

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт математики и фундаментальной информатики  
Базовая кафедра вычислительных и информационных технологий

**УТВЕРЖДАЮ**

/ Заведующий кафедрой

Рост / В.В. Шайдулов

« 16 » июня 2016 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
**АНАЛИЗ СКОРОСТЕЙ В ОЗЕРЕ ШИРА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ПО**  
**ИЗМЕРЕНИЯМ 2013-2015 ГГ.**

Направление 02.04.01 Математика и компьютерные науки

Магистерская программа 02.04.01.01 Математическое и компьютерное  
моделирование

Научный руководитель  
кандидат физико-математических наук,  
доцент

Ке / Л.А. Компаниец  
16.06.16

Выпускник

Лип / О.А. Липина  
16.06.16

Красноярск 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Приборы и методы исследования .....	6
2 Сравнения данных для ветра для двух независимых измерений .....	9
2.1 Сила ветра .....	9
2.2 Направление ветра .....	12
3 Анализ скоростного режима .....	15
3.1 Анализ данных для 2013 года .....	16
3.1.1 Данные по прибору ADCP 600 .....	17
3.1.2 Данные по прибору ADCP 1200 .....	22
3.2 Анализ данных для 2014 года .....	26
3.2.1 Данные по прибору ADCP 600 .....	26
3.2.2 Данные по прибору ADCP 1200 .....	31
3.3 Анализ данных для 2015 года .....	36
3.3.1 Данные по прибору ADCP 600 .....	36
3.3.2 Данные по прибору ADCP 1200 .....	41
4 Анализ зависимости скорости течения от ветра .....	48
4.1 Графики сравнения силы ветра и течения в приповерхностном слое .....	48
4.2 Игольчатые диаграммы .....	52
5 Спектральный анализ скорости течения .....	61
5.1 Ряд Фурье, преобразование Фурье, дискретное преобразование Фурье, быстрое преобразование Фурье .....	61
5.2 Спектральный анализ данных .....	63
6 Гидрофизический режим озера в период полного перемешивания (зима 2014-2015гг) .....	66
7 Программные средства .....	68
Заключение .....	69
Список используемых источников .....	70

ПРИЛОЖЕНИЕ А - Б Текст программы для ЭВМ .....	71
------------------------------------------------	----

## ВВЕДЕНИЕ

Соленые озера представляют собой неоценимую кладовую для такого важного ресурса как лечебные воды и грязи. Очень часто они становятся центром курортной зоной и актуальнейшая задача современности – сохранение ценнейших природных объектов. Примером такого озера в республике Хакасия (Россия) является озеро Шира. Здесь функционирует всемирно известный грязелечебный курорт.

При функционировании курортных зон очень часто возникают проблемы, связанные с антропогенным воздействием, т.е. загрязнением озер вследствие производственной деятельности человека. Для озера Шира такая опасность возникает, например, при попадании сточных вод в озеро. Известно, что изменение состава воды способно привести к появлению сине-зеленых водорослей и уменьшению лечебных свойств воды.

Ввиду возможной опасности загрязнения озера Шира проводится постоянный мониторинг экологической обстановки. Он включает в себя целый комплекс исследований, биологических, химических свойств воды, длительные измерения температуры, ветра и скорости в озере. Полученные значения, с одной стороны, являются показателями экологического состояния озера, с другой представляет собой начальные данные и средство верификации для программ трехмерных расчетов при математическом моделировании течений в озере Шира. Группа сотрудников ИВМ СО РАН и ИБФ СО РАН осуществляла мониторинг ветровой картины, температуры воздуха и скорости движения.

Озеро Шира представляет собой бессточное озеро с единственным притоком в виде речки Сон. Количество пресной воды, поставляемой этим притоком невелико, и до некоторых пор это не принималось во внимание. По данным измерений известно, что глубина озера изменяется в пределах 5 метров с периодом в несколько десятилетий.

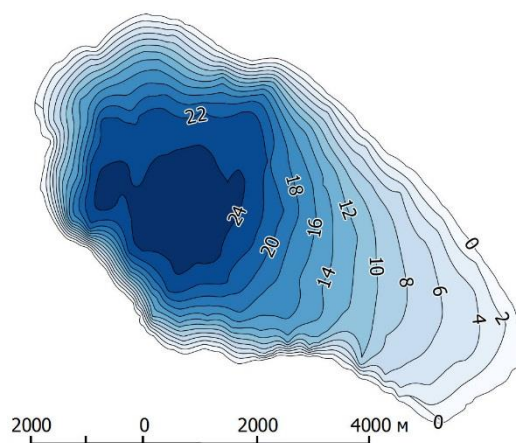


Рисунок 1 – Батиметрия озера Шира

Определяющим фактором движения в озере Шира является ветровое воздействие.

Целью данной работы является определение скоростного режима озера Шира в летний период, определяющего перенос химических и биологических веществ в озере.

Задачи работы: провести детальный анализ данных натурных наблюдений на озере Шира 2013-2015 гг. в условиях полного перемешивания в течении зимы 2014-2015гг. на основе измерений скорости в озере, данных метеорологических наблюдений, данных о биологическом составе воды в озере.

## 1 Приборы и методы исследования.

Для анализа скоростей в озере Шира использовались измерения приборами серии ADCP и статистические методы обработки данных натуральных наблюдений.

В настоящее время появилась возможность использовать современное оборудование для измерения вертикальной и горизонтальных компонент скорости течения, используя акустические профилографы течений, основанные на эффекте Доплера. Акустически доплеровский профилограф течения (AcousticDopplerCurrentProfiler, далее - ADCP) дает возможность применять новую технологию гидрометрических наблюдений и в настоящее время широко используется для измерения поля скоростей в поперечном сечении потока и расхода воды в реках, а также в озерных и морских водах [2].

С помощью приборов ADCP можно определить возможный характер влияния перемещения частиц жидкости на распределение различных компонент экосистемы озера Шира, таких как концентрация биогенных элементов, температуры, солености, плотности, а также для того, чтобы оценить характер распределения фитопланктона и зоопланктона под действием течений.

Натурные измерения проводились доплеровскими профилографами скорости фирмы R.D. Instrumental1200 и 600кГц. Внешний вид прибора на рисунке 2.



Рисунок 2 – Акустический доплеровский профилограф течений ADCP

Прибор может устанавливаться либо на судне (датчики-преобразователи направлены вниз), либо в стационарном положении на дне потока (датчики направлены вверх). На рисунке 3 прибор установлен с помощью камеры от колеса на водоеме.



Рисунок 3 – Прибор ADCP на воде, озеро Шира

Расположение датчиков на озере в 2014 и 2015 годах на рисунках 4 и 5.

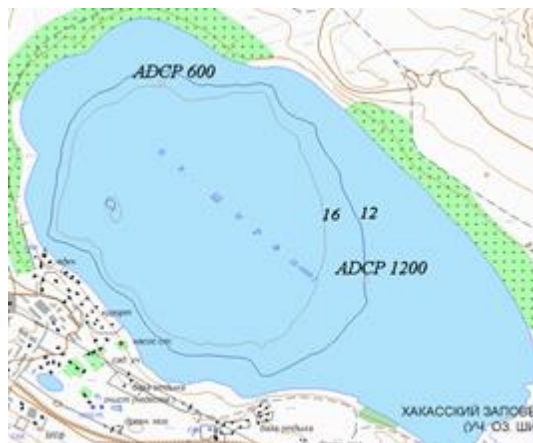


Рисунок 4 – Точки, в которых проводили измерения скорости течения в 2014 г

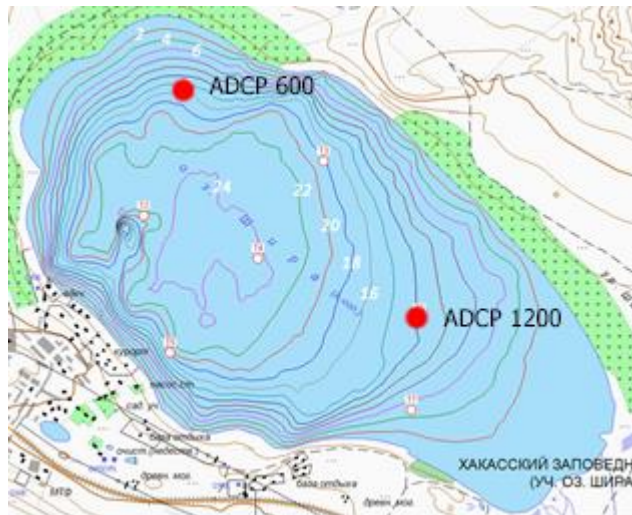


Рисунок 5 - Расположение двух профилографов ADCP-600 и ADCP-1200 в июне и в июле-августе 2015г в озере Шира.

Измерения скорости и направления ветра проводились с использованием локальной метеостанции Vantage PRO 2, размещенным непосредственно на берегу озера.

В работе использовались следующие методы обработки данных: статистический и спектральный анализ.

В 2014 г. и 2015 г. измерения величины и направления ветра, температуры воздуха, воды и скорости течения проводились одновременно и появилась уникальная возможность проанализировать связь между изменениями ветра, температуры и скорости течения в озере.



## 2 Сравнения данных для ветра при двух независимых измерениях

Сравним измерения скорости и направления ветра проводились с использованием локальной метеостанции Vantage PRO 2, размещенным непосредственно на берегу озера. Расположение поселка Ширы и местом на берегу озера, где проводились измерения, видны из рисунка 6. Расстояние между поселком и озером около 12 км.



Рисунок 6 – Расположение поселка Ширы и озера Ширы

### 2.1 Сила ветра

В 2014 году измерения ветра проводились одновременно на озере и в поселке в период с 4 по 30 июля, в 2015 году с 12 июля по 7 августа.

В таблице 1 приведены средние значения скорости ветра на озере и в поселке Ширы в 2014-2015 гг.

Таблица 1 – Средние скорости ветра

Место / Год	2014	2015
Поселок	1.5926 м/с	1.8235 м/с
Озеро	2.3241 м/с	2.3562 м/с

Следующие рисунки 7 и 8 детализируют изменчивость силы ветра в 2014 году.

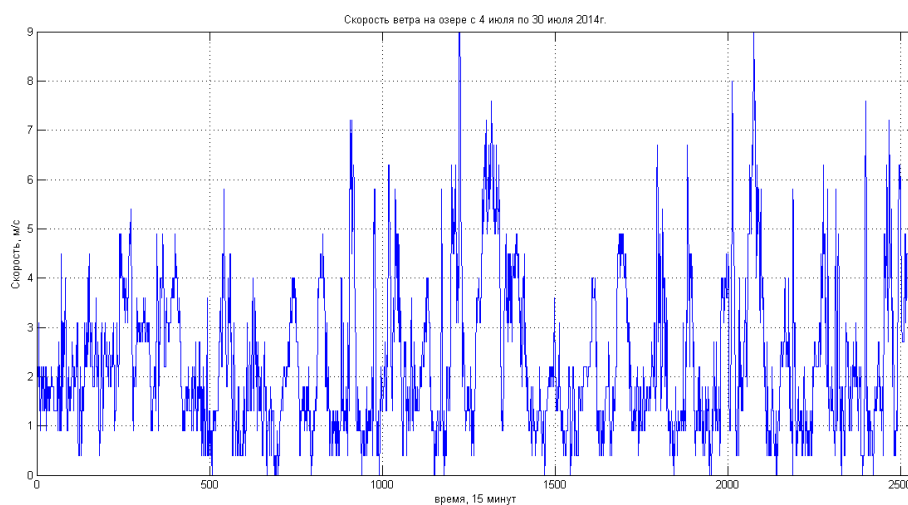


Рисунок 7 – Величина скорости ветра в 2014 году на озере Шира

Данные для ветра в поселке взяты с сайта <http://rp5.ru/>.

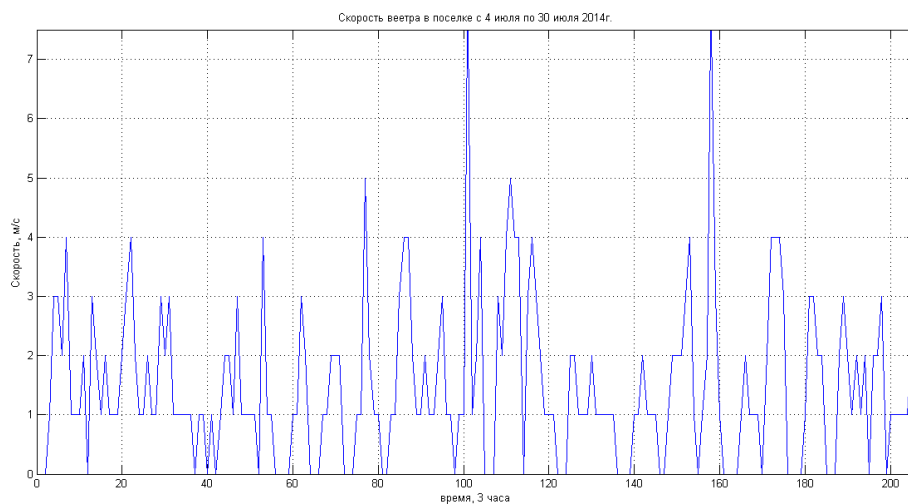


Рисунок 8 – Величина силы ветра в 2014 году в поселке Шира

На рисунке 9 изображена сила ветра в поселке и на озере, который показывает совпадения локальных экстремумов. Измерения для поселка проводились каждые 3 часа, а для озера каждые 15 минут. Данные приведены через каждые 3 часа.

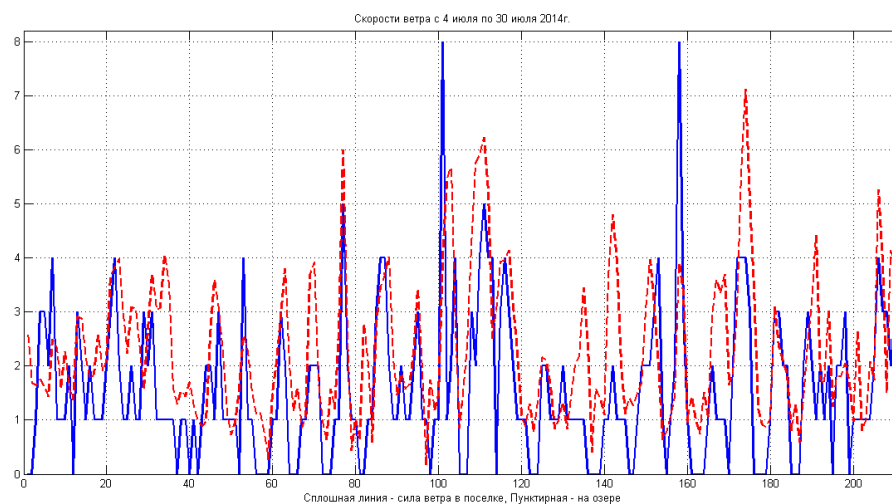


Рисунок 9 – Сравнение значений скорости ветра по измерениям локальной метеостанции (озеро Ши́ра, пунктирная линия) и в поселке Ши́ра (сплошная линия) в 2014 г.

Сравнение данных для двух метеостанций показывает хорошее совпадение по величине ветра.

Следующие рисунки 10 и 11 детализируют изменчивость силы ветра в 2015 г.

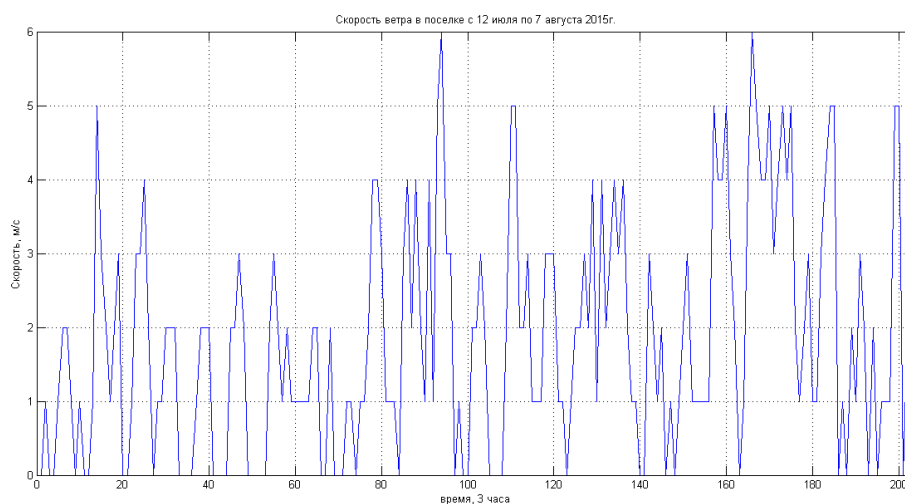


Рисунок 10 – Величина скорости ветра в 2015 году в поселке Ши́ра

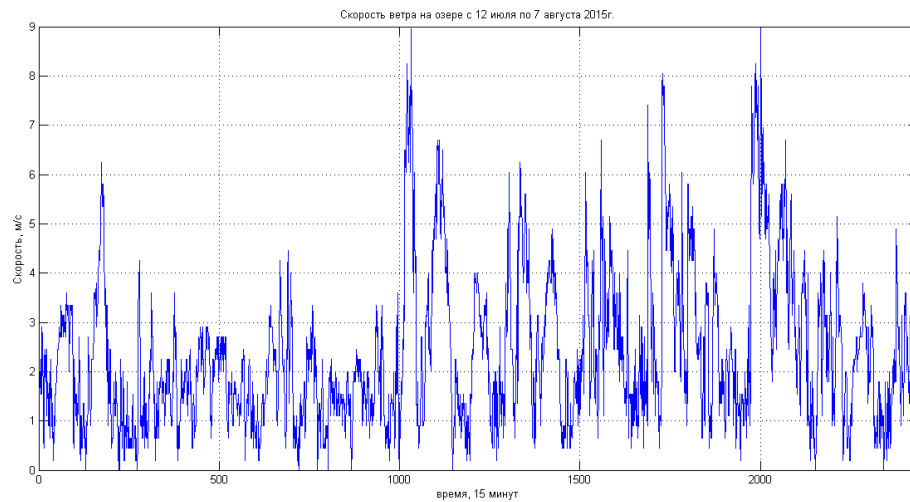


Рисунок 11 – Величина силы ветра в 2015 году на озере Шира

На рисунке 12 изображена сила ветра в поселке и на озере.

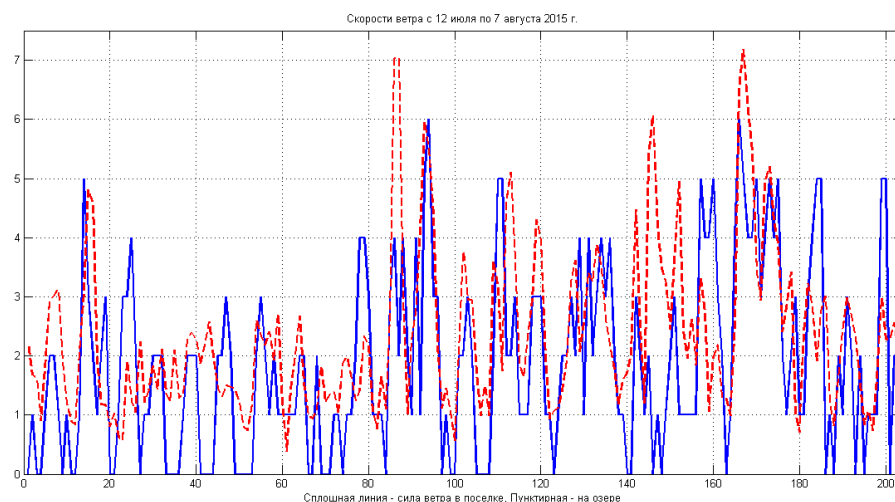


Рисунок 12 – Значения скорости ветра по измерениям локальной метеостанции (озеро Шира) и в поселке Шира.

И в 2015 году по сравнению данных для двух метеостанций показывает хорошее совпадение по величине ветра.

## 2.2 Направление ветра

Рассмотрим направления ветра в эти периоды.

Результаты измерения ветра в районе озера Шира представлены в виде розы ветров на рисунке 13 (левая часть).

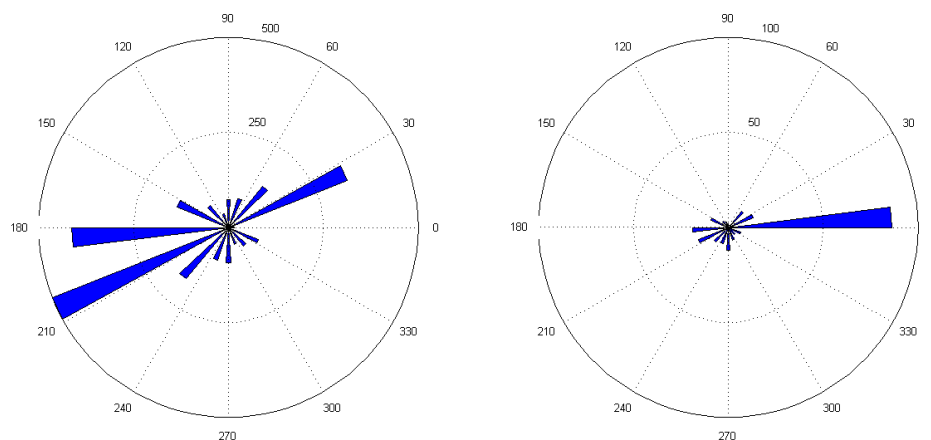


Рисунок 13 – Роза ветров для озера и поселка Шира 2014 г.

Видно, что преобладающим ветром в этот период был юго-западный ветер. Для сравнения на правой части рисунка 13 изображена роза ветров, полученная с использованием данных метеостанции, расположенной в районе станции Шира. Здесь преобладающим был восточный ветер.

На рисунке 14 представлена роза ветров для 2015 года.

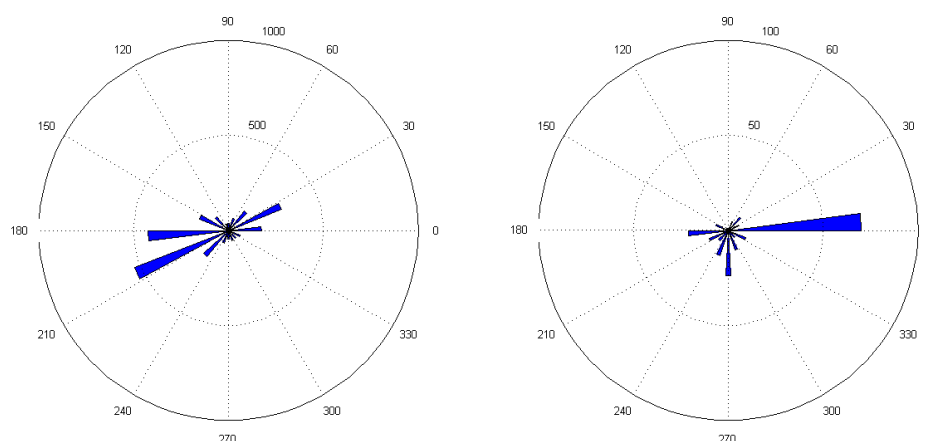


Рисунок 14 – Роза ветров для озера и поселка Шира в 2015 г.

Здесь мы видим похожую картину с 2014 годом. На озере преобладающий ветер – юго-западный, а в поселке – восточный.

### 3 Анализ скоростного режима

Приборы измеряют три скорости: две горизонтальные – восточную и северную, и третью – вертикальную.

Мы имеем большие массивы данных. Чтобы уменьшить количество данных, но при этом не потерять информацию, достаточную для анализа необходима дополнительная обработка данных. Для определения необходимого шага измерения по времени была проведена обработка данных с использованием процедур `decimate` и `smooth`.

На рисунках 15-17 пример обработки данных прибора ADCP 1200 в 2015 году на глубине 5,44 метра. На рисунке 15 обработка данных с помощью процедуры `decimate`.

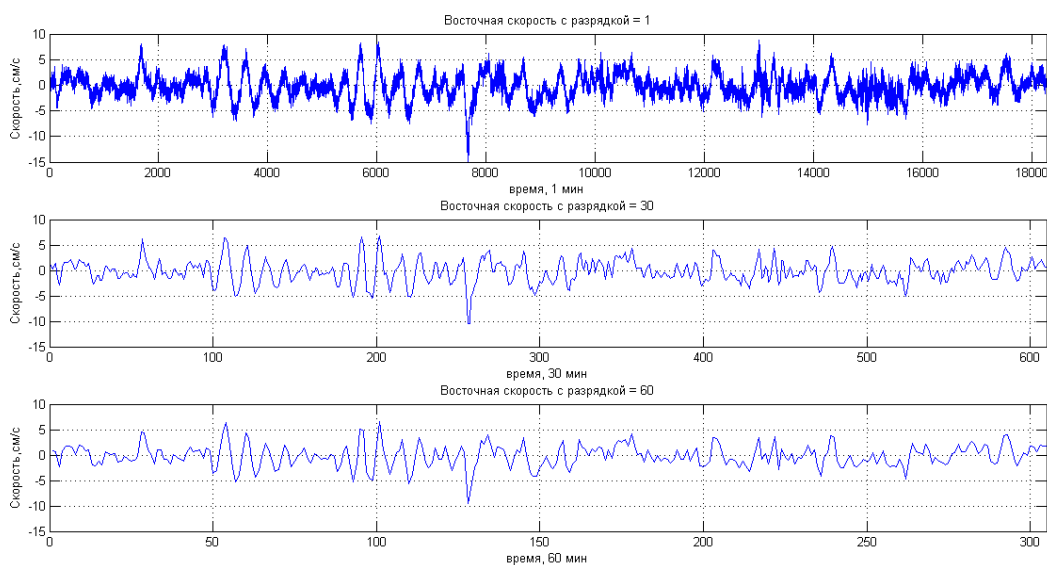


Рисунок 15 – Пример разрядки данных прибора ADCP 1200 с помощью функции `decimate`

На рисунке 16 пример обработки данных с помощью процедуры `smooth`.

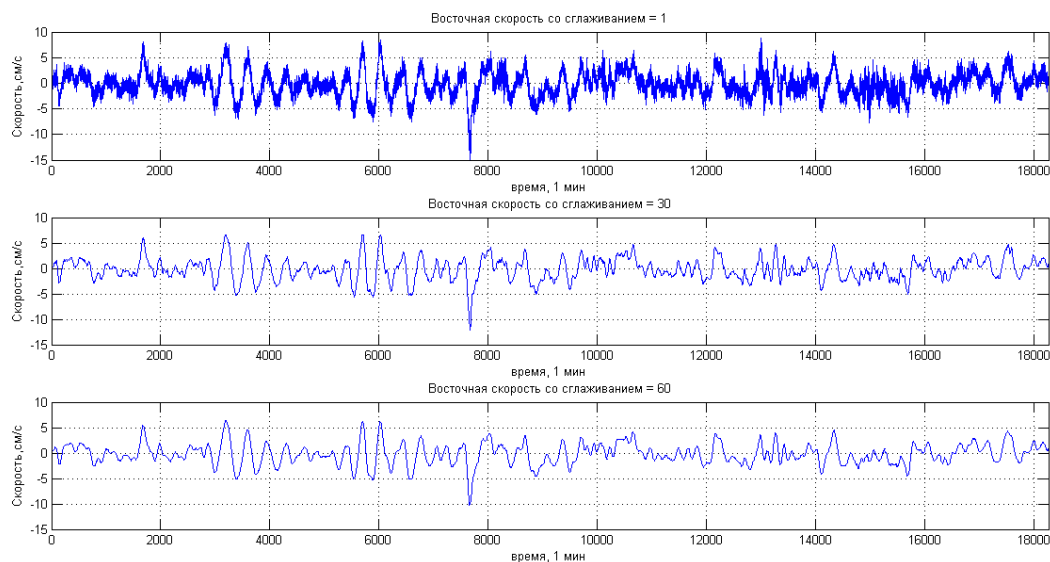


Рисунок 16 – Пример сглаживания данных прибора ADCP 1200 с помощью функции smooth

На рисунке 17 пример обработки данных с помощью decimate=30 и smooth=5.

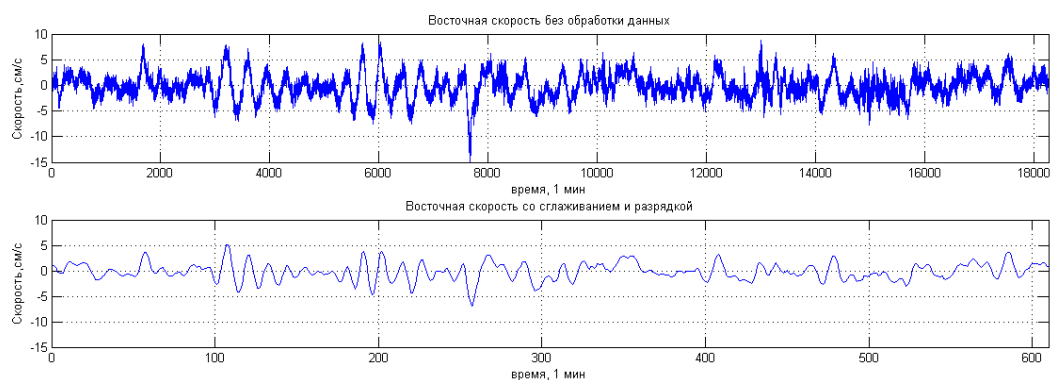


Рисунок 17 – Пример сглаживания и разрядки данных прибора ADCP 1200 с помощью функции smooth и decimate

Поскольку нас интересовали долгопериодные колебания, то было решено на основании анализа использовать данные с шагом по времени раз в полчаса.

### 3.1 Анализ данных для 2013 года



В 2013 году измерения для приборов ADCP 600 и ADCP 1200 проводились в разное время, т.к. в первый период с 30.06.2013 по 3.07.13 прибор ADCP 1200 был неправильно установлен, а во второй период с 6.07.13 по 10.07.13 прибор ADCP 600 отключился из-за разрядки батареи.

### 3.1.1 Данные по прибору ADCP 600

Прибор ADCP 600 производил замеры с 30.06.2013 по 3.07.13, поэтому все последующие графики будут по данным за этот период. Прибор мерил данные каждые 12 секунд, в связи с этим была сделана разрядка данных с помощью процедуры decimate=150 и дополнительно сглажены данные с помощью процедуры smooth=2.

В таблице 2 представлено средние значения модуля скорости.

Таблица 2 – Средние значения модуля скорости для прибора ADCP 600 по данным 2013 года

Глубина, м	Средняя скорость, см/с
14	3,53
13	3,56
12	4,09
11	4,19
10	4,57
9	4,7
8	5,71
7	5,88
6	5,15
5	4,58
4	5,82

На рисунке 18 представлены модуль горизонтальных скоростей (восточная и северная), из которого мы видим, что максимальная скорость 17,27 см/с.

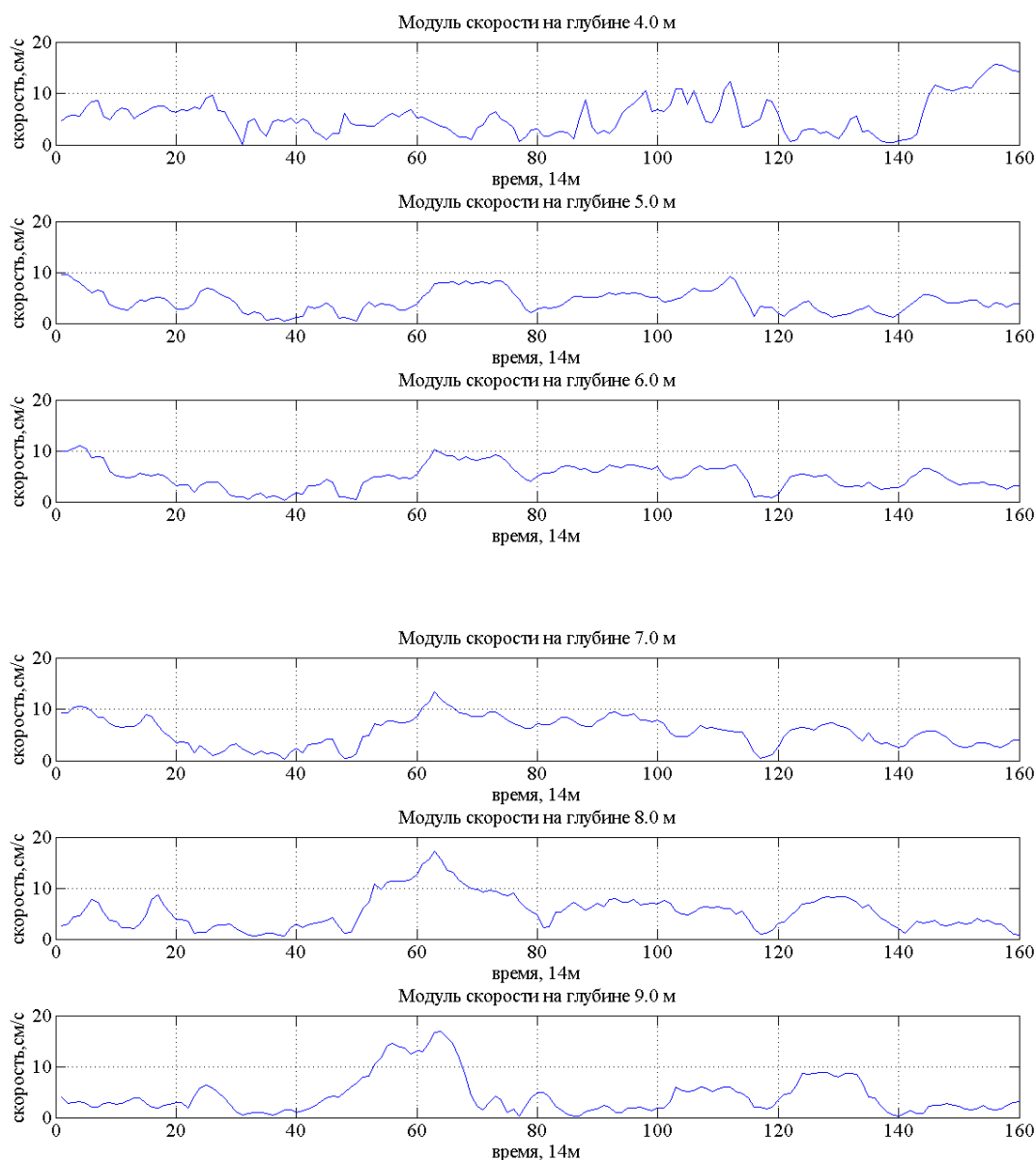


Рисунок 18 – Модуль горизонтальных скоростей по данным прибора ADCP 600 за 2013 год

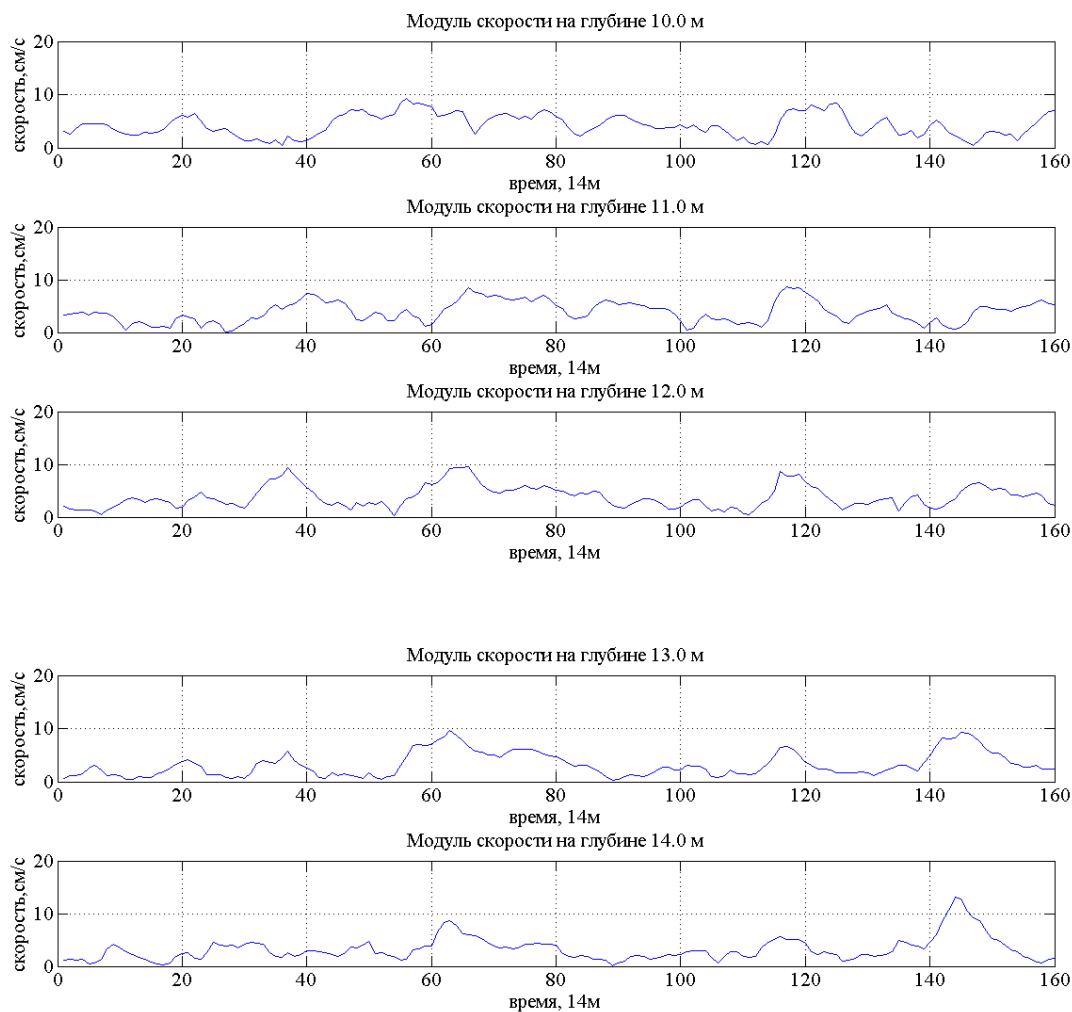


Рисунок 18, лист 2

На рисунке 19 представлена вертикальная скорость по всем горизонтам, из которым мы видим, что максимальная скорость 1,22 см/с.

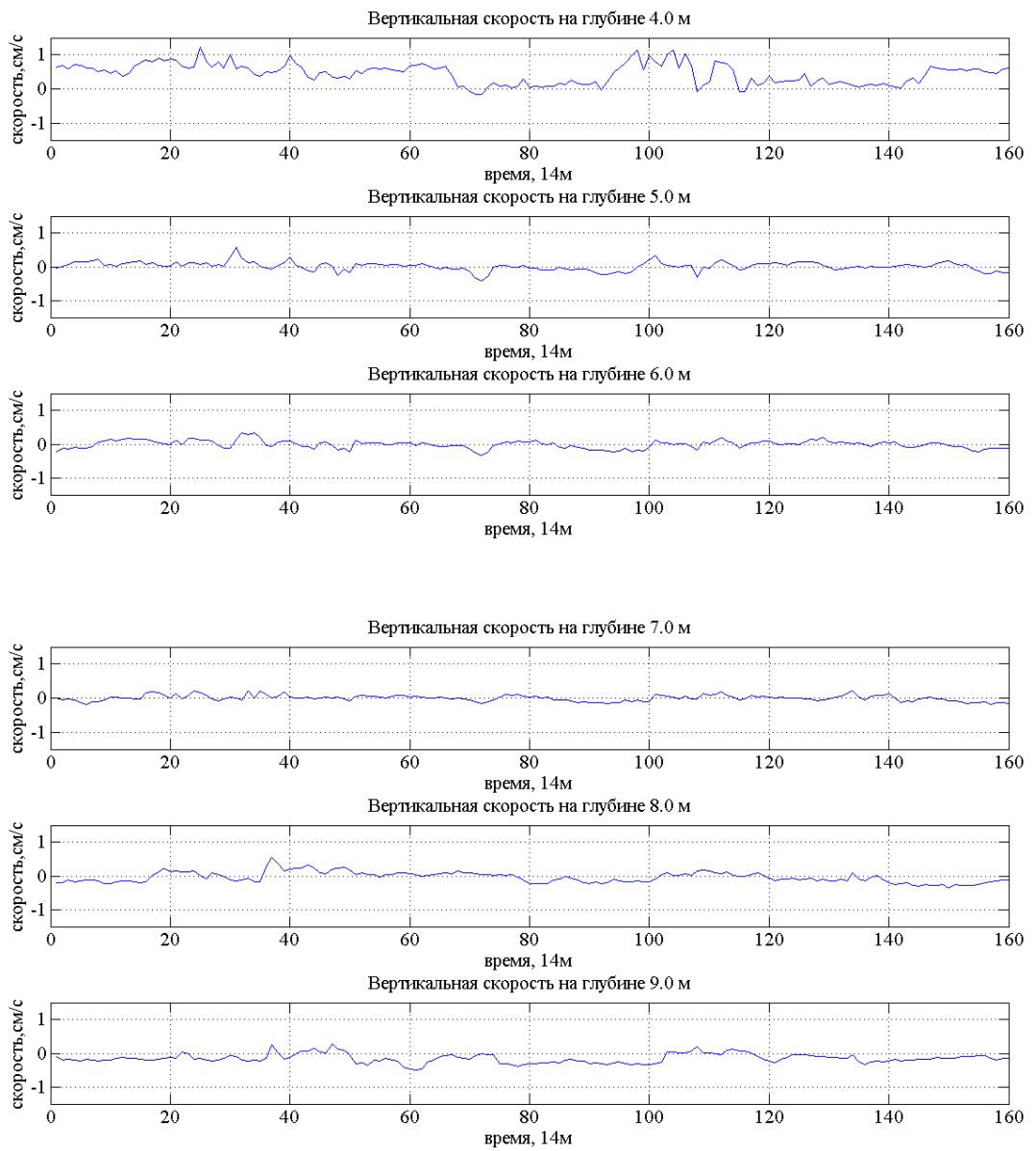


Рисунок 19 – Вертикальные скорости по данным прибора ADCP 600 за 2013 год

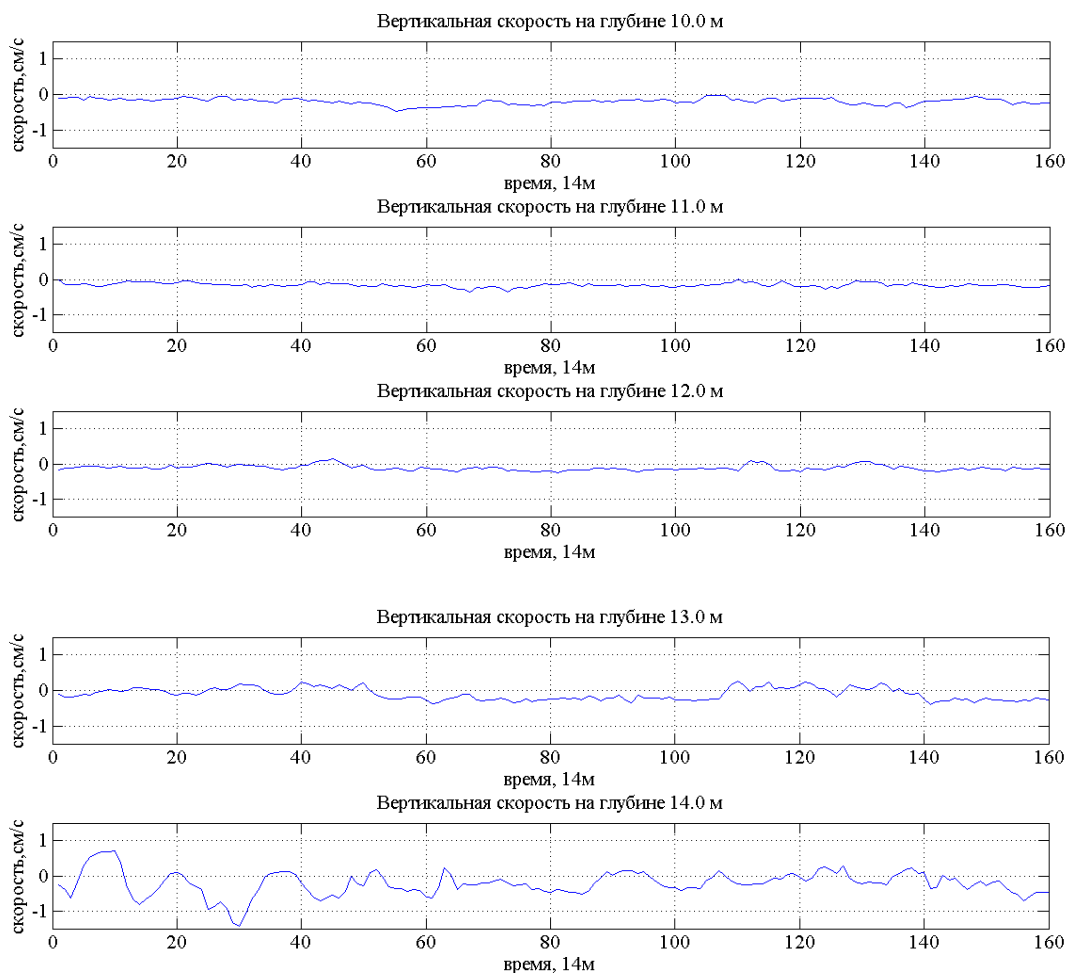


Рисунок 19, лист 2

На рисунке 20 представлены круговые гистограммы скоростей.

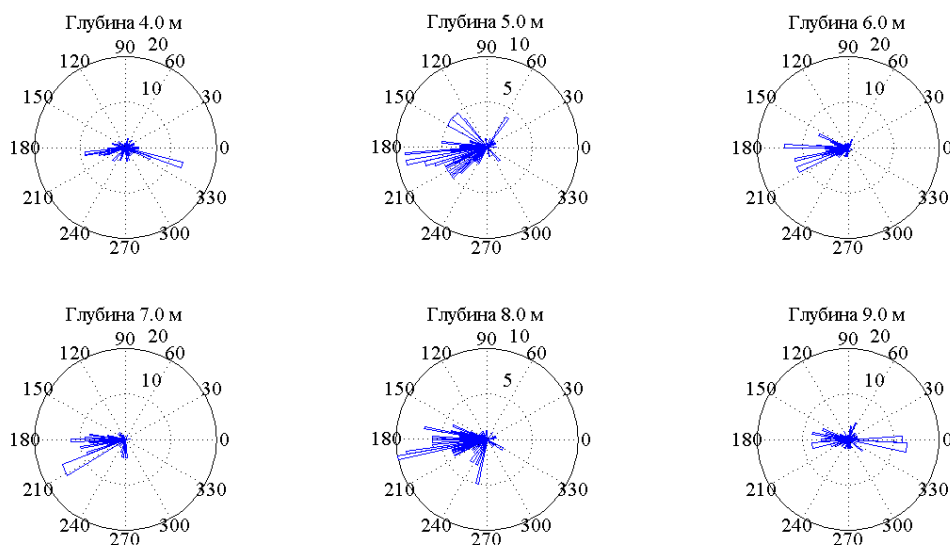


Рисунок 20 – Круговые гистограммы по данным прибора ADCP 600 за 2013 год

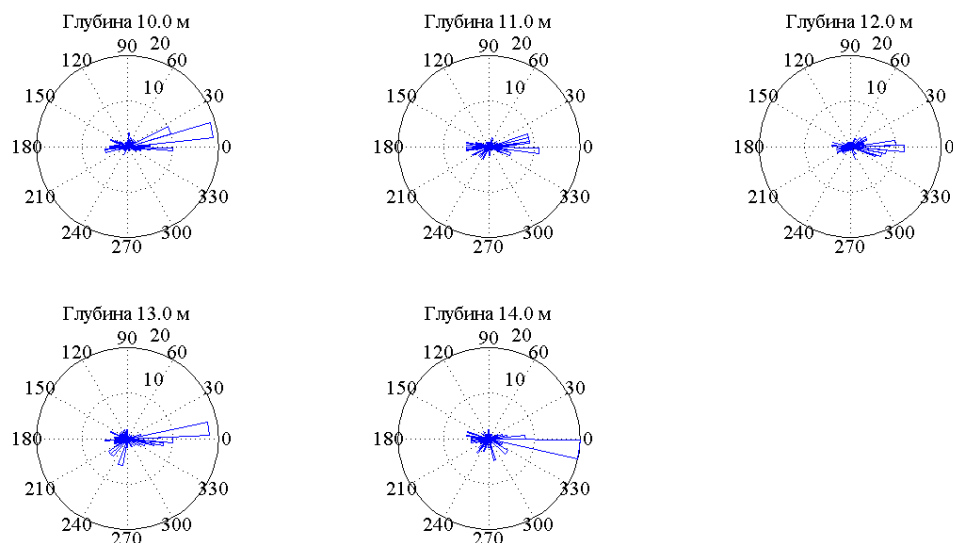


Рисунок 20, лист 2

Т.к. период измерений был кратковременный (4 дня), то мы видим в круговых гистограммах, что на каждом горизонте выделяется направление преимущественного течения.

### 3.1.2 Данные по прибору ADCP 1200

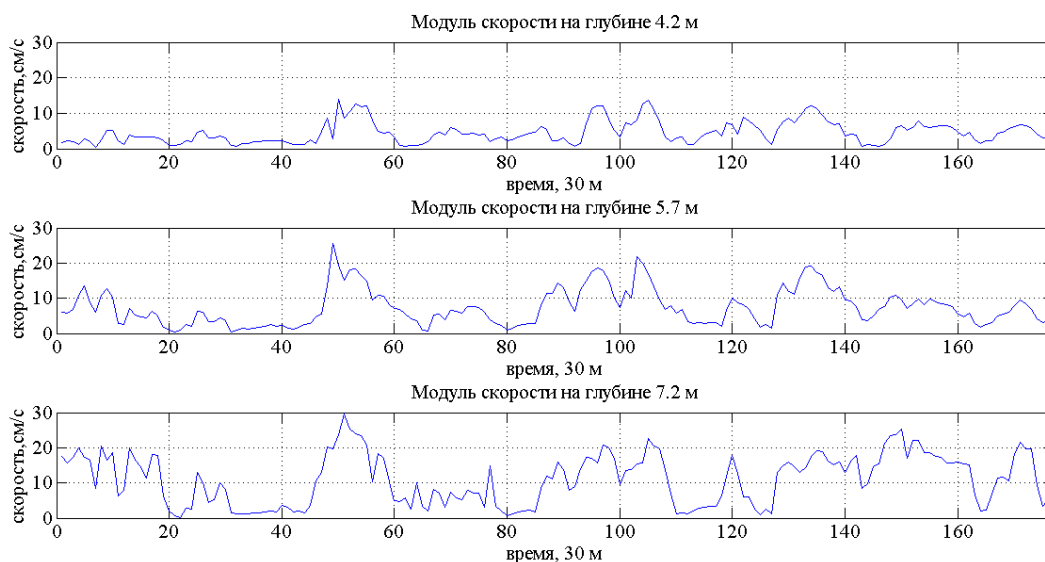
Прибор ADCP 1200 производил замеры с 6.07.13 по 10.07.13, поэтому все последующие графики будут по данным за этот период. Прибор мерил данные каждые 12 секунд, в связи с этим была сделана разрядка данных с помощью процедуры `decimate=150` и дополнительно сглажены данные с помощью процедуры `smooth=2`.

В таблице 3 представлено средние значения модуля скорости.

Таблица 3 – Средние значения модуля скорости для прибора ADCP 1200 по данным 2013 года

Глубина, м	Средняя скорость, см/с
14,71	3,81
13,96	3,93
13,21	4,57
12,46	5,04
11,71	4,42
10,96	3,85
10,21	3,01
9,46	2,87
8,71	3,21
7,96	3,85
7,21	11,47
6,46	18,62
5,71	7,72
4,96	5,86
4,21	5,17

На рисунке 21 представлены модуль горизонтальных скоростей (восточная и северная), из которого мы видим, что максимальная скорость 29,6 см/с.



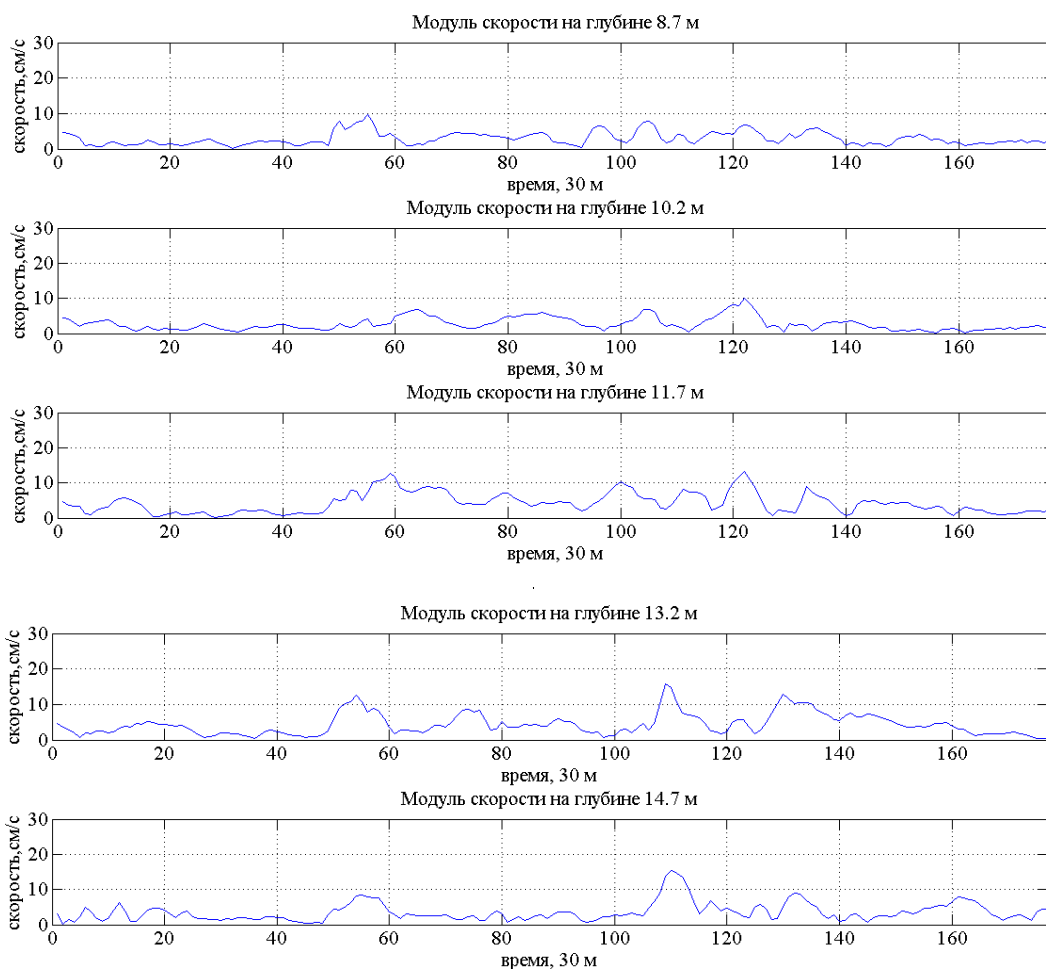
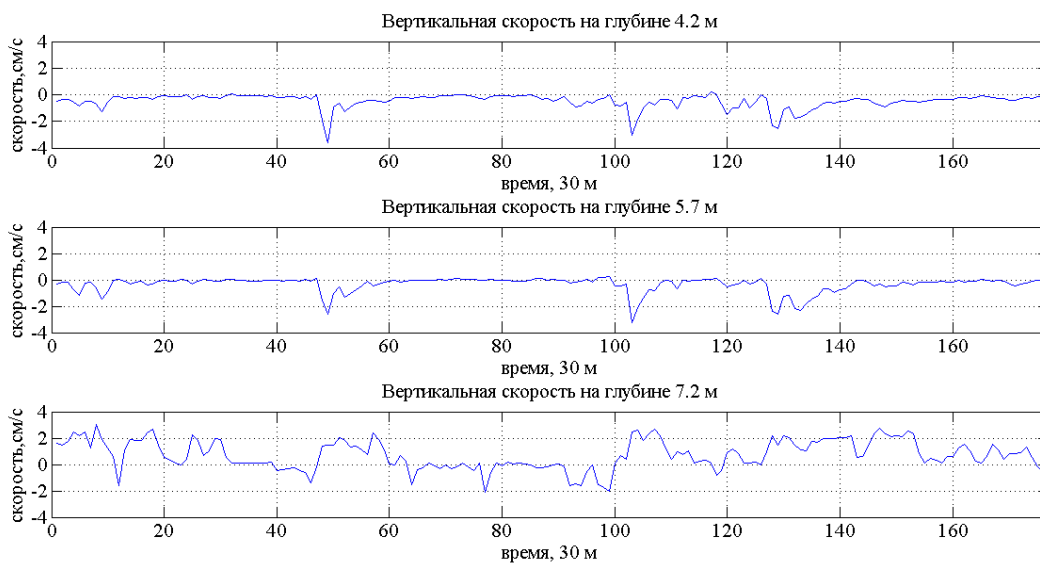


Рисунок 21 – Модуль горизонтальных скоростей по данным прибора ADCP 1200 за 2013 год

На рисунке 22 представлена вертикальная скорость по всем горизонтам, из которых мы видим, что максимальная скорость 3,04 см/с.





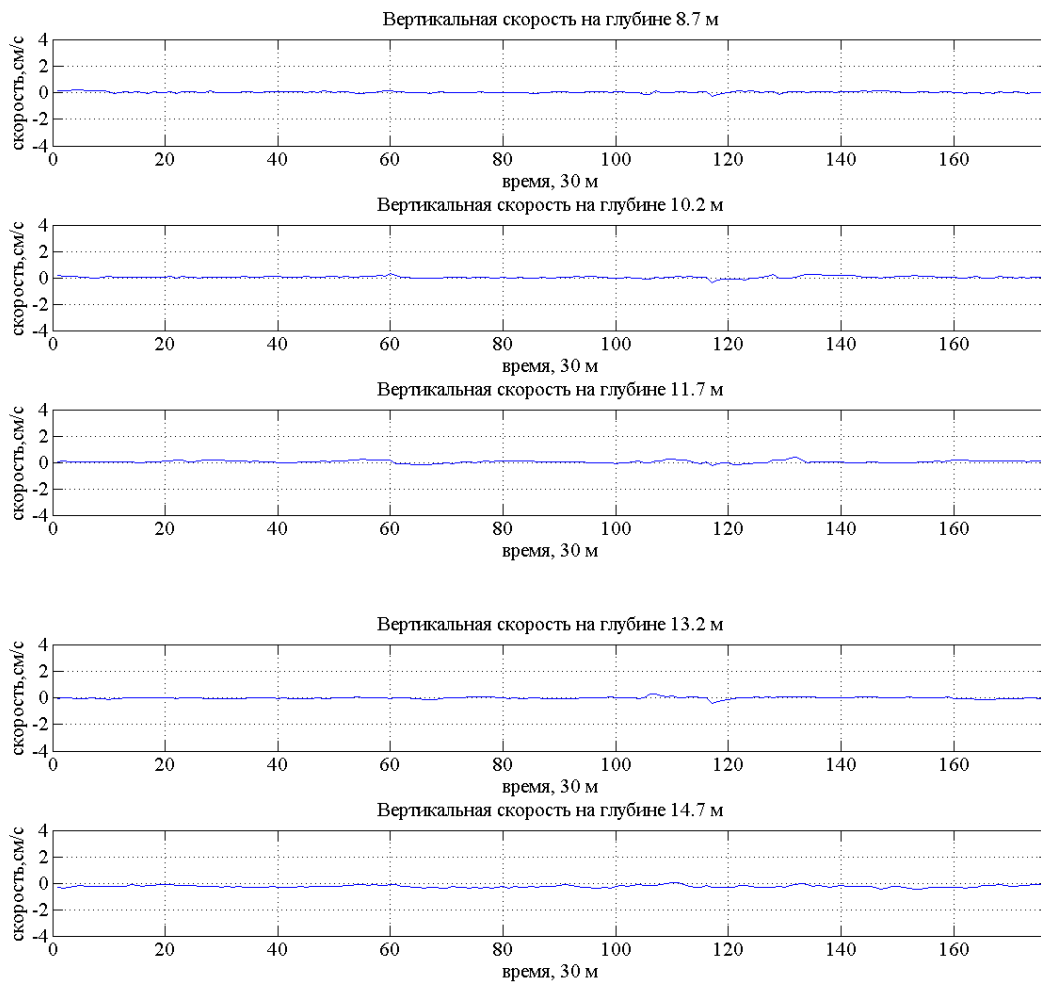
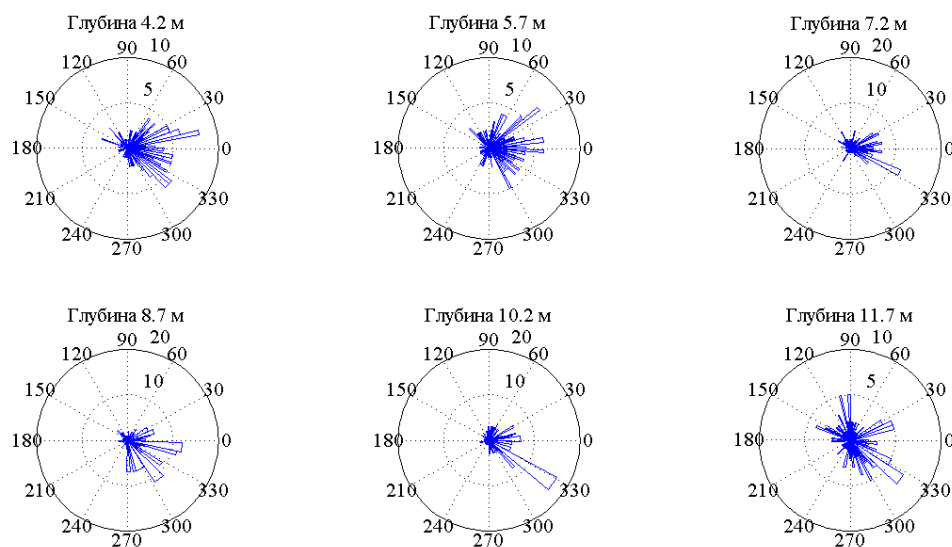


Рисунок 22 – Вертикальные скорости по данным прибора ADCP 1200 за 2013 год

На рисунке 23 представлены круговые гистограммы скоростей.



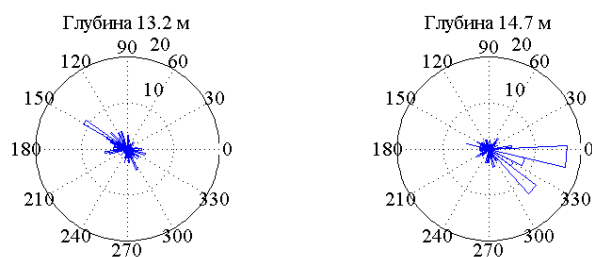


Рисунок 23 – Круговые гистограммы по данным прибора ADCP 1200 за 2013 год

В отличие от предыдущего прибора ADCP 600 здесь мы на горизонтах 4,2, 5,7, 11,7 не можем выделить направление преимущественного течения.

### 3.2 Анализ данных для 2014 года

Для анализа был взят период с 4.07.14 по 30.07.14 по измерениям в летний период в 2014 году.

#### 3.2.1 Данные по прибору ADCP 600

Прибор ADCP 600 проводил измерения каждую минуту, поэтому данные были разряжены с помощью процедуры decimate=30 и дополнительно сглажены процедурой smooth=5.

В таблице 4 представлены средние значения модуля горизонтальных скоростей.

Таблица 4 – Средние значения модуля горизонтальных скоростей по прибору ADCP 600 в 2014 году

Глубина, м	Средняя скорость, см/с
12,9	3,17
11,9	3,0
10,9	2,84
9,9	2,72
8,9	2,72

7,9	2,78
6,9	2,87
5,9	3,03
4,9	3,21
3,9	3,5
2,9	3,56
1,9	3,58

На рисунке 24 представлены модули горизонтальных скоростей. Максимальное значение 13,62 см/с.

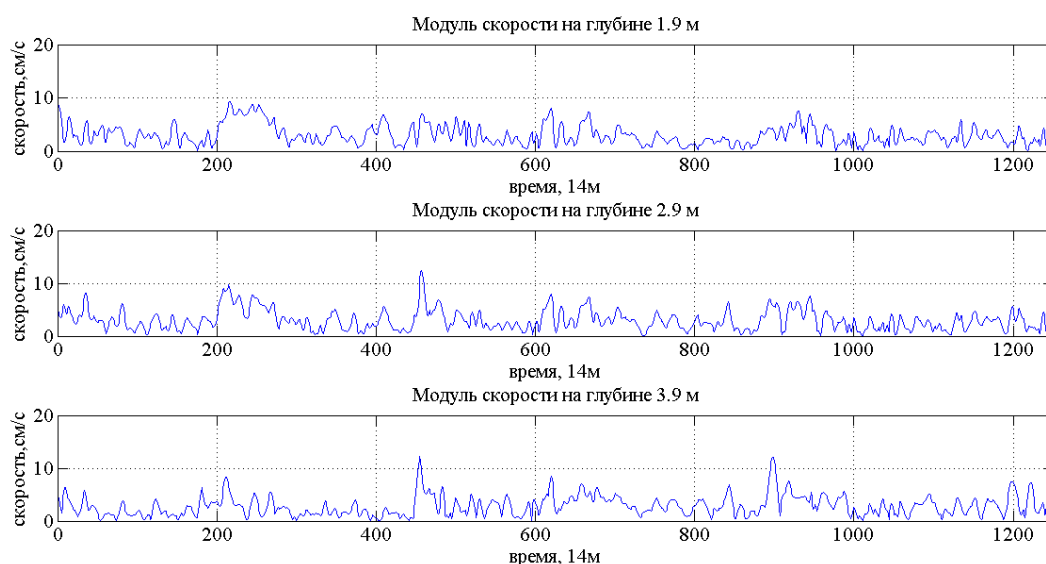
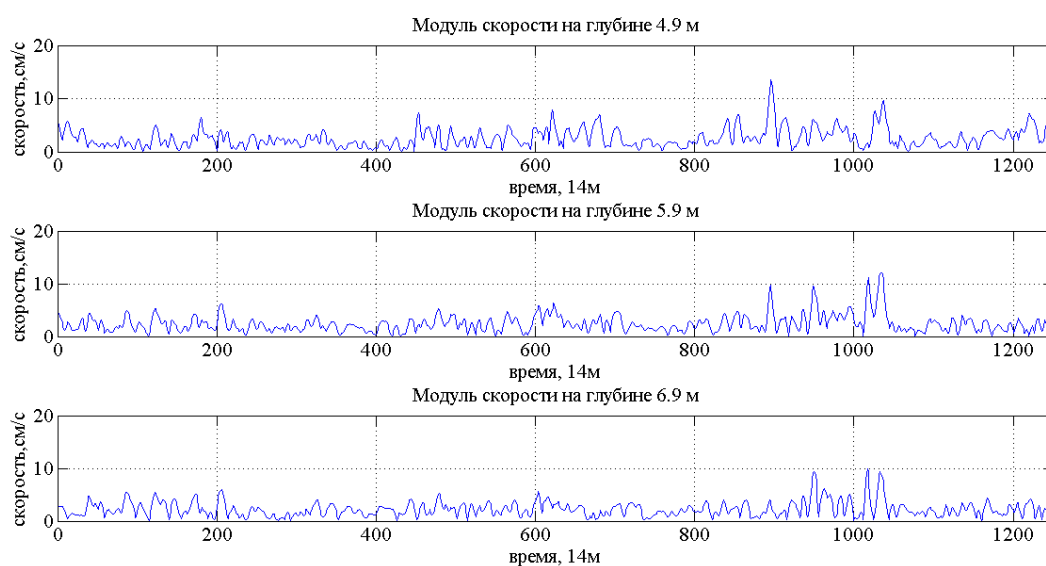


Рисунок 24 – Модуль горизонтальных скоростей по данным прибора ADCP 600 за 2014 год



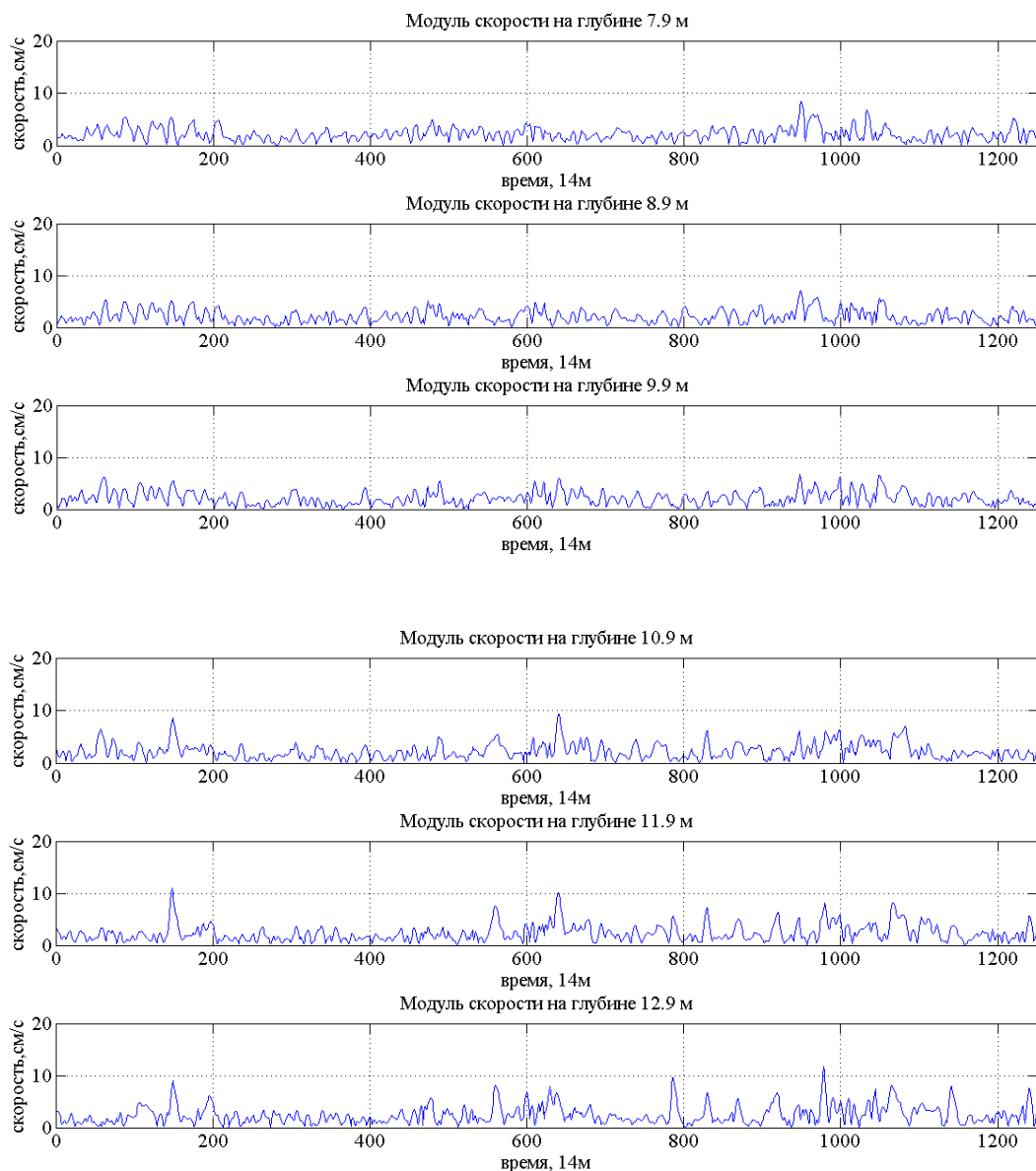


Рисунок 24, лист 1

На рисунке 25 представлена вертикальная скорость на всех горизонтах. Максимальное значение 0,46 см/с.

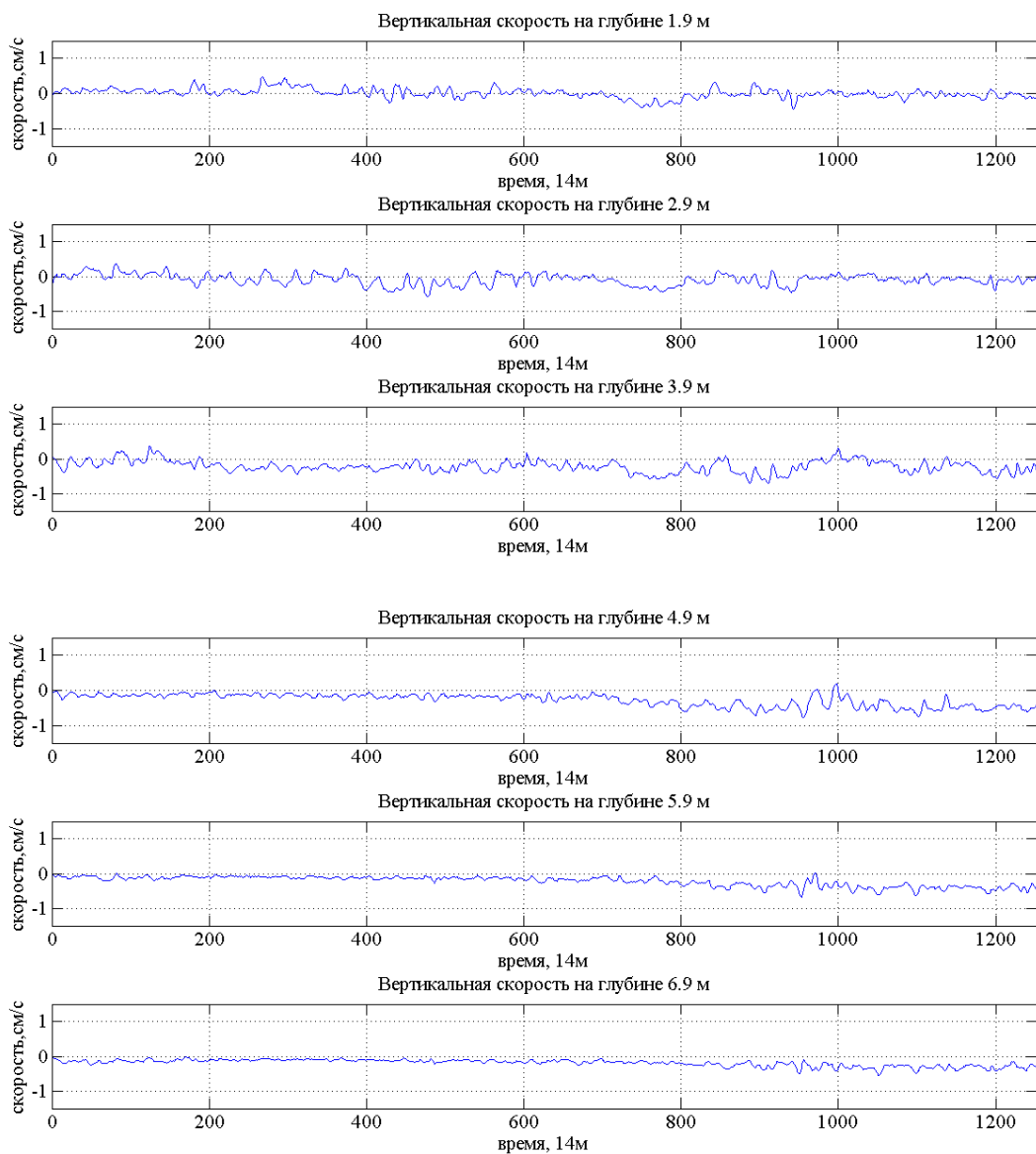
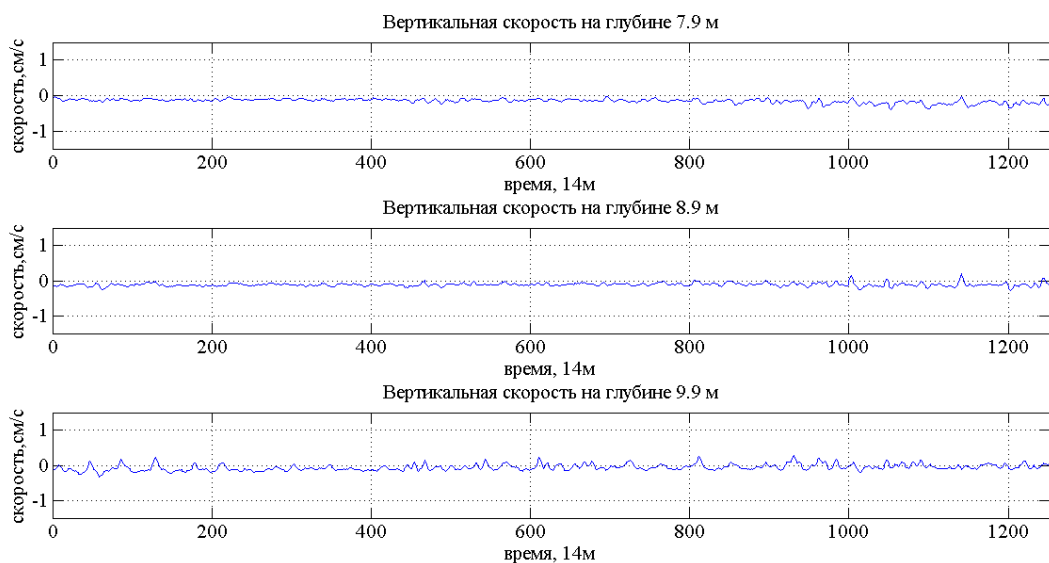


Рисунок 25 – Вертикальные скорости по данным прибора ADCP 600 за 2014 год



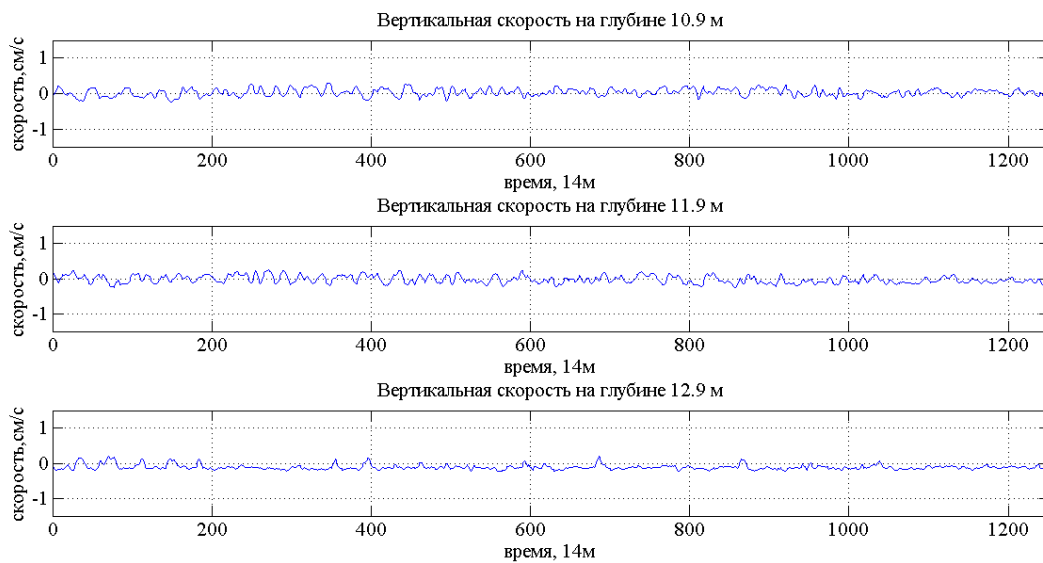


Рисунок 25, лист 2

На рисунке 26 представлены круговые гистограммы горизонтальных скоростей.

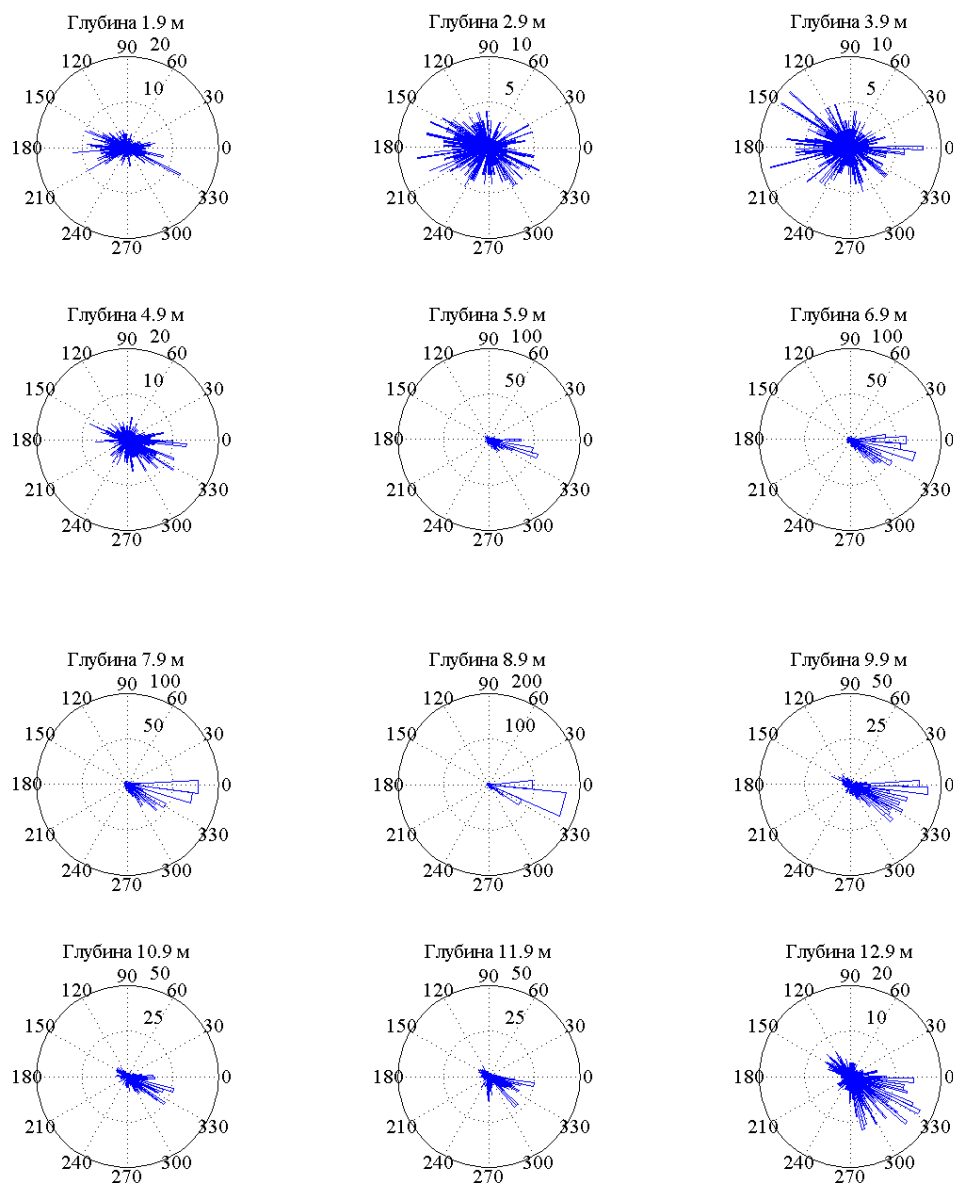


Рисунок 26 – Круговые гистограммы по данным прибора ADCP 600 за 2014 год

Анализ направлений и в этом году не позволяет выделить определяющее направление на дне и в близи поверхности.

### 3.2.2 Данные по прибору ADCP 1200

Прибор ADCP 1200 проводил измерения каждую минуту, поэтому данные были разряжены с помощью процедуры  $\text{decimate}=30$  и дополнительно сглажены процедурой  $\text{smooth}=5$ .

В таблице 5 представлены средние значения модуля горизонтальных скоростей.

Таблица 5 – Средние значения модуля горизонтальных скоростей по прибору ADCP 1200 в 2014 году

Глубина, м	Средняя скорость, см/с
9,7	4,25
8,95	3,89
8,2	3,65
7,45	3,51
6,7	3,37
5,95	3,42
5,2	3,49
4,45	3,91
3,7	3,94
2,95	3,8
2,2	3,8

На рисунке 27 представлены модули горизонтальных скоростей. Максимальное значение 14,6 см/с.

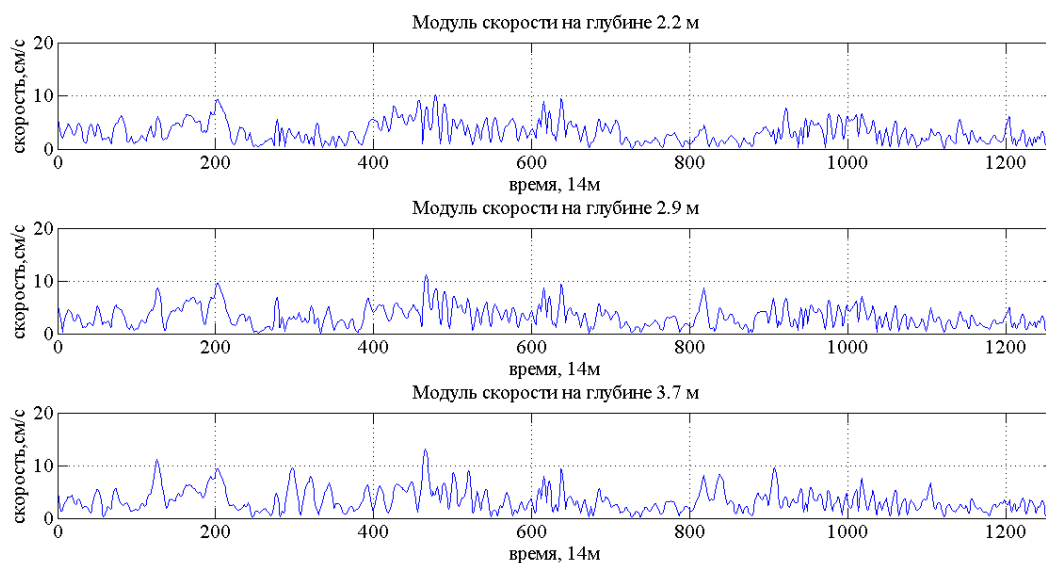


Рисунок 27 – Модуль горизонтальных скоростей по данным прибора ADCP 1200 за 2014 год



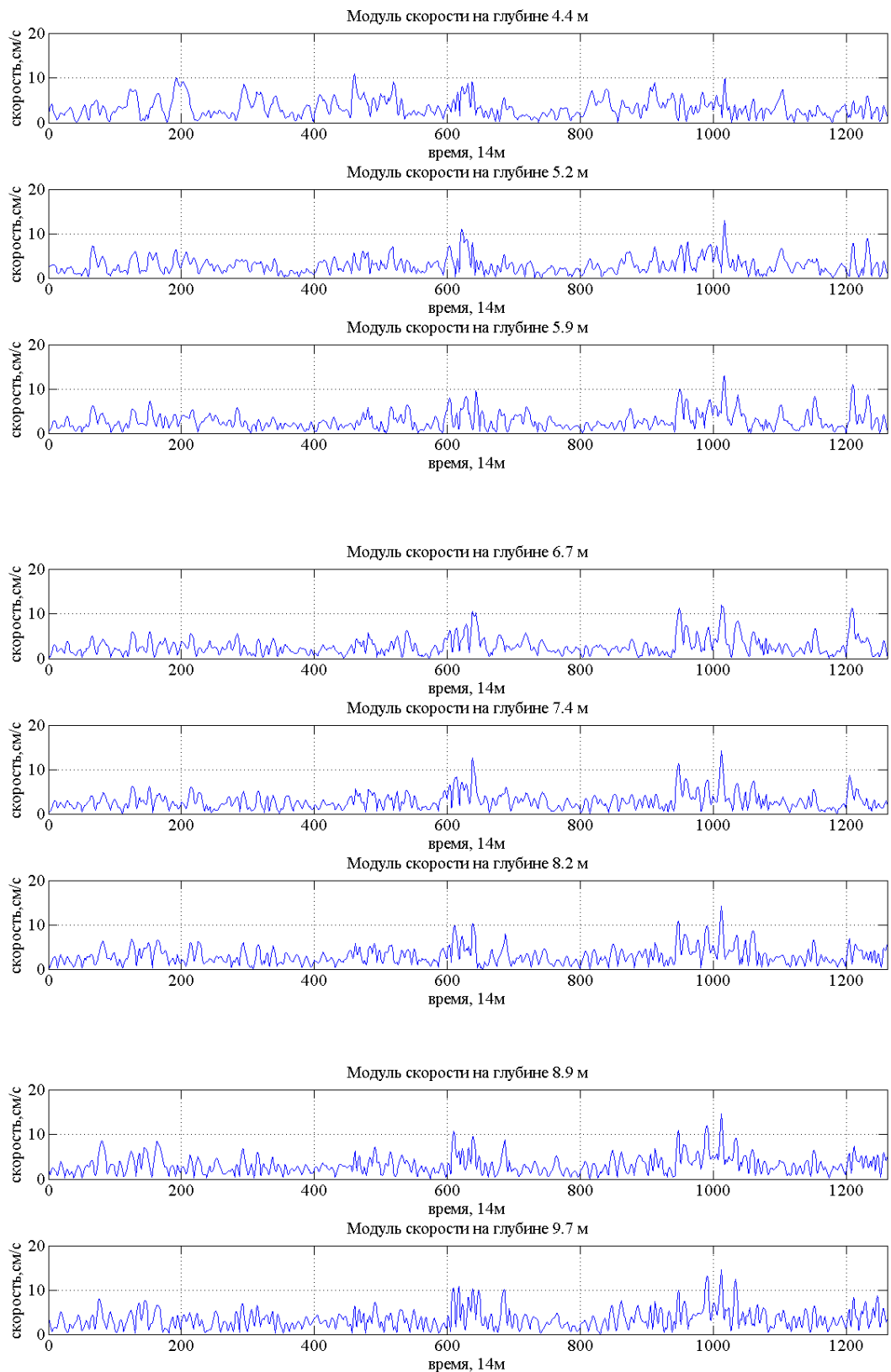


Рисунок 27 ,лист 2

На рисунке 28 представлена вертикальная скорость на всех горизонтах. Максимальное значение 0,41 см/с.

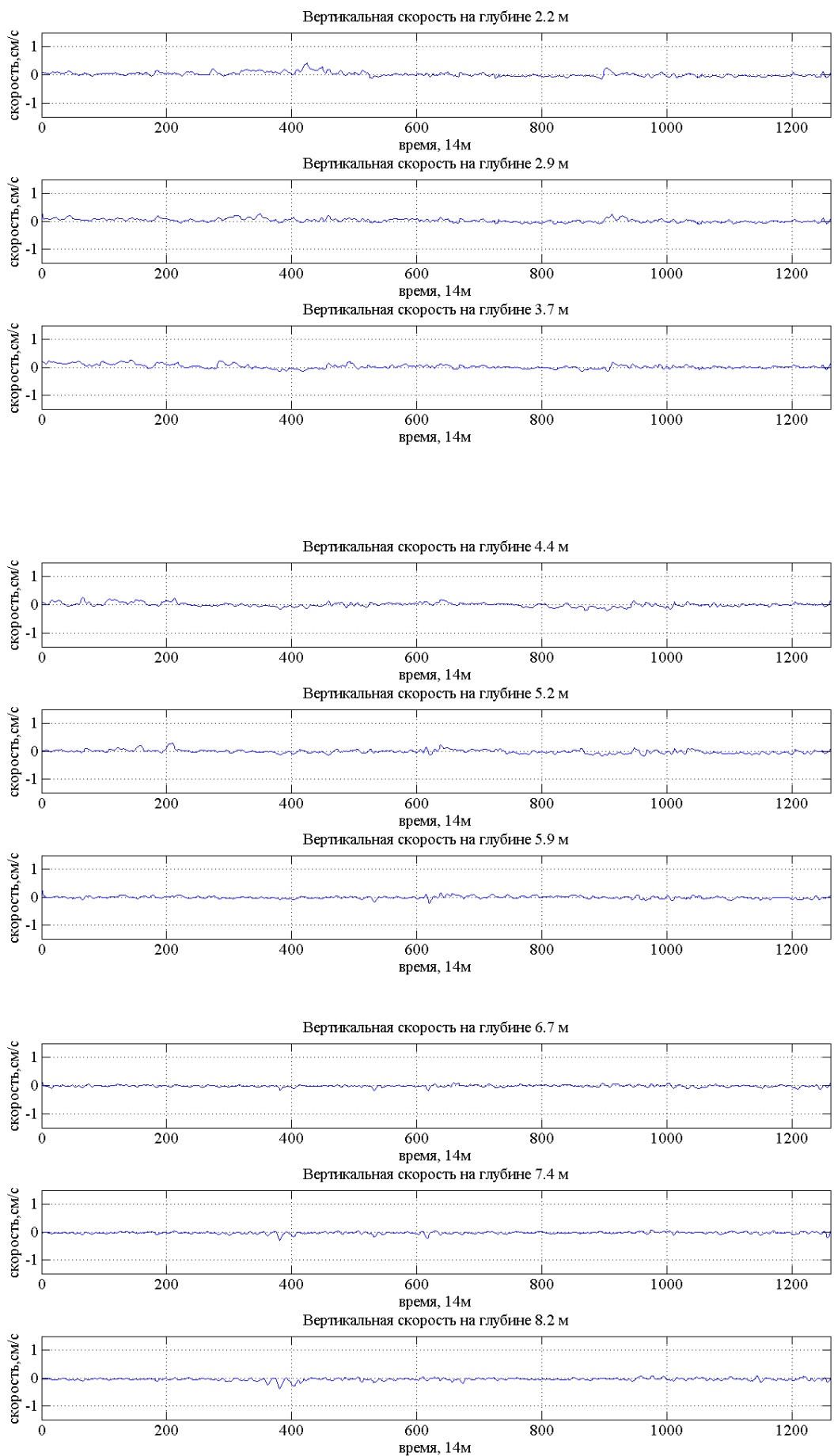


Рисунок 28 – Вертикальные скорости по данным прибора ADCP 1200 за 2014 год

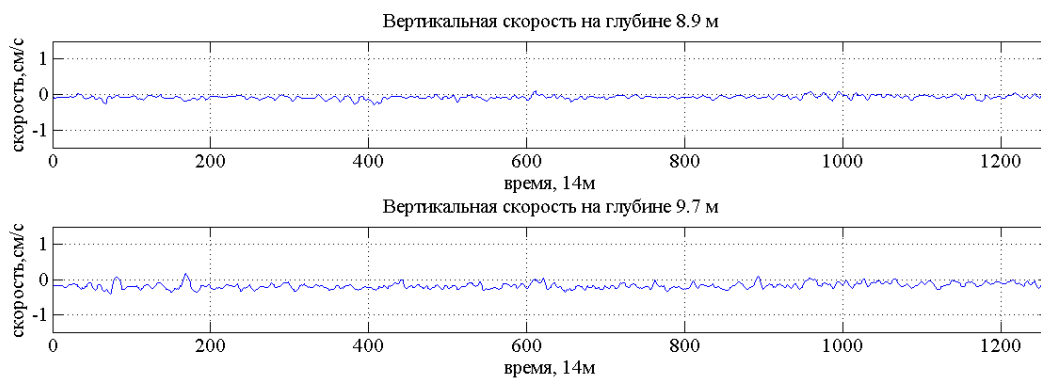
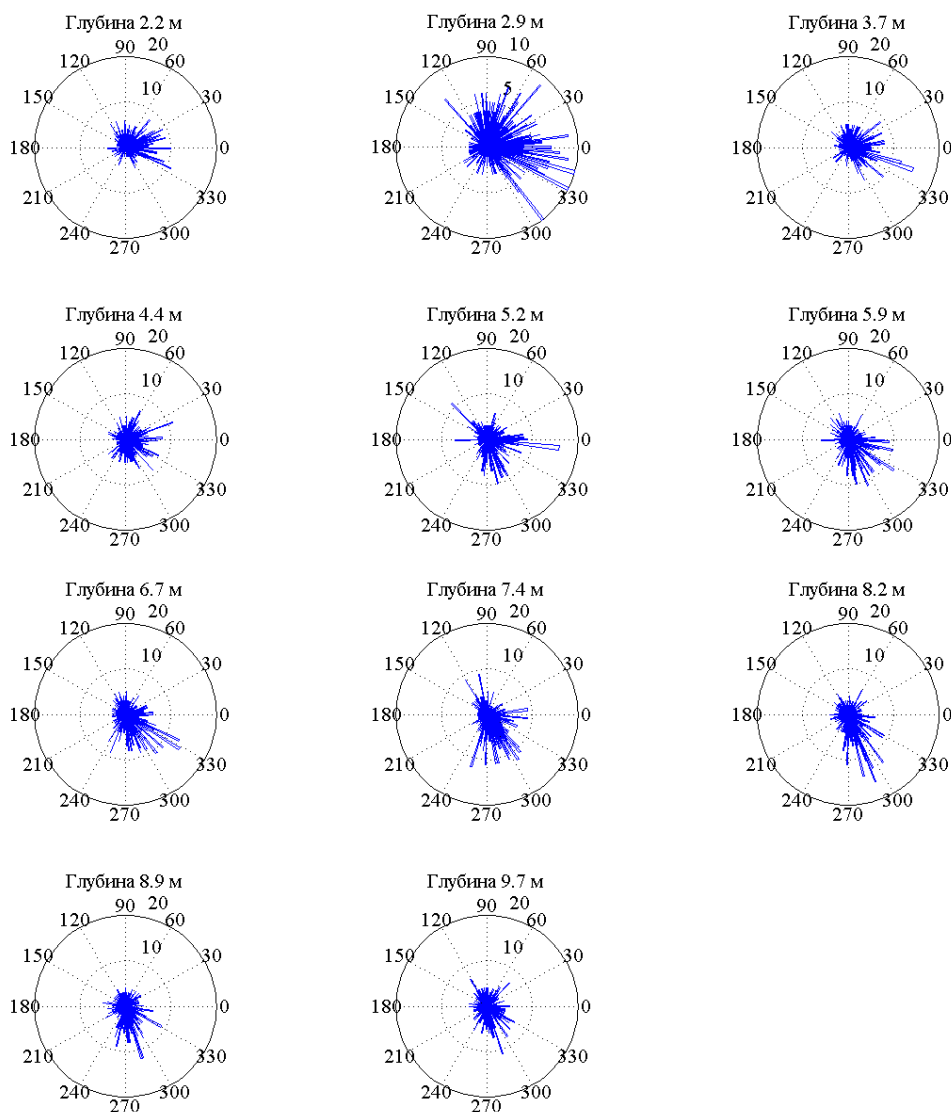


Рисунок 28, лист 2

На рисунке 29 представлены круговые гистограммы горизонтальных скоростей.



Анализ не позволяет ни на одном горизонте выделить преимущественное направление течения.

### 3.3 Анализ данных для 2015 года

Для анализа был взят период с 12.07.14 по 7.08.14 по измерениям в летний период в 2015 году.

#### 3.3.1 Данные по прибору ADCP 600

Прибор ADCP600 проводил измерения каждые 2 минуты, поэтому данные были разряжены с помощью процедуры decimate=15 и дополнительно сглажены процедурой smooth=5.

В таблице 6 представлено средние значения модуля скорости.

Таблица 6 – Средние значения модуля скорости для прибора ADCP 600 по данным 2015 года

Глубина, м	Средняя скорость, см/с
14,9	3,17
13,9	3,15
12,9	3,29
11,9	3,5
10,9	3,67
9,9	4,09
8,9	4,64
7,9	4,64
6,9	4,24
5,9	3,83
4,9	3,84

3,9	4,04
2,9	6,13

На рисунке 30 представлены модули горизонтальных скоростей. Максимальное значение 17,04см/с.

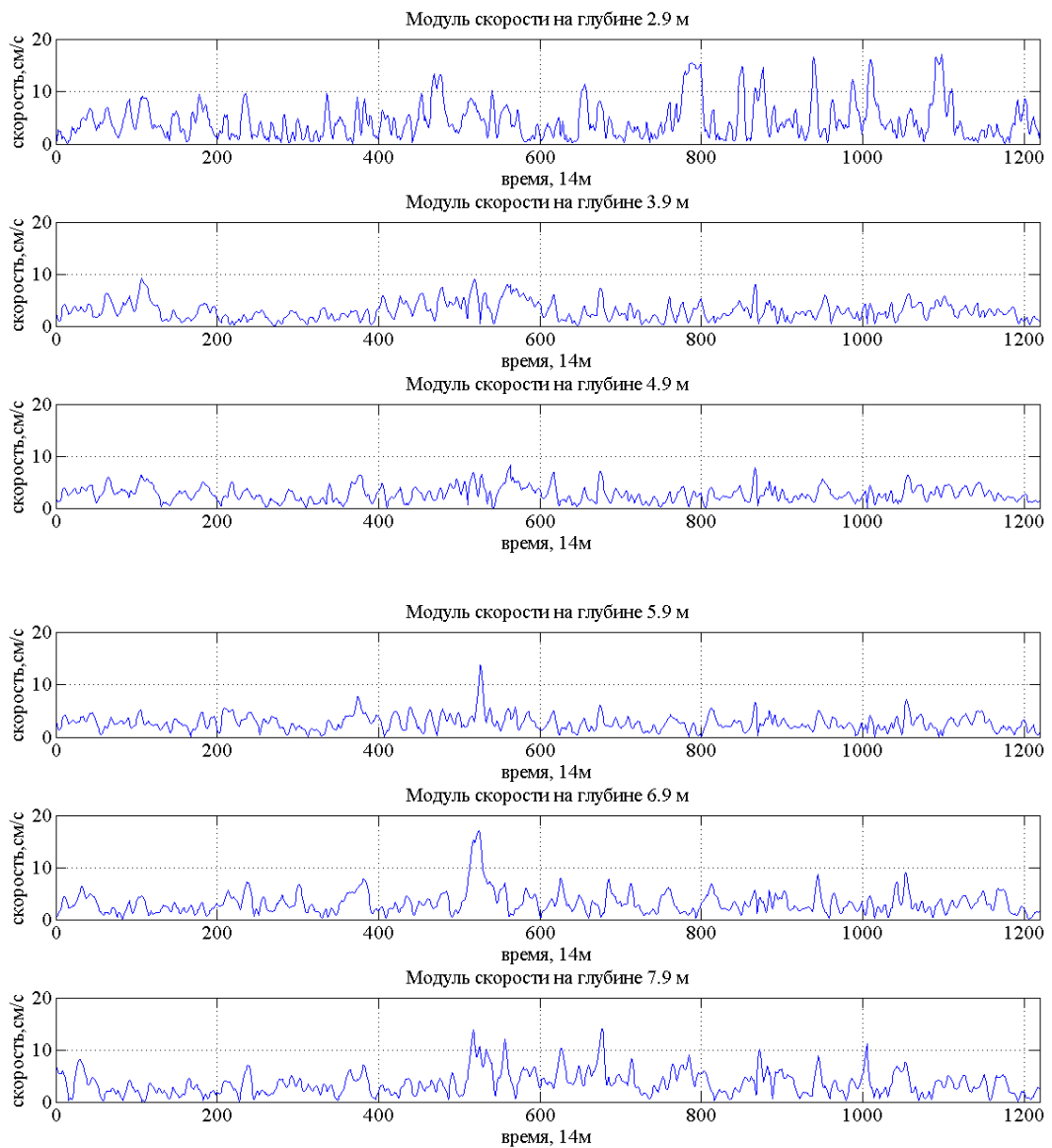


Рисунок 30 – Модуль горизонтальных скоростей по данным прибора ADCP 600 за 2015 год

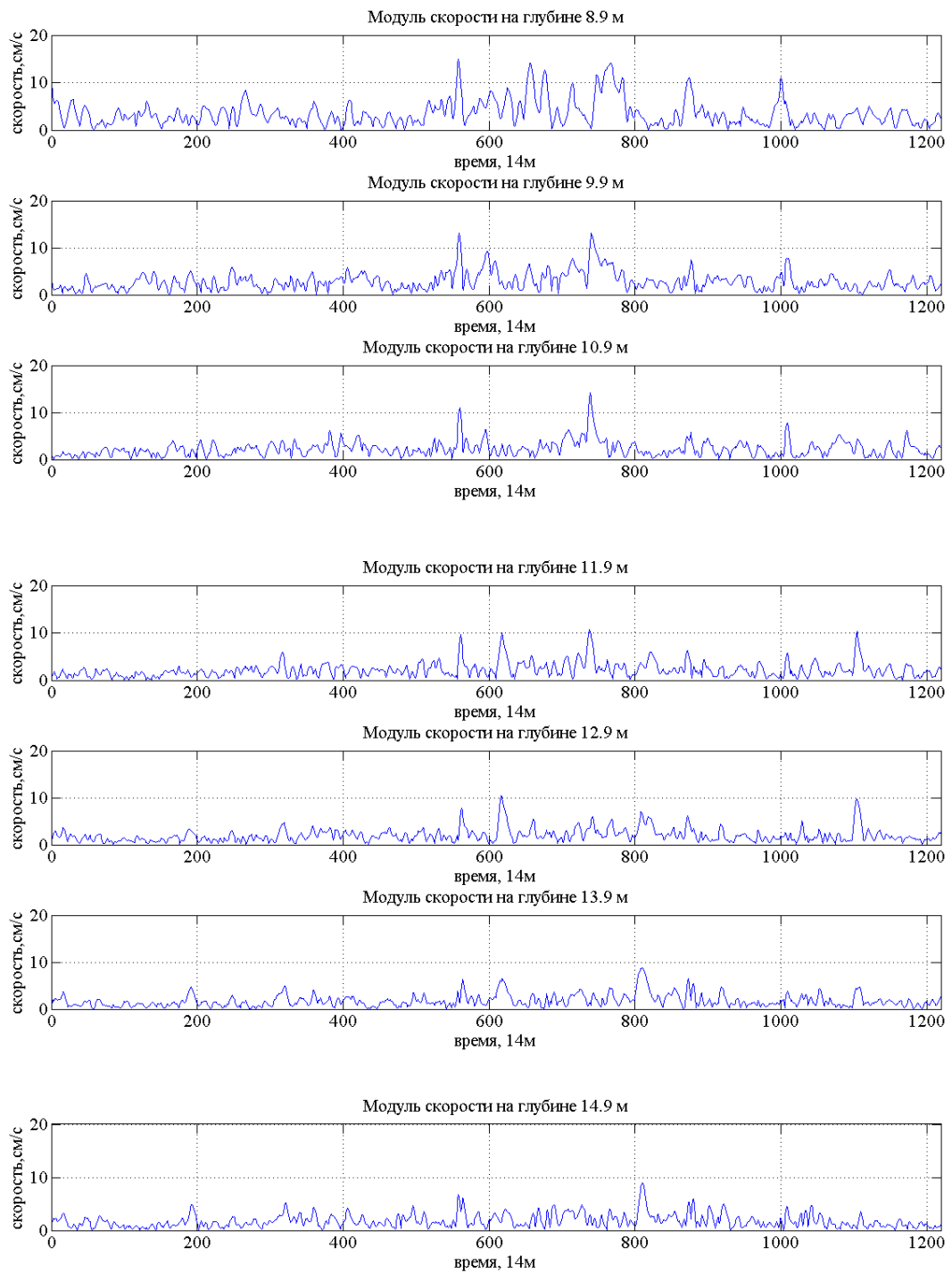


Рисунок 30, лист 2

На рисунке 31 представлена вертикальная скорость на всех горизонтах. Максимальное значение 1,10 см/с.

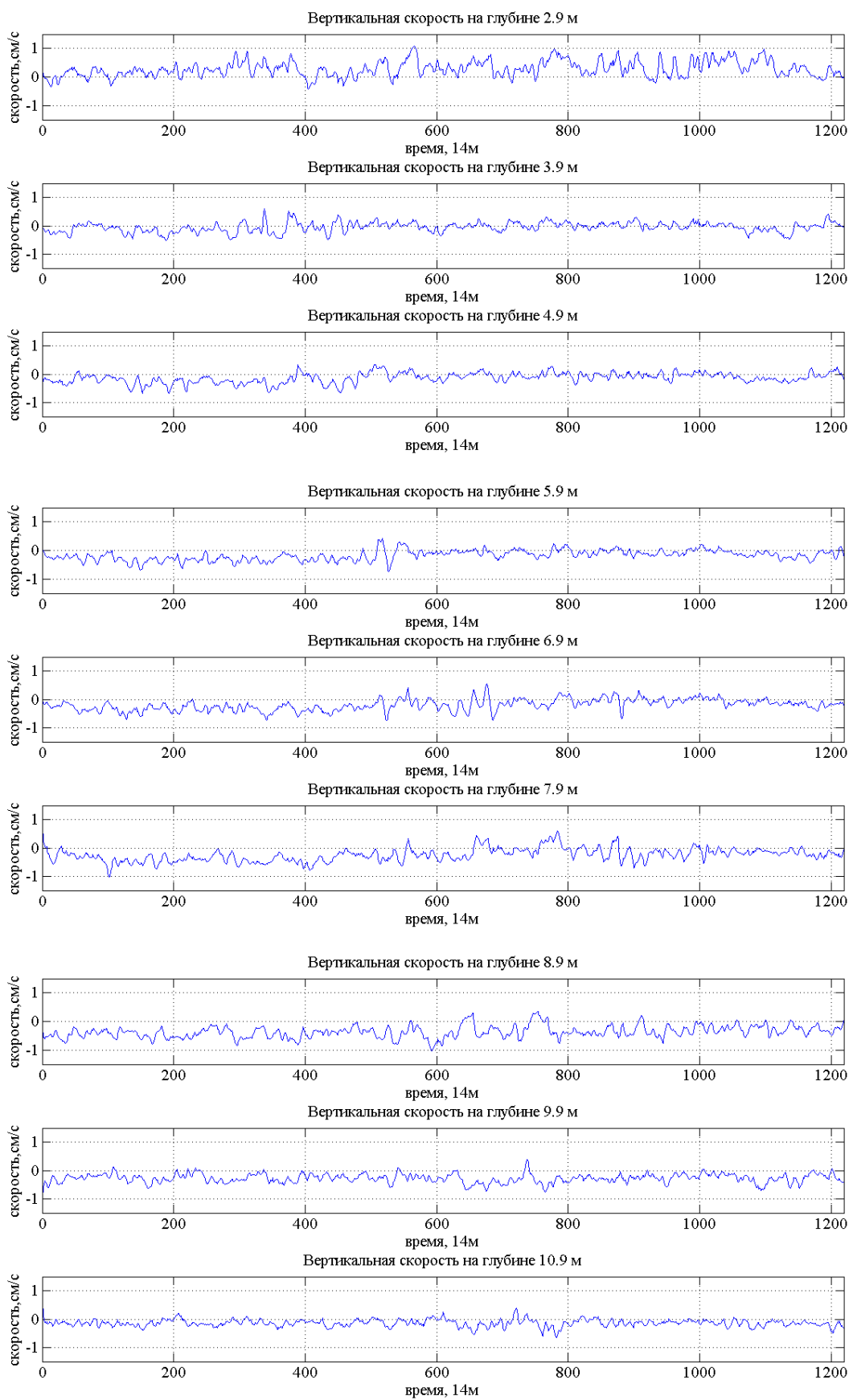


Рисунок 31 – Вертикальные скорости по данным прибора ADCP 600 за 2015 год

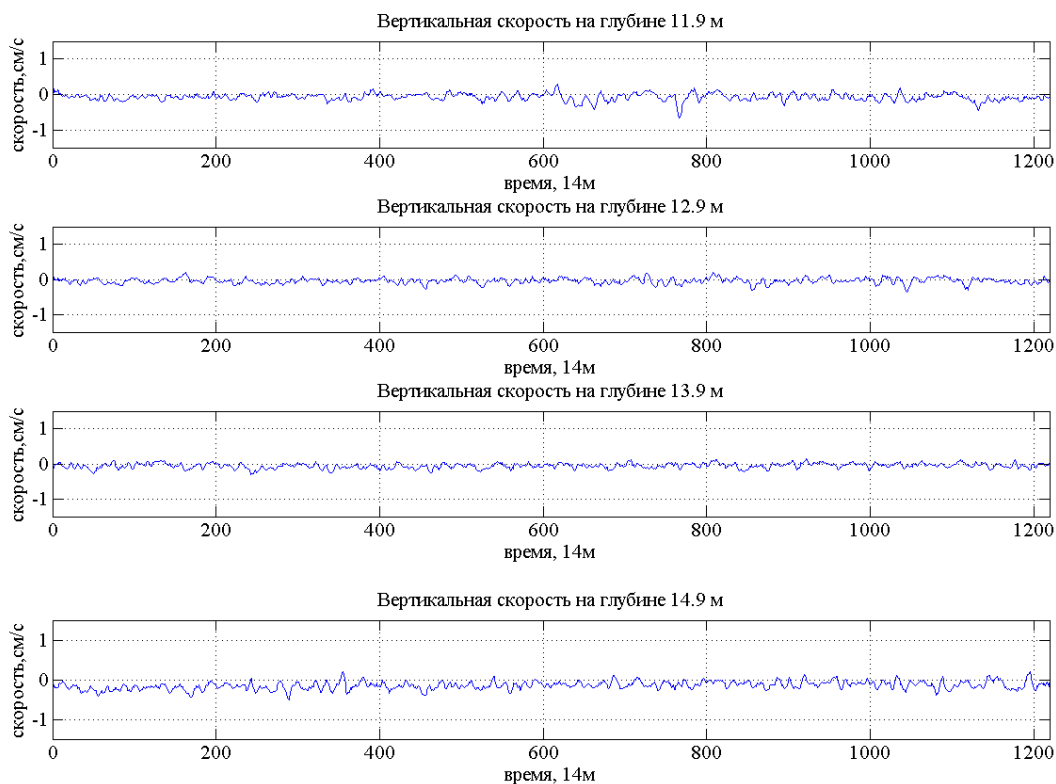


Рисунок 31, лист 2

На рисунке 32 представлены круговые гистограммы горизонтальных скоростей.

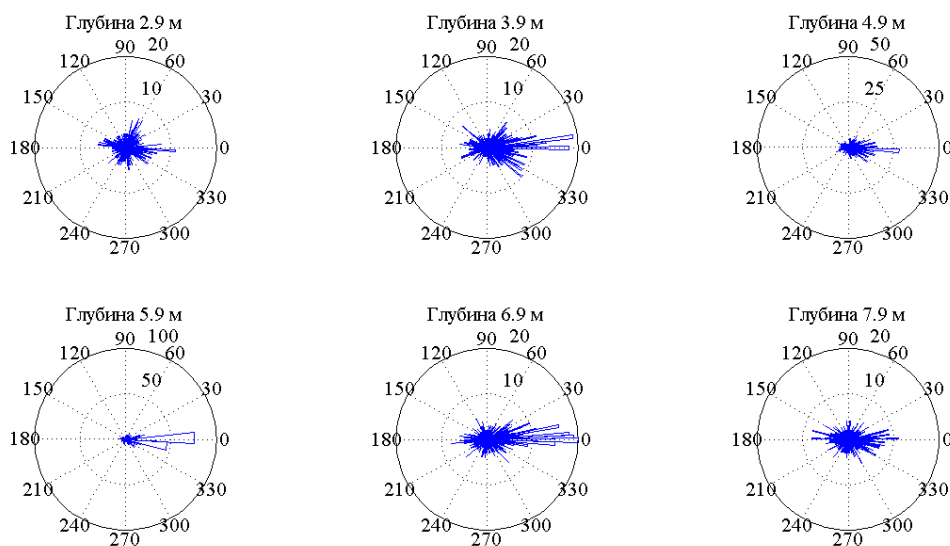


Рисунок 32 – Круговые гистограммы по данным прибора ADCP 600 за 2015 год



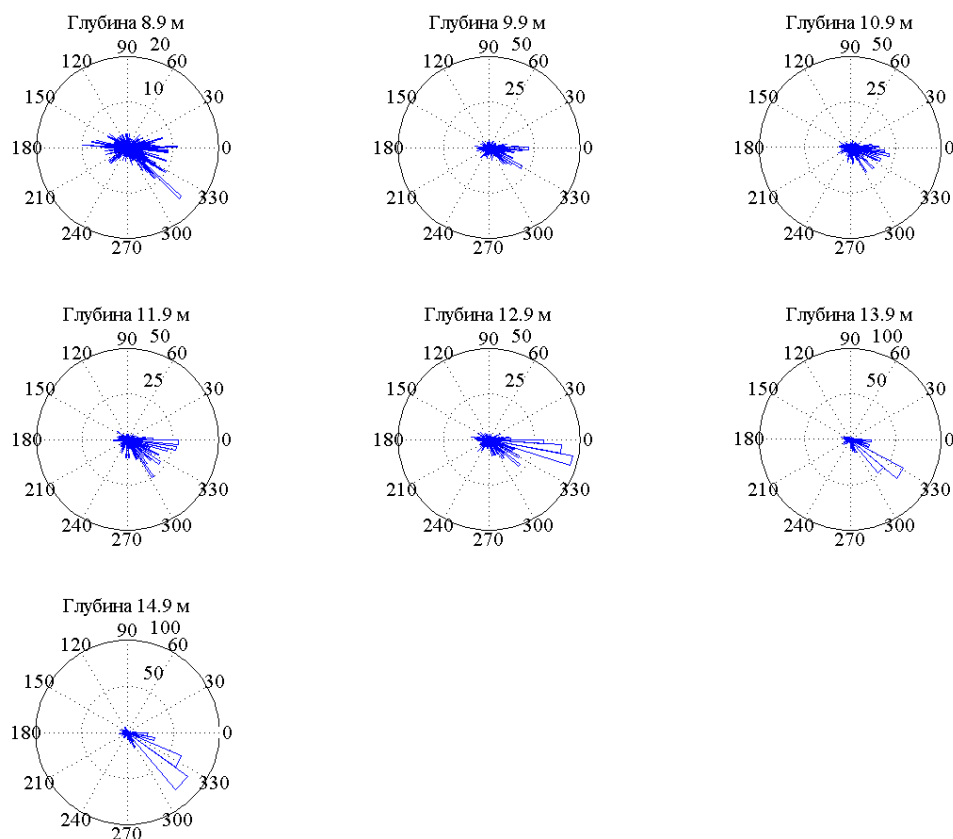


Рисунок 32, лист 2

Анализ показывает, что, начиная с глубины 9,9 м. хорошо выделяется преимущественное направление течения.

### 3.3.2 Данные по прибору ADCP 1200

Прибор ADCP 1200 проводил измерения каждые 2 минуты, поэтому данные были разряжены с помощью процедуры  $decimate=15$  и дополнительно сглажены процедурой  $smooth=5$ .

В таблице 7 представлено средние значения модуля скорости.

Таблица 7 – Средние значения модуля скорости для прибора ADCP 1200 по данным 2015 года

Глубина, м	Средняя скорость, см/с
10,69	3,77

9,94	3,43
9,19	3,36
8,44	3,48
7,69	3,56
6,94	3,85
6,19	3,69
5,44	3,25
4,69	2,95
3,94	2,80
3,19	2,84
2,44	3,1
1,69	3,5

На рисунке 33 представлены модули горизонтальных скоростей. Максимальное значение 13,63см/с.

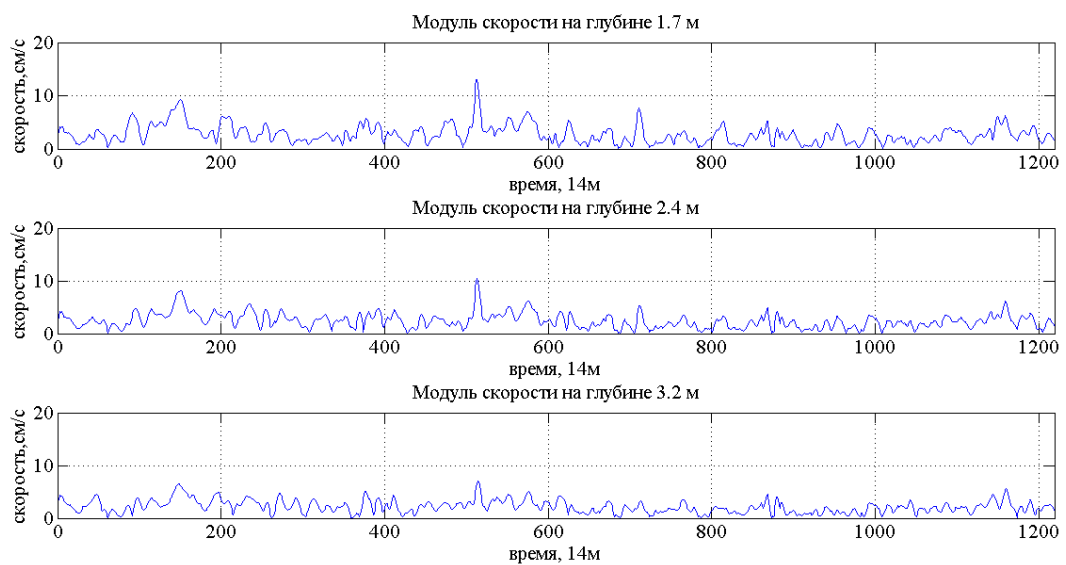


Рисунок 33 – Модуль горизонтальных скоростей по данным прибора ADCP 1200 за 2014 год

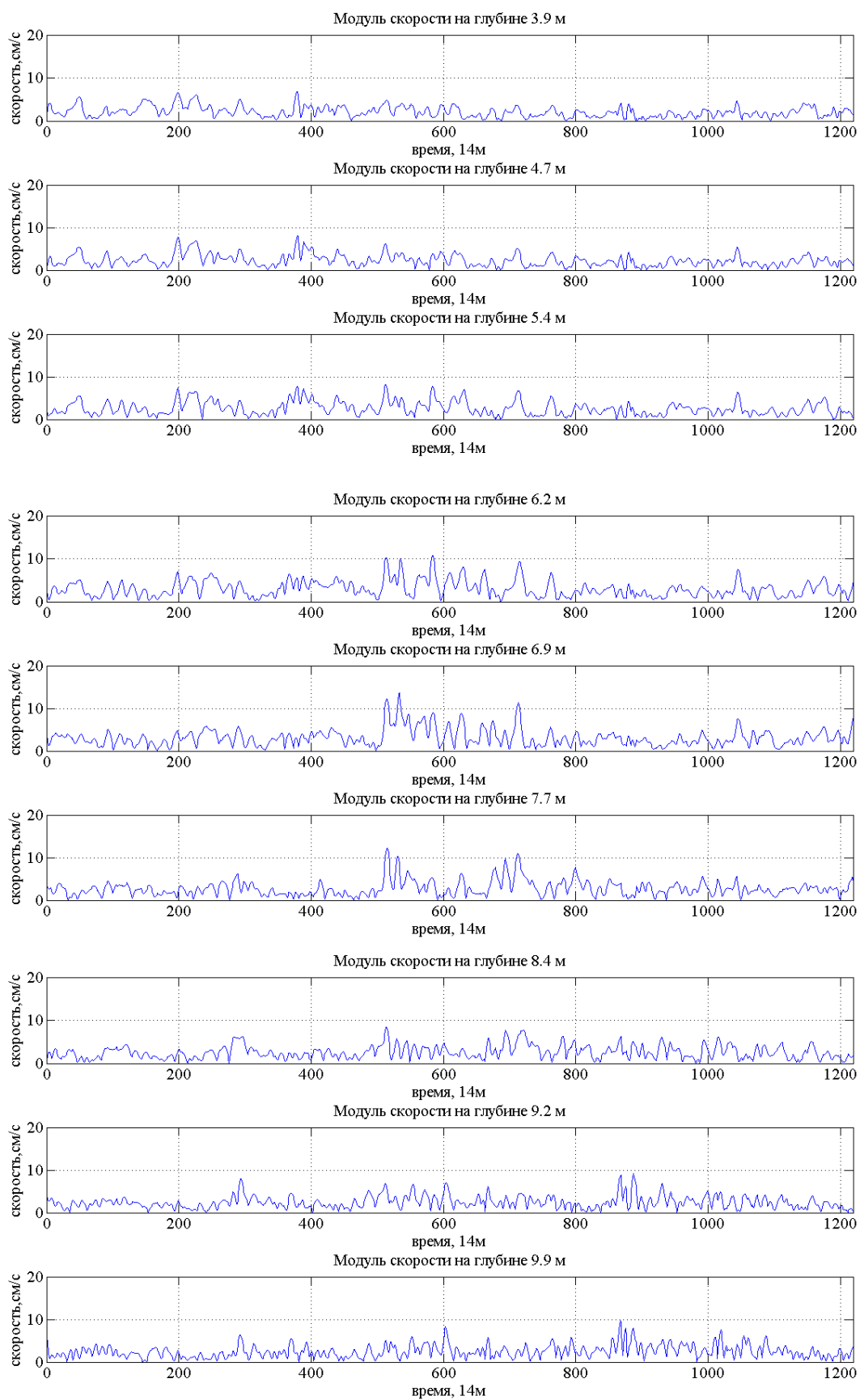


Рисунок 33, лист 2



Рисунок 33, лист 3

На рисунке 34 представлена вертикальная скорость на всех горизонтах. Максимальное значение 0,29 см/с.

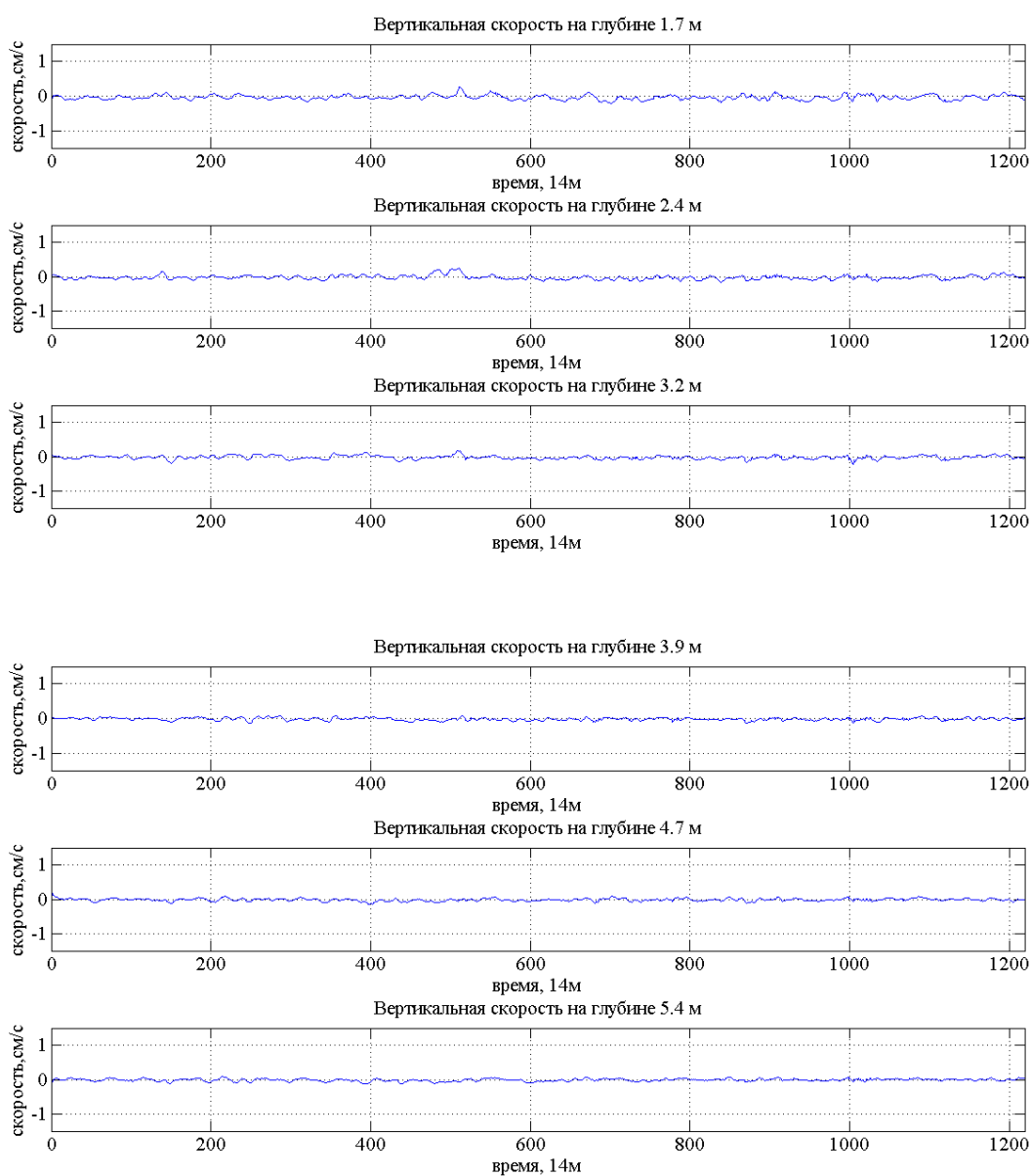


Рисунок 34 – Вертикальные скорости по данным прибора ADCP 1200 за 2015 год

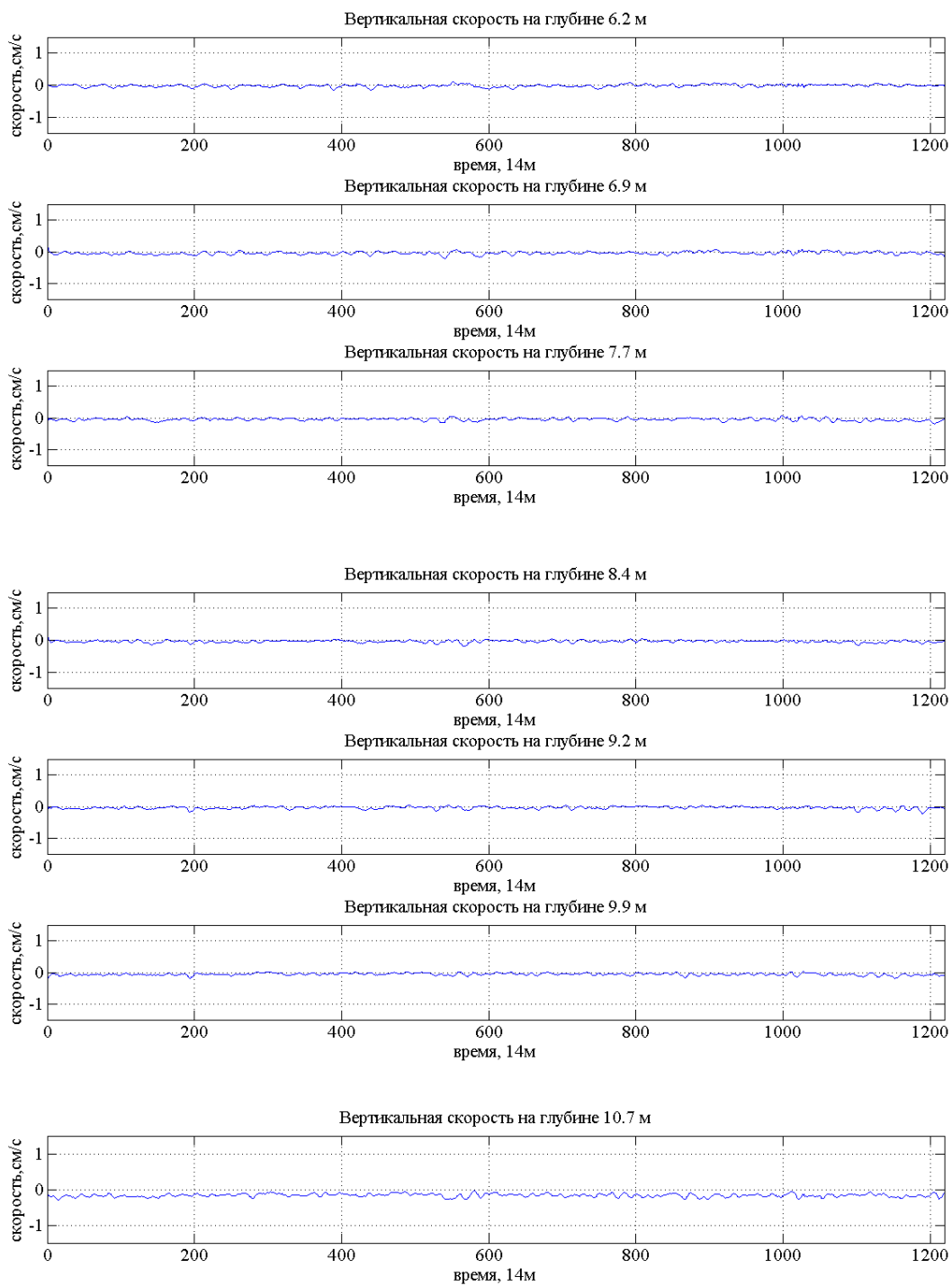


Рисунок 34, лист 2

На рисунке 35 представлены круговые гистограммы горизонтальных скоростей.

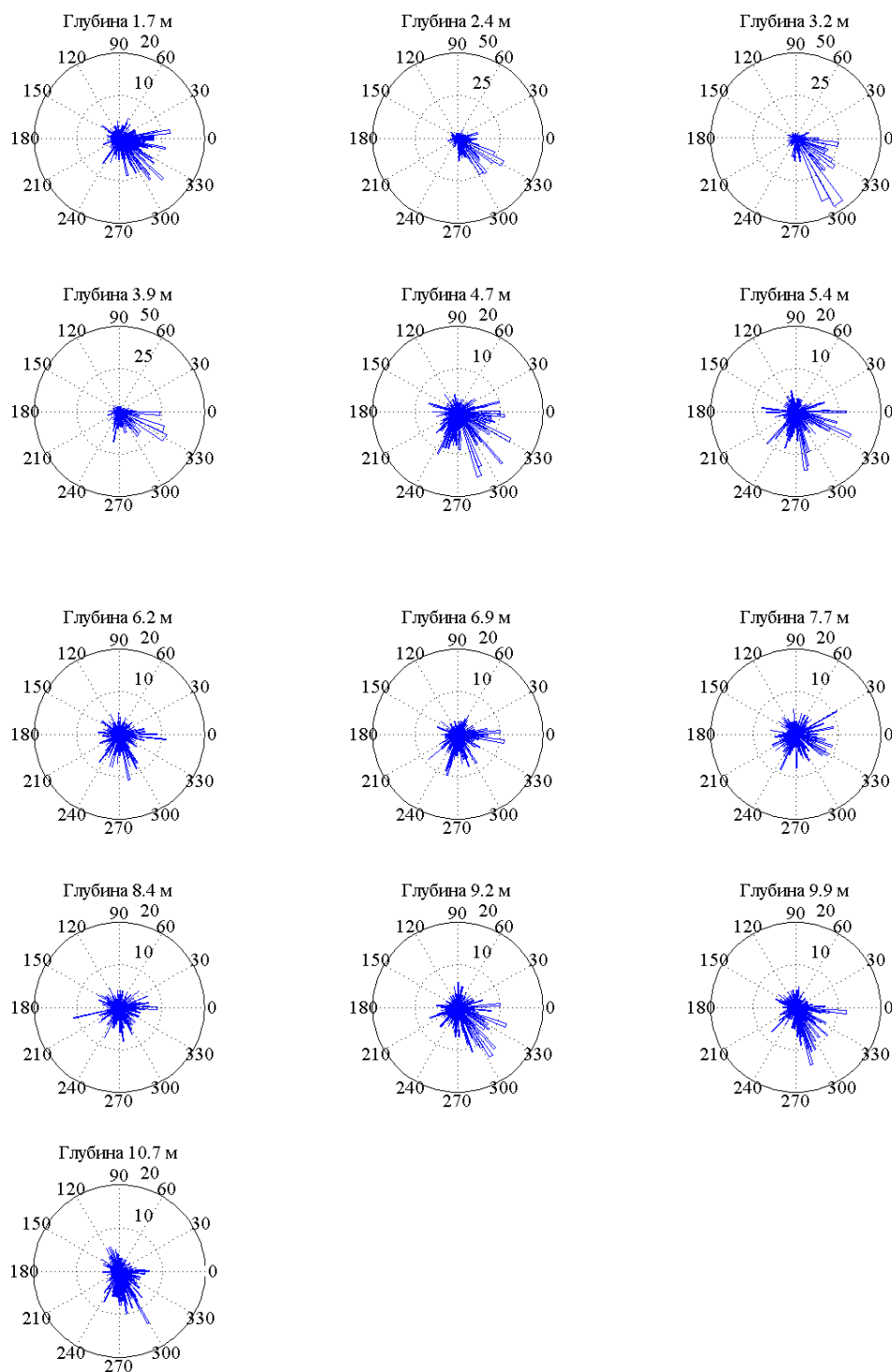


Рисунок 35 – Круговые гистограммы по данным прибора ADCP 1200 за 2015 год

В данном измерении тяжело выделить преимущественное направление течения.

Средние значения 2013 г. могут быть больше, чем значения за другие года, т.к. это были кратковременные измерения. Так же анализ показывает, что только в ряде случаев удастся выделить направление преимущественного течения. Во

всех измерениях вертикальная скорость как минимум на порядок меньше, чем горизонтальная.

## 4 Анализ зависимости скорости течения от ветра

Следующая серия рисунков демонстрирует сравнение силы ветра и течения.

### 4.1 Графики сравнения силы ветра и течения в приповерхностном слое

В этом разделе приведены графики скорости ветра и течения аналогично тому, как это сделано в книге А. Гилла [1, стр.15].

На рисунках 36-39 представлены графики по данным ветра в поселке и на озере, данным течения по прибору ADCP 600 на глубинах 1,9, 2,9 и 3,9 метров и данным течения по прибору ADCP 1200 на глубинах 2,2, 2,95 и 3,7 м в 2014 году. Скорости измеряются в м/с. Измерения проводились в период с 4.07.14 по 30.07.14.

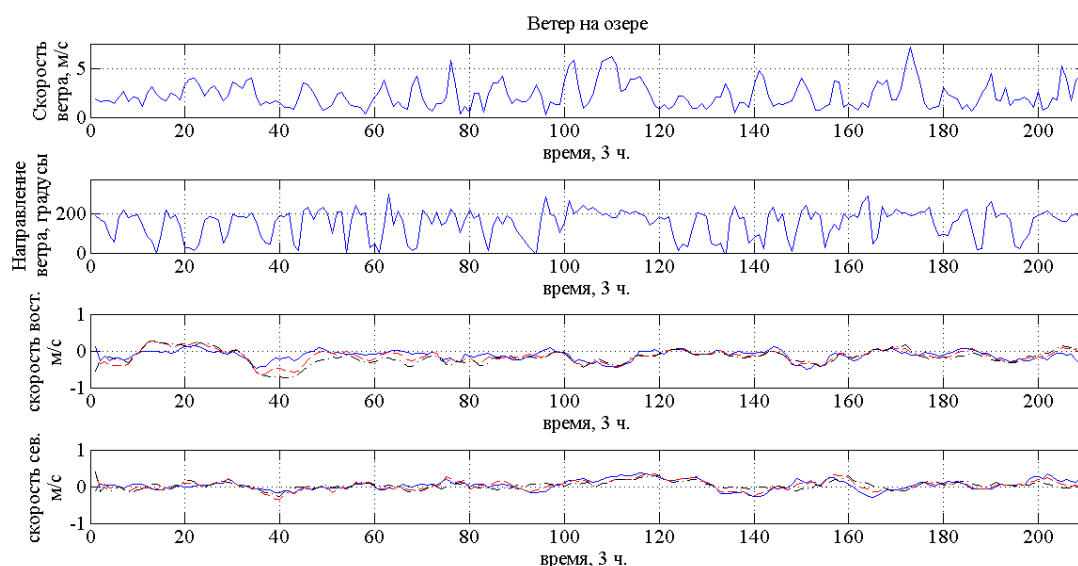


Рисунок 36 – Графики сравнения силы ветра по данным ветра на озере и скорости течения по данным прибора ADCP 600 в 2014 г.



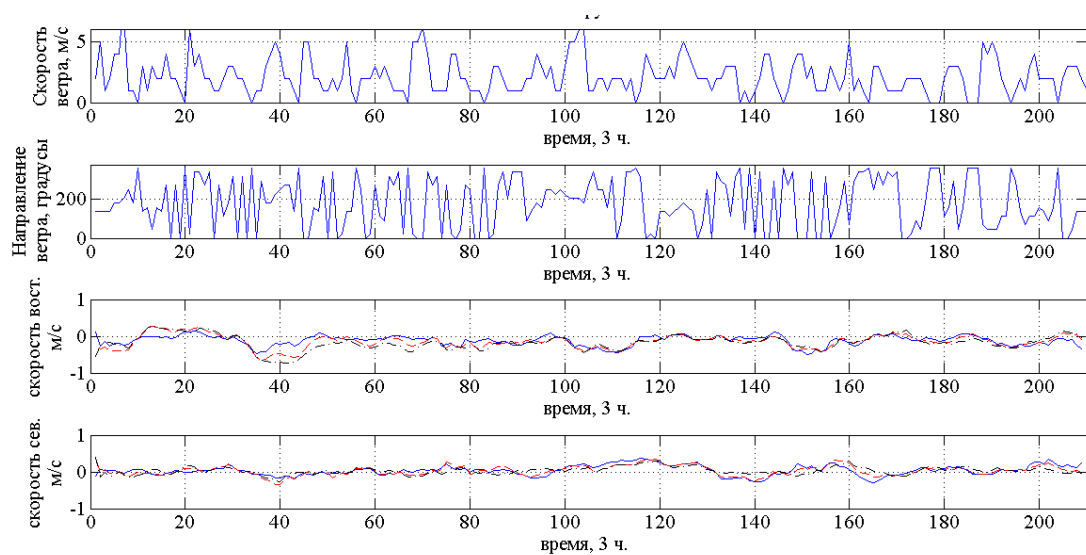


Рисунок 37 – Графики сравнения силы ветра по данным ветра в поселке и скорости течения по данным прибора ADCP 600 в 2014 г.

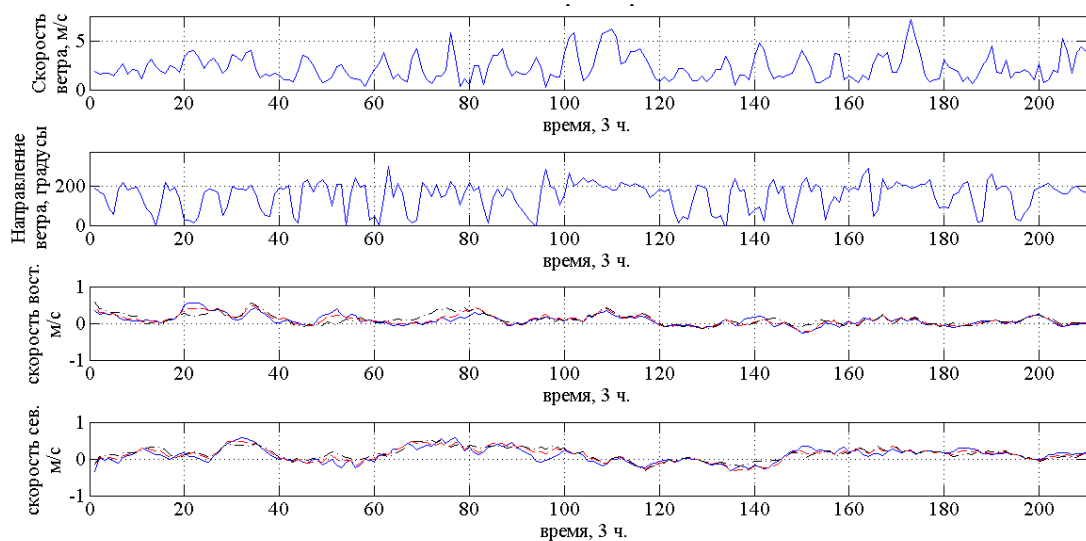


Рисунок 38 – Графики сравнения силы ветра по данным ветра на озере и скорости течения по данным прибора ADCP 1200 в 2014 г.

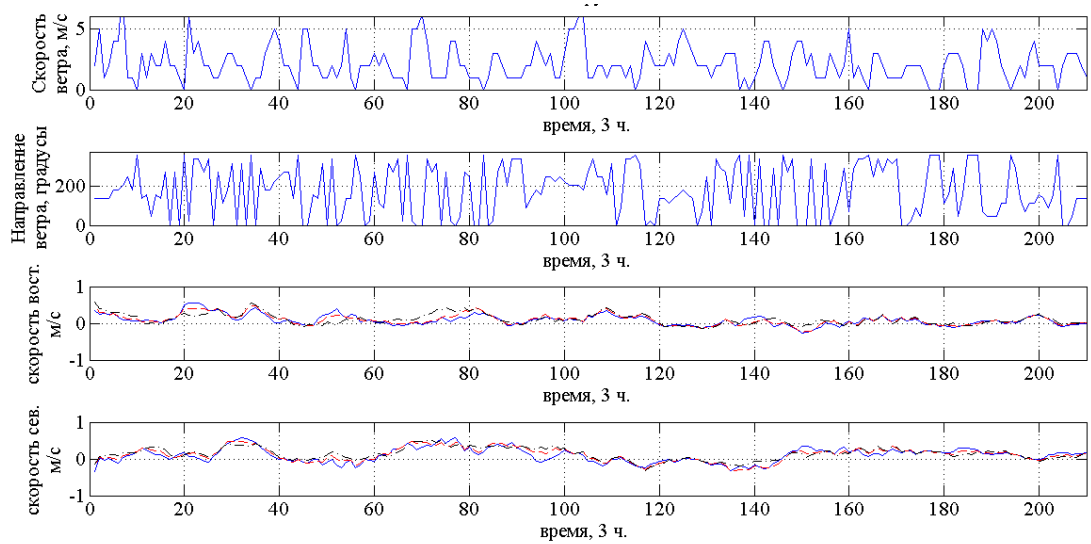


Рисунок 39 – Графики сравнения силы ветра по данным ветра в поселке и скорости течения по данным прибора ADCP 1200 в 2014 г.

На рисунках 40-43 представлены графики сравнения силы ветра по данным ветра в поселке и на озере и данным скорости течения по прибору ADCP 600 на глубинах 2,9, 3,9 и 4,9 м и данным скорости течения по прибору ADCP 1200 на глубинах 1,69, 2,44 и 3,19 м в 2015 году.

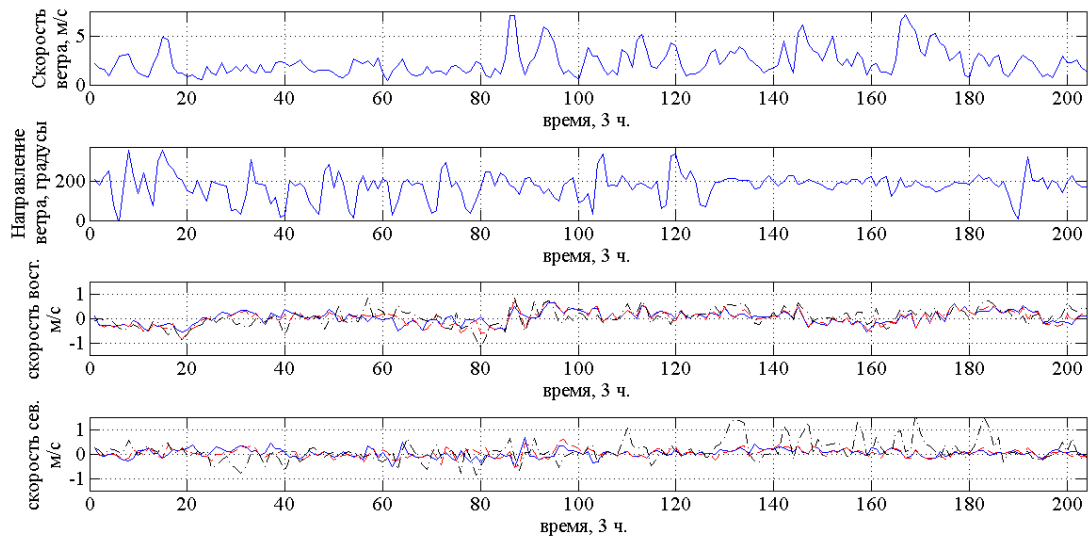


Рисунок 40 – Графики сравнения силы ветра по данным ветра на озере и скорости течения по данным прибора ADCP 600 в 2015 г.

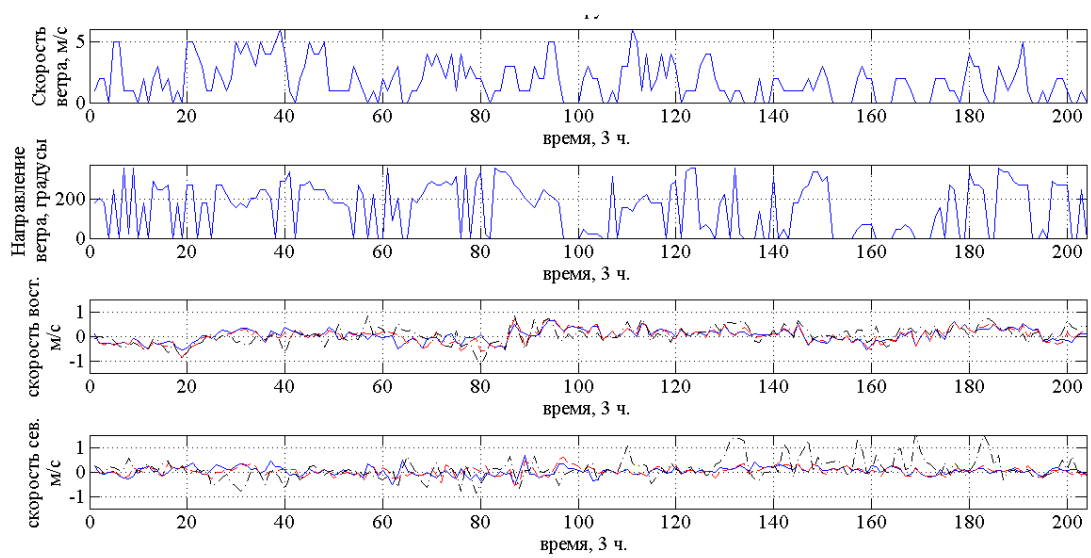


Рисунок 41 – Графики сравнения силы ветра по данным ветра в поселке и скорости течения по данным прибора ADCP 600 в 2015 г.

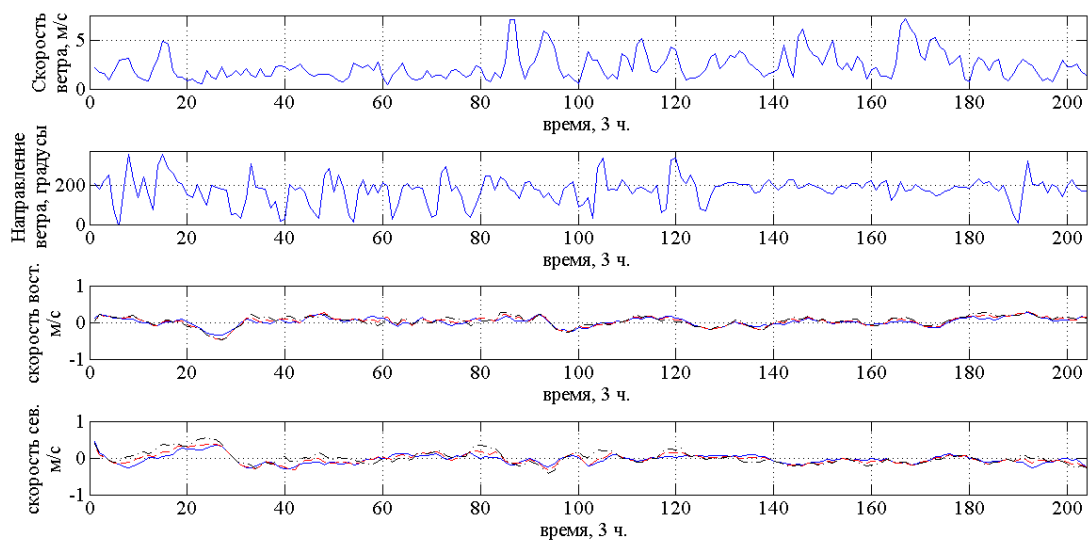


Рисунок 42 – Графики сравнения силы ветра по данным ветра на озере и скорости течения по данным прибора ADCP 1200 в 2015 г.

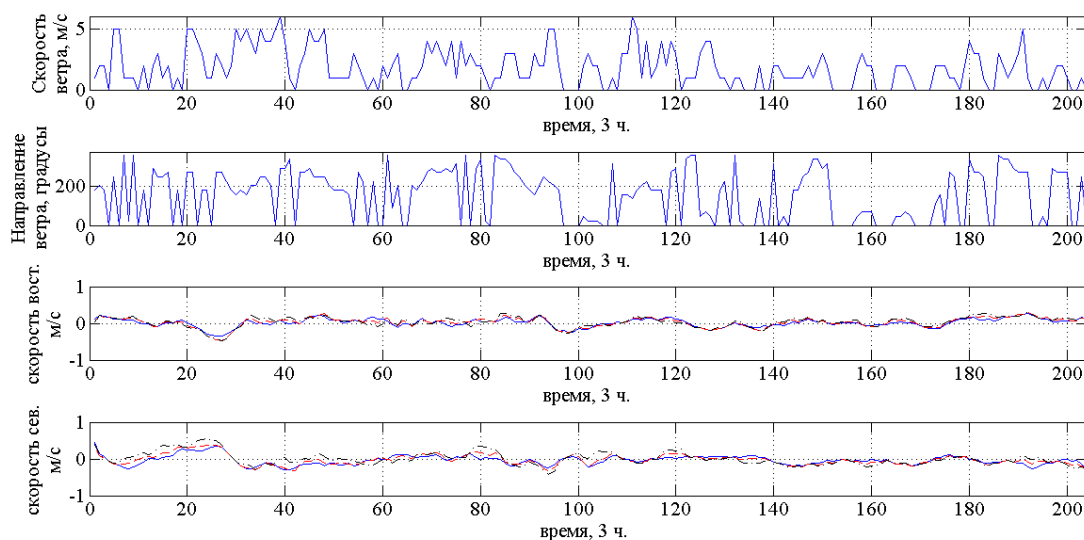


Рисунок 43 – Графики сравнения силы ветра по данным ветра в поселке и скорости течения по данным прибора ADCP 1200 в 2015 г.

По данным всех приборов, кроме ADCP 600 в 2015 году наблюдается синхронное колебание приповерхностного столба жидкости.

## 4.2 Игольчатые диаграммы

В статье Хироши Матсуура и Глена Кеннона [6] приводится пример анализа данных с помощью игольчатых (векторных) диаграмм. На рисунке 44 такой график. Здесь мы видим соответствие данных для ветра и течений.

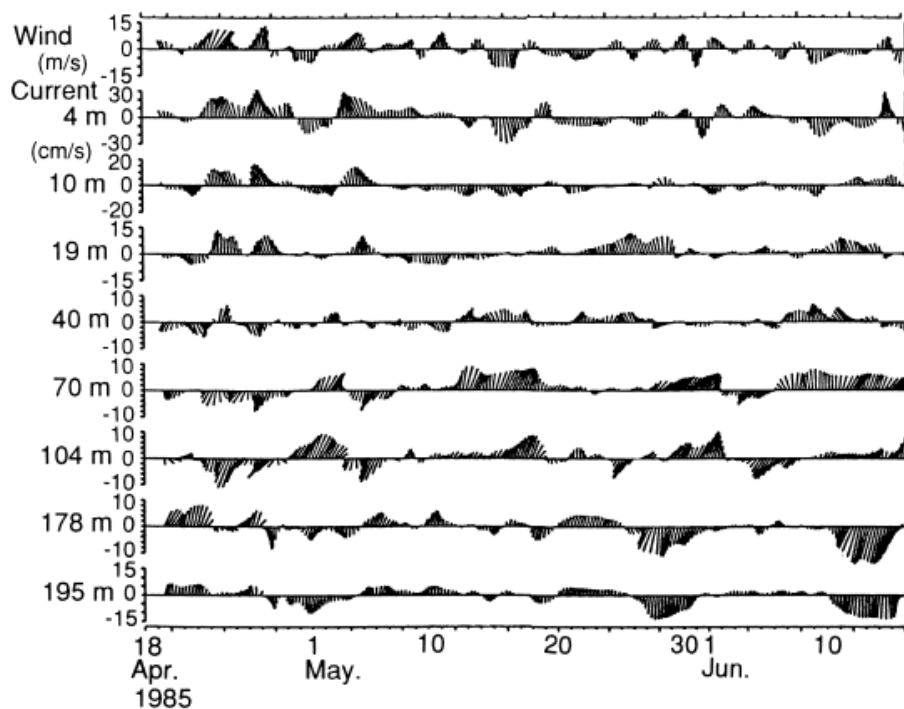


Рисунок 44 – Векторная диаграмма скорости ветра и течения

На следующих рисунках 45 и 46 представлен анализ данных с помощью игольчатых диаграмм по данным приборов ADCP 600 и ADCP 1200 в 2014 году в период с 4 по 9 июля.



Рисунок 45 – Игольчатые диаграммы для ADCP 600 в 2014 г.

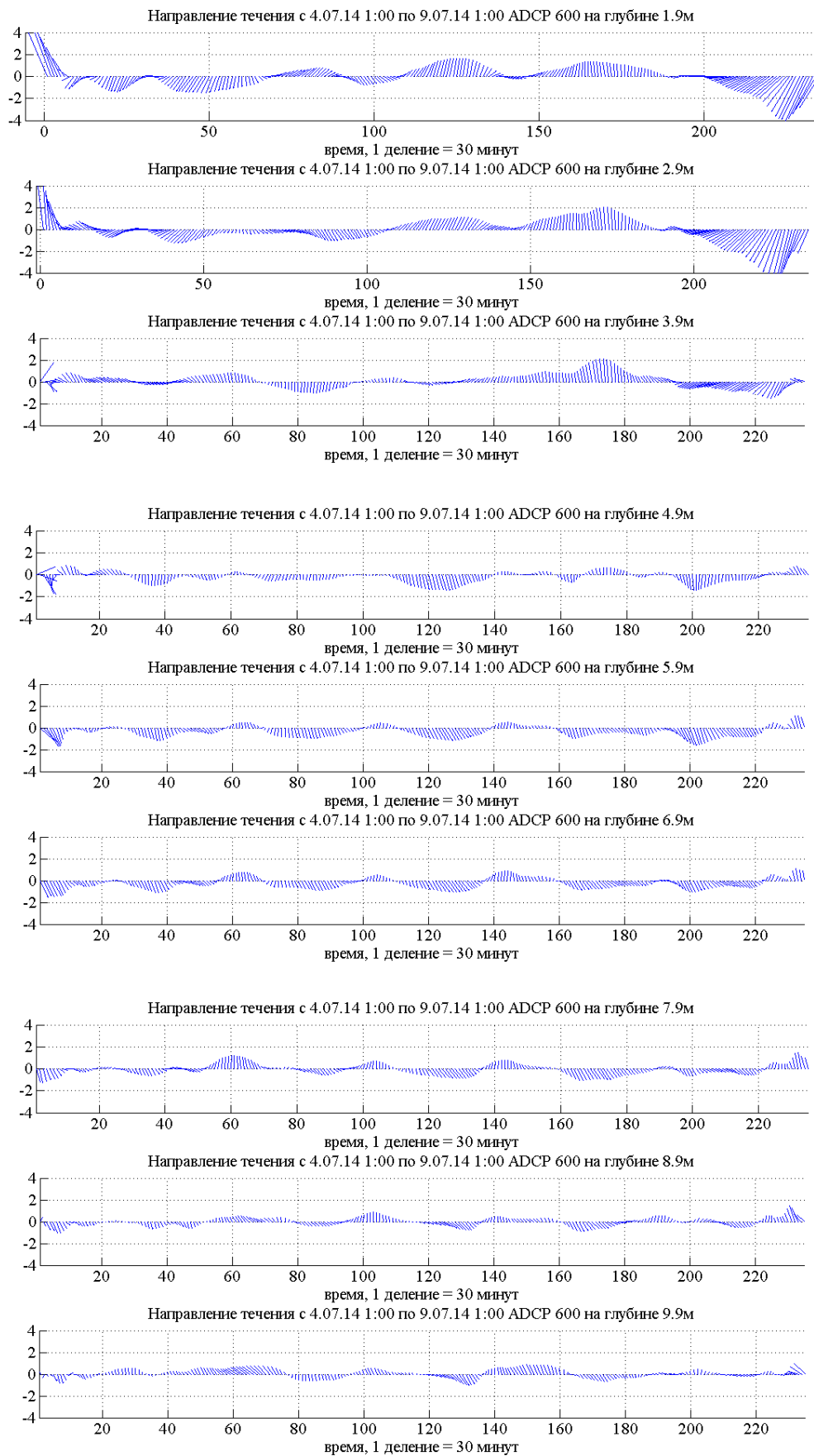


Рисунок 45, лист 2

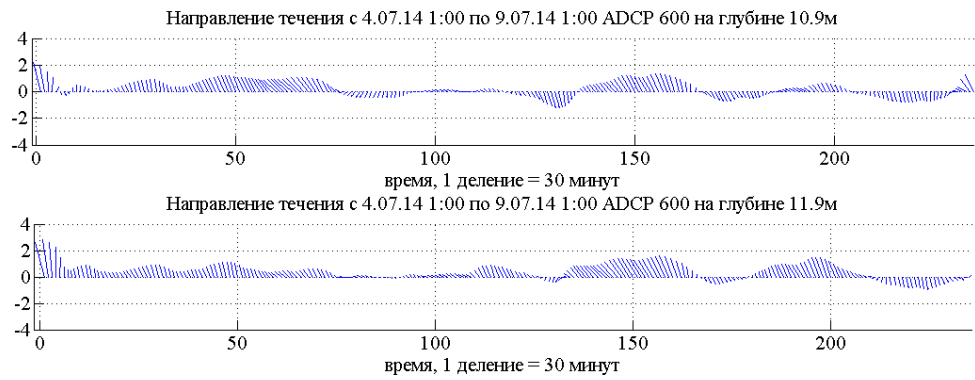


Рисунок 45, лист 3

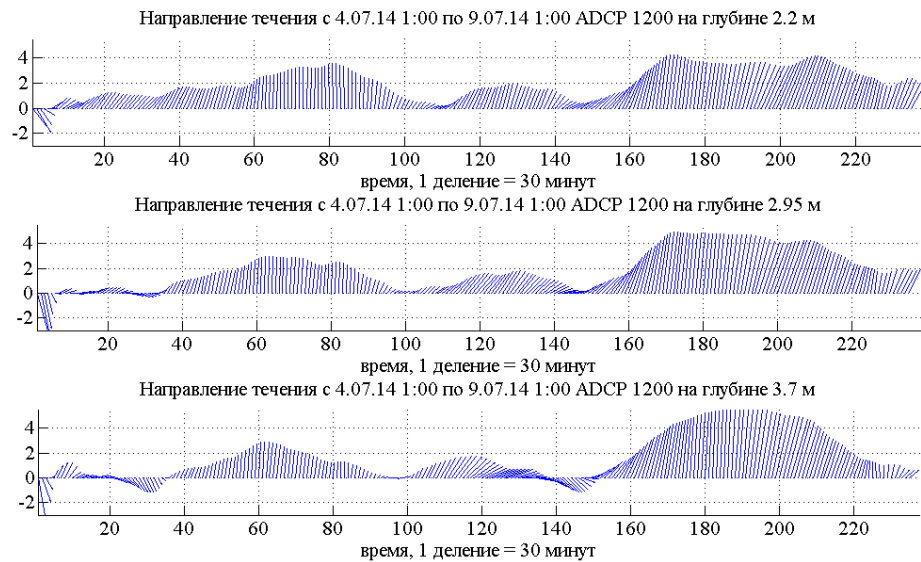


Рисунок 46 – Игольчатые диаграммы для ADCP 1200 в 2014 г.

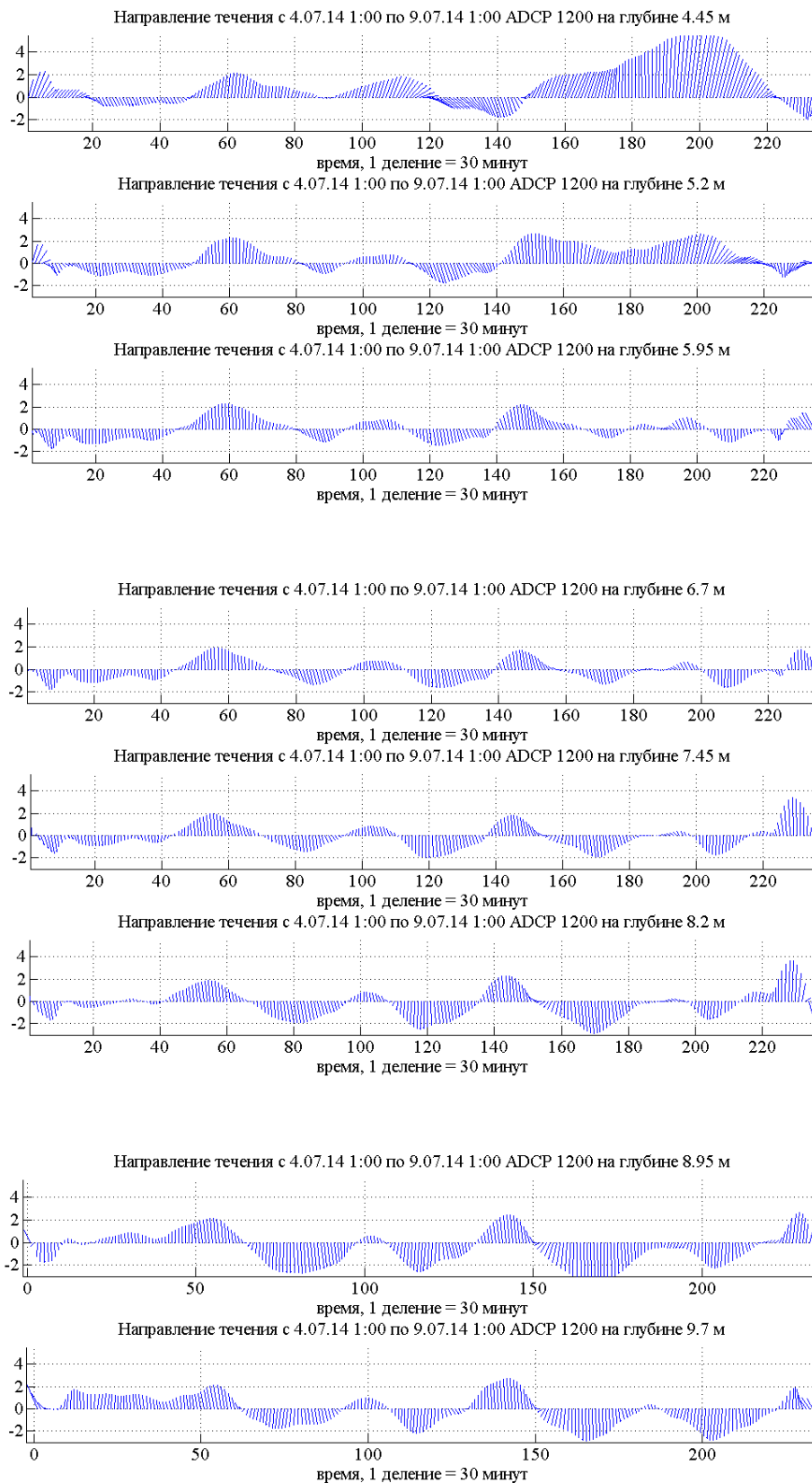


Рисунок 46, лист 2



На следующих рисунках 47 и 48 представлен анализ данных с помощью игольчатых диаграмм по данным приборов ADCP 600 и ADCP 1200 в 2015 году в период с 12 по 17 июля.

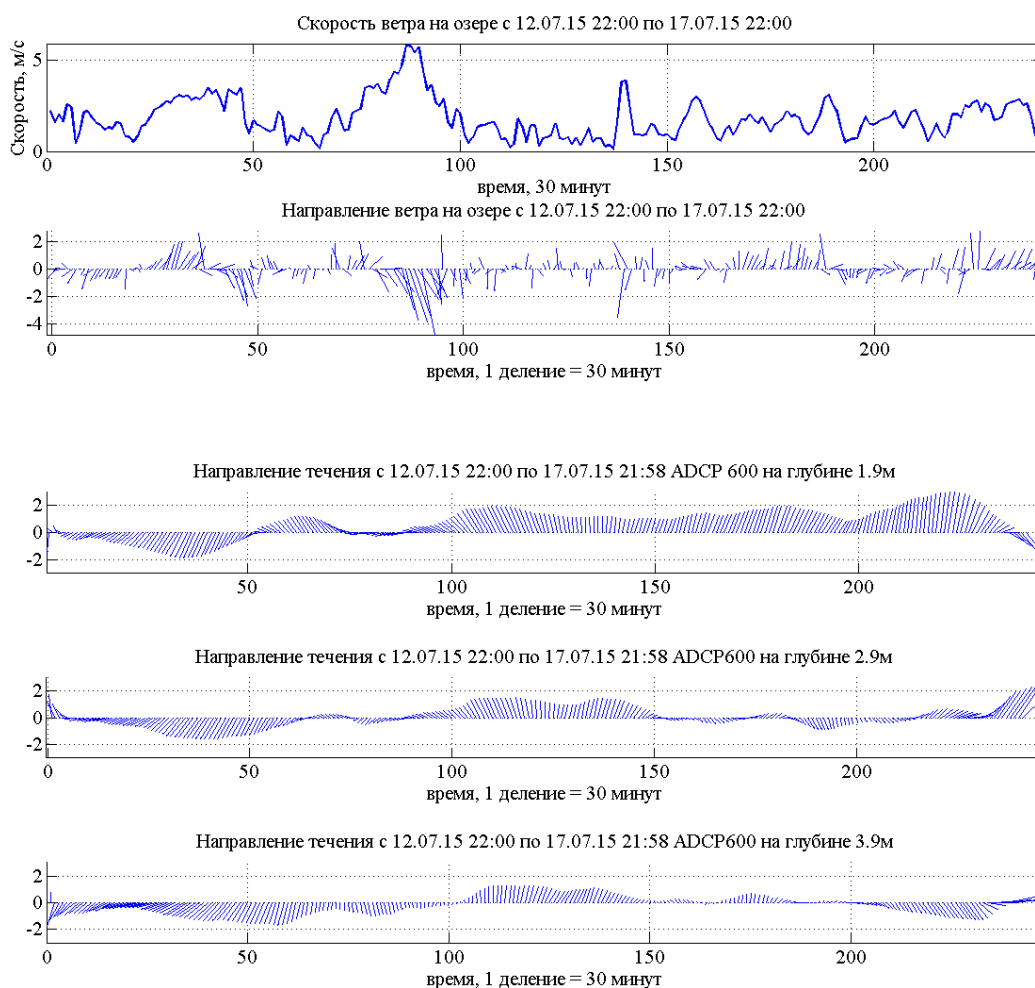


Рисунок 47 – Игольчатые диаграммы для ADCP 600 в 2015 г.

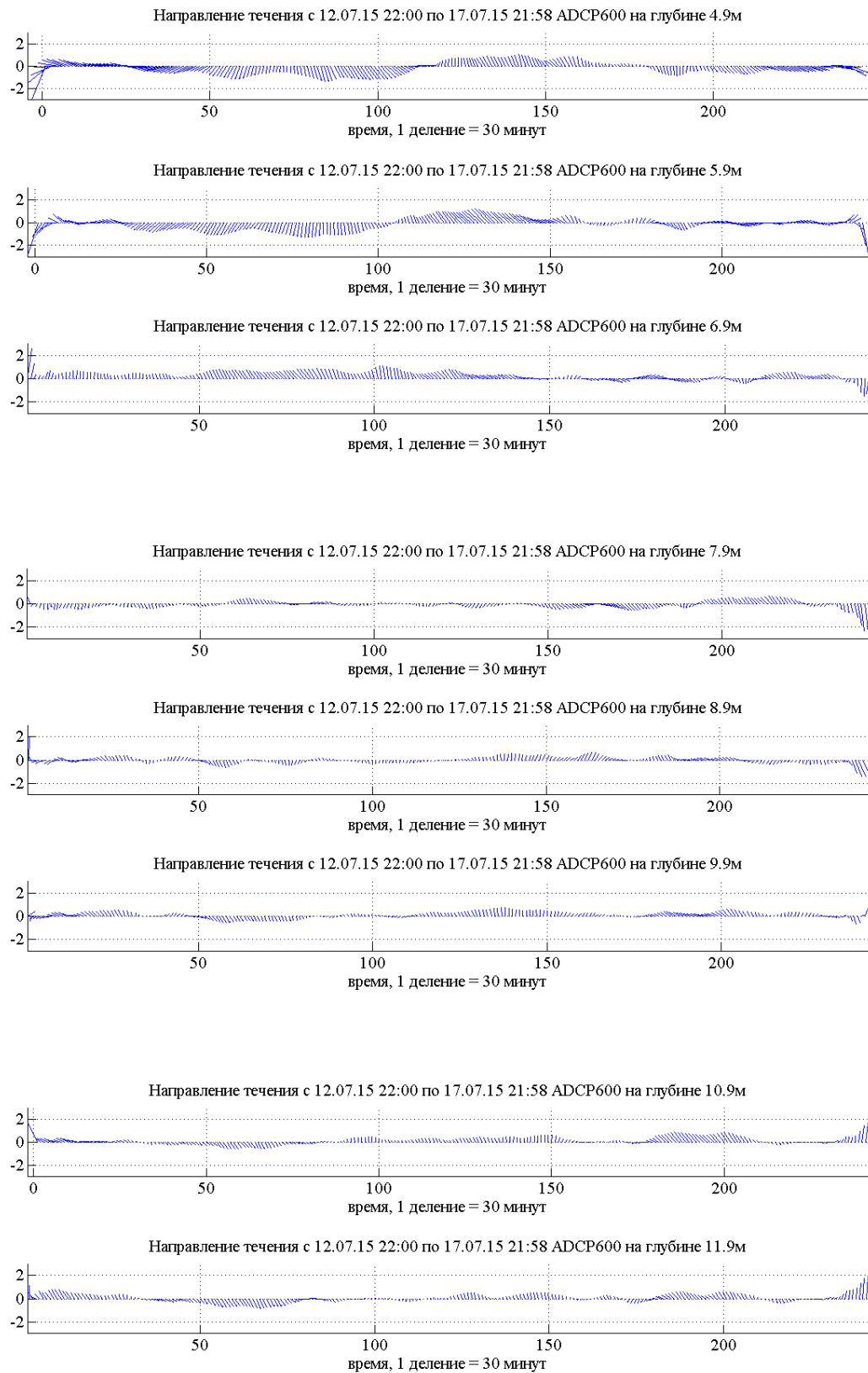


Рисунок 47, лист 2

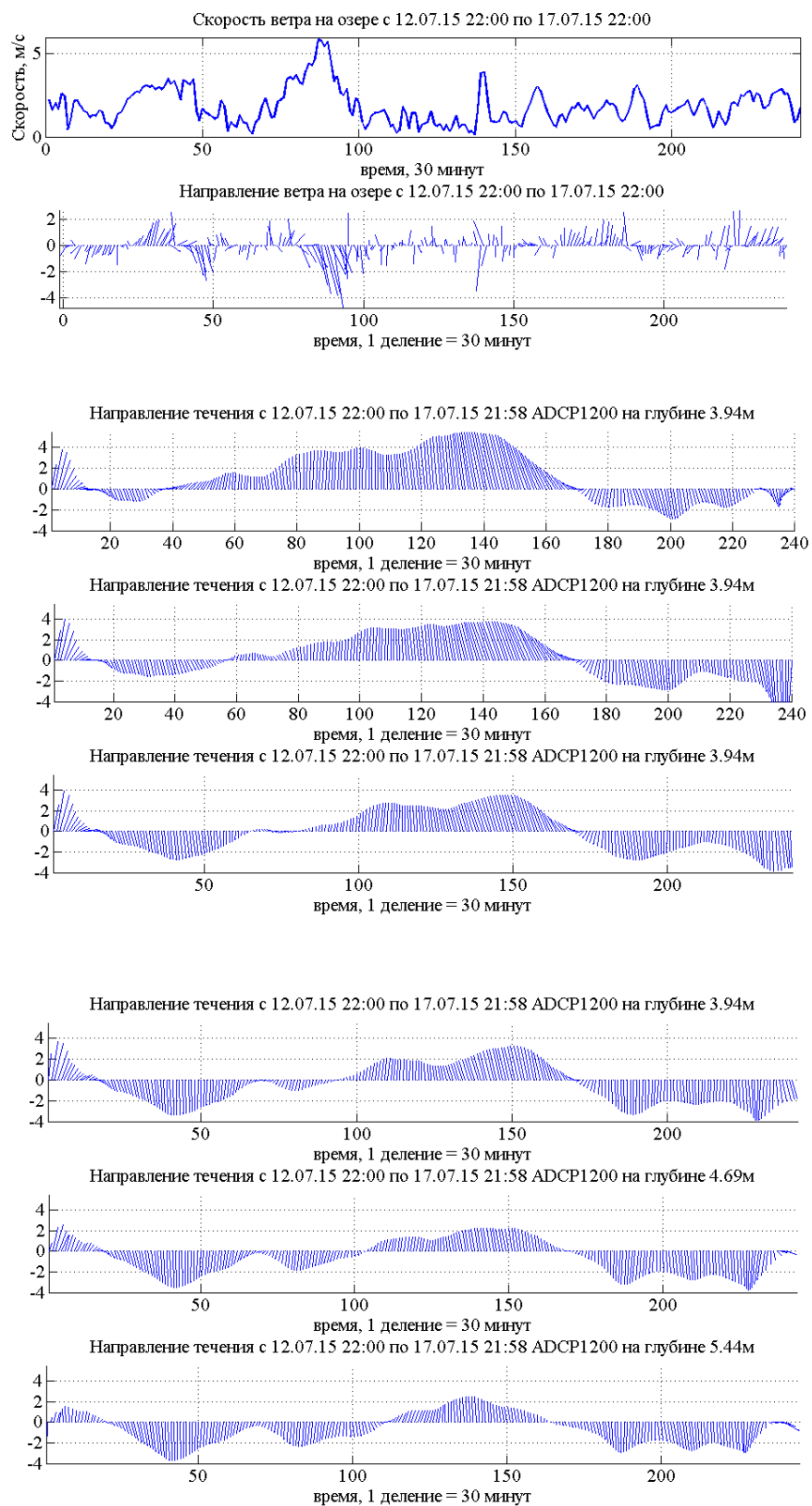


Рисунок 48 – Игольчатые диаграммы для ADCP 1200 в 2015 г.

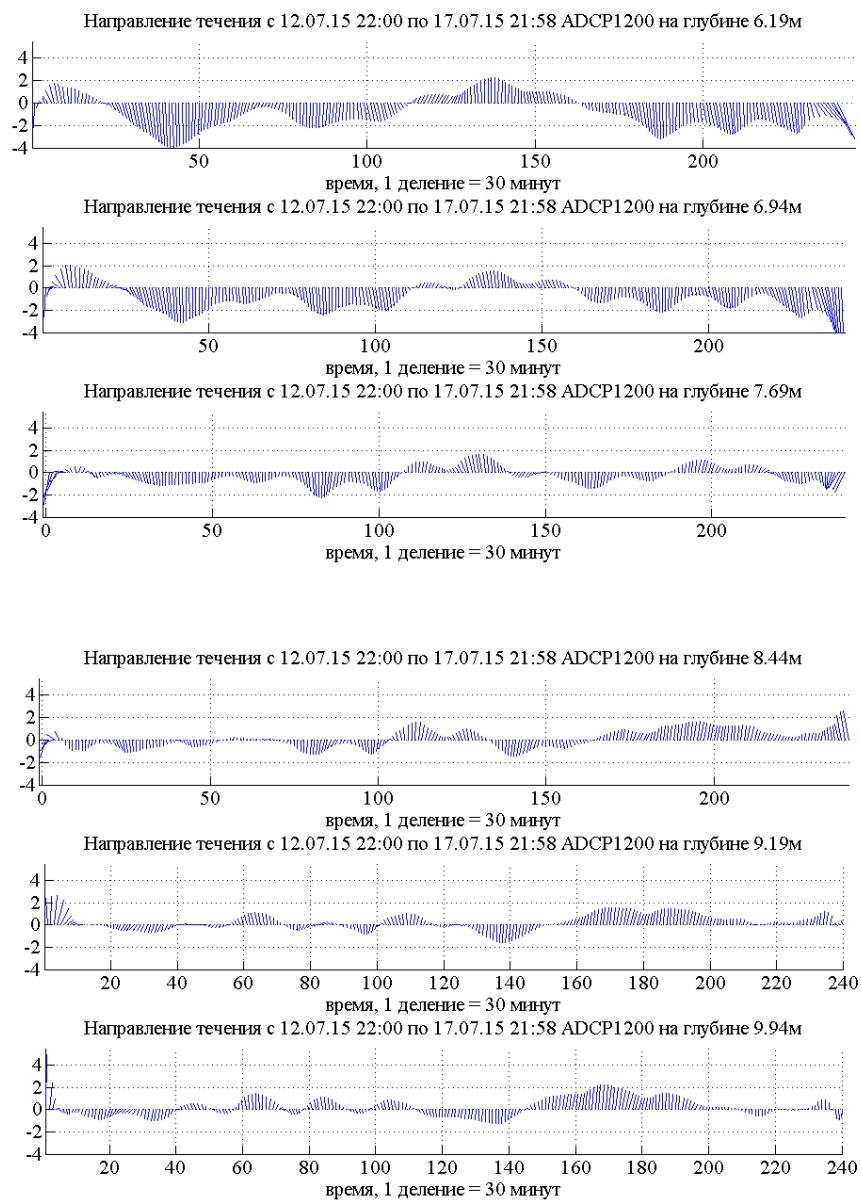


Рисунок 48, лист 2

В нашем анализе с помощью игольчатых диаграмм удастся увидеть зависимость течения от ветра только для некоторых моментов времени, а не за весь период. Возможно, полное соответствие данных для ветра и течений можно получить только в случае, когда измерения проводятся далеко от берегов. Озера Ши́ра имеет небольшую ширину и длину и на течение может влиять отражение волн, к тому же ветер очень часто меняет свое направление.

## 5 Спектральный анализ скорости по измерениям в озере Шира

Статистическая обработка данных дает представление о течении и незаменима при оценке значений средних скоростей ветра, течения и т.д.

Но для течения это означает замену всей картины течения как функции от глубины и времени на функцию только от глубины.

Дискретное преобразование Фурье, используемое во всех непараметрических методах спектрального оценивания, подразумевает периодическое продолжение анализируемого фрагмента сигнала. При этом на стыках фрагментов могут возникать скачки, приводящие к появлению боковых лепестков значительного уровня в спектральной области. Для ослабления этого эффекта сигнал перед выполнением ДПФ умножают на спадающую от центра к краям весовую функцию (окно). В результате величина скачков на стыках сегментов уменьшается, меньше становится и уровень нежелательных боковых лепестков спектра — платой за это является некоторое расширение спектральных пиков.

В работе использовались методы, основанные на быстром преобразовании Фурье, поэтому дадим краткое описание этого понятия.

### 5.1 Ряд Фурье, преобразование Фурье, дискретное преобразование Фурье, быстрое преобразование Фурье

#### Ряд Фурье

Известно, что периодическая с периодом  $X$  ограниченная кусочно-гладкая функция  $f(x)$  может быть представлена своим рядом Фурье:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} F_n e^{2\pi i n x / X},$$

где

$$F_n = \frac{1}{X} \int_{-X/2}^{+X/2} f(x) e^{2\pi i n x / X}$$

## Преобразование Фурье

Для непериодических функций ряд Фурье заменяется интегралом Фурье:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\chi) e^{i\chi x} dx,$$

где

$$F(\chi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{i\chi x} dx$$

## Дискретное преобразование Фурье (ДПФ)

Для последовательности  $\{f_n, n = 0, 1, 2, \dots, N - 1\}$ , состоящей из  $N$  действительных или комплексных чисел определяется дискретное преобразование Фурье (ДПФ)  $\{D_n, n = 0, 1, 2, \dots, N - 1\}$ :

$$D_n = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} f_m W^{mn}, n = 0, 1, 2, \dots, N - 1,$$

где  $W = e^{-2\pi i/N}$  — дискретные экспоненциальные функции.

Так как дискретные экспоненциальные функции  $W^{mn}$  являются ортогональными, т.е. удовлетворяют условию

$$\sum_{m=0}^{N-1} W^{m_1 n} W^{m_2 n} = \begin{cases} N, & m_1 \equiv m_2 \pmod{N}, \\ 0, & m_1 \not\equiv m_2 \pmod{N} \end{cases}$$

то справедливо обратное дискретное преобразование Фурье (ОДПФ):

$$f_n = \sum_{m=0}^{N-1} D_m W^{-mn}, n = 0, 1, 2, \dots, N - 1.$$

## Быстрое преобразование Фурье

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) является таким способом вычисления дискретного преобразования Фурье для некоторых значений  $N$ ,

который дает резкое сокращение числа операций, необходимых для вычисления ДПФ.

По формуле, определяющей ДПФ, легко написать соответствующую программу, и многократное повторение одинаковых операций на первый взгляд незаметно. Такие операции возникают по следующей причине. В определение ДПФ входят величины  $W^{mn}$ . Дискретная экспоненциальная функция  $W^{mn}$  периодическая с периодом  $N$ , поэтому среди чисел  $W^{mn}$  может быть, вообще говоря,  $N$  различных чисел. Однако, если  $N$  раскладывается на множители, таких различных чисел будет меньше. Группируя операции с одним и тем же значением  $W^{mn}$ , можно сократить общее количество вычислений. Если  $N$  — простое число, никакого выигрыша по сравнению с прямым вычислением ДПФ достичь нельзя.

Наиболее просто запрограммировать степени числа БПФ при  $N$ , равном степени числа 2. Поэтому при использовании БПФ обычно считается, что  $N = 2^k$ . При других значениях  $N$  также может быть достигнут выигрыш, тем больше, чем больше количество множителей в разложении числа  $N$  на простые множители. Однако при определении реального выигрыша необходимо учитывать сложность вычисления элементарного  $p_i$  — точечного ДПФ, где  $p_i$  — все различные простые множители, входящие в разложение  $N$  на простые множители:

$$N = \prod_i p_i^{n_i}$$

## 5.2 Спектральный анализ данных

Использовался вариант обработки спектра с помощью метода Уэлча (функция `rwelch`) и окно Хемминга (функция `hamming`) [5]. Метод Уэлча является наиболее популярным периодограммным методом спектрального анализа. Вычисления при использовании метода Уэлча (он называется еще методом усреднения модифицированных периодограмм — `averaged modified`

periodogram method) организуются следующим образом: вектор отсчетов сигнала делится на перекрывающиеся сегменты, каждый сегмент умножается на используемую весовую функцию, для взвешенных сегментов вычисляются модифицированные периодограммы, периодограммы всех сегментов усредняются [2].

Именно такой способ обработки данных показал хорошее применение и был использован по рекомендации сотрудников Атлантическое отделение ФГБУН Института Океанологии РАН им. П.П. Ширшова.

На следующих рисунках 49-50 представлены графики спектрального анализа по данным приборов ADCP 600 и ADCP 1200 за 2014 и 2015 года. Измерения по прибору ADCP 600 в 2014 году были взяты на горизонтах 2,9 м, а для 2015 года – 4,9 метра.

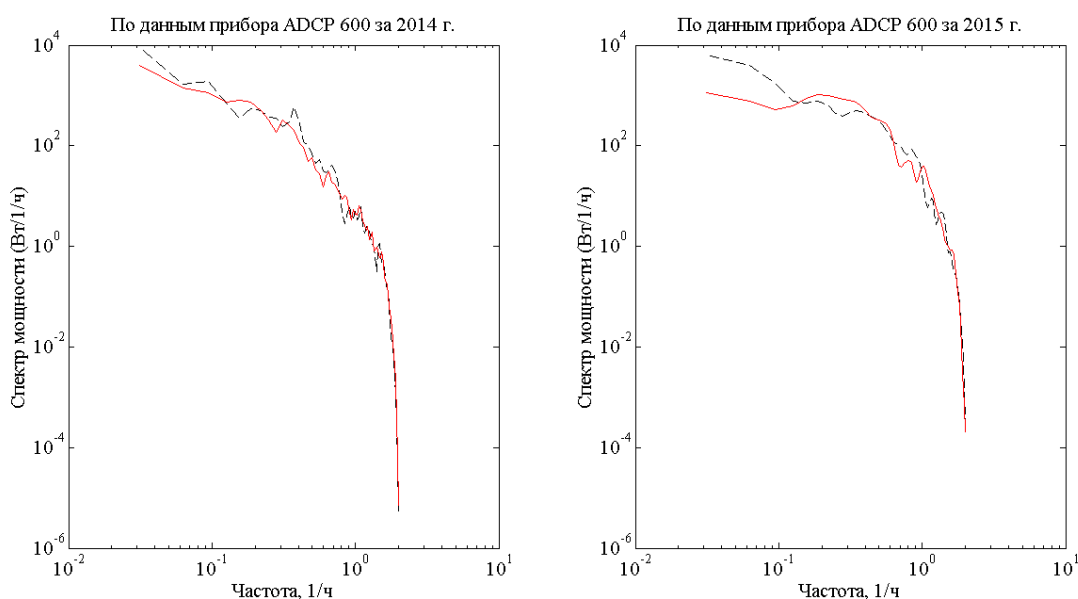


Рисунок 49 – Оценка спектральной плотности мощности по измерениям прибора ADCP 600.

Пунктирная линия – восточная скорость, сплошная – северная.

Измерения по прибору ADCP 1200 в 2014 году были взяты на горизонтах 2,95 м, а для 2015 года – 3,19 метра.



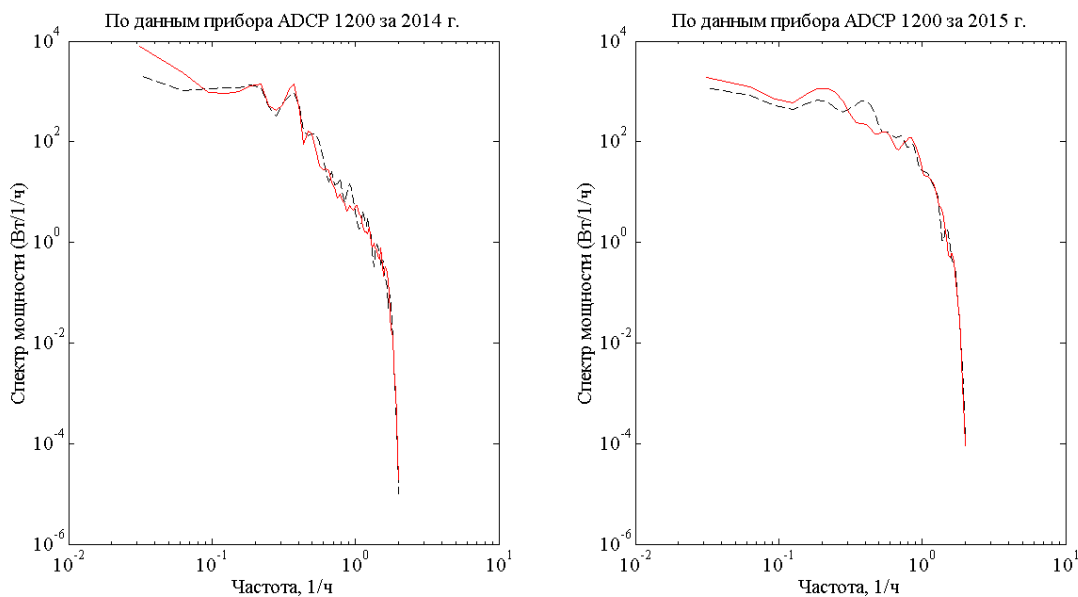


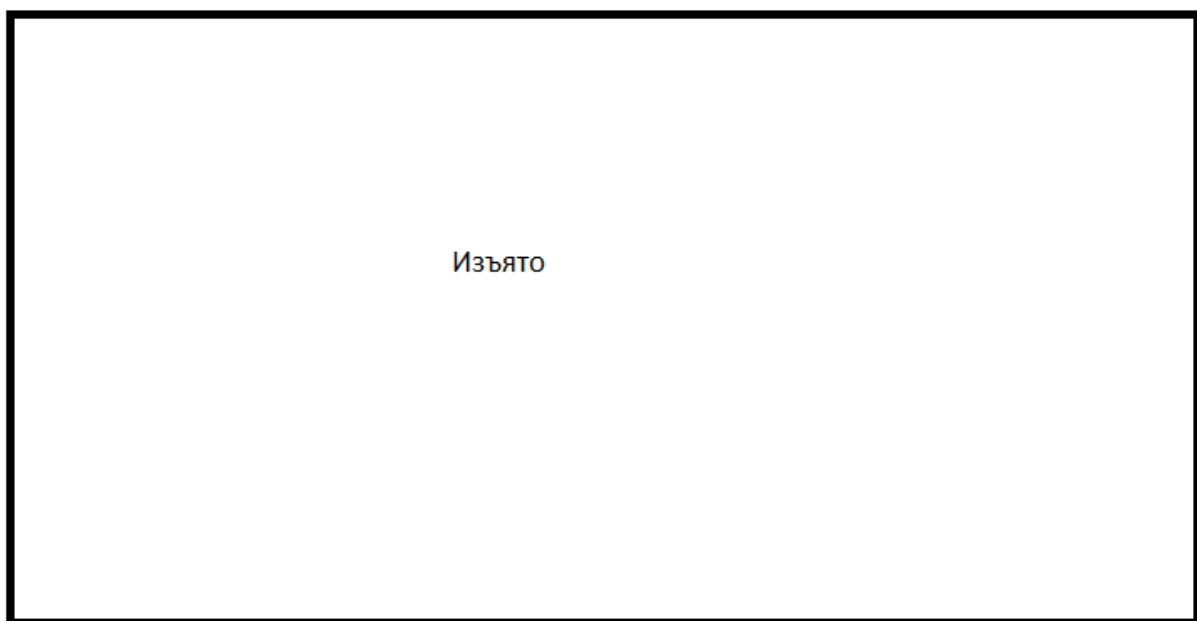
Рисунок 50 – Оценка спектральной плотности мощности по измерениям прибора ADCP1200.

Пунктирная линия – восточная скорость, сплошная – северная.

По всем измерениям наименьшая частота приходится на значение  $10^{-1}$  1/ч. Тогда период этой волны приблизительно 10 часов. Это согласуется с периодом инерционной волны, которая для озера, находящегося на широте озера Шира, имеет период приблизительно 11,6 часа.

## **6 Гидрофизический режим озера в период полного перемешивания (зима 2014-2015 гг)**

Зимой 2014-2015 произошло перемешивание озера Шира, что не происходило в течении 100 лет.



## **7 Программные средства**

В магистерской диссертации разработана программа для статистического анализе в среде MATLAB.

Код программы статистического анализа в приложении А.

Код программы сравнения зависимости скорости течения от ветра в приложении Б.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе получены следующие результаты:

1. В первом приближении для расчетов можно брать начальные данные ветра из измерений в поселке Шира с учетом поправки на направление ветра.
2. Соответствие между величинами скорости ветра и средних значений скорости горизонтального течения следующее: при средней величине скорости ветра порядка 2 м/с средние скорости течения 2-4 см/с.
3. После полного перемешивания биологический состав озера претерпел существенные изменения, а гидрофизические характеристики остались неизменными.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Гилл, А. Динамика атмосферы и океана: в 2-х томах. / А. Гилл; Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – Т. 2. – 415 с.

2 Компаниец, Л. А. Теоретические и экспериментальные исследования скоростного режима озере Шира в летний период: Препринт №12-3 / Л. А. Компаниец, Т. В. Якубайлик, Л. В. Гаврилова. – Красноярск: ИВМ, 2012. – 47 с.

3 Пузаченко, Ю. Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: Учеб. пособие для студ. вузов / Ю. Г. Пузаченко. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 416 с.

4 Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов / А. Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

5 Schmid, Hanspeter. How to use the FFT and Matlab's pwelch function for signal and noise simulations and measurements [Электронный ресурс] / Н. Schmid. - FHNW/IME, 2012. – Режим доступа: <http://www.fhnw.ch/technik/ime/publikationen/2012/how-to-use-the-fft-and-matlab2019s-pwelch-function-for-signal-and-noise-simulations-and-measurements>.

6 Matsuura, H. Wind effects on sub-tidal-currents in Puget Sound / H. Matsuura, G. Cannon // Journal of Oceanography/ - 1997. – P.53-66.

## Приложение А

### Текст программы статистического анализа

#### Модуль загрузки и обработки данных

```
clear all
close('all')

year=input('Введите год (2015 или 2014, или 2013): ');
% year=2013;
if year==2015
    adcp=input('Введите прибор (600 или 1200): ');
    load village_wind_2015.txt;
    v_w=village_wind_2015(:,3:4); % измерения каждые 3 часа
    load lake_wind_2015.txt;
    l_w=lake_wind_2015(:,3:4); % измерения каждые 15 минут
    m1=90; % чтобы изменения были 1 раз в 3 часа
    flipud(v_w); % переставляет строки массива симметрично относительно
горизонтальной оси
    if adcp==600
        m=15; %т.к. измерения каждые 2 мин
        n=5;
        t=26; % количество глубин
        t1=t; t2=t; t3=t;
        o=15.4; % макс. глубина
        for j=1:t
            N(j)=o;
            o=o-0.5; % 0.5- шаг(bin)
        end
        load east_600_2015.txt;
        u=east_600_2015(:,8:33);

        load nord_600_2015.txt;
        v=nord_600_2015(:,8:33);

        load vertical_600_2015.txt;
        w=vertical_600_2015(:,8:33);
    elseif adcp==1200
        m=15; %т.к. измерения каждые 2 мин
        n=5;
        t=13; % количество глубин
        t1=t; t2=t; t3=t;
        o=10.69; % макс. глубина
        for j=1:t
            N(j)=o;
            o=o-0.75; % 0.75- шаг(bin)
        end
        load east_1200_2015.txt;
        u=east_1200_2015(:,8:20);

        load nord_1200_2015.txt;
        v=nord_1200_2015(:,8:20);

        load vertical_1200_2015.txt;
        w=vertical_1200_2015(:,8:20);
    else disp('Внимание! Данных для такого прибора нет');
end
```

```

elseif year==2014
    load village_wind_2014.txt;
    v_w=village_wind_2014(:,3:4); % измерения каждые 3 часа
    load lake_wind_2014.txt;
    l_w=lake_wind_2014(:,3:4); % измерения каждые 15 минут
    m1=180; % чтобы измерения были 1 раз в 3 часа
    flipud(v_w); % переставляет строки массива симметрично относительно
горизонтальной оси

    adcp=input('Введите прибор (600 или 1200): ');
    if adcp==600
        m=30; %т.к. измерения каждую 1 мин
        n=5;
        t=12; % количество глубин
        t1=t; t2=t; t3=t;
        o=12.9; % макс. глубина
        for j=1:t
            N(j)=o;
            o=o-1; % 1- шаг(bin)
        end
        load east_600_2014.txt;
        u=east_600_2014(:,9:20);

        load nord_600_2014.txt;
        v=nord_600_2014(:,9:20);

        load vertical_600_2014.txt;
        w=vertical_600_2014(:,9:20);
    elseif adcp==1200
        m=30; %т.к. измерения каждые 1 мин
        n=5;
        t=11; % количество глубин
        t1=t; t2=t; t3=t;
        o=9.7; % макс. глубина
        for j=1:t
            N(j)=o;
            o=o-0.75; % 0.75- шаг(bin)
        end
        load east_1200_2014.txt;
        u=east_1200_2014(:,9:19);

        load nord_1200_2014.txt;
        v=nord_1200_2014(:,9:19);

        load vertical_1200_2014.txt;
        w=vertical_1200_2014(:,9:19);
    else disp('Внимание! Данных для такого прибора нет');
    end
elseif year==2013
    adcp=input('Введите прибор (600 или 1200): ');
    if adcp==600
        m=150; %т.к. измеения каждые 12 сек
        n=2;
        t=11; % количесвто глубин
        t1=t; t2=t; t3=t;
        o=14; % макс. глубина
        for j=1:t
            N(j)=o;
            o=o-1; % 1- шаг(bin)
        end
        load east_600_2013.txt;
        u=east_600_2013(:,9:19);
    end
end

```

```

load nord_600_2013.txt;
v=nord_600_2013(:,9:19);

load vertical_600_2013.txt;
w=vertical_600_2013(:,9:19);
elseif adcp==1200
m=150; %т.к. измеения каждые 12 сек
n=2;
t=15; % количесвто глубин
t1=t; t2=t; t3=t;
o=14.71; % макс. глубина
for j=1:t
    N(j)=o;
    o=o-0.75; % 1- шаг(bin)
end
load east_1200_2013.txt;
u=east_1200_2013(:,9:23);

load nord_1200_2013.txt;
v=nord_1200_2013(:,9:23);

load vertical_1200_2013.txt;
w=vertical_1200_2013(:,9:23);
else disp('Внимание! Данных для такого прибора нет');
end
else disp('Внимание! Данных для такого года нет');
end
%-----разрядка-----
if (year==2013&&(adcp==600||adcp==1200)) ||
(year==2014&&(adcp==600||adcp==1200)) || (year==2015&&(adcp==600||adcp==1200))
for i=1:t
    a=u(:,i);
    a=decimate(a,m)/10;
    a=smooth(a,n);
    U_N(:,i)=a;

    a=v(:,i);
    a=decimate(a,m)/10;
    a=smooth(a,n);
    V_N(:,i)=a;

    a=w(:,i);
    a=decimate(a,m)/10;
    a=smooth(a,n);
    W_N(:,i)=a;
end
if year==2015&&adcp==600
for i=1:3
    c=u(:,t-i*2+2);
    c=decimate(c,m1)/100;
    c=smooth(c,n/2);
    U_NG(:,i)=c;

    c=v(:,t-i*2+2);
    c=decimate(c,m1)/100;
    c=smooth(c,n/2);
    V_NG(:,i)=c;

    disp(['На глубине: ', num2str(N(t-i*2+2))])
end
elseif year==2015||year==2014
for i=1:3

```

```

        c=u(:,t-i+1);
        c=decimate(c,m1)/100;
        c=smooth(c,n);
        U_NG(:,i)=c;

        c=v(:,t-i+1);
        c=decimate(c,m1)/100;
        c=smooth(c,n);
        V_NG(:,i)=c;

        disp(['На глубине: ', num2str(N(t-i+1))])
    end
end
%     d1=l_w(:,1);
%     d2=l_w(:,2);
%     l_w2(:,1)=decimate(d1,12);
%     l_w2(:,2)=decimate(d2,12);

```

### Модуль использования статистического анализа

```

length(W_N(:,1))
r=1;
if (year==2015 && adcp==600)|| (year==2013 && adcp==1200)
    b=ceil(t/(3*2));
    %---<скорость вертикальная>---
    length(W_N)
    for i=1:b
        h3=figure (i);
        set(h3,'Color','w')
        for k=1:3
            if (t1-k)>0
                subplot(3,1,k);
                plot(W_N(:,t1-k*2+2)),
                %
                axis([0 1219 -1.5 1.5]) %2015
                axis([0 177 -4 4]) %2013
                grid,
                title(['Вертикальная скорость на глубине ',num2str(N(t1-
k*2+2),'%10.1f'),' м']);
                xlabel('время, 30 м');
                ylabel('скорость, см/с');
            end
        end
        t1=t1-3*2;
    end
    %---</скорость вертикальная>---
    %---<модуль скорости>---
    for i=(b+1):(2*b)
        h4=figure (i);
        set(h4,'Color','w')
        for k=1:3
            if (t2-k)>0
                subplot(3,1,k);
                g(:,r)=(U_N(:,t2-k*2+2).^2+V_N(:,t2-k*2+2).^2).^0.5;
                plot(g(:,r)),
                if year==2015
                    axis([0 1219 0 20]) %2015
                elseif year==2013
                    axis([0 177 0 30]) %2013
                end
                grid,
                title(['Модуль скорости на глубине ',num2str(N(t2-
k*2+2),'%10.1f'),' м']);
                xlabel('время, 30 м');
            end
        end
    end
end

```



```

        ylabel('скорость, см/с');
        r=r+1;
    end
end
t2=t2-3*2;
end
%---</модуль скорости>---
%---<круговые гистограммы скоростей на всех горизонтах>---
for i=(2*b+1):(2*b+ceil(t/12))
    h5=figure (i);
    set(h5, 'Color', 'w')
    for j=1:6
        if (t3-j)>0
            subplot(2,3,j);
            [Th,R]=cart2pol(U_N(:,t3-j*2+2),V_N(:,t3-j*2+2));
            rose(Th,R)
            title(['Глубина ', num2str(N(t3-j*2+2), '%10.1f'), ' м']);
        end
    end
    t3=t3-6*2;
end
%---</круговые гистограммы скоростей на всех горизонтах>--
else
%---<скорость вертикальная>---
a=ceil(t/3);
for i=1:a
    h1=figure (i);
    set(h1, 'Color', 'w')
    for k=1:3
        if (t1-k+1)>0
            subplot(3,1,k);
            plot(W_N(:,t1-k+1)),
            if year==2013
                axis([0 160 -1.5 1.5]) %2013
            elseif year==2014
                axis([0 1261 -1.5 1.5]) %2014
            else
                axis([0 1219 -1.5 1.5]) %2015
            end
            grid,
            title(['Вертикальная скорость на глубине ', num2str(N(t1-
k+1), '%10.1f'), ' м']);
            xlabel('время, 30 м');
            ylabel('скорость, см/с');
        end
    end
    t1=t1-3;
end
%---<модуль скорости>---
for i=(a+1):(2*a)
    h2=figure (i);
    set(h2, 'Color', 'w')
    for k=1:3
        if (t2-k+1)>0
            subplot(3,1,k);
            g(:,r)=(U_N(:,t2-k+1).^2+V_N(:,t2-k+1).^2).^0.5;
            plot(g(:,r)),
            if year==2013
                axis([0 160 0 20]) %2013
            elseif year==2014
                axis([0 1261 0 20]) %2014
            else
                axis([0 1219 0 20]) %2015
            end
        end
    end
end

```

```

        grid,
        title(['Модуль скорости на глубине ', num2str(N(t2-
k+1), '%10.1f'), ' м']);
        xlabel('время, 30 м');
        ylabel('скорость, см/с');
        r=r+1;
    end
end
t2=t2-3;
end
%---</модуль скорости>---
%---<круговые гистограммы скоростей на всех горизонтах>---
for i=(2*a+1):(2*a+ceil(t/6))
    h5=figure (i);
    set(h5, 'Color', 'w')
    for j=1:6
        if (t3-j+1)>0
            subplot(2,3,j);
            [Th,R]=cart2pol(U_N(:,t3-j+1),V_N(:,t3-j+1));
            rose(Th,R)
            title(['Глубина ', num2str(N(t3-j+1), '%10.1f'), ' м']);
        end
    end
end
t3=t3-6;
end
%---</круговые гистограммы скоростей на всех горизонтах>---
end
max_vertical_speed=max(max(W_N))
max_modul_speed=max(max(g))

%---Среднее значение модуля скорости на горизонтах---
for i=1:t
    u_q=u(:,i)/10;
    v_q=v(:,i)/10;
    l=u_q.^2+v_q.^2;
    g_s(:,i)=l.^0.5;
end
g=mean(g_s);

for i=1:t
    disp(['Среднее значение модуля скорости на глубине ', num2str(N(i)), ' м = ',
num2str(g(i), '%10.2f')])
end
disp('Графические окна закроются при нажатии любой клавиши')
pause
close('all')
end
disp(' ')
disp('Конец выполнения программы')
clear all

```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Текст программы сравнения зависимости течения от ветра

#### Графики сравнения силы ветра и течения в приповерхностном слое

```
if year==2014||year==2015
    %---график для данных на озере---
    if year==2015&&adcp==600
        x=204;
        y=-1.5;
        z=1.5;
    elseif year==2015&&adcp==1200
        x=204;
        y=-1;
        z=1;
    elseif year==2014
        x=210;
        y=-1;
        z=1;
    end
    h5=figure (1);
    set(h5, 'Color', 'w')
    subplot(4,1,1)
        plot(l_w2(:,1)),
        axis([0 x 0 7.5])
        grid,
        title('Ветер на озере');
        xlabel('время, 3 ч. ');
        ylabel({'Скорость'; 'ветра, м/с'});
    subplot(4,1,2)
        plot(l_w2(:,2)),
        axis([0 x 0 375])
        grid,
        xlabel('время, 3 ч. ');
        ylabel({'Направление'; 'ветра, градусы'});
    subplot(4,1,3)
        plot(U_NG(:,3), 'b-'),
        axis([0 x y z])
        grid,
        xlabel('время, 3 ч. ');
        ylabel({'скорость вост.'; 'м/с'});
        hold on
        plot(U_NG(:,2), 'r--'),
        hold on
        plot(U_NG(:,1), 'k-.'),
    subplot(4,1,4)
        plot(V_NG(:,3), 'b-'),
        axis([0 x y z])
        grid,
        xlabel('время, 3 ч. ');
        ylabel({'скорость сев.'; 'м/с'});
        hold on
        plot(V_NG(:,2), 'r--'),
        hold on
        plot(V_NG(:,1), 'k-.'),
    dlina_u=length(U_NG)
```

```

dlina_v=length(V_NG)
dlina_w=length(l_w2)

% график данных в поселке
h6=figure (2);
set(h6, 'Color', 'w')
subplot(4,1,1)
plot(v_w(:,1)),
axis([0 x 0 6]) %2015 600
grid,
title('Гилл по ветру в поселке');
xlabel('время, 3 ч. ');
ylabel({'Скорость'; 'ветра, м/с'});
subplot(4,1,2)
plot(v_w(:,2)),
axis([0 x 0 375]) %2015 600
grid,
% title('');
xlabel('время, 3 ч. ');
ylabel({'Направление'; 'ветра, градусы'});
subplot(4,1,3)
plot(U_NG(:,3), 'b-'),
axis([0 x y z]) %2015
grid,
xlabel('время, 3 ч. ');
ylabel({'скорость вост.'; 'м/с'});
hold on
plot(U_NG(:,2), 'r--'),
hold on
plot(U_NG(:,1), 'k-.'),
subplot(4,1,4)
plot(V_NG(:,3), 'b-'),
axis([0 x y z]) %2015
grid,
xlabel('время, 3 ч. ');
ylabel({'скорость сев.'; 'м/с'});
hold on
plot(V_NG(:,2), 'r--'),
hold on
plot(V_NG(:,1), 'k-.'),
end
%-----

```

## Игольчатые (векторные) диаграммы

```

h2=figure (2);
set(h2, 'Color', 'w')
subplot(3,1,1)
uf1=east_600_2014(1:7033,20);
vf1=nord_600_2014(1:7033,20);
m=30; %2014
uf_1=decimate(uf1,m)/10;
vf_1=decimate(vf1,m)/10;
k=30; %k=3,5,7,9
uf_1=smooth(uf_1,k);
vf_1=smooth(vf_1,k);
z1=uf_1+vf_1*1i;
q=length(z1);
p=[1:q;zeros(1,q)]';
grid on

```

```

        arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)], 'b',0.2)
        daspect([10 3 1])
        ylim([-4,4]);
        grid,
        title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на
        глубине 1.9м');
        xlabel('время, 1 деление = 30 минут');
subplot(3,1,2)
    uf1=east_600_2014(1:7033,19);
    vf1=nord_600_2014(1:7033,19);
    m=30; %2014
        uf_1=decimate(uf1,m)/10;
        vf_1=decimate(vf1,m)/10;
    k=30; %k=3,5,7,9
        uf_1=smooth(uf_1,k);
        vf_1=smooth(vf_1,k);
    z1=uf_1+vf_1*1i;
    q=length(z1);
    p=[1:q;zeros(1,q)'];
        arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)], 'b',0.2)
        daspect([10 3 1])
        ylim([-4,4]);
        grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
2.9м');
    xlabel('время, 1 деление = 30 минут');
subplot(3,1,3)
    uf1=east_600_2014(1:7033,18);
    vf1=nord_600_2014(1:7033,18);
    m=30; %2014
        uf_1=decimate(uf1,m)/10;
        vf_1=decimate(vf1,m)/10;
    k=30; %k=3,5,7,9
        uf_1=smooth(uf_1,k);
        vf_1=smooth(vf_1,k);
    z1=uf_1+vf_1*1i;
    q=length(z1);
    p=[1:q;zeros(1,q)'];
        arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)], 'b',0.2)
        daspect([10 3 1])
        ylim([-4,4]);
        grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
3.9м');
    xlabel('время, 1 деление = 30 минут');

h2=figure(3);
set(h2, 'Color', 'w')
subplot(3,1,1)
    uf1=east_600_2014(1:7033,17);
    vf1=nord_600_2014(1:7033,17);
    m=30; %2014
        uf_1=decimate(uf1,m)/10;
        vf_1=decimate(vf1,m)/10;
    k=30; %k=3,5,7,9
        uf_1=smooth(uf_1,k);
        vf_1=smooth(vf_1,k);
    z1=uf_1+vf_1*1i;
    q=length(z1);
    p=[1:q;zeros(1,q)'];
    grid on
        arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)], 'b',0.2)
        daspect([10 3 1])
        ylim([-4,4]);

```

```

        grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
4.9м');
        xlabel('время, 1 деление = 30 минут');
subplot(3,1,2)
        uf1=east_600_2014(1:7033,16);
        vf1=nord_600_2014(1:7033,16);
        m=30; %2014
        uf_1=decimate(uf1,m)/10;
        vf_1=decimate(vf1,m)/10;
        k=30; %k=3,5,7,9
        uf_1=smooth(uf_1,k);
        vf_1=smooth(vf_1,k);
        z1=uf_1+vf_1*1i;
        q=length(z1);
        p=[1:q;zeros(1,q)]';
        arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)],'b',0.2)
        daspect([10 3 1])
        ylim([-4,4]);
        grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
5.9м');
        xlabel('время, 1 деление = 30 минут');
subplot(3,1,3)
        uf1=east_600_2014(1:7033,15);
        vf1=nord_600_2014(1:7033,15);
        m=30; %2014
        uf_1=decimate(uf1,m)/10;
        vf_1=decimate(vf1,m)/10;
        k=30; %k=3,5,7,9
        uf_1=smooth(uf_1,k);
        vf_1=smooth(vf_1,k);
        z1=uf_1+vf_1*1i;
        q=length(z1);
        p=[1:q;zeros(1,q)]';
        arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)],'b',0.2)
        daspect([10 3 1])
        ylim([-4,4]);
        grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
6.9м');
        xlabel('время, 1 деление = 30 минут');

h2=figure(4);
set(h2,'Color','w')
subplot(3,1,1)
        uf1=east_600_2014(1:7033,14);
        vf1=nord_600_2014(1:7033,14);
        m=30; %2014
        uf_1=decimate(uf1,m)/10;
        vf_1=decimate(vf1,m)/10;
        k=30; %k=3,5,7,9
        uf_1=smooth(uf_1,k);
        vf_1=smooth(vf_1,k);
        z1=uf_1+vf_1*1i;
        q=length(z1);
        p=[1:q;zeros(1,q)]';
        grid on
        arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)],'b',0.2)
        daspect([10 3 1])
        ylim([-4,4]);
        grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
7.9м');

```

```

        xlabel('время, 1 деление = 30 минут');
subplot(3,1,2)
uf1=east_600_2014(1:7033,13);
vf1=nord_600_2014(1:7033,13);
m=30; %2014
    uf_1=decimate(uf1,m)/10;
    vf_1=decimate(vf1,m)/10;
k=30; %k=3,5,7,9
    uf_1=smooth(uf_1,k);
    vf_1=smooth(vf_1,k);
z1=uf_1+vf_1*1i;
q=length(z1);
p=[1:q;zeros(1,q)]';
    arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)],'b',0.2)
    daspect([10 3 1])
    ylim([-4,4]);
    grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
8.9м');
        xlabel('время, 1 деление = 30 минут');
subplot(3,1,3)
uf1=east_600_2014(1:7033,12);
vf1=nord_600_2014(1:7033,12);
m=30; %2014
    uf_1=decimate(uf1,m)/10;
    vf_1=decimate(vf1,m)/10;
k=30; %k=3,5,7,9
    uf_1=smooth(uf_1,k);
    vf_1=smooth(vf_1,k);
z1=uf_1+vf_1*1i;
q=length(z1);
p=[1:q;zeros(1,q)]';
    arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)],'b',0.2)
    daspect([10 3 1])
    ylim([-4,4]);
%    ylim([-3,3]);
    grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
9.9м');
        xlabel('время, 1 деление = 30 минут');

h2=figure(5);
set(h2,'Color','w')
subplot(3,1,1)
uf1=east_600_2014(1:7033,11);
vf1=nord_600_2014(1:7033,11);
m=30; %2014
    uf_1=decimate(uf1,m)/10;
    vf_1=decimate(vf1,m)/10;
k=30; %k=3,5,7,9
    uf_1=smooth(uf_1,k);
    vf_1=smooth(vf_1,k);
z1=uf_1+vf_1*1i;
q=length(z1);
p=[1:q;zeros(1,q)]';
grid on
    arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)],'b',0.2)
    daspect([10 3 1])
    ylim([-4,4]);
    grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
10.9м');
        xlabel('время, 1 деление = 30 минут');
subplot(3,1,2)

```

```

uf1=east_600_2014(1:7033,10);
vf1=nord_600_2014(1:7033,10);
m=30; %2014
    uf_1=decimate(uf1,m)/10;
    vf_1=decimate(vf1,m)/10;
k=30; %k=3,5,7,9
    uf_1=smooth(uf_1,k);
    vf_1=smooth(vf_1,k);
z1=uf_1+vf_1*i;
q=length(z1);
p=[1:q;zeros(1,q)]';
    arrow3(p,p+[real(z1),imag(z1)],'b',0.2)
    daspect([10 3 1])
    ylim([-4,4]);
    grid,
title('Направление течения с 4.07.14 1:00 по 9.07.14 1:00 ADCP 600 на глубине
11.9м');
    xlabel('время, 1 деление = 30 минут');

```