

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



К.Ю. Булгаков , К.В. Фокина

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА

ПРАКТИКУМ

Санкт-Петербург
РГГМУ
2021

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

К.Ю. Булгаков , К.В. Фокина

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И
ОКЕАНА
ПРАКТИКУМ

Санкт- Петербург
РГГМУ
2021

УДК 551.50
ББК 26.23

Рецензент Н.В. Гнатюк, канд. географ. наук, зам.директора по общим вопросам, Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена

Булгаков К.Ю., Фокина К.В.

Взаимодействие атмосферы и океана. Практикум / К.Ю. Булгаков, К.В. Фокина. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2021. – 36 с.

В практикуме описываются способы получения данных необходимых для выполнения практических заданий по дисциплине «Взаимодействие атмосферы и океана», а также выполнение самих заданий. Практикум предназначен для студентов, обучающихся в высших и средних учебных заведениях гидрометеорологического профиля по направлению «Гидрометеорология». Практикум может быть использован при изучении следующих дисциплин: «Взаимодействие атмосферы и океана».

Практикум рекомендован к изданию учебно-методическим советом метеорологического факультета Российского государственного гидрометеорологического университета.

УДК 551.50
ББК 26.23

© Российский государственный
гидрометеорологический университет
ISBN 978-5-86813-528-6 (РГГМУ), 2021 г.

Содержание

Введение.....	4
Практическая работа № 1 «Доступ к метеорологическим и гидрологическим данным получаемых на автоматизированных измерительных буях».....	5
Практическая работа № 2 «Расчеты турбулентных потоков над поверхностью океана по данным наблюдений».....	20
Практическая работа № 3 «Определение теплосодержания деятельного слоя океана и компонент теплового баланса».....	27
Практическая работа № 4 «Определение формы волнового спектра для волн разной степени развития»	32

Введение

Данный практикум составлен по программе дисциплины «Взаимодействие атмосферы и океана». Основная цель – закрепление теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях по вышеуказанной дисциплине, и получение практических навыков специфических расчетов.

В практикуме даны четыре практические работы, которые выполняются в рамках дисциплины. Описывается способ получения данных, необходимых для выполнения практических работ, которые выполняются в рамках дисциплины. Для расчетных заданий приводятся формулы, по которым производятся требуемые вычисления.

Практическая работа № 1 «Доступ к метеорологическим и гидрологическим данным, получаемым на автоматизированных измерительных буйях»

Для исследования различных процессов взаимодействия атмосферы и океана требуются данные метеорологических и гидрологических полей. Одним из возможных источников таких полей являются данные измерений, проводимые автоматизированными метеорологическими станциями, установленными на буйях в Мировом океане.

PMEL (Тихоокеанская морская лаборатория окружающей среды) разработала и успешно использовала в нескольких проектах автоматические измерительные платформы. Каждая платформа представляет собой буй, закреплённый тросом к морскому дну. На буйе установлены следующие датчики: анеморумбометр или ультразвуковой анемометр для измерения скорости и направления ветра, тепловой резистор сопротивления для измерения температуры, емкостный конденсатор для измерения относительной влажности, трансдуктор для измерения атмосферного давления, емкостный конденсатор для измерения количества осадков, пиранометры для измерения приходящей коротковолновой и длинноволновой радиации. К тросу на нескольких глубинах прикреплены термисторы сопротивления для измерения температуры воды, ячейки проводимости для измерения солёности, трансдукторы для измерения давления морской воды, доплеровские измерители скорости и направления течений.

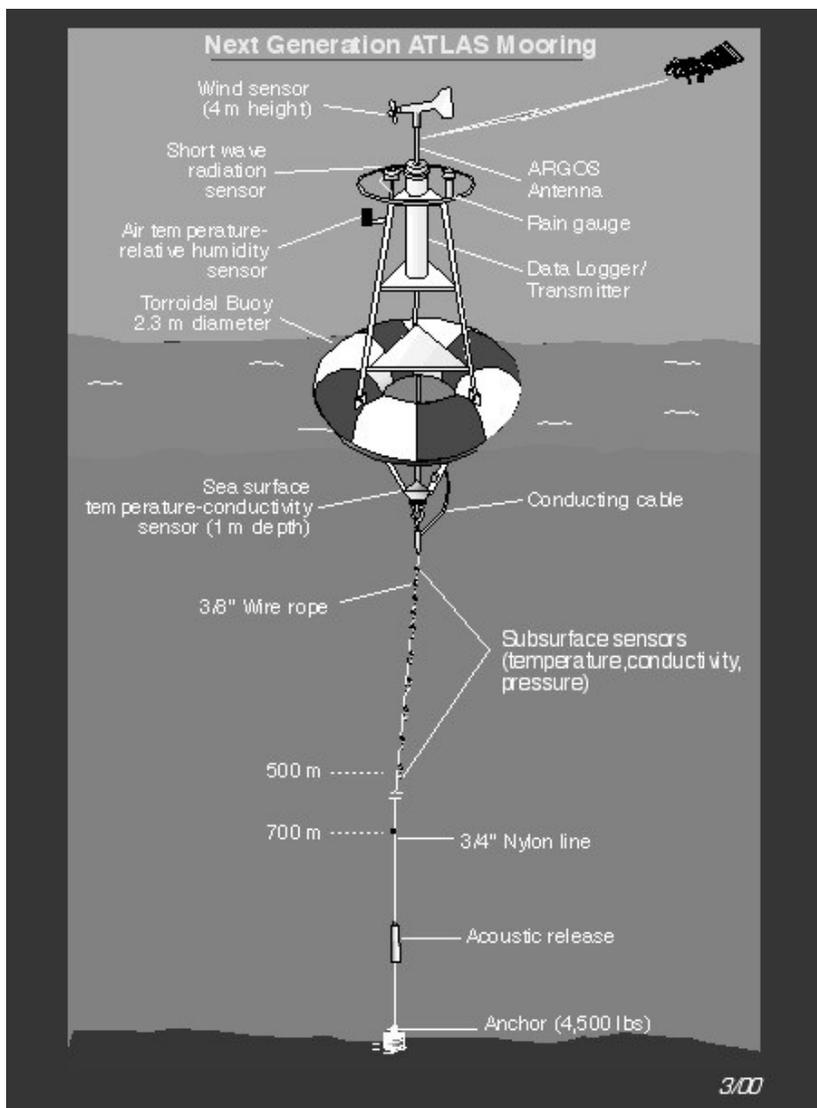


Рис. 1. Схема автоматизированной измерительной станции, рисунок взят с сайта <https://www.pmel.noaa.gov>.

Данные получаемые на упомянутых автоматических метеостанциях доступны на сайте лаборатории <https://www.pmel.noaa.gov>.

На сайте нужно выбрать вкладку Data и во всплывающем меню выбрать Data Links (см. рис. 2).

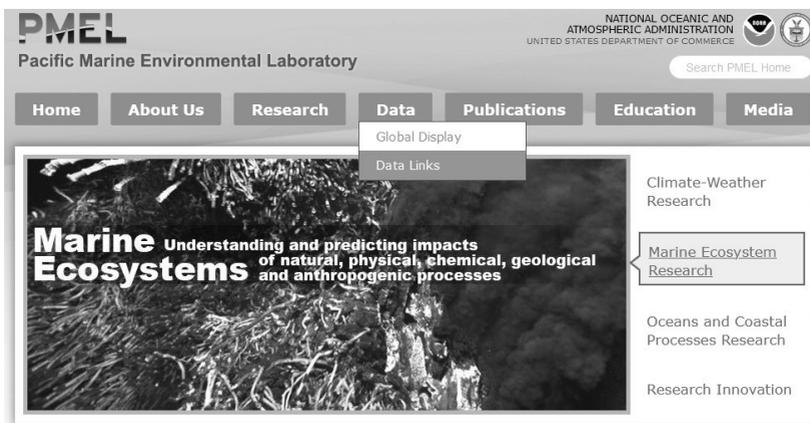


Рис. 2. главная страница сайта <https://www.pmel.noaa.gov>

На загрузившейся странице выбрать [Global Tropical Moored Buoy Array \(GT MBA\) Data](#) (рис. 3)

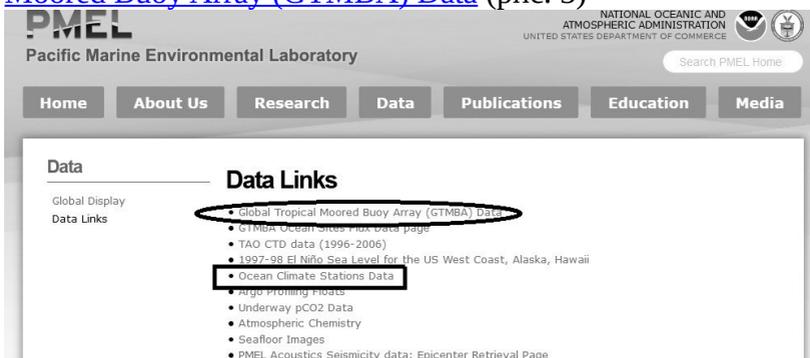


Рис. 3. Страница с выбором архивов данных

Откроется новое окно, в котором будет меню перехода к группам автоматических метеостанций в различных океанах (на рис. 4 в прямоугольнике): ‘TAO/TRITON (PACIFIC)’ станции Тихого океана, ‘PIRATA (ATLANTIC)’ станции Атлантического океана, ‘RAMA (Indian)’ станции Индийского океана. Ниже этого меню представлена интерактивная карта, на которой можно выбрать какую-либо станцию (отмечены на карте квадратами) для получения данных. Под картой находится меню выбора вида визуализации данных и формирования файлов для скачивания. Доступны следующие варианты: ‘Times series’ — временной ход выбранных характеристик, ‘Profiles’ — временная серия профилей изменения гидрологических характеристик по глубине, ‘Time Section’ — широтно-временной или долготно-временной разрез по выбору, ‘Lat Lon map’ — горизонтальное распределение выбранной характеристики внутри района, покрытого станциями, ‘Depth section’ — глубинно-широтный или глубинно-долготный разрез по выбору.

– Data Display and Delivery

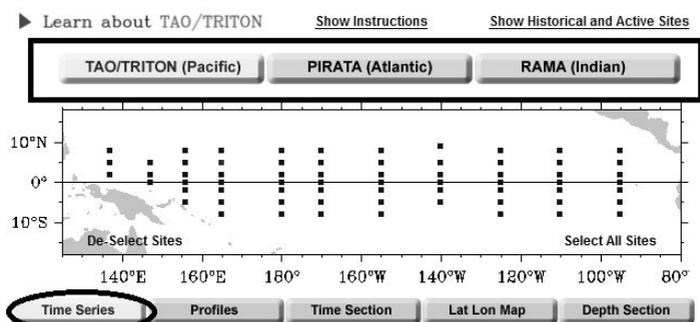


Рис. 4. Меню выбора местоположения буев

Для практических задач в данном курсе будут использоваться временные ряды характеристик, поэтому дальнейшее описание получения данных будет дано для ‘Times series’ (на рис. 4 обведен овалом)

При выборе этого пункта, ниже вышеуказанного меню появляются поля для выбора формирования файлов и визуализации рядов (на рис. 5 в овале).

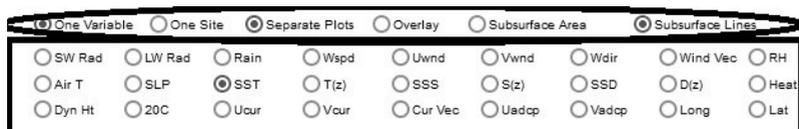


Рис. 5. Меню выбора переменной

Предлагаются следующие опции:

‘One Variable’ — выходной файл и изображение временного ряда формируется для одной переменной, например, для давления, по выбранным станциями,

‘One Site’ — выходной файл и изображения формируются для одной станции по выбранным переменным,

‘Separate Plots’ — временные ходы визуализируются на отдельные графики,

‘Overlay’ — временные ходы визуализируются на одном графике,

‘Subsurface Area’ — использование заливки между изолиниями, применяется только для визуализации гидрологических характеристик,

‘Subsurface Lines’ — использование только изолиний без заливки, применяется только для визуализации гидрологических характеристик.

При выборе этой опции предлагаются поля переменных (обведены квадратом на рис. 5) которые могут быть визуализированы и ряды которых доступны для

формирования файла.

Доступны следующие метеорологические характеристики:

‘SW Rad’ — проходящая коротковолновая радиация,

‘LW Rad’ — проходящая длинноволновая радиация,

‘Rain’ — интенсивность дождевых осадков,

‘Wspd’ — модуль вектора скорость ветра,

‘Uwnd’ — долготная компонента скорости ветра ,

‘Vwnd’ — широтная компонента скорости ветра,

‘Wdir’ — направление ветра,

‘Wind Vec’ — вектор скорости ветра (при выборе любой из вышеуказанных характеристик ветра, будут сформированы файлы содержащие обе компоненты, модуль скорости и направление, но при визуализации результатов будет сгенерирован рисунок именно с выбранной характеристикой) ,

‘RH’ — относительная влажность,

‘Air T’ — температура воздуха,

‘SLP’ — барометрическое давление.

Доступны следующие гидрологические характеристики:

‘SST’ — температура поверхности океана,

‘T(z)’ — температуры на глубинах,

‘SSS’ — соленость поверхности океана,

‘S(z)’ — соленость на глубинах,

‘SSD’ — плотность поверхности океана,

‘D(z)’ — плотность на глубинах,

‘Heat’ теплосодержание верхних 300 метров океана,

’Dун Ht’ — высота поверхности над невозмущенным уровнем, за вычетом колебаний, создаваемыми ветровыми волнами,

‘20C’ — глубина изотермы 20 градусов Цельсия ,

‘Ucur’ — долготная компонента скорости течения на

глубинах,
 ‘Vcur’ — широтная компонента скорости течения на глубинах,
 ‘Cur Vec’ — вектор скорости течения на глубинах,
 ‘Uadcp’ — долготная компонента скорости течения, измеряемая доплеровским радаром,
 ‘Vadcp’ — широтная компонента скорости течения, измеряемая доплеровским радаром.
 Так же доступно позиционирование буев
 ‘Long’ — координаты буя по долготе,
 ‘Lat’ — координаты буя по долготе.

При выборе переменных ‘T(z)’, ‘S(z)’, ‘D(z)’, ‘Ucur’, ‘Vcur’ и ‘Cur Vec’- открывается новое окно, в котором предлагается выбор либо всех глубин для визуализации, либо одной глубины из имеющихся (рис. 6).

ONE VARIABLE - SEPARATE PLOTS

Click blue boxes to choose single depths or All Available for time-depth plots that include all depths.
 Note how the array map changes showing where these depths are available. Depths in meters.
 Some depths are only at inactive Pacific sites: select Show All Active and Historical Sites.

All Available Depths

- 3
- 5
- 10
- 12
- 15
- 25
- 38
- 40
- 45
- 50
- 52
- 60
- 75
- 80
- 82
- 100
- 102
- 120
- 150
- 160
- 182
- 200

Рис. 6. Окно выбора глубин измерений температуры

При выборе любой из переменных: ‘Ucur’, ‘Vcur’ и ‘Cur Vec’ формируемый файл будет содержать широтную и долготную компоненты, направление и скорость течений на всех доступных глубинах. При выборе ‘Uadcpr’ и ‘Vadcpr’ формируемый файл будет содержать широтную и долготную компоненты скорости течений на всех глубинах, где скорость была измерена доплеровским радаром.

Ниже области выбора переменных находится поля выбора временных настроек, а также опции выходных файлов, в которой можно задать даты начала и конца временного ряда (обозначены овалом), временное разрешение ряда, опции выходного файла (обозначены прямоугольником) (рис. 7).



Рис. 7. Меню выбора временного отрезка данных и опций выходных файлов

Доступно следующее временное разрешение рядов:
‘Quarterly’ - осредненные по кварталу,
‘Monthly’ – осредненные за месяц,
‘5-daily’ – средние за 5 дней,
‘Daily’ – среднесуточные,
‘High resolution’ – данные с высоким временным разрешением.

При выборе последнего варианта появляется окно с выбором разрешения (рис. 8).

	SW	LW	Rain	SLP	Wind	RH	AirT	SST	T(z)	SSS	S(z)	SSD	D(z)	Cur	ADCP
All Available Averaging Intervals															
1 min									■						
2 min		■	■												
3.75 min									■						
7.5 min									■					■	
10 min			■		■	■	■	■	■					■	
15 min					■		■	■	■					■	
20 min		■												■	
30 min					■		■	■	■					■	
1 hour	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2 hour					■		■	■	■					■	
4 hour							■	■	■						
6 hour					■	■	■	■	■						
8 hour							■	■	■						

Рис. 8. Окно выбора временного разрешения данных

В этом окне можно осуществить выбор необходимого разрешения из имеющихся.

Дальнейшее получение данных будет рассмотрено на примере метеорологических и гидрологических поверхностных характеристик в одной точке ‘One Site’, для временного разрешения 1 час.

Доступны следующие опции выходных файлов:

‘file by site’ – выходные файлы формируются отдельно по каждому бую,

‘file by site in a tar file’ – вариант аналогичный первому, но все выходные файлы заархивированы в tar файл,

‘all site in one file’ – выходные файлы группируются по одной переменной с нескольких буюв, при выборе ‘One Site’ работать не будет.

Следующая опция – выбор типа файла, доступны ASCII коды, и различные варианты NetCDF файлов, далее будет рассматриваться получение файлов в формате ASCII кодов. Последняя опция – возможность дополнительного сжатия выходных файлов архиватором gzip.

По техническим причинам временные ряды некоторых переменных для некоторых автоматических метеостанций могут отсутствовать. После выбора всех требуемых пользователю переменных, на карте показано по каким автоматическим метеостанциям имеются требуемые записи, а по каким нет.

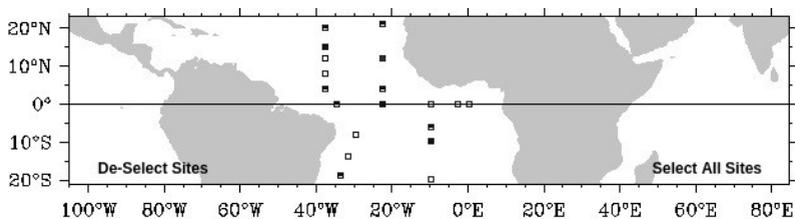


Рис. 9. Пример карты с местоположением буев

На рис. 9 можно видеть, что часть буев с метеостанциями отмечена полностью закрашенными квадратами, что значит, что они содержат требуемые ряды, часть отмечена квадратами, закрашенными наполовину, это значит каких-либо переменных или какого-либо промежутка времени в рядах для этих метеостанций не хватает, незакрашенными квадратами отмечены станции, где нет требуемых данных.

Ниже области с опциями файлов представлена область с возможными действиями (рис. 10).



Рис. 10. Меню действий

Кнопка 'Definition' вызывает окно, где указано, каким переменным соответствует какая аббревиатура,

‘Availability’ вызывает окно, где показана длительность временных рядов по выбранным переменным. На рис. 11 показан пример такого окна для переменной температуры воздуха, каждый буй отмечен ссылкой в виде картинки, при нажатие на которую, она открывается в большом виде (рис. 12).

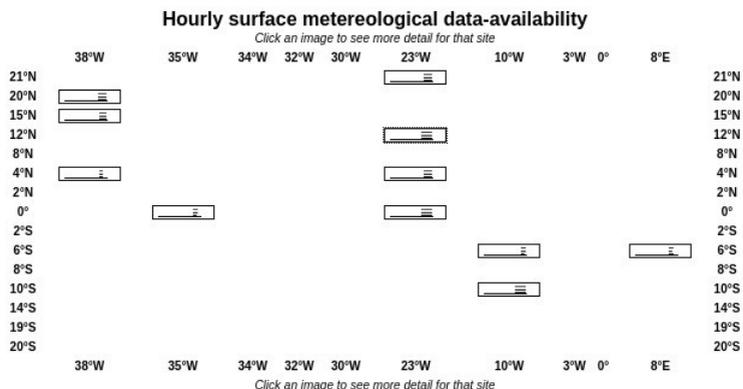


Рис. 11. Окно доступных временных рядов выбранных переменных для всех буев одного океана

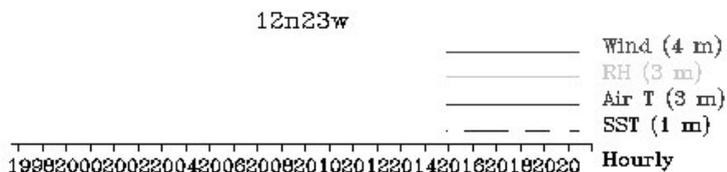


Рис. 12. Окно доступных временных рядов выбранных переменных для одного буя

По этому изображению можно видеть, за какой период доступны данные по данной метеостанции.

Кнопка ‘Clear’ возвращает web страницу к исходному виду,

кнопка ‘Deliver’ формирует запрос на получение файлов, кнопка ‘Display’ визуализирует данные.

После запроса, появляется окно, в котором предлагают указать организацию, которая будет использовать данные и цель, для которой эти данные используются (рис. 13).

If you use these data in publications, please acknowledge the TAO Project Office of NOAA/PMEL. Also, we would appreciate receiving a preprint and/or reprint of publications utilizing the data for inclusion in the TAO bibliography. Relevant publications should be sent to:

TAO Project Office
NOAA/Pacific Marine Environmental Laboratory
7600 Sand Point Way NE
Seattle, WA 98115

Registration information is voluntary and for internal use only. To obtain data without registering, simply click on the deliver button. For more information, please see our [Privacy and Paperwork Reduction Act Policy](#) notice.

Registration:
Your Organization

One sentence description of your intended use of the data

OMB Control # 0648-0342, expires April 30 2015

Рис. 13. Форма для заполнения

После ввода, необходимо нажать кнопку ‘Deliver’ в этом окне, через некоторое время в данном окне появятся ссылки для скачивания запрашиваемых файлов (рис. 14).

На рис. 14 представлен пример получения файлов для автоматической метеостанции с координатами 12 градусов с.ш. и 23 градусов восточной долготы, что указано в название файлов с расширением `ascii`, которые содержат данные (например `br12n23e_hr.ascii`). Для получения были выбраны следующие метеорологические и гидрологические величины: ‘Air T’, ‘RH’, ‘SST’, ‘Uwnd’,

'Vwnd' (ряды этих переменных записаны в файл met0n165e_hr.ascii), 'SLP' (записан в файл bp12n23w_hr.ascii), 'Rain' (записан в файл r12n23w_hr.ascii), 'SW Rad' (записан в файл rad12n23w_hr.ascii), 'LW Rad' (записан в файл lw12n23w_hr.ascii). Файлы типа README***.txt подробно описывают содержимое соответствующих файлов с данными. Файлы типа *.f содержат коды программ на языке FORTRAN для чтения соответствующих данных. В файлах с данными met*.ascii

Global Tropical Moored Buoy Array *Data delivery*
Pacific Marine Environmental Laboratory

*Click with your mouse (and **hold** on a **MacIntosh** or **Unix** workstation) on the links below and select **Save Link As** or **Save Target As**. On **Unix** workstations and **PCs** you must use the **right** mouse button. More hints on *downloading files*. We also have all of our data available on our **FTP site**: contact oar.pmel.taotech@noaa.gov for details.*

[README_bp.txt](#)
[README_lw.txt](#)
[README_met.txt](#)
[README_rad.txt](#)
[README_rain.txt](#)
[bp12n23w_hr.ascii](#)
[lw12n23w_hr.ascii](#)
[met12n23w_hr.ascii](#)
[rad12n23w_hr.ascii](#)
[rain12n23w_hr.ascii](#)
[met_hr_read.f](#)
[rad_hr_read.f](#)
[rain_hr_read.f](#)
[bp_hr_read.f](#)

Sample [programs](#) for reading ascii files

Рис. 14. Окно с ссылками на файлы

Файлы, содержащие данные, могут быть открыты любым текстовым редактором (например, Блокнот или WordPad в ОС Windows, vi или emacs в ОС Linux/Unix). Файлы этого типа состоят из заголовков, в котором содержится краткая информация о данных, и временных рядов, пример файла met0n165e_hr.ascii показан на рис.15.

```

Location: 12N 23W 2200 28 Nov 2015 to 1800 11 Jun 2021 ( 48525 times, 1 blocks) Gen. Date Jun 12 2021
Units: Winds (m/s), W. Dir (deg), AirT (C), SST (C), Rel. Humidity (%), -99.9 = missing
Winds Use Oceanographic Convention:(1,1) is NE at sqrt(2) m/s
Time: 2200 28 Nov 2015 to 1800 11 Jun 2021 (index 1 to 48525, 48525 times)
Depth (M): -4 -4 -4 -4 -3 1 -3 QUALITY SOURCE
YYYYMMDD HHMM UWIND WWND WSPD WDIR AIRT SST RH SDATH SDATH
20151128 2200 -3.9 -7.7 8.6 206.9 26.70 27.47 80.7 22222 11111
20151128 2300 -3.0 -7.5 8.2 201.8 26.80 27.45 77.7 22222 11111
20151129 0000 -5.7 -6.1 8.4 223.1 26.80 27.45 77.3 22222 11111
20151129 0100 -6.1 -5.7 8.4 226.9 26.80 27.44 77.5 22222 11111
20151129 0200 -4.9 -6.6 8.3 216.6 26.70 27.43 79.1 22222 11111
20151129 0300 -4.4 -8.1 9.3 208.5 26.60 27.39 81.5 22222 11111
20151129 0400 -3.7 -8.3 9.1 204.0 26.70 27.38 80.6 22222 11111
20151129 0500 -4.8 -7.0 8.5 214.4 26.70 27.37 80.6 22222 11111
20151129 0600 -6.7 -8.0 10.4 219.9 26.60 27.35 79.1 22222 11111
20151129 0700 -5.8 -7.1 9.2 219.2 26.80 27.33 77.9 22222 11111
20151129 0800 -5.3 -7.5 9.2 215.2 27.10 27.31 74.6 22222 11111
20151129 0900 -5.9 -6.5 8.9 222.2 27.20 27.32 71.7 22222 11111
20151129 1000 -6.5 -6.3 9.1 225.9 27.20 27.29 73.7 22222 11111
20151129 1100 -7.3 -7.1 10.2 225.8 27.30 27.29 72.0 22222 11111

```

Рис. 15. Пример файла с данными

Заголовок (4 первых строки) показывает координаты буя (Location: 12N 23W), время начала и время конца временного ряда (2200 28 Nov 2015 to 1800 11 Jun 2021), количество временных записей и в какое количество блоков они записаны (48525 times, 1 blocks), время создания файла (Gen. Date Jun 12 2021), единицы измерений (Units: Winds (m/s), W. Dir (deg), AirT (C), SST(C), Rel. Humidity (%)) значение, которое заменяет пропущенные записи данных -(99.9=missing), указывается какое направление вектора скорости принято за положительное (Winds Use Oceanographic Convection: (1,1) is NE at sqrt(2) m/s).

Далее указывается время начала и конца первого временного блока и количество временных записей в нем (Time: 2200 28 Nov 2015 to 1800 11 Jun (Index 1 to 48525,

48525 times).

Данные в файлах делятся на нескольких временных блоках, если временные ряды содержащихся в них не непрерывны, в данном случае временной ряд непрерывный, поэтому файл содержит только один временной блок.

Далее в файл записана строка, в которой указана высота (или глубина) установки датчиков, для атмосферных измерений высота дается с отрицательным знаком (Depth (M): -4 -4 -4 -4 -3 1 -3), Последние две записи в этой строчке 'QUALITY' и 'SOURCE' совместно с записями 'SDATH', которые расхоложены ниже, обозначают название переменной, которые записаны в эти колонках.

'QUALITY' - качество полученных измерений, записывается в следующей кодировке:

'0' — измерение пропущено

'1' — наивысшее качество, калибровки до и после развертывания метеостанции совпадают с техническими характеристиками датчика.

'2' — качество по умолчанию, принимается, что такое качество имеет данные, получаемые дистанционно, а также данные с датчиков, калибровка которых не проводилась или калибровка которых была признана не действительной.

'3' — скорректированные данные, калибровки до и после развертывания метеостанции отличаются или данные имеют сильный шум, или данные имеют существенные отличия от данных, полученных с других источников, была проведена коррекция данных для уменьшения ошибки.

'4' — низкое качество, калибровки до и после развертывания метеостанции отличаются или данные имеют сильный шум, или данные имеют существенные

отличия от данных полученных с других источников, коррекция данных невозможна по каким-либо причинам.

‘5’ — датчик вышел из строя.

‘SOURCE’ — источник измерений, записывается в следующей кодировке:

‘0’ — измерения не проводилось,

‘1’ — прямые измерения в реальном времени переданные дистанционно,

‘2’ — косвенные измерения в реальном времени переданные дистанционно,

‘3’ — интерполированные по времени прямые или косвенные измерения переданные дистанционно,

‘4’ — код источника неактивен в настоящее время,

‘5’ — прямые измерения, переданные контактным путем

‘6’ — косвенные измерения, переданные контактным путем

‘7’ — интерполированные по времени прямые или косвенные измерения переданные контактным путем.

Следующая строка — названиям колонок, — в колонке под обозначением ‘YYYYMMDD’ будет дата, под ‘HHMM’ время, далее идут обозначения переменных записанных в колонках ниже.

Ниже этой строки, в соответствующих колонках записываются время и дата измерений, измерения, код полученных данных и источник полученных данных.

Практическая работа № 2 «Расчеты турбулентных потоков над поверхностью океана по данным наблюдений»

Для расчета турбулентных потоков над поверхностью океана будет использоваться процедура COARE3.0. Данная процедура находится в открытом доступе ftp://ftp1.esrl.noaa.gov/BLO/Air-Sea/bulkalg/cor3_0/fortran3_0/f77/. Некоторые браузеры могут ограничивать доступ к содержимому этой страницы, в этом случае необходимо убрать ограничения в настройках браузера (рис.16).

Каталог FTP /BLO/Air-Sea/bulkalg/cor3_0/fortran3_0/f77/ на ftp1.esrl.noaa.gov

Чтобы просмотреть этот FTP-сайт в проводнике, нажмите клавишу ALT, щелкните Вид, а затем выберите команду Открыть FTP-сайт в проводнике.

[На один уровень вверх](#)

04/08/2005 12:00	28,295	cor3_0bf.for
04/08/2005 12:00	28,306	cor3_0bh.for
08/22/2003 12:00	11,484	test3_0.txt
04/08/2005 12:00	11,252	test3_0bh.txt
04/08/2005 12:00	14,848	tat3_0bf.out
04/08/2005 12:00	14,848	tat3_0bh.out

Рис. 16. Ссылки на файлы с текстами программ, входными данными и результатом работы программы

Для использования процедуры с данными наблюдений, полученных на автоматических метеостанциях, установленных на буйях, необходимо скачать файл cor3_0bf.for, данный файл содержит код процедуры написанный в синтаксисе FORTRAN 77. Файл test3_0.txt содержит тестовые данные для проверки работоспособности процедуры, фрагмент файла показан на рис. 17.

19921125132100.00	4.70	29.00	27.70	17.60	0.00	428.00	0.00	-1.73	156.07	29.15
19921125141200.00	4.10	29.00	27.70	17.70	0.00	429.00	0.00	-1.73	156.06	29.15
19921125150300.00	4.30	29.00	27.80	17.80	0.00	422.00	0.00	-1.73	156.06	29.15
19921125155500.00	4.70	29.00	27.80	17.60	0.00	412.00	0.00	-1.73	156.05	29.15
19921125164600.00	3.70	29.00	27.70	17.30	0.00	413.00	0.00	-1.73	156.04	29.16
19921125173800.00	5.10	29.00	27.30	17.60	0.00	419.00	0.00	-1.73	156.02	29.16
19921125182900.00	2.50	29.00	27.50	17.90	0.00	425.00	0.00	-1.73	156.01	29.16
19921125192000.00	3.80	29.00	27.90	17.70	50.00	427.00	0.00	-1.73	156.00	29.15
19921125201200.00	4.80	29.00	28.00	17.60	249.00	428.00	0.00	-1.73	156.00	29.14
19921125210500.00	3.90	29.00	27.80	18.30	386.00	422.00	0.00	-1.73	155.99	29.13
19921125221900.00	4.60	29.10	27.90	17.60	633.00	413.00	0.00	-1.73	155.99	29.14
19921125232700.00	5.20	29.20	28.00	18.00	881.00	409.00	0.00	-1.73	155.99	29.14
19921126001900.00	4.40	29.30	28.10	18.10	883.00	414.00	0.00	-1.73	155.98	29.20
19921126011000.00	4.00	29.30	28.10	18.60	853.00	420.00	0.00	-1.73	155.97	29.27
19921126022200.00	4.80	29.50	28.50	17.90	842.00	417.00	0.00	-1.73	155.97	29.26
19921126031300.00	4.80	29.50	28.40	18.10	779.00	411.00	0.00	-1.72	155.97	29.42

Рис. 17. Пример файла с входными данными

Первая колонка в файле содержит время и дату наблюдений записанных в формате год (первые 4 цифры), месяц (5-я, 6-я цифра), день (7-я, 8-я цифра), час (9-я, 10 цифра), минута (11-я, 12-я цифра), далее идет разделитель '.' и после неё секунда (13-я, 14-я цифра). Вторая колонка содержит скорость, третья колонка – температуру воды на глубине 0.5 метров, пятая колонка – температуру воздуха, шестая колонка - удельную влажность, седьмая колонка – приходящую коротковолновую радиацию, восьмая колонка – приходящую длиноволновую радиацию, девятая колонка осадки, десятая колонка – широту, одиннадцатая колонка – долготу, двенадцатая колонка – температуру воды на глубине 6 метров.

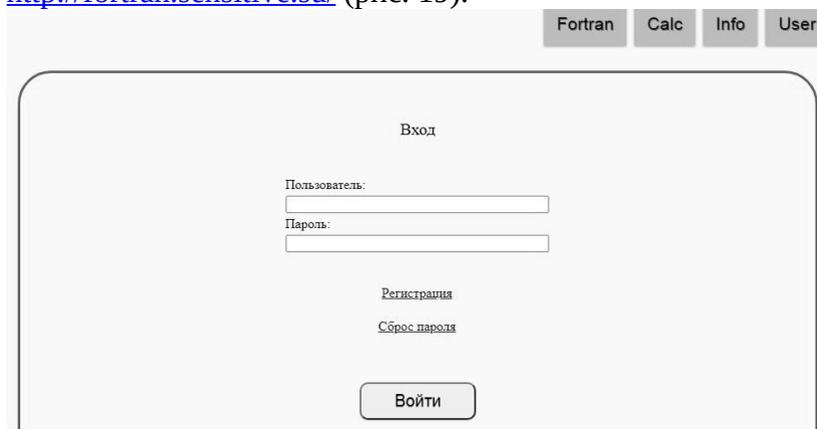
Файл tst3_0bf.out содержит результаты расчета процедуры с тестовыми данными, фрагмент представлен на рис. 18.

1,	19921125132100.,	6.12,	114.41,	28.72,	0.02876,	0.00008,	0.00,	0.28,	0.00,	19.00,	1.05,	0.75
2,	19921125141200.,	5.52,	101.87,	28.71,	0.02196,	0.00007,	0.00,	0.28,	0.00,	19.00,	1.18,	0.73
3,	19921125150300.,	4.98,	102.82,	28.71,	0.02394,	0.00007,	0.00,	0.29,	0.00,	19.00,	1.14,	0.72
4,	19921125155500.,	5.22,	112.71,	28.69,	0.02858,	0.00008,	0.00,	0.31,	0.00,	19.00,	1.05,	0.74
5,	19921125164600.,	4.84,	99.00,	28.66,	0.01805,	0.00007,	0.00,	0.34,	0.00,	19.00,	1.26,	0.71
6,	19921125173800.,	3.58,	123.08,	28.70,	0.03449,	0.00015,	0.00,	0.30,	0.00,	19.00,	0.97,	0.82
7,	19921125182900.,	4.65,	68.76,	28.69,	0.00895,	0.00005,	0.00,	0.31,	0.00,	19.00,	1.60,	0.66
8,	19921125192000.,	3.94,	94.71,	28.71,	0.01876,	0.00006,	0.00,	0.29,	0.00,	19.00,	1.26,	0.69
9,	19921125201200.,	4.13,	114.44,	28.73,	0.02959,	0.00008,	0.00,	0.27,	0.00,	19.00,	1.04,	0.72
10,	19921125210500.,	4.51,	85.60,	28.74,	0.01974,	0.00006,	0.00,	0.26,	0.00,	19.00,	1.24,	0.69
11,	19921125221900.,	5.34,	114.34,	28.82,	0.02744,	0.00008,	0.00,	0.28,	0.12,	3.72,	1.08,	0.74
12,	19921125232700.,	5.95,	120.55,	28.94,	0.03510,	0.00008,	0.00,	0.27,	0.20,	5.33,	0.97,	0.76
13,	19921126001900.,	5.28,	107.55,	29.04,	0.02508,	0.00008,	0.00,	0.27,	0.24,	6.76,	1.12,	0.73
14,	19921126011000.,	5.05,	93.02,	29.06,	0.02075,	0.00007,	0.00,	0.24,	0.29,	7.32,	1.22,	0.71
15,	19921126022200.,	4.11,	121.81,	29.23,	0.02865,	0.00008,	0.00,	0.27,	0.38,	7.72,	1.04,	0.73
16,	19921126031300.,	4.11,	114.57,	29.23,	0.02865,	0.00008,	0.00,	0.27,	0.38,	7.72,	1.04,	0.73

Рис. 18. Пример файла с результатами расчета

Первая колонка этого файла содержит порядковый номер результатов, вторая колонка содержит дату и время формат которых аналогичен входным данным с той разницей, что нет разделителя между минутами и секундами, третья колонка содержит турбулентный поток тепла, четвертая колонка содержит поток скрытого тепла или затраты тепла на испарения, пятая колонка содержит пересчитанную температуру поверхности морской воды с учетом эффекта пленочной температуры.

Компиляция и запуск процедуры будет показана на примере web компилятора, который доступен по адресу <http://fortran.sensitive.su/> (рис. 19).



The image shows a web browser window with a header containing four buttons: 'Fortran', 'Calc', 'Info', and 'User'. The main content area is titled 'Вход' (Login) and contains two input fields: 'Пользователь:' (Username) and 'Пароль:' (Password). Below the fields are links for 'Регистрация' (Registration) and 'Сброс пароля' (Reset password). At the bottom is a 'Войти' (Login) button.

Рис. 19. Главная страница сайта <http://fortran.sensitive.su/>.

Алгоритм использования компилятора заключается в следующем:

1. Пройти регистрацию на сайте, заполнив необходимые поля (рис. 20).

Fortran Calc Info User

Registration(Регистрация)

Сайт разработан в помощь преподавателям кафедры метеопрогнозов, для проведения практических занятий по программированию на языке FORTRAN в формате дистанционного обучения.
Если Вам неудобно работать на данном сайте, или у Вас нестабильный интернет, то можете установить себе, свободно распространяемый компилятор gfortran, на персональный компьютер, скачав дистрибутив по ссылке <https://gcc.gnu.org/wiki/GFortranBinaries#Windows> Или иной компилятор.
Использование сайта для занятий не является обязательным.

login(Логин)

@email почта

Контрольный пароль
(понадобится только один раз, для
регистрации)

Рис. 20. Окно регистрации на сайте.

2. Перетащить папку или отдельные файлы в окно, находящееся в конце страницы (рис. 21). После обновления станицы, загруженные файлы будут отображаться на сайте.

ДЛЯ ЗАГРУЗКИ ПЕРЕТАСКИВАЙТЕ ФАЙЛЫ НА ЭТО ПОЛЕ, ПОСЛЕ ОБНОВИТЕ СТРАНИЦУ
РАЗМЕР ЗАГРУЖАЕМОГО ФАЙЛА НЕ ДОЛЖЕН ПРЕВЫШАТЬ 10МБ
НЕ ЗАГРУЖАЙТЕ НА САЙТ ФАЙЛЫ ПОПАДАЮЩИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕ ЗАКОНА О ЗАЩИТЕ АВТОРСКОГО ПРАВА, ЛИЦЕНЗИОННЫЙ СОФТ, КНИГИ, ИЗОБРАЖЕНИЯ, ЗА НАРУШЕНИЕ ЭТОГО ПРАВИЛА, ДОСТУП БУДЕТ ЗАБЛОКИРОВАН

Рис. 21. Окно для загрузки файлов на сайт.

3. Нажать кнопку «компиляция», расположенную справа от запускаемого файла (рис. 22), затем в появившемся окне выбрать необходимое действие:

«компиляция», если требуется получить сборку программы и исполняемый файл; «компиляция и запуск», если требуется произвести запуск полученного исполняемого файла (запуск программы). Для редактирования файла или просмотра его содержимого, нужно нажать кнопку «редактировать» (иконка карандаша справа от кнопки «компиляция»).

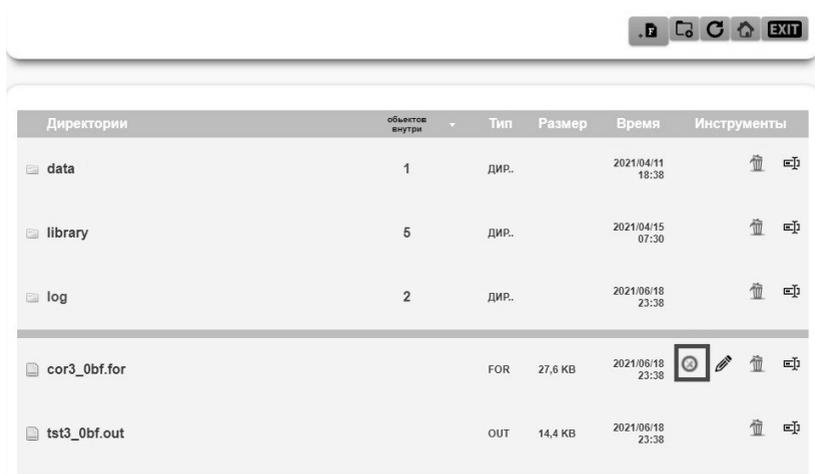


Рис. 22. Компиляция исходного файла, содержащего текст программы.

4. Перейти в папку *log* и проверить содержимое файла с названием «..._compile.log» (рис. 23). В случае, если компиляция прошла успешно, при нажатии на файл на экране появится окно с надписью «compile ok»; если в процессе компиляции обнаружены ошибки, появится окно с указанными ошибками.

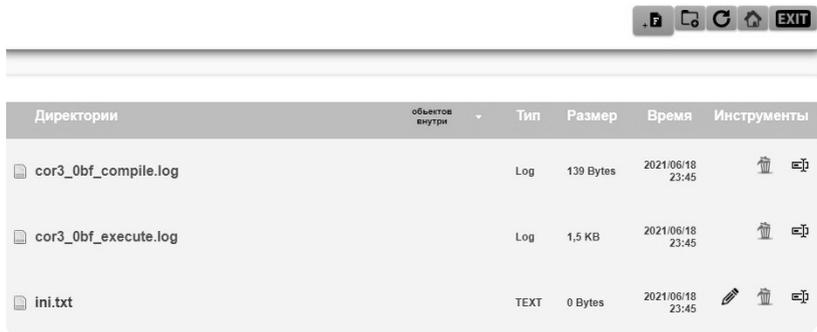


Рис. 23. Содержимое папки *log* после компиляции и запуска программы.

Файл с названием «..._execute.log» содержит информацию, выведенную на печать в процессе выполнения программы. Выходной файл, в который производится запись результатов работы программы автоматически создается в той папке, где находится запускаемый файл с программой.

Если выходной файл имеет расширение *.dat*, то полученные результаты могут быть визуализированы нажатием на крайнюю левую кнопку (выделена красным на рис. 24). После нажатия на кнопку в папке появляется файл с рисунком, имеющим то же названия, что и выходной файл и имеющий расширение *.gif*.

data	1	ДИР.	2021/04/11 18:38	 
library	5	ДИР.	2021/04/15 07:30	 
log	9	ДИР.	2021/06/18 23:57	 
results.dat		DAT	560 Bytes 2021/06/18 23:57	   

Рис. 24. Визуализация результатов, содержащихся в выходном файле.

На рис. 25 представлен пример визуализации результатов выходного файла *results.dat*.

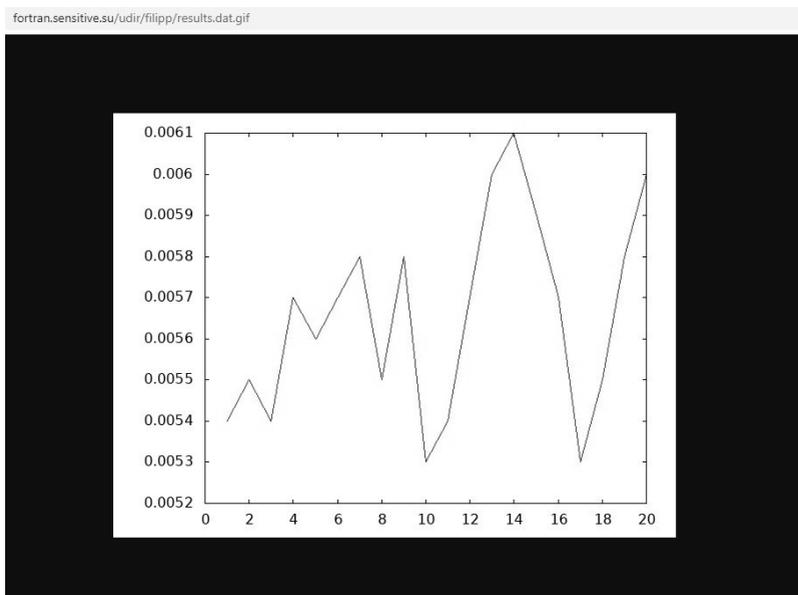


Рис. 25. Пример визуализации полученных результатов.

Практическая работа № 3 «Определение теплосодержания деятельного слоя океана и компонент теплового баланса»

Деятельный слой океана можно условно разделить на верхний квазиоднородный слой и сезонный термоклин. Верхний квазиоднородный слой океана (далее ВКС) характеризуется небольшими градиентами температуры, а в некоторых случаях солёности и плотности. Можно считать, что в данном слое эти величины практически постоянные. Основным механизмом формирования данного слоя — турбулентное перемешивание под воздействием ветра, поэтому другое его названия — слой ветрового перемешивания. Также перемешивание может происходить вследствие неустойчивости столба воды, которая происходит из-за сильного выхолаживания или испарения на поверхности.

Сезонный термоклин находится непосредственно под ВКС и характеризуется большими градиентами температуры, солёности и плотности морской воды.

Эволюция теплового баланса деятельного слоя океана имеет сезонный ход, поэтому наиболее характерно он проявляется в областях мирового океана находящихся в умеренных широтах.

Компоненты теплового баланса можно разделить на две компоненты: поток тепла из атмосферы и адвективный поток тепла.

Для определения теплового баланса и его компонент в данной работе предлагается использовать данные с океанских климатических станций PAPA (расположение 50.1 с.ш. 144.9 в.д.) , КЕО (32.3 с.ш., 144.6 в.д.) и 'ARC (38.5 ю.д., 30 в.д.). Доступ к данным осуществляется на

сайте PMEL, где необходимо выбрать ссылку ‘Ocean Climate Station Data’ (отмечена прямоугольником на рис. 3). После этого загружается страница океанских климатических станций, на которой необходимо нажать меню ‘Data’ в котором выбрать ‘Mooring Data’ (Рис. 26).

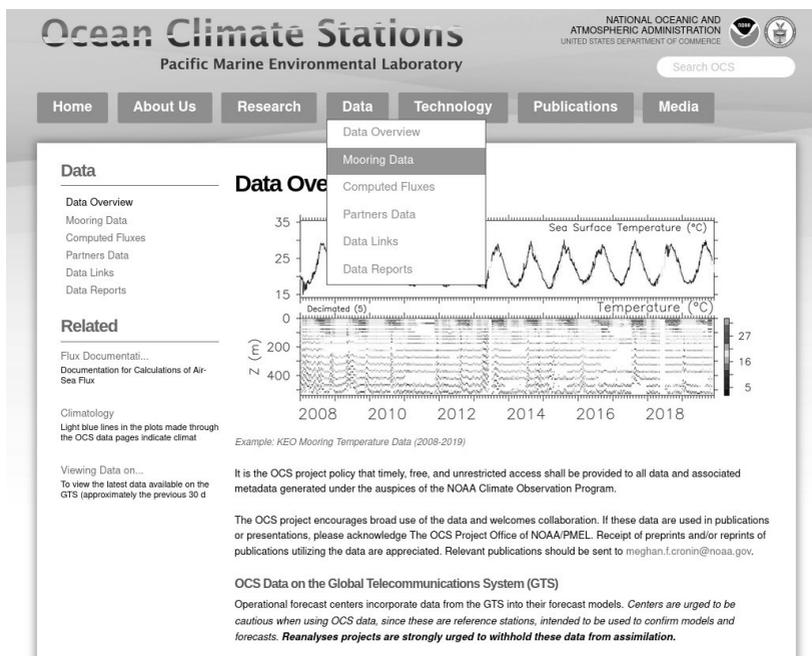


Рис. 26. Страница океанских климатических станций

На странице доступа (рис. 27) к данным необходимо выбрать станцию (обведены овалом). Дальнейшие действия по получению данных профилей температуры аналогичны описанным выше в разделе 1.

Показан пример получения файла в кодировке ascii с среднесуточными профилями температуры на океанской

климатической станции КЕО с 16 июня 2004 г. по 20 июля 2020 г.

Mooring Data

КЕО (32.3°N, 144.6°E)
 Папа (50.1°N, 144.9°W)
 ARC (38.5°S, 30°E)

Time Series
 Profiles
 Separate Plots
 Overlay

Shortwave Radiation
 Wind Speed
 Sea Surface Temperature
 Zonal Current
 Heat Content

Longwave Radiation
 Scalar Wind Speed
 Temperature Profile
 Meridional Current
 Longitude

Rain Rate
 Wind Direction
 Sea Surface Salinity
 Current Vectors
 Latitude

Air Temperature
 Zonal Wind
 Salinity Profile
 Zonal ADCP

Relative Humidity
 Meridional Wind
 Sea Surface Density
 Meridional ADCP

Barometric Pressure
 Wind Vectors
 Density Profile
 Deep TSP

2004 JUN 16 2020 JUL 20 Daily

ASCII Compression

Рис. 27. Меню выбора станций, переменных, временного отрезка данных и возможных действий

На рис. 28 приведен фрагмент полученного файла.

```

Location:50.1N 144.9W 2300 7 Jun 2007 to 2300 12 Jun 2021 ( 122857 times, 24 depths, 18 blocks) Gen. Date Jun 20 2021
Units: Depth (Meters), Temperature (C), -9.999 = missing
Time: 2300 7 Jun 2007 to 1600 10 Jun 2008 (index 1 to 8850, 8850 times, 15 depths)
Index: 1 2 3 4 8 10 12 13 16 18 19 20 21 23 24 200
Depth(M): 1 5 8 10 20 30 32 35 45 55 60 100 120 150 200 300
QUALITY AND SOURCE INDICES
YYYYMMDD HHMM SST TEMP TEMP
20070607 2300 7.039 7.031 7.026 7.020 -9.999 6.982 6.979 6.937 6.596 4.835 5.556 6.137 5.876 6.820 4.301 22202222222222 55505555555555
20070608 0000 7.045 7.037 7.033 7.032 -9.999 6.982 6.968 6.934 6.561 4.902 5.805 6.148 5.890 4.805 4.292 22202222222222 55505555555555
20070608 0100 7.055 7.048 7.041 7.041 -9.999 6.981 6.968 6.936 6.519 5.040 5.972 6.140 5.742 4.751 4.284 22202222222222 55505555555555
20070608 0200 7.070 7.061 7.056 7.051 -9.999 6.986 6.973 6.947 6.486 5.172 6.079 6.071 5.483 4.722 4.276 22202222222222 55505555555555
20070608 0300 7.081 7.071 7.066 7.063 -9.999 7.005 7.000 6.979 6.734 5.224 5.967 6.121 5.614 4.638 4.311 22202222222222 55505555555555
20070608 0400 7.073 7.067 7.063 7.062 -9.999 7.006 7.003 6.985 6.746 5.340 5.597 6.144 5.561 4.561 4.331 22202222222222 55505555555555
20070608 0500 7.065 7.061 7.058 7.059 -9.999 7.010 7.007 6.984 6.777 5.366 5.335 6.161 5.640 4.597 4.317 22202222222222 55505555555555
20070608 0600 7.060 7.056 7.055 7.056 -9.999 7.009 7.008 6.996 6.873 5.269 5.444 6.165 5.609 4.683 4.326 22202222222222 55505555555555
20070608 0700 7.054 7.051 7.049 7.051 -9.999 7.008 7.004 6.989 6.893 5.080 5.277 6.167 5.701 4.890 4.323 22202222222222 55505555555555
20070608 0800 7.050 7.047 7.045 7.046 -9.999 6.994 6.983 6.962 6.762 4.882 5.128 6.167 5.665 4.956 4.299 22202222222222 55505555555555
20070608 0900 7.045 7.042 7.040 7.042 -9.999 6.980 6.970 6.941 6.556 4.756 5.191 6.158 5.630 4.800 4.301 22202222222222 55505555555555
20070608 1000 7.042 7.038 7.037 7.039 -9.999 6.984 6.969 6.926 6.526 4.610 5.060 6.164 5.660 4.695 4.214 22202222222222 55505555555555
20070608 1100 7.038 7.035 7.034 7.035 -9.999 6.977 6.954 6.903 6.372 4.665 4.644 6.164 5.696 4.817 4.173 22202222222222 55505555555555
20070608 1200 7.034 7.032 7.031 7.032 -9.999 6.976 6.950 6.903 6.355 4.636 5.346 6.164 5.744 4.710 4.204 22202222222222 55505555555555
20070608 1300 7.036 7.033 7.032 7.034 -9.999 6.958 6.923 6.818 6.117 4.534 6.044 6.101 5.704 4.582 4.298 22202222222222 55505555555555
20070608 1400 7.038 7.035 7.035 7.036 -9.999 6.973 6.953 6.884 6.397 4.785 5.287 6.114 5.709 4.680 4.312 22202222222222 55505555555555
20070608 1500 7.041 7.037 7.036 7.037 -9.999 6.985 6.973 6.950 6.694 4.934 5.267 6.137 5.802 4.772 4.328 22202222222222 55505555555555
20070608 1600 7.048 7.039 7.037 7.038 -9.999 6.970 6.952 6.933 6.508 5.079 5.751 6.161 5.772 4.793 4.329 22202222222222 55505555555555
20070608 1700 7.065 7.042 7.039 7.040 -9.999 6.983 6.964 6.935 6.483 5.331 5.913 6.170 5.770 4.793 4.311 22202222222222 55505555555555
    
```

Рис. 28. Фрагмент полученного файла

Заголовок файла аналогичен описываемому в разделе

1, за следующими исключениями: отсутствует строчка которая описывает направления векторных величин, добавлена строчка с индексами глубин.

Строчки с данными содержат одну временную запись профиля температур, дата, время, качество и источник данных — аналогичны описываемым в первом разделе.

Эволюция теплового баланса и его компоненты могут быть найдены по следующей формуле:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{c_w \rho_w \sum_{i=1}^N \Delta T_i \Delta z_i}{\Delta t} = R_s (1 - \alpha) + R_l - \sigma T^4 - H_t - E + A ,$$

где:

$\frac{dQ}{dt}$ — изменение теплового баланса во времени,

размерность $\frac{Втм}{м^2}$,

c_w — удельная теплоемкость морской воды, $4200 \frac{Дж}{кг К}$,

ρ_w - плотность морской воды $1027 \frac{кг}{м^3}$,

ΔT_i — разница в температуре морской воды на глубине i между соседними по времени измерениями, размерность $К$,

Δz_i — толщина i -го слоя морской воды, размерность $м$,

Δt — разница во времени между измерениями, размерность $с$,

R_s — приходящий на поверхность поток

коротковолновой радиации, размерность $\frac{Вт}{м^2}$,

α — альbedo морской воды, безразмерная величина, для морской воды характерное значение 0.2,

R_l — приходящий на поверхность поток длинноволновой радиации, $\frac{Вт}{м^2}$,

T — Температура поверхности морской воды пересчитанная с учетом учетом эффекта пленочной температуры, размерность K ,

H_t — турбулентный поток тепла в атмосферу, размерность $\frac{Вт}{м^2}$,

E — поток скрытого тепла в атмосферу, размерность $\frac{Вт}{м^2}$,

A — адвективный поток тепла, размерность $\frac{Вт}{м^2}$.

Для расчетов необходимо кроме профилей температуры также получить данные о метеорологических измерениях (способ их получения аналогичен описанному в разделе 1), после чего рассчитать турбулентные потоки с помощью вышеописанной процедуры COARE3.0. По профилю температуры рассчитать изменение теплового баланса во времени и далее адвективный поток тепла.

Практическая работа № 4 «Определение формы волнового спектра для волн разной степени развития»

Под ветровыми волнами понимается колебания поверхности раздела воздух-вода относительно некоторого, так называемого невозмущенного уровня. Поле ветровых волн представляют собой суперпозицию таких колебаний, происходящих с разной частотой. Наиболее удобный способ описания такого поля - использование спектральной плотности, которая связывает распределение потенциальной энергии в зависимости от угловой частоты. Иначе говоря, спектральная плотность показывает, какая потенциальная энергия каким колебаниям соответствует.

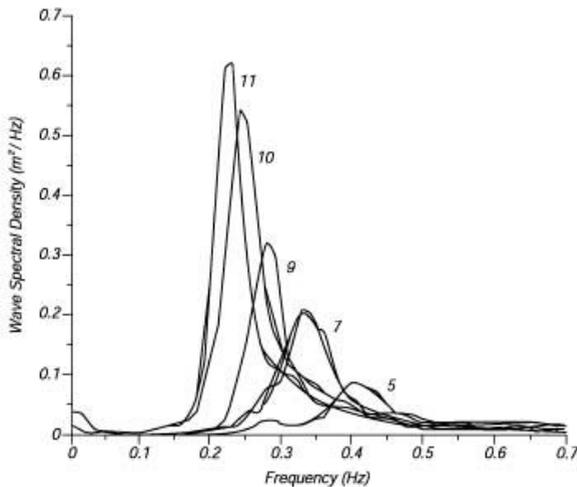


Рис. 29. Примерный вид волнового спектра для разных скоростей ветра, рисунок взят с сайта <https://wikiwaves.org>

На рис. 29 показан характерный вид одномерного

спектра ветровых волн. Упрощенно, можно считать, что вид волного спектра будет зависеть от скорости ветра и от, так называемого обратного возраста волны, соотношения скорости ветра к фазовой скорости пика волн, т.е. скорости с которой двигаются колебания, на которые приходится максимальная энергия. Значения обратного возраста волн изменяется от 0.855, что соответствует наиболее развитому волнению, до 5-6, что соответствует разрывающимся волнам.

В данной работе вид спектра будет рассчитываться по формуле JONSWAP (Joint North Sea Wave Observation Project). Плотность спектральной энергии $S(\omega)$ является функцией от циклической частоты ω , которая задается следующим образом

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \Delta\omega_i, \quad \Delta\omega_{i+1} = \gamma_\omega \Delta\omega_i,$$

i — целые числа, изменяются от 0 до M ,

$$\omega_0 = 0, \quad \gamma_\omega = 1.03,$$

начальная частота определяется исходя из частоты пика спектра ω_p ,

$$\omega_p = \frac{g\Omega_p}{U_{10}}, \quad \Delta\omega_0 = \frac{100\omega_p(\gamma-1)}{\gamma_{\omega^M}-1},$$

где :

U_{10} — скорость ветра на высоте 10 метров,

Ω_p — обратный возраст волны.

Вид спектра определяется следующим соотношением:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-1.25\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) 3.3^\Gamma,$$

где:

$$\alpha = 0.01 \Omega_p^{0.66}, \quad \Gamma = \exp\left[\left(\frac{\omega-1}{\sqrt{2}\sigma}\right)^2\right]$$

g – ускорение свободного падения.

Таким образом, исходными данными для задания являются скорость ветра на высоте 10 метров и обратный возраст волны.

В таблице 1 представлены варианты комбинаций исходных данных для расчета волнового спектра.

Таблица 1. Исходные данные для расчета волнового спектра.

№ варианта	U_{10}	Ω_p
1	10	0.855
2	10	4
3	15	2
4	15	6
5	20	1
6	20	0.855
7	25	3
8	25	5
9	30	0.855
10	30	2
11	10	3
12	15	1
13	20	5
14	25	0.855
15	30	6

Учебное издание

Булгаков Кирилл Юрьевич, канд. физ.-мат. наук

Фокина Карина Владимировна

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА

ПРАКТИКУМ

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 24.06.2021. Формат 60×90 1/16.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 2.

Тираж 15 экз. Заказ № 1121.

РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79

