

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
ГОУ ВПО  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
(РГГМУ)

Допущено к защите  
Зав. Кафедрой: проф.

Погорельцев А. И.

Кафедра метеорологических  
прогнозов

# ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Внешние поля для гидродинамических атмосферных  
моделей

Выполнила	Г. О. Ганбат гр. МБ-427
Руководитель	к. ф.-м. н., доц. Е. В. Курзенева

Санкт – Петербург 2006

## Содержание:

	Стр
Введение	3
1 Базы данных внешних параметров для атмосферных гидродинамических моделей .....	5
1.1 Базы данных без использования регулярной спутниковой информации (старые) .....	5
1.1.1 Базы данных международного спутникового проекта по описанию поверхности Земли и климата ISLSCP.....	5
1.1.2 Глобальная база данных по типам подстилающей поверхности и почвам для использования в моделях атмосферы Вильсона и Хендерсона-Селлера .....	6
1.2 База данных с использованием регулярной спутниковой информации.....	6
1.2.1 База данных CORINE (Coordination of Information on the Environment) .....	7
1.2.2 Набор сырых данных AVHRR, базы построенные на его основе .. .....	7
1.2.3 База данных ESOCLIMAP .....	12
2 Формирование набора данных по глубинам озер для атмосферных гидродинамических моделей .....	14
2.1 Общий алгоритм формирования базы данных.....	14
2.2 Tiling – подход в гидродинамических моделях атмосферы, tiling – подход для базы данных по озерам.....	17
2.3 База данных по глубинам озер.....	19
Заключение .....	26
Список использованных источников .....	27
Приложение	

## Введение

В настоящее время для оперативного гидродинамического прогноза и моделирования климата используются гидродинамические атмосферные модели, использующие различные наборы внешних данных. Внешние данные к модели представляют собой наборы параметров, характеризующих состояние подстилающей поверхности и почвы. В этой связи большой практический, да и теоретический интерес представляет анализ существующих наборов данных, оценка их полноты, методов создания и сравнение их особенностей. Это необходимо в первую очередь для того, чтобы подобрать подходящий набор данных для модели, оценить целесообразность перехода на новый набор данных, сравнить разрешение модели и разрешение набора данных о свойствах поверхности.

Развитие гидродинамических моделей привело к включению в них параметризации обмена теплом, влагой и количеством движения с подстилающей поверхностью – поверхностью озера, прогнозу температуры поверхности озер. Однако для учета влияния озер необходимы дополнительные внешние данные – данные об озерах, которые ранее не требовались для атмосферного моделирования. Создание такого набора данных - очень важная с практической точки зрения проблема. При этом с теоретической точки зрения задача не является тривиальной, так как поле параметров, связанных со свойствами озер, принципиально дискретно, поэтому эти данные нельзя интерполировать, при осреднении же нельзя использовать грубые методы.

Цели работы состояли в следующем:

- анализе различных наборов внешних данных для использования в гидродинамических атмосферных моделях, составлении обзора по базам внешних данных;

- обработке данных по параметрам озер (глубина) для составления набора данных по характеристикам озер.

Данная бакалаврская работа состоит из введения, 2-х глав, заключения, списка литературы и приложения. В 1 главе исследованы разные базы данных, разработанные разными группами исследователей, полученные в результате обработки карт и спутниковых информации. Во 2 главе рассмотрено формирование набора данных по глубинам озер для сетки оперативной региональной гидродинамической модели LME Метеослужбы Германии, обработка данных по глубинам озер для использования tiling – подхода. Анализ результатов также дан во второй главе. В приложении даются содержание Легенды глобальных экосистем и коды программы для обработки данных по глубинам озер.

## 1 Базы данных внешних параметров для атмосферных гидродинамических моделей

Развитие моделей происходит параллельно с накоплением различных сведений о параметрах подстилающей поверхности. На начальном этапе разработки оперативных прогностических моделей атмосферы поля параметров подстилающей поверхности брали, в основном, из карт и атласов. В дальнейшем появились спутниковые данные, получили развитие геоинформационные системы и цифровые карты земной поверхности. Эта информация стала также использоваться в гидродинамическом моделировании. Существует некоторое количество баз данных по подстилающей поверхности для использования в атмосферных моделях (и не только), разработанных разными коллективами на основе разных сырых данных, имеющих различное разрешение. Можно условно разделить эти базы на использующие (новые) и не использующие (старые) спутниковую информацию.

### 1.1 Базы данных без использования регулярной спутниковой информации (старые)

#### 1.1.1 База данных международного спутникового проекта по описанию поверхности Земли и климата ISLSCP

Проект был начат в 1983 году, в нем принимало участие большое количество университетов и правительственных организаций. Комбинировались различные карты и атласы, а также спутниковые снимки. В результате была создана база данных по свойствам подстилающей поверхности и климату.

База данных по свойствам и типам подстилающей поверхности имеет разрешение  $0.5 \times 0.5$  градуса широтно-долготной сетки, по метеорологическим характеристикам (климату) –  $1 \times 1$  градус. В 1999 году разрешение было увеличено до  $0.25$  градуса по типам подстилающей поверхности, метеорологии и гидрологии, радиационным потокам и типам почв. [1]

1.1.2 Глобальная база данных по типам подстилающей поверхности и почвам для использования в моделях атмосферы Вильсона и Хендерсона-Селлерса

Проект был начат в 1980х годах Центром климатических воздействий Университета Макуари, Австралия, Университетом Ливерпуля, Национальным центром атмосферных исследований США (NCAR). Использовались различные карты и атласы, включая Мировую карту по почвам FAO/UNESCO, Оксфордский региональный экономический атлас СССР и Восточной Европы, карту центральной Азии и Восточной Европы

База данных по свойствам и типам подстилающей поверхности и почвам имеет разрешение  $1 \times 1$  градус широтно-долготной сетки. Имеются данные по типам растительности (18 типов), типам почв и оценки надежности определения типов почвы и растительности.

В настоящее время база используется в различных атмосферных моделях, в том числе в оперативной прогностической модели HIRLAM.[2]

1.2 База данных с использованием регулярной спутниковой информации

Цифровая Карта Мира (DCW)

Цифровая Карта Мира (DCW) начала разрабатываться Военным Картографическим Агентством (DMA). Затем, используя данные DMA, научно-исследовательский институт Систем Окружающей среды (ESRI) развил DCW. Сейчас используется версия DCW 1993 г в  $1:1\,000\,000$

масштабе. Источники данных DMA – аэронавигационные карты, которые показывают объекты, видимые на высоте полета. На некоторых картах малые острова и озера просто не видны. При компилировании DCW-карт ESRI также исключил некоторые детали и сделал некоторые предположения для обработки мелких многоугольников. Подробность карт для каждого масштаба своя.[3]

#### 1.2.1 База данных CORINE (Coordination of Information on the Environment)

Проект был начат в 1990 Агентством защиты окружающей среды Ирландии, и продолжен Объединенным исследовательским центром Европейского союза и Европейским Агентством защиты окружающей среды. Имеются данные для Европы. Данные были получены путем визуальной обработки информации спутников Landsat-TM и SPOT-XS. Масштаб карт составляет 1:100 000, максимальное разрешение  $100 \times 100$  м. Представлено 44 класса растительности.

База предназначена для решения широкого круга задач, задачи моделирования атмосферы не являлись приоритетными при ее создании. В настоящее время база используется в различных атмосферных моделях, в том числе в оперативной прогностической модели метеослужбы Германии, в модели HIRLAM.

База распространяется на коммерческой основе.[4]

#### 1.2.2 Набор сырых данных AVHRR, базы построенные на его основе

В настоящее время среди полярно-орбитальных спутников наиболее активно используются спутники NOAA. Для метеорологических целей могут служить установленные на спутниках комплекс приборов TOVS (TIROS Operational Radiometer) и прибор AVHRR (усовершенствованный

высококочувствительный радиометр). Комплекс приборов TOVS предназначен главным образом для изучения атмосферы, ее вертикальных профилей. А прибор AVHRR был сконструирован для мониторинга подстилающей поверхности.

В начале 90-х годов был осуществлен глобальный проект по сбору данных по подстилающей поверхности на основе использования радиометра AVHRR. Измерение излучения радиометром AVHRR велось в пяти каналах в видимом, ближнем инфракрасном и инфракрасном окнах прозрачности водяного пара, с полярно-орбитальных спутников NOAA-J (14); NOAA-K, L и M (15, 16, и 17). С 1 апреля 1992 года была организована сеть (в которой работали 29 станций) для передачи изображения высокого разрешения (HRPT). Национальная Администрация Океанологии и атмосферы (NOAA) ежедневно записывала данные глобального покрытия поверхности земли с разрешением  $1 \times 1 \text{ км}$ . Геологическая служба США, Космическое Агентство Европы и Центр сбора данных EROS архивировали и предоставили для распространения более 40 000 изображений. Для составления набора данных б основных участников (NOAA, ESA, USGS, NASA, CSIRO и SMC) координировали станции, которые получали изображения; NOAA координировал 2 станции и составлял график записи со спутника, чтобы получить изображение покрытия локальной зоны – LAC.

Получаемые от полярно-орбитального спутника TIROS NOAA ежедневно после полудня сырые данные AVHRR с разрешением  $1 \times 1 \text{ км}$  охватывают всю сушу и побережья. Сырые данные – очень важная продукция, потому что многие данные от AVHRR либо не обработаны, либо их трудно приобрести от зарубежных станций. Для разработки алгоритмов калибровки, атмосферной коррекций и других желательно иметь сырые данные

Для изображения с высоким разрешением ( $1 \times 1 \text{ км}$ ) применяется термин Покрытие локальной зоны – LAC, а с низким разрешением ( $4 \times 4 \text{ км}$ ) – Покрытие глобальной зоны GAC.

Таблица 1 Использование каналов радиометра AVHRR

Канал	Длина волны, мкм	Прямое использование
1	0.58 - 0.68	Днем облачность и подстилающая поверхность
2	0.725 - 1.10	Изображение наземной воды, льда и таяния снега
3А	1.58 - 1.64	Различение снега и льда (NOAA K,L,M)
3 (или 3В)	3.55 - 3.93	Температура поверхности океана, ночью облачность
4	10.30 - 11.30	Температура поверхности океана, днем и ночью облачность
5	11.50 - 12.50	Температура поверхности океана, днем и ночью облачность

Сырые данные представляют собой отношение разницы сигналов ближнего инфракрасного канала 2 и видимого канала 1 к сумме сигналов каналов 1 и 2. Эта характеристика лежит в диапазоне от -1 до 1. Чем больше ее положительное значение, тем больше количество зеленой растительности на поверхности. Отрицательные ее значения соответствуют поверхности без растительности, такой как водная поверхность, оголенная почва (пустыня, пашня), лед, снег или облака.[5][6][7]

База данных PELCOM(Pan-European Land Use and Land Cover Monitoring)

Проект был начат в сентябре 1996 года. Финансировался Сектором по окружающей среде и климатологии Европейского Союза, и проводился в

международных рамках, координатором являлся DLO Winand Staring Centre. База данных построена для территории Европы.

Для построения базы данных использовались спутниковые набор сырых данных AVHRR и другие данные. База имеет разрешение  $1 \times 1 \text{ км}$ . Представлено 18 классов по типам подстилающей поверхности.[8]

База данных IGBP-DIS (International Geosphere-Biosphere Programme-Data and Information System)

Проект идет в настоящее время.

Проект основан на сырых данных AVHRR с апреля 1992 до марта 1993 года. Проект координируют Центр наблюдений за ресурсами Земли Геологической службы США (EDC), Национальное Аэрокосмическое агентство (NASA) и Космическое агентство Европы (ESA). Все данные посланы в EDC для архивирования базы данных. Ежедневные глобальные данные собираются с многих приемных станций AVHRR и имеют разрешение  $1 \times 1 \text{ км}$ . Представлено 17 классов растительности.[9]

Набор данных GLCC

Проект основан на сырых данных AVHRR с апреля 1992 до марта 1993 года. Геологическая служба США (USGS), Центр наблюдений за ресурсами Земли (EROS), Университет Небраска – Линкольна и Совместный исследовательский центр Европейской Комиссии начали строить базу данных характеристик подстилающей поверхности. База данных характеристик подстилающей поверхности является частью исследования Программы Исследования Земли Национального Аэрокосмического агентства (NASA) и IGBP-DIS. Финансировался Геологической службой США, Национальным Аэрокосмическим агентством, Агентством защиты окружающей среды,

Национальной Администрацией океанологии и атмосферы, Лесной Службой США и Программой окружающей среды США.

Для построения Базы данных использовались сырые данные AVHRR, данные Digital Elevation Model (DEM), данные экорегиона и карты и атласы по почве, растительности и др. База данных характеристик подстилающей поверхности разработана для каждого континента – Африка, Австралия, Евразия, Северная Америка и Южная Америка; хотя каждый континент имеет уникальные элементы, основанные на географических аспектах отдельного континента. Использовались также тематические карты, на которых отмечены сезонные особенности поверхности регионов. Для анализа сырых данных AVHRR использовались различные статистические методы, в основном кластерный анализ.

Имеются 7 наборов данных с различными легендами для различных атмосферных моделей и для других целей: Легенда глобальных экосистем (Global Ecosystems Legend), Легенда подстилающей поверхности земли IGBP (IGBP Land Cover Legend), Легенда подстилающей поверхности и использования земли (USGS Land Use/Land Cover System Legend (Modified Level 2)), Легенда простой модели биосферы (Simple Biosphere Model Legend), II Легенда простой модели биосферы (Simple Biosphere 2 Model Legend), Легенда схемы взаимодействия биосферы и атмосферы (Biosphere Atmosphere Transfer Scheme Legend) и Легенда формы растительности (Vegetation Lifeforms Legend). Легенда глобальных экосистем имеет 100 классов по типу подстилающей поверхности. В дальнейшей работе мы использовали набор данных с Легендой глобальных экосистем, поэтому содержание Легенды приводится в Приложении 1.

База данных имеет разрешение примерно  $1 \times 1 \text{ км}$  (30'' x 30''). [10]

### 1.2.3 База данных ECOCLIMAP

База создавалась MeteoFrance для использования в атмосферных моделях. Для построения базы данных использовались следующие источники :

- Карты покрытия земли с разрешением  $1 \times 1 \text{ км}$  – построены из цифровой карты мира DCW для маски вода-суша, Университета Мэриленда (Хансен и др. 2000), и базы данных растительности на земном шаре IGBP-DIS, CORINE и PELCOM.
- Климатологические карты - Кюппе и De Long (1958) земного шара и FIRS (ЕС 1995) по Европе.
- Сырые данные AVHRR с разрешением  $1 \times 1 \text{ км}$ .
- База данных (1988) для почвенной структуры Организаций продуктов и сельского хозяйства США (FAO).

В проекте более полно используются сырые данные AVHRR с апреля 1992 до марта 1993 года и ежемесячные наборы данных Аэрокосмического центра Германии (DLR). Для континента Европы лучше подходит классификация поверхности земли CORINE с пониженным разрешением с  $250 \times 250 \text{ м}$  до  $1 \times 1 \text{ км}$ .

Комбинация 15 типов поверхности на пяти континентах с 16 климатами привела к созданию большого количества экосистем. Кроме основных 125 земных экосистем требовались 90 новых экосистем для Европы. Имеются данные по орографии. Данные по почвенной структуре основаны на процентном отношении глины и перегноя, обработаны Организацией продуктов и сельского хозяйства.

Первоначально используются основные отличительные особенности ландшафтов – океан, вода суши, поверхности, измененные человеком и суша (почва и растительность). Далее определяются характеристики этих ландшафтов, важные для атмосферных моделей, такие как листовой индекс, процент покрытия растительностью и т. д. Например, “листовой индекс” (LAI) – отношение площади поверхности листьев, содержащихся в вертикальном

столбе, к его поперечному сечению. В листовом индексе проявляются не только сезонные изменения, но и региональные особенности, согласованные с климатом, возникающие из-за динамики роста растений. В каждой “чистой” экосистеме содержится только один тип растительности с соответствующим листовым индексом. А смешенная экосистема может содержать один тип травянистой растительности или высокой растительности, поэтому листовой индекс должен соответствовать каждому типу. Кроме листового индекса используются доля растительности – доля площади, покрытая растительностью, параметр шероховатости, минимальное устьичное сопротивление (важно для расчета испарения с поверхности, покрытой растениями), альбедо и коэффициент излучения. Глубина корневой системы, которая используется в моделях обмена атмосферы с подстилающей поверхностью, зависит более от типа растительности, чем от типа почвы.

Эта база данных очень важна для моделей, использующих вложенные сетки, потому что поверхность будет согласована для всех моделей.

База данных используется в моделях MeteoFrance и предполагается использовать ее в модели HIRLAM. [11]

## 2. Формирование набора данных по глубинам озер для атмосферных гидродинамических моделей

### 2.1 Общий алгоритм формирования базы данных

В атмосферных гидродинамических моделях для описания обмена количеством движения, тепла и влаги между атмосферой и подстилающей поверхностью применяются параметризационные алгоритмы. В случае, если подстилающей поверхностью является поверхность озера, в качестве параметризации используют состыкованную с моделью атмосферы гидродинамическую модель озера. Одним из основных (а с точки зрения термического режима основным) параметров гидродинамических моделей озера является средняя глубина озера. Поэтому для реализации описания обмена с озерной поверхностью в гидродинамических моделях атмосферы необходим набор данных по глубинам озер, покрывающий территорию – область интегрирования атмосферной модели. Содержанием набора данных по глубинам озер для атмосферных гидродинамических моделей является значение глубины озер в каждой ячейке сетки атмосферной модели. Исходной информацией для формирования такого набора данных послужили:

- Глобальная база данных по типам подстилающей поверхности GLCC с разрешением 30'' x 30'' ( $\approx 1 \times 1 \text{ км}$ ).
- База данных по озерам (в основном, для территории Европы)

В настоящее время в базе данных по озерам имеются данные об около 8500 озер. База данных по озерам содержит следующую информацию: средняя глубина, максимальная глубина, площадь, название озера и страна, в которой озеро находится. Данные были предоставлены различными организациями, ведущими водные кадастры в различных странах Европы и части Азии, а

также собраны из разрозненных источников, таких как научные базы данных, энциклопедии и т.п.

Так как гидродинамические модели атмосферы имеют различное разрешение, различную конфигурацию сеток и различные способы учета неоднородностей поверхности внутри одной ячейки сетки, создание универсального набора данных по глубинам озер невозможно. Приходится генерировать такой набор данных специально для конкретной сетки и для определенной территории. В нашей работе набор данных генерировался для сетки региональной модели гидрометслужбы Германии (Оффенбах) LME. Таким образом, источником формирования набора данных являются также координаты узлов сетки атмосферной модели – сетки LME. Необходимо отметить, что сетка LME является регулярной, шаг  $\approx 7$  км, используется повернутая сферическая координата. Область интегрирования охватывает Европу, часть Африки и Азии. Здесь необходимо отметить, что в область сетки LME не входит точка Северного полюса, и дальнейший алгоритм разработан пока, к сожалению, с учетом предположения о том, что точка полюса в область не входит.

Еще одной важной особенностью, которую необходимо учитывать при генерации набора данных по глубинам озер, является тот факт, что глубину озер нельзя осреднять по пространству. Действительно, если рядом с мелким, но большим по площади озером, находится глубокое, но малое по площади озеро, для описания обмена подстилающей поверхности с атмосферой с физической точки зрения целесообразно принимать в расчет только большое мелкое озеро. Кроме того, если в модели атмосферы используется tiling – подход, необходимо озера разбивать на классы по глубинам и рассчитывать долю покрытия ячейки сетки озерами каждого класса (см. п.2.2). Поэтому промежуточным этапом при построении набора данных по глубинам озер является расчет эмпирических функций распределения (повторяемостей) озер по глубинам в каждой ячейке сетки атмосферной модели.

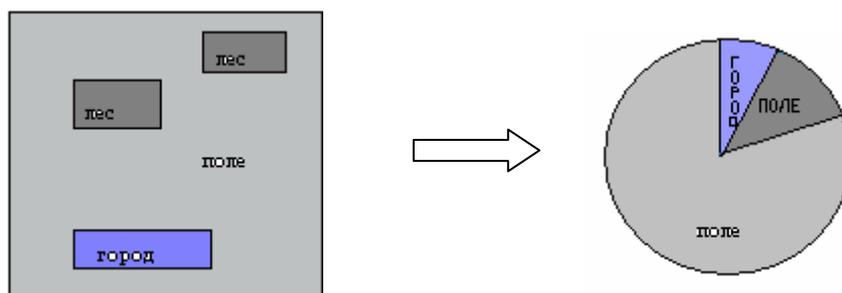
Принципиальный алгоритм формирования набора данных по глубинам озер:

1. Анализируется сетка атмосферной модели (LME), определяются ее крайние северная, южная, западная и восточная точки и из массива данных GLCC “вырезается” область, которая полностью включает территорию покрытия сетки LME, область Region.
2. Устраняются ошибки, которые есть в массиве данных GLCC (тип поверхности “внутренняя вода” для фьордов и некоторых морей заменяется на тип поверхности “морская вода”).
3. В качестве “сеточного озера” на сетке Region принимается область, покрытая ячейками сетки Region с типом поверхности “внутренняя вода”, такая что ячейки сетки Region с этим типом поверхности соприкасаются стороной и/или углом. Пересчитываются “сеточные озера” на сетке Region, каждому в соответствие ставится идентификационный номер ID; идентификационные номера записываются в ячейки сетки Region.
4. Используя значения координат озер из базы данных по озерам (“базовые озера”), каждому “сеточному озеру” ставится в соответствие одно или несколько “базовых озер”. Здесь необходимо отметить, что из-за неполноты и ошибок как в базе данных GLCC, так и в базе данных по озерам, возможны промахи и несоответствия. Одному и тому же “сеточному озеру” может быть поставлено в соответствие несколько “базовых озер”, а может не быть поставлено в соответствие ни одного “базового озера”. В первом случае за глубину “сеточного озера” принимается средневзвешенная пропорциональная площадям “базовых озер” глубина. Во втором случае за глубину “сеточного озера” принимается глубина “по умолчанию”, равная 10 метрам. В результате мы получаем значения глубины озера в каждой ячейке сетки Region.

5. Для каждой крупной ячейки сетки LME ( $\approx 7 \times 7 \text{ км}$ ) строится эмпирическая функция распределения (повторяемость) для глубины озер, базируясь на значениях глубин в ячейках мелкой сетки Region ( $\approx 1 \times 1 \text{ км}$ ).

2.2 Tiling – подход в гидродинамических моделях атмосферы, tiling – подход для базы данных по озерам

Tiling – подход используется для учета неоднородностей подстилающей поверхности в моделях атмосферы. Здесь речь идет о географическом подходе, о неоднородностях ландшафта – о различных типах подстилающей поверхности (море, суша, лес, город и т. п.), то есть о тех типах поверхности, сведения о которых содержатся в описанных выше базах данных. В основе построения набора данных с использованием tiling – подхода лежат данные с очень мелким разрешением; сетка модели атмосферы имеет более крупное разрешение. Для каждой ячейки крупной сетки по данным на мелкой сетке можно рассчитать долю покрытия крупной ячейки поверхностью с различными типами. В качестве примера рассмотрим ситуацию, приведенную на рисунке 1:



В крупной ячейке сетки имеются 3 типа подстилающей поверхности:

- Лес
- Город
- Поле

Рассчитываем долю покрытия ячейки этими типами поверхности:

$$fr_{лес} = \frac{n_{лес}}{N} \quad (2.1)$$

$$fr_{город} = \frac{n_{город}}{N} \quad (2.2)$$

$$fr_{поле} = \frac{n_{поле}}{N} \quad (2.3)$$

где  $fr_{лес}$  – фракция (доля) крупной ячейки сетки, покрытая лесом  
 $fr_{город}$  – фракция (доля) крупной ячейки сетки, покрытая городом  
 $fr_{поле}$  – фракция (доля) крупной ячейки сетки, покрытая полем  
 $N$  – общее число ячеек мелкой сетки в одной крупной ячейке  
 $n_{лес}$  – число ячеек мелкой сетки, покрытых лесом  
 $n_{город}$  – число ячеек мелкой сетки, покрытых городской застройкой  
 $n_{поле}$  – число ячеек мелкой сетки, покрытых полей (низкой растительностью)

Аналогичный подход используется при построении набора данных по глубинам озер. Характер взаимодействия между озером и атмосферой носит сложный нелинейный характер, и озера с различной глубиной ведут себя по-разному. В одной ячейке сетки могут находиться озера с различными глубинами. Поэтому озера разбивают на классы по глубине (средние, мелкие, глубокие) и оценивают вклад каждого из классов озер в обмен теплом и влагой с атмосферой, используя и здесь tiling-подход.

## 2.3 База данных по глубинам озер

В рамках бакалаврской работы была построена база данных по глубинам озер с использованием tiling-подхода для сетки региональной модели Оффенбаха LME с разрешением  $\approx 7 \times 7 \text{ км}$ , число узлов  $965 \times 773$ , покрывающей Европу, часть Африки, Турции и Ближнего Востока. В качестве информации на самой мелкой сетке используются данные из базы GLCC с разрешением  $\approx 1 \times 1 \text{ км}$ .

В каждой из ячеек построены повторяемости:

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad (2.4)$$

где  $N$  – число ячеек сетки GLCC внутри одной ячейки LME

$n_i$  – число ячеек мелкой сетки GLCC, в которых находится озеро с глубиной  $d_i$

Для построения повторяемостей озера были разбиты на градации по глубинам (в метрах). Общее число градаций 13. Значения градаций: -99999.0, 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 12.0, 16.0, 20.0, 24.0, 30.0, 36.0, 42.0, 99999.0;

Если значение равно -99999, то это суша, озера нет. Если значение равно 99999, то это значит, что озеро глубже 42 м. Значения повторяемостей находятся в файле PDFDepth.DAT.

Градации были выбраны по результатам предыдущих исследований. [12]

1. Так как объединять озера с разной глубиной в одно большое озеро со средней глубиной нельзя из-за больших разниц по глубинам между ними и из-за того, что зависимость температуры поверхности озера от глубины носит

сложный нелинейный характер, мы разделили озера на следующие подклассы по глубине:

- а) мелкие озера – с глубиной от 2 до 4 м. Средняя глубина  $\approx 3$  м.
- б) средние озера – с глубиной от 6 до 8 м. Средняя глубина  $\approx 7$  м.
- в) глубокие озера – с глубиной больше 12 м.

2. Фракция (доля) мелких озер в ячейке сетки модели атмосферы находится по формуле:

$$fr_m = \sum_{i=2}^3 P_i \quad (2.5)$$

где,  $fr_m$  – фракция (доля) мелких озер в ячейке сетки модели атмосферы  
 $P_i$  – повторяемость мелкого озера сетки GLCC внутри одной ячейки LME

Фракция (доля) средних озер в ячейке сетки модели атмосферы находится по формуле:

$$fr_{cp} = \sum_{i=4}^5 P_i \quad (2.6)$$

где,  $fr_{cp}$  – фракция (доля) средних озер в ячейке сетки модели атмосферы  
 $P_i$  – повторяемость среднего озера сетки GLCC внутри одной ячейки LME

Фракция (доля) глубоких озер в ячейке сетки модели атмосферы находится по формуле:

$$fr_{zl} = \sum_{i=6}^{13} P_i \quad (2.7)$$

где,  $fr_{2l}$  – фракция (доля) глубоких озер в ячейке сетки модели атмосферы

$P_i$  – повторяемость глубокого озера сетки GLCC внутри одной ячейки LME

3. Для глубоких озер за глубину озера принимается середина градации, для которой повторяемость максимальна (мода). Например, если максимальная повторяемость приходится на озера в градации от 12 до 16 метров, то берется средняя глубина 14 метров.

Результаты расчетов представлены на рисунках с 2 по 5. Результатом расчетов является доля (фракция) покрытия ячейки модельной сетки разными озерами – мелкими, средними и глубокими, а также глубина для глубоких озер. Для всех этих величин карты изолиний не имеют смысла, поэтому для удобства просмотра фракции в различных интервалах (0-0.3), (0.3-0.65) и (0.65-1) отмечены разным цветом. Это же сделано и для глубин – разным цветом отмечены глубины (7-15), (15-30), свыше 30 м.

Рисунки построены с помощью программы IDL.

В результате расчетов оказалось, что реки при использовании нашего алгоритма интерпретируются как глубокие озера (красный на рисунке 2.5), так как они имеют одинаковый тип поверхности “внутренняя вода” и не различаются со спутника, а при отсутствии информации о глубине в базе данных по озерам этим водным объектам была присвоена глубина по умолчанию 10 м..

Программа написана на языке Fortran [см. Приложение Б.]

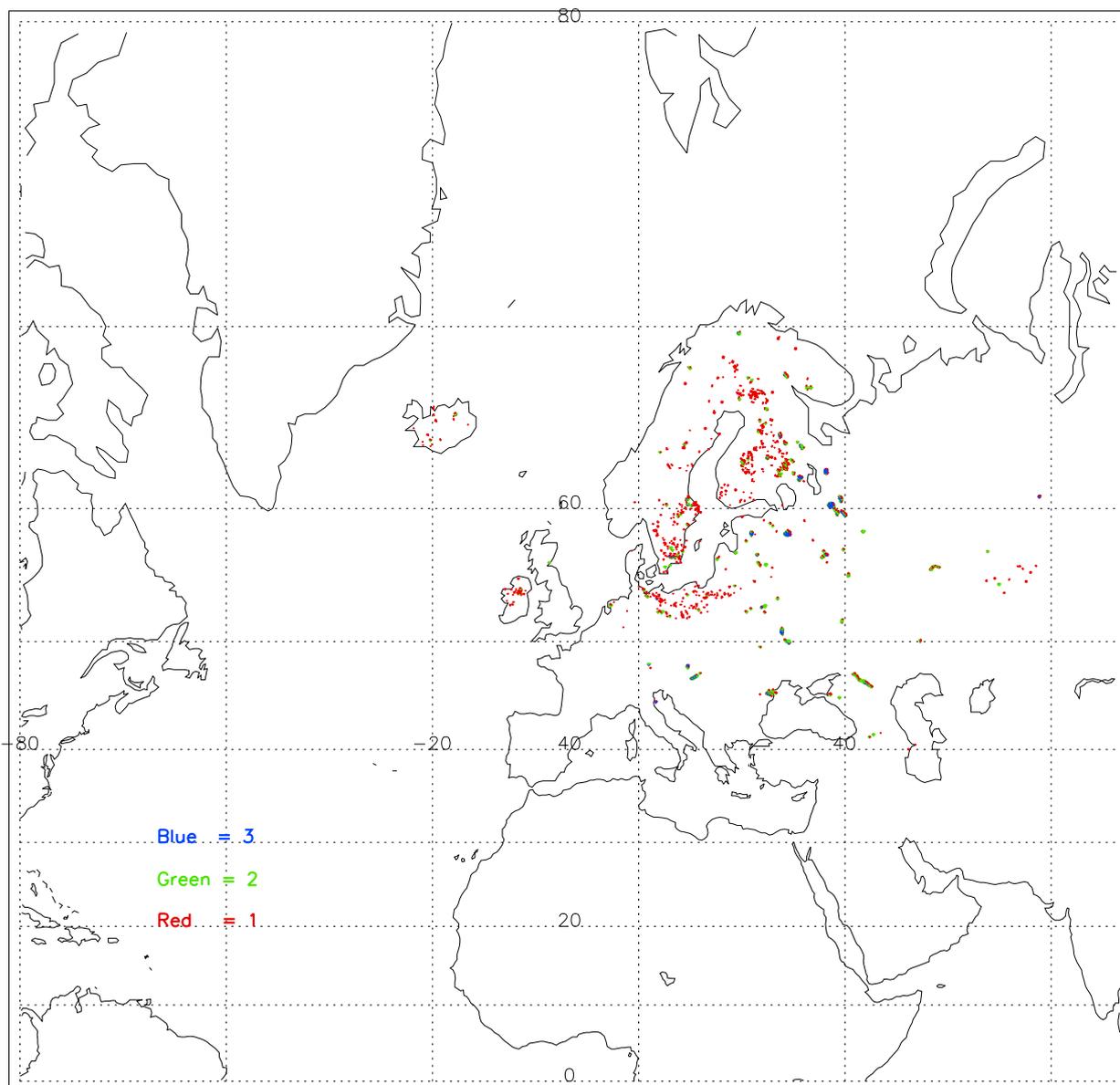


Рис 2.2 Мелкие озера (глубина = 3 м)

- 1- доля покрытия ячейки сетки 0-0.3
- 2- доля покрытия ячейки сетки 0.3-0.65
- 3- доля покрытия ячейки сетки 0.65-1

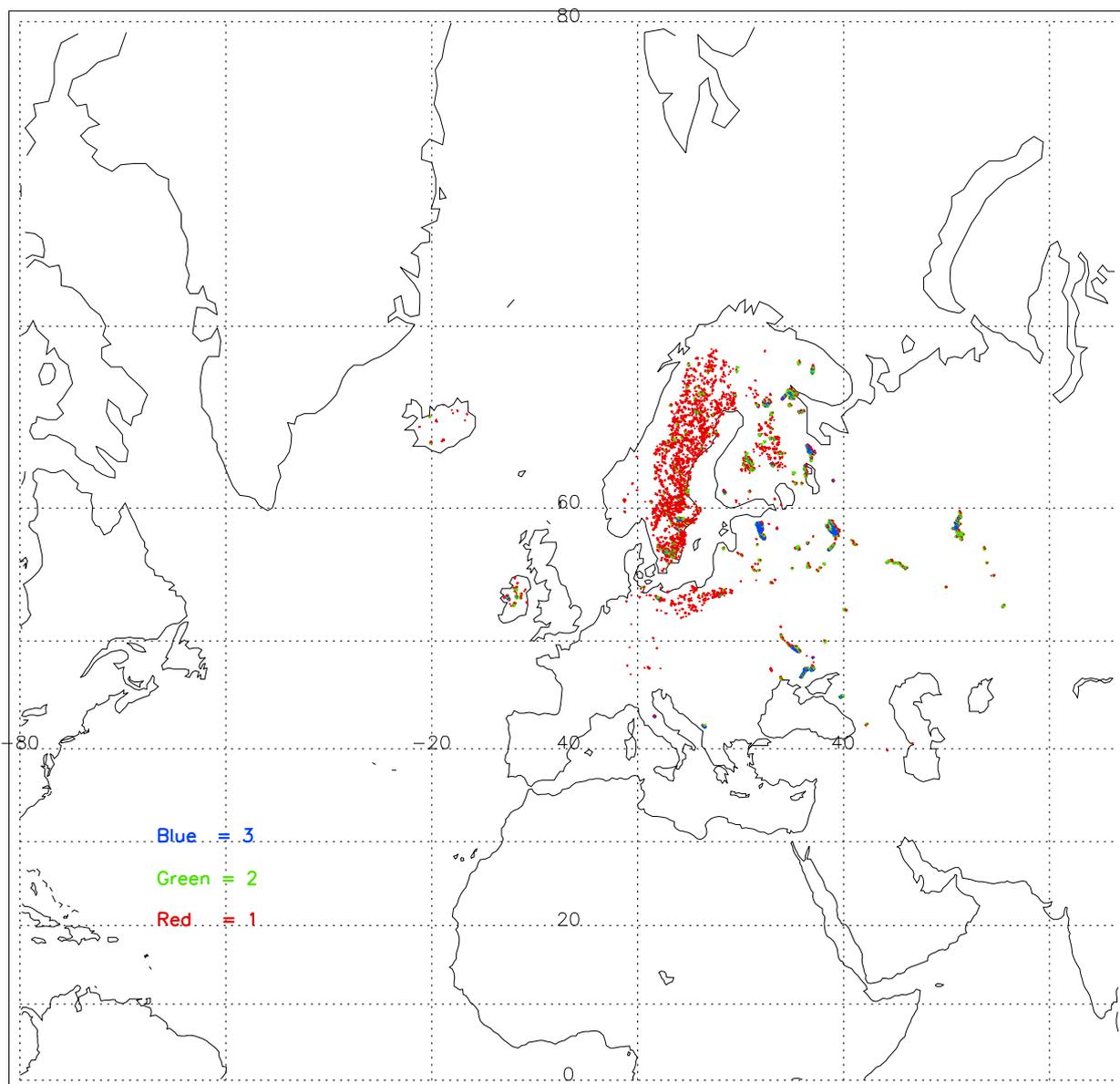


Рис 2.3 Средние озера (глубина = 7 м)

- 1- доля покрытия ячейки сетки 0-0.3
- 2- доля покрытия ячейки сетки 0.3-0.65
- 3- доля покрытия ячейки сетки 0.65-1

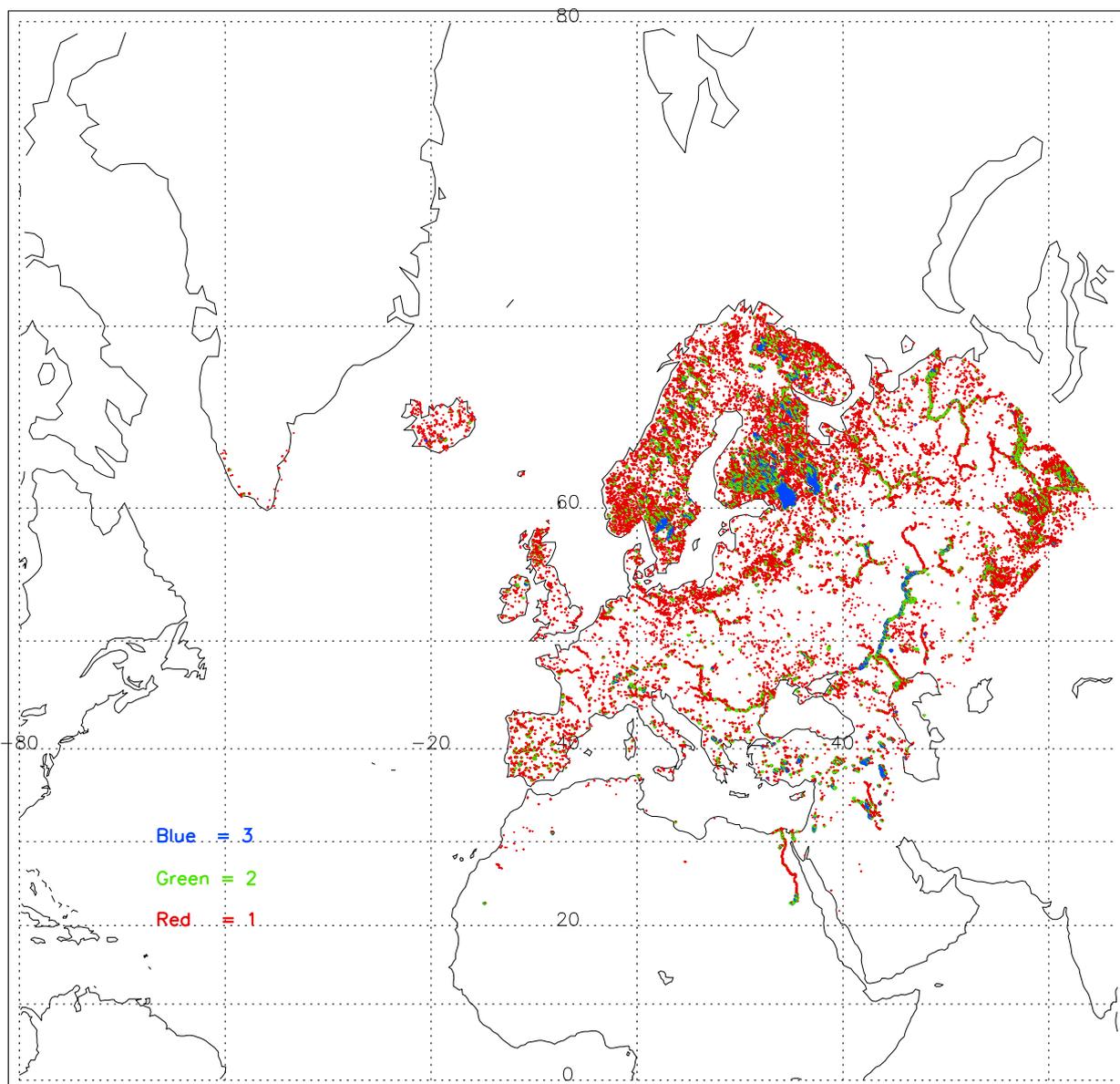


Рис 2.4 Глубокие озера (глубина > 7 м)

- 1- доля покрытия ячейки сетки 0-0.3
- 2- доля покрытия ячейки сетки 0.3-0.65
- 3- доля покрытия ячейки сетки 0.65-1

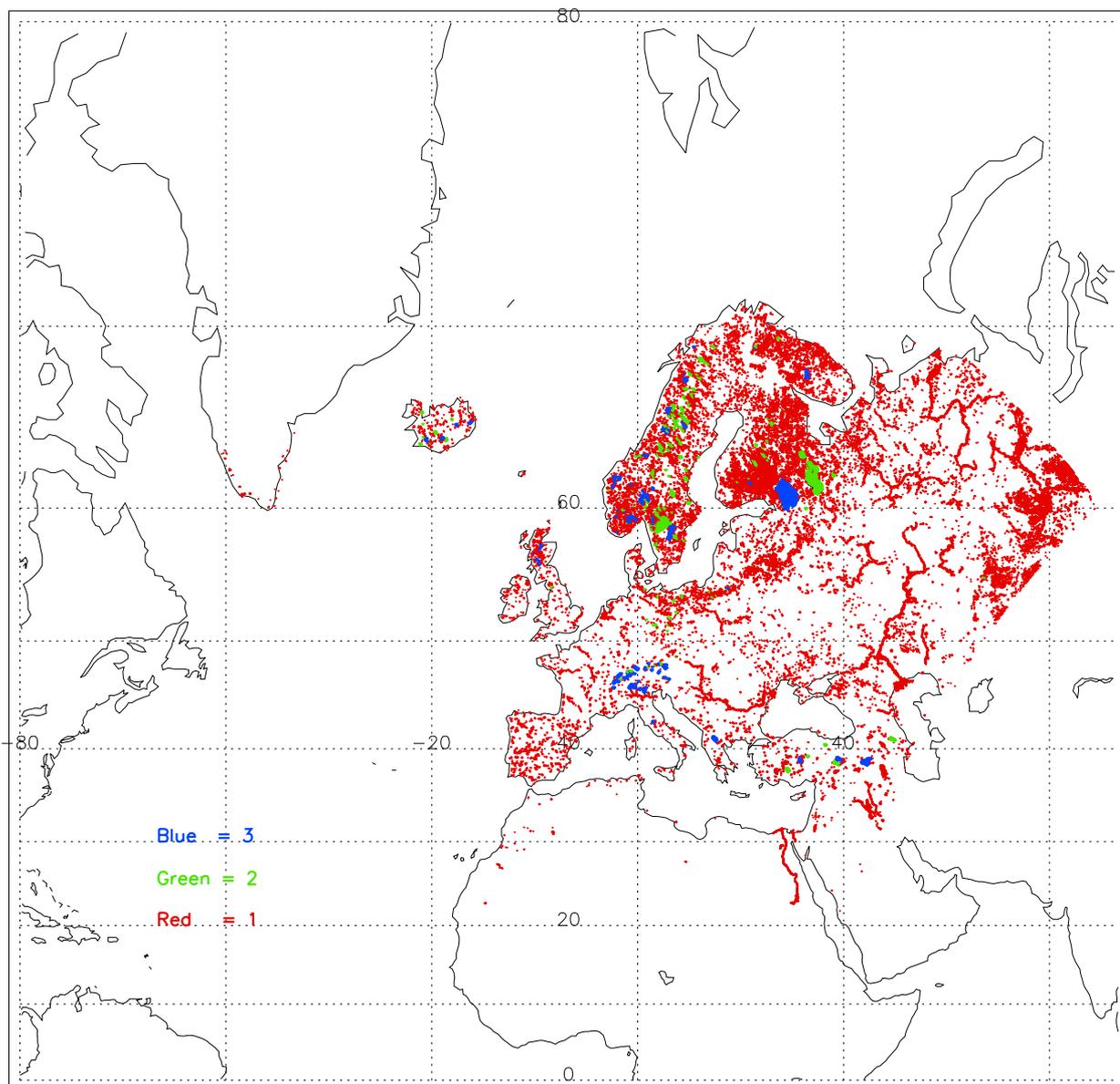


Рис 2.5 Глубина глубоких озер

1- глубина 7-15 м

2- глубина 15-30 м

3- глубина >30 м

## Заключение

Работа посвящена актуальной проблеме подготовки внешних данных для оперативных гидродинамических моделей атмосферы и моделей климата. Задача важна с практической точки зрения, и обладает теоретической новизной – при использовании данных для tiling-подхода применен метод, основанный на построении эмпирических функций распределения.

В рамках бакалаврской работы было сделано следующее:

- Изучены существующие наборы внешних данных для гидродинамических атмосферных моделей, основное внимание уделялось разным способам их построения и разрешению;
- Составлен обзор баз данных;
- Рассчитаны фракции (доля) разных по глубине озер в ячейках сетки модели атмосферы и глубины озер с максимальной повторяемостью;
- Проанализированы результаты.

В качестве выводов можно сформулировать следующее:

Самыми полными и обладающими самым высоким разрешением на сегодняшний день являются базы данных внешних параметров к моделям атмосферы ECOCLIMAP и GLCC.

Разработанные алгоритм и программа построения фракций (доли) разных по глубине озер в ячейках сетки модели атмосферы и глубин озер с максимальной повторяемостью могут быть применены в моделях атмосферы, использующих tiling-подход.

В дальнейшем рекомендуется доработка алгоритма и программы таким образом, чтобы их можно было применять для сеток, включающих точку полюса.

## Список использованных источников

- 1 The International Satellite Land Surface Climatology Project, Initiative II [электронный ресурс] // ISLSCP II – Introduction/ Режим доступа к сайту: [http://islscp2.sesda.com/ISLSCP2\\_1/html\\_pages/introduction.html](http://islscp2.sesda.com/ISLSCP2_1/html_pages/introduction.html)
- 2 [электронный ресурс] /GED 1.1 Template/ Режим доступа к сайту: [http://www.ngdc.noaa.gov/seg/cdroms/ged\\_ia/datasets/a10/wh.htm](http://www.ngdc.noaa.gov/seg/cdroms/ged_ia/datasets/a10/wh.htm)
- 3 About the Digital Chart of the World Data Server [электронный ресурс] // The Pennsylvania State University Libraries.-USA.,2005.-About the Digital Chart of the World Data Server/ Режим доступа к сайту: [http://www.maproom.psu.edu/dcw/dcw\\_about.shtml#DCW](http://www.maproom.psu.edu/dcw/dcw_about.shtml#DCW)
- 4 [электронный ресурс] Режим доступа к сайту: <http://www.epa.ie/OurEnvironment/Land/CorineLandCover/Technicaldetails/>
- 5 AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer [электронный ресурс] // AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer/ Режим доступа к сайту: <http://www.sat.dundee.ac.uk/avhrr.html>
- 6 [электронный ресурс] Режим доступа к сайту: <http://edcsns17.cr.usgs.gov/1KM/paper.html#defn1>
- 7 Алексеев, М.И. Программный комплекс обработки и визуализации архивных данных прибора AVHRR со спутников NOAA. [текст] Труды ВНИИГМИ – МЦД.-2000.-Вып. 166. С. 151 – 156.
- 8 Pan-European Land Cover Monitoring Project (PELCOM) [электронный ресурс] // PELCOM.htm/ Режим доступа к сайту: <http://www.geo-informatie.nl/projects/pelcom/public/index.htm>
- 9 International Geosphere-Biosphere Program Global 1-km Advanced Very High Resolution Radiometer Database [электронный ресурс] // International Geosphere-Biosphere Program Global 1-Km Advanced Very

- High Resolution Radiometer Data Base / Режим доступа к сайту:  
<http://www.ciesin.org/TG/HDP/igbp.html>
- 10 [электронный ресурс] Режим доступа к сайту:  
[http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/globdoc2\\_0.html](http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/globdoc2_0.html)
- 11 [электронный ресурс] Режим доступа к сайту:  
[http://www.cnrm.meteo.fr/gmme/PROJETS/ECOCLIMAP/page\\_ecoclimap.htm](http://www.cnrm.meteo.fr/gmme/PROJETS/ECOCLIMAP/page_ecoclimap.htm)
- 12 Kourzeneva, K., Braslavsky D., [текст] Lake model FLake, coupling with atmospheric model: first steps. Fourth SRNWP/HIRLAM Workshop on Surface Processes and Assimilation of Surface Variables jointly with HIRLAM Workshop on Turbulence, Workshop report.-2005.-SMHI, Norrkoping, Sweden.-С.-43-53.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А:

### Легенда глобальных экосистем

Значение	Описание
1	Город Urban
2	Луг с редкой низкой травой Low Sparse Grassland
3	Хвойный лес Coniferous Forest
4	Смешанный лес Deciduous Conifer Forest
5	Широколиственный листопадный лес Deciduous Broadleaf Forest
6	Вечнозеленый широколиственный лес Evergreen Broadleaf Forests
7	Высокие травы и кустарники Tall Grasses and Shrubs
8	Пустыня Bare Desert
9	Тундра горная Upland Tundra
10	Орошаемый луг Irrigated Grassland
11	Полупустыня Semi Desert
12	Ледник Glacier Ice
13	Лесистое влажное болото Wooded Wet Swamp
14	Внутренняя вода Inland Water
15	Морская вода Sea Water
16	Вечнозеленый кустарник Shrub Evergreen
17	Листопадный кустарник Shrub Deciduous
18	Смешанный лес и поле Mixed Forest and Field
19	Вечнозеленый лес и поле Evergreen Forest and Fields

20	Горный влажный лес Cool Rain Forest
21	Тайга Conifer Boreal Forest
22	Горный хвойный лес Cool Conifer Forest
23	Горный смешанный лес Cool Mixed Forest
24	Смешанный лес Mixed Forest
25	Горный широколиственный лес Cool Broadleaf Forest
26	Широколиственный листопадный лес Deciduous Broadleaf Forest
27	Хвойный лес Conifer Forest
28	Горный тропический лес Montane Tropical Forests
29	Сезонный тропический лес Seasonal Tropical Forest
30	Населенная местность и поле в горах Cool Crops and Towns
31	Поле и населенная местность Crops and Town
32	Сухой тропический лес Dry Tropical Woods
33	Влажный тропический лес Tropical Rainforest
34	Разрушающийся тропический лес Tropical Degraded Forest
35	Посевы кукурузы и фасоли Corn and Beans Cropland
36	Рисовые плантации и поля Rice Paddy and Field
37	Долинные орошаемые поля Hot Irrigated Cropland
38	Высокогорные орошаемые поля Cool Irrigated Cropland
39	Горные орошаемые поля Cold Irrigated Cropland
40	Горные луга и кустарники Cool Grasses and Shrubs
41	Луга и кустарники долин и невысоких гор Hot and Mild Grasses and Shrubs

42	Горные луга Cold Grassland
43	Саванна, лес Savanna (Woods)
44	Болото Mire, Bog, Fen
45	Заболоченные луга Marsh Wetland
46	Среднеземноморские кустарники Mediterranean Scrub
47	Сухие высокие кустарники Dry Woody Scrub
48	Сухой вечнозеленый лес Dry Evergreen Woods
49	Вулканические скалы Volcanic Rock
50	Песчаная пустыня Sand Desert
51	Полупустыня, кустарник Semi Desert Shrubs
52	Степь Semi Desert Sage
53	Тундра Barren Tundra
54	Высокогорные смешанные леса Южного полушария Cool Southern Hemisphere Mixed Forests
55	Высокогорные поля и леса Cool Fields and Woods
56	Лес и поле Forest and Field
57	Высокогорные леса и поля Cool Forest and Field
58	Поля и лес-саванна Fields and Woody Savanna
59	Суккуленты колючие кустарники Succulent and Thorn Scrub
60	Мелколиственные смешанные леса Small Leaf Mixed Woods
61	Листопадная и смешанная тайга Deciduous and Mixed Boreal Forest
62	Хвойный лес с узкими иглами Narrow Conifers
63	Тундра с карликовыми деревьями Wooded Tundra

64	Вересковые кустарники Heath Scrub
65	Прибрежная заболоченная местность, СЗ Coastal Wetland, NW
66	Прибрежная заболоченная местность, СВ Coastal Wetland, NE
67	Прибрежная заболоченная местность, ЮВ Coastal Wetland, SE
68	Прибрежная заболоченная местность, ЮЗ Coastal Wetland, SW
69	Полярная и альпийская пустыня Polar and Alpine Desert
70	Скалы, покрытые льдом Glacier Rock
71	Солончаки Salt Playas
72	Мангры Mangrove
73	Зона побережья Water and Island Fringe
74	Земля, вода и берег Land, Water, and Shore (see Note 1)
75	Земля, вода и реки Land and Water, Rivers (see Note 1)
76	Смесь поля и водной поверхности Crop and Water Mixtures
77	Хвойные леса южного полушария Southern Hemisphere Conifers
78	Смешанный лес южного полушария Southern Hemisphere Mixed Forest
79	Склерофитовый лес Wet Sclerophytic Forest
80	Побережье Coastline Fringe
81	Пляжи и дюны Beaches and Dunes
82	Редкие дюны и гребни Sparse Dunes and Ridges
83	Оголенные дюны побережья Bare Coastal Dunes
84	Остаточные дюны и пляжи Residual Dunes and Beaches
85	Смешанная береговая линия Compound Coastlines

86	Скалы и склоны Rocky Cliffs and Slopes
87	Луга и кустарники на песчаной почве Sandy Grassland and Shrubs
88	Бамбуковый лес Bamboo
89	Влажные эвкалипты Moist Eucalyptus
90	Влажный тропический лес Rain Green Tropical Forest
91	Лес-саванна Woody Savanna
92	Широколиственные кустарники Broadleaf Crops
93	Луга Grass Crops
94	Луг, поле, кустарник Crops, Grass, Shrubs
95	Вечнозеленые высокие возделываемые культуры Evergreen Tree Crop
96	Листопадные высокие возделываемые культуры Deciduous Tree Crop
99	Разрыв (для Goodes Homolosine картографической проекции) Interrupted Areas (Goodes Homolosine Projection)
100	Нет данных

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б:

Коды программы обработки данных озер (по глубинам)

```
program b1
  implicit none
  integer::ix,iy,i,j,dn,depth
  real::coordX,coordY,DMode,Fr_small,Fr_med,Fr_large
  real,dimension(773*965,13)::GR
  ! real :: Fr_Small_Max,Fr_Med_Max,Fr_large_Max
  integer :: Colour

  open(1,file='PDFDEPTH.dat')
  open(2,file='res.txt')
  open(3,file='res_Fr_small.txt')
  open(4,file='res_Fr_med.txt')
  open(5,file='res_Fr_large.txt')
  open(6,file='res_depth.txt')
  !-----
do i=1,745945

      read(1,111)iX,iY,coordX,coordY,(GR(i,j),j=1,13)
      111 format(2I4,2f6.1,13f7.4)
  !-----
      Fr_small=0
      Fr_med=0
      Fr_large=0
      do j=2,13
          select_Fr:SELECT CASE (j)
          CASE(2:3)
              Fr_small=Fr_small+GR(i,j)
          CASE(4:5)
              Fr_med=Fr_med+GR(i,j)
          CASE(6:13)
              Fr_large=Fr_large+GR(i,j)
          CASE DEFAULT
          END SELECT select_Fr
      end do
  !-----
      DMode=0.
      depth=0
      dn=0

      do j=6,13
          if(GR(i,j)>DMode) then
              DMode=GR(i,j)
              dn=j
          end if
      end do
      select_depth:SELECT CASE (dn)
          CASE(6)
```

```

        depth=10
    CASE(7)
        depth=14
    CASE(8)
        depth=18
    CASE(9)
        depth=22
    CASE(10)
        depth=27
    CASE(11)
        depth=33
    CASE(12)
        depth=39
    CASE(13)
        depth=50
    CASE DEFAULT
        depth=0
END SELECT select_depth

```

```

!-----
    Colour=0
    if(Fr_small.GT.0.0) then
        if(Fr_small.LE.0.3) then
            Colour=1
        else
            if(Fr_small.LE.0.65) then
                Colour=2
            else
                Colour=3
            end if
        end if
    end if
    if(Colour>0) then
        write(3,889)ix, iy, coordX, coordY, Colour
    end if

```

```

!-----
    Colour=0
    if(Fr_med.GT.0.0) then
        if(Fr_med.LE.0.3) then
            Colour=1
        else
            if(Fr_med.LE.0.65) then
                Colour=2
            else
                Colour=3
            end if
        end if
    end if
    if(Colour>0) then
        write(4,889)ix, iy, coordX, coordY, Colour
    end if

```

```

!-----
    Colour=0
    if(Fr_large.GT.0.0) then
      if(Fr_large.LE.0.3) then
        Colour=1
      else
        if(Fr_large.LE.0.65) then
          Colour=2
        else
          Colour=3
        end if
      end if
    end if
    if(Colour>0) then
      write(5,889)ix, iy, coordX, coordY, Colour
    end if
!-----
    Colour=0
    if(depth.GT.0) then
      if(depth.LE.15) then
        Colour=1
      else
        if(depth.LE.30) then
          Colour=2
        else
          Colour=3
        end if
      end if
    end if
    if(Colour>0) then
      write(6,889)ix, iy, coordX, coordY, Colour
    end if
!-----
write(2,888)ix, iy, coordX, coordY, Fr_small, Fr_med, Fr_large, DMode, depth
      888 format(2I4,2f6.1, 3f6.4, f10.4, I4)
      889 format (2I4,2f6.1,I4)

end do
end program b1

```