

Автономные метеостанции для беспилотных летательных аппаратов. Предварительные результаты измерений профилей метеорологических величин

В.А. Корольков, К.Н.Пустовалов, А.Е. Тельминов, А.А. Тихомиров, Кураков С.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН

Томск-2018

Беспилотный летательный аппарат мультикоптерного типа DJI S900

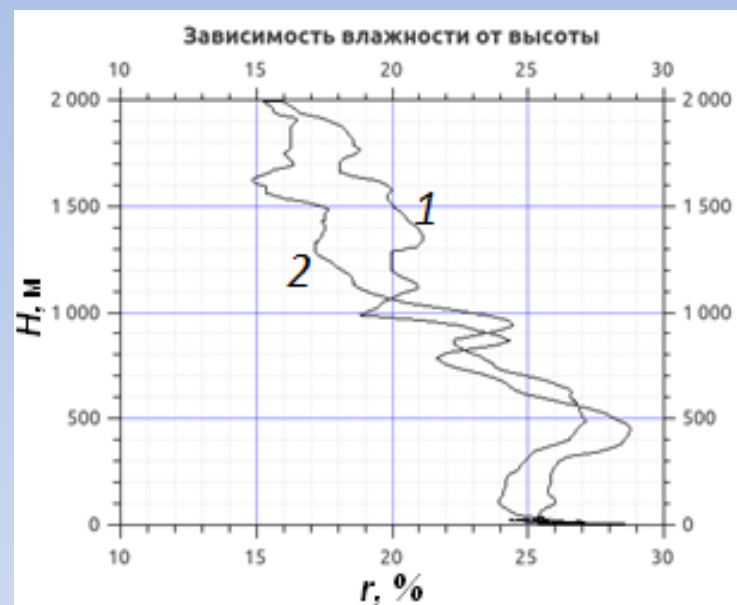
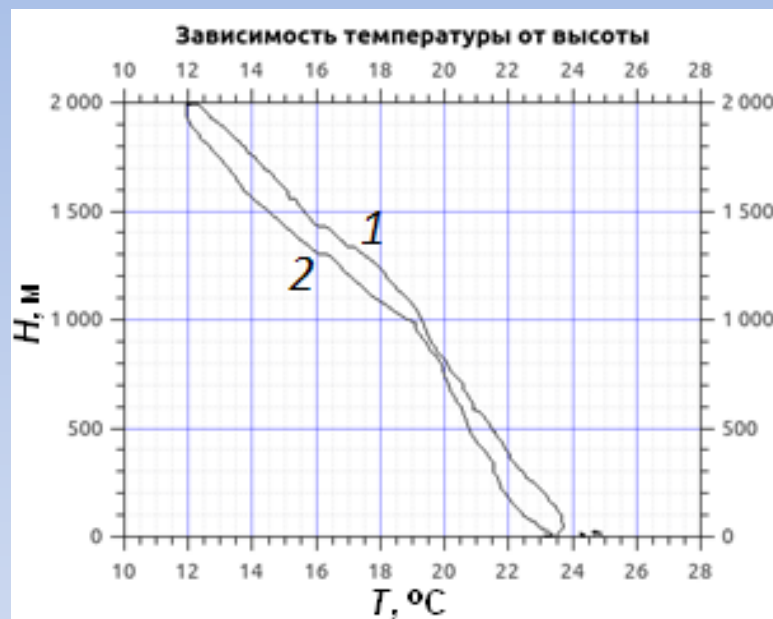


АМС ПЭМС/БПЛА: 1– измерительный блок в радиационной защите с датчиками температуры и относительной влажности; 2– основная часть АМС; 3–навигационный блок GPS; 4–гексакоптерDJI S900

Параметр	Значение
количество роторов	6
размах по осям	900 мм
максимальный полетный вес	8,2 кг
масса без аккумуляторов	3,3 кг
полезная нагрузка	3,2 кг
тип используемых аккумуляторов	LiPo (6S, 10000mAh+, 15C+)
максимальная потребляемая мощность	3 кВт
потребляемая мощность при удержании позиции (6,8 кг полетного веса)	1 кВт
время полета (6,8 кг, аккумулятор 12000 мА×ч)	18 мин
рабочая температура окружающей среды	-10 °C ~ +40 °C
максимальный ток одного двигателя	40 А
минимальное количество видимых спутников для включения режима GPS	5
точность зависания (в режиме GPS)	
вертикальная	0,5 м
горизонтальная	2,5 м
несущая частота приемопередатчиков	2,4 ГГц
максимальная скорость взлета	5 м/с
максимальная скорость спуска	4 м/с
максимальная скорость горизонтальная в режиме АТТИ	22 м/с
дальность связи (в условиях прямой видимости)	не менее 700 м
максимальная скорость бокового ветра	не более 15 м/с

Параметр	Значение
Диапазон измерения температуры воздуха T , °C	минус 50 ... +50
Погрешность измерения температуры, °C	$\pm 0,2$ при $T \leq +30$ °C; $\pm 0,3$ при $T > +30$ °C
Диапазон измерения относительной влажности, %	15 ... 100
Погрешность измерения относительной влажности, %	± 2 при $T > 0$ °C; ± 5 при $T < 0$ °C
Диапазон измерения атмосферного давления, мм рт. ст.	520 ... 800
Погрешность измерения давления, мм рт. ст.	$\pm 0,5$

Профили метеовеличин полученные с помощью гексакоптера DJI S900



Результаты измерений вертикальных профилей температуры (а) и относительной влажности (б) с помощью ПЭМС/БПЛА в сентябре 2016 г. при подъеме (1) и спуске (2)

Расхождение результатов измерений по температуре в пределах $\sim 1^\circ\text{C}$ и по относительной влажности до 5% для подъема и спуска объясняются инерционностью электронных датчиков

Гибридный аэростат «Колибри»



К-25М-А

Объём газа, м ³	23,60
Ширина аэростата, м	3,70
Длина аэростата, м	6,80
Высота оболочки, м	2,60
Масса аппарата, кг	10,60
Диаметр троса (кевлар), мм	3,5
Высота подъёма, м	1000
Масса полезной нагрузки, кг	12,50
Макс. скорость ветра у земли при спуске/подъёме, м/с	12
Макс. скорость ветра на рабочей высоте, м/с	30
Количество баллонов гелия (40 л, 150 Атм), на одну заправку, шт.	5
Габариты при транспортировке, м	3,0 x 1,52 x 0,45

Разработка ОСКБЭС МАИ

<http://oskbes.ru/kolibri.html>

сочетает в себе свойства аэростата и воздушного змея: в ветер на аэростат действует кроме аэростатической силы аэродинамическая подъёмная сила

Автоматический метеорологический комплекс АМК-03

Измеряемая величина (обозначение)	Диапазон измерения, в пределах	Допускаемая основная погрешность измерения, в пределах
1. Температура воздуха (T)	от минус 50 °C до плюс 55 °C	$\pm 0,3$ °C, при $T \leq +30$ °C; $\pm 0,5$ °C, при $T > +30$ °C
2. Скорость горизонтального ветра (V)	от 0.1 м/сек до 40 м/сек	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
3. Направление горизонтального ветра (D)	от 0 до 360°	$\pm 4^\circ$
4. Скорость вертикального ветра (W)	от минус 15 м/сек до плюс 15 м/сек	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
5. Относительная влажность воздуха (R)	от 5 до 100 %	$\pm 2,5$ % при $T > 0$ °C; ± 5 % при $T \leq 0$ °C
6. Атмосферное давление (P)	от 693 до 1067 гПа (от 560 до 800 мм.рт.ст.)	± 1 гПа ($\pm 0,4$ мм.рт.ст.)



АМК-03 установленный на полигоне «Фоновый»

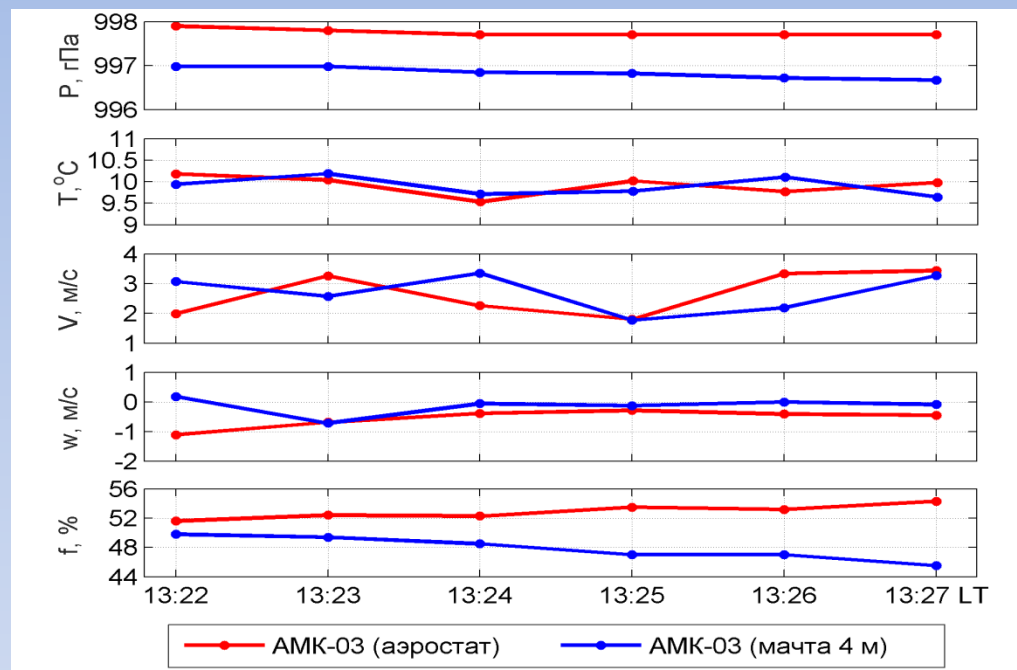


Дальность связи на открытой местности	до 1500 м
Рабочая частота	2.4 ГГц
Напряжение питания	2.8 - 3.4 В
Ток передачи	до 227 мА (3,0 В)
Диапазон температур	от -40 до 85 °C
Скорость передачи	250 000 бит/с



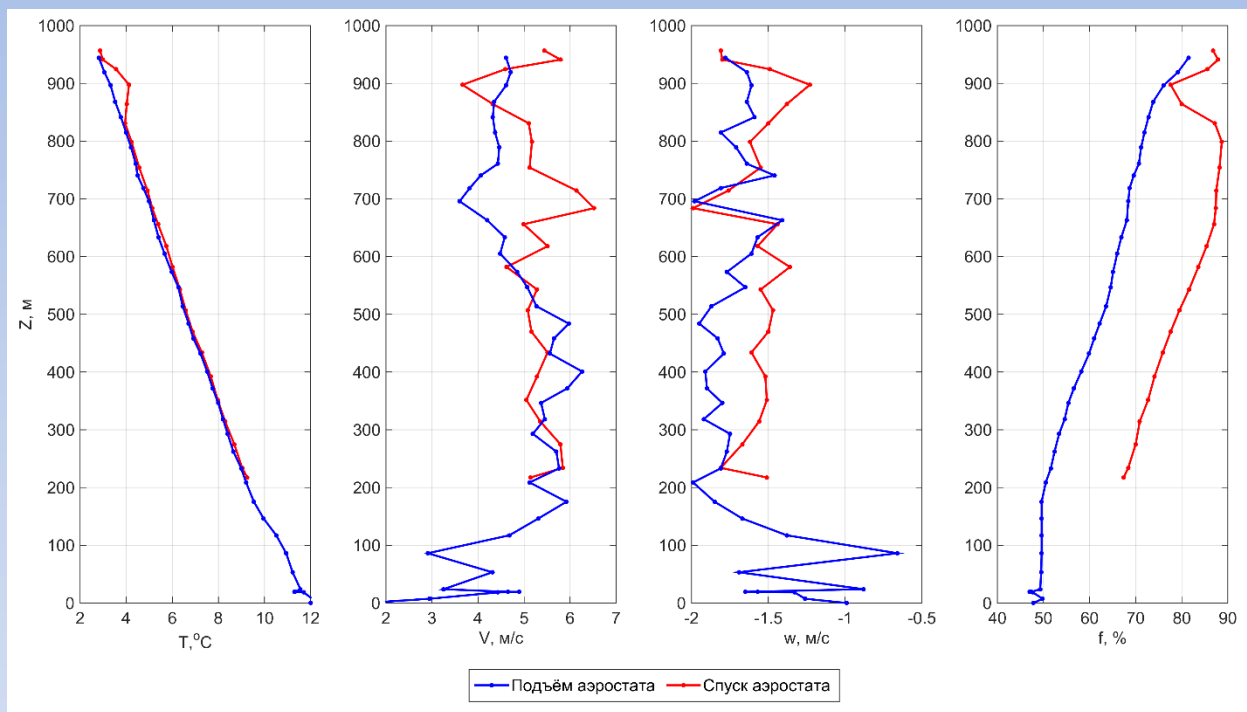
Томск-2018

Сравнение наземной и аэростатной АМК-03



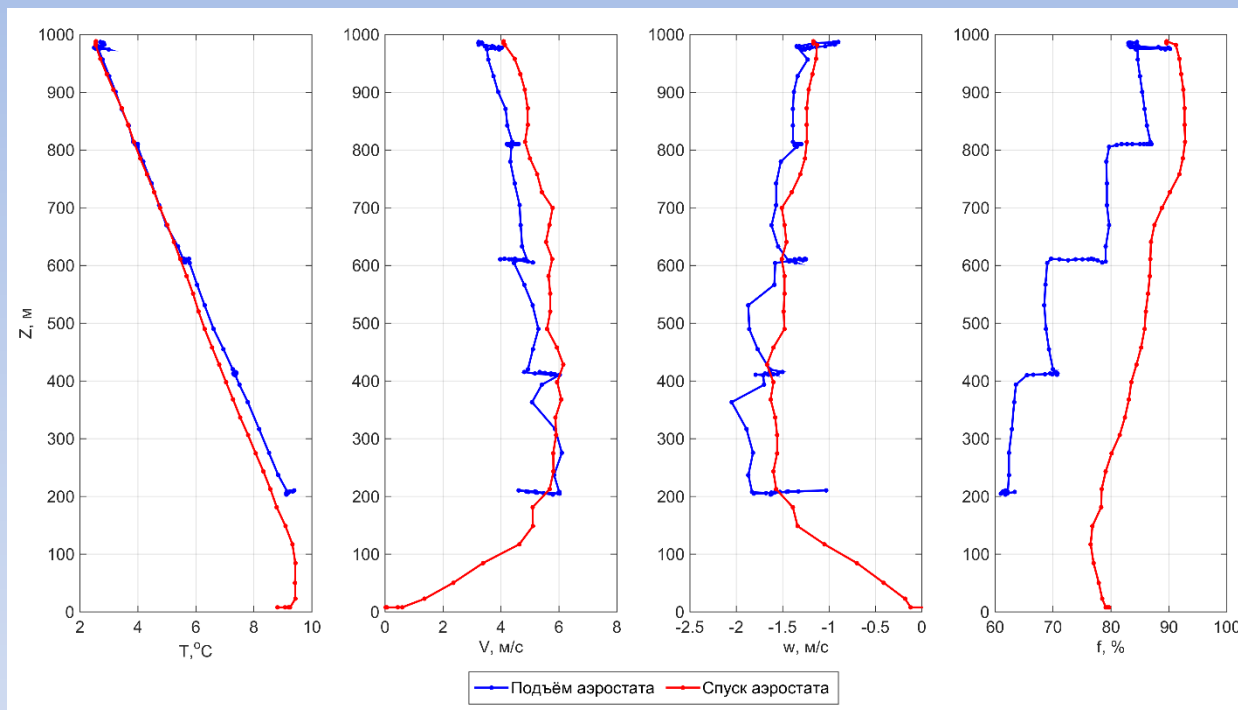
Динамика атмосферного давления (P), температуры воздуха (T), скорости горизонтальной (V) и вертикальной (w) составляющих ветра, и относительной влажности (f), измеренная аэростатной и стационарной автоматическими метеостанциями АМК-03 на высоте 4 м.

Изменение температуры воздуха (T), скорости горизонтальной (V) и вертикальной (w) составляющих ветра, и относительной влажности (f) с высотой (Z), измеренное аэростатной автоматической метеостанцией АМК-03 на этапах подъёма и спуска аэростата в ходе запуска № 1 (6 сентября 2017 г., 16:30–17:32).



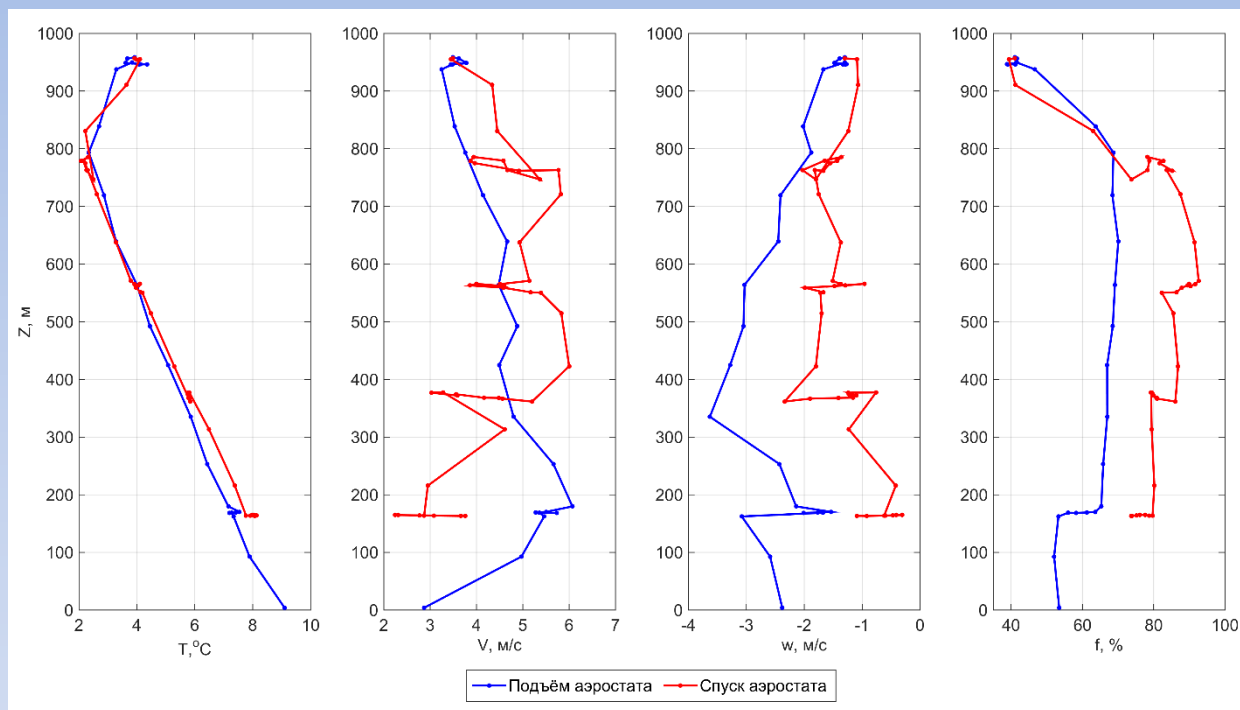
подъем аэростата от подстилающей поверхности до высоты ~ 960 метров со скоростью ≈ 30 м/мин и последующий спуск до высоты 200 м с той же скоростью

Изменение температуры воздуха (T), скорости горизонтальной (V) и вертикальной (w) составляющих ветра, и относительной влажности (f) с высотой (Z), измеренное аэростатной автоматической метеостанцией АМК-03 на этапах подъёма и спуска аэростата в ходе запуска № 2 (6 сентября 2017 г., 17:34–19:33).



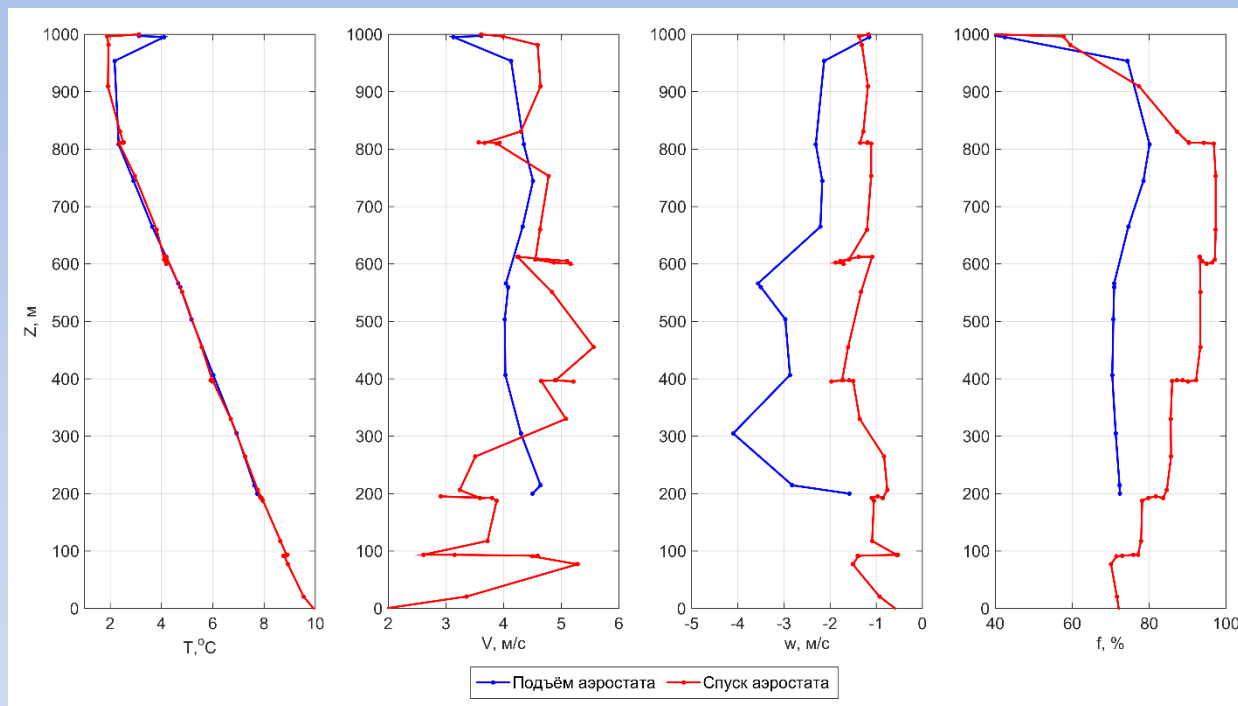
подъём аэростата со скоростью ≈ 30 м/мин от 200 до ~ 990 метров с остановками длительностью 10 минут на высотах ~ 200 , 400, 600, 800 и 990 метров и последующий спуск от уровня 990 метров до подстилающей поверхности;

Изменение температуры воздуха (T), скорости горизонтальной (V) и вертикальной (w) составляющих ветра, и относительной влажности (f) с высотой (Z), измеренное аэростатной автоматической метеостанцией АМК-03 на этапах подъёма и спуска аэростата в ходе запуска № 3 (7 сентября 2017 г., 13:29–14:33)



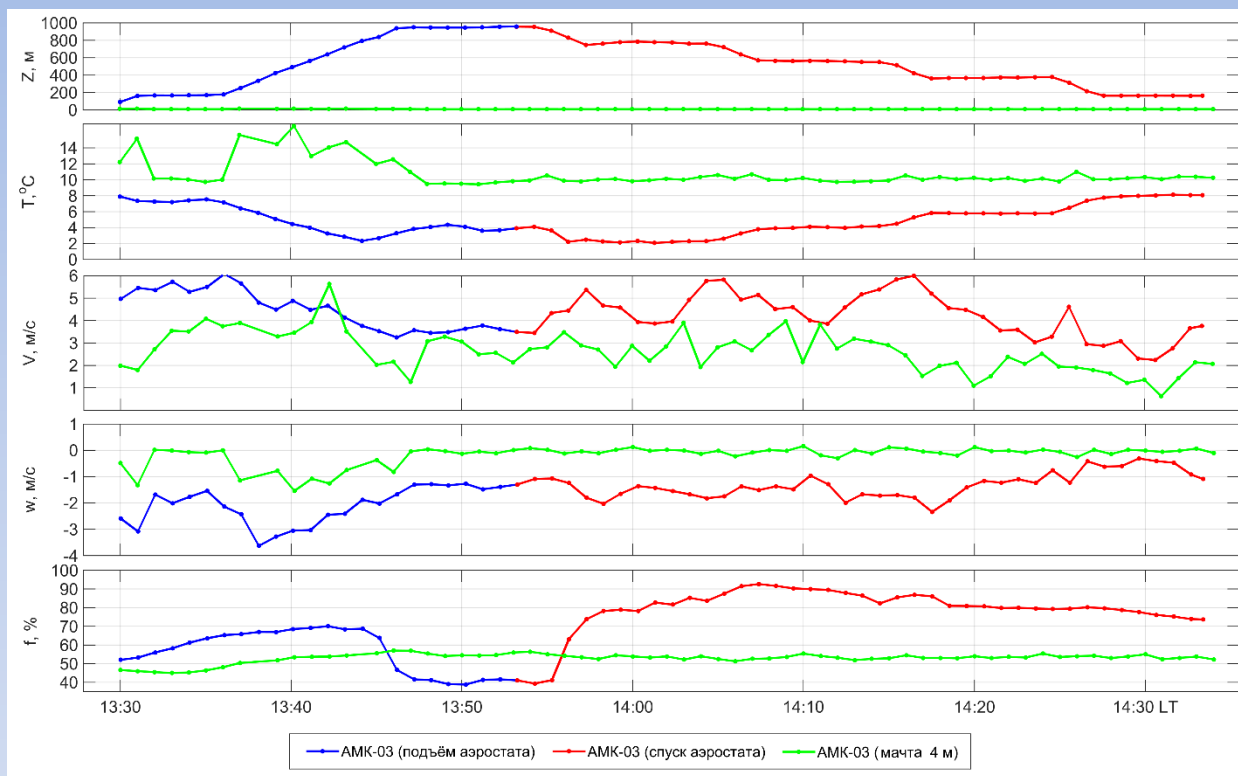
подъём аэростата от подстилающей поверхности до высоты ~ 960 метров со скоростью ≈ 100 м/мин и последующий спуск до высоты 200 метров с остановками длительностью 5 минут на высотах $\sim 960, 800, 600, 400$ и 200 м.

Изменение температуры воздуха (T), скорости горизонтальной (V) и вертикальной (w) составляющих ветра, и относительной влажности (f) с высотой (Z), измеренное аэростатной автоматической метеостанцией АМК-03 на этапах подъёма и спуска аэростата в ходе запуска № 4 (7 сентября 2017 г., 14:35–15:31)



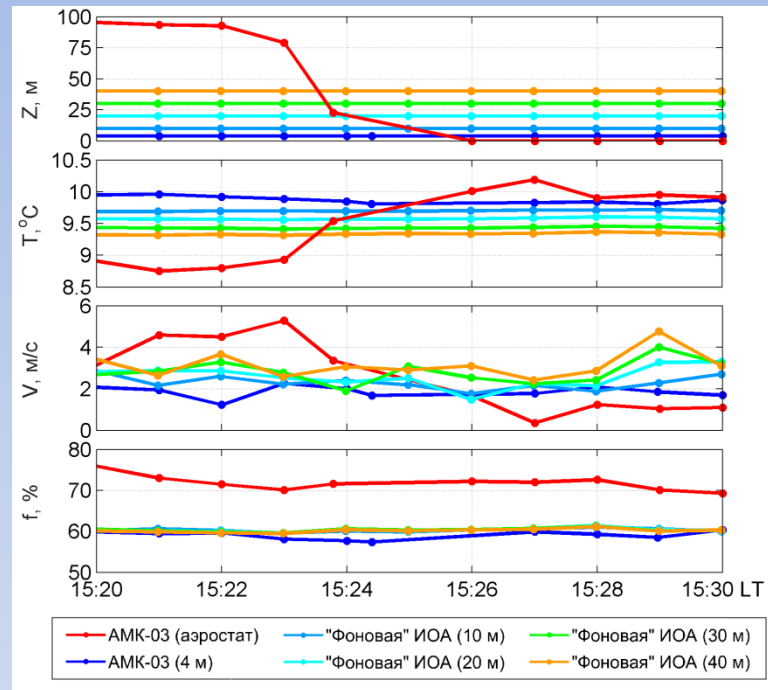
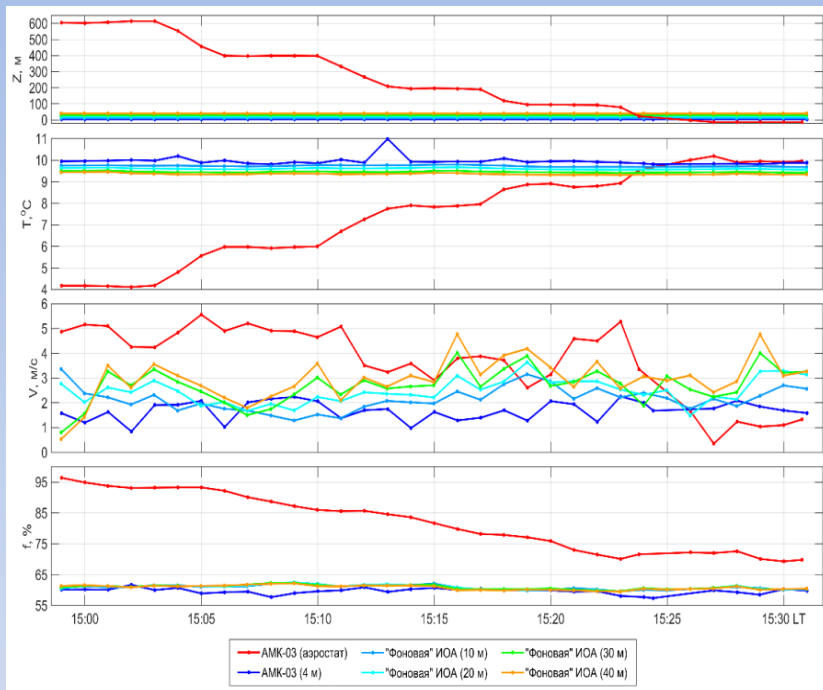
подъём аэростата от уровня ~ 200 м до высоты ~ 1000 метров со скоростью ≈ 100 м/мин и последующий спуск до подстилающей поверхности с остановками длительностью 3 минуты на высотах $\sim 1000, 800, 600, 400, 200$ и 100 м.

Сравнение данных на этапах подъема и спуска со стационарной АМК-03



Высота аэростатной (на этапах подъёма и спуска) и стационарной (мачта 4 м) автоматических метеостанций АМК-03, а также измеренная ими динамика значений температуры воздуха (T), скорости горизонтальной (V) и вертикальной (W) составляющих ветра, и относительной влажности (f) в ходе запуска № 3 (7 сентября 2017 г., 13:29–14:33).

Сравнение данных на этапах подъема и спуска со стационарной АМК-03 и датчиков измерительного комплекса обсерватории «Фоновая» ИОА СО РАН



Высота аэростатной и стационарной (мачта 4 м) автоматических метеостанций АМК-03, и датчиков измерительного комплекса обсерватории «Фоновая» ИОА СО РАН (на высотах 10, 20, 30 и 40 м), а также измеренная ими динамика значений температуры воздуха (T), скорости горизонтальной (V) и вертикальной (w) составляющих ветра, и относительной влажности (f) на последнем этапе запуска № 4 (7 сентября 2017 г., 14:49–15:31).

Выводы

1. Метод применим для получения вертикальных профилей температуры воздуха, скорости горизонтальной составляющей ветра, и относительной влажности.
2. Для измерения вертикальной составляющей ветра необходимо АМК-03 относить как можно дальше от оболочки аэростата.
3. Для получения корректных данных относительной влажности воздуха необходимо производить остановки с зависанием не менее 5 мин.
4. Влияние изменений атмосферных условий на измеряемые значения профилей метеорологических величин в АПС с помощью аэростатной УАМС, как правило, является несущественным за период времени ~60 мин.