

## СИНОПТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕЧЕНИЙ В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

Р.Э. Здоровеннов, О. В. Зимон

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

## Введение

Пространственно-временная изменчивость термодинамических полей в глубоких озерах, формирующаяся под влиянием различных процессов, развивается в широких пределах. Она охватывает пространственные масштабы от нескольких метров до десятков и сотен км (величина размеров озер), временные – от секунд до года (Rao, 1977). Мелкомасштабные движения обусловлены вертикальными флуктуациями плотности, процессами опрокидывания поверхностных и коротких внутренних волн, турбулентностью. Максимальные размеры и продолжительность существования в крупных озерах имеют сезонная циркуляция вод, сезонный термоклин, внутренние волны Кельвина, топографические волны, штормовые нагоны, сейши. Несколько меньшие пространственно-временные масштабы имеют термобар, прибрежные апвеллинги, волны Пуанкаре, штормы (Бояринов, Петров, 1991). В крупных озерах наряду с волновыми движениями различных масштабов наблюдаются также вихри с пространственными масштабами, соизмеримыми с размерами озер, моно- и диполи или грибовидные образования, меандры фронтов, струйные течения, шлейфы вод различного происхождения (Филатов, 1991). В глубоких озерах летом формируется сезонный термоклин, отделяющий верхний квазиоднородный слой (ВКС) от нижележащих вод гипolimниона. Заглубление и динамику ВКС определяют ветроволновое и конвективное перемешивание, сейшевые движения, обрушение внутренних волн.

Онежское озеро – один из крупнейших пресноводных водоемов мира. Форма Онежского озера отличается крайне сложным строением, характеризуется вытянутостью в меридиональном направлении и значительной изрезанностью береговой линии в северной и северо-западных частях (рис. 1). Площадь его зеркала – 9692.6 км<sup>2</sup>, объем вод – 291.2 км<sup>3</sup>. Наибольшая длина озера – 290, ширина – 82 км. Средняя глубина – 30, наибольшая – 120 м, преобладают глубины от 20 до 60 м (57% площади озера) (Экосистема., 1990). Климатические условия района Онежского озера определяются преобладанием в течение всего года западного переноса воздушных масс, малым количеством поступающей солнечной радиации и рельефом местности. Климатический режим региона характеризуется как переходный от морского к континентальному с продолжительной мягкой зимой, коротким прохладным летом и неустойчивой погодой во все сезоны года. Над озером доминируют ветры от южного до западного направлений. В июне-июле среднемесячная скорость ветра минимальна и составляет 4-5 м·с<sup>-1</sup>, в августе-сентябре она увеличивается до 6-7, в октябре-декабре – до 7-9 м·с<sup>-1</sup> (Онежское., 1999; Экосистема., 1990). Преобладающими течениями в Онежском озере являются ветровые (дрейфовые и градиентные), плотностные, стоковые, длинноволновые, обусловленные сейшами и внутренними волнами. Постоянной циркуляции вод в озере не наблюдается,

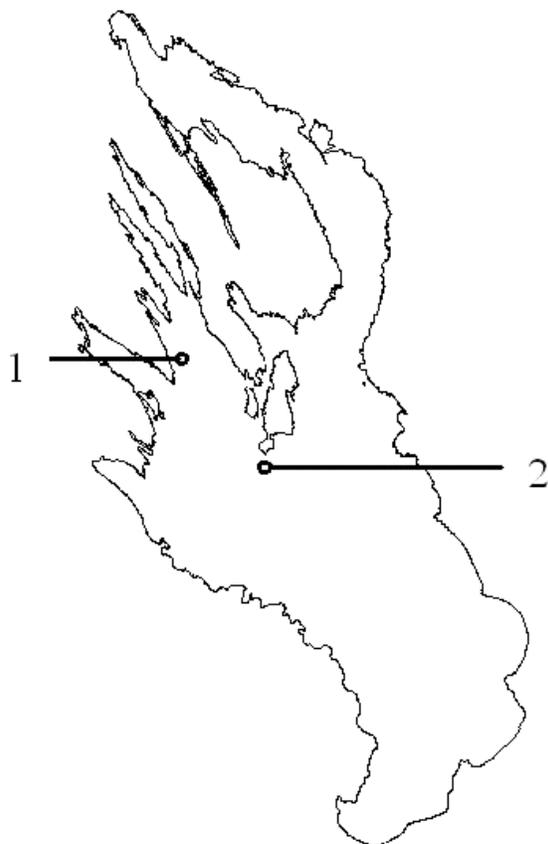


Рис. 1. Онежское озеро

1 – пункт измерения течений, температуры воды,  
2 – гидрометеорологическая станция Маячный.

различные схемы циркуляции определяются характерными ветровыми полями, в целом, особенно в нижних слоях, отмечается преобладающее циклоническое вращение вод (Экосистема., 1990).

### Материалы и методы

В основе исследований синоптической изменчивости течений в Онежском озере лежат данные, полученные сотрудниками Отдела водных проблем Карельского филиала АН СССР в ходе экспедиции в заливе Большое Онего в период с 27.05 по 12.10.77, когда были проведены измерения течений и температуры воды на разных горизонтах (рис. 1).

Для измерения течений и температуры использовался прибор «RCM-4» (Aanderaa, Норвегия), установленный на горизонте 25 м (дискретность измерений – 10 мин.). Глубина в месте постановки прибора составляла 29.5 м. Данные по скоростям и направлениям ветра были получены на ГМС Маячный в период 15.05-31.10.77 (дискретность измерений – 3 ч.).

Температура воды на горизонте 25 м с конца мая до середины августа повысилась с 2.5 до 7.0°C, затем к началу сентября понизилась до 5.0°C (рис. 2). В период с 12.07 по 24.08.77 на горизонте 25 м наблюдалась изменчивость температуры в пределах 5.0-12.0°C с периодом 5-8 сут., что могло быть проявлением внутренних волн. В период 04-13.09.77 наблюдалось постепенное повышение температуры на горизонте наблюдения до 11.0°C, что могло быть связано с обрушением внутренних волн и ветровым перемешиванием водной толщи. За весь период измерений температура на горизонте 25 м изменялась в пределах 2.5-12.0, среднее значение 6.6°C. Скорости течений за весь период измерений изменялись в пределах 1.3-13.5, среднее значение – 2.4 см·с<sup>-1</sup>. Скорости ветра за период измерений изменялись от 0 до 21, среднее значение – 6 м·с<sup>-1</sup> (рис. 3).

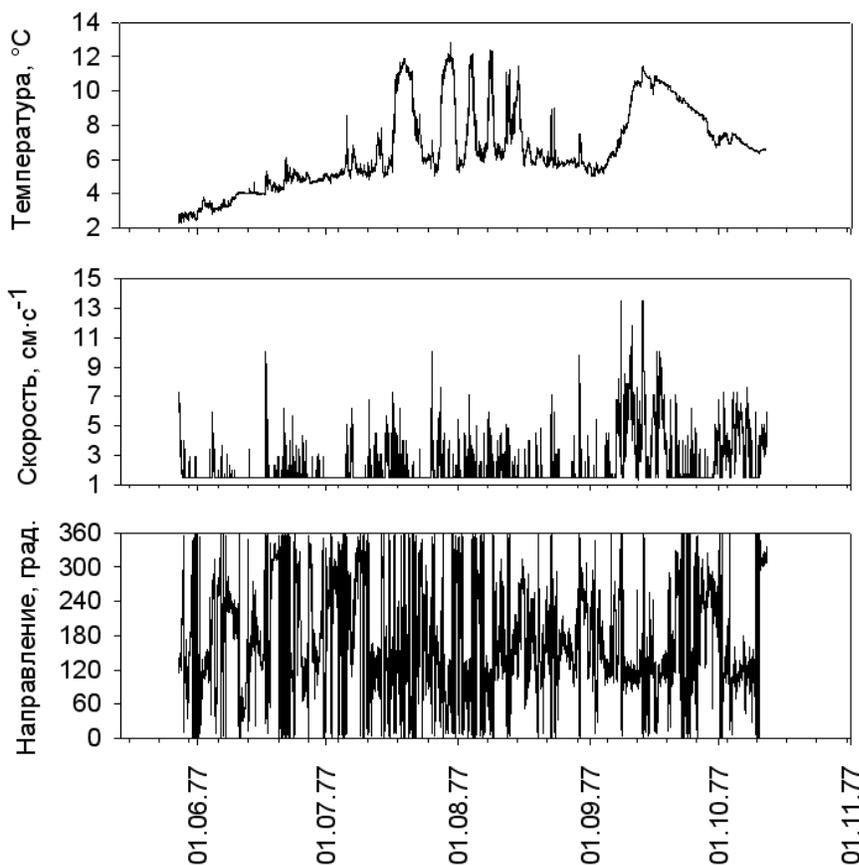


Рис. 2. Временная изменчивость температуры, скоростей и направлений течений, зафиксированная в заливе Большое Онего в период с 27.05 по 12.10.77 (дискретность измерений – 10 мин.).

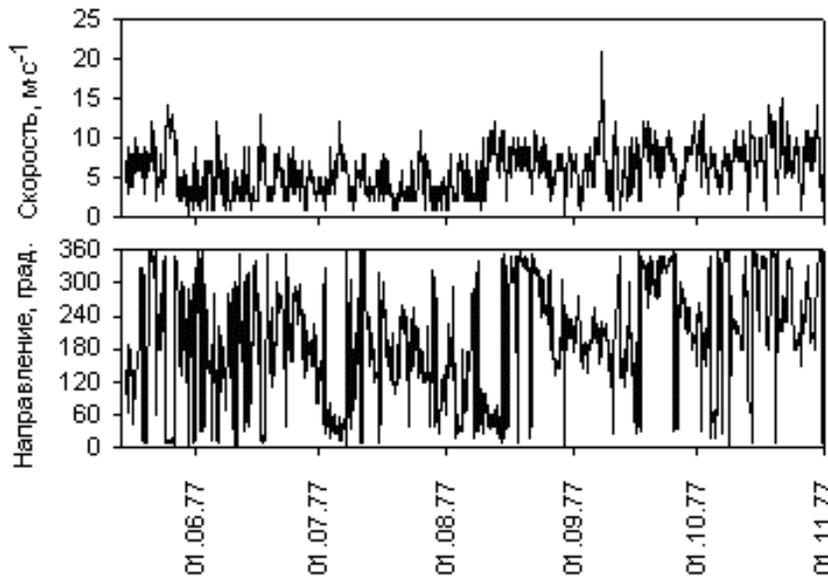


Рис. 3. Временная изменчивость скоростей и направлений ветра, зафиксированная на ГМС Маячный в период 15.05-31.10.77 (дискретность измерений – 3 ч)

#### Результаты и обсуждение

Анализ результатов натурных измерений течений показал наличие высокочастотной изменчивости их скоростей и направлений с периодами минуты-часы. Для оценки влияния синоптических процессов на изменчивость течений и выявления периодичностей, присутствующих в колебаниях температуры, течений и ветра, данные были подвергнуты спектральному анализу на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье и кросс-спектральному анализу. Скорости и направления течений и ветра были разложены на составляющие на параллель ( $U$ ) и меридиан ( $V$ ), полученные ряды выведены на стационарный режим.

Проведенный спектральный анализ выявил наличие статистически значимых колебаний с периодами: в рядах температуры – 12-16 и 5-6, компоненты течений  $U$  – 9-13, 5-6 и 2,  $V$  – 10, 5-7 и 3, компоненты ветра  $U$  – 8-10, 5-6 и 3,  $V$  – 11 и 7 сут., что неплохо согласуется с данными, полученными другими исследователями (Экосистема..., 1990; Петрозаводское..., 1984). Кросс-спектральный анализ рядов течений и ветра показал наличие статистически значимых колебаний с периодами: по компоненте  $U$  – 17, 10, 7, 6, 3, по компоненте  $V$  – 25, 14, 9, 6, 3, 2 сут. (рис. 4). Значения функции когерентности изменчивости компонент ветра и течений на частотах синоптических периодов составили 0.6-0.8 (рис. 5).

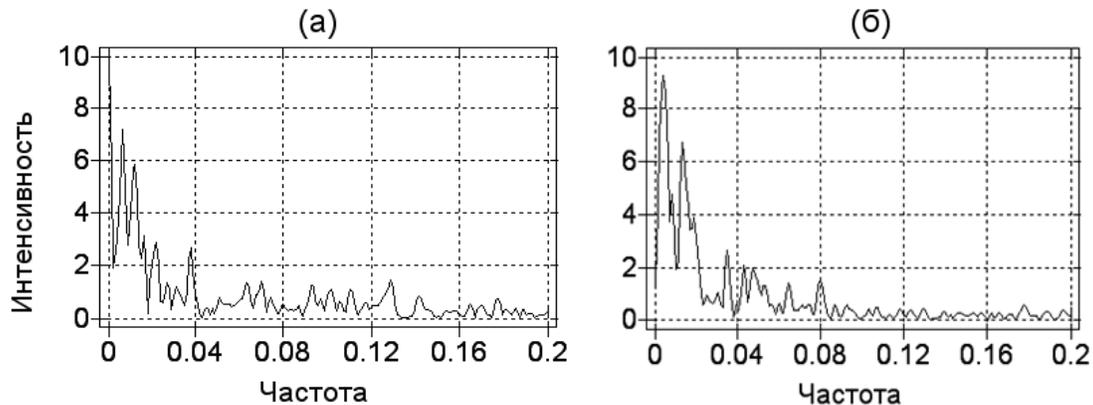


Рис. 4. Кросс-спектр компонент ветра и течений  $U$  (а) и  $V$  (б)

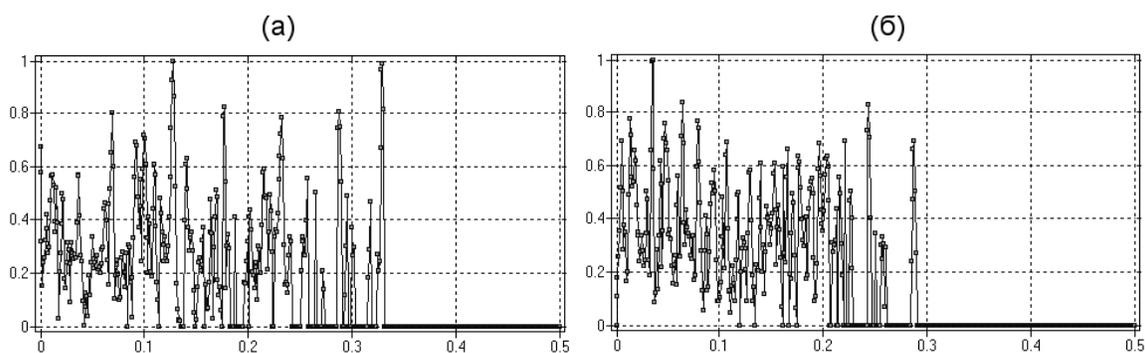


Рис. 5. Функция когерентности изменчивости компонент ветра и течений  $U$  (а) и  $V$  (б)

### Заключение

Таким образом, проведенный спектральный и взаимоспектральный анализ рядов позволяет говорить о том, что основной вклад в флуктуации скоростей течений вносят низкочастотные колебания, обусловленные синоптической изменчивостью поля ветра над озером. В дальнейших исследованиях будет проанализирована взаимосвязь изменчивости скоростей течений и температуры воды на горизонтах 5, 10, 15 м и поля ветра над озером в период измерений.

### Литература

- Бояринов П.М., Петров М.П. Процессы формирования термического режима глубоких пресноводных водоемов. Л., 1991. 176 с.  
 Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск, 1999. 293 с.  
 Петрозаводское Онего и его лимнические особенности. Петрозаводск, 1984. 191 с.  
 Филатов Н.Н. Гидродинамика озер. СПб., 1991. 200 с.  
 Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л., 1990. 264 с.  
 Rao D.V. Great lakes environmental research laboratory // U. S. Dep. Commer. Nat. Ocean. And Atmos. Admin. Nat. Mar. Fish. Serv. Spec. Sci. Rept.-Fisch. 1977. 23 p.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА

Г.Э. Здравеннова, Д.А. Никельс

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН  
Санкт-Петербургский государственный университет*

### Введение

Изучение сезонной изменчивости гидрофизических характеристик, определяющих качество воды в озерах необходимо для прогноза и оценки состояния их экосистем. Одним из основных параметров при этом является температура водной толщи мелководного озера, определяющая многие химико-биологические процессы. Температурный режим покрытого льдом озера играет значительную роль в возникновении и поддержании циркуляции и перемешивания внутри водной толщи, перераспределения различных химических элементов и оказывает, таким образом, существенное влияние на функционирование озерных экосистем в зимний период. Цель работы – выявить основные закономерности межгодовой и внутрисезонной изменчивости термической структуры мелководного озера в период ледостава на основе анализа данных многолетних натуральных наблюдений для последующего использования в прогностической модели его термического режима.