

УДК 556.556.2 : 556.072

Виссарйон КВОН, Татьяна ФИЛАТОВА, Аго ЯАНИ

СИСТЕМЫ ТЕЧЕНИЙ ЧУДСКОГО ОЗЕРА

Течения внутренних водоемов оказывают существенное влияние на происходящие в них физические, химические и биологические процессы. Они определяют локализацию мест наибольшей продуктивности, включая продуктивные грунты и связанные с ними места сосредоточения зоопланктона, зообентоза, а следовательно, и концентрации рыб. Все это отмечается за пределами областей с большими скоростями течений, преимущественно в местах циркуляций, знания о которых обычно отсутствуют. Например, места промысловых уловов ряпушки в Чудском озере приурочены к северной антициклональной, а леща — к южной циклональной относительно устойчивым циркуляциям озера. Кроме того, сведения о составе грунтов и процессах седиментации за пределами больших скоростей являются показателями уровня загрязненности водоема и иногда позволяют выявить наличие в них вредных веществ, в частности радиоактивных. Сказанное указывает на необходимость назначения пунктов мониторинга в первую очередь на участках водоемов, характеризующихся малыми скоростями течений, в местах устойчивых циркуляций, точнее, в их центрах.

Вопрос о течениях Псковско-Чудского озера является одним из наиболее изученных. Первые сведения о течениях этого озера по результатам немногочисленных инструментальных измерений и косвенным данным были приведены А. А. Соколовым (1941). Однако основная работа по изучению течений озера проведена в последние два десятилетия, когда помимо судовых измерений с помощью морских вертушек ВММ и поплавков (выполняемых с 1949 г.) стали применять буквопечатающие вертушки БПВ-2р (с 1971 г.) и авиаизмерения (с 1971 г.), а также методы математического моделирования. В 70-е годы увидели свет первые обобщения, освещающие отдельные аспекты изучения и режима течений в различных стадиях изученности (Filatova, Kallejärv, 1973; Kallejärv, Filatova, 1971; Kallejärv, 1973; Богачев, Филатова, 1973, 1975a, 1975b). Наиболее полный обзор выполненных до 1978 г. работ приведен в монографии «Чудско-Псковское озеро» (1983 г.)

Все выполненные исследования позволяют считать, что определяющая роль в перемещении вод и формировании системы течений озера принадлежит ветру.

В настоящей работе обобщаются результаты имеющихся сведений о течениях северной части Псковско-Чудского, собственно Чудского озера (или Большого озера). Они получены по относительно многочисленным натурным измерениям и результатам расчетов по частному варианту трехмерной нестационарной модели стратифицированных течений (Игнатова, Квон, 1978). Основные закономерности в переносе вод, выявленные на примере этого озера, в основном подтверждаются и на других объектах, среди которых следует назвать Ладожское озеро (Квон и др., 1985; Ротатова и др., 1986), водохранилища-охладители Лукомльской (Волкова и др., 1984) и Углегорской электростанций.

Как было сказано выше, в Чудском озере помимо авиаизмерений в поверхностном слое и измерений течений с судов, основные данные о течениях получены посредством самописцев течений, установленных на жесткой основе на расстоянии 0,8—1,0 м от дна.

Проиллюстрируем полученные результаты на примере придонных циркуляций при ветрах западных румбов (ЗСЗ, ЗЮЗ и ЮЮЗ) со скоростью 3—4 м/с, при которых было зарегистрировано наибольшее число измерений в придонном слое. Эти наблюдения положены в основу схем придонных течений (рис. 1), составленных по модальным значениям направлений и градаций скоростей течений (Филатова, 1972), полученным по материалам длительных рядов измерений в каждом из 66 пунктов, и соответствующих ветрам западных румбов. Полагается, что недоучет времени становления ветровых течений при составлении рассматриваемых схем на определение результирующего переноса вод существенно не повлиял, поскольку он получен на основании модальных значений. Исползованная методика позволила получить представление о циркуляции придонных слоев, характеризующих относительно установившийся процесс с элементами нестационарности.

При изображении направления течения закругленной стрелкой основное перемещение воды определяется по хорде (рис. 1). Цифрами у основания стрелок обозначены количество измерений в пункте при ветрах данного направления и градация наиболее часто повторяющихся скоростей течения. Если на той или иной вертикали направление течения было неустойчивым, то помимо его модального значения, обозначенного стрелками, указана дуга, характеризующая возможные пределы изменения направления. Если в какой-то точке имеют место течения противоположного направления, то на рассматриваемом рисунке они отмечаются двумя стрелками — большой и малой. В большинстве случаев такие обозначения характеризуют вертикали возможного развития однонаправленного и разнонаправленного ветрового переноса, а также вертикали возможного развития сейшевых течений, накладывающихся на основной перенос.

При ветрах рассматриваемых румбов дрейфовые течения проникают до дна на участках водоема, примыкающих к противоположным берегам близлежащей части водоема, а ветровые-градиентные (компенсационные) течения формируются в основном в области интенсивного нагона, т. е. у противоположного берега наиболее отдаленной части водоема. В частности, при ветрах ЗСЗ, ЗЮЗ и ЮЮЗ направлений дрейфовые течения проникают до дна соответственно у северо-восточного (рис. 1А) и юго-восточного берегов (рис. 1Б, В), а ветровые-градиентные течения формируются у юго-восточного (рис. 2А) и северо-восточного (рис. 2Б, В) берегов.

Таким образом, в одних случаях на одном и том же участке действуют дрейфовые, а в других — ветровые-градиентные течения при одинаковом направлении в переносе вод. В результате при ветрах западных направлений, характеризующихся наибольшей повторяемостью, развиваются две устойчивые циркуляции: антициклональная северная и циклональная южная (рис. 1). Существование названных циркуляций помимо указанного выше сосредоточения промысловых рыб подтверждается и другими косвенными данными. Так, распределение сульфатов подтверждает в какой-то мере существование северной циркуляции, а фосфатов и нитратов — южной (Капутерко и др., 1985).

Измерения течений Чудского озера, выполненные с судна на разных глубинах, позволяют сделать вывод, что в случае разнонаправленного по глубине переноса вод дрейфовое течение охватывает не более 1/3 верхней части водной толщи, а в нижней 2/3 развивается встречное ветру градиентное течение. Полученные результаты подтверждают мнение А. С. Судольского о том, что зона действия градиентного течения обширнее зон

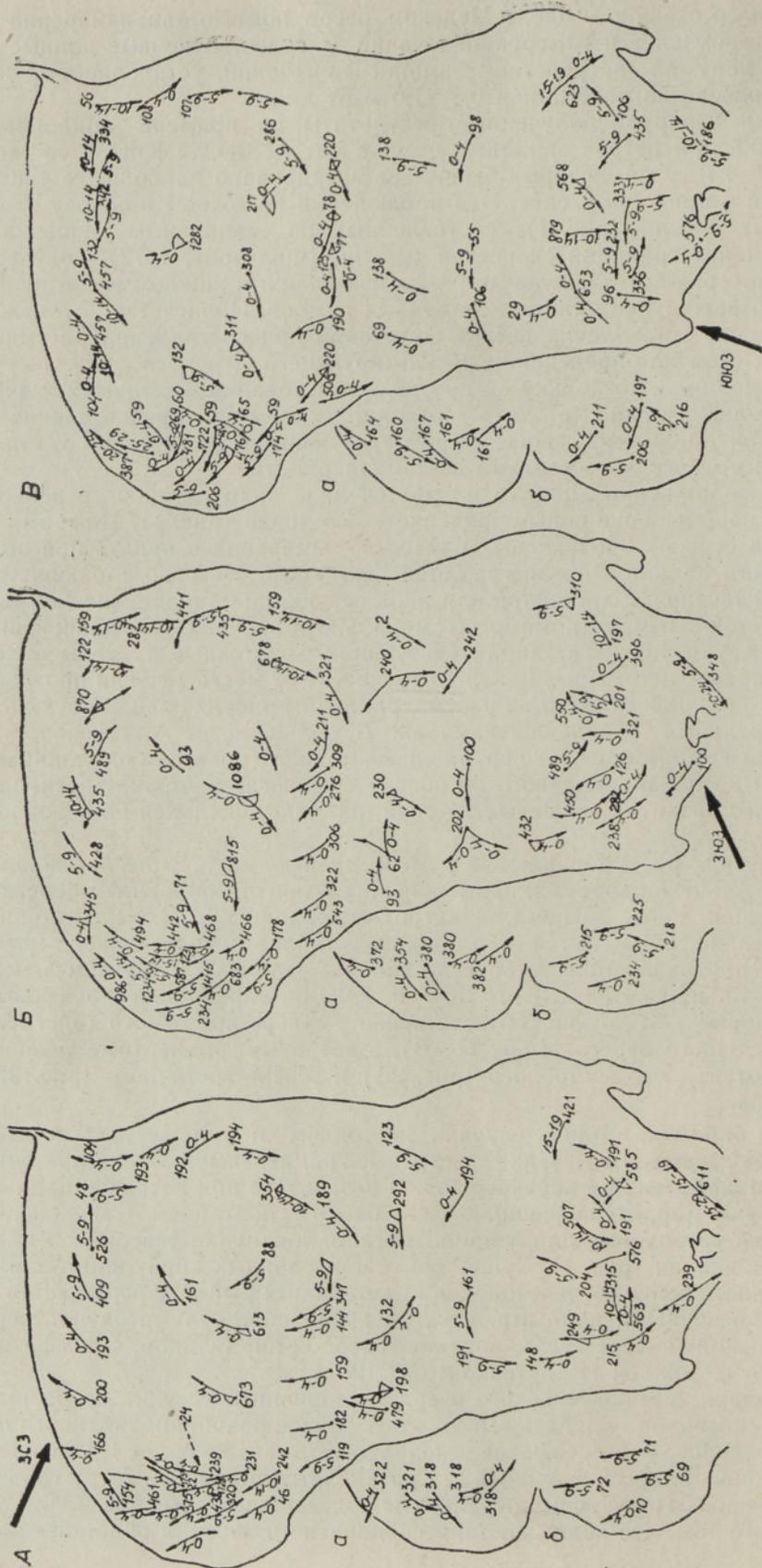


Рис. 1. Схема придонных течений (см/с) Чудского озера при ветрах 3С3 (А), 3Ю3 (Б) и ЮЮ3 (В) направлений со скоростью 3—5 м/с, составленная по обобщенным данным натурных измерений. а — скорость ветра 4—6 м/с и более (осенью), б — слабый неустойчивый ветер (летом).

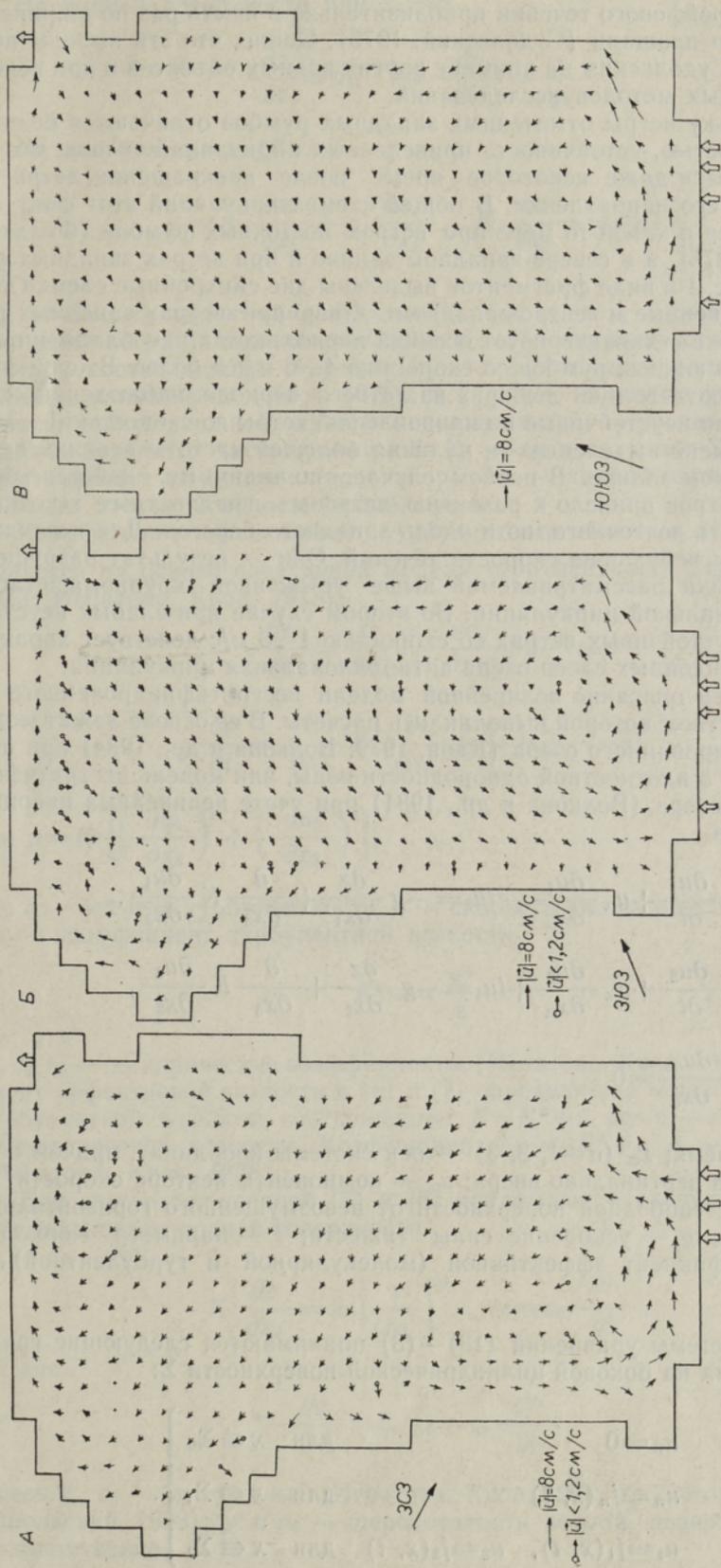


Рис. 2. Расчетные векторные поля течений Чудского озера при ветрах 3СЗ (А), 3ЮЗ (Б) и ЮЮЗ (В) направлений со скоростью 4 м/с на глубине 1 м от дна.

действия дрейфового течения приблизительно в шесть раз по ширине и в два раза по площади (Судольский, 1975). Ценно, что эти выводы получены А. С. Судольским на примере других водных объектов и при использовании иных методов исследований.

Поскольку ветры отмеченных западных румбов отличаются большой повторяемостью, устойчивость приведенных циркуляций такова, что они продолжаются даже некоторое время после прекращения ветра или изменения его направления. В общей схеме циркуляций этот факт подтверждается в какой-то мере при ветрах восточных румбов (Филатова, Богачев, 1976), а в северо-западном заливе и при ветрах западных румбов. На рис. 1 в виде фрагментов выделены две синхронные съемки течений, выполненные в северо-западном заливе при ветрах западных румбов. Выборка *a* характеризует осенний период, когда преобладали ветры западных и южных румбов со скоростью 4—6 м/с и более. Второй фрагмент (*b*) соответствует выборке из летнего периода наблюдений, когда преобладали неустойчивые по направлению ветры со скоростью 1—3 м/с. Этот фрагмент выделен из-за наличия большей частоты станций в рассматриваемом заливе. В первом случае, по-видимому, действие более сильных ветров привело к развитию ветровых градиентных течений не только вдоль восточного, но и вдоль западного берегов. Для последнего характерны небольшие скорости течений. Они — результат разрушения и перестройки рассматриваемой выше устойчивой крупномасштабной антициклональной циркуляции. Во втором случае при слабых неустановившихся устойчивых ветрах со скоростью 1—3 м/с действует характерная для придонных слоев озера антициклональная циркуляция.

Приведем описание нелинейной модели нестратифицированного озера, посредством которой выполнялись расчеты. В ее основе лежит модель стратифицированного озера (Квон, 1979; Волкова и др., 1984) при предположении о плотностной однородности воды, или модель нестратифицированного озера (Волкова и др., 1981) при учете нелинейных инерционных членов

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} + u_\alpha \frac{\partial u_1}{\partial x_\alpha} - l u_2 = -g \frac{\partial z}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_3} K \frac{\partial u_1}{\partial x_3}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} + u_\alpha \frac{\partial u_2}{\partial x_\alpha} + l u_1 = -g \frac{\partial z}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_3} K \frac{\partial u_2}{\partial x_3}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_\alpha}{\partial x_\alpha} = 0, \quad (3)$$

где t — время; x_α ($\alpha=1, 2, 3$) — оси системы координат, причем ось x_3 направлена вертикально вверх; u_α — компоненты вектора скорости; z — отклонение свободной поверхности от невозмущенного горизонтального положения; g — ускорение силы тяжести; l — параметр Кориолиса; K — коэффициент эффективной (молекулярной и турбулентной) вязкости.

Для системы уравнений (1)–(3) принимаются следующие граничные условия на боковой цилиндрической поверхности Σ :

$$\left. \begin{array}{l} u_n = 0 \quad \text{для } \vec{x} \in \Sigma_0 \\ u_n = f_n(\vec{x}, t) \quad \text{для } \vec{x} \in \Sigma_1 \\ u_1 = f_1(\vec{x}, t), \quad u_2 = f_2(\vec{x}, t) \quad \text{для } \vec{x} \in \Sigma_2 \end{array} \right\} \quad (4)$$

На водной поверхности при $x_3 = z^0$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = u_3, \quad K = \frac{\vec{\partial} u}{\partial x_3} = \frac{\vec{\tau}}{\rho_0}. \quad (5)$$

На дне при $x_3 = z_0(x_1, x_2)$

$$u_3 = u_1 \frac{\partial z_0}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial z_0}{\partial x_2}, \quad K \frac{\vec{\partial} u}{\partial x_3} = k_b |\vec{u}| \vec{u}, \quad (6)$$

где $x = (x_1, x_2, x_3)$, $\vec{u} = (u_1, u_2)$, $\vec{\tau} = (\tau_1, \tau_2)$; τ_1 и τ_2 — касательные напряжения ветра на водной поверхности; u_n — нормальная к береговому контуру составляющая скорости; k_b — коэффициент придонного касательного напряжения (Квон, 1975); f_n, f_1 и f_2 — заданные функции; z^0 — уровень невозмущенной водной поверхности; z_0 — уровень дна; Σ_0 — твердая береговая часть границы Σ ; Σ_1 — жидкая часть Σ , на которой вода вытекает из водоема (водозабор); Σ_2 — жидкая часть Σ , на которой вода втекает в водоем (водовыпуск).

Коэффициент вертикального турбулентного обмена в (1)–(3) определяется на основе следующей модели турбулентности (Jones, Launder, 1973; Игнатова, Квон, 1978):

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_3} K \frac{\partial e}{\partial x_3} + p - \varepsilon, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_3} K_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_3} + \frac{\varepsilon}{e} (c_1 p - c_2 \varepsilon), \quad (8)$$

$$\text{где } p = K^* \left[\left(\frac{\partial u_1}{\partial x_3} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_2}{\partial x_3} \right)^2 \right],$$

где e — энергия турбулентности, ε — скорость диссипации этой энергии; K^* — коэффициент турбулентной вязкости

$$K^* = \alpha \frac{e^2}{\varepsilon}, \quad (9)$$

c_1, c_2, c_3 — эмпирические коэффициенты (Игнатова, Квон, 1978). Коэффициент эффективной вязкости в (1) и (7) определяется через коэффициент турбулентной вязкости соотношением $K = K^* + \nu$, где ν — коэффициент кинематической вязкости. Коэффициент $K_\varepsilon = \alpha_\varepsilon K^* + \nu$, α_ε — постоянные (Игнатова, Квон, 1978).

Для системы уравнений (7) и (8) принимаются следующие граничные условия: на водной поверхности

$$K \frac{\partial e}{\partial x_3} = k_e \left| \frac{\vec{\tau}}{\rho_0} \right|^{3/2}, \quad \varepsilon = c_e \frac{e^{3/2}}{y^0}, \quad (10)$$

на дне

$$\frac{\partial e}{\partial x_3} = 0, \quad \varepsilon = c_e \frac{e^{3/2}}{y_0}. \quad (11)$$

Здесь k_e, c_e — постоянные (Игнатова, Квон, 1978; Китайгородский, Миропольский, 1968); y^0 и y_0 — шероховатость водной поверхности и дна соответственно.

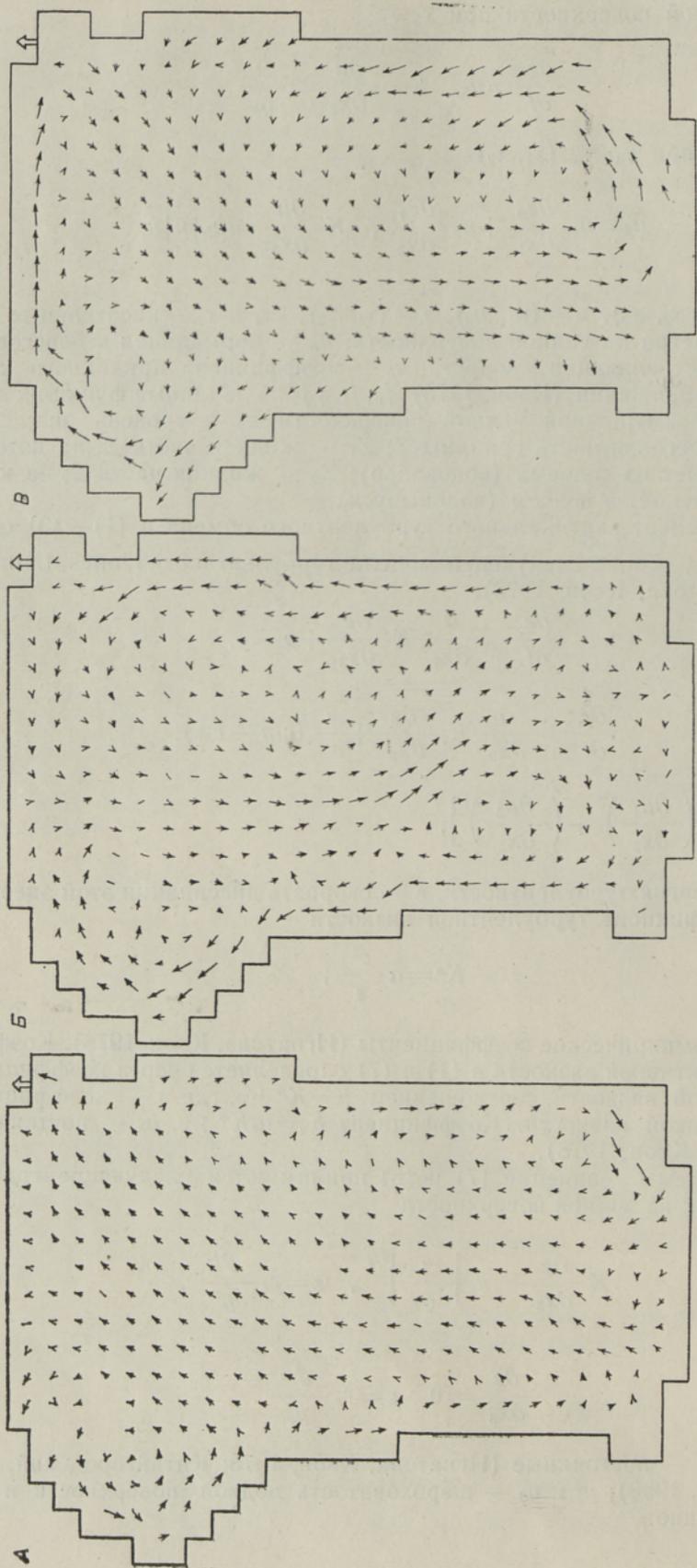


Рис. 3. Расчетные векторные поля придонных течений (А), элементарных расходов (Б) и течений на горизонте 4 м (В) при ветрах ССВ, Ю и ЮЮЗ направлений со скоростью 4 м/с.

Помимо граничных условий для системы (1) — (3), (7) и (8) задаются начальные условия, представляющие собою начальные распределения искомых параметров течения.

Задача решается численно с применением неявных разностных схем (Волкова и др., 1981). В рассматриваемом случае решалась стационарная задача методом установления. Сетка принималась равномерной, шаг сетки — 2200 м, число узлов — 427. Шаг по времени был принят в расчете 720 с.

Установление стационарного режима ветрового течения в Чудском озере происходит практически за 0,5 сут физического времени.

Результаты численного моделирования течений Чудского озера показывают, что они практически идентичны в случае учета и отсутствия инерционных членов в уравнениях движения, с параметром Кориолиса или в случае пренебрежения им. Не отмечается принципиальных различий в полях течений и в локализации циркуляций при увеличении расходов втекающих и вытекающих рек и при увеличении скорости ветра, что, однако, требует дальнейшего исследования. По данным численного моделирования, определяющее влияние на характер действующих в озере циркуляций оказывает направление ветра.

Расчетные схемы течений в придонном слое при ветрах восточных (ВЮВ, ССВ) румбов со скоростью 4 м/с (рис. 3А) в целом не подтверждаются обобщенными данными непосредственных измерений (Чудско-Псковское озеро, 1983). Это можно объяснить меньшим числом измерений при ветрах восточных румбов, которые имеют меньшую повторяемость (рис. 1).

Расчетные схемы циркуляций при ветрах ВЮВ и ССВ румбов соответствуют циркуляциям, развивающимся при ветрах ЗСЗ и ЮЮЗ направлений (рис. 1А, В), но различаются по знаку (рис. 3А).

Циркуляция воды при ветрах южного и северного направлений отличается от циркуляции, образующейся при ветрах западного и восточного (т. е. поперечных) направлений. При продольных направлениях ветра (северного и южного) придонная часть озера разделяется на две продольные циркуляции — западную и восточную, знак которых определяется направлением ветра. При ветрах северного направления развивается западная циклональная и восточная антициклональная циркуляции. Центры этих циркуляций четко прослеживаются в юго-западной и северо-западной частях водоема на участке, примыкающем к устью р. Гдовки, а также у юго-восточного берега (рис. 3Б).

Как отмечалось выше, расчетные схемы придонных течений Чудского озера достаточно хорошо согласуются с интегральными циркуляциями (рис. 3В) озера для одинаковых ветровых условий. Схемы интегральных циркуляций, рассчитанные по рассматриваемой модели, при ветрах южного и северо-западного направлений со скоростью 3,5 м/с в первом случае достаточно хорошо согласуются, а во втором — не согласуются с картиной течений, полученной А. Реапом и Ю. Элкеном (Reap, Elken, 1979), что может быть объяснено иной аппроксимацией водоема.

Таким образом, в Чудском озере развиваются два основных типа циркуляций, соответствующих ветрам поперечных (западных и восточных) и продольных (северных и южных) румбов. В зависимости от знака циркуляций каждый тип разделяется на два подтипа. Следовательно, в Чудском озере, как и в любом другом конкретном водоеме, формируются лишь основные типы распределения ветровых течений. В данном случае наибольшей устойчивостью обладают циркуляции, соответствующие ветрам западных румбов (рис. 1, 2). Этот вывод представляется весьма важным при организации службы мониторинга.

Результаты расчетов векторного поля течений Чудского озера, а так-

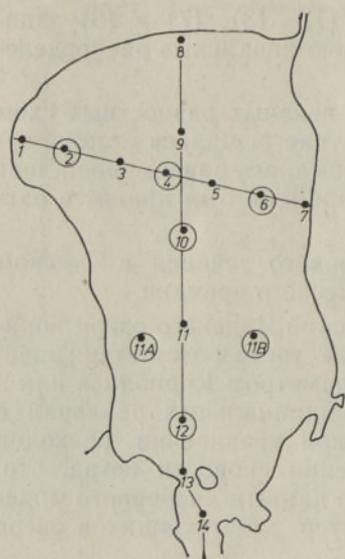


Рис. 4. Рекомендуемые пункты мониторинга, выявленные по данным пространственно-временной структуры течений.

же обобщенные результаты непосредственных измерений позволяют среди постоянных пунктов наблюдений (рис. 4) рекомендовать в качестве пунктов мониторинга вертикали 2, 4, 6, 10, 12, а при продолжительном действии ветров северных и южных румбов — дополнительные пункты 11^а и 11^б.

В заключение следует отметить, что рассмотренные схемы течений характеризуют относительно установившийся процесс, который в природе имеет место только на протяжении небольших отрезков времени. Максимальная продолжительность течения одного направления в придонном слое центральной части Чудского озера лежит в пределах 10—26 ч, средняя — 5 ч, максимальная скорость течения 8—20 см/с, средняя — 4—12 см/с. Во временной структуре векторного поля скоростей течений Чудского озера имеют место разномасштабные периодические колебания, которые охватывают все озеро, накладываясь на рассмотренный выше генеральный перенос, существуя с ним одновременно. В течениях Чудского озера выявляются периоды, связанные с сейшевыми колебаниями, параметром Кориолиса,

суточным ходом ветра и синоптическими периодами (Чудско-Псковское озеро, 1983). На тех участках, где периодичность в перемещении вод преобладает над генеральным их переносом, при малых скоростях течения создаются условия, неблагоприятные для разбавления загрязненных вод, что также должно учитываться при организации службы мониторинга. Наиболее характерными участками развития периодических течений являются проливы.

ЛИТЕРАТУРА

- Богачев А. Г., Филатова Т. Н. Методика исследований и некоторые сведения о ветровых течениях Чудского озера. — В кн.: Материалы XVII научной конференции по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Таллин, 1973.
- Богачев А. Г., Филатова Т. Н. Основные закономерности в переносе вод Чудско-Псковского озера. — В кн.: Основы биопродуктивности внутренних водоемов Прибалтики. Вильнюс, 1975а.
- Богачев А. Г., Филатова Т. Н. Течения мелководных нестратифицированных водоемов (на примере Чудско-Псковского озера). — В кн.: Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда. Т. 5, Л., 1975б.
- Волкова Г. Б., Квон В. И., Филатова Т. Н. Численное моделирование ветровых течений в Чудском озере. — Водные ресурсы, 1981, № 3, 91—99.
- Волкова Г. Б., Квон В. И., Филатова Т. Н. Трехмерная модель течений и переноса тепла и ее реализация на примере подогреваемого оз. Лукомльского (стационарная и нестационарная задачи). — В кн.: Динамика и термика рек и водохранилищ. М., 1984, 247—262.
- Игнатова Г. Ш., Квон В. И. О гидродинамической схеме скольжения при турбулентном течении. — Метеорол. и гидрология, 1978, № 7, 50—54.
- Капустерко С. А., Соколов А. А., Филатова Т. Н. Состояние и перспективы исследований экосистемы Чудско-Псковского озера. — В кн.: Проблемы исследования крупных озер. Л., 1985, 155—159.
- Квон В. И. Об условиях скольжения на дне водотока. — В кн.: Численные методы механики сплошной среды. Т. 6, № 3, Новосибирск, 1975, 38—44.
- Квон В. И. Температурно-стратифицированное течение в проточном водоеме. — Метеорол. и гидрология, 1979, № 6, 74—79.

- Квон В. И., Ротатова Т. В., Филатова Т. Н. Моделирование пространственных изменений характеристик ветровых и стоковых течений в глубоководных водоемах при отсутствии стратификации (на примере Ладожского озера). — В кн.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. Гидрология и гидрофизика озер и водохранилищ. (Мат-лы к VI Всесоюзному лимнологическому совещанию). Вып. VI. Иркутск, 1985, 67—69.
- Китайгородский С. А., Миропольский Ю. З. О диссипации турбулентной энергии в поверхностном слое моря. — Изв. АН СССР, 1968, IV, № 6, 657—659.
- Ротатова Т. В., Филатова Т. Н., Яани А. Э. Численное моделирование озер разных типов (на примере озер Чудского и Ладожского). — В кн.: Проблемы и пути рационального использования природных ресурсов и охрана природы. Тез. докл. XI респ. гидрометеор. конф. Шяуляй. 20 мая 1986. Вильнюс, 1986, 81.
- Соколов А. А. Чудско-Псковское озеро. Л.—М., 1941.
- Судольский А. С. Распределение ветровых течений в водоемах и оценка обусловленного ими переноса вод. — Тр. Гр.с. гидролог. ин-та, 1975, вып. 225, 49—68.
- Филатова Т. Н. Исследование течений в озерах и водохранилищах. Л., 1972.
- Филатова Т. Н., Богачев А. Г. Влияние ветра на течение Чудско-Псковского озера. — В кн.: Тез. докл. VIII респ. гидрометеорол. конф. «Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду Прибалтики». Вильнюс, 1976.
- Чудско-Псковское озеро. Л., 1983.
- Jones, W. R., Launder, B. E. The calculation of low-Reynolds-number phenomena with a two-equation model of turbulence. — Int. J. Heat and Mass Transfer, 1973, 16, N 6, 1119—1130.
- Filatova, T. N., Kallejärvi, T. O. Some Results of 20 year Network Observation of Currents in Tshudsko-Pskovskoe Lake. — Geophysical Monograph. Series American Geophysical Union. Man-Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. Washington, D. C., 1973, 316—319.
- Kallejärvi, T. O., Filatova, T. N. Some Results of 20 year Network Observation of Currents in Tshudsko-Pskovskoe Lake. — Proc. Int. Symp. on Man-Made Lakes, May 3-7, 1971, USA. Tennessee, 1971.
- Kallejärvi, T. Peipsi hoovused. — Eesti Loodus, 1973, N 12, 727—731.
- Reap, A., Elken, J. Peipsi-Pihkva järve hüdrodünaamiline modelleerimine. — Rmt.: Maaparandus. Teaduslik-tehnilisi artikleid. Tln., 1979.

Институт гидродинамики
Сибирского отделения Академии
наук СССР

Поступила в редакцию
30/IX 1986

Государственный гидрологический институт

Эстонское республиканское управление
по гидрометеорологии и контролю
природной среды

Vissarion KVON, Tatjana FILATOVA, Ago JAANI

PEIPSI JÄRVE HOOVUSTESÜSTEEMID

Rohkete mõõtmisandmete ja kolmemõõtmelise mittestatsionaarse mudeli järgi tehtud arvutuste põhjal on leitud, et kogu hüdrometeorooloogiliste tingimuste mitmekesisuse juures esineb Peipsis kaks hoovustesüsteemi põhitüüpi, mis jagunevad kaheks alltüübiks. Hoovuste kujunemisel on määravaks teguriks tuule suund. Hoovustesüsteem on kahekihiline. Järve pinnakihis (ülemine 1/3 veemassist) liigub hoovus põhiliselt tuule suunas. Veemassi alumises osas (2/3 veemassist) kujunevad kõigil juhtudel kaks tsirkulatsiooniringi. Ida- ja läänetuulte mõjul kujunevad põhja- ja lõunapoolne tsirkulatsiooniring, kusjuures Peipsil valdavate läänetuulte puhul on põhjapoolne tsirkulatsioon antitsükloonaalne, lõunapoolne tsükloonaalne; idatuulte korral on tsirkulatsiooni suund vastupidine. Põhja- ja lõnatsuulte mõjul kujunevad kaks pikisuunalist tsirkulatsiooniringi; põhjatuulte korral on läänepoolne tsirkulatsioon tsükloonaalne, idapoolne antitsükloonaalne, lõnatsuultega on tsirkulatsiooni suund vastupidine.

SYSTEMS OF CURRENTS OF LAKE PEIPSI

Data of several measurements and the results of calculations performed on the basis of the three-dimensional unsteady model reveal that there are two main types of current systems which can be divided into two subtypes. The formation of a current depends on the direction of the wind. The system of currents consists of two layers. In the upper layer of the lake ($1/3$ of the upper part of the water) the current mainly moves in the direction of the wind. Two circulations are formed in the lower part of the lake ($2/3$ of the water). With the east and west winds the north and south circulations are formed. If the west winds predominate the north circulation is anticyclonal and the south one is cyclonal; with the east winds the direction of the circulation is the opposite. In the case of the north and south winds two steady circulations are formed: with the north winds the west circulation is cyclonal, with the south winds the direction of the circulations is the opposite.