



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Оценка климатических изменений
по данным метеостанции Санкт-Петербург»

Исполнитель Максимов Анатолий Вячеславович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор физико-математических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)
Кузнецов Анатолий Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

« » мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1 Высота нижней границы облачности

1.1. Высота нижней границы облаков (ВНГО) и ее определение

1.1.1. Триангуляционный метод

1.1.2. Светолокационные средства измерения ВНГО

1.2. Основные факторы, влияющие на изменчивость ВНГО

ГЛАВА 2 Аппаратурные средства, используемые для измерений ВНГО

2.1. Размещение датчиков ВНГО

2.2. Определение формы облаков и сопутствующих атмосферных явлений при сравнительных измерениях ВНГО

2.3. Обработка результатов сравнительных измерений и их анализ

ГЛАВА 3 Анализ временных рядов ВНГО

3.1. Первичная обработка данных измерений ВНГО

3.1.1. Табличная форма представления данных измерений ВНГО

3.1.2. Графическая форма представления данных измерений ВНГО

3.1.3. Исключение пропусков – построение вариационных рядов ВНГО

3.1.4. Эмпирические функции распределения значений ВНГО

3.2. Сравнительный анализ данных, полученных в разные сезоны

3.2.1. Сравнительный анализ данных, полученных в весенний сезон

3.2.2. Сравнительный анализ данных, полученных в летний сезон

3.2.3. Сравнительный анализ данных, полученных в осенний сезон

3.2.4. Сравнительный анализ данных, полученных в зимний сезон

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уделяется большое внимание исследованию происходящих климатических изменений как в глобальном масштабе, так и оценка этого явления в различных климатических зонах и регионах [1]. Важность анализа таких изменений направлен прежде всего на составления прогноза таких климатических изменений как в ближайшем будущем, так и в отдаленной перспективе. Такой прогноз позволит разработать стратегию принятия мер для влияния на те изменения климата, которые носят негативный характер.

Для количественной оценки происходящих климатических изменений используется анализ временной изменчивости различных метеорологических параметров, которые в этом случае рассматриваются как индикаторы климатической изменчивости. Чаще всего в качестве таких индикаторов используются временные ряды среднегодовых значений приземной температуры воздуха и среднегодовой суммы осадков, соответствующие тому или иному пункту измерений или осредненные по рассматриваемому региону.

В качестве примера такого рода данных на рис. В1 и В.2 приведены графики временных рядов среднегодовой температуры приземных значений температуры воздуха и среднегодовой суммы осадков для Хатанги (код метеостанции 20891) с 1934 по 2005 гг.

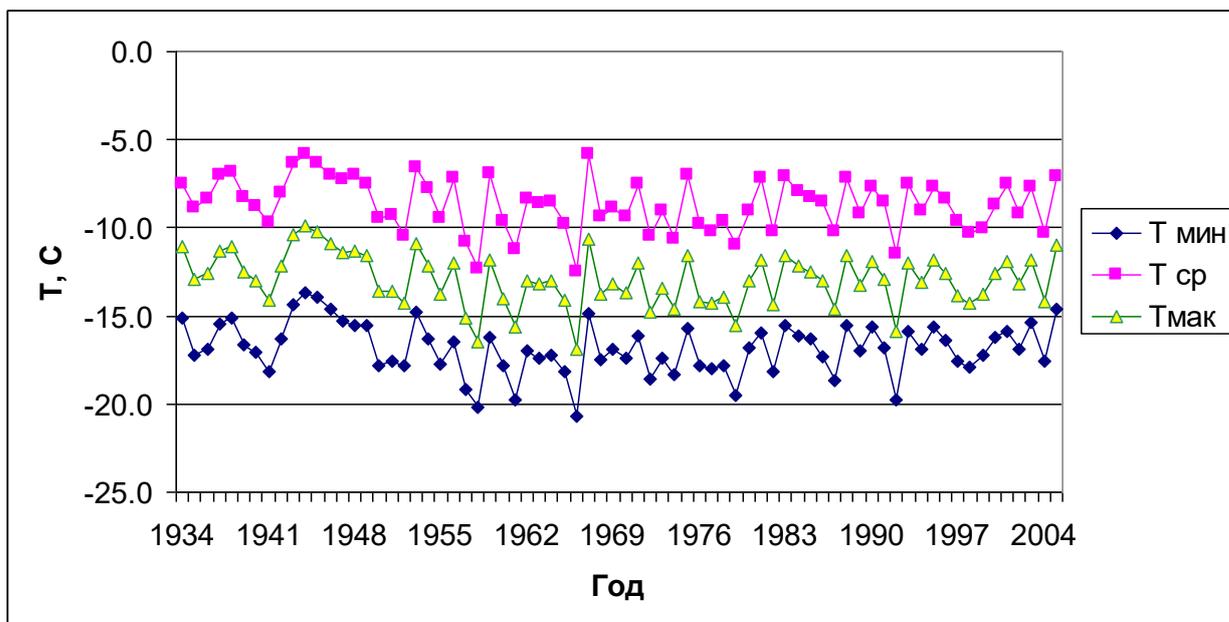


Рис. В1. Временные ряды минимально, средней и максимальной приземной температуры воздуха по данным метеостанции Хатанга

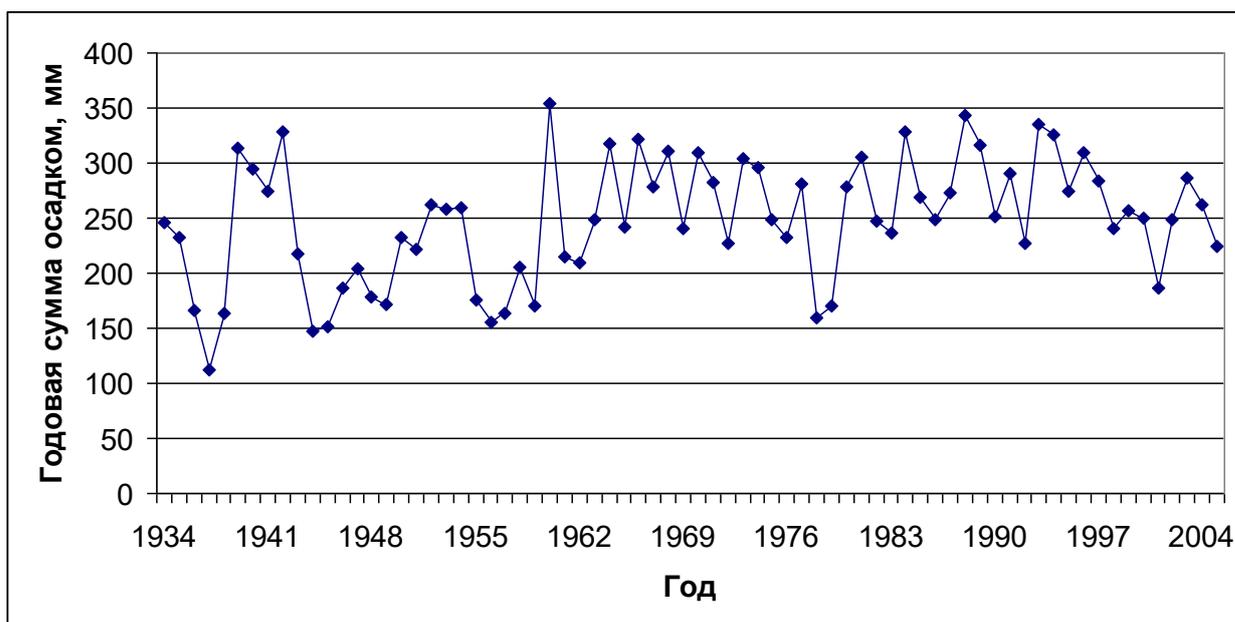


Рис. В2. Временные ряды годовых сумм осадков по данным метеостанции Хатанга

Чтобы оценить, насколько может различаться временная изменчивость используемых климатических индикаторов приведем на рис. В.3 временной ряд приземной температуры воздуха, но для метеостанции Чокурдак (код станции 21946) за 1945 – 2005 гг.

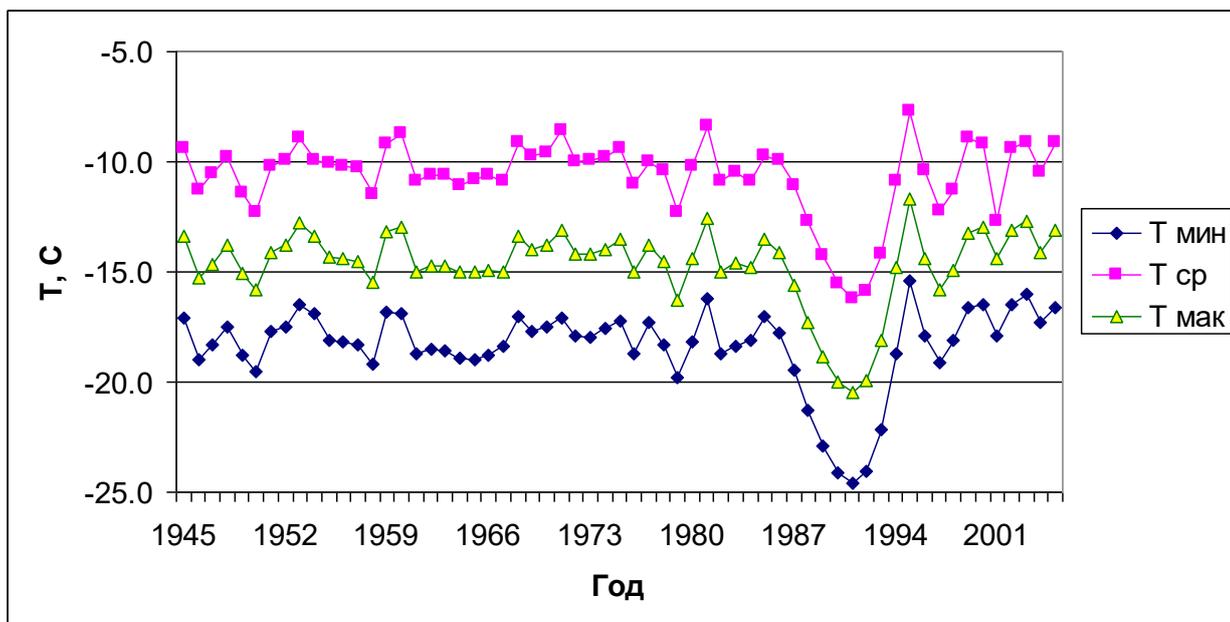


Рис. В3. Временные ряды минимально, средней и максимальной приземной температуры воздуха по данным метеостанции Чокурдах

Такие временные ряды широко используются при проведении климатических исследований с использованием различных методов. Например, можно указать работы [2, 3], где временной ряд исследуется для определения момента смены характера протекания климатических процессов на основе определения положения точки бифуркации внутри имеющегося временного периода.

Однако, и прежде всего с методологической точки зрения, представляется важным расширение перечня используемых метеорологических величин, которые можно было бы использовать как индикаторы климатической изменчивости. По этой причине в данной работе исследуется возможности использования временных рядов высоты нижней границы облачности (ВНГО) как индикатора климатической изменчивости в местах, где имеется инструментальная возможность регулярного измерения этого параметра. Это крупные наземные метеорологические станции (например, Санкт-Петербург) и аэропорты в крупных городах, имеющие современные аэродромные измерительные метеорологические комплексы,

где в соответствии со стандартами и рекомендациями ИКАО при метеорологическом обеспечении международной аэронавигации на аэродромах (ВПП) должны проводиться наблюдения за количеством, формой и высотой нижней границы облаков и предоставляться информация об этих параметрах. (например, Пулково или Внуково) [4, 5].

Другой причиной рассмотрения параметров ВНГО является важность оценки климатической изменчивости этого параметра в том или ином месте – это его влияние на функционирование аэропортов и на обеспечение безопасности авиационных перевозок. Действительно, высота нижней границы облаков (ВНГО) – важнейшая характеристика, определяющая степень сложности фактической погоды при метеорологическом обеспечении безопасности аэронавигации. Информация о высоте нижней границы облаков (ВНГО) имеет важное значение для обеспечения безопасности взлета и посадки воздушных судов, так как эта информация является предварительным условием оценки высоты принятия решения на посадку, и входит в минимум аэродрома (ВПП, направления), воздушного судна и его командира. Облачность (количество, форма и высота нижней границы) так же, как видимость и дальность видимости на ВПП, оказывает значительное влияние на работу авиации. Слишком низкая нижняя граница облаков ухудшает условия посадки воздушных судов, а кучево-дождевые и мощные кучевые облака не только ограничивают посадку и взлет воздушных судов, но и создают опасные условия для полетов.

Детальное исследование возможности использования временных рядов ВНГО с точки зрения их использования в качестве климатического индикатора до настоящего времени практически не проводилось. По этой причине уже на первых шагах практического решения задачи формирования временных рядов значений ВНГО мы столкнулись со значительными трудностями и, прежде всего, в процессе формирования соответствующих архивов. По этой причине было принято решение разделить решение

поставленной задачи на следующие этапы:

1. Рассмотрение общих вопросов, связанных с такой метеорологической величиной как ВНГО.
2. Технические средства, используемые для измерения ВНГО.
3. Разработка методов первичной обработки временных рядов значений ВНГО для формирования архива данных и их апробации.
4. Формирование архива данных об временной изменчивости ВНГО.
5. Использование сформированного архива для проведения климатических исследований.

С учетом сложности и многогранности перечисленных этапов, в данной работе нами были рассмотрены лишь этапы 1 – 3.

ГЛАВА 1 Высота нижней границы облачности

1.1 Высота нижней границы облаков (ВНГО) и ее определение

Нижняя граница облаков, в соответствии с публикациями ВМО [4], определяется как самая нижняя зона, в которой прозрачность переходит от значений, соответствующих ясному небу или дымке, к значениям, соответствующим совокупности водяных капель и кристаллов льда. В воздухе непосредственно под облачностью для частиц, вызывающих помутнение, характерна некоторая спектральная избирательность, в то время как в самом облаке избирательности фактически не наблюдается; различие обуславливается наличием капель разного размера. Высота нижней границы облаков определяется как высота этой границы над уровнем земной

поверхности. Для авиационных метеорологических станций уровень земной поверхности определяется как официальная высота аэродрома.

Сложный характер структуры нижней границы низких облаков не позволяет однозначно определить (измерить) высоту ее нижней границы различными методами и средствами.

Трудность измерения (оценки) действительного значения высоты нижней границы облаков усугубляется отсутствием определения того, что именно принимается за высоту нижней границы облаков.

Основной целью измерения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости) с земной поверхности при метеорологическом обеспечении аэронавигации является выдача информации о высоте, на которой пилот воздушного судна при посадке установит зрительный (визуальный) контакт с ВПП или потеряет его при взлете.

ВНГО определяется в настоящее время двумя методами:

- Путем измерения углового превышения (триангуляционный метод);
- Посредством отсчета времени прохождения луча света от источника света (передатчика) к световому пятну в основании облака и обратно.

1.1.1 Триангуляционный метод Измерение углового превышения заключается в определении высоты светового пятна, образовавшегося на основании облака в результате освещения его узким направленным лучом. Световое пятно может образоваться от прожектора, направленного вертикально вверх и от прожектора с перемещающимся в вертикальной плоскости (сканирующим) лучом. Основным недостатком потолочного прожектора, луч которого направлен вертикально вверх, является то, что измерение высоты нижней границы облаков возможно только в темное время суток.

Потолочный прожектор с вращающимся лучом крайне чувствителен к наличию осадков и в случае умеренных и сильных осадков может ошибочно

выдать ложную информацию о высоте нижней границы облаков или не определить ее вообще. В условиях тумана луч света может рассеиваться на нижнем уровне и прибор не выдаст информацию о наличии нижней границы облаков при фактическом наличии облачности.

1.1.2 Светолокационные средства измерения ВНГО. Измерение высоты нижней границы облаков, основанное на принципе отсчета времени прохождения луча света (сигнала) к световому пятну на основании облака и обратно, производится светолокационными и лазерными средствами измерения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости).

Расстояние от источника световых импульсов до светового пятна на основании облака, образованного этим источником, определяется по соотношению

$$h = \frac{c \cdot t}{2},$$

где h – расстояние от светового пятна, яркость которого равна чувствительности приемника, принимаемое за нижнюю границу облаков (вертикальную видимость); c – скорость света, равная $2,9929 \cdot 10^8$ м/с; t – время прохождения луча от передатчика (прожектора) до светового пятна и обратно к приемнику.

Светолокационные средства измерения ВНГО конструктивно состоят из передатчика, приемника и пульта управления (рис. 1.1).

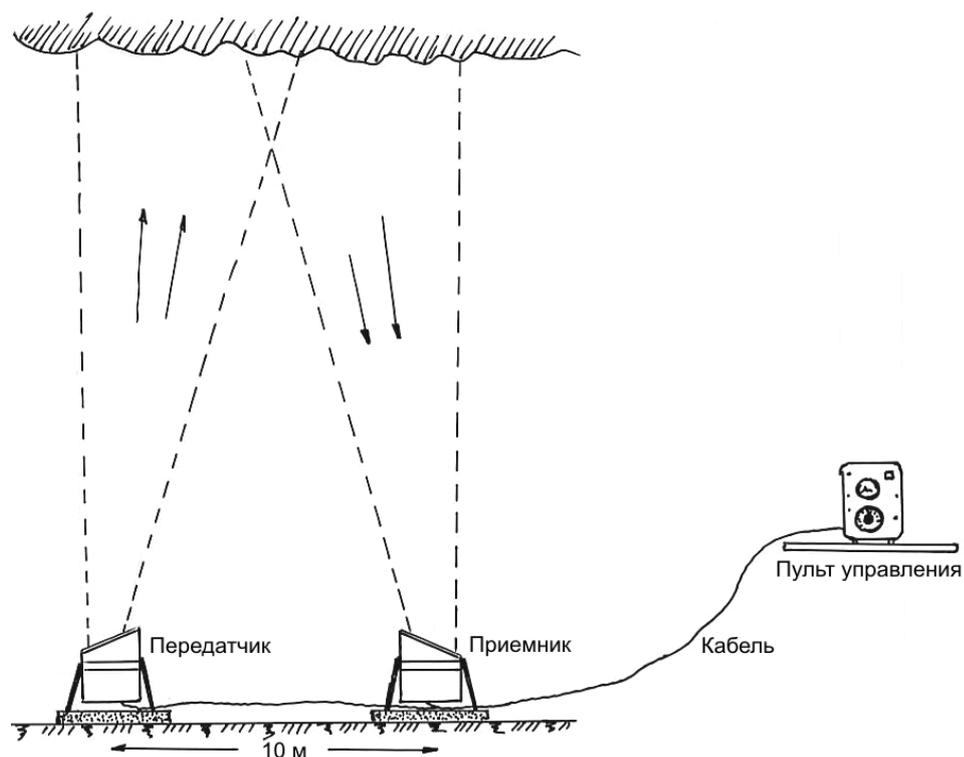


Рис. 1.1. Светолокационный измеритель ВНГО

Для обеспечения возможности измерения высоты нижней границы облаков в светлое время суток в средствах измерения, работающих на светолокационном принципе, необходим мощный источник света, излучаемого от передатчика к основанию, и чувствительный приемник света (светового пятна).

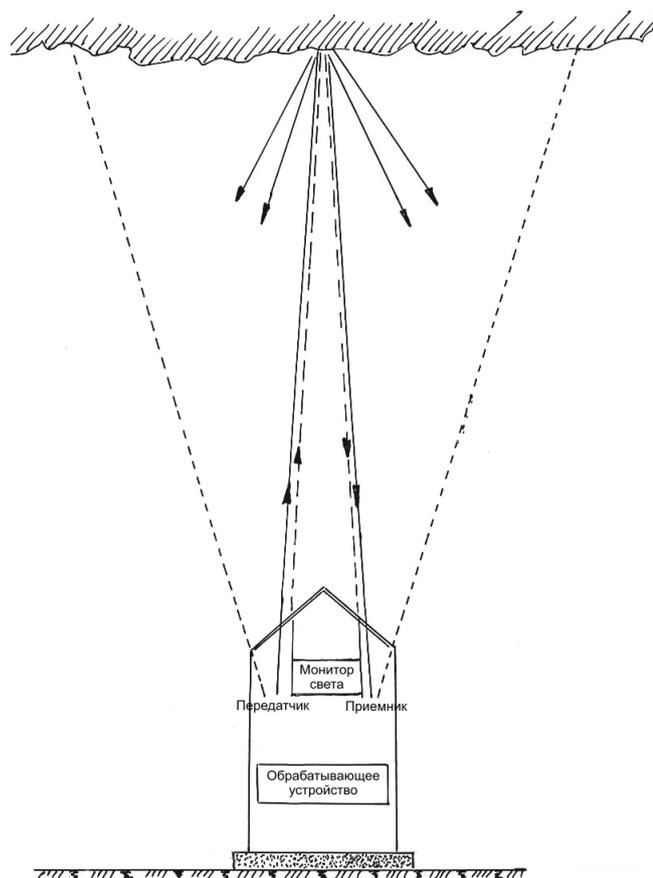


Рис. 1.2. Лазерный измеритель ВНГО (ВВ).

Лазерные измерители ВНГО (ВВ) (рис. 1.2) состоят из передатчика-приемника (в сборе) и обрабатывающего (регистрирующего) устройства.

Передатчик и приемник, а также обрабатывающее устройство, как правило, монтируются в одном блоке, устанавливаемом в месте, над которым должно производиться измерение высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости).

В современных лазерных измерителях ВНГО (ВВ) в качестве источника световых импульсов используются полупроводниковые лазеры. Лазерные облакомеры разработаны на основе современных передовых достижений науки и техники, поэтому они обеспечивают более достоверное измерение высоты нижней границы облаков.

1.2 Основные факторы, влияющие на изменчивость ВНГО

Высота нижней границы облаков постоянно изменяется. В большинстве случаев эти изменения складываются из систематических, периодических и случайных (флуктуационных).

Систематические изменения высоты нижней границы облаков происходят вследствие перестройки гигрометрического состояния нижнего слоя атмосферы при общем развитии синоптических процессов или суточного хода. Так, при приближении теплого фронта нижняя граница облаков постепенно снижается.

Периодические изменения связаны с упорядоченными колебаниями нижней границы облаков, происходящими под воздействием волновых движений в нижнем слое атмосферы. Период продолжительности волн может быть от нескольких минут до 2-3 часов.

Случайные (флуктуационные) изменения вызываются турбулентными движениями и некоторыми другими причинами.

Данные изменения высоты, при взаимном наложении, обуславливают сложный характер поведения высоты нижней границы облаков, оказывающийся весьма существенным как во времени, так и в пространстве.

Временная изменчивость. По мере увеличения временного интервала предел колебаний высоты облаков расширяется и повторяемость изменения высоты в значительном диапазоне возрастает. Повторяемость соответствующего диапазона изменчивости высоты нижней границы облаков в разные интервалы времени в тёплое и холодное полугодия разная. В тёплое полугодие вследствие большого проявления турбулентности изменчивость значительнее, чем в холодное. Однако даже в холодное полугодие колебания могут быть весьма существенными. При увеличении

высоты изменчивость высоты нижней границы увеличивается.

Зависимость изменчивости от синоптических условий. Синоптические процессы обуславливают фон колебаний высоты нижней границы облаков. Можно выделить пять характерных групп изменчивости.

К первой группе относятся слоистые и слоисто-кучевые облака без осадков в условиях мало меняющегося синоптического положения с небольшими градиентами атмосферного давления.

Вторая группа: слоистые и слоисто-кучевые облака, из которых могут выпадать слабые осадки. Изменения средней высоты нижней границы облаков происходят под влиянием суточного хода метеорологических величин, влияющих на формирование облачности.

Третья группа: слоистые и слоисто дождевые облака с умеренными осадками при прохождении атмосферных фронтов. В четвертую группу входят слоистые, разорванно-слоистые, слоисто-дождевые и разорванно-дождевые облака с умеренными осадками при прохождении атмосферных фронтов. К группе пять относятся разорванно-дождевые и разорванно-кучевые облака при слабых или умеренных осадках (в случае разорванно-дождевых облаков) в условиях быстрого изменения высоты (размывания) облаков за холодным фронтом. К этой же группе относятся случаи выпадения интенсивных осадков при резких снижениях видимости, особенно при выпадении ливневого снега.

Пространственная изменчивость высоты облаков существенно зависит от синоптической обстановки, особенно при смене внутримассовых облаков фронтальными.

Перечисленные особенности пространственной и временной изменчивости делает анализ временных рядов, содержащих информацию о ВНГО, не тривиальной задачей и требует специальной предварительной обработки таких временных рядов

ГЛАВА 2. Аппаратурные средства, используемые для измерений ВНГО

В данной работе при создании архива данных о ВНГО использовались измерения, полученные с использованием следующих датчиков:

- ДВО-2- российский датчик производства ЛЗОС (Лыткаринский завод оптического стекла) с импульсной лампой ИСШ-100-3М в качестве излучателя и полупроводниковым фотоусилителем ФУП-2 в качестве фотоприемника (см. рис. 2.1).



Рис. 2.1 Излучатель и фотоприемник ДВО-2

- CL31 - лазерный облакомер производства фирмы VAISALA с лазерным излучателем (см. рис. 2.2).



Рис. 2.2 лазерный облакомер производства фирмы VAISALA

2.1 Размещение датчиков ВНГО

Для размещения датчиков ВНГО была оборудована специальная площадка размером 6х16 метров. Площадка представляет собой деревянный настил из досок (см. рис. 2.3).

Все датчики установлены в соответствии с инструкциями по эксплуатации. Информация от датчиков по выделенным линиям связи поступает на стендовую станцию КРАМС-4. Такое расположение датчиков

дает возможность измерения ВНГО в данном конкретном месте, а регистрация и запись информации от датчиков на КРАМС-4 обеспечивает синхронность измерений, т.к. датчики работают круглосуточно в автоматическом режиме.



Рис. 2.3 Размещение датчиков ВНГО на измерительной площадке.

2.2 Обеспечение определения формы облаков и вида атмосферных явлений соответствующего времени сравнительных измерений ВНГО

Для получения информации о форме облаков и видах атмосферных явлений использовались данные с метеостанции Санкт-Петербург, которая

располагается в непосредственной близости от площадки для измерения ВНГО. Данные с метеостанции и данные от датчиков ВНГО синхронизировались по срокам наблюдения метеостанции. Наблюдения проводились непрерывно в течение года.

2.3 Обработка результатов сравнительных измерений и их анализ

Полученные данные от каждого датчика сохраняются в отдельных файлах. Наличие таких данных позволяет провести анализ достоверности полученной информации от испытуемых датчиков и при обнаружении существенных отклонений в показаниях датчиков, имеется возможность определить условия, при которых эти отклонения наблюдаются (туман, осадки и прочее).

Обработка результатов измерений ВНГО начинается с разбиения текущих данных от датчиков на минутные интервалы. Затем из значений ВНГО внутри этих минутных интервалов выбирается второе минимальное значение, которое принимают за нижнюю границу облаков в данную минуту измерения по каждому датчику. В дальнейшем для последующей обработки выбираются данные от всех приборов за текущую минуту. При отсутствии данных хотя бы по одному прибору результаты измерения не учитываются.

Обработанные данные значений нижней границы облаков сгруппированы в таблицы по диапазонам высот и по времени года (осень, зима, весна и лето).

3. Анализ временных рядов ВНГО

3.1 Первичная обработка данных измерений ВНГО

3.1.1. Табличная форма представления данных измерений ВНГО

В данном параграфе представлены обработанные данные значений нижней границы облаков, которые сгруппированы в таблицы по диапазонам высот и по времени года (осень, зима, весна и лето). В этих же таблицах представлена информация о форме облаков и атмосферных явлениях. Таблицы сгруппированы по трем каналам (диапазонам) измерения: «61-200», «201-600» и «600-1000».

К сожалению, инструментальные измерения ВНГО не сопровождалось фото или видео фиксацией облаков в момент измерения. Такая информация существенно помогла бы при интерпретации данных измерений. Однако данные инструментальных измерений ВНГО, собранные в таблицы, были дополнены информацией о наблюдавшихся явлениях в синоптических кодах по классификации ВМО (см. табл.3.1) и информацией о форме облаков.

Таблица 3.1

Синоптические коды по классификации ВМО

00	Ясно.
04	Мгла или дымка.
05	Мгла или дымка, или пылевая взвесь в воздухе, видимость ≥ 1 км.
10	Мгла или дымка, или пылевая взвесь в воздухе, видимость < 1 км.
<i>Коды с 20 по 25 используются, если осадки или туман наблюдались в течение предшествующего часа, но отсутствуют в данный момент.</i>	
20	Туман.
21	Осадки.
22	Морось (незамерзающая) или снежные зерна.
23	Дождь (незамерзающий).
24	Снег.
25	Замерзающий дождь или замерзающая морось.
<i>Следующие коды используются, если осадки или туман наблюдаются в срок наблюдения.</i>	
30	ТУМАН.
31	Туман или ледяной туман, местами.
32	Туман или ледяной туман, ослабел в течение последнего часа.
33	Туман или ледяной туман, без изменений интенсивности в течение последнего часа.
34	Туман или ледяной туман, усилился в течение последнего часа.
40	ОСАДКИ.
41	Осадки слабые или умеренные.
42	Осадки слабые.

50	МОРОСЬ.
51	Морось незамерзающая, слабая.
52	Морось незамерзающая, умеренная.
53	Морось незамерзающая, сильная.
54	Морось замерзающая, слабая.
55	Морось замерзающая, умеренная.
56	Морось замерзающая, сильная.
60	ДОЖДЬ
61	Дождь, слабый.
62	Дождь, умеренный.
63	Дождь, сильный.
64	Дождь замерзающий, слабый.
65	Дождь замерзающий, умеренный.
66	Дождь замерзающий, сильный.
67	Дождь или морось со снегом, слабые.
68	Дождь или морось со снегом, умеренные или сильные.
70	СНЕГ.
71	Снег, слабый.
72	Снег, умеренный.
73	Снег, сильный.
74	Ледяные иглы, слабые.
75	Ледяные иглы, умеренные.
76	Ледяные иглы, сильные.
77	Снежные зерна (из ВМО 4677).
78	Ледяные кристаллы (из ВМО 4677).
80	ЛИВНЕВЫЕ ИЛИ СМЕШАННЫЕ ОСАДКИ.
81	Ливневый дождь, слабый.
82	Ливневый дождь, умеренный.
83	Ливневый дождь, сильный.

В колонках приведенных ниже таблиц находятся соответственно следующие данные:

А) дата проведения измерений

В) время по Гринвичу

С;D;E;) значение ВНГО, второе минимальное за 1мин (м), которые соответствуют измерениям ВНГО приборами ДВО-2 (2 шт.) и CL31.

F) значение ВНГО среднеарифметическое

G;H;I) среднеквадратическое отклонение

J;K;L) относительная погрешность М;N) атмосферные явления (код ВМО) О) форма облаков; расшифровка кодов представлена в табл. 3.1.

В таблице 3.2 в качестве примера представлены данные о ВНГО за 03 марта 2011 по первому каналу: «61-200».

Таблица 3.2

Сводная таблица данных измерения ВНГО 03.03.2011, канал «61-200»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Дата	Гринвич	2 м 1м			H_{cp}	σ_{H1}			$\Delta H, (\%)$			03	01	
2		ч:м	Dvo2	Dvo4	CL31		Dvo2	Dvo4	CL31	Dvo2	Dvo4	CL31	Явления	форма облаков	
3	03.03.2011	11:58	200	140	240	193.33	4.7	37.7	33.0	2.4	19.5	17.1	41,2	71,1	4000, Cb, Frnb
4	03.03.2011	11:59	145	145	240	176.67	22.4	22.4	44.8	12.7	12.7	25.3	41,2	71,1	4000, Cb, Frnb
5	03.03.2011	12:00	105	120	290	171.67	47.1	36.5	83.7	27.5	21.3	48.7	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
6	03.03.2011	12:01	80	90	330	166.67	61.3	54.2	115.5	36.8	32.5	69.3	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
7	03.03.2011	12:02	75	75	230	126.67	36.5	36.5	73.1	28.8	28.8	57.7	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
8	03.03.2011	12:03	80	80	160	106.67	18.9	18.9	37.7	17.7	17.7	35.4	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
9	03.03.2011	12:04	80	80	200	120.00	28.3	28.3	56.6	23.6	23.6	47.1	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
10	03.03.2011	12:05	75	70	180	108.33	23.6	27.1	50.7	21.8	25.0	46.8	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
11	03.03.2011	12:06	75	70	300	148.33	51.9	55.4	107.2	35.0	37.3	72.3	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
12	03.03.2011	12:07	90	70	320	160.00	49.5	63.6	113.1	30.9	39.8	70.7	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
13	03.03.2011	12:08	85	70	310	155.00	49.5	60.1	109.6	31.9	38.8	70.7	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
14	03.03.2011	12:09	85	70	260	138.33	37.7	48.3	86.0	27.3	34.9	62.2	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
15	03.03.2011	12:10	100	110	160	123.33	16.5	9.4	25.9	13.4	7.6	21.0	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
16	03.03.2011	12:11	100	75	270	148.33	34.2	51.9	86.0	23.0	35.0	58.0	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
17	03.03.2011	12:12	85	70	250	135.00	35.4	46.0	81.3	26.2	34.0	60.2	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
18	03.03.2011	12:13	85	70	280	145.00	42.4	53.0	95.5	29.3	36.6	65.8	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
19	03.03.2011	12:14	75	65	260	133.33	41.2	48.3	89.6	30.9	36.2	67.2	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
20	03.03.2011	12:15	90	70	220	126.67	25.9	40.1	66.0	20.5	31.6	52.1	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
21	03.03.2011	12:16	90	70	230	130.00	28.3	42.4	70.7	21.8	32.6	54.4	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
22	03.03.2011	12:17	95	75	180	116.67	15.3	29.5	44.8	13.1	25.3	38.4	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
23	03.03.2011	12:18	105	110	210	141.67	25.9	22.4	48.3	18.3	15.8	34.1	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
24	03.03.2011	12:19	115	75	340	176.67	43.6	71.9	115.5	24.7	40.7	65.4	41,1	71,2	10000, Sc, Frnb
25	03.03.2011	12:20	110	80	230	140.00	21.2	42.4	63.6	15.2	30.3	45.5	41,1	71,0	10000, Sc, Frnb
26	03.03.2011	12:21	95	70	210	125.00	21.2	38.9	60.1	17.0	31.1	48.1	41,1	71,0	10000, Sc, Frnb
27	03.03.2011	12:22	90	70	300	153.33	44.8	58.9	103.7	29.2	38.4	67.6	41,1	71,0	10000, Sc, Frnb
28	03.03.2011	12:23	100	70	280	150.00	35.4	56.6	91.9	23.6	37.7	61.3	41,1	71,0	10000, Sc, Frnb
29	03.03.2011	12:24	90	70	230	130.00	28.3	42.4	70.7	21.8	32.6	54.4	41,1	71,0	10000, Sc, Frnb
30	03.03.2011	12:25	125	70	190	128.33	2.4	41.2	43.6	1.8	32.1	34.0	41,1	71,0	10000, Sc, Frnb

В таблице 3.3 представлены основные статистические характеристики временных рядов из табл. 3.2. Анализ приведенных здесь данных показывает, что средние значения ВНГО по каналу «61-200» для приборов ДВО-2 и ДВО-4 практически не различаются (113 и 103 м), тогда как для прибора фирмы ВАЙСАЛА это значение составляет 218 м. Такие же заметные различия присутствуют и по величине СКО (стандартное отклонение): около 40 м и 64 м.

Таблица 3.3
Сводная таблица статистических характеристик временных рядов ВНГО, представленных в табл. 3.2

	ДВО-2	ДВО-4	CL31
Среднее	113	Среднее	103
Стандартная ошибка	6	Стандартная ошибка	6
Медиана	100	Медиана	80
Мода	90	Мода	70
Стандартное отклонение	36	Стандартное отклонение	40
Дисперсия выборки	1262	Дисперсия выборки	1608
Эксцесс	0	Эксцесс	0
Асимметричность	1	Асимметричность	1
Интервал	125	Интервал	150
Минимум	75	Минимум	65
Максимум	200	Максимум	215
			340.0

Сумма	4530	Сумма	4115	Сумма	8730.0
Счет	40	Счет	40	Счет	40.0

В табл. 3.4 и 3.5 в качестве примера представлены данные о ВНГО за 03 марта 2011 по каналам: «201-600» и «600-1000». Сравнение данных в этих каналах для двух приборов позволяет сделать табл. 3.6 и 3.7.

Таблица 3.4

Сводная таблица данных измерения ВНГО 03.03.2011, канал «201-600»

1	А	В	С	Д	Е	Г	Н	И	К	Л	М	О		
2	Дата	Гринвич	2 м 1м			$\sigma_{\text{ин}}$			$\Delta H, (\%)$			03	01	
3	ч:м	Dvo2	Dvo4	CL31	Dvo2	Dvo4	CL31	Dvo2	Dvo4	CL31	Явления	форма облаков		
3	03.03.2011	05:53	505	495	510	503.33	1.2	5.9	4.7	0.2	1.2	0.9	11,0	20000, Sc
4	03.03.2011	05:56	530	515	510	518.33	8.2	2.4	5.9	1.6	0.5	1.1	11,0	20000, Sc
5	03.03.2011	05:57	490	475	490	485.00	3.5	7.1	3.5	0.7	1.5	0.7	11,0	20000, Sc
6	03.03.2011	05:58	490	475	470	478.33	8.2	2.4	5.9	1.7	0.5	1.2	11,0	20000, Sc
7	03.03.2011	06:02	465	455	450	456.67	5.9	1.2	4.7	1.3	0.3	1.0	41,1	10000, Sc, Frnb
8	03.03.2011	06:03	470	450	450	456.67	9.4	4.7	4.7	2.1	1.0	1.0	41,1	10000, Sc, Frnb
9	03.03.2011	06:04	460	455	460	458.33	1.2	2.4	1.2	0.3	0.5	0.3	41,1	10000, Sc, Frnb
10	03.03.2011	06:05	455	440	440	445.00	7.1	3.5	3.5	1.6	0.8	0.8	41,1	10000, Sc, Frnb
11	03.03.2011	06:06	445	415	420	426.67	13.0	8.2	4.7	3.0	1.9	1.1	41,1	10000, Sc, Frnb
12	03.03.2011	06:07	440	405	430	425.00	10.6	14.1	3.5	2.5	3.3	0.8	41,1	10000, Sc, Frnb
13	03.03.2011	06:08	440	420	430	430.00	7.1	7.1	0.0	1.6	1.6	0.0	41,1	10000, Sc, Frnb
14	03.03.2011	06:09	430	410	420	420.00	7.1	7.1	0.0	1.7	1.7	0.0	41,1	10000, Sc, Frnb
15	03.03.2011	06:10	430	420	420	423.33	4.7	2.4	2.4	1.1	0.6	0.6	41,1	10000, Sc, Frnb
16	03.03.2011	06:11	420	415	410	415.00	3.5	0.0	3.5	0.9	0.0	0.9	41,1	10000, Sc, Frnb
17	03.03.2011	06:12	425	420	410	418.33	4.7	1.2	5.9	1.1	0.3	1.4	41,1	10000, Sc, Frnb
18	03.03.2011	06:13	430	410	420	420.00	7.1	7.1	0.0	1.7	1.7	0.0	41,1	10000, Sc, Frnb
19	03.03.2011	06:14	425	410	420	418.33	4.7	5.9	1.2	1.1	1.4	0.3	41,1	10000, Sc, Frnb
20	03.03.2011	06:15	420	410	410	413.33	4.7	2.4	2.4	1.1	0.6	0.6	41,1	10000, Sc, Frnb
21	03.03.2011	06:16	420	415	410	415.00	3.5	0.0	3.5	0.9	0.0	0.9	41,1	10000, Sc, Frnb
22	03.03.2011	06:17	410	405	400	405.00	3.5	0.0	3.5	0.9	0.0	0.9	41,1	10000, Sc, Frnb
23	03.03.2011	06:18	410	405	390	401.67	5.9	2.4	8.2	1.5	0.6	2.1	41,1	10000, Sc, Frnb
24	03.03.2011	06:19	415	410	410	411.67	2.4	1.2	1.2	0.6	0.3	0.3	41,1	10000, Sc, Frnb
25	03.03.2011	06:20	415	405	410	410.00	3.5	3.5	0.0	0.9	0.9	0.0	41,1	10000, Sc, Frnb
26	03.03.2011	06:21	410	405	400	405.00	3.5	0.0	3.5	0.9	0.0	0.9	41,1	10000, Sc, Frnb
27	03.03.2011	06:22	410	405	400	405.00	3.5	0.0	3.5	0.9	0.0	0.9	41,1	10000, Sc, Frnb
28	03.03.2011	06:23	410	400	400	403.33	4.7	2.4	2.4	1.2	0.6	0.6	41,1	10000, Sc, Frnb
29	03.03.2011	06:24	405	400	390	398.33	4.7	1.2	5.9	1.2	0.3	1.5	41,1	10000, Sc, Frnb
30	03.03.2011	06:25	405	395	390	396.67	5.9	1.2	4.7	1.5	0.3	1.2	41,1	10000, Sc, Frnb

Анализ данных табл. 3.4 показывает, что в отличие от канала «61-200» здесь как средние значения, так и СКО практически не отличаются.

Таблица 3.4

Сводная таблица статистических характеристик временных рядов ВНГО, представленных в табл. 3.3

	ДВО-2	ДВО-4	CL31
Среднее	288	Среднее	296
Стандартная ошибка	2	Стандартная ошибка	2
Медиана	275	Медиана	290
Мода	250	Мода	290
Стандартное отклонение	52	Стандартное отклонение	45
Дисперсия выборки	2735	Дисперсия выборки	2063
Экссесс	2	Экссесс	3
Асимметричность	1	Асимметричность	1
Интервал	315	Интервал	385
			276
			2
			260
			270
			51
			2641
			2
			1
			310

Минимум	215	Минимум	130	Минимум	200
Максимум	530	Максимум	515	Максимум	510
Сумма	196560	Сумма	202365	Сумма	188350
Счет	683	Счет	683	Счет	683

Таблица 3.5

Сводная таблица данных измерения ВНГО 03.03.2011, канал «600-1000»

1	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К	Л	М	Н	О
2	Дата	Гринвич	2 м 1м			H_{Φ}	$G_{\text{ит}}$			$\Delta H, (\%)$			03	01	
3		ч:м	Dvo2	Dvo4	CL31		Dvo2	Dvo4	CL31	Dvo2	Dvo4	CL31	Явления	форма облаков	
3	03.03.2011	19:30	2230	2290	2200	2240.00	7.1	35.4	28.3	0.3	1.6	1.3		20000, Ас	
4	03.03.2011	20:23	2205	2275	2170	2216.67	8.2	41.2	33.0	0.4	1.9	1.5		20000, Ас	
5	03.03.2011	20:24	2200	2270	2170	2213.33	9.4	40.1	30.6	0.4	1.8	1.4		20000, Ас	
6	03.03.2011	20:25	2200	2265	2170	2211.67	8.2	37.7	29.5	0.4	1.7	1.3		20000, Ас	
7	03.03.2011	20:26	2210	2275	2180	2221.67	8.2	37.7	29.5	0.4	1.7	1.3		20000, Ас	
8	03.03.2011	20:27	2190	2270	2170	2210.00	14.1	42.4	28.3	0.6	1.9	1.3		20000, Ас	
9	03.03.2011	20:28	2165	2230	2140	2178.33	9.4	36.5	27.1	0.4	1.7	1.2		20000, Ас	
10	03.03.2011	20:29	2105	2170	2090	2121.67	11.8	34.2	22.4	0.6	1.6	1.1		20000, Ас	
11	03.03.2011	20:30	2120	2185	2100	2135.00	10.6	35.4	24.7	0.5	1.7	1.2		20000, Ас	
12	03.03.2011	20:31	2110	2170	2130	2136.67	18.9	23.6	4.7	0.9	1.1	0.2		20000, Ас	
13	03.03.2011	20:32	2120	2180	2100	2133.33	9.4	33.0	23.6	0.4	1.5	1.1		20000, Ас	
14	03.03.2011	20:33	2170	2225	2140	2178.33	5.9	33.0	27.1	0.3	1.5	1.2		20000, Ас	
15	03.03.2011	20:34	2165	2220	2140	2175.00	7.1	31.8	24.7	0.3	1.5	1.1		20000, Ас	
16	03.03.2011	20:35	2135	2190	2120	2148.33	9.4	29.5	20.0	0.4	1.4	0.9		20000, Ас	
17	03.03.2011	20:36	2130	2195	2110	2145.00	10.6	35.4	24.7	0.5	1.6	1.2		20000, Ас	
18	03.03.2011	20:37	2140	2215	2110	2155.00	10.6	42.4	31.8	0.5	2.0	1.5		20000, Ас	
19	03.03.2011	20:38	2155	2220	2130	2168.33	9.4	36.5	27.1	0.4	1.7	1.3		20000, Ас	
20	03.03.2011	20:39	2170	2250	2150	2190.00	14.1	42.4	28.3	0.6	1.9	1.3		20000, Ас	
21	03.03.2011	20:40	2200	2265	2170	2211.67	8.2	37.7	29.5	0.4	1.7	1.3		20000, Ас	
22	03.03.2011	20:41	2175	2265	2130	2190.00	10.6	53.0	42.4	0.5	2.4	1.9		20000, Ас	
23	03.03.2011	20:45	2115	2185	2080	2126.67	8.2	41.2	33.0	0.4	1.9	1.6		20000, Ас	
24	03.03.2011	20:46	2105	2170	2100	2125.00	14.1	31.8	17.7	0.7	1.5	0.8		20000, Ас	
25	03.03.2011	20:47	2105	2175	2100	2126.67	15.3	34.2	18.9	0.7	1.6	0.9		20000, Ас	
26	03.03.2011	20:48	2090	2155	2080	2108.33	13.0	33.0	20.0	0.6	1.6	1.0		20000, Ас	
27	03.03.2011	20:49	2075	2110	2060	2081.67	4.7	20.0	15.3	0.2	1.0	0.7		20000, Ас	
28	03.03.2011	20:50	2100	2140	2090	2110.00	7.1	21.2	14.1	0.3	1.0	0.7		20000, Ас	
29	03.03.2011	20:51	2090	2130	2060	2093.33	2.4	25.9	23.6	0.1	1.2	1.1		20000, Ас	
30	03.03.2011	20:52	2095	2145	2080	2106.67	8.2	27.1	18.9	0.4	1.3	0.9		20000, Ас	
31	03.03.2011	20:53	2125	2190	2100	2138.33	9.4	36.5	27.1	0.4	1.7	1.3		20000, Ас	
32	03.03.2011	20:54	2120	2175	2100	2131.67	8.2	30.6	22.4	0.4	1.4	1.1		20000, Ас	
33	03.03.2011	20:55	2105	2165	2090	2120.00	10.6	31.8	21.2	0.5	1.5	1.0		20000, Ас	
34	03.03.2011	20:56	2115	2185	2090	2130.00	10.6	38.9	28.3	0.5	1.8	1.3		20000, Ас	

В табл. 3.6 представлены основные статистические характеристики временных рядов ВНГО из табл. 3.5. Анализ этих данных так же, как и для табл. 3.4 показывает небольшое различие в данных двух приборов.

Таблица 3.6

Сводная таблица статистических характеристик временных рядов ВНГО, представленных в табл. 3.5

	ДВО-2	ДВО-4	CL31
Среднее	2137	Среднее	2199
Стандартная ошибка	7	Стандартная ошибка	9
Медиана	2123	Медиана	2188
Мода	2105	Мода	2265
Стандартное отклонение	45	Стандартное отклонение	52
			2114
			7
			2105
			2100
			41

Дисперсия выборки	2009	Дисперсия выборки	2677	Дисперсия выборки	1671
Эксцесс	-1	Эксцесс	-1	Эксцесс	-1
Асимметричность	0	Асимметричность	0	Асимметричность	0
Интервал	170	Интервал	185	Интервал	160
Минимум	2060	Минимум	2105	Минимум	2040
Максимум	2230	Максимум	2290	Максимум	2200
Сумма	76920	Сумма	79160	Сумма	76120
Счет	36	Счет	36	Счет	36

3.1.2. Графическая форма представления данных измерений ВНГО

Наряду с табличной формой представления результатов измерений в данной работе была использована и графическая форма представления данных результатов.

В качестве примера такого графического представления на рис. 3.7 приведены временные ряды ВНГО, полученные 03.03.2011 приборами ДВО-2 и CL31 в канале «61-200». Приведенные кривые подтверждают ранее сделанный вывод, которые были получены из анализа табл. 3.3.



Рис. 3.1 Графики временных рядов для канала «61-200», полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (03.03.2011).

На двух следующих графиках (рис. 3.2 – 3.3) представлены данные для канала «201-600» при использовании 685 и только 50 измерений. Анализ

представленных данных показывает наличие практически совпадающих измерений. Что подтверждает сделаны ранее вывод в предыдущем параграфе о практической идентичности данных измерений от двух разных приборов в этом канале.

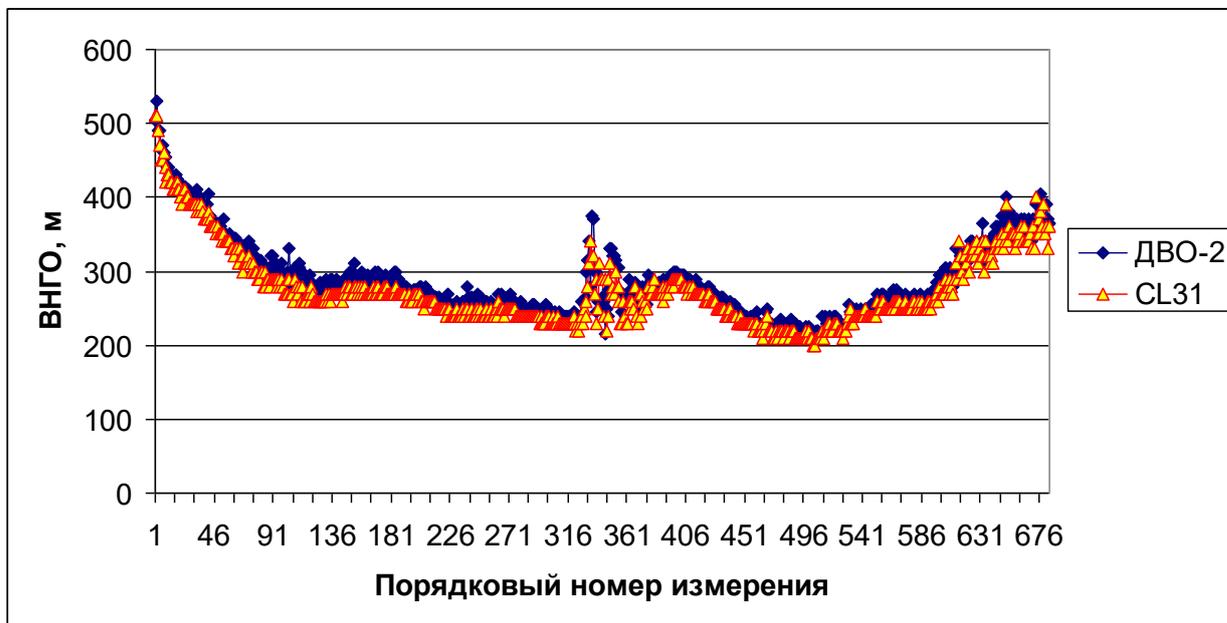


Рис. 3.2 Графики временных рядов для канала «201-600» длительностью 685 измерений, полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (03.03.2011).

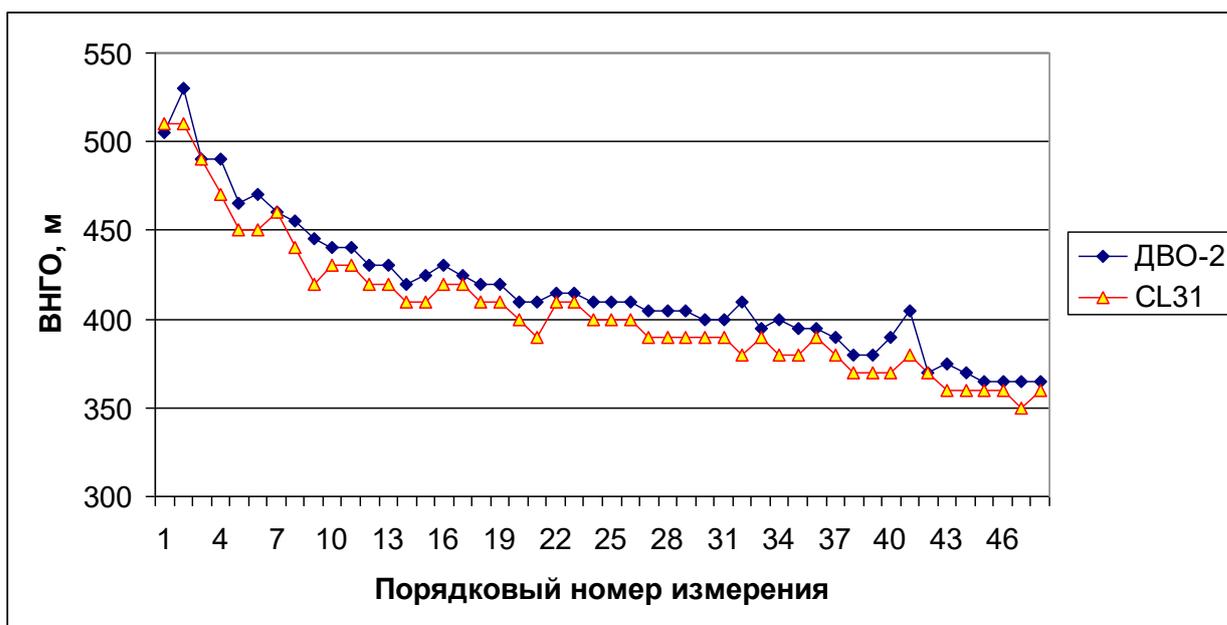


Рис. 3.3 Графики временных рядов для канала «201-600» длительностью первые 50 измерений из рис. 3.2, полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (03.03.2011).

Как уже отмечалось ранее, при проведении измерений не осуществлялась фото фиксация облаков, для данных рис. 3.2 можно предположить, что облачность напоминала ту, которая представлена на рис. 3.4.



Рис. 3.4 Предполагаемый вид облачности, соответствующий данным о ВНГО на рис. 3.2

Следующие два графика иллюстрируют типичные особенности временной изменчивости ВНГО, что существенно затрудняет их исследование.

Данные рис. 3.5 показывает две особенности временной изменчивости ВНГО – резкое уменьшение ВНГО в районе 72- - 770 измерений и изменение яруса облачности 1130 измерения. Показателен и «выброс» в районе 1130 измерения (03.03.2011, итоговый график).

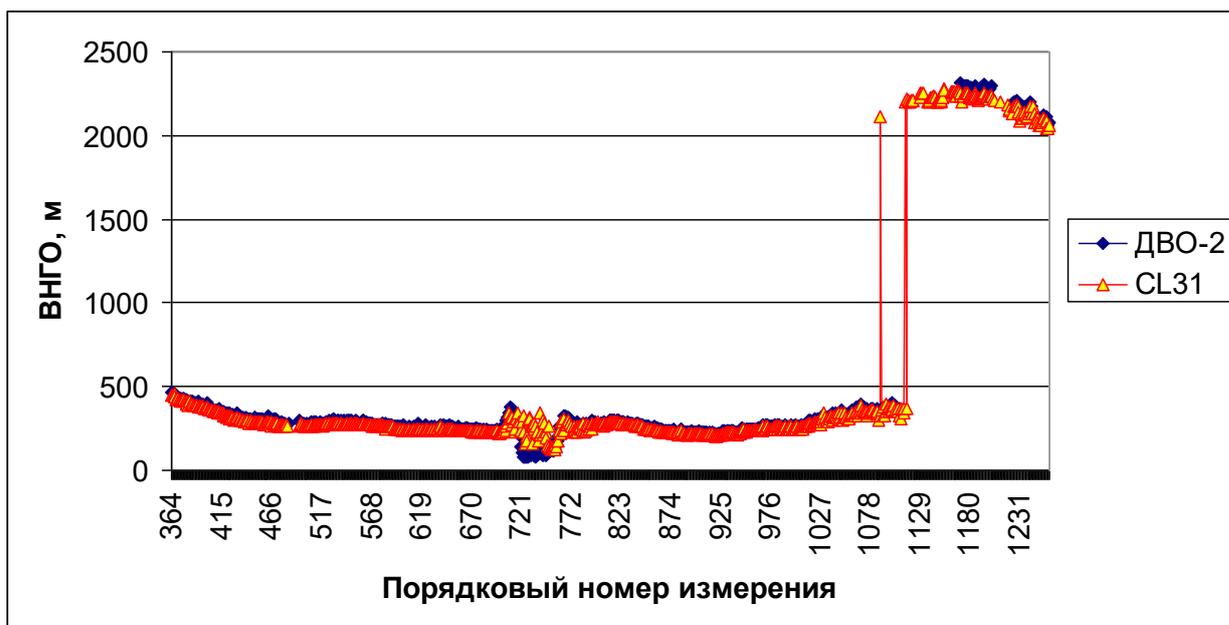


Рис. 3.5 Итоговый график временных рядов для каналов «201-600» и «600-1000» длительностью первые 50 измерений из рис. 3.2, полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (03.03.2011).

Можно предположить, что вид облачности для данных рис. 3.5 соответствует той, которая представлена на рис. 3.6.



Рис. 3.6 Предполагаемый вид облачности, соответствующий данным о ВНГО на рис. 3.4

Значительно более сложный характер временной изменчивости ВНГО иллюстрируют рис. 3.7 и 3.13. Понятно, что анализ пространственно-временной изменчивости ВНГО в таких случаях требует разработки специальных алгоритмов анализа.

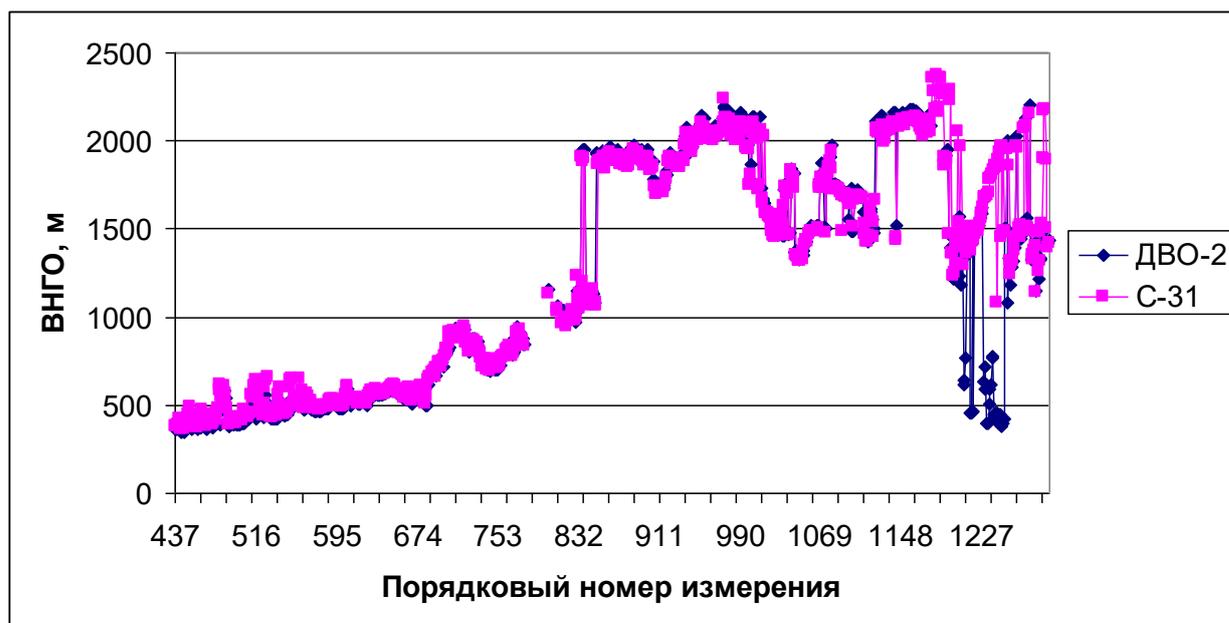


Рис. 3.7 Итоговый график временных рядов для каналов «201-600» и «600-1000» полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (05.05.2011).

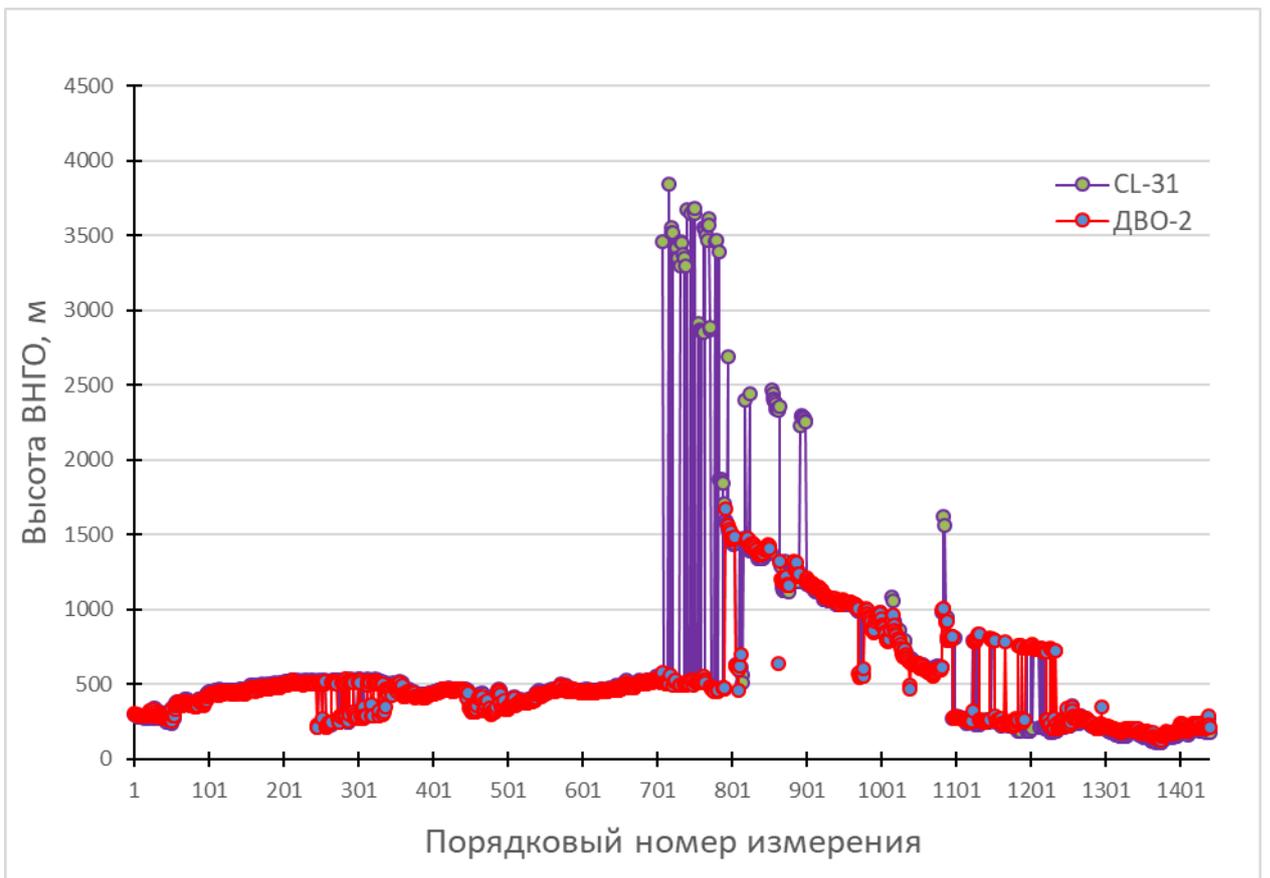


Рис. 3.8 Итоговый график временных рядов для каналов «201-600» и «600-1000» полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (11.05.2010).

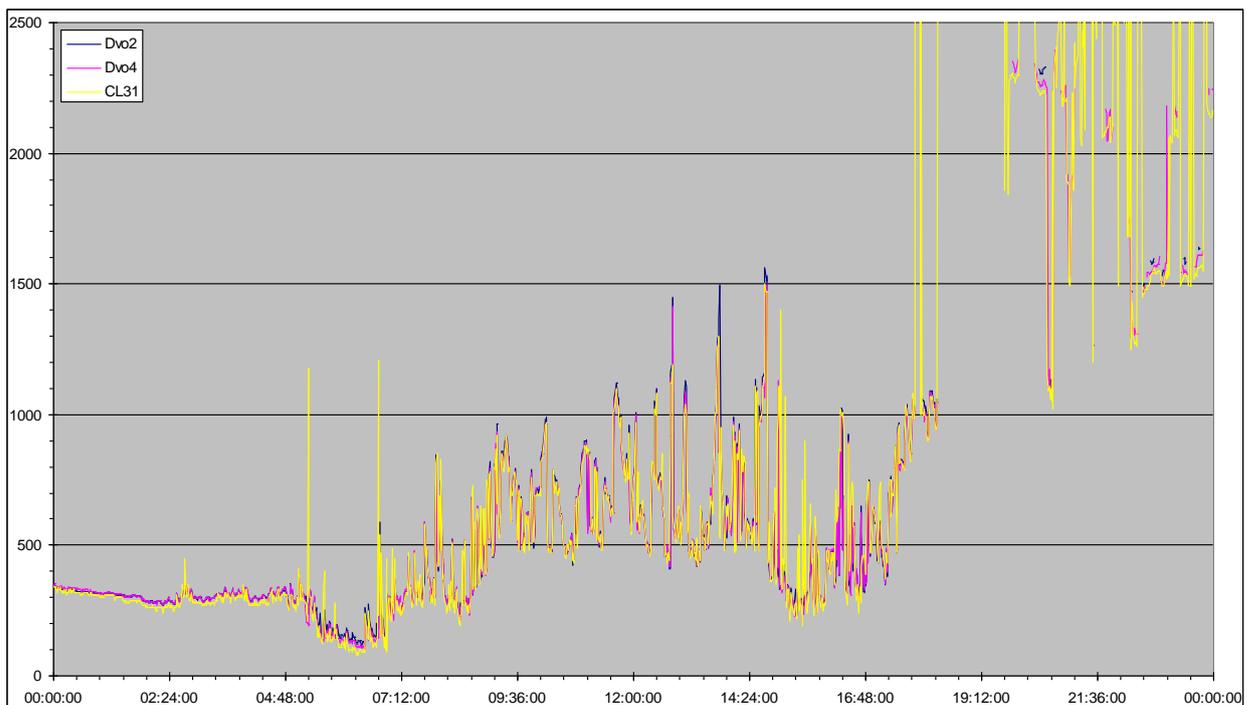


Рис. 3.9 Итоговый график временных рядов для трех каналов, полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (16.06.2010).

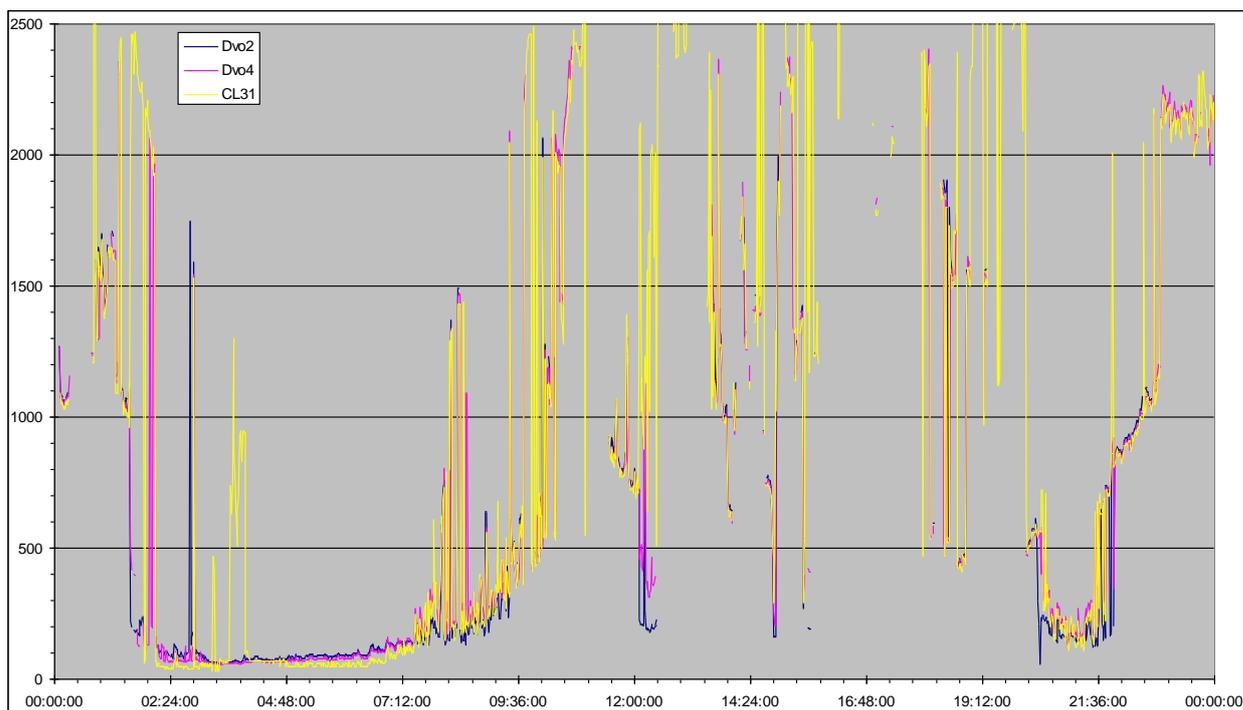


Рис. 3.10 Итоговый график временных рядов для трех каналов, полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (26.08.2010).

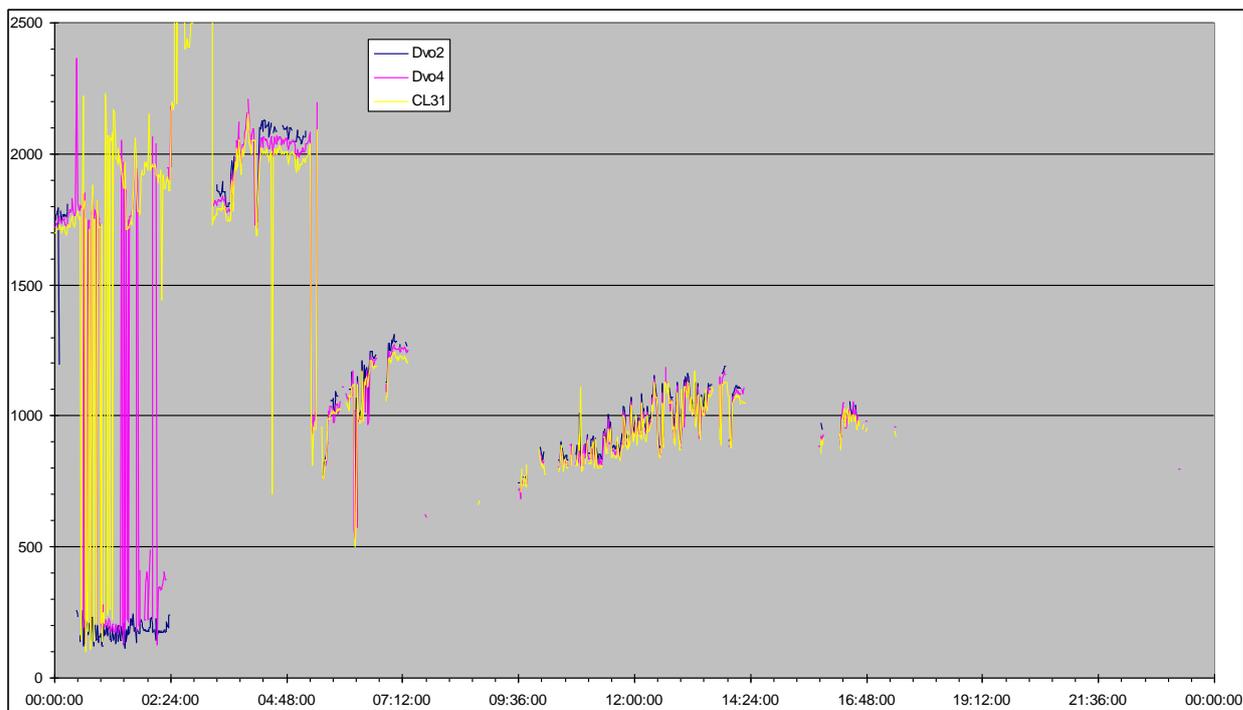


Рис. 3.11 Итоговый график временных рядов для трех каналов, полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (28.08.2010).

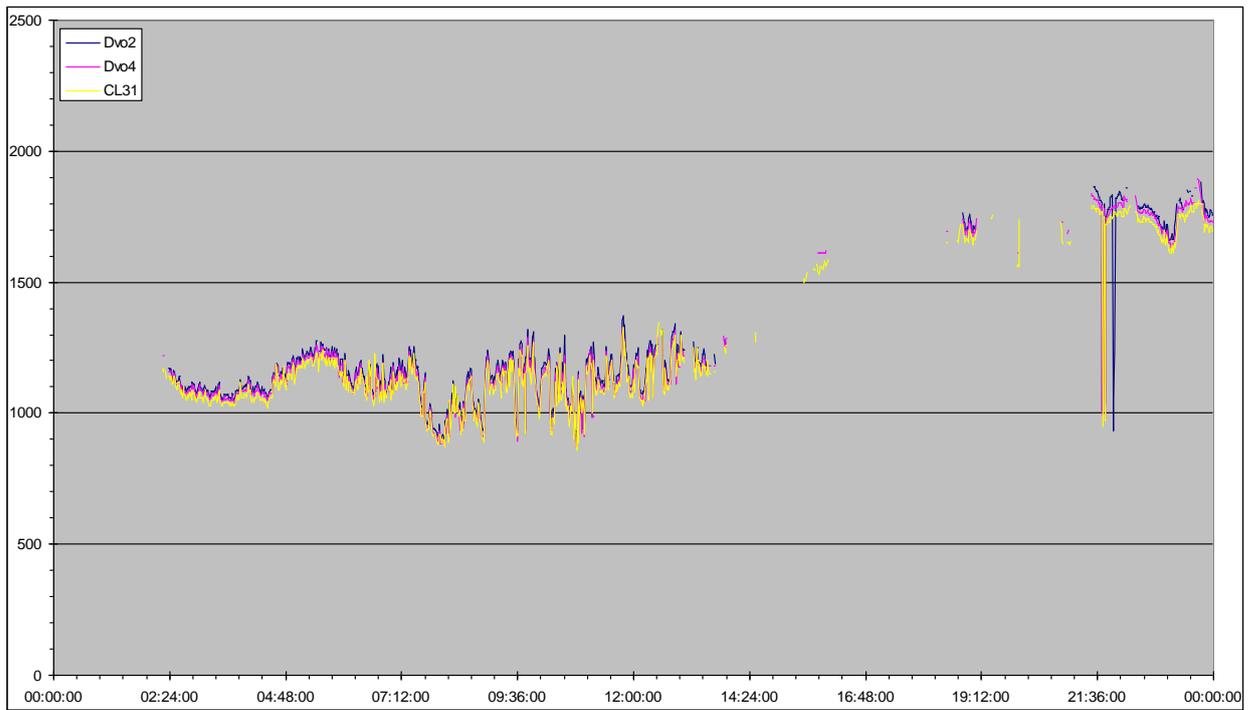


Рис. 3.12 Итоговый график временных рядов для трех каналов, полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (29.08.2010).

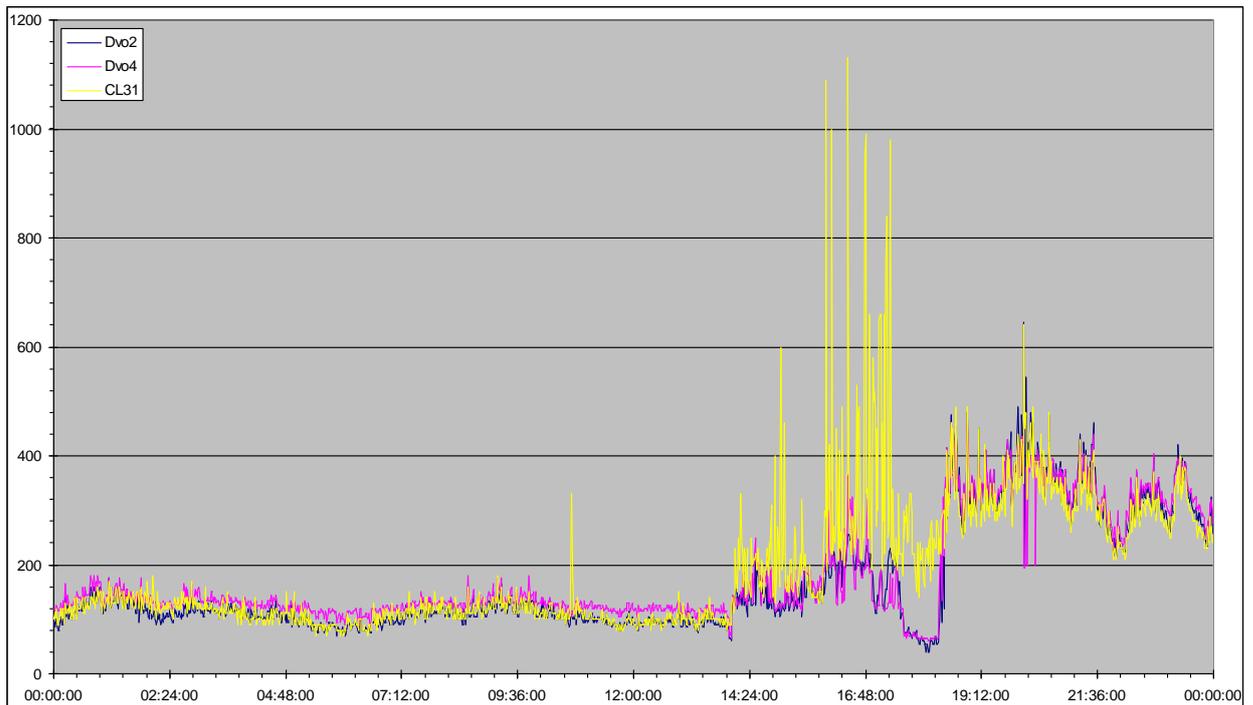


Рис. 3.13 Итоговый график временных рядов для трех каналов, полученные в результате использования для измерения ВНГО приборов ДВО-2 и CL31 (13.01.2011).

На рис. 3.14 и 3.15 приведен внешний вид облачности, флрма и пространственное распределение может давать столь сложный характер изменения ВНГО.



Рис. 3.14 Предполагаемый вид облачности, соответствующий данным о ВНГО на рис. 3.7 – 3.13



Рис. 3.15 Предполагаемый вид облачности, соответствующий данным о ВНГО на рис. 3.7 – 3.13



Рис. 3.16 Предполагаемый вид облачности, соответствующий данным о ВНГО на рис. 3.7 – 3.13

3.1.3 Исключение пропусков – построение вариационных рядов ВНГО

При расчете статистических характеристик временных рядов и эмпирических функций распределения (гистограмм), содержащих значения ВНГО, необходимо исключить из рассмотрения пропуски в имеющемся временном ряду. Понятно, что такое исключение можно сделать «вручную»,

просматривая все значения имеющегося временного ряда. Поскольку такой подход мало эффективен, особенно при наличии большого количества временных рядов, содержащих большое количество измерений, то возникает необходимость в разработке автоматизированных методов решения этой задачи.

Одним из возможных подходов к решению данной задачи – это построение вариационного ряда с последующим определением порядковых номеров, содержащих нулевые значения.

Рассмотрим процесс такого определения номеров более подробно.

В табл. 3.7 представлен текст программы, предназначенной для построения вариационного ряда.

Таблица 3.7

Текст программы «Сортировка массива чисел по возрастанию или убыванию с указанием исходных номеров»

```
Sub Сортировка()
```

```
MsgBox "Сортировка массива чисел по возрастанию или убыванию с  
указанием исходных номеров."
```

```
Лист1.Cells(3, 7) = "Сортировка массива чисел по возрастанию или  
убыванию с указанием исходных номеров."
```

```
kd = CDbI(InputBox("Введите номер колонки, содержащий временной  
ряд на Листе 1"))
```

```
n = CDbI(InputBox("Введите общую длину используемого временного  
ряда N "))
```

```
Var = CDbI(InputBox("Для сортировки по возрастанию введите 1, по  
убыванию - введите 2"))
```

```
Dim a() As Double, numa() As Double
```

```
ReDim a(n, 2) As Double, numa(n) As Double
```

```
For i = 1 To n
```

```
a(i, 1) = Лист1.Cells(i, kd)
```

```
a(i, 2) = i
```

```
numa(i) = i
```

```

Next i
If Var = 2 Then GoTo mvar1
For j = 1 To n - 1
For i = 1 To n - j
    If a(i, 1) > a(i + 1, 1) Then t = a(i, 1): a(i, 1) = a(i + 1, 1): a(i + 1, 1) = t:
    t = a(i, 2): a(i, 2) = a(i + 1, 2): a(i + 1, 2) = t
Next i
Next j
GoTo mvar2
mvar1:
For j = 1 To n - 1
For i = 1 To n - j
    If a(i, 1) < a(i + 1, 1) Then t = a(i, 1): a(i, 1) = a(i + 1, 1): a(i + 1, 1) = t:
    t = a(i, 2): a(i, 2) = a(i + 1, 2): a(i + 1, 2) = t
Next i
Next j
mvar2:
For i = 1 To n
Лист1.Cells(i, kd + 1) = a(i, 1)
Лист1.Cells(i, kd + 2) = a(i, 2)
Next i
End Sub

```

На рис. 3.17 представлен пример временного ряда, содержащий пропуски данных с порядковыми номерами 344-380, 743-753 и несколько единичных пропусков с номерами после номера 760.



Рис. 3.17 Исходный временной ряд ВНГО



Рис. 3.18 Вариационный временной ряд ВНГО (в порядке возрастания), соответствующий временному ряду на рис. 3.17

Таблицы 3.8

Таблицы с информацией о наличии временных пропусков в данных наблюдений

0	344
0	345
0	346
0	347
0	348
0	349
0	350
0	351
0	352
0	353
0	354
0	355
0	356
0	357
0	358

а)

0	851
0	852
0	853
0	854
345	7
345	10
355	8
360	1
360	11
360	31
365	2
365	17
365	23
370	6
370	30

б)

В табл. 3.8 представлен фрагмент Листа 1 программы «Сортировка массива чисел по возрастанию или убыванию с указанием исходных номеров» с информацией о номерах временного ряда, имеющих нулевое значение (пропуск данных): а) начало (первая колонка – пропуски, вторая колонка – порядковые номера временного ряда с пропущенными значениями); б) окончание (порядковые номера пропущенных измерений 851-854)

3.1.4 Эмпирические функции распределения значений ВНГО

Для изображения эмпирической функции распределения (ЭФР) широко используется гистограмма.

Гистограмма – это столбчатая диаграмма, где по оси абсцисс откладываются значения интервалов, а частоты представлены

прямоугольниками, построенными на соответствующих интервалах и имеющими высоту, пропорциональную частоте.

Для расчета гистограммы предварительно формируется несколько интервалов (карманов) во всем диапазоне изменчивости переменной в исследуемом временном ряду, а затем рассчитывается количество значений переменной, попадающих в каждый интервал (частота).

Рассмотрим особенности распределение числа случаев с ВНГО при использовании канала «61-200».

Отчетливо проявляется смещение значений ВНГО для прибора CL31 вправо (в сторону больших значений) по сравнению с данными ДВО.

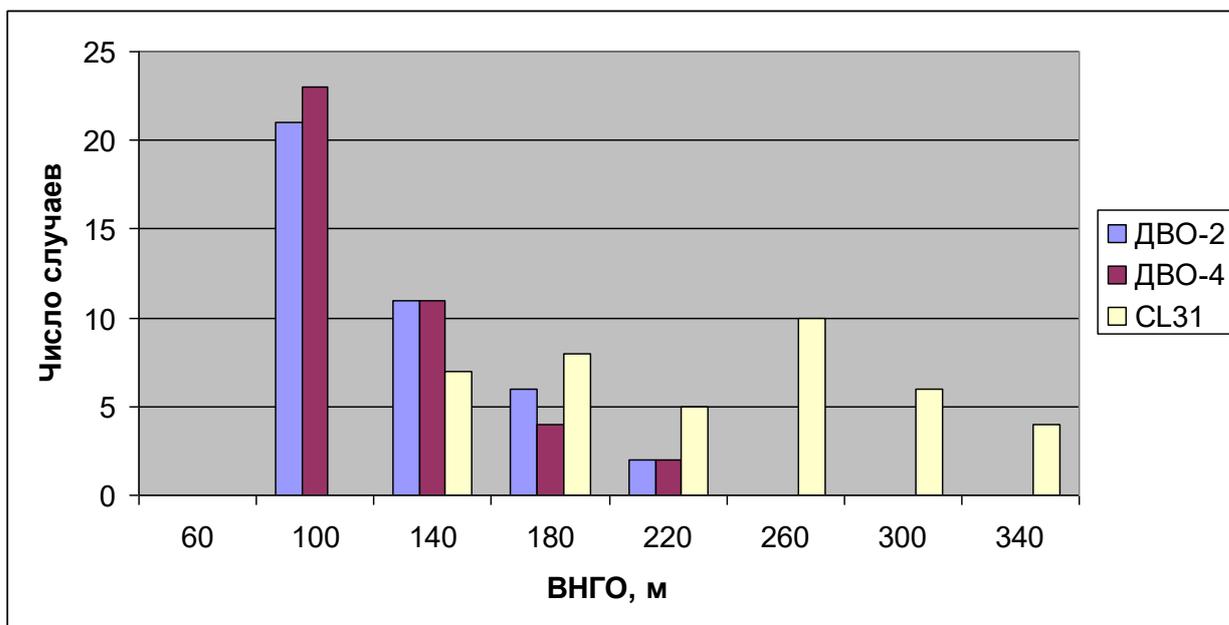


Рис. 3.19 Гистограмма распределения значений ВНГО 03.03.2011, канал «61-200»

В отличие от рис. 3.19, распределение значений ВНГО для канала «201-600» (см. рис. 3.20) весьма близки.

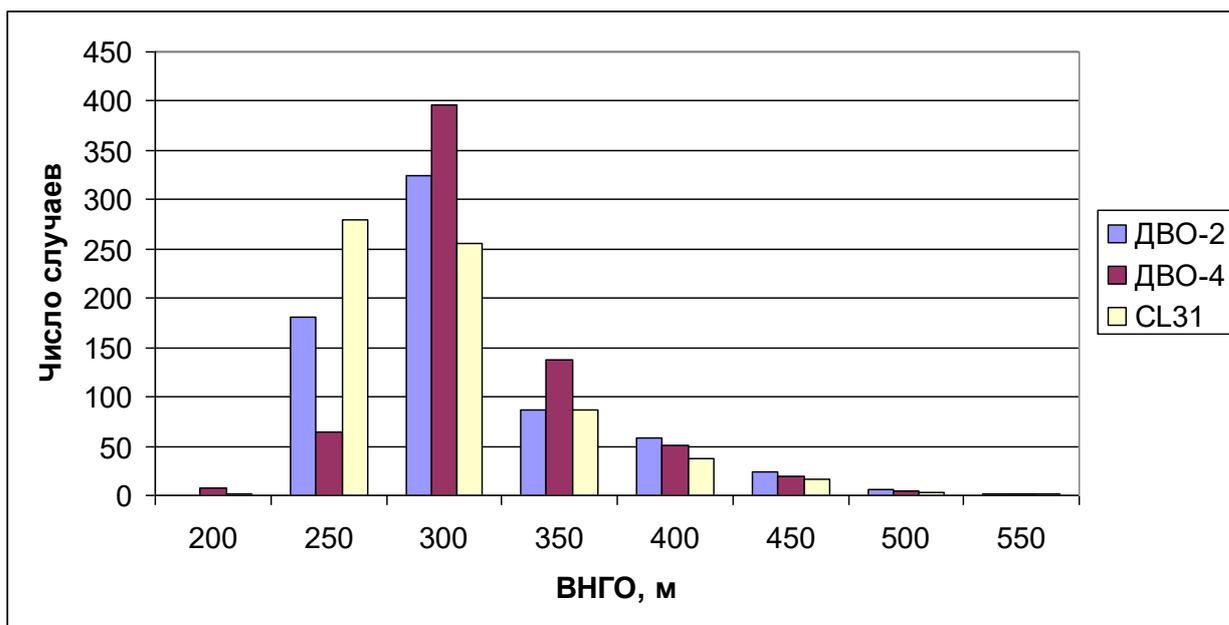


Рис. 3.20 Гистограмма распределения значений ВНГО 03.03.2011, канал «201-600», 03.03.2011

На рис. 3.21 и 3.22 представлены данные для каналов «201-600» и канал «600-1000» за 05.03.2011 для двух датчиков: ДВО-2 и CL31. Функции распределения весьма близки, но для прибора ДВО-2 имеется максимум вблизи 400 м (канал «201-600»), а для датчика CL31 присутствует весьма длинный «хвост» в области больших значений ВНГО.

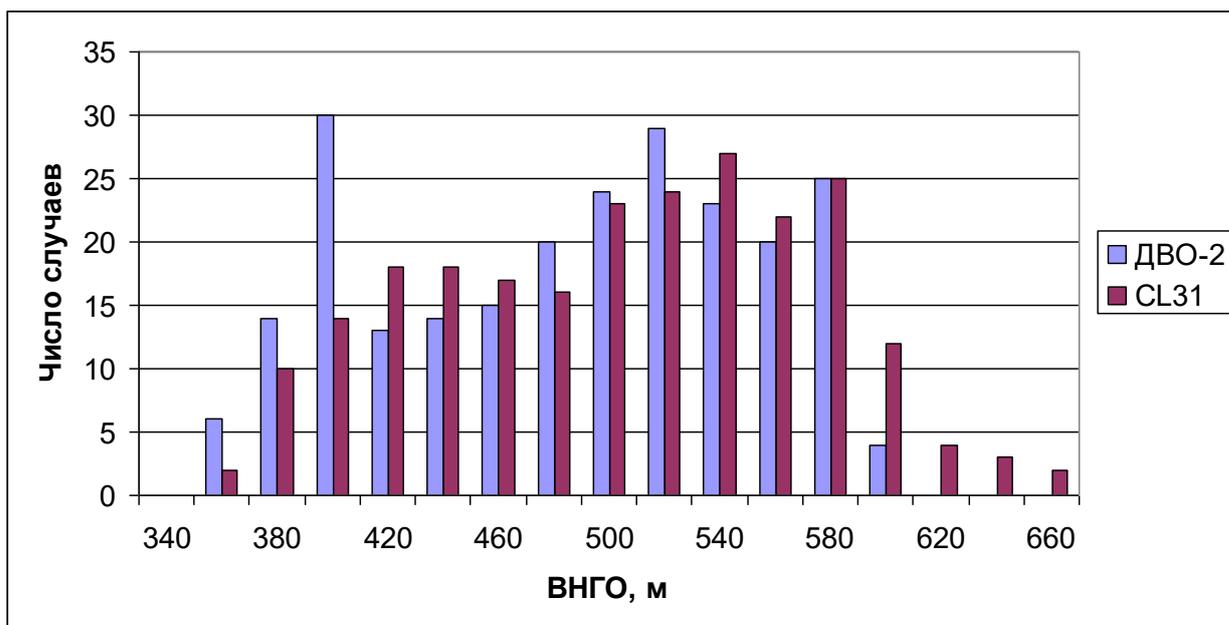


Рис. 3.21 Гистограмма распределения значений ВНГО 05.03.2011, канал «201-600» 05.05.2010

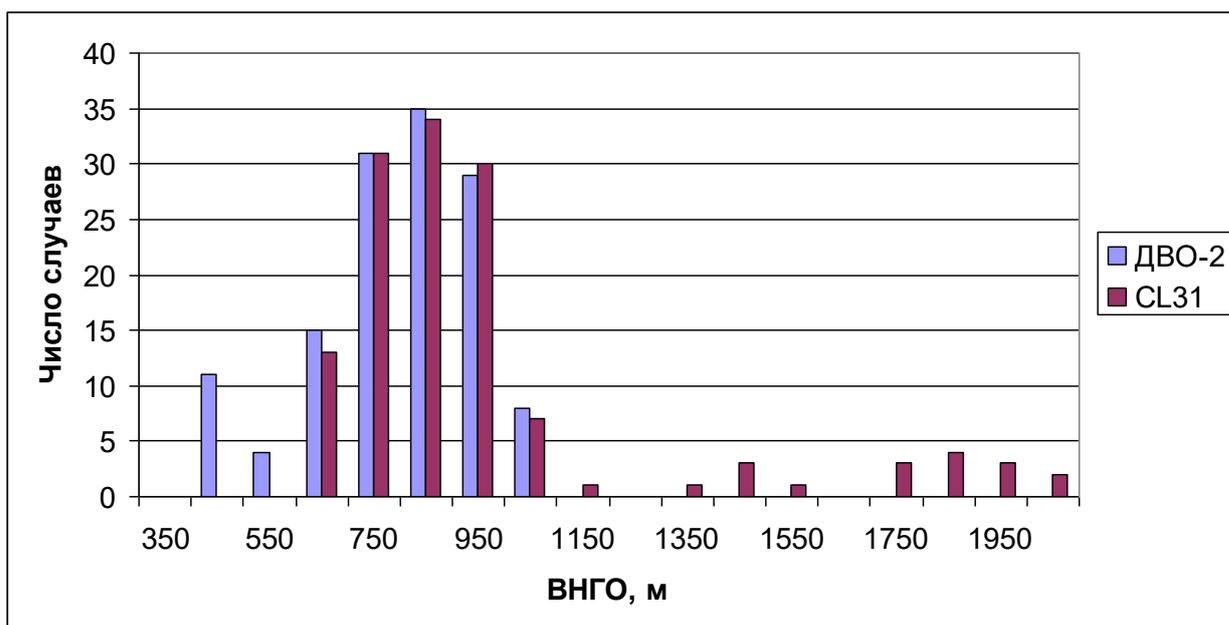


Рис. 3.22 Гистограмма распределения значений ВНГО 05.05.2010, канал «600-1000»

3.2 Сравнительный анализ данных, полученных в разные сезоны

3.2.1 Сравнительный анализ данных, полученных в весенний сезон

На рис.3.23 представлены результаты наблюдений по 3 датчикам ВНГО (CL-31, ДВО-2, ДВО-4).

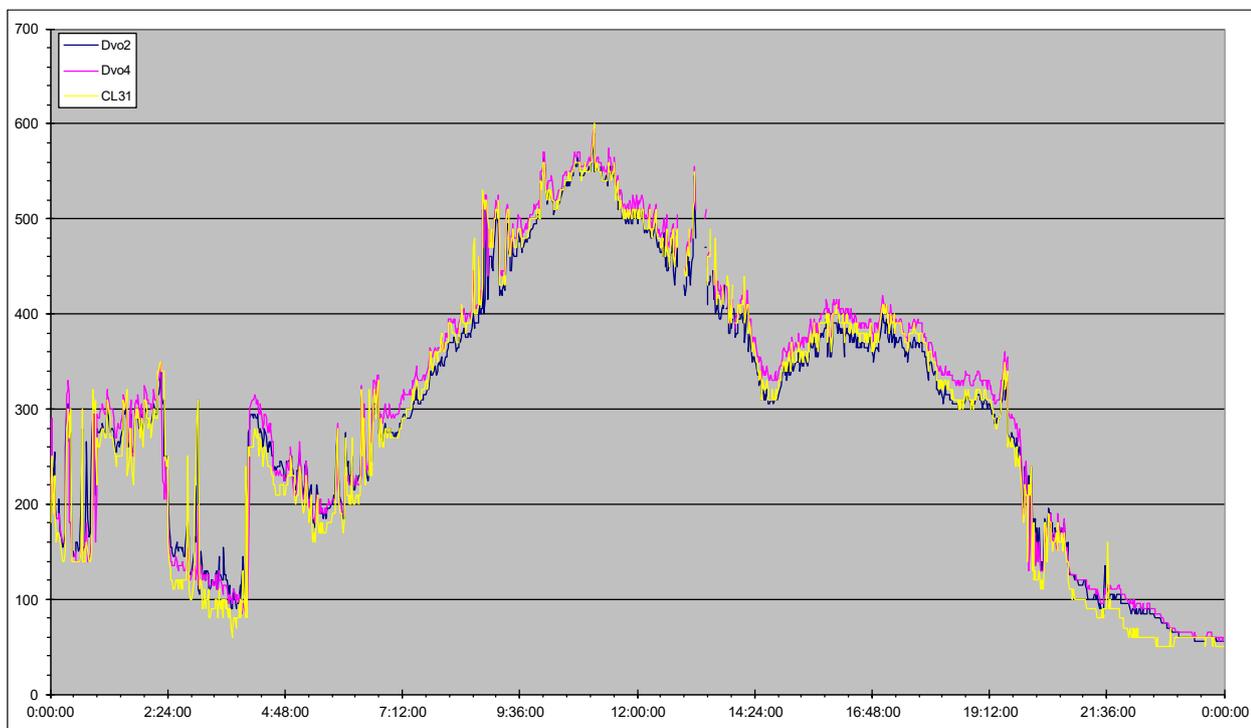


Рис 3.23 График положения ВНГО от 12.05.2010.

Анализ представленных на рис. 3.23 данных показывает, что с 04.50 UTC по 00.00 наблюдается достаточно хорошая сходимость результатов наблюдений. В ночные-утренние часы во время умеренного дождя заметны резкие изменения результатов наблюдений, однако они сохраняются для всех 3 датчиков.

С 00.00 UTC по 02.00 наблюдается мгла или дымка, ухудшение видимости <1км. С 0.00 UTC по 05.59 наблюдалась слоистая форма облачности. С 00.00 UTC по 08.59 слоистая, высококучевая и слоисто-кучевая форма. С 02.00 UTC по 04.00 дождь умеренный.

С 09.00 UTC по 11.59 слоисто-кучевая форма. С 12.00 UTC по 20.59 высоко-кучевая, слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы. С 12.50 UTC по 14.00 наблюдается частичное отсутствие данных измерений параметров ВНГО от всех трёх датчиков. При появлении мороси, примерно с 20.00 UTC ВНГО значительно снизилась. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 600 м.

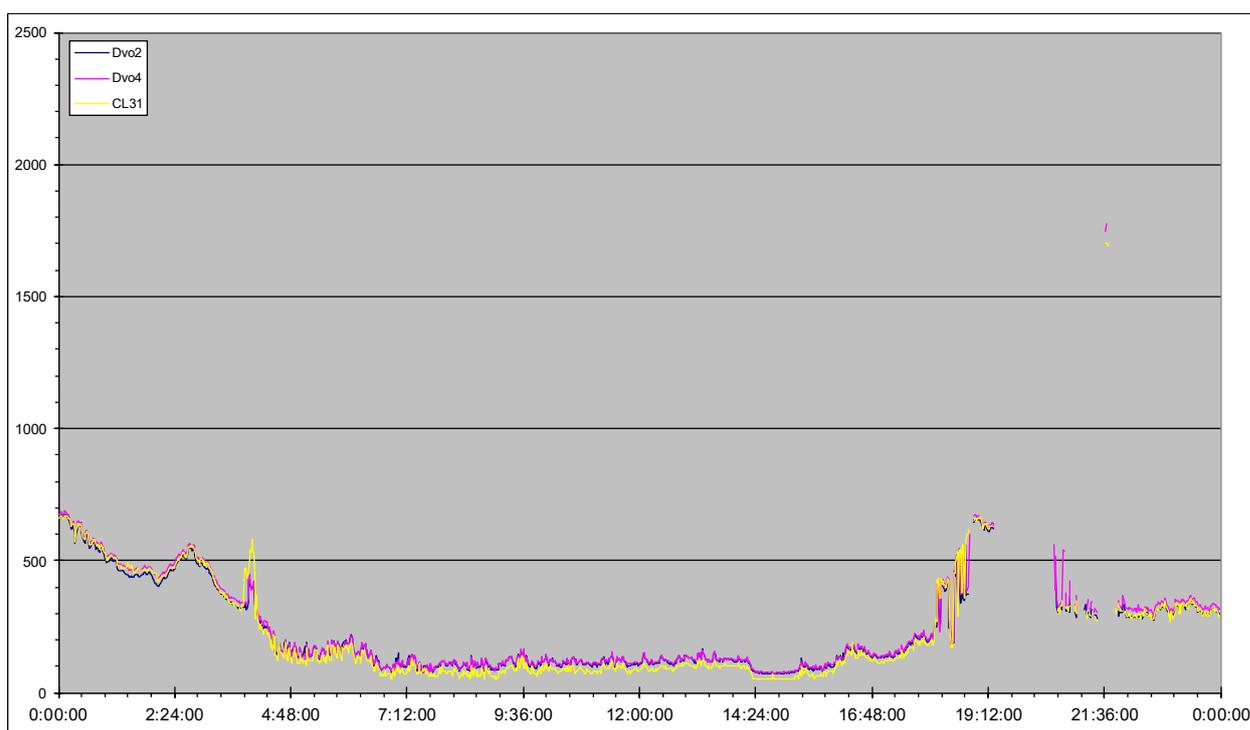


Рис 3.24 График положения ВНГО от 10.05.2010.

На рис 3.24 просматривается достаточно хорошая сходимость результатов наблюдений, полученных от трёх датчиков ВНГО.

С 06.00 UTC по 04.30 уровень ВНГО постепенно снижался.

С 00.00 UTC по 03.59 наблюдалась слоисто-кучевая форма облачности.

С 03.00 UTC по 05.59 кучево-дождевая и слоисто-кучевая формы облачности. С 03.30 UTC по 13.15 наблюдались осадки в виде слабого замерзающего дождя.

С 04.30 UTC по 17.30 уровень ВНГО изменялся незначительно.

С 06.00 UTC по 11.59 наблюдается кучево-дождевая форма облачности.

С 14.20 UTC по 18.00 осадки. С 15.00 UTC по 17.59 наблюдаются высоко-кучевая, слоисто-кучевая, слоистая формы облачности.

С 18.00 UTC по 00.00 наблюдаются высоко-кучевая, слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы облачности, мгла или дымка, ухудшение видимости <1км.

С 19.19 UTC по 21.47 наблюдается частичное отсутствие данных измерений параметров ВНГО от трёх датчиков. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 650 м.

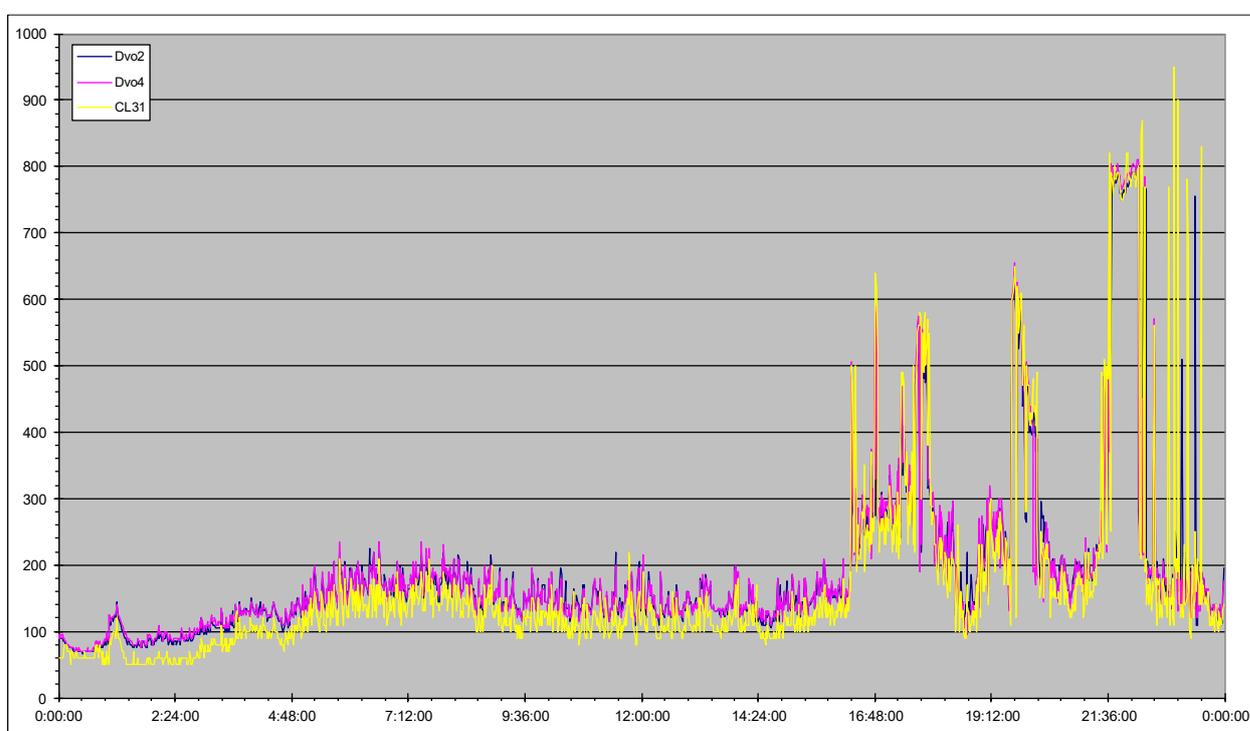


Рис 3.25 График положения ВНГО от 27.05.2010.

На рис. 3.25 отображены небольшие расхождения между показаниями датчиков ДВО и CL-31, и довольно резкие изменения уровня ВНГО. В течение данных суток наблюдались осадки в виде дождя замерзающего, слабого, переходящего в дождь умеренный.

С 00.00 UTC по 02.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 03.00 UTC по 05.59 кучево-дождевая форма.

С 06.00 UTC по 11.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 12.00 UTC по 14.59 слоистая форма. С 15.00 UTC по 17.59 наблюдаются слоисто-кучевая, слоистая формы облачности. С 18.00 UTC по 00.00 наблюдается слоистая форма облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 950 м.

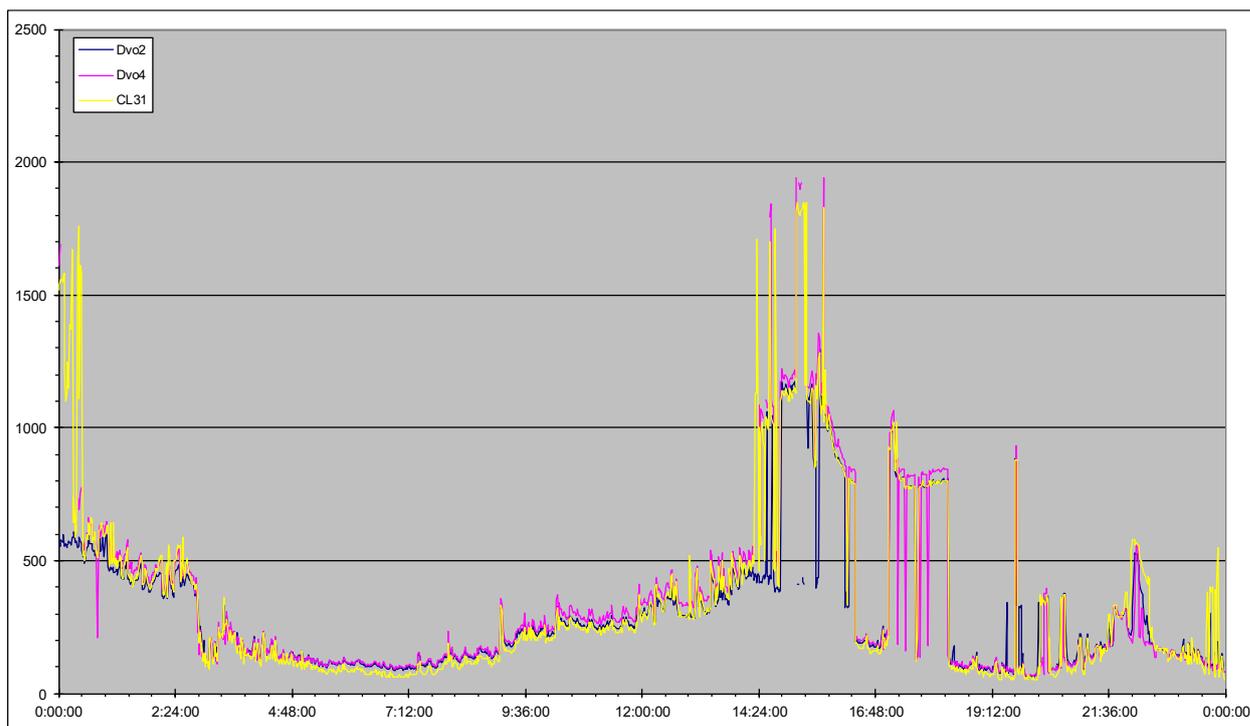


Рис 3.26 График положения ВНГО от 22.04.2010.

На рис 3.26 изображены довольно значительные амплитуды колебания ВНГО, местами расхождения между показателями ВНГО от всех трёх датчиков.

С 00.00 UTC по 07.30 и с 17.33 UTC по 21.10 наблюдался сильный дождь. С 00.00 UTC по 05.59 форма облаков слоисто-дождевая и разорванно-дождевая. С 00.00 UTC по 00.29 частично отсутствуют показания от ДВО-4 и определяется большая разница между показаниями ДВО-2 и СЛ-31. Аналогичная ситуация обнаружена в периоде с 14.19 UTC по 15.23.

С 06.00 UTC по 11.59 и с 15.00 UTC по 20.59 наблюдается слоисто-кучевая и разорванно-дождевая формы облачности. С 12.00 UTC по 14.59

наблюдаются высоко-кучевая, слоисто-кучевая формы облачности. С 21.00 UTC по 23.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая формы облачности. С 22.10 UTC по 23.59 дождь замерзающий, слабый. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 1950 м.

3.3.2 Сравнительный анализ данных, полученных в летний сезон

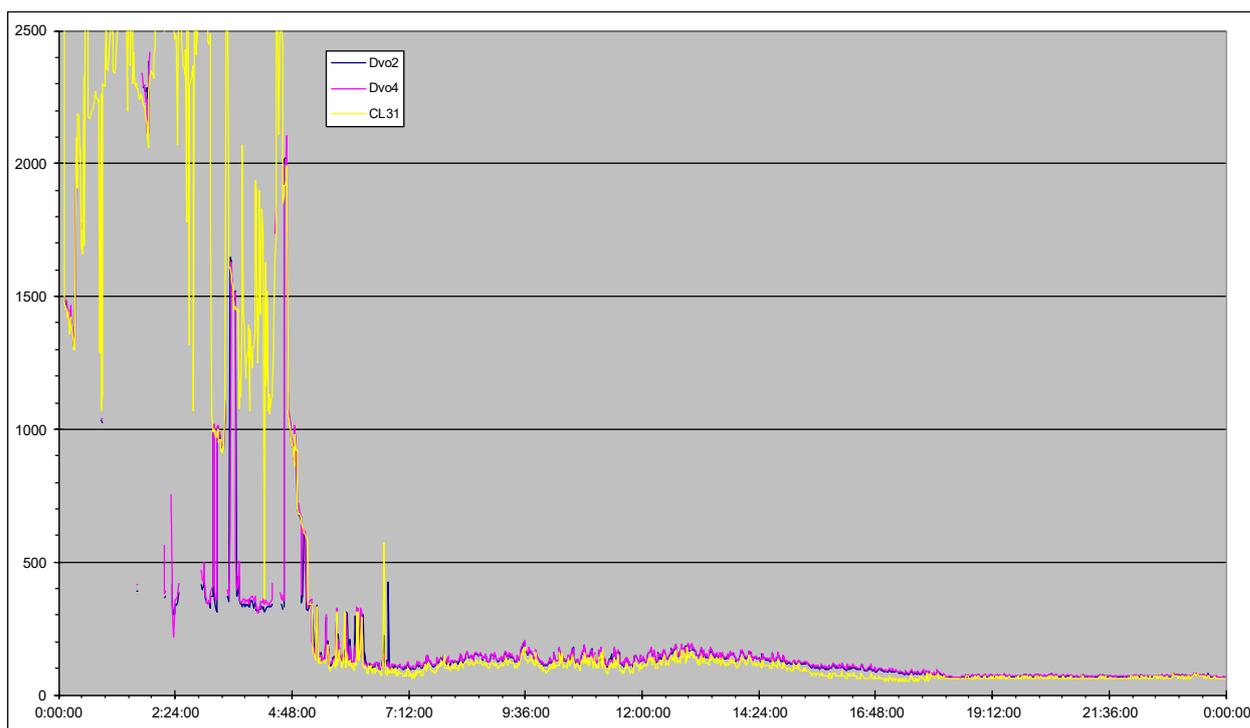


Рис 3.27 График положения ВНГО от 02.06.2010.

По рис 3.17 можно понять, что в период с 00.00 UTC по 04.40 датчики, ДВО-2, ДВО-4 корректно не определяли уровень ВНГО, в то время как датчик CL-31 определяет нахождение ВНГО выше 2100м. С 04.41 UTC по 23.59 происходит понижение ВНГО, при этом показания всех датчиков выравниваются относительно друг друга. С 00.00 UTC по 12.12 наблюдается дождь замерзающий, слабый. С 00.00 UTC по 03.00 форма облаков- кучево-дождевая. С 03.01 UTC по 11.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 12.00 UTC по 14.59 наблюдается слоисто-кучевая и разорванно-дождевая формы облачности. С 15.00 UTC по 23.59

форма наблюдаемых облаков- слоистая. С 15.45 UTC по 23.59 наблюдается умеренный дождь. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 3680 м.

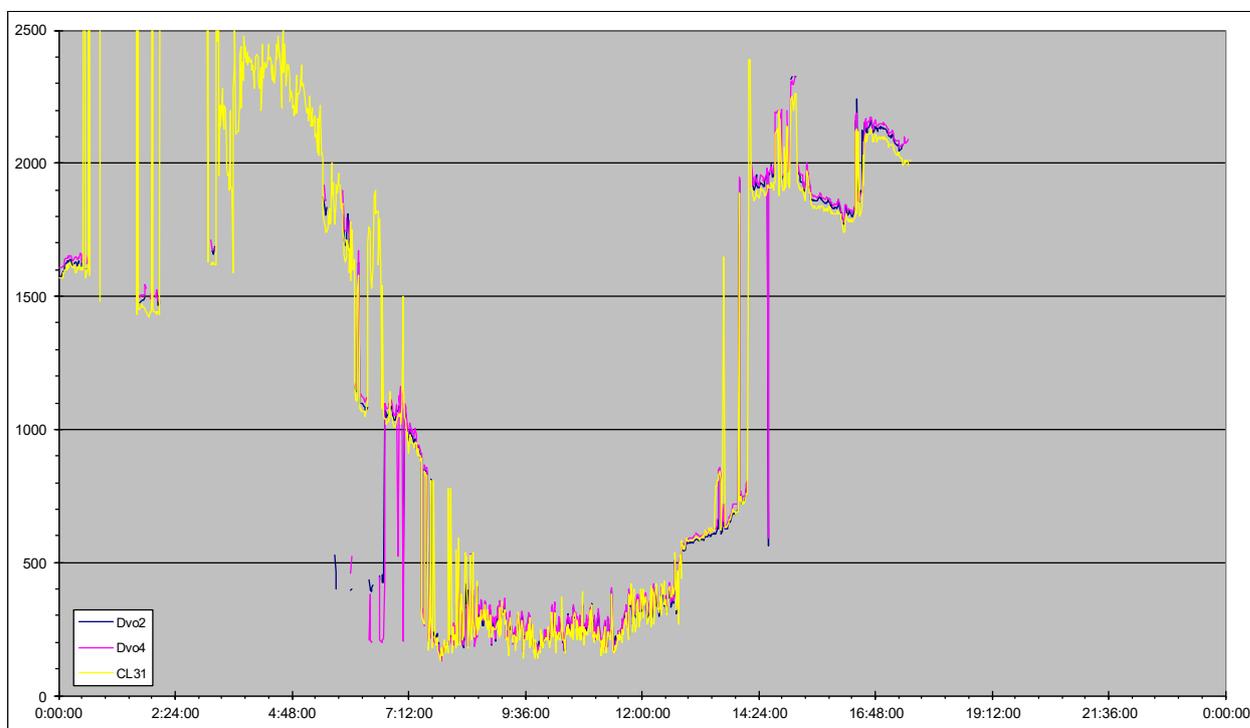


Рис 3.28 График положения ВНГО от 08.06.2010.

На рис 3.28 наблюдается аналогичная с рис 3.17 ситуация, а именно: практически синхронные показания датчиков CL-31, ДВО-2, ДВО-4 до уровня ВНГО порядка 1600 м, при увеличении ВНГО свыше 2000м (судя по показаниям датчика CL-31) измерительные данные от датчиков ДВО-2 и ДВО-4 отсутствуют. При дальнейшем понижении ВНГО происходит сходимость результатов измерений датчиков.

С 00.00 UTC по 04.10 наблюдается мгла или дымка, видимость <1км. С 00.00 UTC по 05.59 наблюдается высоко-кучевая и разорванно-дождевая формы облачности. С 04.11 UTC по 11.20 сильный дождь. С 06.00 UTC по 08.59 наблюдаются высоко-кучевая, слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 09.00 UTC по 11.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 12.00 UTC по 14.59 наблюдается

высоко-кучевая и разорванно-дождевая формы облачности. С 15.00 UTC по 17.59 наблюдается высоко-кучевая форма облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 130 до 7340 м.

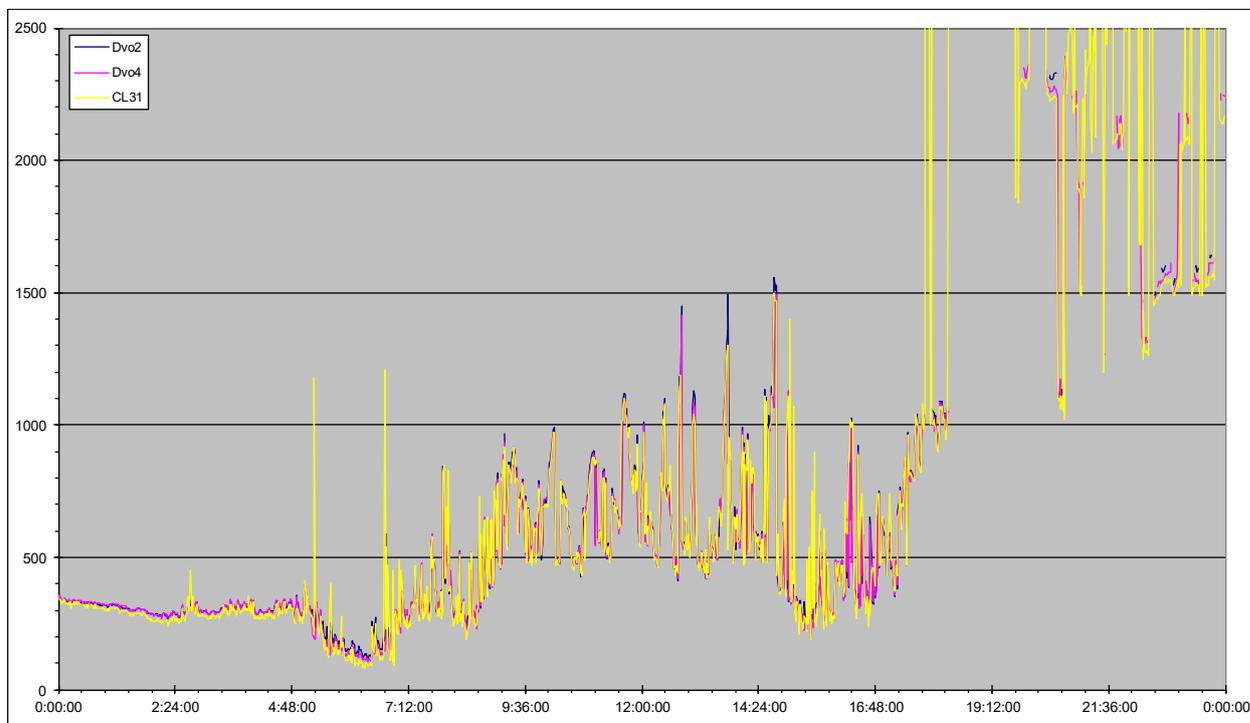


Рис 3.29 График положения ВНГО от 16.06.2010.

На рис 3.29 в ночные часы с 00.00 UTC по 06.43 наблюдается хорошая сходимость показаний от трёх датчиков при небольших изменениях показателей ВНГО. С 06.50 UTC амплитуды изменения результатов измерения растут и к 14.40 UTC достигают довольно большой величины. С 17.50 UTC по 23.59 уровень ВНГО местами поднимается выше 2000 м (по данным от CL-31) при этом большая часть измерительных данных от датчиков ДВО-2, ДВО-4 отсутствует. С 00.00 UTC по 04.45 наблюдается мгла или дымка, видимость <1км. С 00.00 UTC по 02.59 формы облачности слоисто-кучевая и разорванно-дождевая. С 03.00 UTC по 05.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая формы облачности. С 04.45 UTC по 08.10 и с 14.45 UTC по 15.52 наблюдается дождь замерзающий, слабый. С 06.00 UTC по 14.59 наблюдается кучево-дождевая и

слоисто-кучевая формы облачности. С 15.00 UTC по 23.59 наблюдаются высоко-кучевая, слоисто-кучевая формы облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 80 до 3480 м.

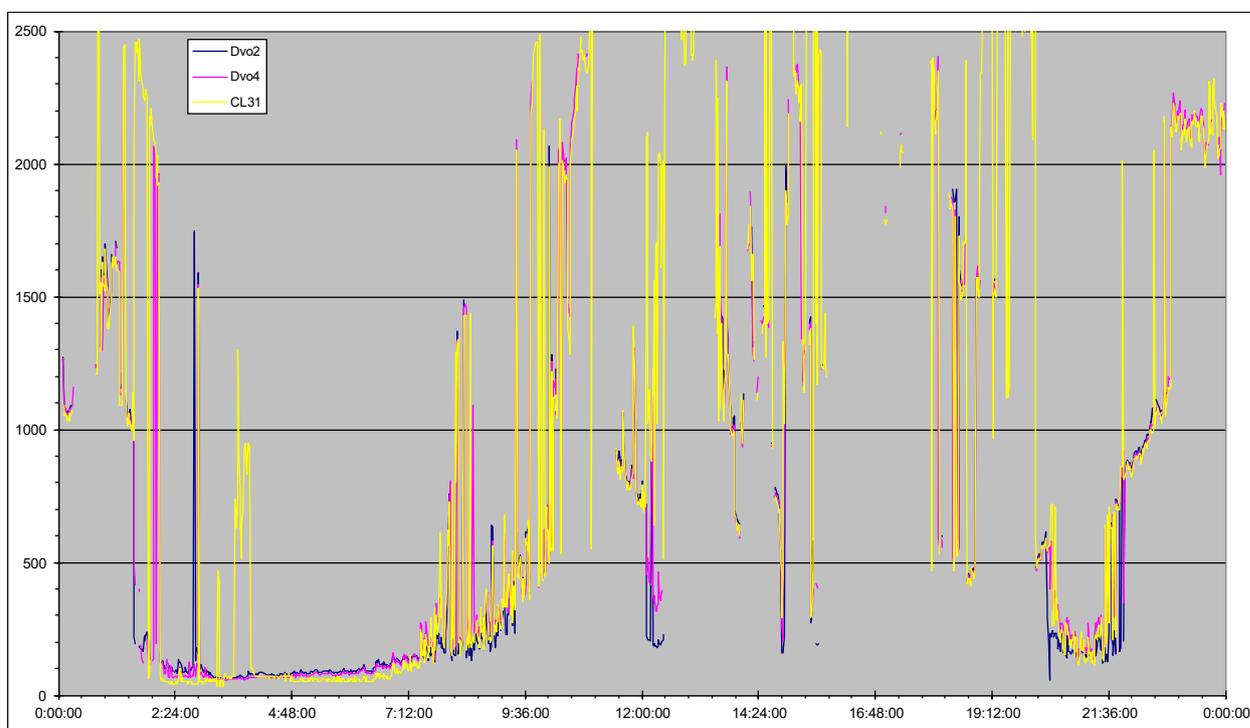


Рис 3.30 График положения ВНГО от 26.08.2010.

На рис 3.30 отображены довольно большие амплитуды изменения показателей ВНГО. В ночные и утренние часы в результатах данных измерений присутствует хорошая сходимость до 10.20 UTC. Далее амплитуда колебаний ВНГО увеличивается, часть данных измерений отсутствует от трёх датчиков.

С 00.00 UTC по 02.59 наблюдаются высоко-кучевая, слоисто-кучевая формы облачности. С 02.28 UTC по 03.00 дождь умеренный. С 03.00 UTC по 05.59 наблюдается слоисто-дождевая облачность. С 03.01 UTC по 06.15 сильный дождь. С 06.00 UTC по 08.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая формы облачности. С 09.00 UTC по 11.59 наблюдается кучево-дождевая, слоисто-кучевая и кучевая формы облачности. С 12.00 UTC по 14.59 наблюдаются высоко-кучевая, кучево-

дождевая формы облачности. С 14.15 UTC по 15.27 наблюдаются ливневые или смешанные осадки. С 15.00 UTC по 17.59 и с 21.01 UTC по 23.59 наблюдалась слоисто-кучевая форма облачности. С 18.00 UTC по 21.00 наблюдались слоисто-кучевая и кучево-дождевая формы облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 5000 м.

3.3.3 Сравнительный анализ данных, полученных в осенний сезон

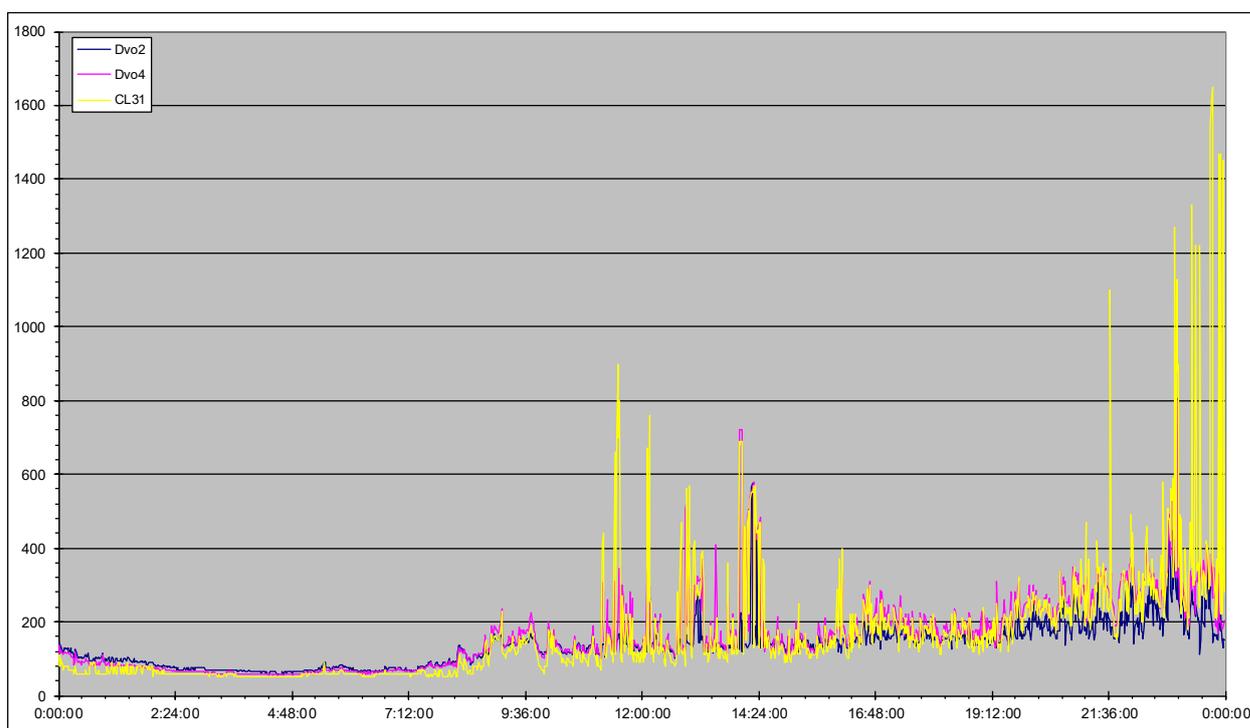


Рис 3.31 График положения ВНГО от 03.09.2010.

На рис 3.31 в первой половине дня, с 00.00 UTC по 11.25 в условиях низкой облачности (от 50 до 180 м), просматривается довольно хорошая сходимость результатов наблюдений трёх датчиков ВНГО. Далее имеются расхождения между показаниями датчиков и довольно значительные. С 00.00 UTC по 04.28 наблюдается сильный дождь, переходящий в умеренный. С 00.00 UTC по 08.59 форма наблюдаемой облачности кучево-дождевая. С 07.20 UTC по 23.59 дождь замерзающий, слабый. С 09.00 UTC по 11.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая

формы облачности. С 12.00 UTC по 20.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 21.00 UTC по 23.59 наблюдались слоисто-кучевая и кучево-дождевая формы облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 1470 м.

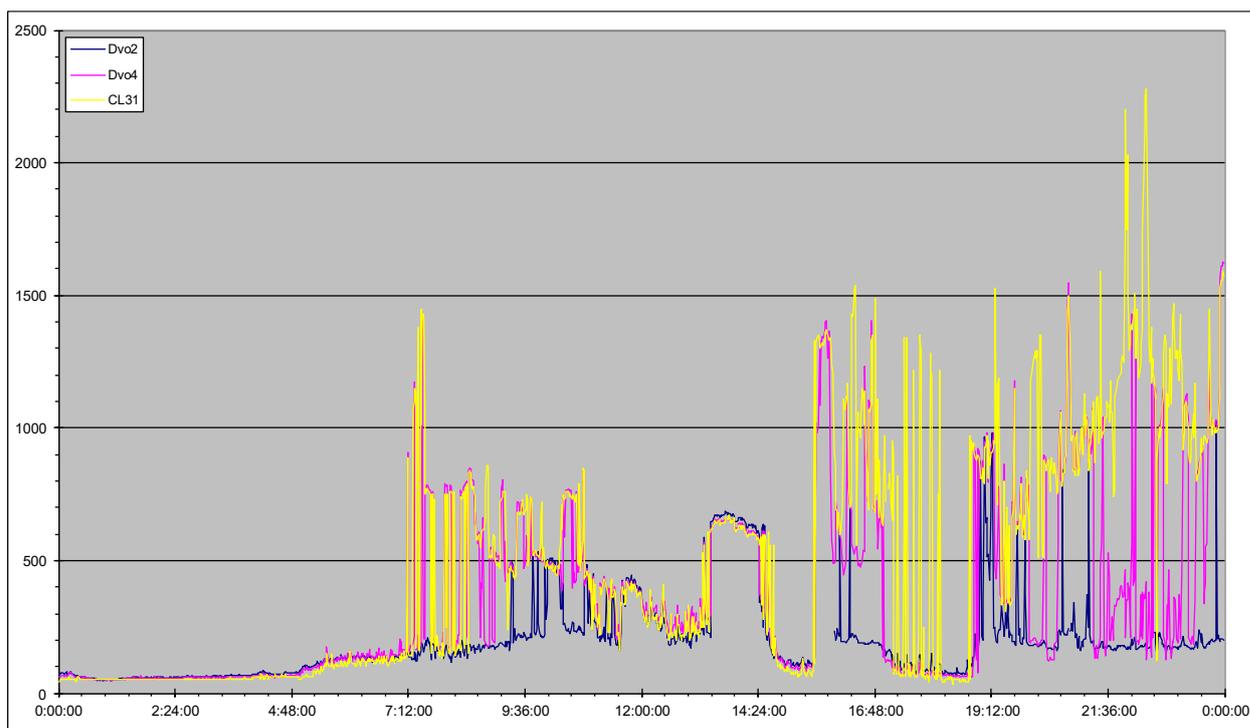


Рис 3.32 График положения ВНГО от 13.09.2010.

На рис 3.22, как и на рис 3.21 в утренние часы, С 00.00 UTC по 05.05 при условиях очень низкой облачности (от 40 до 60 м), просматривается довольно хорошая сходимость результатов наблюдений от трёх датчиков ВНГО. Далее и до конца суток наблюдения имеется значительная разница показаний датчиков, особенно разнятся показания от ДВО-2 (гораздо меньше значения чем от CL-31, ДВО-4). Наибольшая сходимость результатов измерений трёх датчиков ВНГО видна до уровня ВНГО порядка 600 м.

С 00.00 UTC по 06.05 наблюдаются осадки в виде мороси. С 03.00 UTC по 06.00 наблюдаются слоисто-кучевая, слоистая формы облачности. С 06.01 UTC по 08.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы

облачности. С 06.01 UTC по 07.54 наблюдается умеренный дождь. С 07.55 UTC по 09.29 наблюдается дождь замерзающий, слабый. С 09.00 UTC по 11.59 и С 15.00 UTC по 20.59 формы облачности слоисто-кучевая и разорванно-дождевая. С 12.00 UTC по 14.59 наблюдаются слоисто-кучевая и слоистая формы облачности. С 14.30 UTC по 21.17 наблюдается дождь сильный, С 21.18 UTC по 23.59 дождь замерзающий, слабый. С 21.00 UTC по 23.59 наблюдались слоисто-кучевая и кучево-дождевая формы облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 40 до 1500 м.

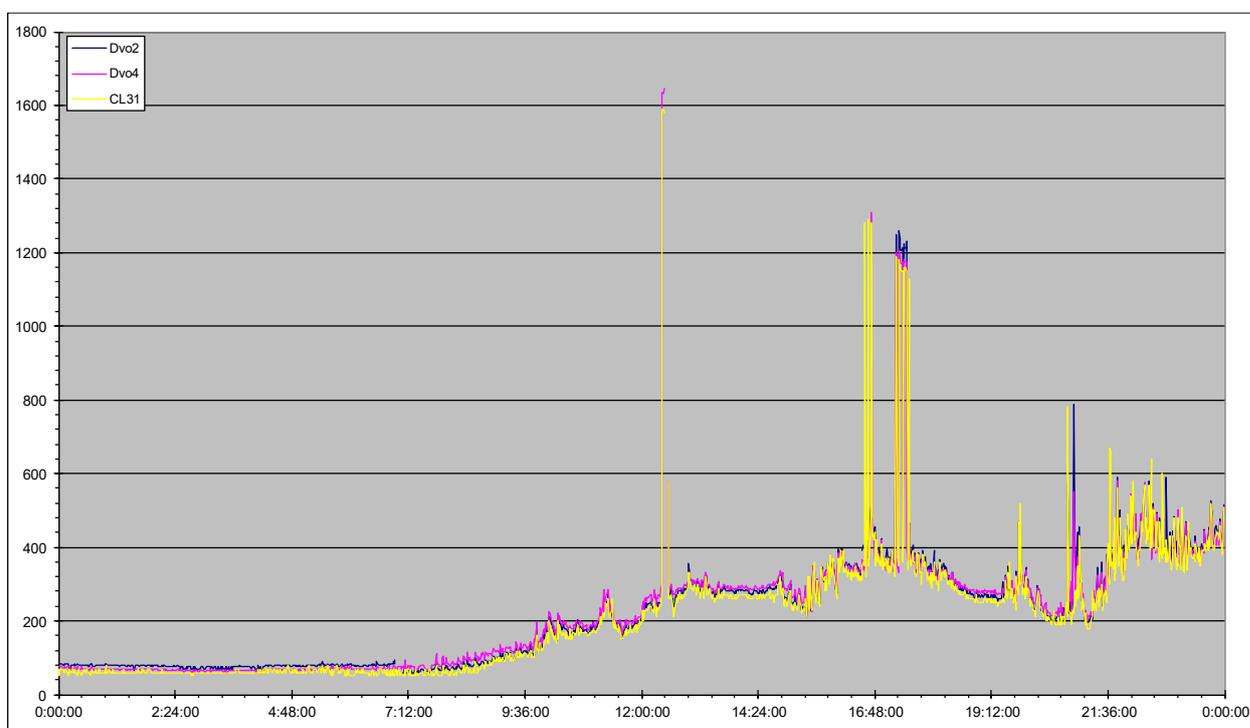


Рис 3.33 График положения ВНГО от 29.10.2010.

На рис 3.33 представлены данные измерений ВНГО с большой степенью сходимости в ночные и утренние часы, С 00.00 UTC по 08.40 при условиях мало меняющейся границы низкой облачности (от 40 до 70 м). В дальнейшем при повышении уровня ВНГО, её показатели определялись с достаточно хорошей сходимостью.

С 00.00 UTC по 12.39 наблюдаются осадки в виде мороси. С 06.00 UTC по 08.59 наблюдалась слоисто-кучевая форма облачности. С 06.35 UTC по 08.09 наблюдается дождь замерзающий, слабый.

С 09.00 UTC по 23.59 наблюдается слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 14.45 UTC по 15.34 наблюдается дождь сильный.

Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 1280 м.

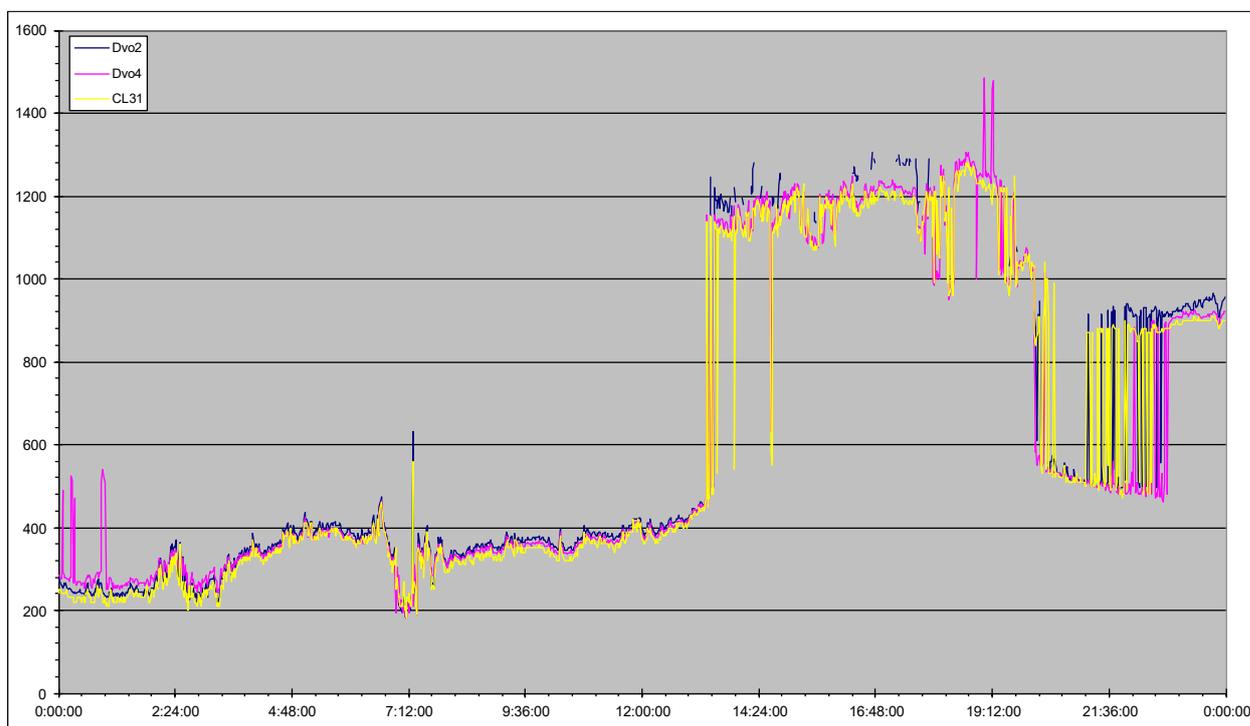


Рис 3.34 График положения ВНГО от 20.11.2010.

На рис 3.24 наблюдается довольно хорошая сходимость результатов измерения ВНГО от трёх датчиков, при нахождении уровня ВНГО от 180 до 600 м. Однако, при определении нижней границы облачности датчиками CL-31 и ДВО-4 свыше 600 м большая часть данных измерений от облакомера ДВО-2 отсутствует. С 00.00 UTC по 02.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая формы облачности. С 03.00 UTC по 23.59 наблюдается слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 02.015 UTC по 03.09 и С 06.48 UTC по 07.21 наблюдались

осадки в виде слабого снега. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 180 до 1300 м.

3.3.4 Сравнительный анализ данных, полученных в зимний сезон

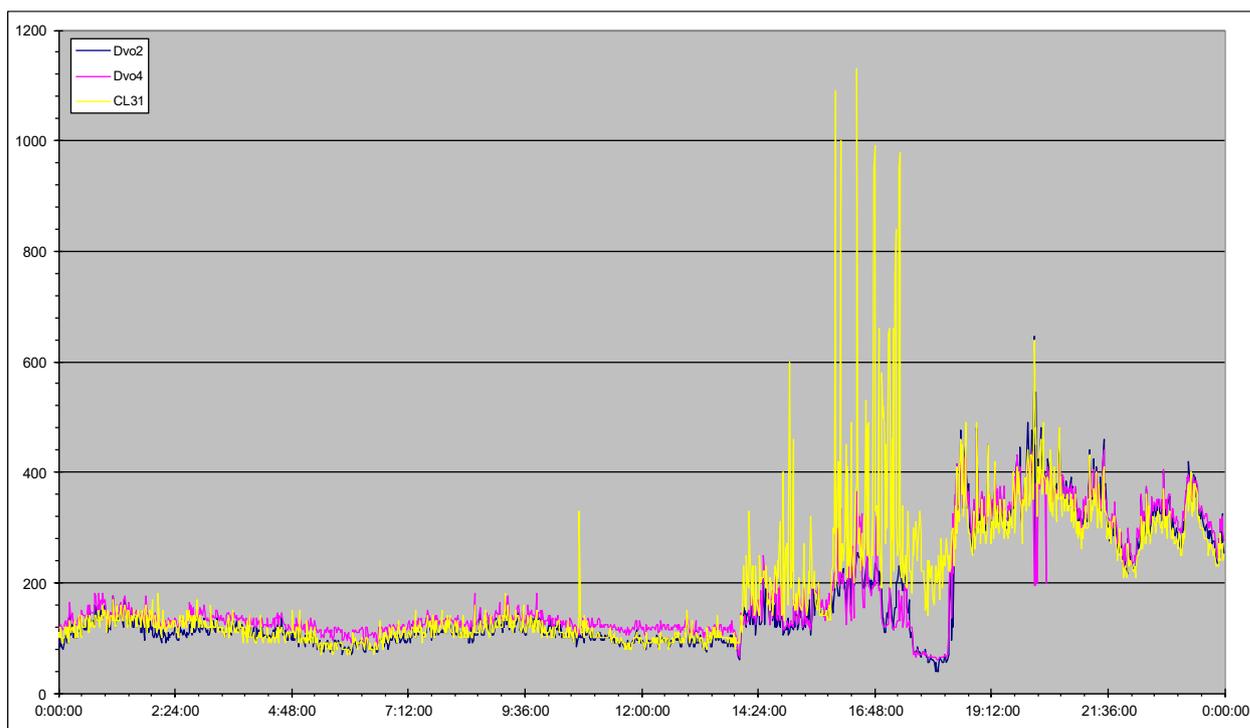


Рис 3.35 График положения ВНГО от 13.01.2011.

На рис 3.35, с 00.00 UTC по 14.20 наблюдаются достаточно однородные данные ВНГО от трёх облакомеров, при показателях уровня ВНГО от 70 до 180 м. С 14.21 UTC по 18.26. результаты измерений от датчиков ДВО-2 и ДВО-4 остаются схожи между собой, в то время, как облакомер CL-31 определяет уровень ВНГО гораздо выше. В дальнейшем, до конца наблюдений данные измерений трёх датчиков имеют хорошую сходимость.

С 00.00 UTC по 02.59 наблюдаются осадки в виде слабого снега. С 00.00 UTC по 02.59 наблюдается сильный снег. С 00.00 UTC по 23.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. С

12.30 UTC по 23.59 наблюдаются осадки в виде слабого снега. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 40 до 840 м.

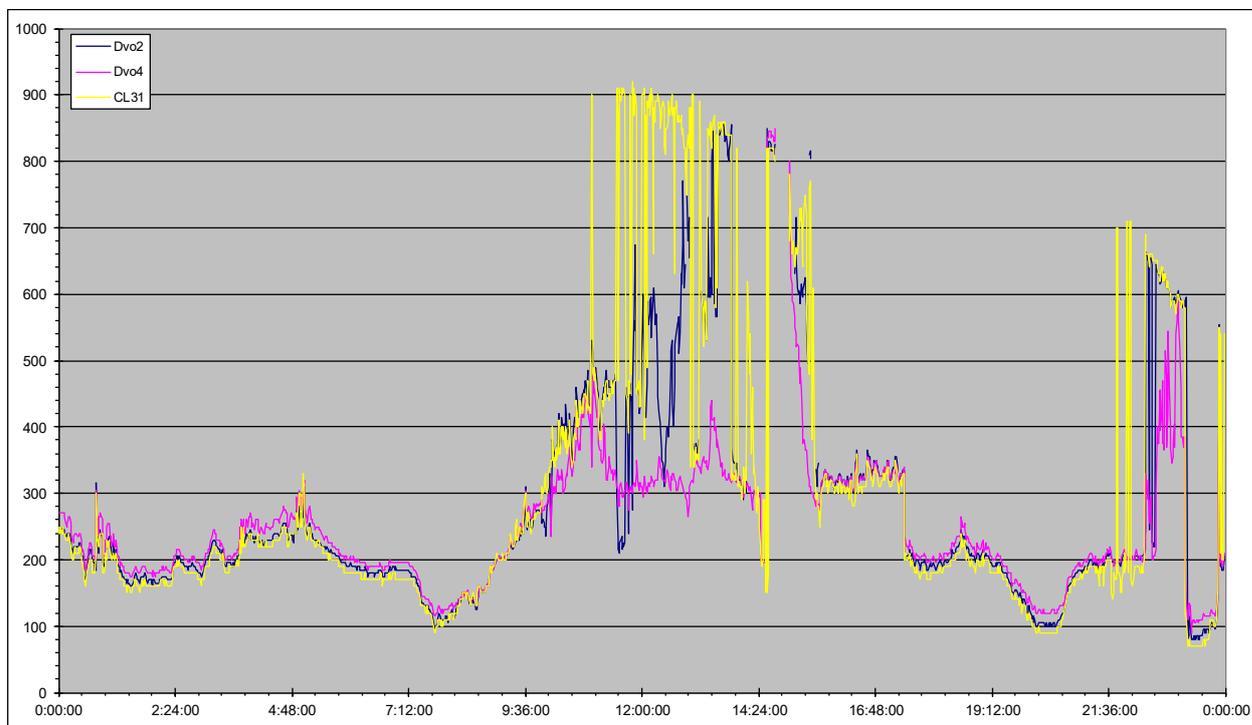


Рис 3.36 График положения ВНГО от 23.12.2010.

На рис 3.26 отображена хорошая сходимость полученных данных изменения ВНГО в пределах от 90 до 480 м, в периоде измерений с 00.00 UTC по 11.28 от трёх облакомеров. С 11.29 UTC по 15.28 данные измерений имеют значительную расходимость, в этот же период часть данных отсутствует. С 15.29 UTC по 22.28 показатели имеют большую разницу в значениях. С 22.29 UTC по 23.59 данные измерений имеют схожесть между собой. С 00.00 UTC по 02.59 наблюдается слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 00.00 UTC по 15.29 наблюдаются осадки в виде слабого снега. С 03.00 UTC по 11.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 12.00 UTC по 14.59 наблюдались высоко-кучевая, слоисто-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая формы облачности. С 15.00 UTC по 23.59 наблюдается слоисто-кучевая,

разорванно-дождевая формы облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 90 до 900 м.

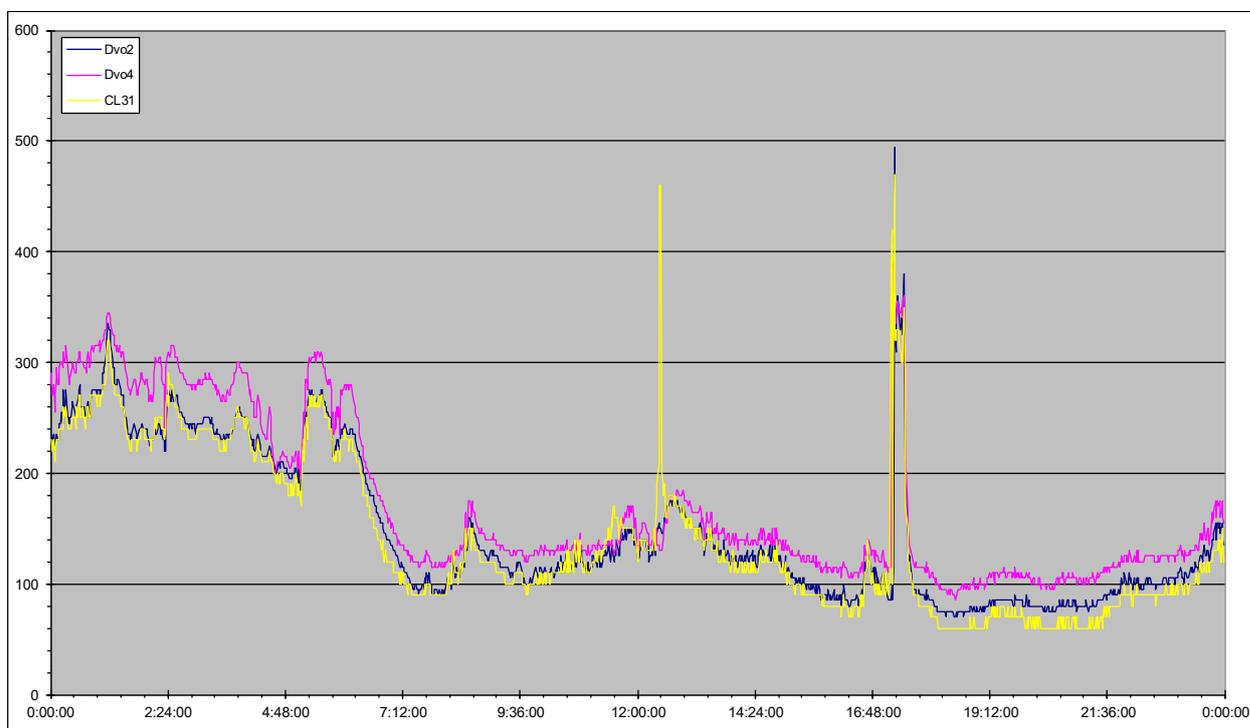


Рис 3.37 График положения ВНГО от 18.01.2011.

На рис 3.37 отображается хорошая сходимость результатов наблюдений за ВНГО от всех трёх датчиков, несмотря на довольно сильную изменчивость уровня высоты облачности от 60 до 390 м. С 00.00 UTC по 00.59 наблюдаются осадки в виде слабого снега. С 00.00 UTC по 02.59 наблюдались слоисто-кучевая и кучево-дождевая формы облачности. С 01.00 UTC по 01.59 наблюдаются осадки в виде сильного снега. С 02.00 UTC по 23.59 наблюдаются осадки в виде слабого снега. С 03.00 UTC по 05.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 06.00 UTC по 08.59 наблюдается слоисто-кучевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 09.00 UTC по 14.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая формы облачности. С 15.00 UTC по 17.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 18.00 UTC по 20.59 наблюдается слоисто-кучевая, разорванно-

дождевая формы облачности. С 21.00 UTC по 23.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 60 до 390 м.

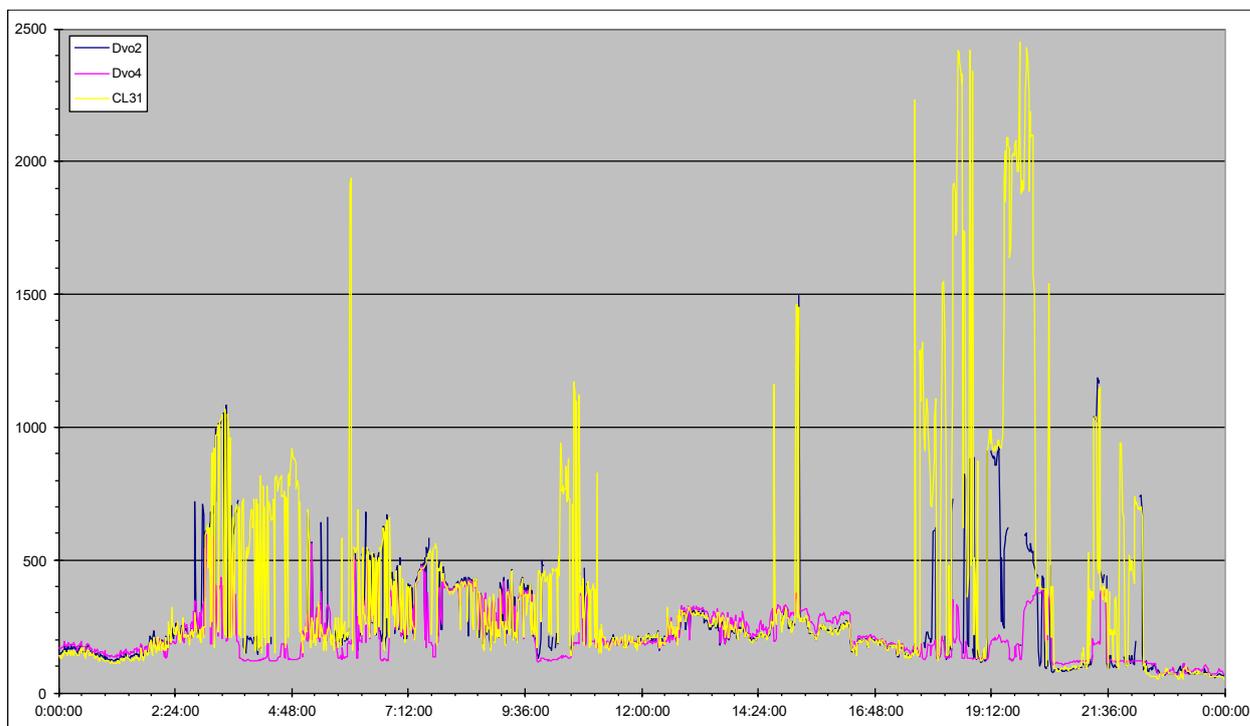


Рис 3.38 График положения ВНГО от 19.01.2011.

На рис 3.38 представлена интенсивная изменчивость уровня ВНГО от 50 до 2400 м. Наибольшая сходимости результатов наблюдений между тремя датчиками при уровне ВНГО порядка 200м, выше этого уровня наблюдается значительное расхождение между показаниями от облакомеров. Часть данных от датчика ДВО-2 отсутствует. С 00.00 UTC по 23.59 наблюдаются осадки в виде слабого снега. С 00.00 UTC по 11.59 наблюдается кучево-дождевая, разорванно-дождевая формы облачности. С 12.00 UTC по 14.59 наблюдались слоисто-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая формы облачности. С 15.00 UTC по 17.59 наблюдались высоко-кучевая, разорванно-дождевая и кучево-дождевая формы облачности. С 18.00 UTC по

20.59 наблюдались высоко-кучевая и кучево-дождевая формы облачности. С 21.00 UTC по 23.59 наблюдались высоко-кучевая форма облачности. Параметры нахождения ВНГО в пределах от 50 до 2400 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На результаты наблюдений за изменениями ВНГО, большое влияние оказывают наблюдаемые атмосферные явления и форма облачности.

В результате проведенной работы выполнены следующие задачи:

- были собраны и архивированы данные изменения ВНГО, полученные от облакомеров СL-31, ДВО-2, ДВО-4 за один год;
- был создан электронный архив данных наблюдаемых атмосферных явлениях и форм облачности;
- по данным изменений ВНГО были построены графики.

При анализе графиков изменения ВНГО и вычисленных погрешностей измерений нижней границы облачности сделаны следующие выводы:

- наибольшая погрешность измерений проявляется в осадках;
- величина погрешности зависит от вида осадков, при твердых осадках погрешность увеличивается;
- погрешность измерения ВНГО также от интенсивности осадков, во время переходного периода, когда интенсивность осадков слабая, погрешность имеет максимальное значение, при увеличении интенсивности осадков погрешность уменьшается;
- при наличии слабых осадков датчики ДВО-2, ДВО-4 фиксируют осадки и квалифицируют слой осадков как нижнюю границу облачности, при этом датчик СL-31 слабые осадки не фиксирует, но определяет уровень ВНГО;
- при средней интенсивности осадков датчики СL-31, ДВО-2, ДВО-4 могут фиксировать или ВНГО или слой осадков, соответственно на графике отображается (гребёнка), то есть поочерёдно сигнал от ВНГО, то наличия

осадков;

- при условиях тумана, видимости менее 50-200 м облакомеры CL-31, ДВО-2, ДВО-4 дают очень близкие результаты измерений ВНГО;

- в зимний период, при выпадении изморози кристаллической датчики ДВО фиксируют слой выпадающей изморози как ВНГО, CL-31 в меньшей степени реагирует на кристаллы изморози;

- при отсутствии каких либо осадков и независимо от формы облачности приборы CL-31, ДВО-2, ДВО-4 показывают хорошую сходимость результатов измерений ВНГО;

- датчики CL-31, ДВО-2 при условии низкой видимости (тумана), сильных осадков (снег или дождь), низкой облачности показали практически одинаковые результаты измерений погрешность измерения ВНГО до 200 метров $\pm 8,4\%$;

- Увеличение погрешности измерения ВНГО при слабых осадках, происходит при облачности выше 200 метров и при условиях осадков в виде «изморози кристаллической» за счет фиксации слоя осадков приборами ДВО, т.е. «занижения» ВНГО.

Получены следующие значения погрешности от результатов измерения ВНГО:

а) По диапазонам высоты

1. 601-1000 метров	$\pm 11,34\%$	25920 измерений
2. 201-600 метров	$\pm 9,54\%$	67267 измерений
3. 61-200 метров	$\pm 8,4\%$	37130 измерений
4. <61 метра	$\pm 8,04\%$	2324 измерения
5. >1001 метра	$\pm 4,95\%$	26325 измерений

б) по временам года

1. Зима	$\pm 10,47\%$	34074 измерений
2. Лето	$\pm 9,28\%$	13235 измерений
3. Осень	$\pm 7,95\%$	70352 измерения
4. Весна	$\pm 6,06\%$	41305 измерений

СПИСОК ЛИТЕРАУРЫ

1. Логинов В.Ф., Микушкина В.С. Изменение климата Тренды, циклы, паузы. - Минск : Беларуская навука, 2017. - 179 с.
2. Кузнецов А.Д., Саенко А.Г., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Алгоритмы поиска момента смены тренда во временных рядах метеорологических величин // Вестник Тверского государственного университета № 3 , 2019, Серия «Прикладная математика» С. 74-89.
3. Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Влияние метрик на определение точек бифуркации во временных рядах метеорологических величин // Гидрометеорология и экология (Ученые записки РГГМУ), — СПб: изд-во РГГМУ, 2020. — № 59, с. 28 – 40.
4. Рекомендации ИКАО. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Приложение 3 к Конвенции о международной гражданской авиации. Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации, часть 1. Основные SARPS, часть II, Добавления и дополнения. Изд. пятнадцатое – июль 2004.
5. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Автоматические метеорологические станции. Часть 1. Тактико-технические характеристики. Учебное пособие. СПб.: РГГМУ, 2016. – 195 с.