

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.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования было выбрано оз. Вендюрское (площадь зеркала 10.4 км², объем вод ~5.5·10⁷ м³, средняя глубина 5.3, максимальная – 13.4 м), расположенное в южной части Карелии (широта 62°10'-62°20'N, долгота 33°10'-33°20'E). Оно принадлежит к бассейну водной системы р. Суны, впадающей в Онежское озеро. Котловина озера ледникового происхождения длиной ~7.0, шириной ~1.5-2.0 км, вытянута с запада на восток. Речной сток в озеро невелик. Коэффициент условного водообмена озера равен 0.3. Донные отложения представляют собой песок на мелководье и коричневые и темно-коричневые илы в глубоководной части озера. Толщина слоя илов достигает 0.4-1.0 м (Литинская, Поляков, 1975).

В работе использовались натурные данные, полученные в ходе ежегодных гидрофизических исследований Института водных проблем Севера КарНЦ РАН на оз. Вендюрском, которые проводятся начиная с 1994 г. до настоящего времени. Полевые исследования включают постановку термокос и измерения на разрезах (рис. 1). Для измерений температуры используются приборы «TR-1» (на термокосах), «TCD»-зонд, «RCM-4» норвежской фирмы "Aanderaa Instruments". Сведения о приборах с указанием измеряемых параметров, диапазона измерений, точности, разрешающей способности приведены в работах (Malm et al., 1996, 1997).

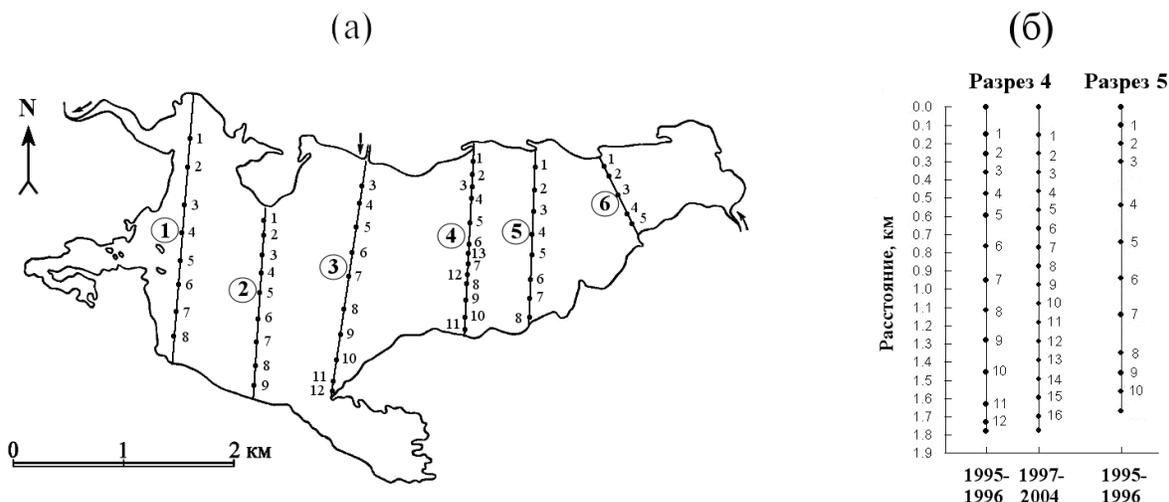


Рис. 1. Положение пространственных разрезов (номера в кружках) и станций на оз. Вендюрском:

а – в 1994 г., б – положение станций на 4-м разрезе в 1995-2004 гг., на 5-м разрезе в 1995-1996 гг. (расстояние от северного берега, км)

Результаты и обсуждение

Анализ данных термокос и вертикальных измерений температуры на разрезах в 1994-2005 гг. позволил сделать следующие заключения по характеру межгодовой и сезонной изменчивости термической структуры водной толщи оз. Вендюрского в течение зимы.

Период ледостава на озере продолжается 170-190 дней, однако в отдельные годы он существенно короче: в 1996-1997 гг. ледостав продолжался 154 дня. Период зимнего подледного прогрева озера, обусловленного теплообменом его водной массы с донными отложениями, продолжается ~135-155 дней. Весенний подледный прогрев озера, вызванный проникновением солнечной радиации под лед, нагреванием подледного слоя воды и развитием процесса свободной конвекции начинается обычно в конце марта-начале апреля и продолжается ~30-35 дней, однако в отдельные годы он сокращается до 20 или продолжается более 40 дней.

Зимой водная толща оз. Вендюрского характеризуется непрерывным увеличением значений температуры от нижней поверхности льда до дна. В водной толще озера существует тонкий слой

воды, температура и глубина залегания которого на протяжении зимы остаются практически неизменными (вплоть до начала весеннего подледного прогрева). Температура и глубина залегания этого слоя изменяются от года к году в пределах 0.4-1.6 °С (рис. 2, а) и 0.9-1.9 м (рис. 2, б), соответственно. Выше этого слоя происходит постепенное понижение температуры в течение зимы, ниже – повышение.

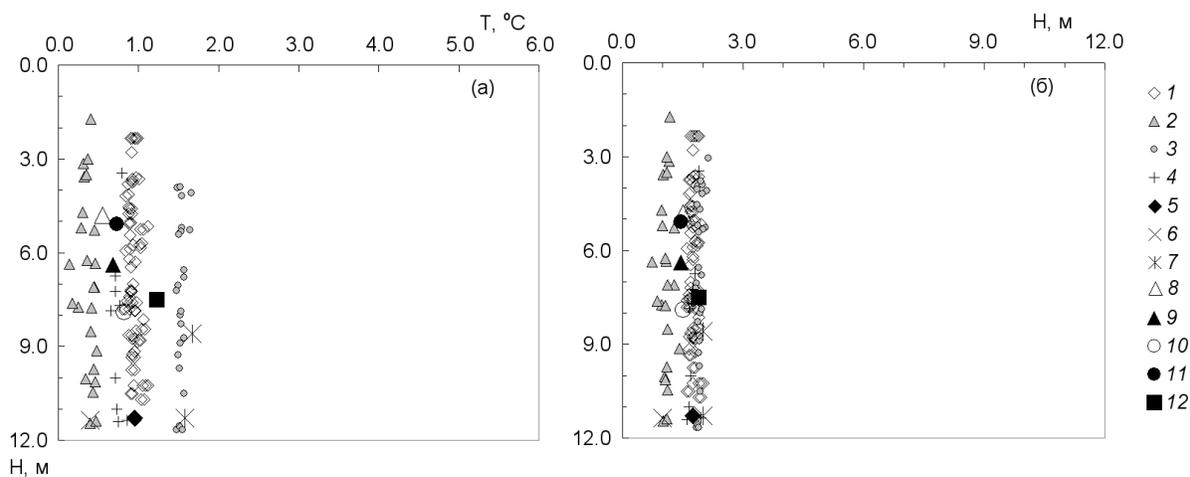


Рис. 2. Температура, °С (а) и глубина залегания, м (б) слоя с постоянной температурой по данным измерений в разные годы

1-4 – измерения на разрезах в 1994-1995, 1995-1996, 1998-1999, 2001-2002 гг., 5-12 – измерения на термокосах в 1994-1995, 1995-1996, 1998-1999, 1996-1997, 1997-1998, 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005 гг. соответственно

Существование такого слоя можно объяснить следующим. Перед ледоставом озеро охлаждается в состоянии гомотермии. Тепло из донных отложений переходит в воду, а из воды в атмосферу, таким образом, водная масса озера и донные отложения теряют тепло, накопленное за период открытой воды. В разные годы в зависимости от длительности и погодных условий предледоставного периода озеро замерзает при средней температуре водной массы от 0.8 до 2.3 °С. Сразу после появления льда на озере теплопотери из водной массы в атмосферу существенно сокращаются, а переход тепла из донных отложений в воду продолжается, т. к. температура придонных слоев водной толщи в начальный период ледостава ниже температуры верхнего слоя донных отложений. При этом на мелководьях скорость повышения температуры водной толщи существенно ниже, чем на средних глубинах и в глубоководной части озера. К концу зимы температура придонного слоя воды в глубоководной части озера повышается до 4.5-5.5, в области средних глубин – до 3.0-4.0, на мелководьях – до 2.0-3.0 °С. С первых же дней ледостава водная толща озера из состояния гомотермии переходит в состояние стратификации. На нижней границе льда поддерживается температура замерзания на протяжении всего периода ледостава. По мере увеличения толщины льда и опускания границы, на которой поддерживается нулевая температура, происходит понижение температуры тонкого слоя подледных вод. Можно предположить возможность существования в водной толще озера на некоторой глубине подо льдом слоя, на температуре которого до некоторого момента времени не будут сказываться ни охлаждение сверху, ни нагревание снизу. В связи с тем что год от года интенсивность теплообмена водной массы озера с донными отложениями несколько отличается, что определяется условиями предледоставного периода, глубина залегания такого слоя в разные годы также будет несколько отличаться. Межгодовое отличие температуры этого слоя связано с тем, что ледостав на озере в разные годы начинается при различной температуре водной массы.

Используя данные термокос и измерений температуры на разрезах, проведенных в разные периоды ледостава 1994-2005 гг., были выведены регрессионные зависимости между температурой

замерзания озера и температурой вышеназванного слоя (рис. 3, а) и температурой и глубиной залегания этого слоя (рис. 3, б).

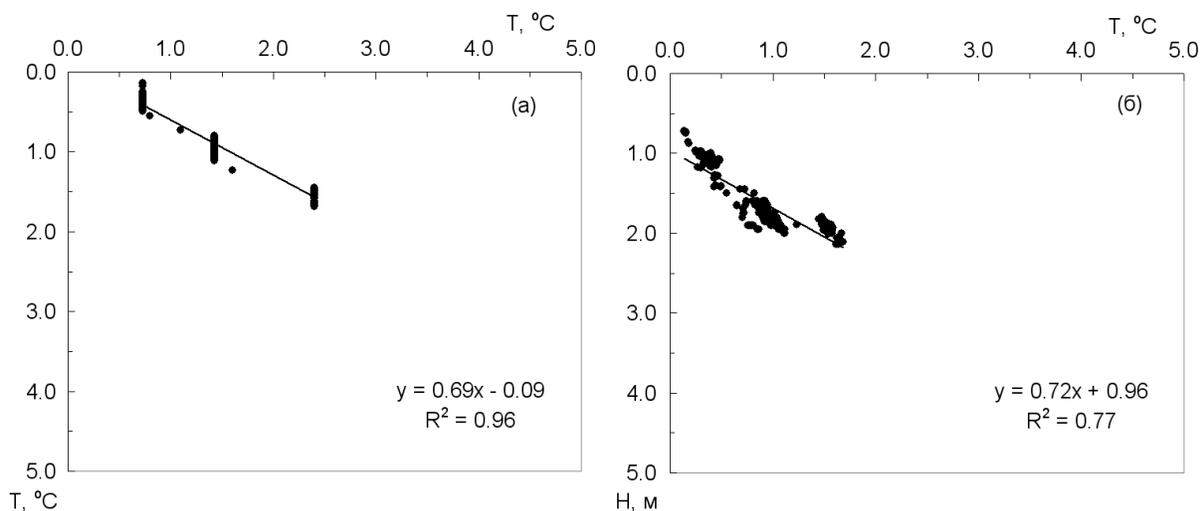


Рис. 3. Регрессионные зависимости между:

(а) – температурой, при которой озеро замерзло (по оси абсцисс), и температурой слоя с не изменяющейся в течение зимы температурой (по оси ординат), (б) – между температурой и глубиной залегания этого слоя (по данным измерений в разные годы).

Эти зависимости позволяют по имеющимся данным о температуре замерзания озера рассчитывать температуру и глубину залегания слоя с не изменяющейся в течение зимы температурой

Заключение

Таким образом, при анализе зимнего термического режима мелководного озера целесообразным представляется рассматривать его водную толщу, состоящую из двух слоев – верхнего (от нижней границы льда до глубины 1.5-2.0 м) и нижнего (от 1.5-2.0 м до дна). Температура верхнего слоя в течение зимнего сезона вплоть до начала весеннего подледного прогрева понижается, нижнего – повышается. Используя установленные регрессионные зависимости, по данным о температуре замерзания озера можно рассчитать температуру и глубину залегания слоя с не изменяющейся в течение зимы (до начала весеннего подледного прогрева) температурой. Полученные данные в дальнейшем будут использованы при подборе аппроксимирующей функции, описывающей временную изменчивость температуры водной толщи оз. Вендюрского в период ледостава. Такая функция может использоваться для предвычисления температуры водной толщи в период ледостава других мелководных озер, относящихся к тому же типу, что и оз. Вендюрское, при отсутствии на них регулярных наблюдений.

За предоставленные данные, участие в анализе результатов и ценные советы авторы глубоко признательны сотрудникам лаборатории гидрофизики Института водных проблем Севера КарНЦ РАН: к.т.н. А.Ю. Терзевеику, к.г.н. П.М. Бояринову, М.П. Петрову, к.г.н. Н.И. Пальшину, А.В. Митрохову, к.г.н. Р.Э. Здорвеннову.

Литература

1. Литинская К.Д., Поляков Ю.К. Озера Вендюрской группы – Урос, Риндозеро, Вендюрское // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1975. С. 57–66.
2. Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. A field study of Thermo- and Hydrodynamics in three Small Karelian Lakes during winter 1994/1995. Lund, 1996. № 3197. 220 p.
3. Malm J., Terzhevik A., Bengtsson L., Boyarinov P., Glinsky A., Palshin N., Petrov M. Temperature and Hydrodynamics in Lake Vendurskoe during Winter 1995/1996. Lund, 1997. № 3213. 210 p.