья зимние воды были хорошо прогреты и сильно разбавлены талыми водами с торфяных массивов. На границе этих двух модификаций зимней водной массы наблюдались весьма высокие значения горизонтальных градиентов большинства определявшихся нами показателей.

Значения гидрологических и биологических показателей, характерные для наименее измененных процессом смешения участков перечисленных модификаций водных масс, приведены в таблице. Из приведенных данных видно, что водные массы существенно различались не только по температуре и минерализации, но и по содержанию растворенного органического вещества. И цветность,

Биогидрологические характеристики водных масс Моложского плеса
Рыбического водохранилища весной 1966 г.

Показатели	Съемка 4 мая				Съемка 5 мая			
	весенняя моложская водная масса		зимняя водная масса водохранилища		весенняя моложская водная масса		зимняя водная масса водохранилища	
	теплая	холодная	не трансформированная	трансформированная	теплая	холодная	не трансформированная	трансформированная
Температура, °С	6.2	4.4	3.0	5.7	7.4	5.4	3.6	5.8
Удельная электропроводность, мксм./см	81	98	222	185	78	88	234	190
Цветность, град.	100	90	75	70	100	95	75	75
Окисляемость, мг O ₂ /л:								
перманганатная	17.6	15.3	11.3	13.2	17.8	16.7	11.1	12.7
бихроматная	26.0	23.6	17.4	18.6	27.8	23.6	18.6	19.1
Кислород, мг/л	10.6	11.6	9.6	11.9	10.3	11.1	9.7	11.4
Насыщение кислородом, %	84	88	70	94	84	87	72	90
Фотосинтез, мкг C/л · сутки (фитопланктон:	13.0	6.4	21.8	86.1	13.0	10.3	22.8	57.6
число видов	20	7	15	27	23	13	15	32
тыс. клеток в 1 л	238	82	1970	2000	313	272	658	2152
Биомасса, мг/м ³	0.194	0.153	0.292	1.686	0.210	0.302	0.252	1.322
Зоопланктон, экз./м ³	645	265	1245	4570	720	1685	1410	3905
Общая биомасса, мг/м ³	5.0	1.7	20.7	13.3	6.2	19.4	6.5	12.2
Биомасса без крупных веслоногих, мг/м ³	2.0	0.8	2.1	7.6	2.4	5.2	3.4	8.0

и окисляемость моложских вод были в среднем на 25% выше, чем те же характеристики зимних вод водохранилища. Заметные различия, устойчиво сохранявшиеся от съемки к съемке, имели водные массы и по содержанию кислорода. По-видимому, в ранневесенний период различия водных масс по концентрации кислорода связаны в основном с происхождением вод и почти не зависят от фотосинтеза фитопланктона, интенсивность которого в это время крайне низкая. Так, в холодных моложских водах, характеризовавшихся наименьшими величинами фотосинтеза, содержание кислорода было относительно высоким, и наоборот, в нетрансформированных зимних водах, имевших минимальное содержание кислорода (по сравнению с другими массами), отмечались повышенные величины фотосинтеза. И только в прибрежных зимних водах относительно высокое содержание кислорода можно объяснить интенсивным развитием водорослей.

Характерные для отдельных модификаций водных масс величины фотосинтеза хорошо согласуются с результатами прямого счета фитопланктона (см. таблицу). При общей незначительной численности и биомассе водорослей, обычной для ранневесеннего периода, фитопланктон исследуемого района был весьма разнообразен по видовому составу, что, вероятно, можно объяснить наличием в полигоне вод различного происхождения. В собранных пробах более 80 видов представляли все основные группы водорослей, встречающиеся в водохранилище. Наиболее бедным по видовому составу и численности был фитопланктон вод начальной фазы моложского половодья. В этих водах совершенно отсутствовали синезеленые. Из диатомовых по численности здесь преобладала *Melosira italica*, в небольших количествах встречались *Amphyrprora ornata*, *Synedra ulna*, *Flagilaria capucina*. В планктоне теплых моложских вод также преобладали диатомовые *Melosira italica*, *M. distans* var. *alpigena*, *Navicula* sp.; в отличие от других водных масс в этих водах встречалась *Anabena lemmermannii*. Фитопланктон зимних вод водохранилища был богаче и разнообразнее. По численности здесь преобладали из синезеленых *Aphanothece clathrata*, *A. stagnina* и *Microcystis pulvereae*, совершенно не встречавшиеся в водах моложского происхождения; из диатомовых *Stephanodiscus hantzschii*; из других групп водорослей *Closterium* sp. и *Chlamydomonas* sp. В сильно трансформированных зимних водах, кроме перечисленных форм, в относительно больших количествах отмечено несколько видов *Melosira* (*M. italica*, *M. islandica*, *M. granulata* и *M. binderana*), *Asterionella formosa*, *Diatoma* sp. и не встречавшиеся в других модификациях вод желтозеленые водоросли *Tribonema* sp.

Собранный в съемках зоопланктон был крайне бедным как по составу, так и по биомассе, поэтому трудно судить о существенности различий водных масс по этому признаку. Следует отметить повышенную численность и биомассу зоопланктона в прибрежных

зимних водах, где в большом количестве были встречены коло-
вратки *Keratella quadrata* и *K. cochlearis* и ранние стадии копепо-
д; взрослые особи *Cyclopus strenuus* отсутствовали. В зимних нетранс-
формированных водах численность мелких форм зоопланктона
была заметно меньшей, но здесь были обнаружены *C. vicinus*
и *C. strenuus* в количестве нескольких сот экземпляров
на 1 м³ воды. В водах молоджского происхождения встречались
Mesocyclops leuckartii и *M. oithonoides*, ни разу не обнаруженные
нами в зимней водной массе водохранилища. Численность клado-
цер была невелика, и встречались они нерегулярно.

Сопоставляя материалы обеих съемок, можно отметить из-
вестное постоянство соотношения всех рассмотренных показателей
водных масс, сохраняющееся от съемки к съемке, что свидетель-
ствует о зависимости значений этих показателей от происхождения
вод. В общем незначительные изменения некоторых характе-
ристик, отмеченные во вторую съемку, были вызваны скорее всего
процессом смешения водных масс, поскольку наибольшей транс-
формации подвергся сравнительно небольшой объем холодных
моложских вод. Трансформация этих вод проявилась в повышении
температуры, понижении электропроводности, резком увеличении
количества планктона и интенсивности фотосинтеза.

Какой-либо закономерности в распределении биогенных эле-
ментов, величин деструкции и гетеротрофной ассимиляции угле-
кислоты, связанной с происхождением вод и положением зоны их
смешения, обнаружить не удалось.

Итак, в результате комплексных съемок небольшого района
водохранилища можно констатировать существование заметных
различий между водами различного происхождения не только по
их физическим и химическим свойствам, но и по ряду биологиче-
ских признаков. Но по материалам этих съемок все же трудно ре-
шить вопрос о репрезентативности того или иного биологического
показателя, для этого необходимы дальнейшие комплексные ис-
следования водных масс водохранилищ.

В заключение считаю приятным долгом выразить глубокую
признательность коллегам-биологам В. И. Романенко, Л. М. Семе-
новой и Г. В. Кузьмину, участвовавшим в съемках и обработав-
шим биологические материалы, а также В. Ф. Рощупко и А. Г. Ба-
кулиной, выполнившим химические анализы воды.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Ершова М. Г. О применении статистических методов к выделению
водных масс в водохранилищах. Настоящий сборник.

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

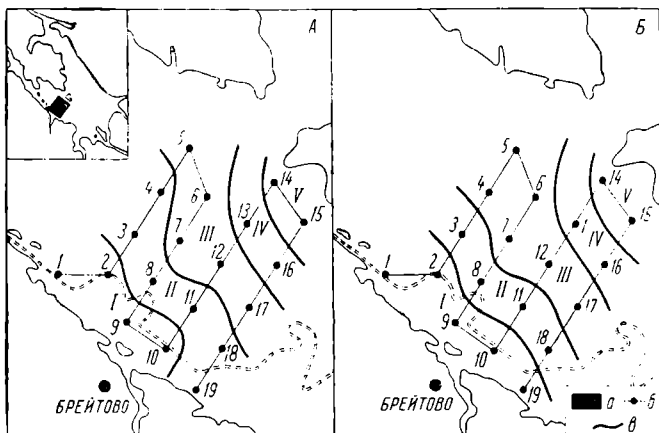
О ПРИМЕНЕНИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К ВЫДЕЛЕНИЮ ВОДНЫХ МАСС В ВОДОХРАНИЛИЩАХ

При изучении распределения, перемещения и трансформации вод в водохранилищах существенно важным является выбор принципа разделения водных масс. В настоящее время для проведения границ между водными массами водохранилищ применяются два метода, заимствованные из океанологии. В основе одного из них лежит изучение пространственного распределения величин одного наиболее репрезентативного показателя. По этому методу граница между водными массами отождествляется с линией максимальных градиентов данного показателя. Второй метод дает возможность использовать одновременно два показателя. Он основан на построении кривых, типа TS, и диаграмм смешения. Разграничение водных масс при этом методе производится по линиям 50% или любого другого выбранного процента их смешения. При использовании первого метода весьма вероятны случаи, когда линии максимальных градиентов нескольких достаточно репрезентативных показателей пространственно не совпадают. Это может наблюдаться в тех водоемах, где соприкасается несколько водных масс, имеющих разное происхождение, но обладающих близкими значениями характеристик некоторых свойств. Разделение водных масс в таких районах по кривым типа TS также затруднено из-за большого разброса точек, связанного главным образом с неодинаковой репрезентативностью показателей, что приводит к неопределенности в проведении границ. В таких случаях для выделения водных масс целесообразно использовать несколько показателей. В настоящей статье делается попытка с помощью статистических методов определить положение границ между водными массами водохранилища одновременно по пяти показателям: удельной электропроводности воды, оптическому показателю в относительных единицах оптической плотности, температуре воды, фотосинтезу и содержанию кислорода.

Все эти показатели были измерены в пробах воды, отобранных в 19 точках открытой части Моложского плеса Рыбинского водохранилища (см. рисунок). Съемка производилась дважды, 4 и 5 мая 1966 г., и продолжалась не более 3.5 час., поэтому наблюдения за каждый день можно считать синхронными.

Каждый из выбранных нами показателей характеризует определенное свойство водных масс, а по сочетанию численных значений показателей, измеренных в любой точке, можно судить о принадлежности этой точки к той или иной водной массе. Однако количественная оценка всевозможных сочетаний характеристик в каждой точке затруднена, так как все показатели имеют различ-

ные единицы измерения. Для выражения численного значения показателей в одной системе единиц был применен способ стандартизации признаков, заимствованный у Сокала и Снитта (Sokal and Sneath, 1963). Этот прием используется в настоящее время в различных областях науки при выяснении степени сходства или различия между объектами по величинам их характеристик. Все численные значения каждого признака, в данном случае показатели, рассматривались нами в виде статистического ряда неза-



Положение границ водных масс, рассчитанное статистическими методами.

А — съемка 4 мая 1966 г.; Б — съемка 5 мая 1966 г. а — район наблюдений; б — точки отбора проб воды и маршрут судна; в — границы между водными массами и их модификациями.

висимых переменных и каждое численное значение преобразовывалось по формуле

$$\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma},$$

где x_i — численное значение показателя, \bar{x} — среднее ряда и σ — среднее квадратическое отклонение ряда. Таким образом были получены стандартизованные показатели для двух съемок.

Учитывая, что разные показатели обладают различной репрезентативностью, мы умножили все стандартизованные величины на коэффициент, зависящий от точности измерения показателя и изменчивости ряда. Этот коэффициент показывает, какую долю в изменчивости показателя составляет ошибка, с которой данный показатель определялся во время съемки. Формула для выражения этого коэффициента репрезентативности, как мы его назвали, имеет вид

$$K_p = 1 - \frac{T}{C_p},$$

где T — удвоенная ошибка определения показателя, выраженная в долях от среднего (\bar{x}). а C_p — коэффициент вариации ряда. Анализ этой формулы приводит к следующему выводу: если коэффициент вариации ряда связан в основном с точностью определения показателя ($T \rightarrow C_p$), то репрезентативность этого показателя очень мала ($K_p \rightarrow 0$) и его удельный вес при сравнении характеристик, определенных в различных точках водоема, незначителен. Из используемых нами показателей наиболее репрезентативным является электропроводность воды ($K_p=0.89$), коэффициент репрезентативности температуры воды равен 0.84, содержание кислорода — 0.75, величин фотосинтеза — 0.71, и самой малой репрезентативностью обладает оптический показатель ($K_p=0.67$).

Итак, каждое значение величин электропроводности, оптического показателя, содержания кислорода, температуры воды и фотосинтеза, измеренных во время обеих съемок, было преобразовано по формуле

$$\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \left(1 - \frac{T}{C}\right).$$

Эти предварительные вычисления дали возможность применить для разграничения водных масс принцип группировки точек в зависимости от степени их различия по всему комплексу показателей. Степень различия вод каждой пары точек наблюдений характеризуется величиной

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (t_1 - t_2)^2 + (O_{2_1} - O_{2_2})^2 + (E_1 - E_2)^2 + (\Phi_1 - \Phi_2)^2},$$

где x_1 и x_2 , t_1 и t_2 , O_{2_1} и O_{2_2} , E_1 и E_2 , Φ_1 и Φ_2 — соответственно стандартизированные величины электропроводности, температуры, содержания кислорода, оптического показателя и интенсивности фотосинтеза в двух сравниваемых точках водоема. Полученные таким образом коэффициенты различия (d) в количестве 171 для каждой съемки изменялись в пределах от 0.15 до 1.95 4 мая и от 0.07 до 1.94 5 мая. Самые малые значения d характеризовали наибольшее сходство между точками, большие значения d свидетельствовали о том, что сравниваемые точки наиболее далеки друг от друга по комплексу показателей. Полученные величины d дали представление о степени различия между точками на изучаемой акватории. Далее эти величины использовались для группировки точек, которая производилась следующим образом. Сначала для удобства дальнейшей обработки для обеих съемок составлялись таблицы, в которых коэффициенты различия каждой точки со всеми другими точками выписывались в порядке возрастания. После этого, исходя из данных полученных таблиц, объединялись точки, коэффициент различия между которыми был меньше, чем между ними и окружающими их точками, не вошедшими в эту группу. Затем производилось сравнение каждой из

выделенных групп со всеми соседними. Для этого рассчитывались средние коэффициенты различия каждой точки данной группы со всеми точками соседней группы (\bar{d}), затем находились средние значения из \bar{d} . Объединялись вместе те группы, между которыми эти значения были наименьшими. Например, средняя величина различия групп 1, 2, 9 и 10, 19 равна 0.28, а групп 1, 2, 9 и 3, 8, 11 — 0.57. В свою очередь средняя величина различия групп 10, 19 и 1, 2, 9 (0.28) меньше, чем групп 10, 19 и 3, 8, 11 (0.38) и группы 10, 19 и точки 18 (0.67). Следовательно, на этой стадии группировки точки 1, 2, 9 и 10, 19 объединились в одну группу. По съемке 4 мая на третьей стадии группировки было выделено 5 групп, по съемке 5 мая аналогичные 5 групп выделились уже на второй стадии группировки (см. рисунок). Если продолжать группировку, то на следующей стадии и по съемке 4 мая, и по съемке 5 мая остаются 3 группы (*I* объединяется со *II*, а *III* с *IV*).

Различия между группами точек, выделенными с помощью статистических методов, представлены в таблице.

Средние величины показателей групп

Показатель	<i>I</i>		<i>II</i>		<i>III</i>		<i>IV</i>		<i>V</i>	
	4 мая	5 мая	4 мая	5 мая	4 мая	5 мая	4 мая	5 мая	4 мая	5 мая
Электропроводность мксим./см	82	81	110	93	188	169	222	234	185	189
Температура, °С	6.0	6.8	4.4	5.1	3.6	4.0	3.0	3.6	5.7	5.8
Оптический показатель	0.44	0.46	0.38	0.42	0.28	0.32	0.25	0.27	0.28	0.28
Содержание кислорода, % насыщения . . .	86	86	88	87	79	82	70	72	94	90
Интенсивность фотосинтеза, мкг С/л · сутки	12.9	11.5	8.0	9.4	14.2	10.7	21.8	22.8	86.1	57.9

Сопоставление данных таблицы с существующими представлениями о величинах характеристик водных масс Рыбинского водохранилища в весенний период (Буторин, 1965) дает возможность сделать следующие выводы. *I* и *II* группы представляют собой две модификации весенней речной водной массы: теплую (*I*) и холодную (*II*). Граница между ними совпадает с повышенным градиентом температуры воды. *III* и *IV* группы — в разной степени трансформированные зимние воды водохранилища. Граница между весенней и зимней водными массами совпадает с максимальными градиентами электропроводности воды и содержания кислорода. Граница между *IV* и *V* группами совпадает с максимальным градиентом величин фотосинтеза и повышенными градиентами темпе-

ратуры воды и содержания кислорода. По происхождению эта группа представляет собой зимнюю водную массу водохранилища, значительно трансформированную талыми водами восточного побережья Моложского плеса. Таким образом, группы вод, выделенные с помощью статистических методов, представляют собой объективно существующие в водохранилище в весенний период водные массы: зимнюю водохранилища, весеннюю речную и их модификации.

Положительной стороной описанного метода является возможность применения для выделения водных масс любого количества показателей. Необходимо отметить, что при увеличении количества точек измерений или числа показателей ручная обработка становится затруднительной. Однако, поскольку изложенный метод выделения водных масс основан на применении статистики, имеется полная возможность его программирования и производства всей обработки на электронной машине.

В заключение приношу благодарность за научную консультацию доктору биологических наук Б. А. Вайнштейну.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Буторин Н. В. 1965. К изучению водных масс Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 7 (10).
Sokal R. R. and Sneath. 1963. Principles of Numerical taxonomy. London.

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

Н. В. Буторин, Т. Н. Курдина

ОПЫТ КОЛИЧЕСТВЕННОГО УЧЕТА ВОДНЫХ МАСС В РЫБИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

В настоящее время установлено, что воды различного происхождения заполняют определенные районы водохранилищ, в которых они продолжительное время сохраняют свои свойства (Буторин, 1965; Зенин, 1965; Эдельштейн, 1965, и др.). В Рыбинском водохранилище распределение водных масс по сезонам года в общих чертах сводится к следующему. Весной районы водохранилища, прилегающие к речным плесам Волги, Мологи и Шексны, заполнены водными массами рек этих бассейнов, а центр его — водной массой водохранилища. В летне-осенний период акватория речных водных масс постепенно уменьшается, и осенью они прослеживаются лишь в местах выхода в озеровидную часть водоема.

Зимой волжская, моложская и шекснинская воды постепенно заполняют прилегающие участки водохранилища, вытесняя из них водную массу центральной части, и к концу зимы занимают обширные пространства водоема (Буторин, 1965).

Поскольку речные воды формируются на водосборе бассейна, количество их в водохранилище связано прежде всего с режимом стока. Именно объем стока в годовом цикле в совокупности с искусственным регулированием запаса воды в водохранилище определяет в нем соотношение объемов водных масс различного происхождения. Поэтому определения объемов водных масс были проведены по материалам синхронных съемок Рыбинского водохранилища за три года с различным водным режимом (1960/61—1962/63 гг). Объем годового стока за 1960—61 г. был близок к минимальному, за 1962/63 г. — к максимальному, а за 1961/62 г. — к среднему многолетнему. Для каждой съемки были установлены границы водных масс по плоскости 50% смещения различных вод. В большинстве случаев эта плоскость находится в зоне максимальных градиентов основных показателей водной массы, которыми в данном случае принимались электропроводность, цветность и иногда температура. Характеристики вод определялись на двух или трех горизонтах, и поскольку распределение их по вертикали в большинстве случаев было относительно однородным, при первом ориентировочном определении площадей и объемов водных масс фронтальная плоскость условно принята вертикальной от ее положения в поверхностном слое воды.

Установив границы водных масс, мы получили возможность определить их площадь и вычислить объем. Площади речных водных масс определялись планиметрированием карты масштаба 1 : 100 000; так же определены и площади между отдельными изобатами. Объем водной массы принят равным сумме частных объемов воды между изобатами в пределах поверхностной границы водной массы.

Площадь водной массы центральной части водохранилища определена как разность площади всего водоема при уровне данной съемки и суммарной площади речных водных масс. Объем ее также представляет собой разность объема водохранилища в целом и суммарного объема речных водных масс. Результаты вычислений представлены в таблице. Для удобства сравнения полученных данных и оценки роли отдельных водных масс в режиме водоема площадь и объем водных масс даны в процентах от общей площади или объема водохранилища в день съемки; их абсолютные значения легко могут быть вычислены по характеристикам водохранилища, приведенным в таблице.

Данные таблицы показывают, что определения площади и объема водных масс водохранилища выполнены для большой амплитуды уровня от -3.9 до $+0.1$ м от нормального подпорного горизонта. Площадь водоема менялась при этом почти на 2000 км^2 ,

Площадь и объем водных масс Рыбинского водохранилища, %

Дата съёмки	Характеристика водохранилища на день съёмки			Волжская водная масса		Моложская водная масса		Шекснинская водная масса		Водная масса водохранилища	
	Уровень от НПП, м	площадь, км ²	объем, км ³	площадь	объем	площадь	объем	площадь	объем	площадь	объем
1960:											
9 V	—1.83	3762	18.68	12	10	15	14	16	11	57	65
3 VI	—1.50	3910	19.94	15	11	17	17	25	18	43	54
28 VII	—2.15	3618	17.45	7	7	4	3	12	9	77	81
4 X	—2.35	3528	16.76	4	4	4	3	13	9	79	84
27 X	—2.53	3447	16.15	5	4	4	3	15	11	76	82
1961:											
14—24 II	—2.35	3528	16.76	10	10	16	15	12	8	62	67
17—24 III	—2.55	3438	16.08	10	10	16	14	15	11	59	65
12 V	—0.13	4583	25.71	14	14	15	12	17	11	54	63
8 VI	+0.11	4715	26.87	15	18	15	13	21	16	49	53
3 VIII	—0.20	4545	25.38	4	3	4	3	6	4	86	90
10 X	—0.72	4285	23.14	4	4	4	3	12	7	80	86
13—15 XI	—1.17	4060	21.21	3	4	5	3	—	—	—	—
25—28 XII	—1.95	3708	18.22	8	9	5	3	—	—	—	—
1962:											
30 I—7 II	—2.72	3361	15.51	9	10	6	5	—	—	—	—
29 III—6 IV	—3.92	2824	11.79	16	16	9	8	—	—	—	—
12 V	—0.19	4550	25.42	15	16	15	13	29	24	41	47
6 VIII	—0.15	4572	25.61	12	11	10	6	13	10	65	73
4 XI	—0.69	4300	23.27	8	4	6	4	16	10	70	82
1963:											
30 I—6 II	—3.00	3370	15.58	15	14	7	5	14	9	64	72
18—20 IV	—3.57	2980	12.81	20	29	6	4	—	—	—	—
14 VI	—1.50	3910	19.94	12	12	17	17	23	19	48	52

а объем — более чем вдвое. Несмотря на различный режим водоема и разную водность рассматриваемых лет, в изменении суммарного и частных объемов речных водных масс наблюдается определенная закономерность, связанная в основном с сезонным циклом их формирования.

Наибольший объем речные водные массы имеют в конце весны. В это время они занимают около половины объема водохранилища и до 60% его акватории. Летом и осенью объем речных водных масс меняется от 10 до 25%, а зимой увеличивается примерно до одной трети объема водоема или немного более.

Соотношение объемов речных водных масс в общих чертах аналогично соотношению притоков с соответствующих участков бассейна. Это видно на примере формирования речных водных масс весной 1961 и 1962 гг. Приток речных вод на день съемки в эти годы выражался следующими цифрами (в/км³):

	Волжский бассейн	Молож- ский бассейн	Шекснин- ский бассейн
12 V 1961	4.8	3.3	3.4
12 V 1962	6.1	4.7	6.0
Изменение притока	+1.3	+1.4	+2.6

С увеличением притока весной 1962 г. увеличился и объем речных водных масс в водохранилище. Если сопоставить их объем в процентах от общего объема водохранилища в эти же сроки, то получим следующую картину:

	Волжская водная масса	Молож- ская водная масса	Шекснин- ская водная масса
12 V 1961	14	12	11
12 V 1962	16	13	24
Изменение объема	+2	+1	+13

Таким образом, в эти годы с увеличением притока увеличивался и объем речных водных масс в водохранилище, причем наблюдалось некоторое соответствие увеличения объема водных масс объему стока.

Казалось бы, имея данные по стоку и уровню водохранилища, можно сравнительно легко определить соотношение различных водных масс в водоеме на любое число без проведения весьма трудоемких синхронных съемок. Однако искусственное регулирование объема водохранилища не позволяет сделать этого, так как оно нарушает естественное соотношение величины притока и объемов соответствующих речных водных масс, что особенно ясно прослеживается в период наполнения водохранилища и во время его сработки. Так, в мае 1960 г. при совпадении пика половодья в бассейне Волги с высокими расходами Рыбинской ГЭС волжские воды в значительной мере были сброшены в нижний бьеф водохранилища и объем волжской водной массы, несмотря на наибольший приток, оказался наименьшим (см. таблицу). Весной 1961 г. аналогичное несоответствие между объемом притока и водной массой отмечено для шекснинского бассейна.

Еще более яркий пример влияния искусственного регулирования объема водохранилища на объем речных водных масс дает зима 1960/61 г. В этом сезоне волжский бассейн дал 70, а молодежский только 20% общего притока в водохранилище. Хотя основ-

ная часть волжских вод поступила в водоем в декабре и январе, по данным съемки от 14—24 февраля объем волжской водной массы составлял лишь 10% общего объема водохранилища, а объем моложской водной массы равнялся 15%.

В данном случае причиной несоответствия объема притока волжских вод с объемом сформированной этими водами водной массы явились повышенные сбросы Угличской и Рыбинской ГЭС в декабре и январе при низком уровне водохранилища. Большая часть волжских вод при этих условиях прошла через Рыбинское водохранилище транзитом и была сброшена в нижний бьеф, тогда как моложские воды, подпертые мощным волжским потоком и водами центральной части, практически полностью аккумуляровались в водоеме. В результате 5.1 км³ волжских вод, поступивших в водоем к середине февраля, дали водную массу объемом 1.7 км³, а 1.6 км³ моложских вод сформировали водную массу большего объема — 2.4 км³.

Отсюда следует, что рассчитать процентное соотношение водных масс различного происхождения в водоемах с искусственным регулированием объема без фактических данных о распределении водных масс весьма трудно. Как показал данный опыт, это возможно лишь при наличии материалов синхронных съемок, позволяющих установить пространственное расположение водных масс в водохранилище.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Буторин Н. В. 1965. К изучению водных масс Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 7 (10).
Зенин А. А. 1965. Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. Л.
Эдельштейн К. К. 1965. Водные массы озерной части Горьковского водохранилища. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 7 (10).
Институт биологии внутренних вод АН СССР.

Н. В. Буторин, Н. П. Смирнов

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОДНЫХ МАСС РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В океанологии наиболее надежным методом выделения водных масс считают метод, основанный на комплексном анализе их физико-химических и биологических свойств. Однако в настоящее время не существует единых признаков, которые позволили бы непосредственно характеризовать отдельные водные массы. Обычно

для этих целей на практике приходится пользоваться одним-двумя наиболее репрезентативными, по мнению исследователя, показателями, а остальные привлекать как дополнительные.

Одной из первых попыток использования комплекса различных показателей для выделения водных масс в мелководном водоеме является работа М. Г. Ершовой (1968). Она использовала для этих целей метод численной стандартизации признаков (Sokal a. Sneath, 1963).

Развивая применение данного метода, мы поставили перед собой задачу на примере Рыбинского водохранилища получить коэффициенты различия d между каждой станцией на водоеме со всеми другими по шести показателям (температура, электропроводность, жесткость, цветность, содержание гидрокарбонатов и кальция) для поверхностного и придонного горизонтов по всем синхронным съемкам за 1960—1964 гг. Решение такой задачи при большом числе станций и многократной повторности их требует огромной вычислительной работы, которая может быть выполнена только при условии использования электронно-счетной вычислительной машины.

С этой целью на основе метода численной стандартизации признаков была составлена программа для электронно-счетной вычислительной машины БЭСМ-2м, на которой и выполнены соответствующие расчеты.¹ В машину засылалась информация о длине ряда (количестве станций), числе используемых показателей, удвоенные точности их определения и ряды значений самих показателей. Машина выдавала на печать значения коэффициентов d — различия между водной массой на каждой станции со всеми окружающими по всему комплексу взятых показателей, среднее значение каждой характеристики по всему водоему, стандартное отклонение, коэффициент вариации и стандартизованные значения характеристик.

Поскольку основным критерием для выделения водных масс этим методом служит величина «различия» d между отдельными точками, то предварительно необходимо определить критерий значимости для d , т. е. определить величину «различия» признаков, достаточную для отнесения водных масс в двух точках к разным совокупностям.

Примем значимой разность значений того или иного признака между двумя точками n и m в том случае, если она равна или превосходит стандартное отклонение всей совокупности точек в 1.2 раза (вероятность отклонения большего 1.2σ составляет 0.25). Следовательно,

$$x_n - x_m = 1.2\sigma,$$

¹ Программа составлена П. С. Гасюковым, которому авторы выражают свою благодарность.

тогда

$$\frac{x_n - \bar{x}}{\sigma} K_p - \frac{x_m - \bar{x}}{\sigma} K_p = \frac{1.2\sigma}{\sigma} K_p,$$

но

$$\frac{x_n - \bar{x}}{\sigma} K_p = S_n, \text{ а } \frac{x_m - \bar{x}}{\sigma} K_p = S_m,$$

где S_n — стандартизованное значение показателя. В этом случае $S_n - S_m = 1,2 K_p$, а

$$d_{\text{ан}} = \sqrt{(S_n - S_m)^2 + \dots} = \sqrt{(1.2K_p)^2 + \dots} = 1.2 \sqrt{\sum_{i=1}^N K_p^2}.$$

В качестве примера использования ЭВМ БЭСМ-2м для выделения водных масс Рыбинского водохранилища указанным методом рассмотрим результаты анализа синхронной съемки, выполненной 9 мая 1960 г. на горизонте 0.5 м. Съемка включала 45 станций, расположенных относительно равномерно по всей акватории водохранилища (см. рисунок). В расчет вводились значения шести показателей, перечисленных выше (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Средние значения, стандартные отклонения, коэффициенты вариации и репрезентативности показателей состояния водных масс

	Темпера- тура	Электро- проводность	Гидрокар- бонаты	Жесткость	Кальций	Цветность
Среднее зна- чение . . .	5.61°	157 · 10 ⁻⁶ ом ⁻¹ · см ⁻¹	1.39 мг-экв./л	1.65 мг-экв./л	1.22 мг-экв./л	38 град.
σ	2.44°	57 · 10 ⁻⁶	0.52	0.56	0.41	14
C_p	0.43	0.36	0.38	0.34	0.33	0.37
K_p	0.95	0.83	0.95	0.94	0.94	0.35

Критерий значимости для коэффициента d по этим данным оказался равным 2.4. Следовательно, можно предполагать с достаточной степенью вероятности (в нашем случае вероятность случайного появления $d=2.4$ составляет 0.03), что при различии d по комплексу показателей, равному и большему 2.4, рассматриваемые станции принадлежат к двум различным совокупностям или к двум различным водным массам.

Поскольку в предыдущих работах (Буторин 1965, 1966) было установлено, что районы выхода основных речных потоков в водохранилище заполнены водными массами соответствующих рек, станции 1 в волжском, 36 в моложском и 23 в шекснинском потоках приняты как исходные, характеризующие соответствующие

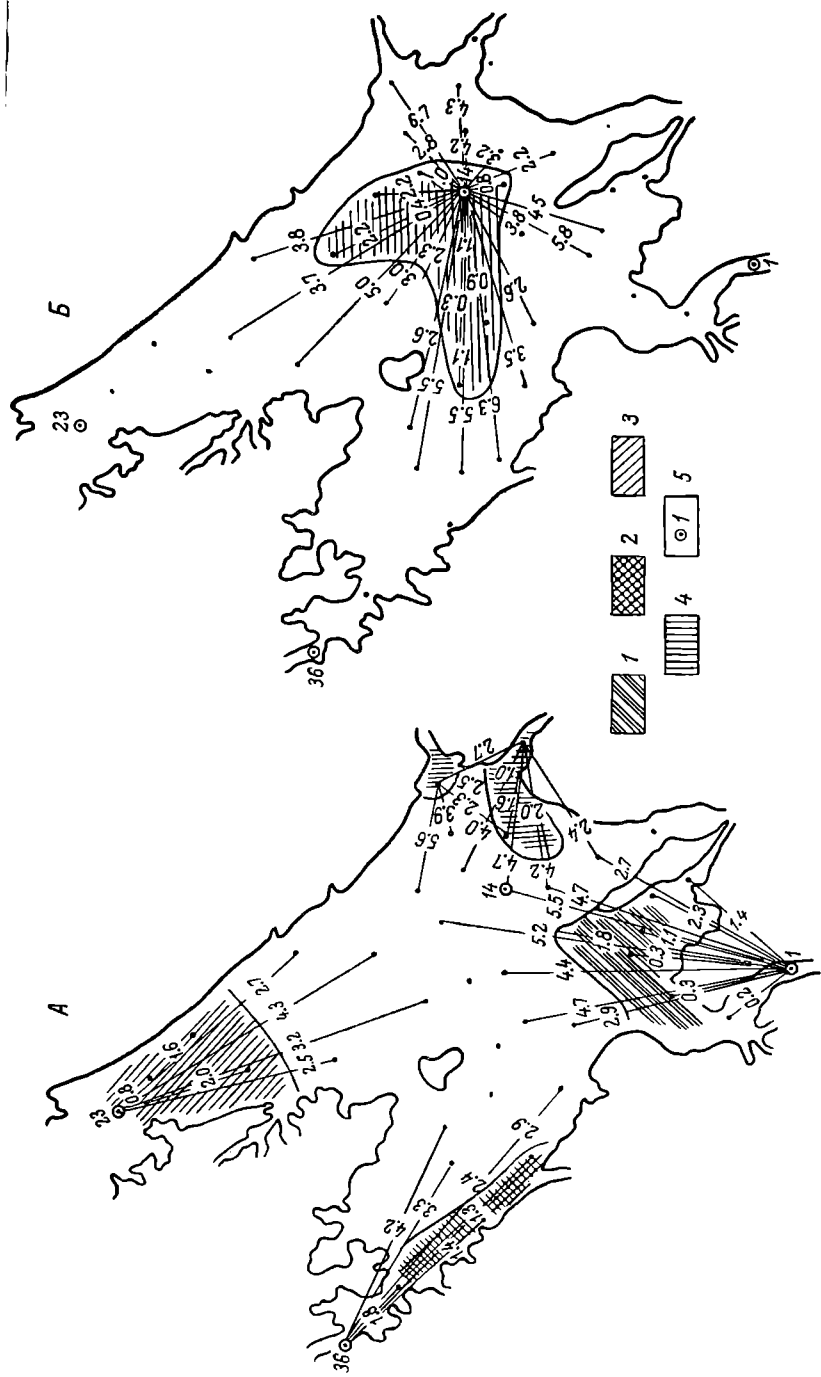


Схема выделения водных масс в Рыбинском водохранилище.

А — речные водные массы; Б — волновая масса центральной части водохранилища. Волновые массы: 1 — волжская; 2 — молотовская; 3 — шектинская; 4 — воды Ухры и Согожи; 5 — номера реперных станций.

речные воды в более или менее чистом виде. Затем из этих точек (рис. 1, А) проводились линии с указанием на них значений d ко всей совокупности станций, примыкающих к рассматриваемой исходной. В случаях, когда значение d между рассматриваемыми станциями было меньше 2.4, считалось, что они расположены в одной и той же водной массе. Если же d было больше или равнялось 2.4, то их водные массы считались различными.

В результате, как видно из рис. 1, А, удалось четко выделить районы со специфическими водными массами по комплексу признаков, приуроченные к устьям рек, впадающих в Рыбинское водохранилище.

При этом оказалось, что различия d для речных вод и вод центральной части водохранилища достигают значений 5—6. По наибольшей величине d за реперный центр вод центральной части водохранилища была принята станция 14 (рис. 1, Б). Анализ величины d станции 14 со всей совокупностью окружающих точек позволил выделить ядро зимних вод центральной части водохранилища, которое по своим свойствам резко отличалось от речных водных масс.

Т а б л и ц а 2

Рассчитанные значения t в сопоставлении с теоретическими, отражающими определенную вероятность принадлежности выделенных вод к одной водной массе

Воды	Температура, °С	Электропроводность, ом ⁻¹ · см ⁻¹	Гидрокарбонаты, мг-экв./л	Жесткость, мг-экв./л	Кальций, мг-экв./л	Цветность, град.	Значение при вероятности нуль-гипотезы	
							5 : 100	1 : 100
Волжские	3.13	2.69	3.15	2.70	2.77	2.11	2.05	2.76
Моложские	4.15	3.44	3.50	3.13	2.41	3.42	2.06	2.79
Шекснинские	1.04	3.41	3.97	3.37	3.18	3.03	2.06	2.79

Таким образом, в Рыбинском водохранилище при данной методике и использовании ЭВМ БЭСМ-2м удалось достаточно строго выделить в весенний период речные водные массы, приуроченные к районам впадения основных рек, водную массу центральной части водохранилища и воды с промежуточными свойствами между речными водами и водами центральной части.

Приведенные результаты в основных чертах подтверждают данные о наличии и распределении водных масс в Рыбинском водохранилище в весенний период, полученные другими методами (Буторин, 1965).

Для того чтобы показать статистическую реальность различий водных масс водохранилища, мы воспользовались t -распределением (распределение Стюдента) для случая сравнения средних двух независимых выборок (Брукс, Карузерс, 1963). Нуль-гипотеза в этом случае заключается в том, что выборки представляют ту же самую совокупность и мы желаем оценить значимость имеющейся разности между их средними. Если n_1 и n_2 — объемы этих двух выборок, а M_1 и M_2 — их средние значения, то

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sigma \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}},$$

где σ является оценкой квадратического отклонения совокупности, из которой были взяты выборки. В нашем случае $n_1=23$, а $n_2=8$ для волжских вод и $n_2=4$ для шекснинских и моложских. Значения σ представлены в табл. 1. M_1 и M_2 рассчитывались как средние значения определенного показателя состояния выделенных вод центральной части водохранилища и речных водных масс. Как видно из табл. 2, во всех случаях и почти по всем показателям с вероятностью, превышающей 5 : 100, а в отдельных случаях и 1 : 100, можно полагать, что принятая нами нуль-гипотеза неверна и что выделенные нами водные массы действительно являются специфически различными.

Таким образом, приведенные результаты позволяют считать рассмотренный метод вполне пригодным для выделения водных масс, а применение электронно-счетной вычислительной машины открывает широкие возможности использования этого метода при исследовании формирования, перемещения и трансформации водных масс в континентальных водоемах.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Б р у к с К., К а р у з е р с Н. 1963. Применение статистических методов в метеорологии. Л.
- Б у т о р и н Н. В. 1965. К изучению водных масс Рыбинского водохранилища. Тр. инст. биол. внутр. вод АН СССР, 7 (10).
- Б у т о р и н Н. В. 1966. Сезонное изменение характеристик водных масс и распределение их в Рыбинском водохранилище. Тр. Инст. биол. внутр. вод АН СССР, 12 (15).
- Е р ш о в а М. Г. 1968. О применении статистических методов к выделению водных масс в водохранилищах. Настоящий сборник.
- S o k a l R. R. and S n e a t h, 1963. Principles of Numerical taxonomy London.

Институт биологии внутренних вод АН СССР.

ИНФОРМАЦИИ

Годичная сессия Лаборатории гидрологии Института биологии внутренних вод АН СССР	3
--	---

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

К. К. Э д е л ь ш т е й н. Формирование водных масс водохранилищ в весенний период	5
Ю. И. Г о р и н. Некоторые данные о структуре вод Черемшанского залива Куйбышевского водохранилища	8
Н. В. Б у т о р и н. О двух типах трансформации водных масс в водохранилищах	10
В. Л. Р о х м и с т р о в. Структура минимального стока рек бассейна Рыбинского водохранилища	14
Г. Л. М е л ь н и к о в а. Формирование экологической обстановки на мелководьях водохранилищ в весенний период	18
В. Ф. Г у щ и н. К характеристике режима ветрового волнения на Рыбинском водохранилище	22
А. С. Л и т в и н о в. О распространении волн попусков в нижнем бьефе Угличской ГЭС	26
А. С. Л и т в и н о в. Некоторые данные о течениях в приплотинном участке Волгоградского водохранилища	31
Н. А. З и м и н о в а, В. П. К у р д и н. О заилении Рыбинского водохранилища	35
В. П. К у р д и н, Н. А. З и м и н о в а. Об изменениях в грунтовом комплексе Рыбинского водохранилища	38
С. С. Б а к а с т о в. Основные факторы формирования температуры в грунтах Рыбинского водохранилища	41
Н. В. Б у т о р и н, С. С. Б а к а с т о в, А. С. Л и т в и н о в. Рекогносцировочное обследование Иваньковского водохранилища в районе Конаковской ГРЭС	45

В. П. Курдин. Данные гидрологических и гидрохимических наблюдений на Белом Ниле	49
Ф. И. Безлер. К методике прогнозирования содержания органических и биогенных веществ, газового режима и цветения в водохранилищах	56
К. К. Эдельштейн. Опыт комплексной съемки водных масс в водохранилище	61
М. Г. Ершова. О применении статистических методов к выделению водных масс в водохранилищах	66
Н. В. Буторин, Т. Н. Курдина. Опыт количественного учета водных масс в Рыбинском водохранилище	70
Н. В. Буторин, Н. П. Смирнов. Опыт применения электронной вычислительной машины для изучения водных масс Рыбинского водохранилища	74

INFORMATION

Annual session of the hydrological laboratory of the Biological Institute for Inland Waters Research of the Academy of Sciences of the USSR	3
---	---

ARTICLES

K. K. E d e l s t e i n. Formation of reservoirs water masses in spring.	5
J. I. G o r i n. Some data of water structure of the Cheremshan bay of the Kyjbyshv reservoir	8
N. V. B u t o r i n. Two types of water masses transformation in reser- voirs	10
V. L. R o k h m i s t r o v. Structure of minimum flow of rivers of the Rybinsk reservoir basin	14
G. L. M e l n i k o v a. Formation of ecological conditions on reser- voirs shallows in spring	19
V. F. G u s t s h i n. Characteristics of wind wave rate of the Rybinsk reservoir	22
A. S. L i t v i n o v. Distribution of release waves in the tail-water of the Uglitch hydro-electric power station	26
A. S. L i t v i n o v. Some data of currents near dam of the Volgograd reservoir	31
N. A. S i m i n o v a, V. P. K u r d i n. Siltation of the Rybinsk re- servoir	35
V. P. K u r d i n, N. A. S i m i n o v a. Changes in ground complex of the Rybinsk reservoir	38
S. S. B a k a s t o v. Main factors of temperature formation in grounds of the Rybinsk reservoir	41
N. V. B u t o r i n, S. S. B a k a s t o v, A. S. L i t v i n o v. Re- cognaisane of the Ivankovo reservoir in the region of the Ko- nakovo thermoelectric power station	45

V. P. K u r d i n. Data of hydrological and hydrochemical observations on the White Nile	49
F. I. B e s l e r. Forecast method of content of organic and biogenic substances, gas condition and water-blooms in reservoirs. . .	56
K. K. E d e l s t e i n. Experiment of complex survey of water masses in reservoirs	61
M. G. E r s h o v a. Use of statistical methods for identification of water masses in reservoirs	66
N. V. B u t o r i n, T. N. K u r d i n a. Experiment of quantative calculation of water masses in the Rybinsk reservoir	70
N. V. B u t o r i n, N. P. S m i r n o v. Experience electronic computer use for study of the Rybinsk Reservoir water masses	74

БИОЛОГИЯ ВНУТРЕННИХ ВОД

Информационный бюллетень № 2

Утверждено к печати

Институтом биологии внутренних вод

Академии наук СССР

Редактор издательства С. Н. Борхсениус

Технический редактор Л. А. Любимова

Корректоры А. А. Гинзбург и О. И. Иващенко

Сдано в набор 8.IV 1968 г. Подписано к печати 28.V 1968 г. РИСО АН СССР № 23а-80В. Формат бумаги $60 \times 90^{1/16}$. Бум. л. $2^{5/8}$. Печ. л. $5^{1/4} = 5^{1/4}$ усл. печ. л. Уч.-изд. л. 5,24. Изд. № 3715. Тип. зак. № 1028. М- 22932. Тираж 1000. Бумага типографская № 1. Цена 37 коп.

Ленинградское отделение издательства «Наука»
Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. издательства «Наука» Ленинград, В-34,
9 линия, д. 12

