

УДК 556.535.2

*Г. М. БАЗЫЛЕНКО, Л. В. ГУРЬЯНОВА,
П. С. ЛОПУХ, В. А. ПИДОПЛИЧКО*

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

В малых водохранилищах Белоруссии речного типа от верховьев к плотинам гидроузлов наблюдается постепенное уменьшение скорости стоковых течений в среднем от 0,60 до 0,04 м/с. При этом втеkanie водотока в более расширенный и глубоководный нижний приплотинный (озеро-видный) район приводит к рассеиванию его гидродинамической оси, к резкому уменьшению и выравниванию по глубине скорости течения, к формированию сложной системы циркуляционных течений.

С целью проверки возможности исследования циркуляционных течений различными методами летом 1980 г. проведен комплекс экспериментальных работ на малом Тетеринском водохранилище: динамический метод расчета течений, аномалий температуры, сопоставление результатов плановой съемки температуры, мутности, прозрачности, биогенных элементов, степени кислородного насыщения.

Тетеринское водохранилище — пойменно-руслового типа, длиной 9,6 км, площадью 4,54 км², объемом 8,3 млн. м³ при нормальном подпорном уровне (НПУ), по комплексу гидрологических (лимнологических) показателей разделено на два гидроморфологических района [1]. Полигоном исследований служил нижний озеро-видный район протяженностью 2,6 км, максимальной шириной 0,8 км, с преимущественными глубинами от 2 до 4—6 м, который с учетом морфологических особенностей котловины разделен на 6 частей гидрометрическими створами с промерами глубин через 10 м. Гидрологические станции, обозначенные заякоренными вехами, располагались по профилям на створах через 50—100 м.

Исследования проводились в безветренную ясную солнечную погоду в период прогрева водоема с 11 до 16 ч при НПУ и отсутствии сбросных расходов. Такие условия дали возможность определить наличие водообмена по вертикали и в поперечном направлении, обусловленного взаимодействием транзитного потока с окружающими массами воды. Измерения выполнялись одновременно с двух моторных лодок и включали: скоростную съемку температуры поверхности воды и через 1 м глубины по вертикали с помощью электротермометров, определение растворенных газов, биогенных элементов, величины рН, перманганатной окисляемости, мутности и прозрачности; с помощью поверхностных и глубинных поплавков (надувные камеры с грузом) определялись траектории движения воды. Результаты измерений, в первую очередь данные температурной съемки, обрабатывались динамическим методом и методом аномалий температуры для составления схем горизонтальной и вертикальной циркуляции.

В основу динамического метода изучения циркуляции вод положено определение величины плотности воды на разных горизонталях, зави-

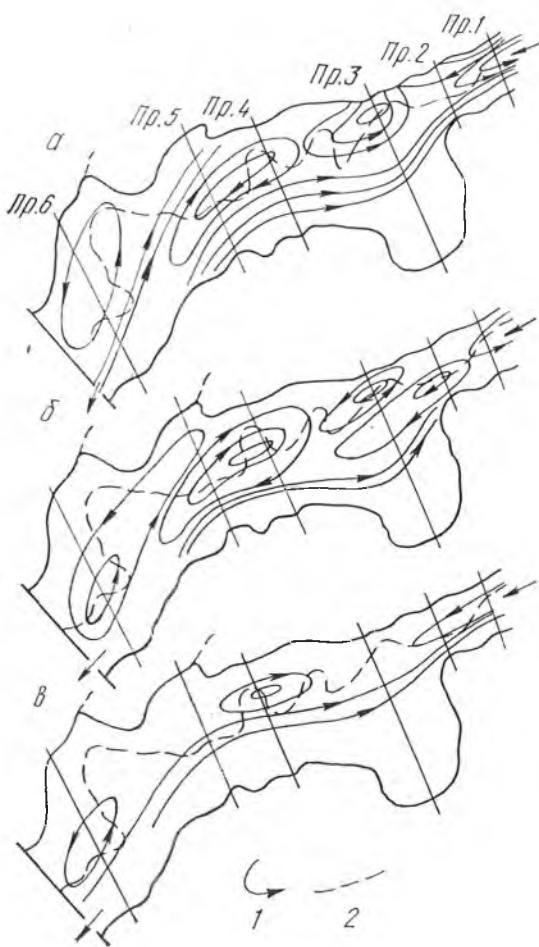


Рис. 1. Схемы течений в приплотинном гидроморфологическом районе Тетеринского водохранилища, составленные динамическим методом расчета: а — на поверхности; б — на глубине 1 м; в — на глубине 2 м; 1 — направление течения; 2 — старое русло реки; Пр — гидрометрический профиль

Учитывая, что более нагретые массы воды имеют больший объем единицы массы, а следовательно, большую динамическую высоту, и, наоборот, что в северном полушарии большие динамические высоты находятся справа по течению, на картах барической топографии составлены схемы направлений течений по горизонтам: для поверхности 1 и 2 м (рис. 1).

**Расчет динамической высоты по вертикали ($h_{170} = 6,2$ м)
на профиле 1 Тетеринского водохранилища (рис. 2)**

Горизонт, м	Температура воды, °С	$(v_{уд}-1,00) \cdot 10^5$	Среднее $(v_{уд}-1,00) \cdot 10^5$	Интервал глубины, Δh , см	$(v_{уд}-1,00) \times$ $\times 10^5 \cdot \Delta h$	$\frac{(v_{уд}-1,00) \times$ $\times 10^5 \cdot \Delta h}{10^5}$	Динамиче- ская высота, d , см
0	20,41	188,3	178,0	100	17800	0,18	0,66
1	19,41	167,7	164,7	100	16470	0,17	0,48
2	19,10	161,7	158,8	100	15880	0,16	0,31
3	18,80	155,8	153,9	100	15390	0,15	0,15
4	18,59	152,0				0,15	0,00

сящей прежде всего от ее температуры, а также от минерализации и степени сжатия [2]. Учитывая незначительную величину минерализации (около 300 мг/л) и глубину района исследований (средняя 3,0 м), в расчетах опущены поправки на соленость и сжимаемость воды, обязательные для глубоких и соленых водоемов. По зависимости плотности пресной воды от температуры определен удельный объем воды ($V_{уд}$, см³/г). Для удобства расчетов величины удельных объемов для соответствующих температур приводились в рабочую формулу: $(V_{уд}-1,00) \cdot 10^5$; полученная величина по методике Д. К. Эйерса [3] принимается за условный удельный объем. Далее рассчитывались средние $V_{уд}$ между горизонтами и интервалом глубин 100 см. За «нулевую поверхность» принят горизонт 4 м, относительно которого отсчитывалась сумма удельных объемов вышележащих горизонтов; в результате определялась так называемая динамическая высота точки, d , см. (см. таблицу). По данным динамических высот построены карты барической топографии для различных горизонтов воды.

Сопоставляя полученные схемы, можно отметить следующую тенденцию: по профилям на всех горизонтах наблюдается постепенное уменьшение динамических высот преимущественно от левого к правому берегу, что означает наличие движения водных масс от плотины к верховьям; в то же время разность динамических высот между профилями соответствующих горизонтов указывает на возникновение поперечных составляющих движения воды, способствующих формированию круговоротов циклонального и антициклонального характера. На фоне поступательного движения к плотине (транзитный поток) выделяется центральное противотечение, осложняемое серией горизонтальных циркуляций.

Данные температурной съемки дополнительно обрабатывались методом аномалий температуры, сущность которого — определение «местных аномалий» (разность между абсолютной величиной температуры конкретной точки и средним значением температуры соответствующего горизонта воды по профилю: $\pm \Delta t = t_r - \langle t_r \rangle$), необходимых для построения блок-диаграмм и схем вертикальной и горизонтальной циркуляции воды.

Анализ данных температурной съемки и блок-диаграмм, составленных по местным аномалиям температуры, показал, что на общем фоне прогревания вод от верховьев к плотине придонные воды, в том числе воды участков старого русла с глубинами 6 м, распространялись в толще, охлаждаясь действуя на все горизонты; на отдельных участках по профилям на горизонтах положительные аномалии сменялись отрицательными. Неравномерное распределение температуры воды обуславливает горизонтальную неоднородность распределения ее плотности, что свидетельствует о наличии плотностных течений, которые играют значительную роль в перемещении масс воды в вертикальном и поперечном направлениях. При этом, если $t_r > \langle t_r \rangle$, уровень формирования местных аномалий находится выше соответствующего горизонта; если $t_r < \langle t_r \rangle$ — ниже.

На вертикали (50 м от левого берега) на глубинах 1 и 2 м отмечены повышенные аномалии ($+\Delta t$), следовательно, место их формирования находилось выше метрового и двухметрового горизонтов, и на схеме вертикального движения воды (рис. 2) стрелкой вниз показано опускание вод. При отрицательных аномалиях ($-\Delta t$), например, на вертикали 110 м от левого берега — место формирования местных аномалий в нижних горизонтах, движение вод здесь обозначено стрелкой вверх. Горизонтальными стрелками показано поперечное круговое движение из области опускания, т. е. компенсационное движение масс воды. Аналогично получены схемы вертикального движения воды по всем профилям.

Для построения схемы горизонтальной циркуляции определили тенденцию движения воды (нисходящая или восходящая) по профилям на динамически однородных участках. Принимая во внимание аксиому об анти- и циклонической системе перемещения вод в северном полушарии [3], получили общую схему

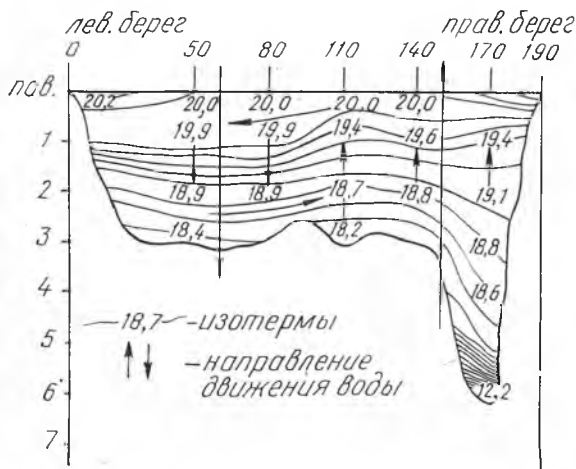


Рис. 2. Схема вертикального движения воды на профиле 1, составленная методом аномалий температуры (0—190 — расстояние от уреза левого берега, м)

горизонтального движения, в которой прослеживаются вдольбереговые течения к плотине и противотечения (рис. 3). При этом средняя скорость горизонтального движения воды, рассчитанная поплавковым методом, $\langle V_r \rangle = 6$ см/с.

Нами приближенно оценена вертикальная скорость циркуляции вод при данных условиях из соотношения [4] (см. таблицу):

$$\langle v_v \rangle = \frac{h_{\text{ср}}}{l} \langle v_r \rangle = \frac{0,003 \cdot 6}{2,6} = 0,0069 \approx 7 \cdot 10^{-3} \text{ см/с,}$$

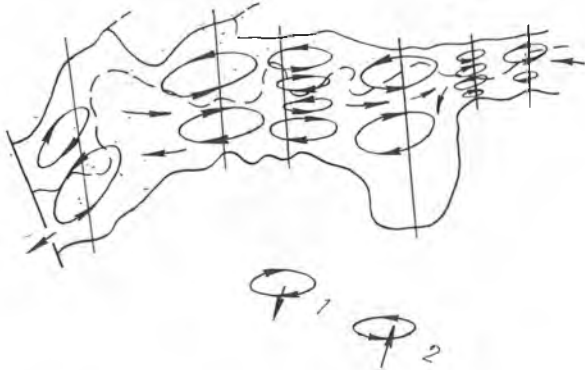


Рис. 3. Схема течений в приплотинном гидроморфологическом районе Гетеринского водохранилища, составленная методом аномалий температур:

1 — антициклональное, 2 — циклональное движение

где $h_{\text{ср}}$ — средняя глубина нижнего района водохранилища, км; l — длина района, км; $\langle v_r \rangle$ — средняя горизонтальная скорость, см/с, а также вертикальный водообмен по методике А. И. Тихомирова [5]. По данным температурных съемок с интервалом в 24 ч, расчета объемов воды и теплозапасов для трех слоев через 1 м глубины от поверхности, содержащих в сумме более 90 % объема воды исследуемого района, получены следующие значения вертикального водообмена. Водообмен меж-

ду первым и вторым слоями $V_{1-2} = V_{2-1} = 0,57 \cdot 10^6$ м³, или в среднем 40 % собственного объема каждого из этих слоев. Наименьший водообмен наблюдался между первым и третьим слоями: $V_{1-3} = V_{3-1} = 0,15 \cdot 10^6$ м³, или 10 и 15 % его собственного объема соответственно. Водообмен между вторым и третьим слоями был наибольшим: $V_{2-3} = V_{3-2} = 1 \cdot 10^6$ м³, или 75—85 %.

Выводы

Схемы течений, полученные расчетными методами, в целом согласуются с траекториями движения поверхностных и глубинных поплавков, особенно по выявленному противотечению. Сопоставление результатов плановой съемки мутности, прозрачности, суммы биогенных элементов, степени кислородного насыщения показало неоднородность их распределения и связь с движением воды, обнаруженную через «критические точки» (на блок-диаграммах). В итоге отмечено наличие двух типов трансформированной массы воды: центральной зоны с глубинами более 2,5 м, которая в период общего прогревания водоема характеризуется сравнительно пониженными температурами, прозрачностью и повышенными значениями мутности, величины рН и суммы биогенов. В этом случае характерны противотечение и повышенный водообмен нижних горизонтов, которые обусловлены, вероятно, образующейся в придонном слое вихревой циркуляцией с горизонтальной осью вращения.

Второй тип, масса воды прибрежной зоны с глубинами менее 2,5 м, отличается вдольбереговыми течениями к плотине, наиболее четко выраженными вдоль правого берега.

При изучении водной циркуляции в заданных условиях наиболее коррелирующимися косвенными характеристиками оказались температура воды, мутность, прозрачность, рН, перманганатная окисляемость.

Описанные расчетные методы несут одну физическую сущность, а полученные схемы сопоставимы между собой.

В отличие от динамического метода метод аномалий температур позволяет получить вертикальные схемы движения воды в сочетании с горизонтальной циркуляцией.

При исследовании плотностных циркуляций в малых водохранилищах, помимо инструментальных измерений элементов течений, для получения наиболее достоверных сведений целесообразно применять динамический метод расчета и метод аномалий температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базыленко Г. М., Бурдыко П. И., Лопух П. С.—Вестн. Белорусского ун-та. Сер. 2, хим., биол., геол., геогр., 1977, № 1, с. 59.
2. Зубов Н. Н., Мамаев О. И. Динамический метод вычисления элементов морских течений.—Л., 1956, с. 34.
3. Хатчинсон Д. Лимнология.—М., 1969, с. 30.
4. Верболов В. И.—В кн.: Гидрология озер и водохранилищ. М., 1975, ч. 1, с. 124.
5. Тихомиров А. И.—В кн.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. М., 1977, с. 156.

Поступила в редакцию
08.01.82.

Кафедра общего земледелия,
Отраслевая НИЛ озераведения

УДК 550.46+551.481

А. Л. ЖУХОВИЦКАЯ, В. А. ГЕНЕРАЛОВА, А. Н. РАЧЕВСКИЙ

СЕРА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОЦЕССА ОЗЕРНОГО ОСАДКОАКОПЛЕНИЯ *

Сера — элемент с четко выраженным биогеохимическим циклом концентрации, величина которой и диапазон варьирования зависят главным образом от геохимии и физико-географической принадлежности ландшафта. Накопление серы в осадках отражает уровень биопродуктивности водоема, напряженность редуционных процессов в водной массе и отложениях, режим окислительно-восстановительных условий на стадиях седиментации и диагенеза, что позволяет использовать этот элемент в качестве индикатора среды и направленности развития озерного бассейна и его осадкообразования.

Малые озерные водоемы Белоруссии, в основном Белорусского Поозерья, объединяет общность зонально-климатической обстановки и связанного с ней преобладающего типа озерного накопления органического вещества. Последнее в сочетании с ледниковым рельефом, генетическим разнообразием покровных пород водосборов и озерных котловин отличает их от других водоемов гумидной зоны, определяя специфику условий и типов озерных осадков [1].

Задача настоящей работы показать, как особенности малых бассейнов осадконакопления отражаются на распределении серы и ее форм в зависимости от комплекса различных лимнологико-геохимических факторов.

Изучение распределения общей серы выполнено по результатам более 4,5 тыс. анализов образцов, отобранных из поверхностного слоя и разрезов более 400 озер, представляющих все генетические типы осадков. Статистическая обработка проведена согласно [2]. Рассчитанные средние значения и фоновые пределы характеризуют геохимический фон серы. Среднее содержание ее составляет 0,47 % (S на абс. сухое вещество), что на порядок выше кларка в земной коре (0,047 % по Виноградову [3]), более чем в 1,5 раза выше кларка для осадочных пород, более чем в 2 раза превышает содержание серы в отложениях Байкала [4]. Широкий диапазон колебаний от тысячных долей процента до 10 % свидетельствует о разнообразии условий аккумуляции серо-содержащих компонентов. Модальные значения 0,2—0,6 составляют более 50 % данных; сверхфоновые содержания (выше 1 %) и аномальные (выше 2 %) встречены в 10 % случаев.

Распределение серы в основных типах осадков закономерно связа-

* На примере озерных водоемов Белоруссии.