

Результаты измерения микроволнового фонового излучения в горах Кабардино- Балкарии и Карачаево-Черкесии

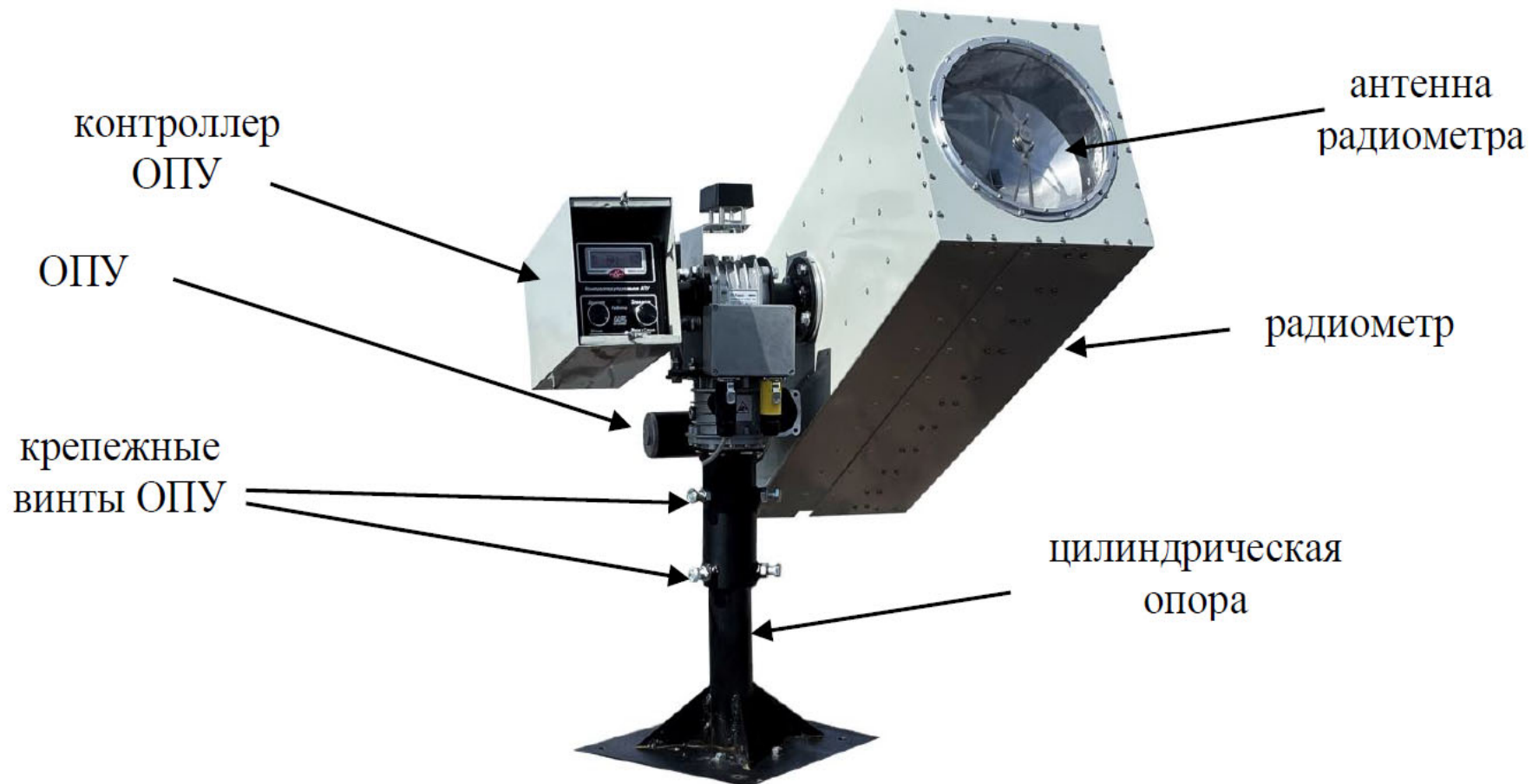
В.О. Гладышев, А.Н. Глотов, В.Л. Кауц, А.В. Каютенко,
П.П. Николаев, Е.А. Шарандин
*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Москва*

В.Ф. Вдовин, И.В. Леснов, К.В. Минеев
*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова
РАН, Нижний Новгород*

А.С. Марухно
*Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
Нижний Архыз*



Радиометр

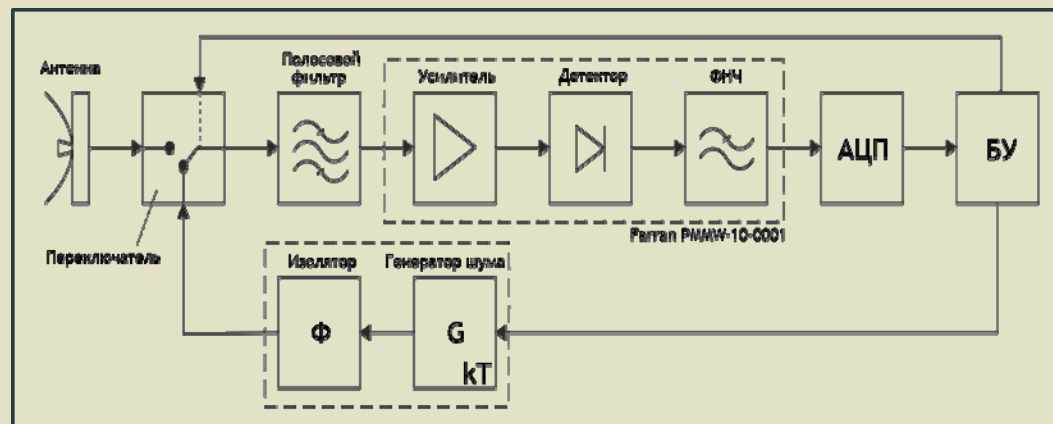


Технические характеристики

- ♦ рабочая полоса 75...110 ГГц,
- ♦ рабочие полосы частот полосовых фильтров 75...86 ГГц, 86...98 ГГц и 98...110 ГГц,
- ♦ шумовая температура не более 1000 К,
- ♦ флуктуационная чувствительность при времени накопления 60 с не более 1 мК,
- ♦ диапазон изменения азимутальных углов 0...360°,
- ♦ диапазон изменения углов места 0...90°,
- ♦ диаметр основного зеркала антенны 200 мм,
- ♦ ширина диаграммы направленности не более 1,2°,
- ♦ уровень боковых лепестков диаграммы направленности антенны в рабочей полосе частот не более -20 дБ,
- ♦ диапазон рабочих температур от -20 до +40 °С,
- ♦ масса 40 кг.

Блок-схема радиометра

Радиометр реликтового излучения построен по модуляционной схеме (схема Дикке). Такая схема позволяет устранить влияние изменений постоянной составляющей собственных шумов радиометра на точность измерений.



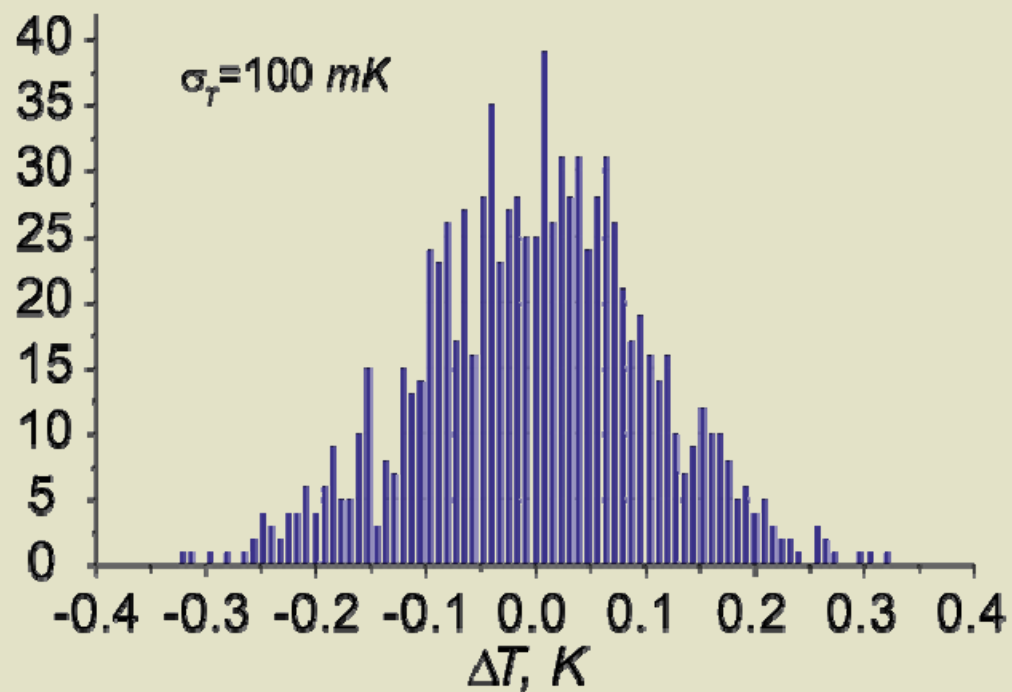
$$\Delta T = \frac{T_A + T_N}{\sqrt{0,5\Delta f\tau}}$$
$$S_{\text{пор}} = \frac{2k\Delta T}{A_{\text{эфф}}}$$

$$T_A = 50 \text{ K}$$
$$\Delta f = 35 \text{ ГГц}$$
$$\tau = 60 \text{ с}$$

Особенности

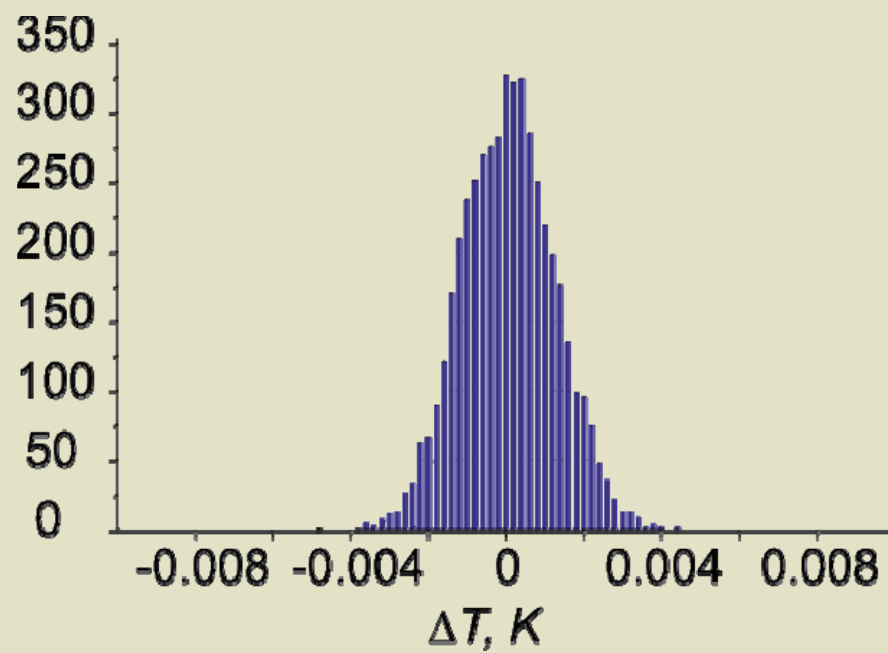
- ◆ Неохлаждаемый приемник прямого усиления, собранный с использованием модуля RMMW-10-0001 (ф. «Farran», Ирландия) с малошумящим УВЧ на входе (коэффициент шума в полосе 75...110 ГГц $K=4$ дБ, шумовая температура не более 450 К),
- ◆ встроенный высокостабильный широкополосный опорный генератор шума (НИФТИ ННГУ, г. Нижний Новгород)) для проведения самокалибровки,
- ◆ Модулятор гибридного типа с оптико-механическим обтюратором в квазиоптическом тракте,
- ◆ Двухзеркальная антенна Кассегрена,
- ◆ Термостабилизация приемно-усилительного модуля и генератора шума,
- ◆ Общая термостабилизация радиометра с принудительной циркуляцией воздуха внутри всего объема,
- ◆ Опорно-поворотное устройство AZ1000VX (ф. «Радант», Россия)
- ◆ Управление, сбор и обработка экспериментальных данных осуществляются в удаленном режиме

Для определения предельно достижимой точности были проведены измерения яркостной температуры в сухую ясную погоду. При проведении измерений радиометр был направлен строго на север, угол места 80° . В процессе измерений температура окружающей среды изменялась в диапазоне $10,2 \dots 11,1^\circ\text{C}$, относительная влажность – $38 \dots 41\%$, давление $742 \dots 743$ мм рт. ст. Облачность была 0 баллов, наблюдалась легкая дымка с видимостью около 19-20 км. Время накопления в радиометре было установлено равным одной минуте.



Гистограмма распределения ошибок регистрации яркостной температуры

Для определения потенциальной разрешающей способности радиометра при времени накопления 60 секунд были произведены длительные измерения уровня сигнала с опорного источника яркостной температуры.

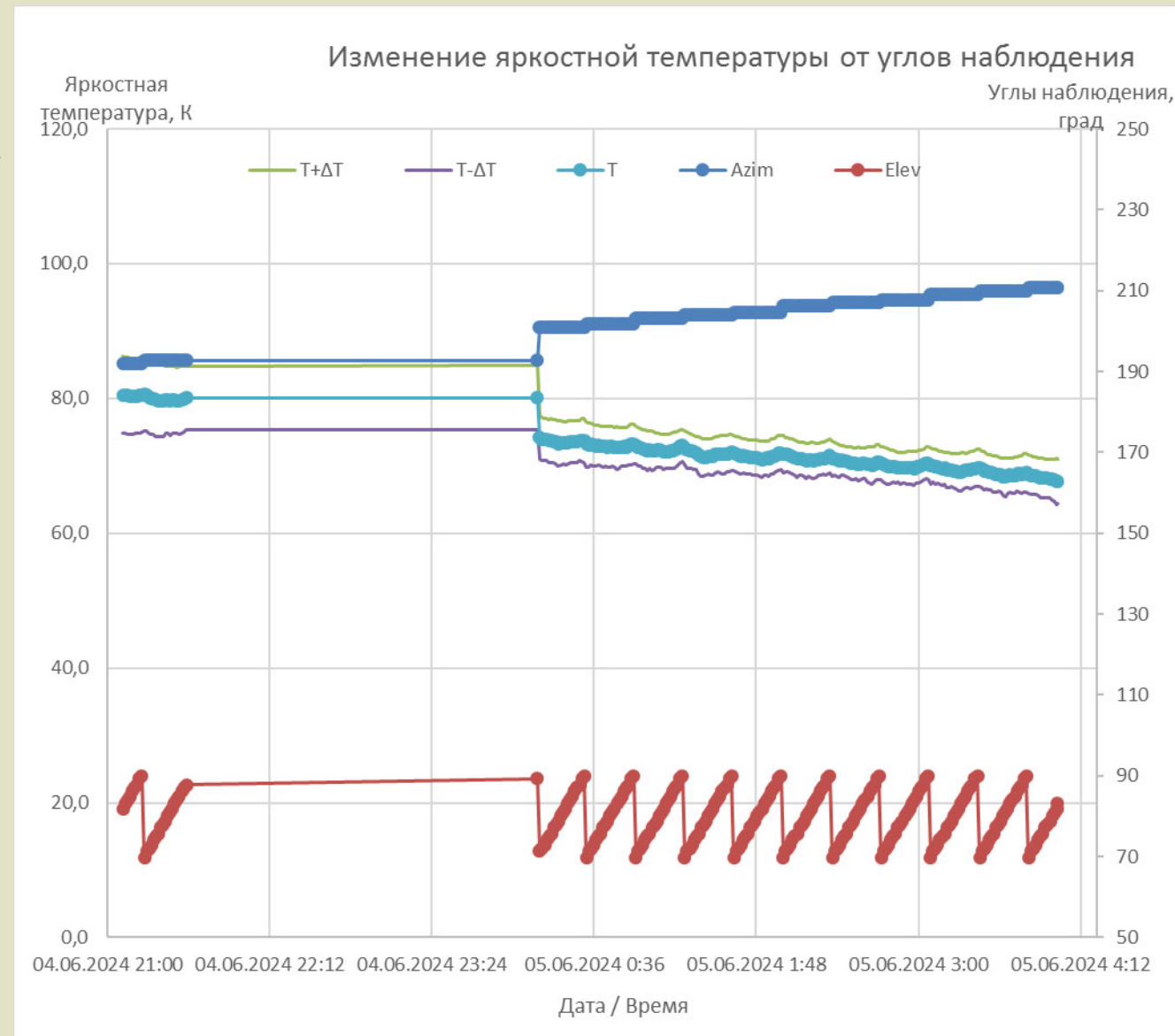
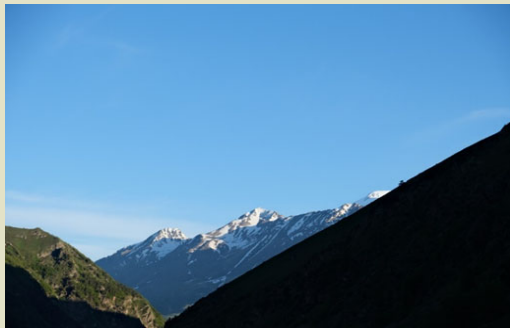


Гистограмма распределения ошибок регистрации сигнала с опорного канала

В июне 2024 г. состоялась экспедиция в республику Кабардино-Балкария, где проводились наблюдения на склоне горы Эльбрус на высоте 3900 м и на учебно-спортивной базе «Джан-Туган» на высоте 2160 м.

Джан-Туган. Высота над уровнем моря 2160 м.

5 июня 2024 года. Ночь-утро. К утру - легкие облака

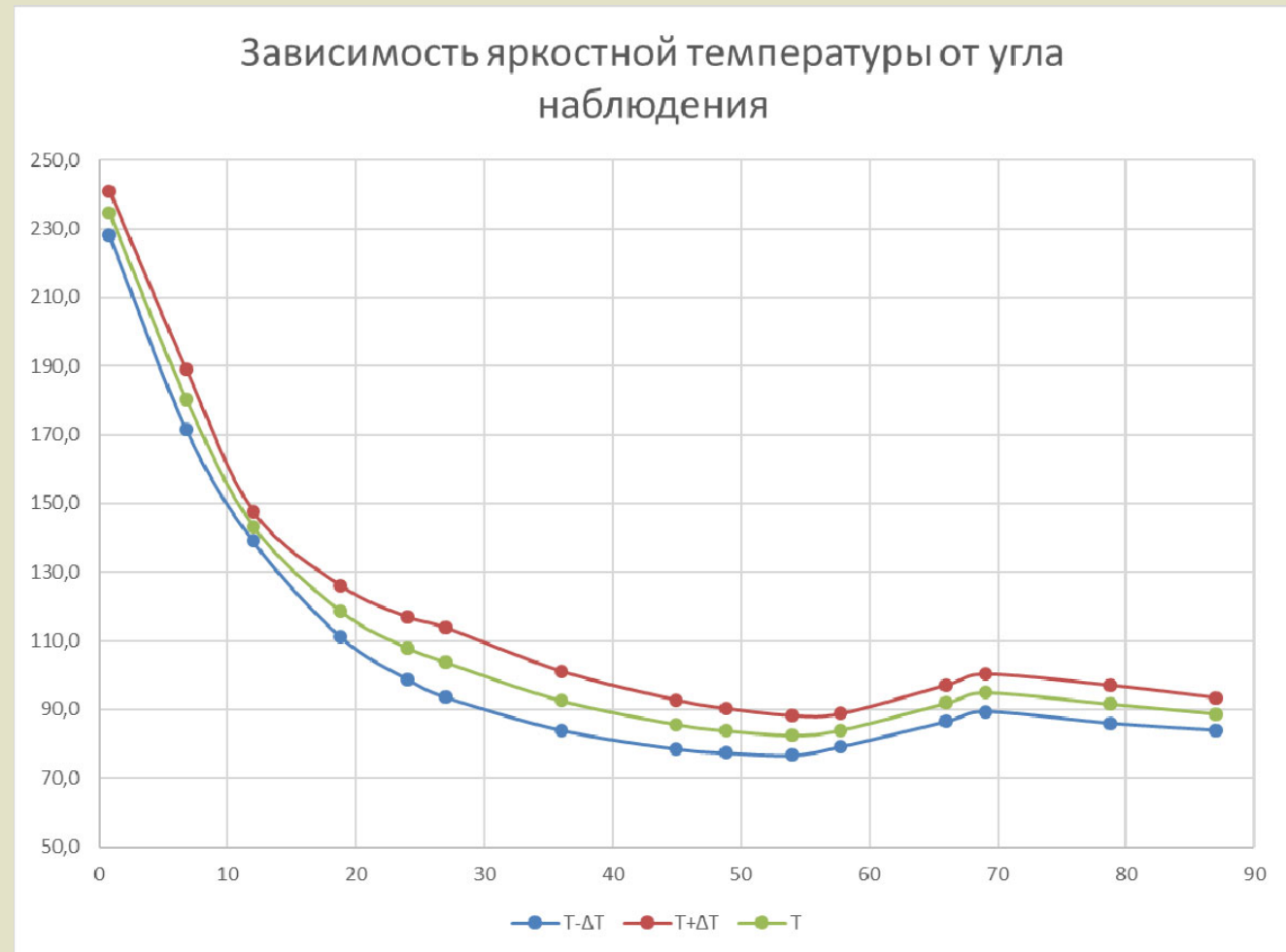


Гора Эльбрус, высота 3900 м над уровнем моря

2 июня 2024 года.

Облачность.

Время накопления 6 сек

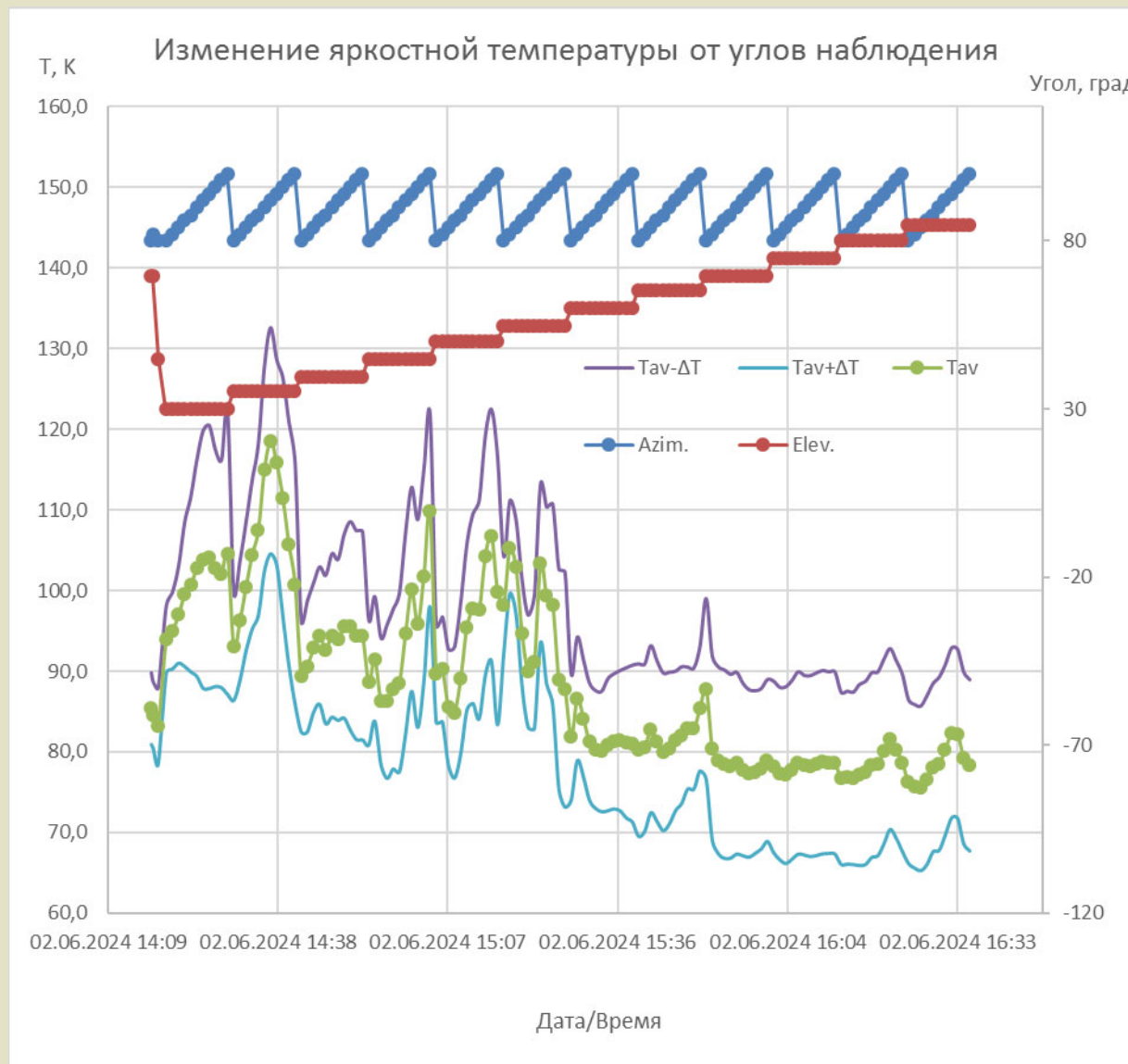


Гора Эльбрус, высота 3900 м над уровнем моря

2 июня 2024 года.

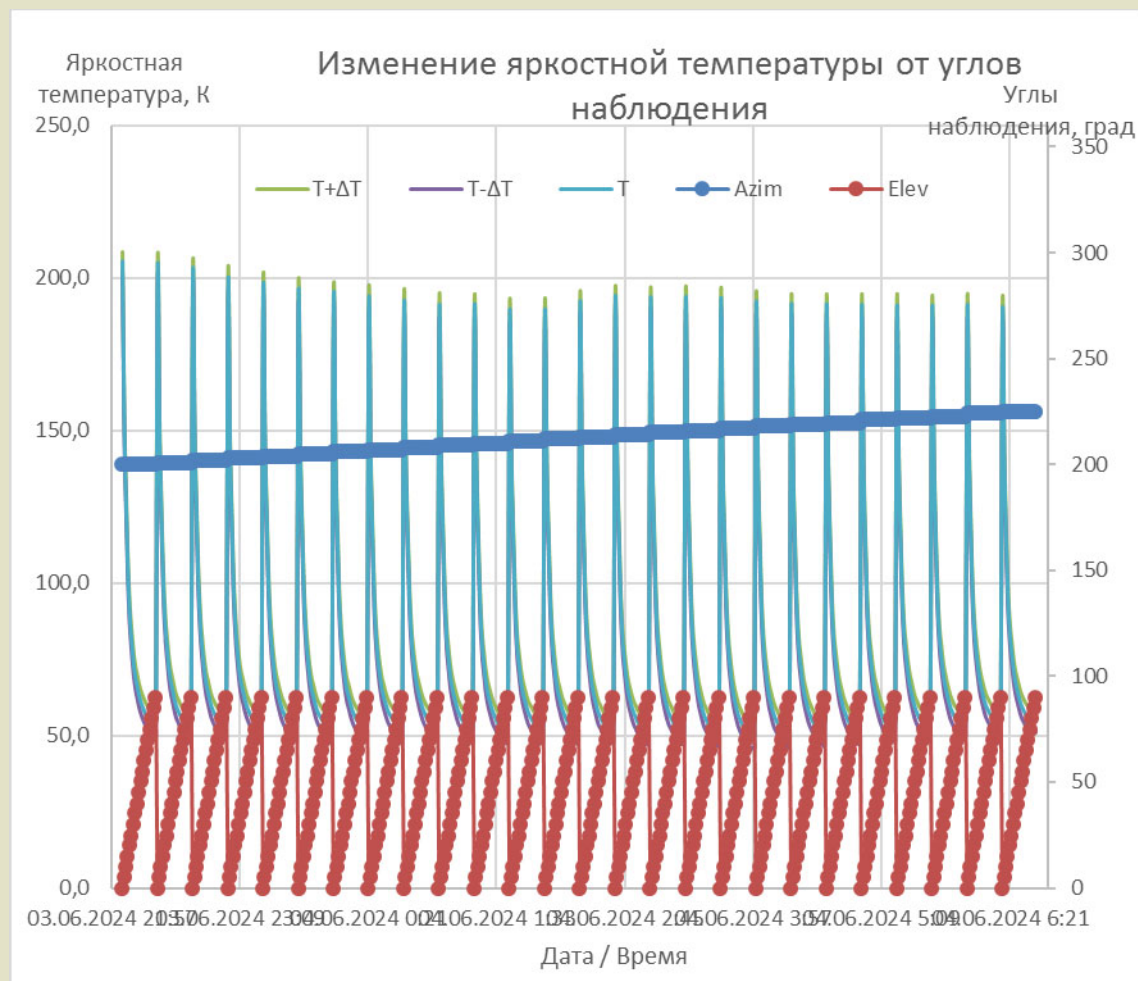
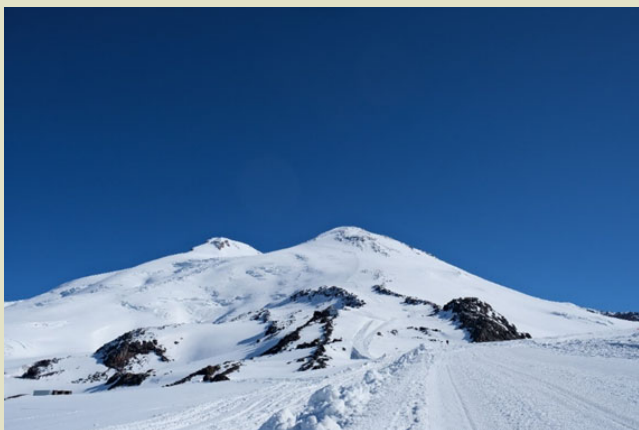
Облачность.

Время накопления 1 мин



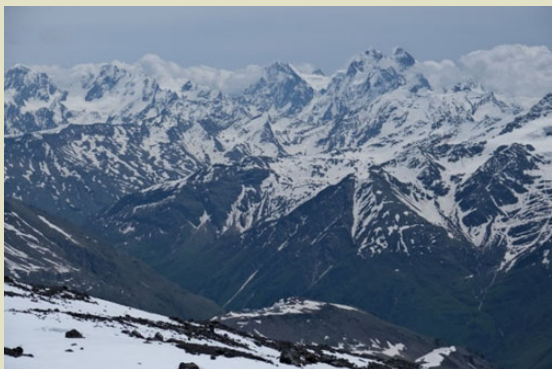
Гора Эльбрус, высота 3900 м над уровнем моря

4 июня 2024 года. Полночь-утро
температура -3°C , отн. влажность - 90%,
облачность - нет.

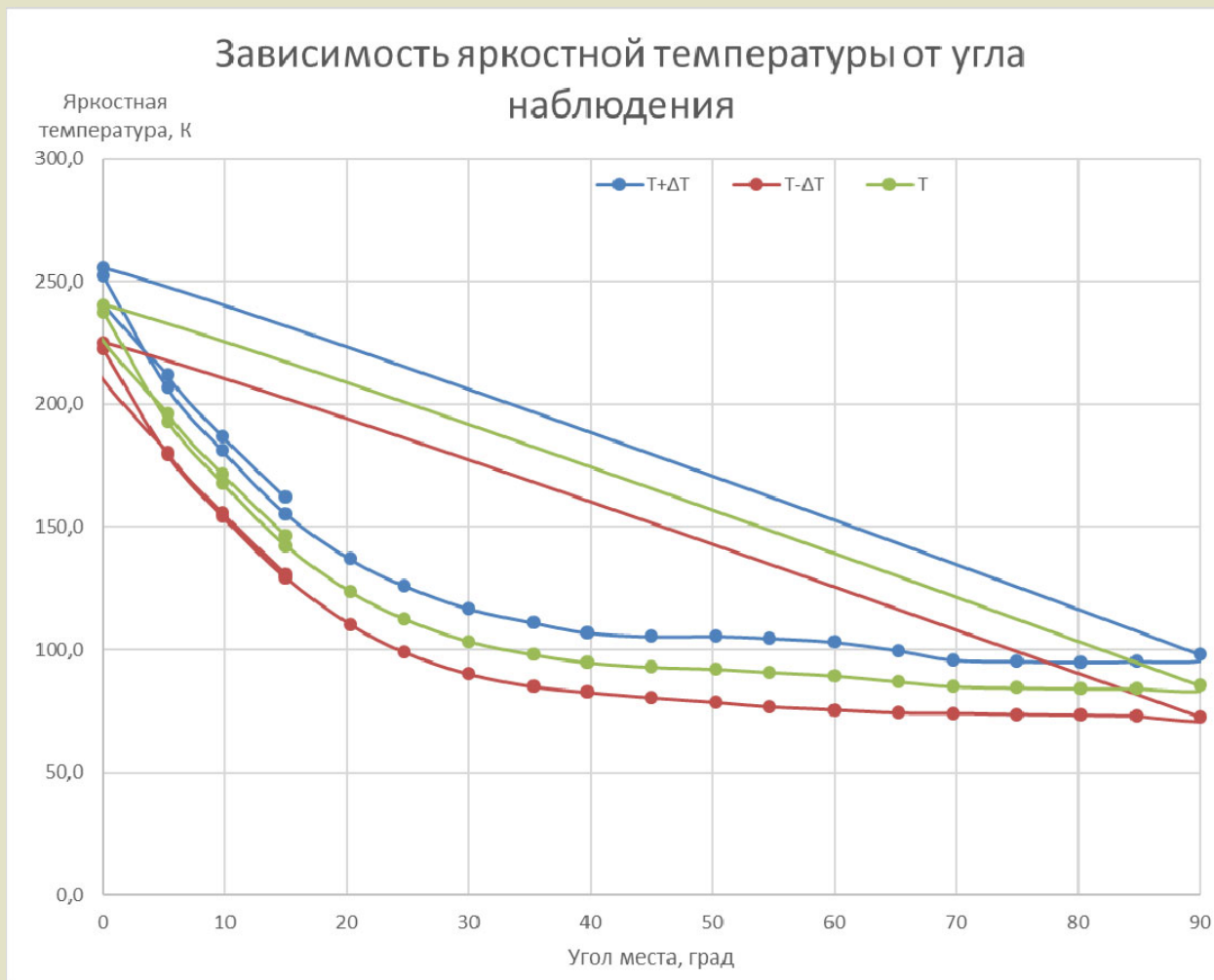


Гора Эльбрус, высота 3900 м над уровнем моря

3 июня 2024 года. 10 утра,
облачность



Результаты повторяются!!!



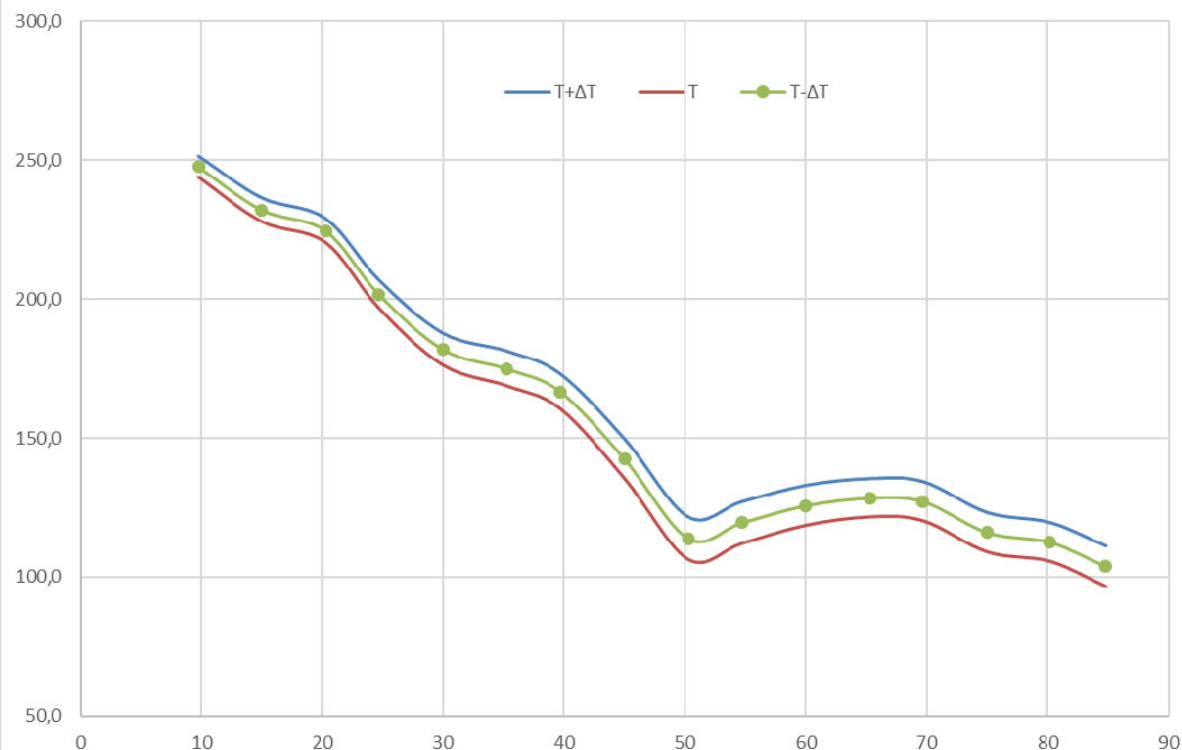
В октябре 2024 г. состоялась экспедиция в республику Карачаево-Черкесия, где проводились наблюдения на территории Специальной астрофизической обсерватории РАН на высоте 2100 м.

Архыз, верхняя гостиница. Высота над уровнем моря 2100 м

3 октября 2024 года. День.
Плотная облачность



Зависимость яркостной температуры от угла наблюдения

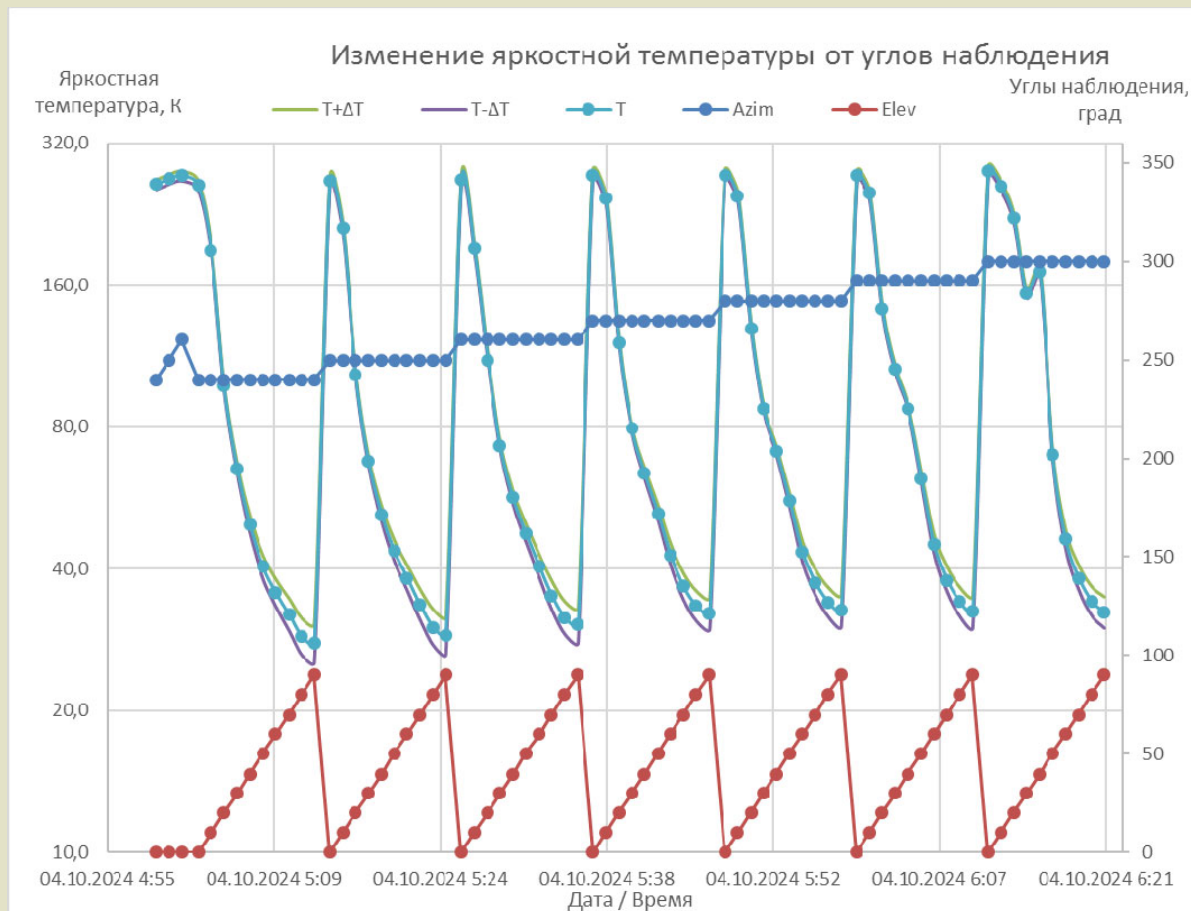
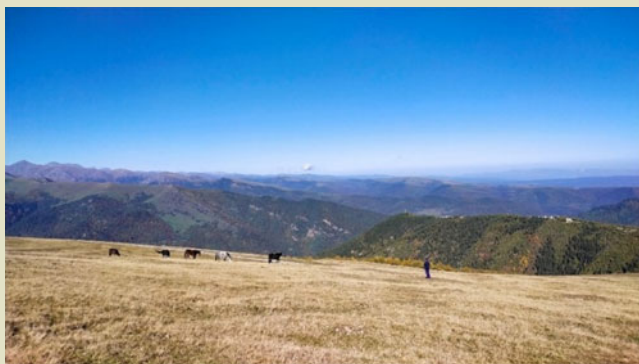


Архыз, верхняя гостиница. Высота над уровнем моря 2100 м

4 октября 2024 года. Утро.

Легкая облачность

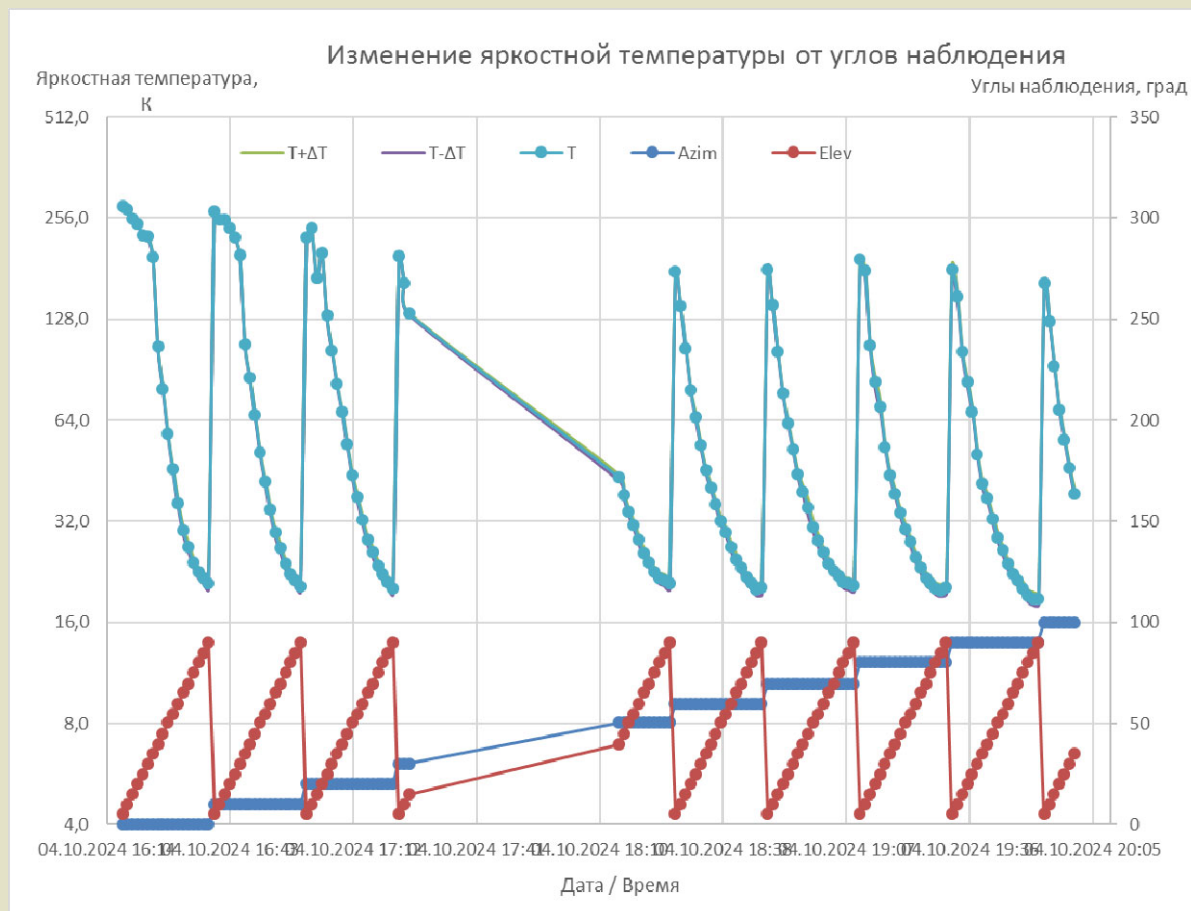
температура +5 °C, отн. влажность - 40%,
облачность - нет.



Архыз, верхняя гостиница. Высота над уровнем моря 2100 м

4 октября 2024 года.

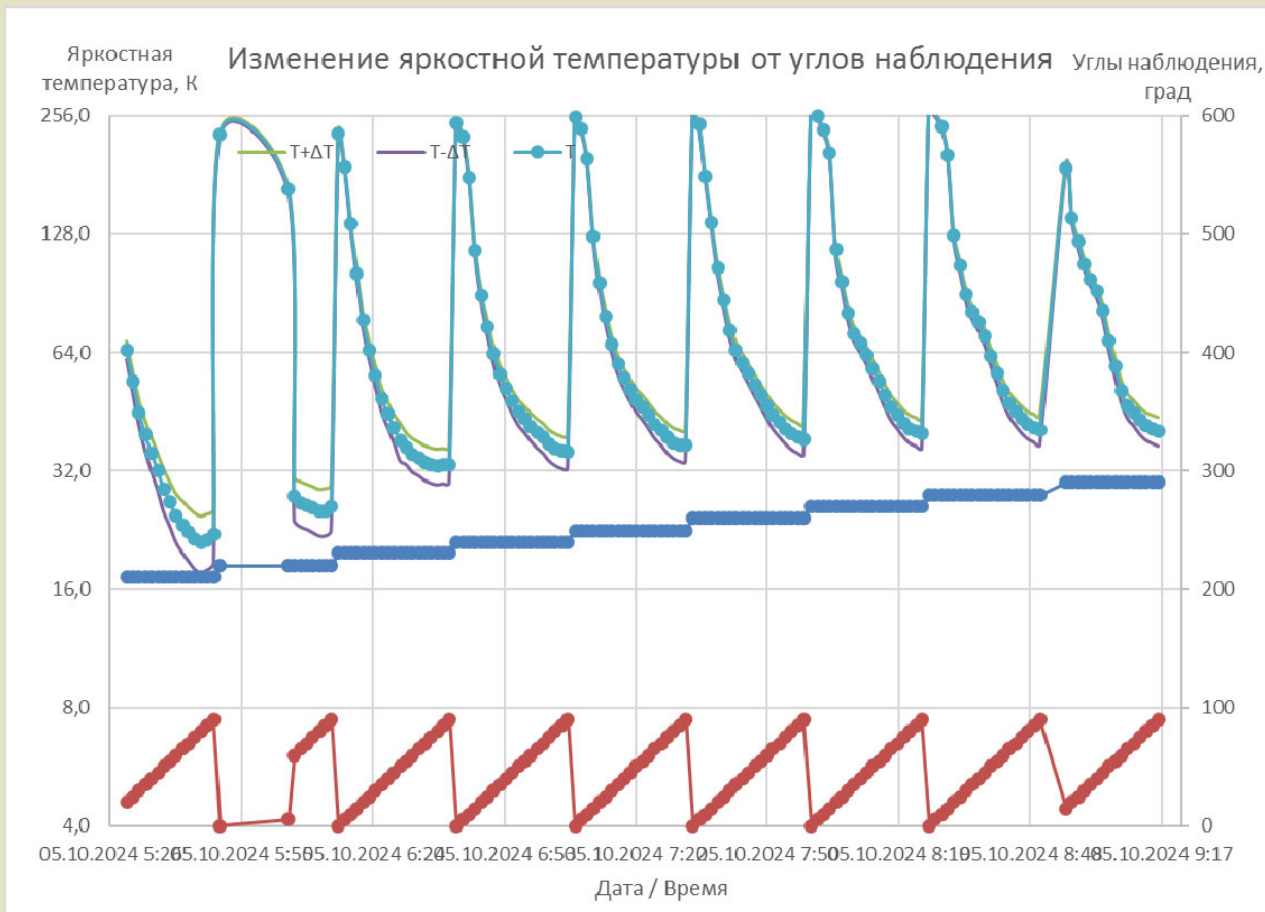
Вечер, чистое небо



Архыз, верхняя гостиница. Высота над уровнем моря 2100 м

5 октября 2024 года.
Утро, чистое небо

Нагрев радиометра на солнце - температура ГШ уплыла. Для последних отсчетов минимальная яркостная температура должна быть ниже примерно на 6K. Но, тем не менее - яркостная температура растет



Выводы

- ♦ Результаты прямых измерений яркостной температуры атмосферы показали хорошее согласие с величиной поглощения в зените, определенной по методу атмосферных разрезов.
- ♦ Во время экспедиции в Кабардино-Балкарию в июне 2024 года при наблюдениях в зенит наименьшее зарегистрированное значение яркостной температуры (49 ± 4) К было получено в Гарабаши, на склоне горы Эльбрус. В последующей экспедиции в октябре 2024 года в Карачаево-Черкессию (Нижний Архыз, САО, площадка БТА) были получены существенно лучшие результаты измерений яркостной температуры – $(20,0 \pm 0,8)$ К. Полученные результаты позволяют надеяться на перспективность данной площадки для наблюдений в субтерагерцовом диапазоне.

Планы

- ♦ Проведение новых экспедиционных наблюдений (в том числе САО, Алтай и др.)
- ♦ Разработка и создание нового охлаждаемого (азот) радиометра

1. Эргономическое исполнение конструкции радиометра, обеспечивающее удобную эксплуатацию (быстрое разворачивание) и оперативное техническое обслуживание;
2. Уменьшение массо-габаритных характеристик радиометра и количества коммутирующих кабелей;
3. Всепогодное герметичное исполнение конструкции радиометра с контролем влажности внутри рабочего объема и возможностью удаления избыточной влаги;
4. Теплоизолированное исполнение конструкции радиометра с возможностью как нагрева, так и отвода избыточного тепла;
5. Термостатирование ключевых узлов радиометра (приемник излучения, источник опорного сигнала);
6. Обеспечение экранирования блока регистрации мм излучения от электрических наводок;
7. Использование компактных азимутальных и элевационных поворотных устройств на базе шаговых двигателей, интегрированных в конструкцию самого радиометра;
8. Доработка волноводной части блока регистрации мм излучения - замена переключателя, второй ИОС(?);
9. Разработка собственного интерфейса программно-аппаратного обмена и программного обеспечения;
10. Добавление необходимых вспомогательных модулей (компас, GPS, уровень горизонта, датчик влажности);
11. Возможность автономной работы по заданной программе