

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СЕТОЧНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В БОЛЬШИХ ОЗЕРАХ (НА ПРИМЕРЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА)

Баклагин В.Н.¹

¹*Институт водных проблем Севера, Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, Россия (185030, г.Петрозаводск, пр. А. Невского, 50), e-mail: slava.baklagin@mail.ru*

Показано решение важной задачи моделирования водных объектов, в частности больших озер – выбор параметров сеточной области, описывающей котловину моделируемого водного объекта. Для описания котловины Онежского озера использовались две сеточные области: сеточная область с горизонтальным шагом сетки – 2600 м, сеточная область с горизонтальным шагом – 1000 м. Показано, что сеточная область с горизонтальным шагом сетки – 2600 м позволяет описать круглогодичную циркуляцию термогидродинамических процессов Онежского озера в целом для центральной его части и вполне корректно может использоваться для Ладожского озера ввиду простой морфометрии. Однако данная сетка не позволяет описать термогидродинамику отдельных губ и заливов озера, а также мелкомасштабных явлений из-за недопустимого осреднения особенностей рельефа дна, влияний климатических характеристик, скоростного режима течений. Использование сеточной области с горизонтальным шагом – 1000 м позволяет воспроизводить циркуляцию вод в разных акваториях Онежского озера, мелкомасштабные по времени явления, волны Кельвина и Пуанкаре. На основании проведенных расчетов можно заключить, что моделирование с использованием сеточной области 1000 м позволяет корректное воспроизведение скоростного и термического режима Онежского озера для дальнейшего использования результатов моделирования для вычислительного эксперимента с экологической моделью.

Ключевые слова: моделирование термогидродинамики, сеточная область, шаг сетки.

CHOICE OF GRID SIZE FOR MODELING OF THERMOHYDRODYNAMICAL PROCESSES AND PHENOMENA IN LARGE LAKES (BY EXAMPLE OF LAKE ONEGO)

Baklagin V.N.¹

¹*Institute of Northern Water Problems, Karelian Research Center, RAS, Petrozavodsk, Russia (Petrozavodsk, 185030, Av. A. Nevskogo, 50), e-mail: slava.baklagin@mail.ru*

The decision important a problem of modeling of water objects, in particular, large lakes is a choice of parameters of the grid area describing of basin of modelled water object. Two grid areas were used for the description of a basin of Lake Onego: grid area with a horizontal step size – 2600 m, net area with a horizontal step size – 1000 m. It is shown that the grid area with a horizontal step size – 2600 m allows describing of year-round circulation of thermohydrodynamic processes of Lake Onega as a whole for its central part and quite correctly can be used for Lake Ladoga in view of a simple morphometry. However, this grid does not allow describing of thermohydrodynamics of separate lips and lake gulfs, and the small-scale phenomena because of inadmissible averaging of features of a relief of a bottom, influences of the climatic phenomena, a high-speed mode of currents. Grid area with a horizontal step size – 1000 m allows reproducing of circulation of waters in different water areas of Lake Onega, the small-scale phenomena on time, Calvin and Poincare's waves. Based on the carried-out calculations it is possible to conclude that modeling with grid area with horizontal step size – 1000 m probably correct reproduction of thermohydrodynamic of Lake Onega for using aims of the simulation results for computing experiment with ecological model.

Keywords: thermohydrodynamics modeling, grid area, grid step.

Водные ресурсы Онежского озера играют важную роль в экономике Севера России. На берегах Онежского озера проживает около 30% населения республики. Основными пользователями озера является промышленность, которая представлена в основном целлюлозно-бумажным производством, переработкой леса. Озеро является источником

питьевого водоснабжения, чистых вод для Ладожского озера, важным объектом гидроэнергетики, водного транспорта, рекреации и рыбного хозяйства. В связи с этим проблема сохранения и рационального использования водных ресурсов Онежского озера весьма актуальна. Необходимо решить задачи термогидродинамики Онежского озера и его экосистемы, задачи распространения пассивной примеси (загрязнений), а также задач, связанных с определением допустимой биогенной нагрузки по азоту и фосфору, которые позволят разработать рекомендации по сокращению сброса загрязнений [1].

Основными целями моделирования течений и термического режима озера является воспроизведение крупномасштабной циркуляции в климатических и сезонных масштабах для описания процессов антропогенного эвтрофирования озера, а также для оценки изменения водной экосистемы под влиянием климатических изменений и антропогенного фактора.

Моделирование термогидродинамического режима озера предполагает, что исследования ставят перед собой задачу воспроизведения явлений того или иного пространственного и временного масштаба [1; 4]. Выбор этого масштаба (по времени и пространству) зависит от того, какие цели поставлены перед данными исследованиями, а также от количества данных об изучаемом объекте. Определенные ограничения также накладываются на выбор масштабов мощности ЭВМ, даже несмотря на имеющиеся тенденции к росту их производительности и возможности распараллеливания вычислительных потоков.

Основная цель исследований – выбор оптимальных параметров трехмерной сеточной области, описывающей водное пространство, и временного шага для числовых вычислений термогидродинамики Онежского озера и его экосистемы.

Исследования показывают, что различные процессы и явления термогидродинамики озера требуют сложных теоретических исследований и математических моделей, которые реализованы на мощных компьютерных системах. В некоторых случаях нет необходимости моделировать весь широкий диапазон процессов термогидродинамики явлений в озерах для использования результатов моделирования в моделях экосистем озера в климатических временных рамках (много лет). При моделировании экосистемы больших озер в климатическом масштабе необходимо лишь описание движений основной массы воды в озере.

Остальные мезомасштабные и микромасштабные явления, происходящие в озерах, должны параметризоваться. В этом случае важную роль играет выбор размеров сеточной области, а также временного шага моделирования.

На рис. 1 представлены пространственно-временные масштабы динамических процессов и явлений в озерах [4].

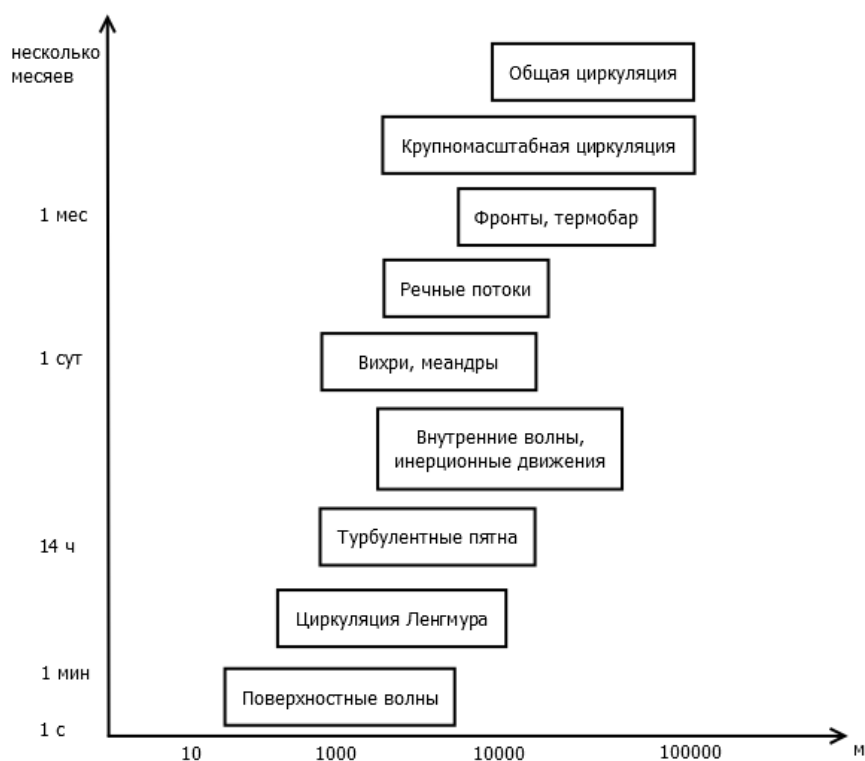


Рис. 1. Пространственно-временные масштабы динамических процессов и явлений в озерах [2].

При моделировании крупномасштабной циркуляции для больших озер временной интервал может быть взят в качестве синоптического масштаба, т.е. временной интервал 5–7 дней [4; 5].

В настоящее время широко известны трехмерные математические модели, которые воспроизводят термогидродинамические процессы и явления, происходящие в озере, с высокой достоверностью. Примерами этих моделей могут служить POM, ELCOM, EFDC, NEMO. Однако в данных исследования использовалась трехмерная математическая модель, разработанная в Санкт-Петербургском институте экономики и математики РАН (Л.А. Руховец, Г.П. Астраханцев и др.), поскольку данная модель включает экологический блок для оценки изменений озерной экосистемы [1].

Данная модель с успехом была применена для моделирования термогидродинамики и экосистемы Ладожского озера, а позже была адаптирована для исследований Онежского озера. Однако, в отличие от Ладожского, Онежское озеро имеет гораздо более сложную морфометрию из-за наличия большого числа вытянутых губ и заливов. И как результат, вода не может перемешиваться между разными частями озера.

Изначально расчеты велись на сетке с размером горизонтального шага – 2600 м. Эта сеточная область имеет по горизонтальной оси X – 81 узел, по горизонтальной оси Y – 41

узел и вертикальной оси Z – 27 узлов и описывает водное пространство Онежского озера 24 414 счетными узлами. Трехмерная модель котловины Онежского озера, реализованная сеточной областью с размером горизонтального шага – 2600 м, представлена на рис. 2.

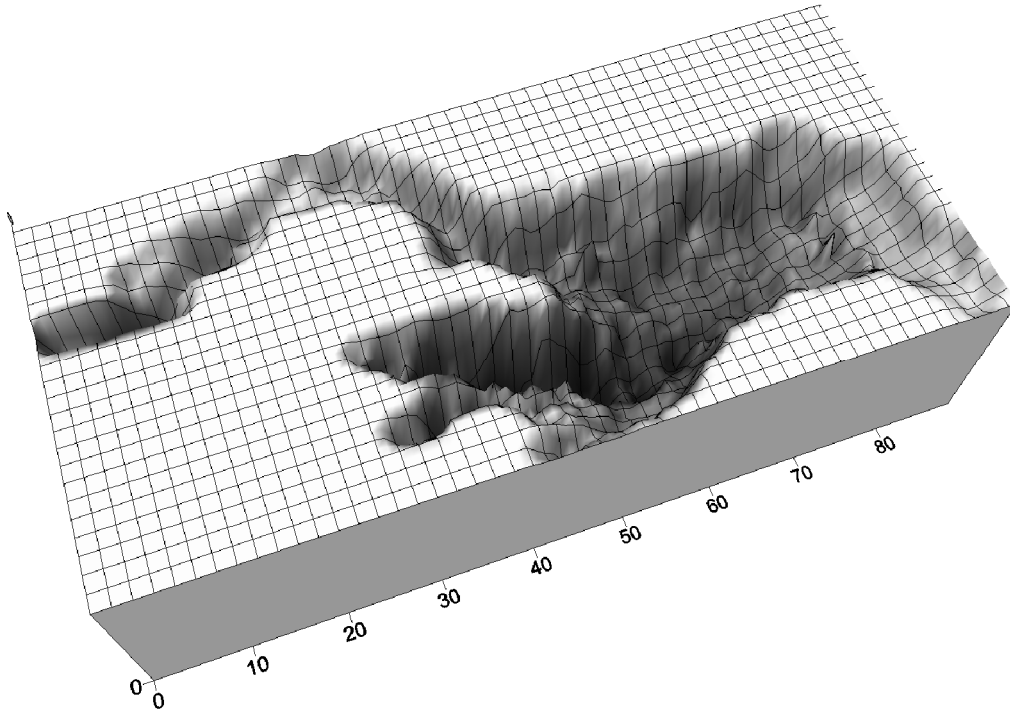


Рис. 2. Трехмерная модель котловины Онежского озера, реализованная сеточной областью с размером горизонтального шага – 2600 м.

Результаты вычислительных экспериментов показали, что количества счетных узлов данной сеточной области достаточно для воспроизведения круглогодичной циркуляции термогидродинамических процессов Онежского озера в целом, учитывая особенности основной (центральной) части водоема.

Такая сеточная область может использоваться для описания циркуляции Ладожского озера, которое имеет более простую морфометрию (без сложных по морфометрии губ и заливов). На рис. 3 представлена горизонтальная проекция сеточной области Онежского озера с количеством узлов, которые описывают некоторые части озера.

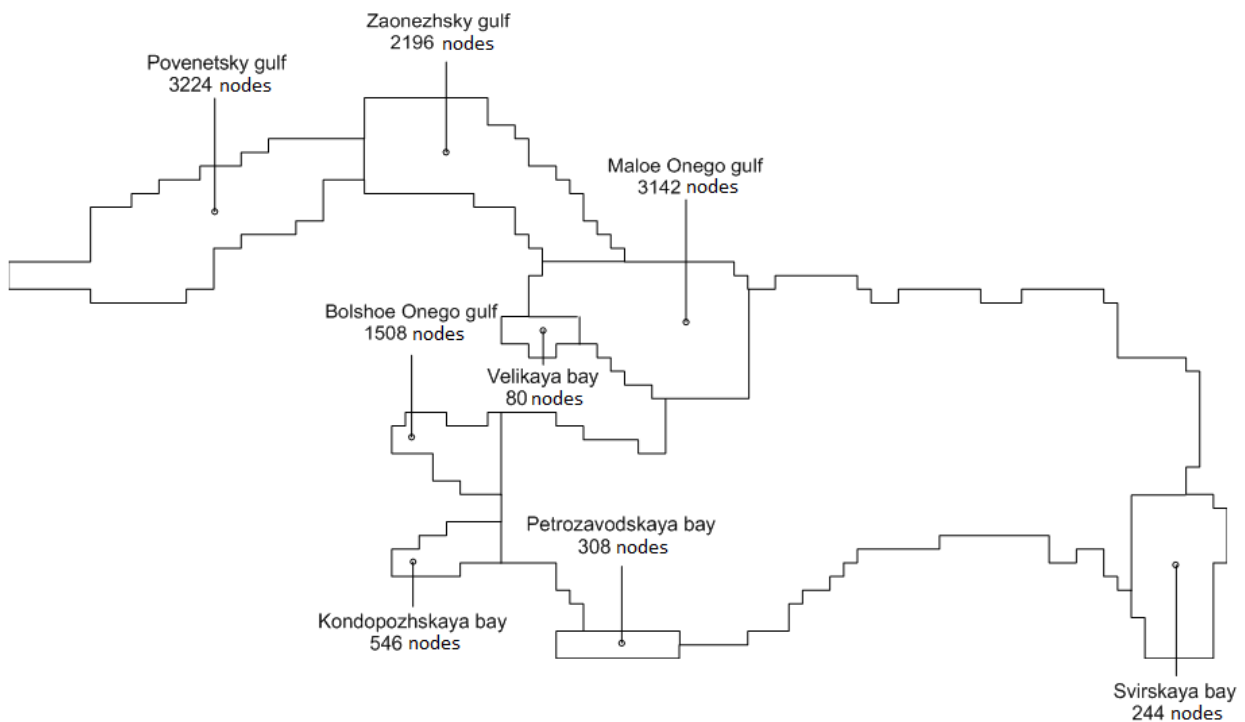


Рис. 3. Горизонтальная проекция сеточной области с размером горизонтального шага – 2600 м.

Однако для воспроизведения циркуляции течений и термических полей отдельных губ и заливов озера количество счетных узлов этой сеточной области является не достаточным, поскольку отдельные бассейны Онежского озера представлены малым количеством узлов. А некоторые части озера не представлены совсем. Поэтому воспроизведение циркуляций течений в отдельных губах и заливах с использованием данной сетки будет некорректным. В частности, этому способствует недостаточно точное воспроизведение береговой линии, а также батиметрии данной части озера.

Для моделирования явлений в центральной части, а также в губах и заливах Онежского озера была разработана и применена новая сеточная область с размером горизонтального шага – 1000 м [2]. При этом временной шаг счета была уменьшен до 1 дня, поскольку период жизни некоторых моделируемых явлений, воспроизведение которых можно осуществить ввиду использования новой сетки, всего лишь несколько суток.

Данная сеточная область имеет по горизонтальной оси X – 227 узлов, по горизонтальной оси Y – 104 узла и вертикальной оси Z – 27 узлов и описывает водное пространство Онежского озера 152 934 счетными узлами. Большое количество счетных узлов накладывает определенные ограничения на мощности ЭВМ, однако современные компьютеры способны распараллеливать вычислительные потоки на несколько ядер [3]. Трехмерная модель котловины Онежского озера, реализованная сеточной областью с размером горизонтального шага – 1000 м, представлена на рис. 4.

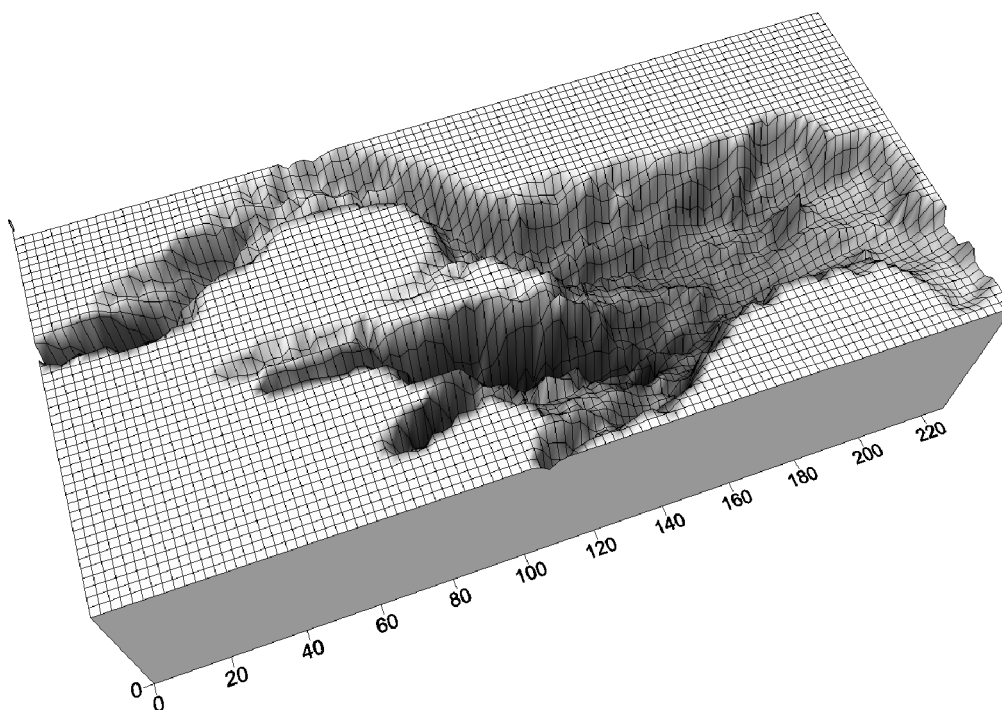


Рис. 4. Трехмерная модель котловины Онежского озера, реализованная сеточной областью с размером горизонтального шага – 1000 м.

На рис. 5 представлена горизонтальная проекция сеточной области с размером горизонтального шага – 1000 м Онежского озера с количеством счетных узлов в пространственной сетке, которым представлена каждая из губ (заливов). По рис. 6 можно отметить, что береговая линия Онежского озера описана данной сеточной областью более корректно.

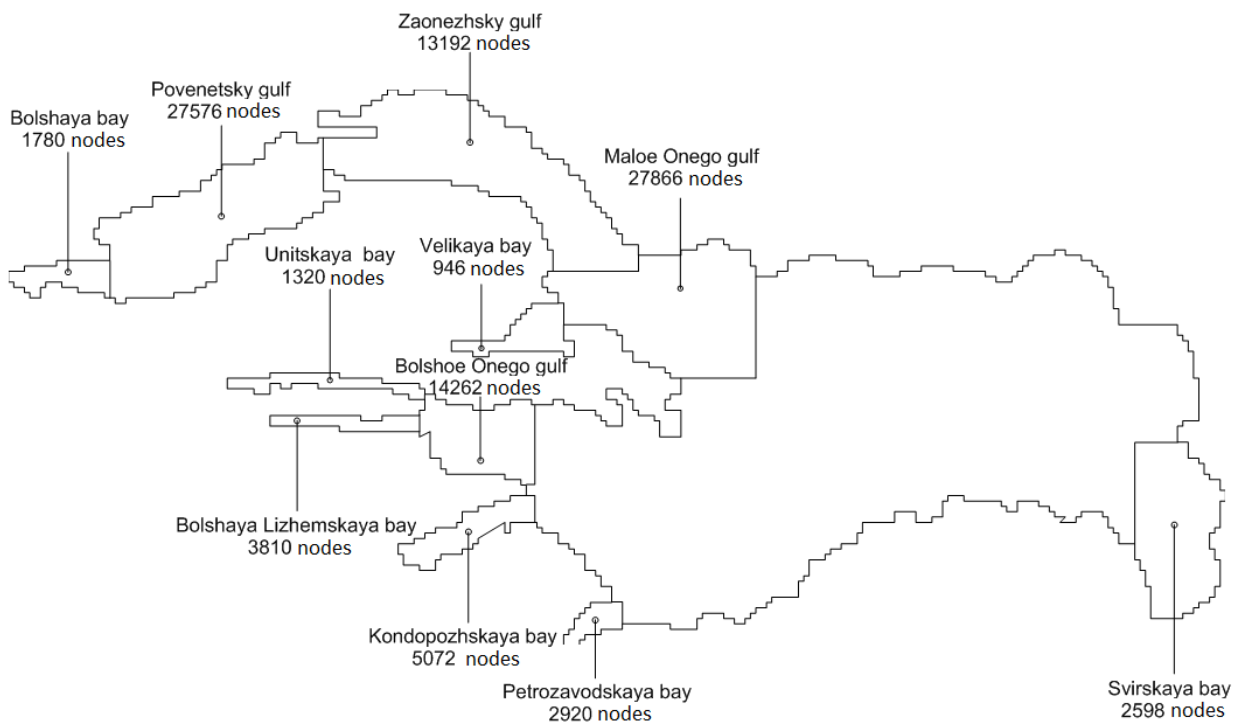


Рис. 5. Горизонтальная проекция сеточной области с размером горизонтального шага – 1000 м Онежского озера с количеством счетных узлов в пространственной сетке.

Сравнительный анализ по количеству счетных узлов представлен в таблице 1. По таблице можно отметить, что на мелкой сетке наиболее крупные губы (заливы) Онежского озера представлены большим количеством узлов, по сравнению с крупной сеткой, в среднем в 8-10 раз. А водное пространство таких губ, как Уницкая, Большая Лижемская, и губа Большая, представлено только на мелкой сетке.

Таблица 1

Сравнительный анализ количества счетных узлов по сеточным областям с размерами ячеек 2600 и 1000 м

Название губы (залива)	Количество счетных узлов, описывающих водное пространство		Отношение количества счетных узлов 1000/2600
	Шаг сетки 1000 м	Шаг сетки 2600 м	
Петрозаводская губа	2920	308	9,5
Кондопожская губа	5072	546	9,3
Залив Большое Онего	14262	1508	9,5
Повенецкий залив	27576	3224	8,6
Заонежский залив	13192	2196	6,0
Залив Малое Онего	27866	3142	8,9
Губа Великая	946	80	11,8
Свирская губа	2598	244	10,6
Уницкая губа	1320	-	-
Губа Большая Лижемская	3810	-	-
Губа Большая	1780	-	-

Выводы

Большее количество счетных узлов сеточной области позволит более точно учитывать передачу тепла «атмосфера-озеро», а также между ячейками озера; также даст возможность более детально описывать передачу кинетической энергии ветра через тангенциальные напряжения сил ветра [6]. Откуда следует, что количество ячеек сеточной области, используемое для описания водного пространства озера, определяет адекватность описания теплового потока, проходящего через поверхность озера.

Использование новой сеточной области с размером горизонтального шага – 1000 м позволит корректное описание циркуляций течений не только в центральной части озера, но и в отдельных губах (заливах), поскольку отдельные части озера представлены большим количеством счетных узлов. Это играет очень важную роль при моделировании экосистемы озера, в особенности если в заливе или губе озера имеется точечный источник биогенного вещества (фосфор, азот). Результаты расчетов скоростного и термического режима Онежского озера с использованием данной сетки будут использоваться для вычислительного

эксперимента с экологической моделью для оценки изменения водной экосистемы под влиянием изменения климата и антропогенного фактора.

Список литературы

1. Астраханцев Г.П., Меншуткин В.В., Петрова Н.А., Руховец Л.А. Моделирование экосистем больших стратифицированных озер. – СПб. : Наука, 2003. – 363 с.
2. Баклагин В.Н. Построение математической модели котловины Онежского озера // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2013. – № 3. - URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1767>.
3. Баклагин В.Н. Реализация распараллеливания алгоритмических структур, моделирующих экосистему озерных объектов, на многоядерные процессоры // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2013. – № 3 URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1750>.
4. Меншуткин В.В., Показеев К.В., Филатов Н.Н. Гидрофизика и экология озер. Экология. – М. : Физический факультет МГУ, 2004. – 280 с.
5. Показеев К.В., Филатов Н.Н. Гидрофизика и экология озер. Гидрофизика – М. : Физический факультет МГУ, 2002. – 275 с.
6. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. - М. : Мир, 1980. – 616 с.

Рецензенты:

Филатов Н.Н., д.г.н., профессор кафедры географии Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск.

Карпечко Ю.В., д.г.н., ведущий научный сотрудник лаборатории географии и гидрологии ИВПС КарНЦ РАН, г. Петрозаводск.