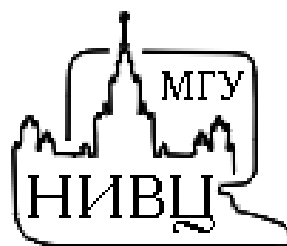


Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова

**Научно-исследовательский
вычислительный центр**



В. М. Степаненко

**Руководство по использованию
численной модели
термодинамики водоема НИВЦ МГУ**

Москва - 2007

Введение

Модель Lake – одномерная термодинамическая модель водоема, которая может быть использована как в автономном режиме (когда атмосферное воздействие в виде временных рядов метеорологических величин в приводном слое задано), так и внутри климатической (атмосферной) модели. Модель рассчитывает распределение температуры и солености в водоеме, а также турбулентные потоки тепла и влаги над ним. В зимний период рассчитывается эволюция ледяного и снежного покрова, и температура в этих средах. Под водоемом рассматривается слой грунта, в котором вычисляется перенос тепла, а также жидкой влаги с учетом ее возможного замерзания (образования мерзлоты). Более подробно физическая постановка задачи, численные алгоритмы ее решения, а также результаты проверки модели с привлечением данных наблюдений изложены в работах ([Степаненко, 2004](#); [Степаненко, 2005](#); [Степаненко и Лыкосов, 2005](#);). Наиболее полное описание модели можно найти в диссертации В. М. Степаненко [«Численное моделирование взаимодействия атмосферы с водоемами суши»](#). Настоящее руководство посвящено практическим аспектам использования модели Lake.

По любым вопросам, связанным с работой модели Lake обращайтесь к Виктору Степаненко (телефон: +7 (495) 939-23-53, E-mail: stepanen@srcr.msu.ru)

Содержание

1. Общие сведения
2. Автономный и интерактивный режим работы модели
3. Файл настроек численного эксперимента *_setup.dat
4. Входные данные модели. Файл входных данных
5. Настройка вывода модели. Файлы выходных данных
6. Компиляция и запуск модели

Список литературы

Приложение. Компиляция и запуск Фортран-программ в среде Microsoft Developer (Visual) Studio

1. Общие сведения

Головной подпрограммой модели водоема является подпрограмма Lake, входными переменными которой являются значения метеорологических величин в приземном слое (температура, влажность, давление, компоненты скорости ветра, интенсивность осадков), а выходными – температура поверхности водоема, потоки явного и скрытого тепла, коэффициент обмена в приводном слое. Перед тем, как вызывать Lake, необходимо один раз вызвать подпрограмму init_lake, которая производит частичную инициализацию модели. Исходный фортранный код модели находится в следующих файлах:

1. lake_modules.f - модули программы
2. lake.f - модель водоема
3. assim.f - алгоритмы усвоения данных (отлажены не полностью!)
4. BICGSTAB.f - алгоритм метода бисопряженных градиентов

5. AEN1D.FOR - подпрограммы численной библиотеки
6. ASG0D.FOR - подпрограммы численной библиотеки
7. UTAE10.FOR - подпрограммы численной библиотеки

При компиляции в режиме командной строки рекомендуется перечислять исходные файлы в указанном здесь порядке. Сама модель находится в файлах 1-3, в файлах 4-7 – используемые ею численные библиотеки. Численные библиотеки, содержащиеся в файлах 5-7, разработаны в НИВЦ МГУ (<http://num-anal.srcc.msu.ru/>).

2. Автономный и интерактивный режимы работы модели

При работе в **автономном** режиме программа `drive_lake` вызывает инициализирующую подпрограмму `init_lake`, а затем головную подпрограмму модели водоема `Lake` столько раз, сколько шагов по времени нужно произвести. Кроме того, на каждом шаге по времени она вызывает подпрограмму `Meteodata`, считывающую входные данные для модели из соответствующего файла (см. п. 4).

При работе модели водоема в **интерактивном** режиме с атмосферной моделью из файла `Lake.f` следует удалить программу `drive_lake` и подпрограмму `Meteodata`. В программном коде атмосферной модели следует вставить один вызов подпрограммы `init_lake` перед первым вызовом `Lake`. Подпрограмму `Lake` можно вызывать либо на каждом шаге по времени атмосферной модели, либо один раз за фиксированное количество шагов. Последнее рекомендуется в целях экономии машинного времени, и оправдывается тем, что параметры состояния водоема меняются, как правило, достаточно медленно сравнительно с параметрами состояния атмосферы. Файлы модели водоема должны компилироваться вместе с файлами атмосферной модели.

Отметим, что настоящая версия модели водоема настроена на использование в рамках атмосферной модели `Nh3d`, и ее включение в другую атмосферную модель потребует не только настройки параметров, предусмотренных интерфейсом (см. п. 3) пользователя, но и модификации кода модели. По всем связанным с этим вопросам обращайтесь к автору модели.

В настоящем руководстве описывается постановка численных экспериментов с моделью в автономном режиме.

3. Файл настроек численного эксперимента *_setup.dat

Этот файл представляет собой интерфейс пользователя модели. В нем содержатся переменные, которые пользователь может изменять в соответствии с поставленной задачей. Пользователь может создать несколько файлов `*_setup.dat`, отвечающих экспериментам с различными водоемами, или различным экспериментам для одного водоема. Рекомендуем хранить их в папке `/setup`. Для выбора конкретного эксперимента пользователь задает путь к соответствующему файлу настроек в файле `setup_file.dat`.

Таблица 1. Настройки численного эксперимента в файле *_setup.dat

Обозначение переменной в файле *_setup.dat	Название переменной, ее возможные значения, размерность	Примечание
1. Некоторые общие настройки		
Path	Путь к папке, из которой происходит запуск модели	Требуется задавать только в некоторых UNIX-системах
Runmode	1 – модель работает в автономном режиме; 2 – модель работает в интерактивном режиме с атмосферной моделью;	
2. Параметры интегрирования модели по времени		
Tinteg	Длительность интегрирования модели, дни	
spinup_day	Количество дней, выделенных под процедуру «раскрутки»	
Dt	Шаг интегрирования по времени, сек	
trib_inflow	Расход боковых притоков, м/год	
3. Начальные условия		
h10	Начальная толщина льда, м	Не должна быть менее 0.015 м
h10	Начальная толщина жидкой воды, м	Не должна быть менее 0.015 м
ls10	Начальная толщина донного льда, м	Не должна быть менее 0.015 м
hs10	Начальная толщина снега, м	Не должна быть менее 0.015 м
depth	Толщина слоя грунта под водоема, м	Постоянная величина
Ts0	Начальная температура верхнего перемешанного слоя, °С	
Tb0	Начальная температура на дне, °С	
Sals0	Начальная соленость верхнего перемешанного слоя, промилле	
Salb0	Начальная соленость на дне, промилле	
Tbb0	Начальная температура на нижней границе слоя грунта, °С	
h_ML0	Начальная толщина верхнего перемешанного слоя, м	
h_veg	высота донной растительности в теле водоема, м	
init_T	метод инициализации профиля температуры: 1 – по температуре поверхности, глубине перемешанного слоя и придонной температуре 2 – по температуре поверхности,	

	придонной температуре и средней температуре в водном столбе	
4. Параметры входных данных		
Dataname	Название файла с атмосферными данными и папки для записи результатов расчетов	Файл входных данных должен иметь название \$(dataname).dat ¹
Phi	Широта, градусы	
Lam	Долгота, градусы	
height_T_q	Высота, на которой производились измерения температуры и влажности воздуха	
height_u	Высота, на которой производились измерения скорости ветра	
Interval	Временная дискретность атмосферных данных, ч	
5. Настройки вывода модели		
Monthly	1 – среднемесячные профили выводятся; 0 – не выводятся	Записываются в папку results/monthly
Daily	1 – среднесуточные профили выводятся; 0 – не выводятся	Записываются в папку results/daily
Hourly	1 – средние за каждый час профили выводятся; 0 – не выводятся	Записываются в папку results/hourly
Everystep	1 – профили выводятся на каждом шаге по времени; 0 – не выводятся	Записываются в папку results/everystep
time_series	1 – временные ряды температуры поверхности, потоков тепла, влаги и импульса, толщин слоев воды, льда, придонного льда и снега выводятся; 0 – не выводятся.	Записываются в папку results/time_series
dt_out	интервал вывода временных рядов, ч	
6. Переключатели параметризаций		
Varalb	0 – альbedo водной поверхности зависит от высоты Солнца; 1 – не зависит.	
PBLpar	1 – параметризация приземного слоя по теории подобия Монина-Обухова (Монин и Обухов, 1954) с интерполяционными формулами по Бусинджеру-Дайеру (Businger et al., 1971), Белжарсу и др. (Beljaars et al., 1991) 11 - то же, но с коррекцией Панина (Панин и др., 2006) на мелководье; 2 – параметризация приземного	

¹ \$(variable) – значение переменной variable.

	<p>слоя по (Louis, 1979) – коэффициент обмена выражается через число Ричардсона; 21 – то же, но с коррекцией Панина на мелководье.</p>	
Relwind	<p>1 – поток импульса в приводном слое рассчитывается с учетом скорости ветра относительно скорости течения в водоеме; 2 – без учета.</p>	
Turbpar	<p>1 – «эмпирическая параметризация» коэффициента турбулентности в водоеме; 2 – «k-ε» параметризация турбулентности (Лыков, 1992; Mellor and Yamada, 1974); 3 – параметризация коэффициента турбулентности Никурадзе (Rodi, 1993); 4 – параболическая параметризация коэффициента турбулентности (Engelund, 1978); 7 – параметризация коэффициента турбулентности ре-нормализованной группы (Simoes, 1998).</p>	
soiltype	<p>Тип грунта под водоемом: 1 – песок 2 – песок с суглинком 3 – суглинок с песком 4 – суглинок 5 – илистый суглинок 6 – глина с песком 7 – суглинок с глиной 8 – илистая глина 9 – глина с песком 10 – илистая глина 11 – глина</p>	
7. Некоторые физические параметры		
kwe	Коэффициент усиления потока турбулентной кинетической энергии на поверхности за счет обрушения волн	
alphax	тангенс наклона свободной поверхности вдоль оси X	
alphay	тангенс наклона свободной поверхности вдоль оси Y	
a_veg	фронтальная площадь растений в единице объема, м ² /м ³	
c_veg	безразмерный коэффициент трения растительности	
kor	параметр Кориолиса, с ⁻¹	

extwat	коэффициент экстинкции коротковолновой радиации, m^{-1}	
8. Параметры пространственной дискретизации		
M	Количество точек сетки в слоях льда, придонного льда и воды	
Ns	Количество точек сетки в слое грунта	
9. Параметры усвоения данных наблюдений		
assim	1 – усвоение данных наблюдений методом наименьших квадратов	Алгоритм не отлажен!
error_cov	2 – вычисление матриц ковариации ошибок наблюдений и модели	Алгоритм не отлажен!

4. Входные данные модели. Файл входных данных

Входными данными для модели являются данные о значениях метеорологических величин в приводном слое воздуха. Они могут быть получены как в натуральных экспериментах, так и по результатам расчетов в атмосферной модели. Файл входных данных должен находиться в папке data и иметь имя \$(dataname).dat (например, Vendur.dat, Tiksi.dat; переменная dataname задается в *_setup.dat). Он должен быть текстовым и состоять из последовательности строк вида:

```
Year Month Day Hour Srad Lrad Precip Temp U V Pres Hum
```

Здесь использованы следующие обозначения:

Таблица 2. Величины, которые должны быть записаны в файле входных данных

Year	Год
Month	Месяц
Day	День
Hour	Час
Srad	суммарная солнечная радиация, $Вт/м^2$
Lrad	встречное излучение атмосферы, $Вт/м^2$
Precip	интенсивность осадков, м/с
Temp	температура воздуха, К
U	зональная составляющая скорости ветра, м/с
V	меридиональная составляющая скорости ветра, м/с
Pres	атмосферное давление, Па
Hum	удельная влажность воздуха, кг/кг

Ниже приводится пример одной строки файла с входными данными:

```
970.0 1.0 1.0 0.0 0.0 83.3 0.000E+00 219.450 0.000 0.000 102430.0 0.602E-04
```

Формат представления вещественных переменных должен строго соответствовать этому примеру. Так, при подготовке входного файла программой на языке Фортран, запись в него должна производиться следующей строкой

```
WRITE (num_unit, '(4f7.1,2f7.1,e14.3,3f10.3,f10.1,e12.3)')
& Year,Month,Day,Hour,Srad,Lrad,Precip,Temp,U,V,Pres,Hum
```

где num_unit – номер соответствующего потока вывода.

Необходимая информация о файле с входными данными должна быть представлена в файле настроек *_setup.dat (табл. 1, 4-й раздел)

5. Настройка вывода модели. Файлы выходных данных

Запись результатов интегрирования модели производится в папку results/\$(dataname). Эта папка, а также папки, перечисляемые в табл. 3, должны быть созданы перед началом расчетов.

Таблица 3. Вывод модели и управление выводом

Название вывода	Временной интервал вывода	Файл, в который производится вывод	Управление выводом (в файле lake.dat)
Временной ряд температуры поверхности потоков явного, скрытого тепла	Интервал входных данных	results/ \$(dataname)/ time_series/ T_fluxes.dat	time_series: (1 – производится, 2 – не производится)
Временной ряд толщин слоев воды, льда, придонного льда и снега	Интервал входных данных	results/ \$(dataname)/ time_series/ layers.dat	time_series: (1 – производится, 2 – не производится)
Вертикальные профили температуры, солености, кинетической энергии турбулентности и скорости ее диссипации	На каждом шаге интегрирования	results/ \$(dataname)/ everystep/ Profiles.dat	everystep: (1 – производится, 2 – не производится)
	Каждый час (средние профили за час)	results/ \$(dataname)/ hourly/ Profileyyymmddhh.dat ²	hourly: (1 – производится, 2 – не производится)
	Каждые сутки (средние профили за сутки)	results/ \$(dataname)/ daily/ Profileyyymmdd.dat	daily: (1 – производится, 2 – не производится)

² yy – год, mm – номер месяца, dd – номер дня в месяце, hh – час.

	Каждый (средние профили за месяц)	месяц	results/ \$(dataname)/ monthly/ Profileyymm.dat	monthly: (1 – производится, 2 – не производится)
--	---	-------	--	--

6. Компиляция и запуск модели

Компиляция в среде Windows. Модель успешно компилировалась с помощью компиляторов Compaq 6.1, 6.6, и Intel 9.0. Эти компиляторы не должны выдавать никаких ошибок и предупреждений. Если компиляция и сборка исполняемого файла производятся в среде Microsoft Developer (Visual) Studio, то необходимо создать в ней проект Console Application, скопировать в папку проекта файлы модели (см. п. 1), а также папки data, results и setup. После этого файлы модели следует включить в проект, и затем скомпилировать проект (как производить эти операции, подробнее см. в приложении).

Компиляция в среде Linux/UNIX. В среде Linux модель успешно компилировалась компилятором Intel 9.0. Компиляция и сборка исполняемого файла производятся командой

```
ifort Lake.f [...] lake.exe
```

где квадратными скобками обозначены необязательные опции оптимизации. В общем случае можно рекомендовать опцию `-O3`. После компиляции и сборки модель запускается исполняемым файлом lake.exe

7. Список литературы

Диссертации

В. М. Степаненко. Численное моделирование взаимодействия атмосферы с водоемами суши. Дисс. на соиск. уч. ст. к. ф.-м. н., 2007, 159 с.

Е. Е. Мачульская. Моделирование и диагноз процессов тепловлагообмена между атмосферой и сушей в условиях холодного климата. Дисс. на соиск. уч. ст. к. ф.-м. н., 2001, 125 с.

Статьи о модели Lake

1. В. М. Степаненко. Численная модель процессов тепловлагообмена в системе водоем – почва и ее валидация. – Вычислительные технологии, т. 9, ч. 1, 2004, с. 112 – 122.
2. В. М. Степаненко, В. Н. Лыкосов. Численное моделирование процессов тепловлагоденноса в системе водоем – грунт. – Метеорология и гидрология, 2005, №3, с. 95 - 104.
3. В. М. Степаненко. Численное моделирование термического режима мелких водоемов. – Вычислительные технологии, т. 10, ч. 1, 2005, с. 100 – 106.
4. E. Dutra, V. Stepanenko, P. A. Miranda, P. Viterbo, D. Mironov, V. N. Lykosov. Evaporation and seasonal temperature changes in lakes of the Iberian Peninsula//5th Portuguese-Spanish Assembly of Geophysics and Geodesy, Sevilha, 2006.

Дополнительные статьи

5. В. Н. Адаменко. Климат и озера. Л.: Гидрометеиздат, 1985.
6. Н. И. Алексеевский. Гидрофизика. – М.: «Академия», 2006. – 176 с.
7. А. Ф. Воеводин, Т. Б. Гранкина. Численное моделирование роста ледяного покрова в водоеме. – Сибирский журнал индустриальной математики, 2006, т. IX, №1(25), с. 47-54.
8. Т. Б. Гранкина. Математическое моделирование процесса формирования ледового покрова водоемов различной минерализации. – Диссертация на соискание ученой степени к. ф.-м. н., Барнаул, 2006.
9. М. Г. Гречушникова. Изменчивость термического состояния Можайского водохранилища в вегетационный период. Диссертация на соискание ученой степени к. г. н., Москва, 2001. – 193 с.
10. Е. В. Квон, Г. С. Ривин. Трехмерная модель распространения тумана в воздушном бассейне над водохранилищем. – Вычислительные технологии, 2001, том 6. № 1, с. 29 - 42.
11. С. А. Кондратьев, И. В. Бovyкин. Влияние возможных климатических изменений на гидрологический режим системы водосбор – озеро. Метеорология и гидрология, №10, 2003.
12. В. Н. Лыкосов. О проблеме замыкания моделей турбулентного пограничного слоя с помощью уравнений для кинетической энергии турбулентности и скорости её диссипации. – Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1992, т. 28, с. 696-704.
13. А. С. Монин, А. М. Обухов. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы. – Труды Геофизического института АН СССР, 1954, №24(151), с. 163-187.

14. А. В. Павлов, М. И. Тишин. Тепловой баланс крупного озера и прилегающей территории в Центральной Якутии. – В кн.: Строеие и тепловой режим мерзлых пород; Новосибирск, «Наука», 1981.
15. Н. И. Пальшин, Т. В. Ефремова. Стохастическая модель годового хода температуры поверхности воды в озерах. Метеорология и гидрология, 2005, №3.
16. Г. Н. Панин, А. Е. Насонов, Т. Фокен. Испарение и теплообмен водоема с атмосферой при наличии мелководий. – Известия РАН, Физика атмосферы и океана, Т. 42, 2006, № 3, с. 367-383.
17. В. В. Пуклаков. Гидрологическая модель водохранилища. Руководство для пользователей. – М.: «Геос», 1999. – 96 с.
18. П. Ю. Пушистов, В. А. Шлычков. Концепция построения иерархии моделей разномасштабных энергетически взаимообусловленных геофизических процессов для изучения короткопериодного термодинамического взаимодействия между водоемом, атмосферой и береговой зоной. – Вопросы устойчивого и бескризисного развития. – Секция "Науки о Земле". – Научное издание Международной кафедры ЮНЕСКО НГУ и СО РАН – Новосибирск – 2001. – № 3/2. – С. 3-18.
19. М. И. Тишин. Температурный режим горных пород под крупным термокарстовым озером в Центральной Якутии. – В кн.: Региональные и криолитологические исследования в Сибири. Якутск, 1979.
20. А. В. Фролов. Динамико-стохастическое моделирование многолетних гидрологических процессов. Диссертация на соискание степени доктора технических наук, 2006. – 250 с.
21. А. И. Чеботарев. Общая гидрология (воды суши), 2-е изд. – Л.: 1975.
22. К. К. Эдельштейн. Структурная гидрология суши. – М.: «Геос», 2005. – 316 с.
23. G. T. Bates, F. Giorgi, and S. W. Hostetler. Toward the simulation of the effects of the Great lakes on regional climate. Mon. Wea. Rev., Vol. 121, 1993, pp. 1373-1387.
24. A. C. M. Beljaars, and A. A. M. Holtslag. Flux parameterization over land surfaces for atmospheric models. J. Appl. Meteor., Vol. 30, 1991, pp. 327-341.
25. G. B. Bonan. Sensitivity of a GCM simulation to inclusion of inland water surfaces. J. Climate, Vol. 8, 1995, pp. 2691-2704.
26. J. A. Businger, J. C. Wyngaard, Y. Izumi and E. F. Bradley. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. J. Atmos. Sci., Vol. 28, 1971, pp. 181-189.
27. M. L. Deas, and C. L. Lowney. Water temperature modeling review. //California Water Modeling Forum, 2000, 113 pp.
28. A. J. Dyer. A review of flux-profile relationships. Bound. Lay. Meteorol., Vol. 7, 1974, pp. 363-372.
29. F. Engelund. Effect of lateral wind on uniform channel flow. Progress Report 45, Inst. Of Hydrodynamic and Hydraulic Engr., Tech. Univ. of Denmark, 1978.
30. G.-H. Goudsmit, H. Burchard, F. Peeters, and A. Wuest. Application of k-ε models to enclosed basins: the role of internal seiches. J. Geophys. Res., Vol. 107, 2002, p. 3230.
31. S. W. Hostetler, G. T. Bates, and F. Giorgi. Interactive coupling of a lake thermal model with a regional climate model. J. Geophys. R., Vol. 98D, 1993, pp. 5045-5057.
32. T. Jonas, A. Y. Terzhevik, D. V. Mironov, and A. Wuest. Radiatively driven convection in an ice-covered lake investigated by using temperature microstructure technique. J. Geophys. Res., Vol. 108, 2003, p. 3183.
33. J. G. W. Kelley, J. S. Hobgood, K. W. Bedford, and D. J. Schwab. Generation of three-dimensional lake model forecasts for lake Erie. Wea. Forecast., Vol. 13, 1998, pp. 659-687.
34. P. Ljungemyr, N. Gustafsson, and A. Omstedt. Parameterization of lake thermodynamics in a high-resolution weather forecasting model. Tellus, Ser. A, Dyn. meteorol. oceanogr., 1996, Vol. 48, No. 5, pp. 608-621.
35. M. Mackay. Modeling the regional climate impact of boreal lakes. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 05405, 2006.

36. N. A. McFarlane, and G. M. Flato. Application of the Canadian Regional Climate model to the Laurentian Great Lakes region: Implementation of a lake model, *Atmos.-Ocean*, Vol. 38(3), 2000, pp. 481-503.
37. J. F. Louis. A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Bound.-Layer Meteor.*, Vol. 17, 1979, pp. 187-202.
38. C. L. Mellor and T. Yamada. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 31, 1974, pp. 1791-1806.
39. D. V. Mironov, S. D. Golosov, S. S. Zilitinkevich, K. D. Kreiman, and A. Yu. Terzhevik. Seasonal changes of temperature and mixing conditions in a lake. - In: "Modelling air-lake interaction. Physical Background" (ed. S.S. Zilitinkevich), Springer-Verlag, Berlin, 1991, pp. 74-90.
40. D. Mironov, A. Terzhevik, G. Kirillin, T. Jonas, J. Malm, and D. Farmer. Radiatively driven convection in ice-covered lakes: observations, scaling and a mixed layer model. *J. Geophys. Res.*, Vol. 107, 2002.
41. D. V. Mironov, A. Terzhevik, F. Beyrich, S. Golosov, E. Haise, G. Kirillin, E. Kourzeneva, B. Ritter, and N. Schneider. Parameterization of lakes in numerical weather prediction: description of a lake model, single-column tests, and implementation into the limited-area NWP model. *Bound. Lay. Meteor., Spec. issue*, 2006, 56 pp.
42. H. Pan, R. Avissar, D. B. Haidvogel. Summer circulation and temperature structure of lake Kinneret. *J. Phys. Ocean.*, Vol. 32, 2002, pp. 295-313.
43. G. N. Panin, A. E. Nasonov, and M. G. Souchintsev. Measurements and estimation of energy and mass exchange over a shallow sea. In: M. Donelan (Editor), *The air-sea interface*, Miami, 1996, pp. 489-494.
44. A. V. Pavlov. Regularities in thermal regime of lakes in permafrost areas. *Russian Geocryological Research*, Vol. 1, 1995.
45. A. J. Pitman. A simple parameterization of sub-grid scale open water for climate models. *Climate Dynamics*, Vol. 6, No. 2, 1991, pp. 99-112.
46. Pushistov P. Yu., and Ievlev K. V. Numerical eddy-resolving model of non-stationary penetrative convection in spring solar heating of ice-covered lakes, *Bull. Inst. Comput. Math. Math. Geophys.*, Vol. 5, pp. 55 – 63, 2000.
47. W. Rodi. *Turbulence models and their application in hydraulics*, 3rd edition, IAHR, A.A. Balkema, Rotterdam, 1993.
48. F. Simoes. An eddy viscosity model for shallow-water flows. *Wat. Resour. Engin.* 98, ASCE, NY, 1998, pp. 1858-1863.
49. Technical description of the Community land model. NCAR Technical Note, May 2004, 173 pp.
50. B.-J. Tsuang, C.-J. Tu, and K. Arpe. Lake parameterization for climate models. - Report No. 316, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, 2001, 72 pp.
51. L. Umlauf, H. Burchard, and K. Hutter. Extending the $k-\omega$ turbulence model towards oceanic applications. *Ocean Modelling*, Vol. 5, 2003, pp. 195-218.
52. L. Umlauf, H. Burchard, and K. Bolding. GOTM: source code and test case documentation. Version 3.2. 2006, 231 pp. – доступен на сайте <http://www.gotm.net/index.php>
53. A. Wuest and A. Lorke. Small – scale hydrodynamics in lakes. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 2003, Vol. 35, pp. 373-412.

Приложение.

Компиляция и запуск Фортран-программ в среде Microsoft Developer (Visual) Studio

Перед тем, как компилировать программу в среде Microsoft Developer Studio, следует создать проект. Для этого нужно открыть New → Project → Intel Fortran Projects → Console Application. Среда предложит Вам определить путь к проекту и его название; после того, как Вы это сделаете, по указанному пути она создаст папку с названием проекта, и поместит в нее файлы проекта. По умолчанию в этой папке она создаст и файл головной Фортран-программы проекта [название проекта].f90 – его следует удалить из списка файлов проекта (он находится в правом окне с названием Solution Explorer), если у Вас уже есть готовая программа, под которую Вы этот проект создаете. Затем скопируйте в папку проекта файлы Вашей программы и добавьте их к проекту через Project → Add Existing Item. Теперь можно компилировать и собирать исполняемый файл командой Build → Build [название проекта] (или комбинацией клавиш Ctrl + Shift + B). Если этот этап пройден без ошибок, можете запускать исполняемый файл нажатием Ctrl + F5.

Аналогичные шаги следует произвести, если Вы работаете с компилятором Compaq 6.x под Microsoft Visual Studio. Отличия заключаются в несущественных деталях: например, при создании проекта у Вас будет возможность выбрать пустой проект (Empty Project), в котором по умолчанию не будет создаваться файл с головной программой. Добавление файлов в проект производится командой Project → Add to Project → Files.