

Microwave meteorological station to determine the integral humidity of the atmosphere

I. V. Rakut^{1,2}, I. T. Bubukin¹, M. I. Agafonov^{1,2}, A. A. Yablokov^{2,3}, A. L. Pankratov^{1,2,3}

¹*Radiophysical Research Institute, N. I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,
603950, Nizhny Novgorod, Bolshaya Pecherskaya st., 25/12a*

²*R. E. Alekseev State Technical University, Nizhny Novgorod, Minina st., 24*

³*Institute for Physics of Microstructures of the Russian Academy of Sciences, 603950,
Nizhny Novgorod, GSP-105
E-mail: rakut@nirfi.unn.ru*

СВЧ метеостанция определения интегральной влажности атмосферы

И. В. Ракут^{1,2}, И. Т. Бубукин¹, М. И. Агафонов^{1,2}, А. А. Яблоков^{2,3}, А. Л. Панкратов^{1,2,3}

¹*Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Н.И.
Лобачевского, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25/12а*

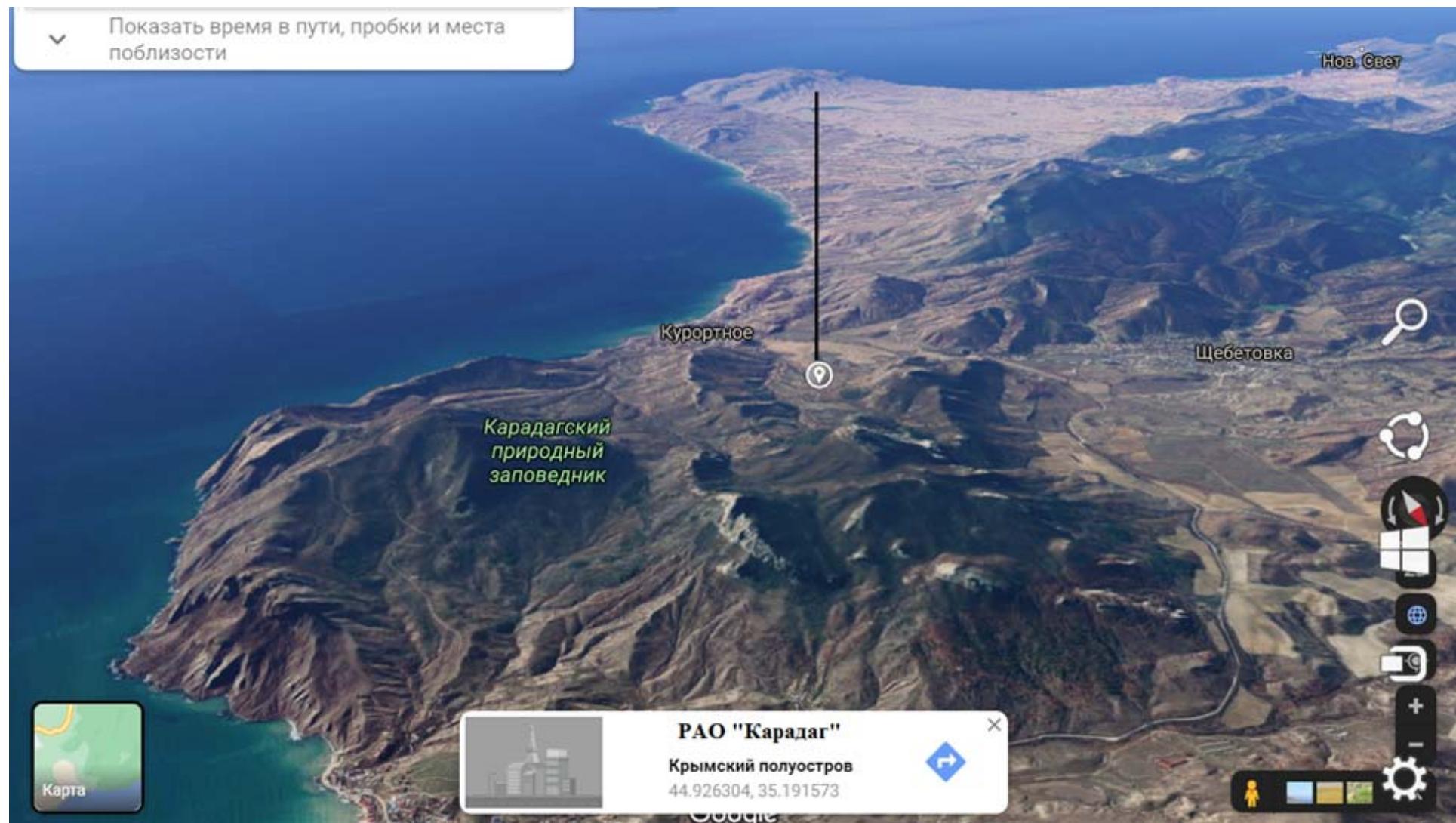
²*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г.Нижний Новгород, ул. Минина, 24*

³*Институт физики микроструктур РАН, 603950, г. Нижний Новгород, ГСП-105*



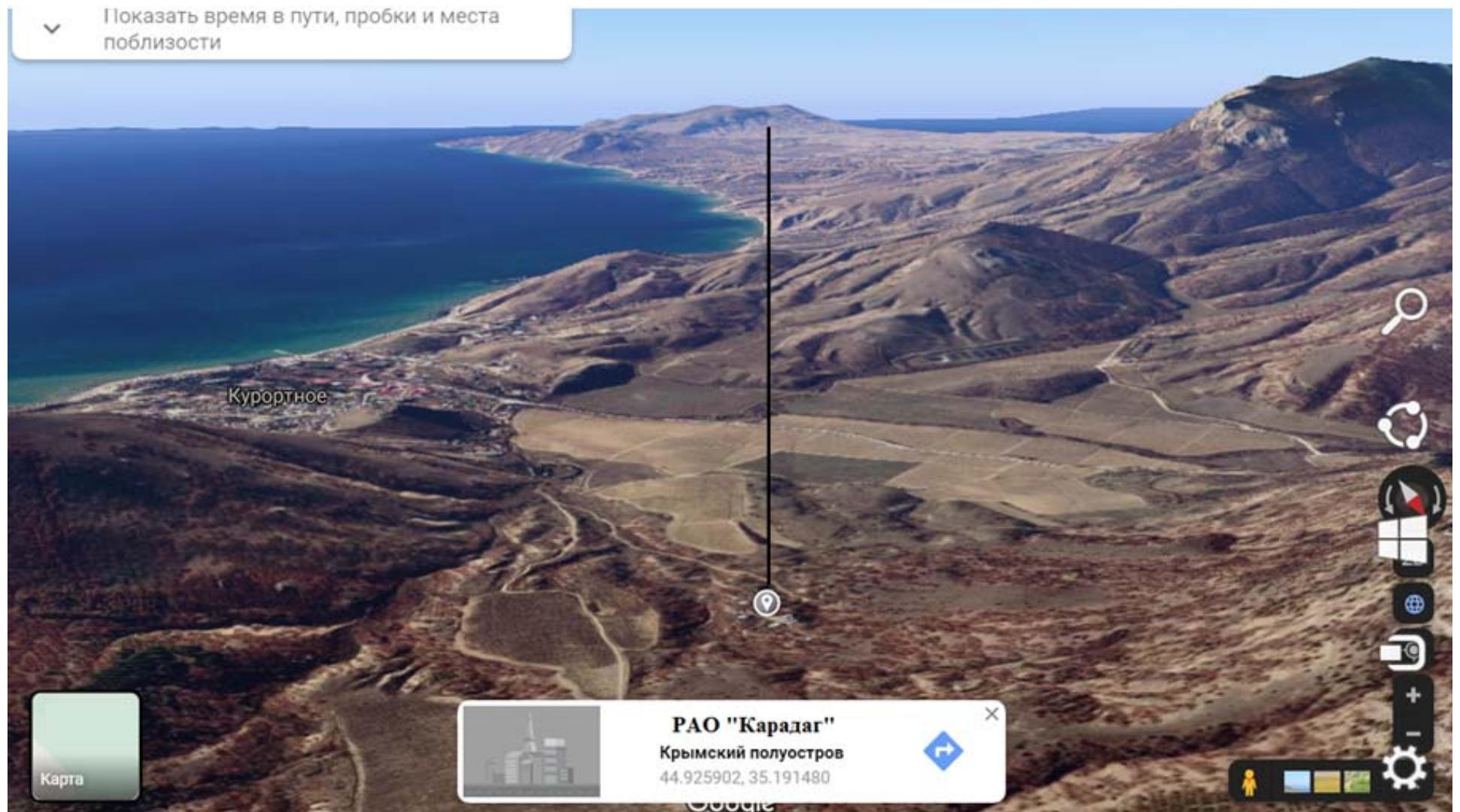
Coordinates location of the device 44.926436, 35.191889 at the NIRFI test site of the Lobachevsky National Research University (Radio Astronomy Observatory "Karadag") (Crimean Peninsula near the urban-type settlement of Kurortnoye (44.913326, 35.192013) Feodosia city district, Republic of Crimea, Russia)

Координаты расположение прибора 44.926436, 35.191889 на полигоне НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского (Радиоастрономическая обсерватория «Карадаг») (Крымский полуостров рядом с посёлком городского типа Курортное (44.913326, 35.192013) городской округ Феодосия, Республика Крым, Россия)



Another angle of the location of the RAO "Karadag" and the direction of observation.

Другой ракурс расположения РАО «Карадаг» и направление наблюдения.



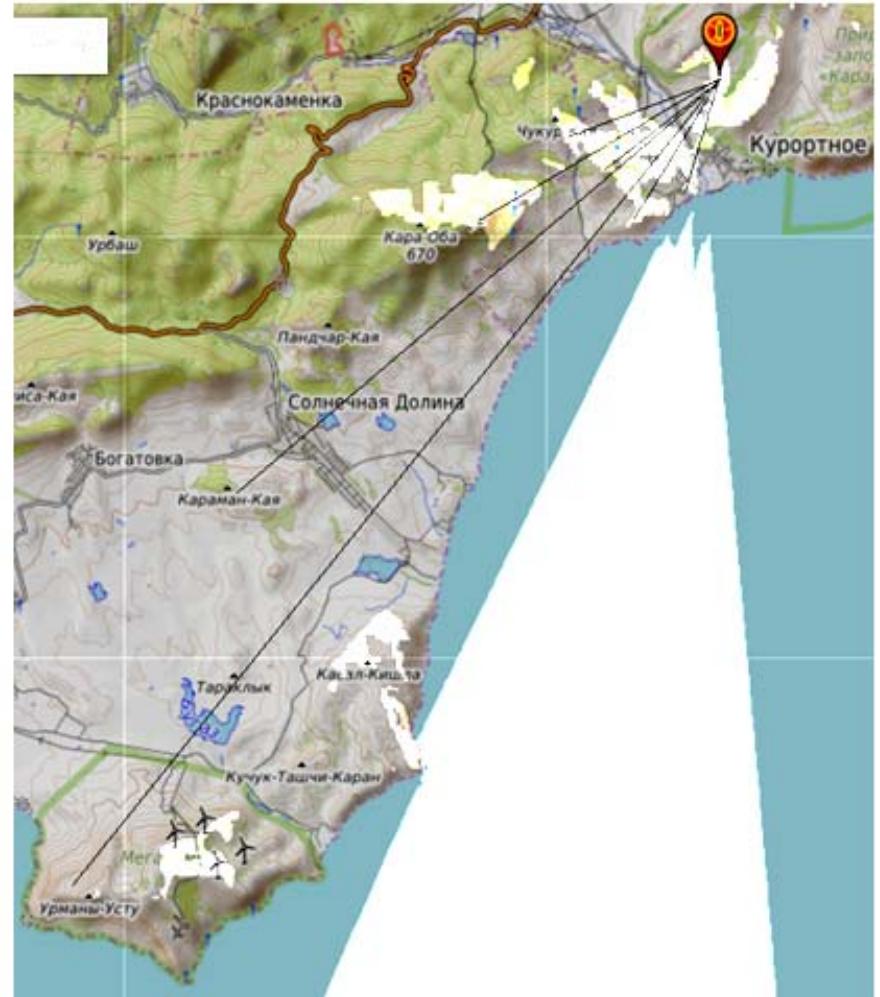
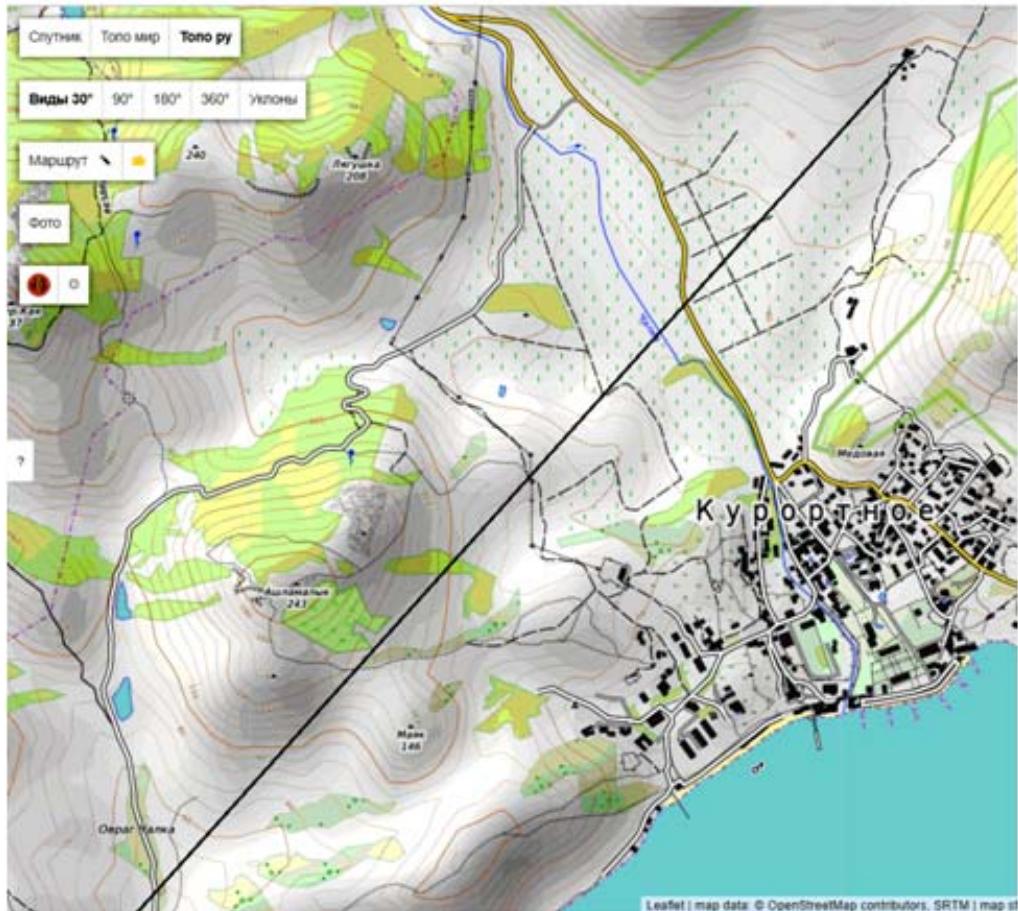
Another angle of the location of the RAO "Karadag" and the direction of observation. Closer location.

Другой ракурс расположения РАО «Карадаг» и направление наблюдения. Ближе.



2019-2020. The direction of the scanning plane and the location of the device boxes: Radiometer 3 mm-on the left, Radiometer 8 mm-on the right, Rotary device-in the center. Device in insulation with a thickness of 4 mm. In the distance, near the horizon, the hilltops act as a Black Body.

Направление плоскости сканирования и расположение боксов прибора: Радиометра 3 мм - слева, Радиометра 8 мм - справа, Поворотного устройства – в центре. Прибор в утеплителе толщиной 4 мм. Вдали у горизонта вершины холмов выполняют роль Чёрного тела.



At a distance of 2 km, the height of the nearest hills along the observation route is 140 m. To the left – 146 m. To the right-170 m. At a distance of 10 -15 km, Cape Meganom with altitudes of 250 to 350 m.

На расстоянии 2 км высота ближайший холмов по трассе наблюдения 140 м. Левее – 146 м. Правее - 170 м. На расстоянии 10 -15 км мыс Меганом с высотами 250 до 350 м.



2020-2021. Device in insulation with a thickness of 10 mm. View from the facade. The air inside passes along the sides from below.

Прибор в утеплителе толщиной 10 мм. Вид с фасада. Воздух внутрь проходит по бокам снизу.



2020-2021 Device in insulation with a thickness of 10 mm. Reverse side.
Прибор в утеплителе толщиной 10 мм. Обратная сторона.



2020-2021 The device is without insulation. View from the facade. Air passes through the side ventilation grilles.

Прибор без утеплителя. Вид с фасада. Воздух проходит через боковые вентиляционные решетки.



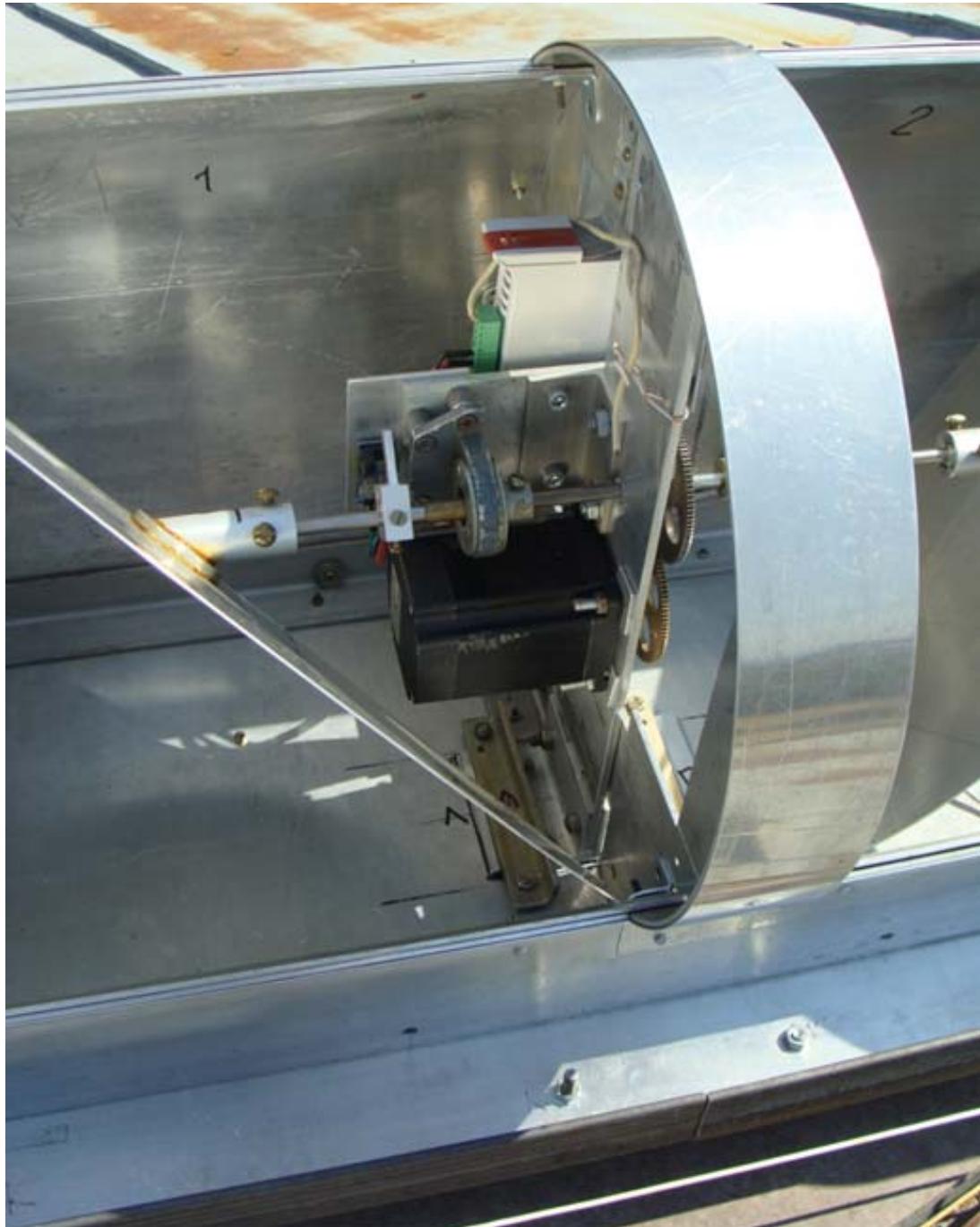
2020-2021. The device is without insulation. The reverse side. Air passes through the side ventilation grilles.

Прибор без утеплителя. Обратная сторона. Воздух проходит через боковые вентиляционные решетки.



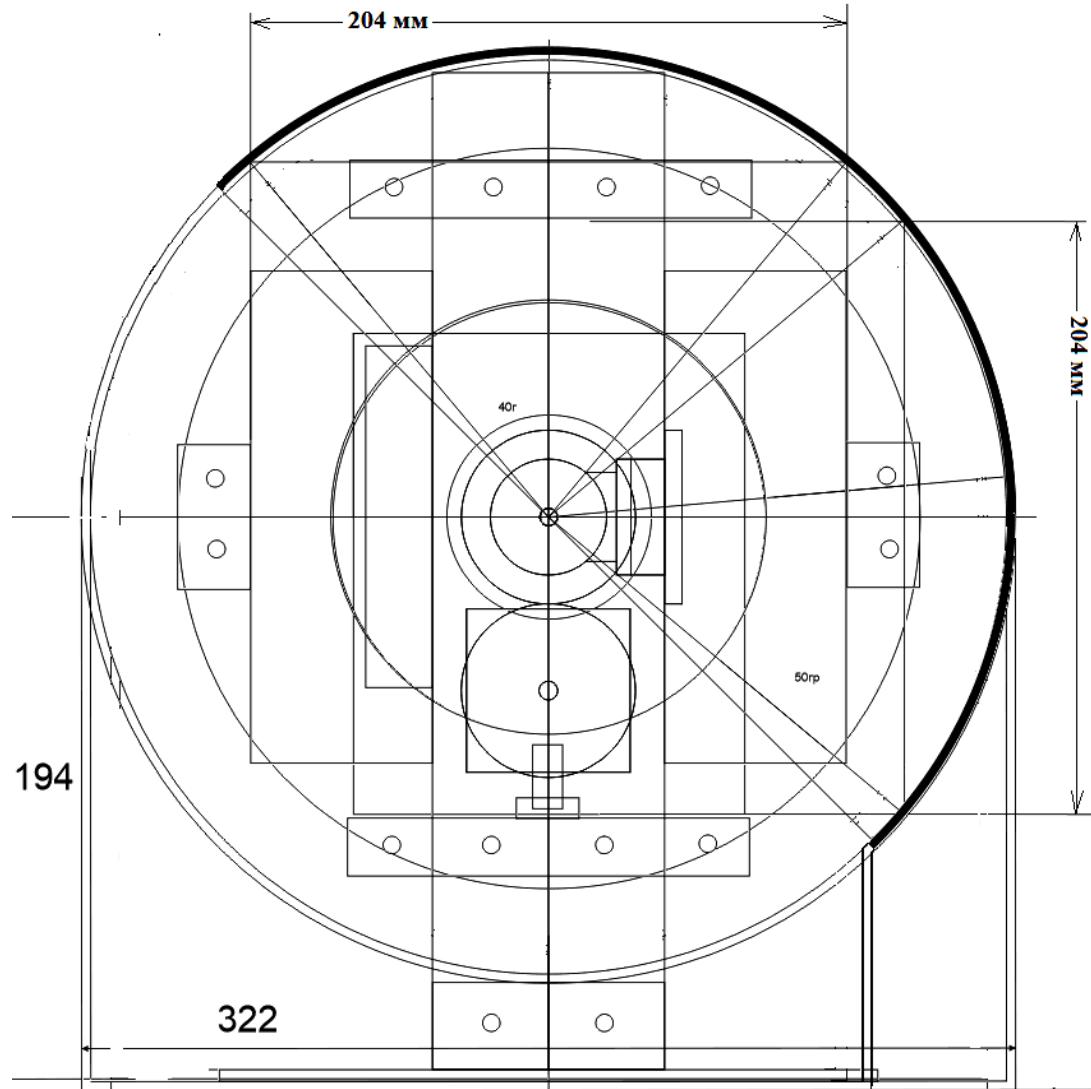
2019. The basis of the device is a rotary module on the corners with adjustment screws. Boxes with radiometers are placed on the left and right corners.

Основа прибора – Поворотный модуль на уголках с юстировочными винтами. Слева и справа на уголки ставятся боксы с радиометрами.



The rotary module consists of a housing, in the center of which is a vertical rack with a stepper motor with two gears. One gear is fixed to the axle, which is fixed to the rack in a horizontal plane through the holders with bearings. At the ends of the axis are fixed flat reflectors at an angle of 45 degrees with a transverse diameter of 300 mm. The element of the optical sensor of the axis rotation is also fixed on the axis.

В составе поворотного модуля корпус, в центре которого расположена вертикальная стойка с шаговым мотором с двумя шестернями. Одна шестерня закреплена на оси, которая через держатели с подшипниками закреплена на стойке в горизонтальной плоскости. На концах оси закреплены плоские отражатели под углом 45 градусов с поперечным диаметром 300 мм. На оси закреплен и элемент оптического датчика поворота оси.

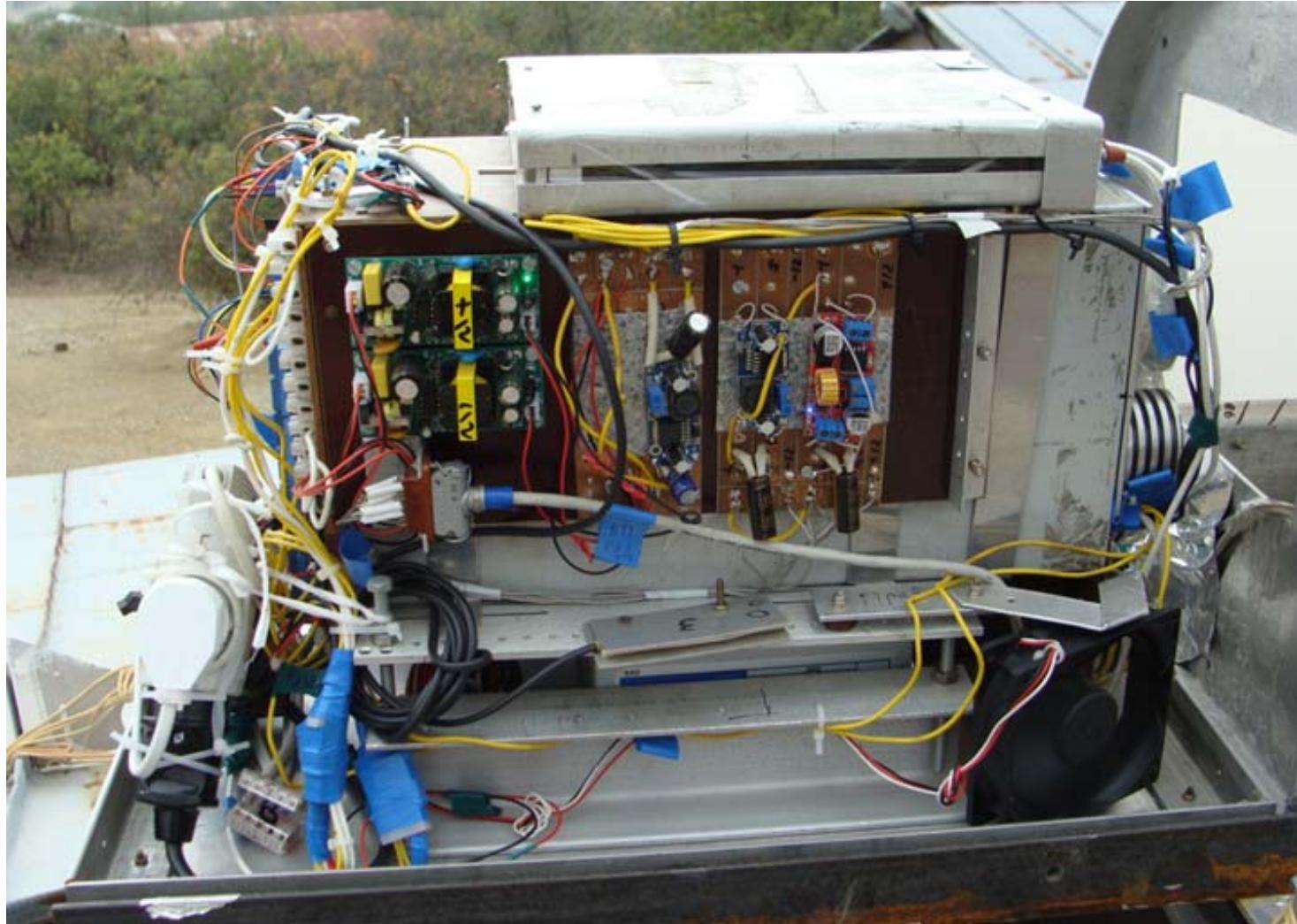


When scanning in the vertical plane in the range of angles from the zenith to the horizon, the radiation flux of the atmosphere with a width of 204 mm is received. For this purpose, a cylindrical window with a center on the axis of rotation of the reflectors is made of a sheet of fluoroplast with a thickness of 1 mm and a length of 500 mm in the rotary module. The axes of rotation and the antennas of the radiometers coincide.

При сканировании в вертикальной плоскости в диапазоне углов от зенита до горизонта принимается поток излучения атмосферы шириной 204 мм. Для этого в поворотном модуле из листа фторопласта толщиной 1 мм и длиной 500 мм сделано цилиндрическое окно с центром на оси поворота отражателей. Оси поворота и антенн радиометров совпадают.

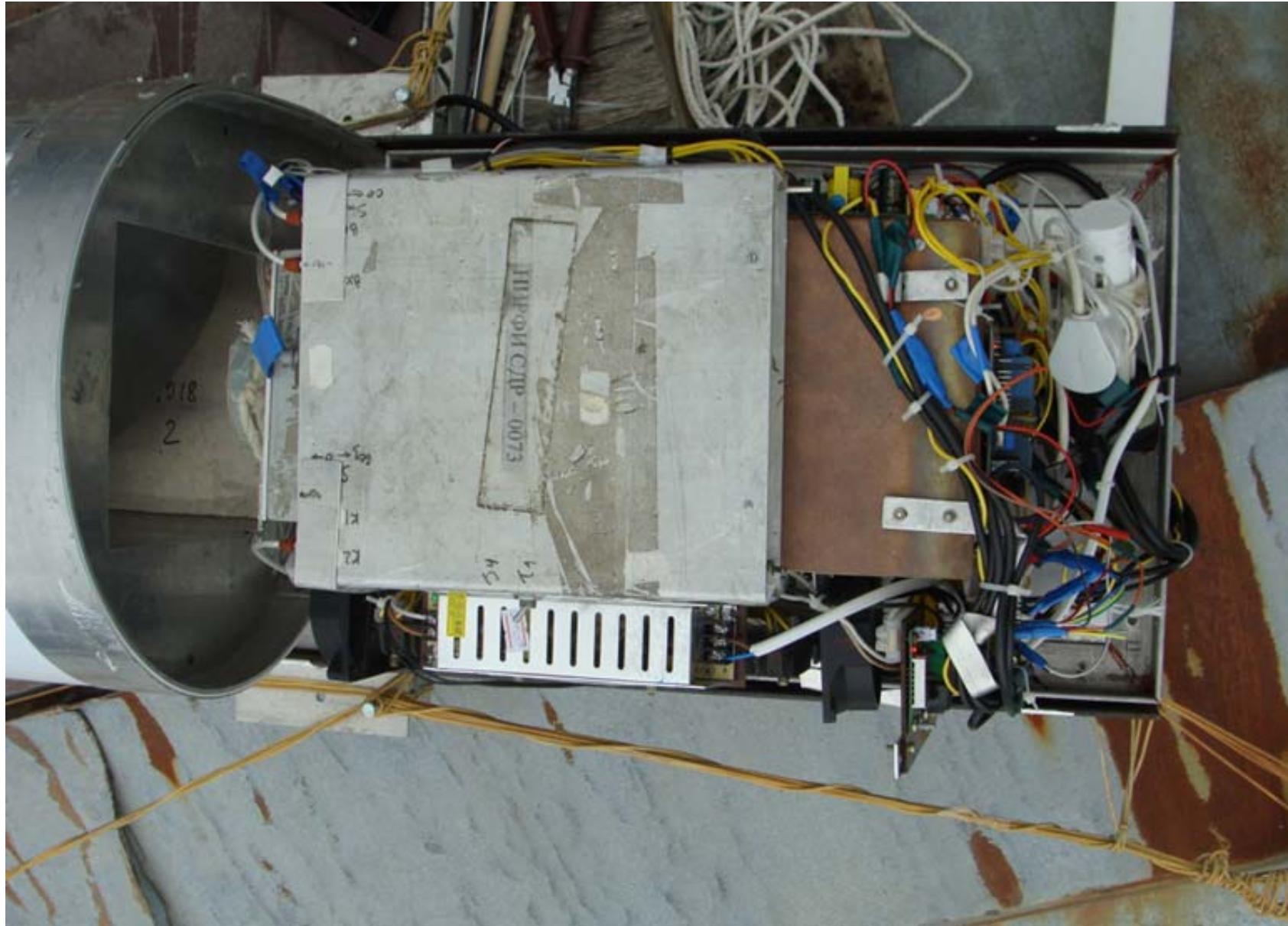


2020-2021. The three-millimeter range radiometer is in the operating position.
Радиометр трехмиллиметрового диапазона находится в рабочем положении.



2020-2021. On the side, you can see its power supply, temperature sensor, and cooling fan. On top is a synchronous detector.

Сбоку видны его блок питания, датчик температуры и охлаждающий вентилятор. Сверху - синхронный детектор.



2020-2021. A synchronous detector and a heater with a temperature controller are visible from above.

Сверху видны синхронный детектор и нагреватель с терморегулятором.



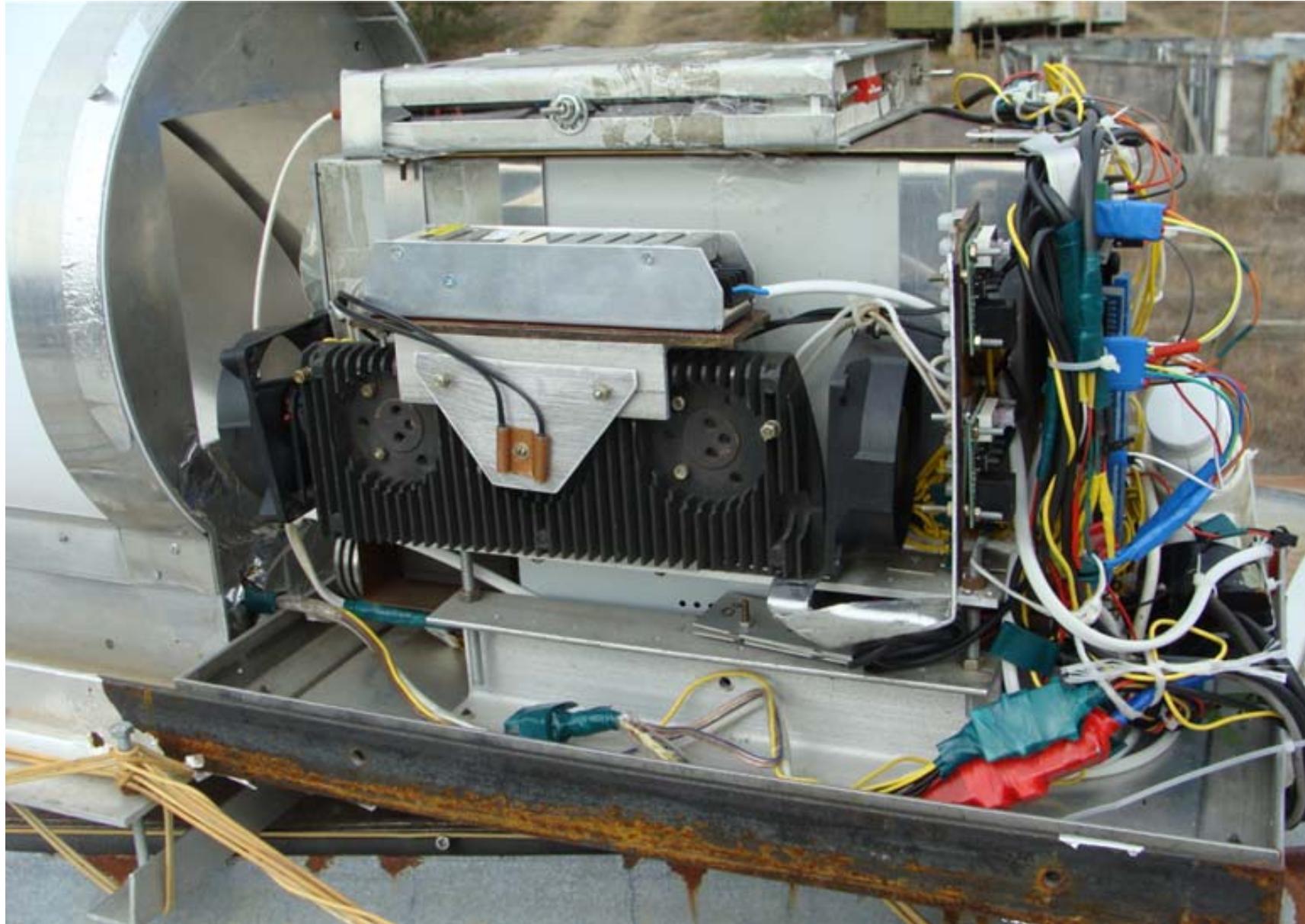
Arduino-based control system for thermoregulation and data transfer from radiometers to the computer.

Система управления на Arduino для терморегуляции и передачи данных от радиометров к компьютеру.



2020-2021. Synchronous detector and reference voltage generator boards.

Платы синхронного детектора и генератора опорных напряжений.



2020-2021. On the side, you can see a 50 W heater with a temperature controller and a synchronous detector on top.

Сбоку видны нагреватель на 50 Вт с терморегулятором и синхронный детектор сверху.



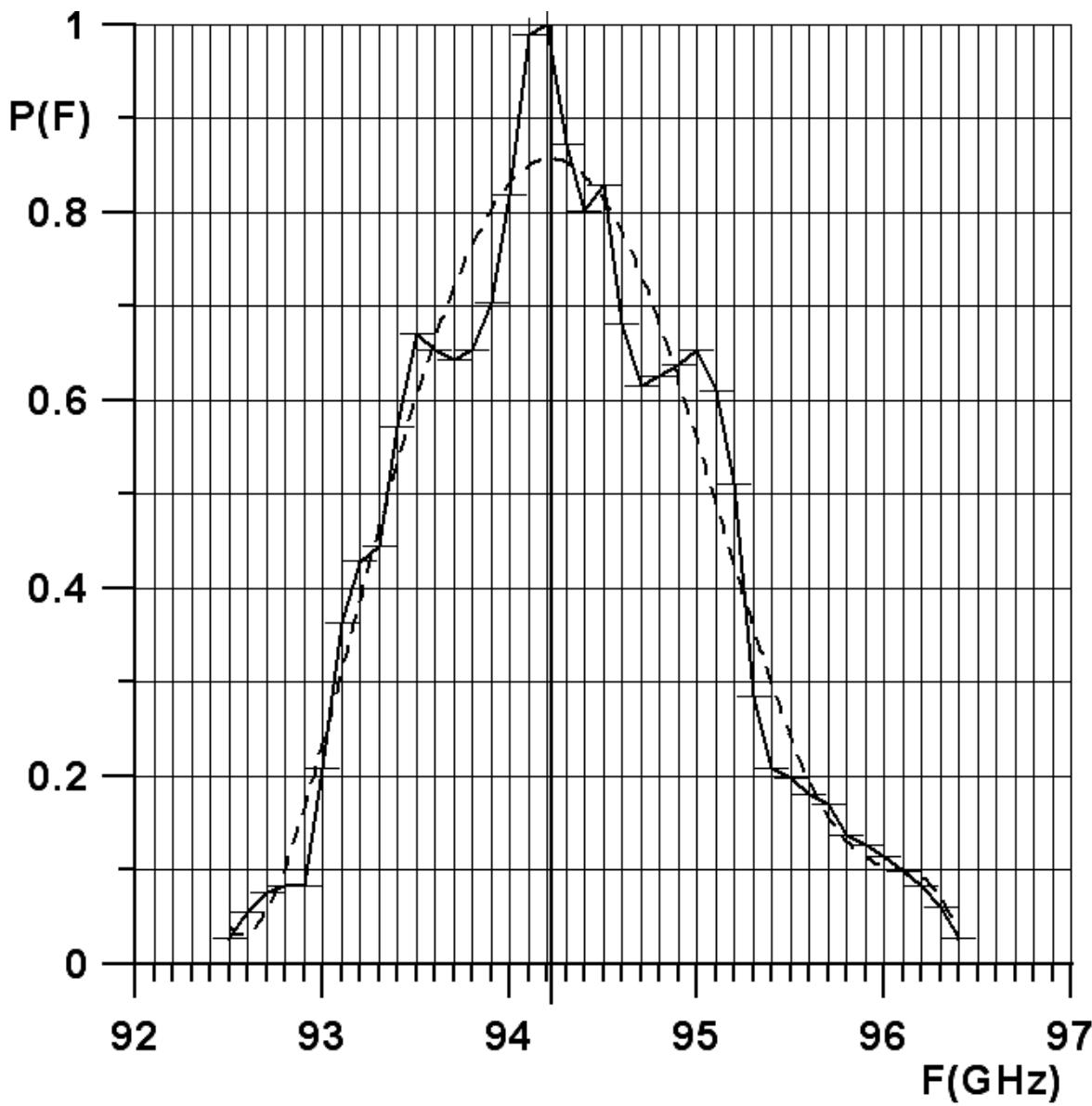
Трехмиллиметровый радиометр и его утеплённый корпус. Снаружи на передней стенке радиометра теплоотводы. На медном пластине нагреватель на 12 Вт и термодатчик. У рупора выходной диаметр 63 мм и диаграмма направленности 3.5 градуса. Флуктуационная чувствительность радиометра 0.08 градуса при постоянной времени 1 секунда.

2019-2021. A three-millimeter radiometer and its insulated housing. Outside on the front wall of the radiometer are heat sinks. On the copper plate, there is a 12-watt heater and a thermal sensor. The horn has an output diameter of 63 mm and a directional pattern of 3.5 degrees. The fluctuation sensitivity of the radiometer is 0.08 degrees at a time constant of 1 second.



2018. Three-millimeter radiometer without heater and thermoregulation.

Трехмиллиметровый радиометр без нагревателя и терморегуляции.

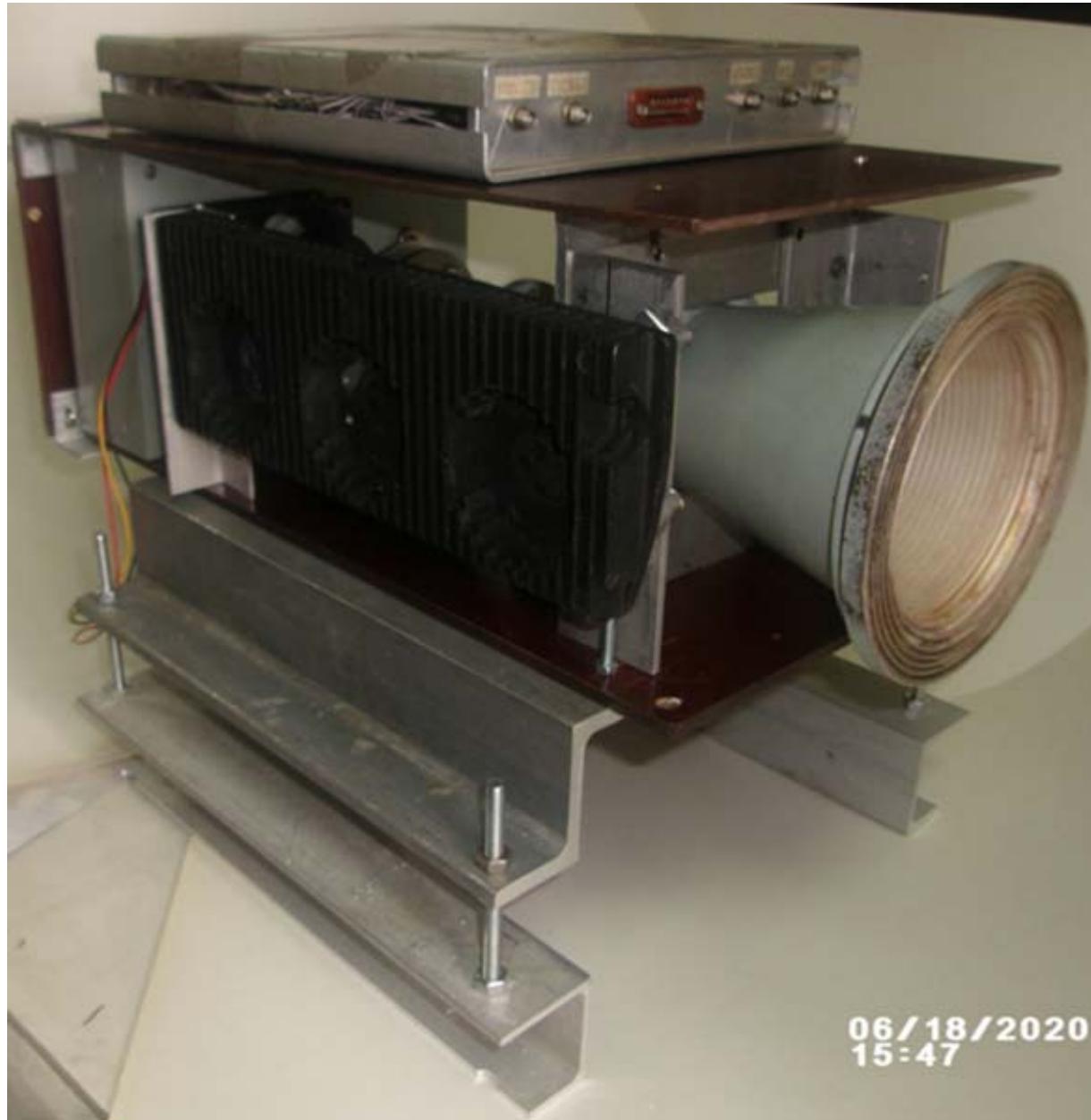


2018-2021. The working band of a three-millimeter radiometer - 93.2 – 95.2 GHz.
Рабочая полоса трехмиллиметрового радиометра - 93.2 – 95.2 ГГц.



2020-2021. An eight-millimeter radiometer with a working band of 33-35 GHz. The horn is connected to a microwave unit, flanked by two radiators with 12 W heating elements for two temperature controllers.

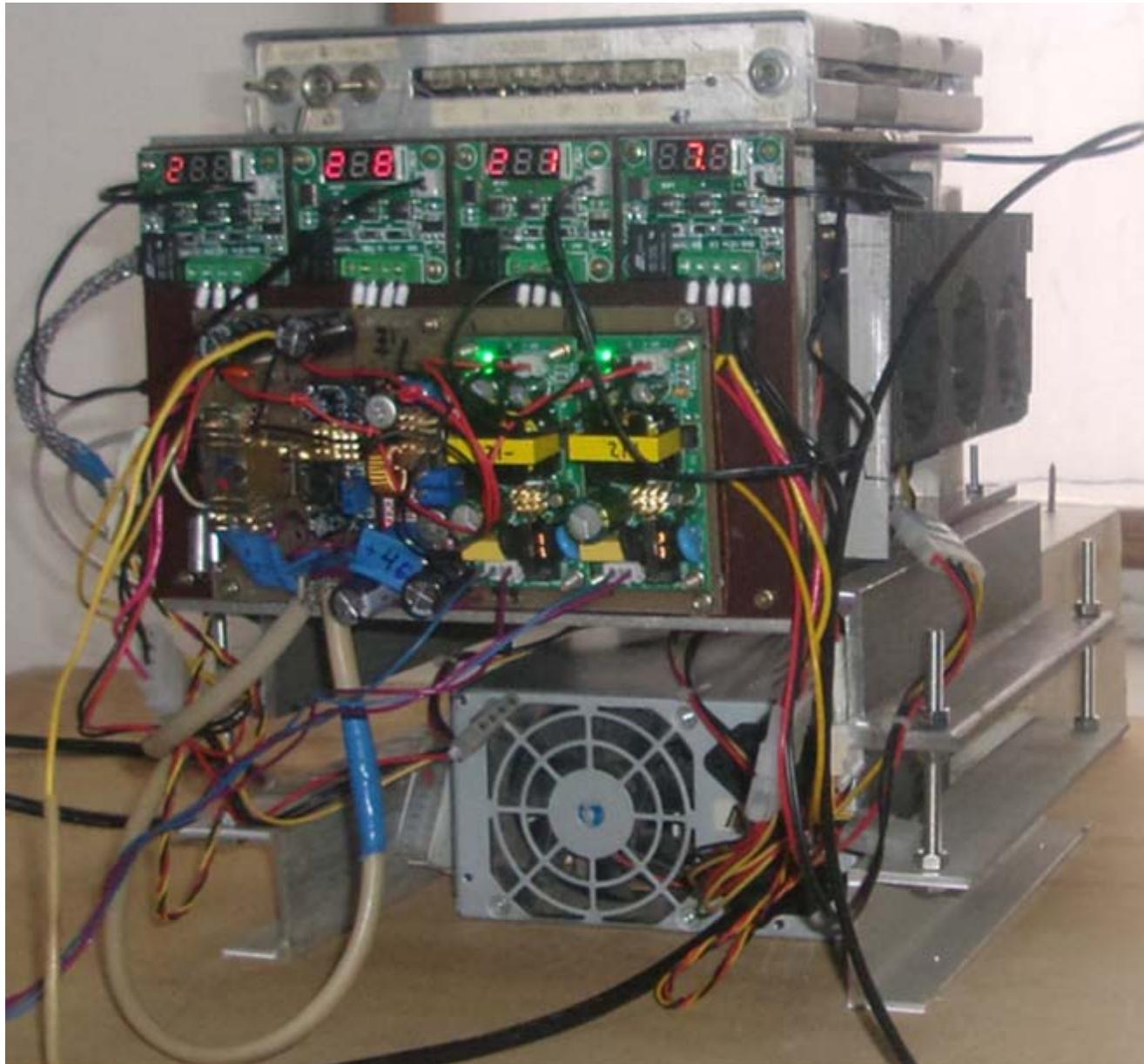
Восьмимиллиметровый радиометр с рабочей полосой 33-35 ГГц. Рупор соединён с СВЧ блоком, по бокам два радиатора с нагревательными элементами по 12 Вт для двух терморегуляторов.



2020-2021.

The directional pattern of the horn is 7 degrees. The fluctuation sensitivity of the radiometer is 0.07 degrees at a time constant of 1 second. On top of the synchronous detector.

Диаграмма направленности рупора 7 градусов.
Флуктуационная
чувствительность радиометра
0.07 градуса при постоянной
времени 1 секунда. Сверху
синхронный детектор.



2020-2021. The power supply unit of the radiometer and four temperature controllers are attached to the housing of the microwave unit. At the bottom there is a power supply unit for heaters and thermoregulators.

Блок питания радиометра и четыре терморегулятора закреплены на корпусе СВЧ блока. Внизу установлен блок питания нагревателей и терморегуляторов.



2020-2021. Eight-millimeter radiometer before installation in the working position.
Восьмимиллиметровый радиометр перед установкой в рабочее положение.



2020-2021. The eight-millimeter radiometer is set to the operating position.
Восьмимиллиметровый радиометр установлен в рабочее положение.



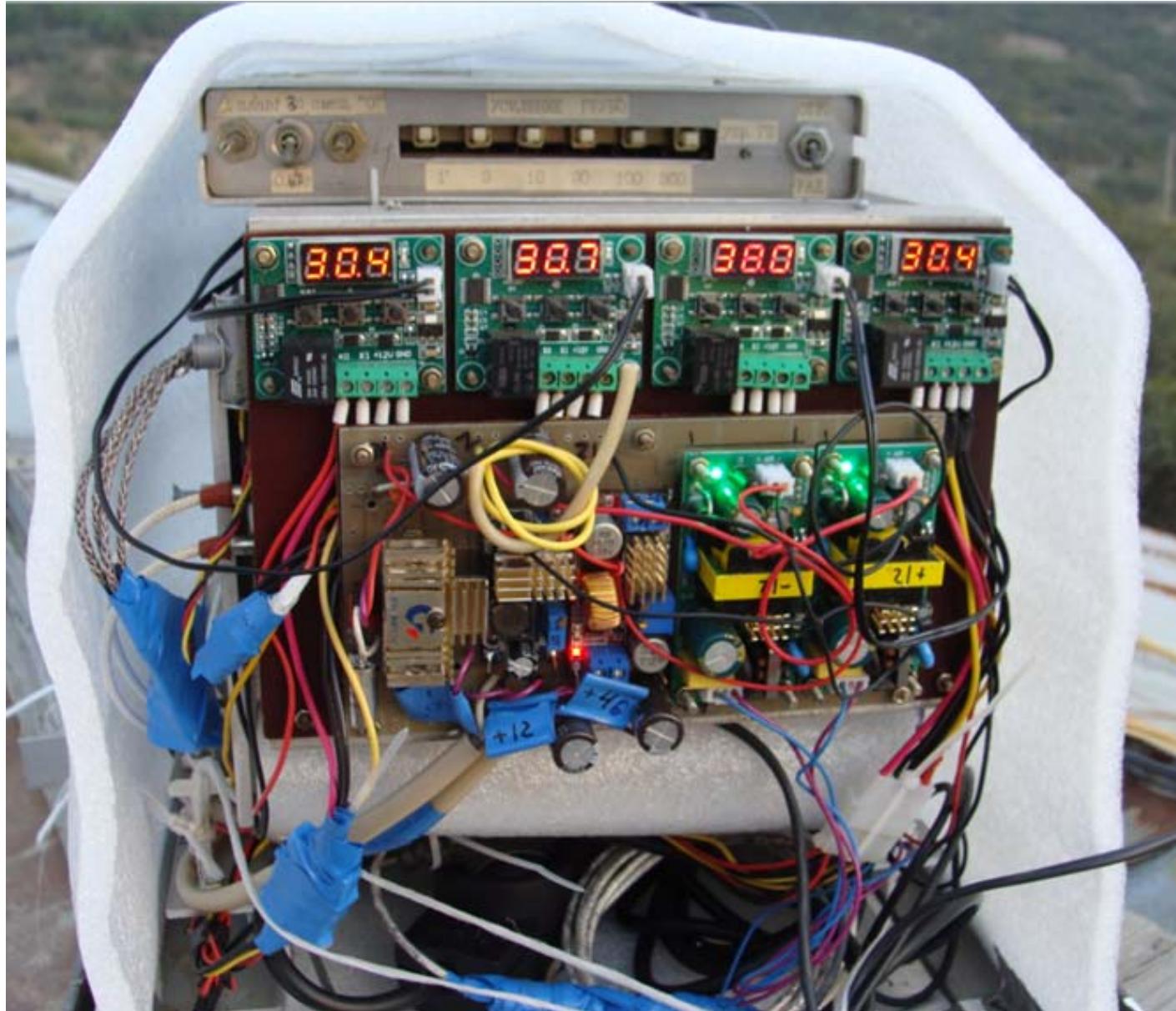
2020-2021. The eight-millimeter radiometer is set to the operating position.
Восьмимиллиметровый радиометр установлен в рабочее положение.



2020-2021. Additional insulation of the eight-millimeter radiometer.
Дополнительное утепление восьмимиллиметрового радиометра.



2020-2021. Additional insulation of the eight-millimeter radiometer.
Дополнительное утепление восьмимиллиметрового радиометра.



2020-2021. Additional insulation of the eight-millimeter radiometer.
Дополнительное утепление восьмимиллиметрового радиометра.



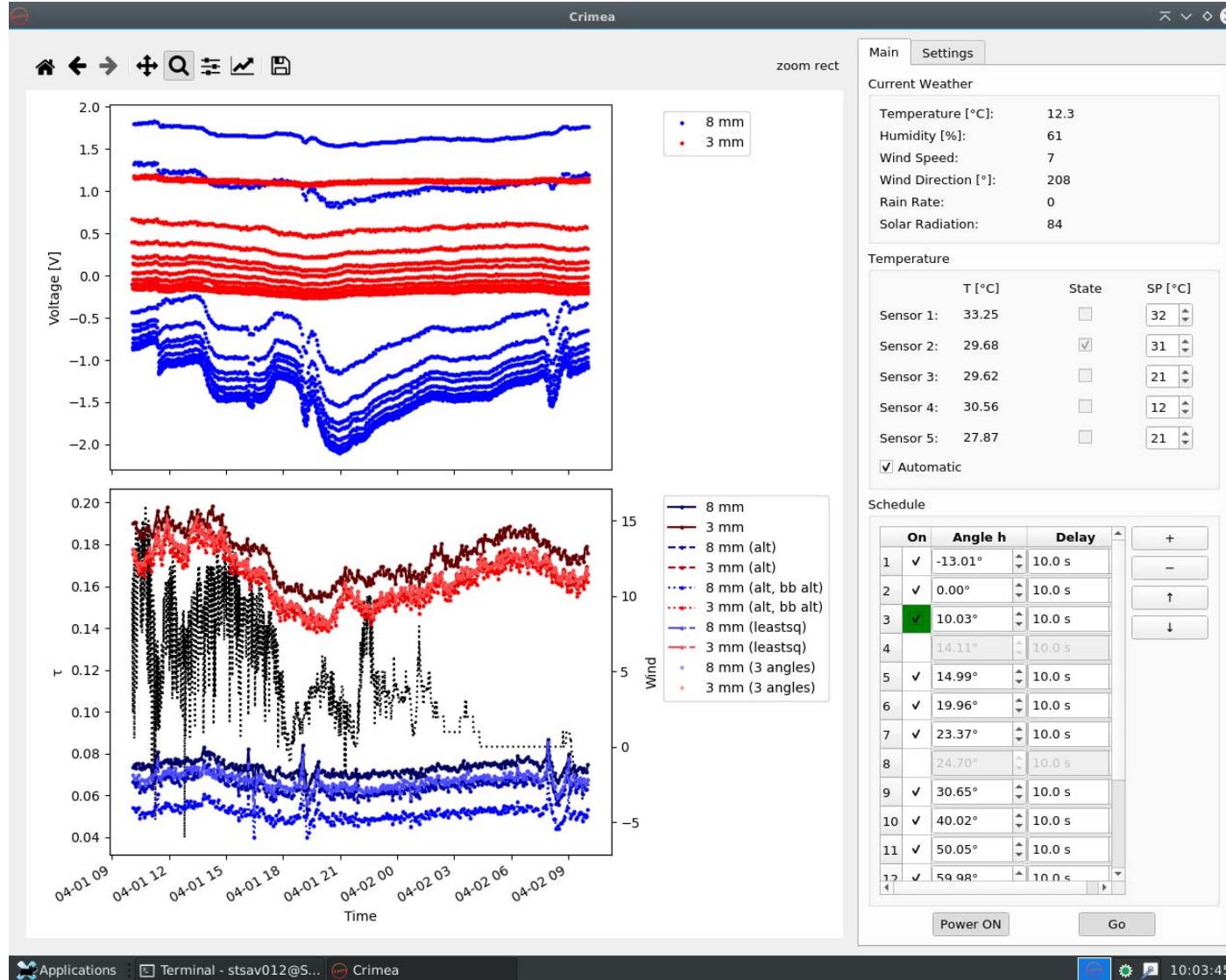
2020-2021. Additional insulation of the eight-millimeter radiometer.

Дополнительное утепление восьмимиллиметрового радиометра.



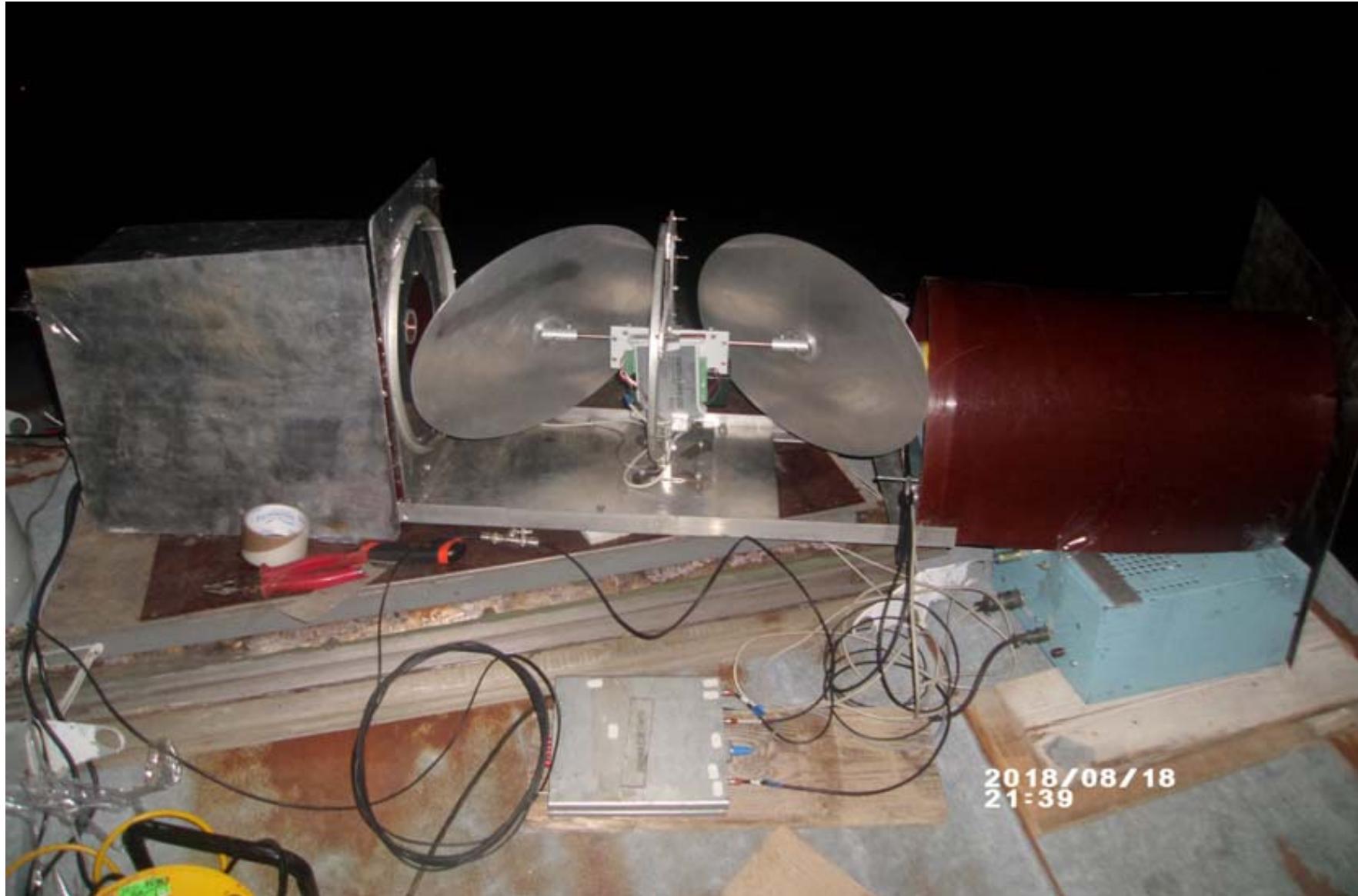
2020-2021. Device in insulation with a thickness of 10 mm. View from the facade. The air inside passes along the sides from below.

Прибор в утеплителе толщиной 10 мм. Вид с фасада. Воздух внутрь проходит по бокам снизу.



2019-2021. Example of an image of the screen of the measuring computer of the device. The information is transmitted via the Internet.

Пример изображения экрана измерительного компьютера прибора. Информация передается через Интернет.



2018. Comparative measurements of two radiometers in the three-millimeter range.
Сравнительные измерения двух радиометров трёхмиллиметрового диапазона.



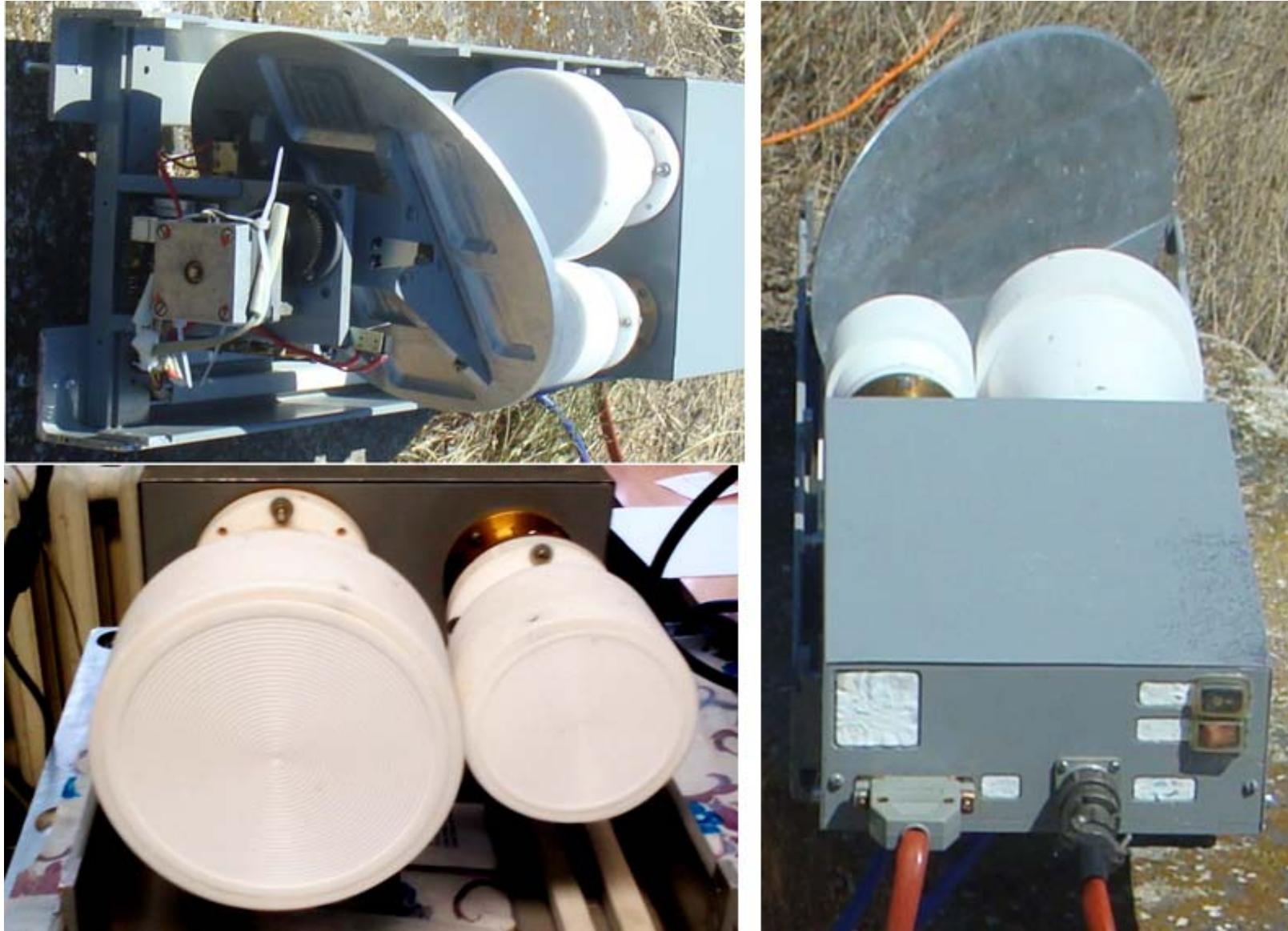
2018. Measurement of the emissivity of the mountain top by the emissivity equal to 1 of the Blackbody disk.

Измерение излучательной способности вершины горы по излучательной способности равной 1 Чернотельного диска.

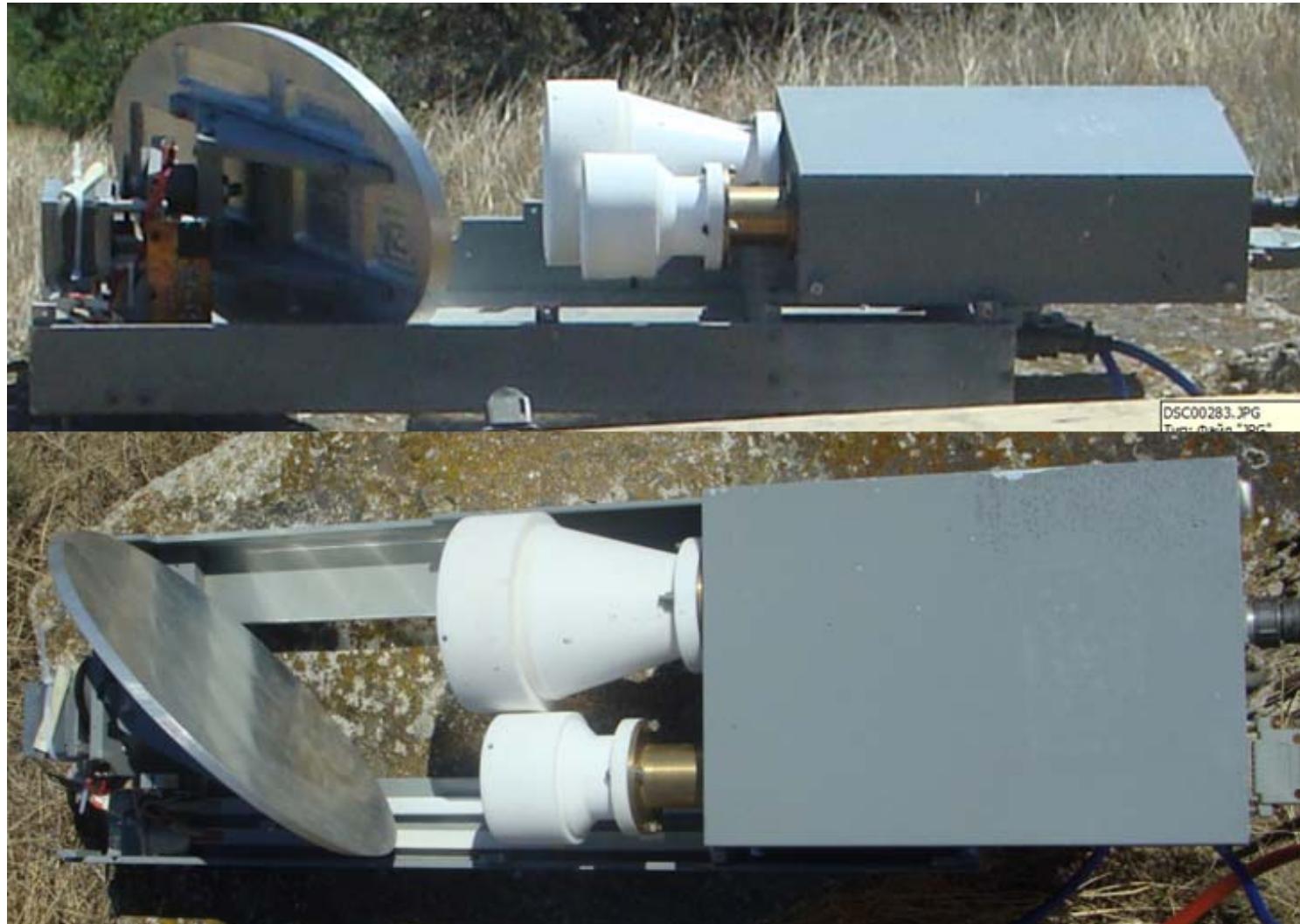


2017. The case of the MIAP-2 device with a transparency window. The surface of the transparency window is not cylindrical.

Корпус прибора МИАП-2 с окном прозрачности. Поверхность окна прозрачности не цилиндрическая.

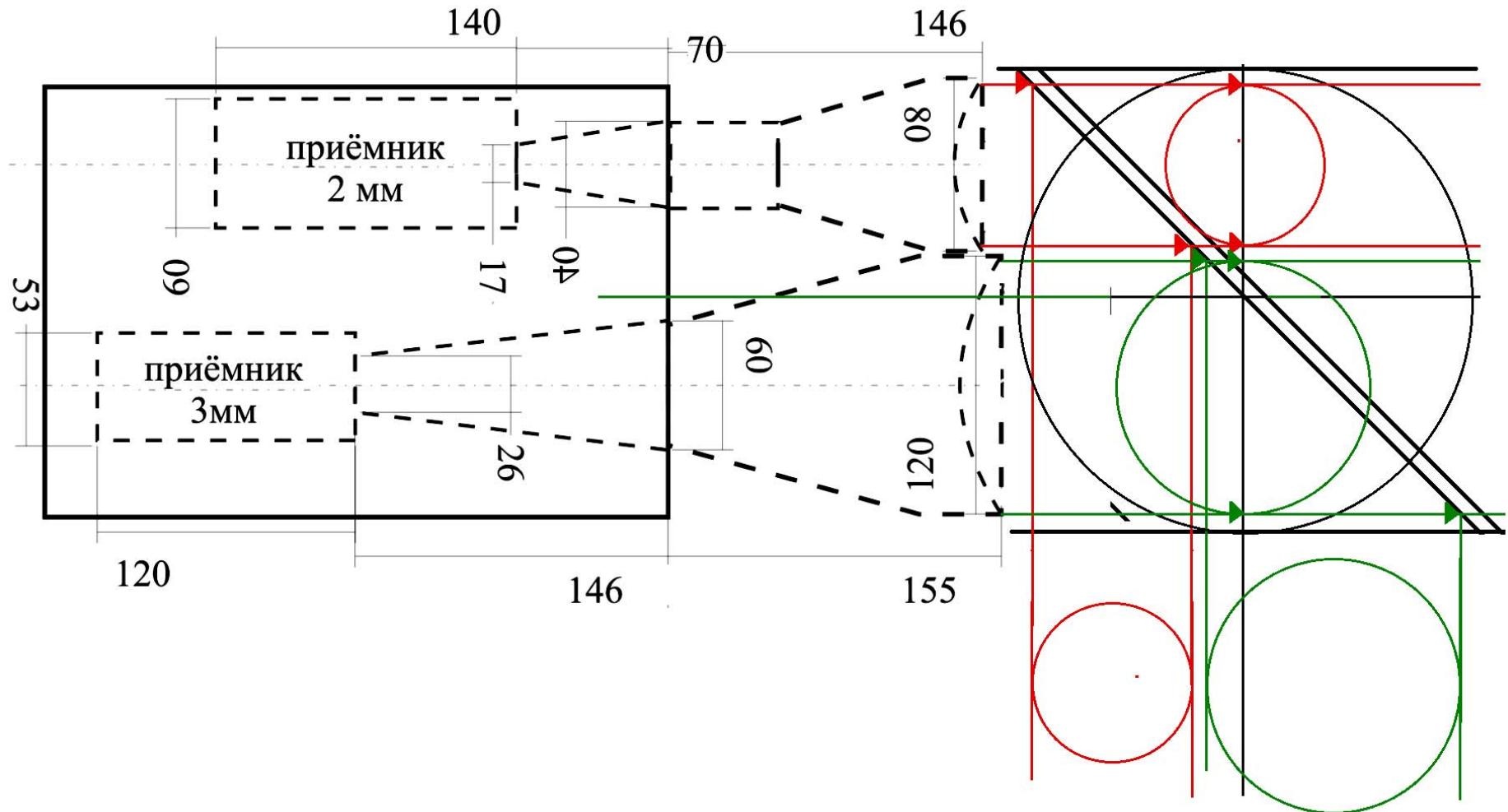


2017. View of the device MIAP-2 from different sides.
Вид прибора МИАП-2 с разных сторон.

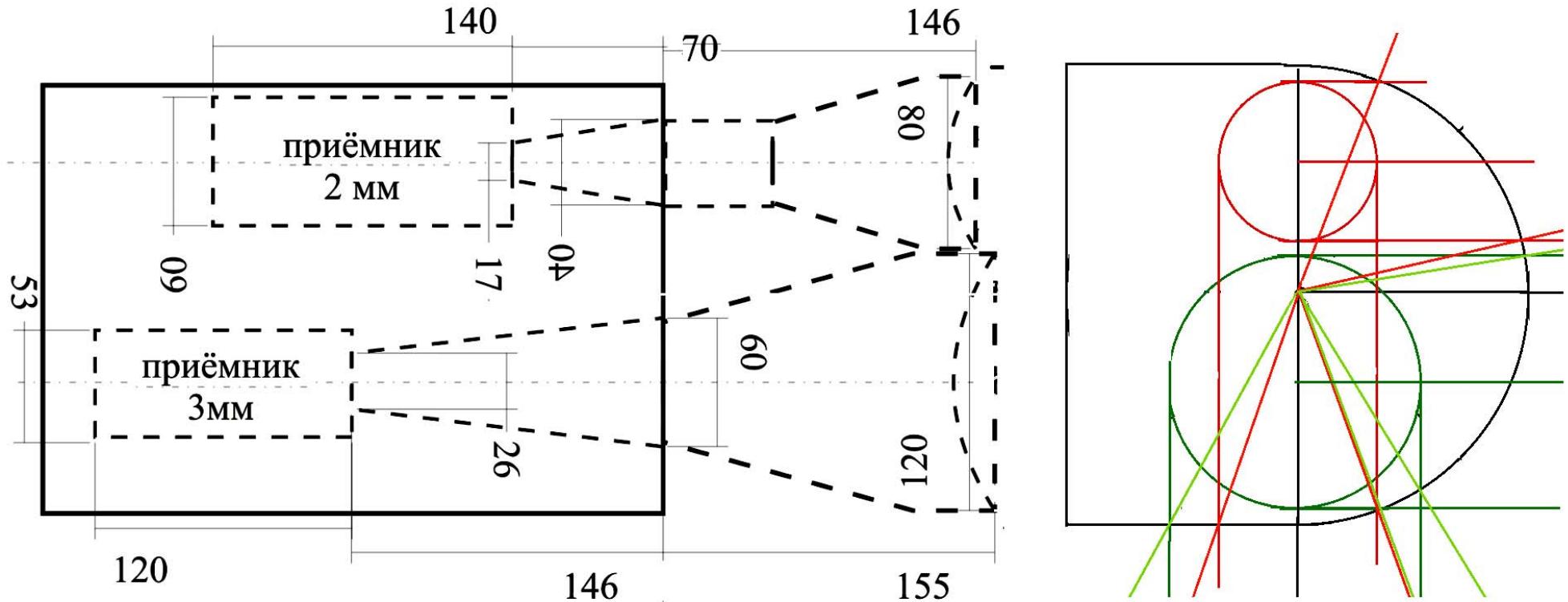


2017. View of the device MIAP-2 from different sides. The outside air passes from the bottom to the inside.

Вид прибора МИАП-2 с разных сторон. Наружный воздух проходит снизу внутрь.



2017. When the reflector is rotated, this arrangement of the radiometers antennas causes the reflection spot of the radiation flux to move along the surface of the reflector, changes in the distance from the reflector to the edge of the radiometers antennas, and changes in the edge effects.
При повороте отражателя такое расположение антенн радиометров приводит к перемещению пятна отражения потока излучения по поверхности отражателя, изменению расстояния от отражателя до края антенн радиометров и изменению краевых эффектов.



2017. When the reflector is rotated, this arrangement of the radiometer antennas leads to the movement of the radiation stream through the surface of the partially transparent protective window with a change in the angle of inclination over the flow area. This creates a complex dependence of the attenuation coefficient in the material of the protective window on the scanning angle.

При повороте отражателя такое расположение антенн радиометров приводит к перемещению потока излучения через поверхность частично прозрачного защитного окна с изменением углов наклона по площади потока. Это создаёт сложную зависимость коэффициента затухания в материале защитного окна от угла сканирования.



2017

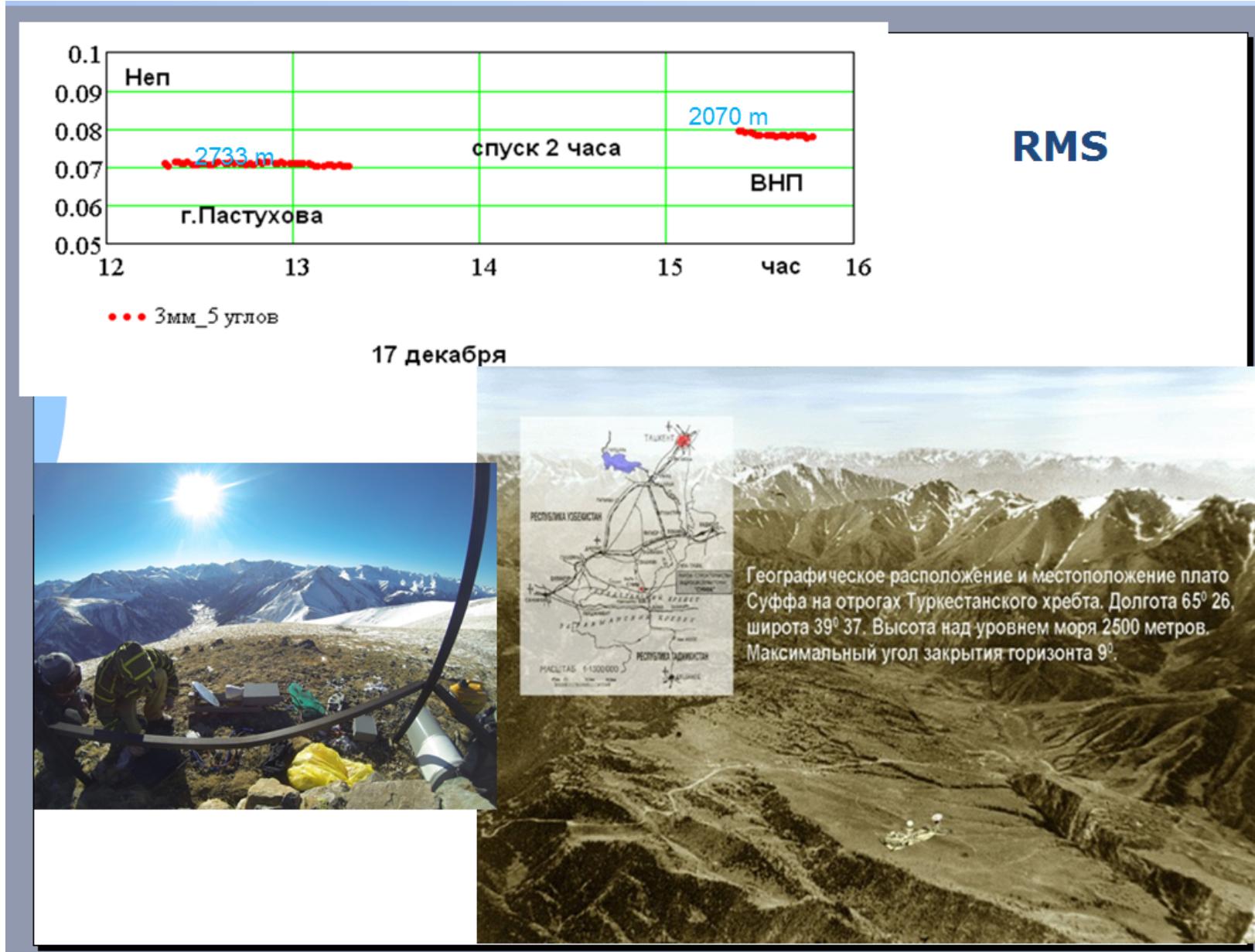
Outside air with moisture, dust and snow freely penetrates under the protective housing. This can damage the internal surfaces of the transparency window, horn lenses, reflector, and rotation system.

Внешний воздух с влагой, пылью и снегом свободно проникает под защитный корпус. Это может портить внутренние поверхности окна прозрачности, линз рупоров, отражателя и системы вращения.



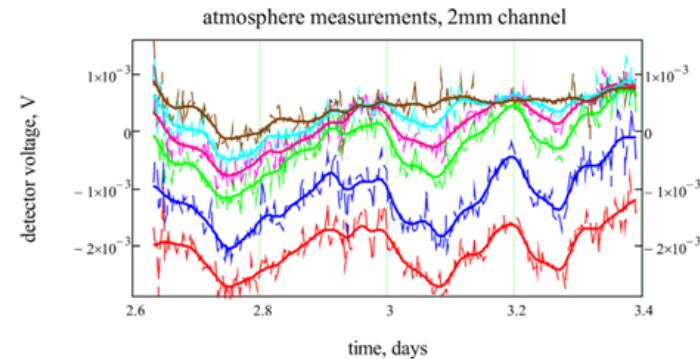
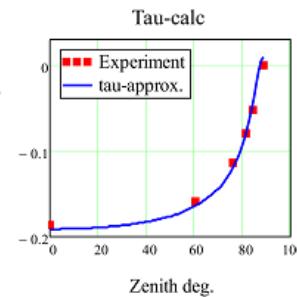
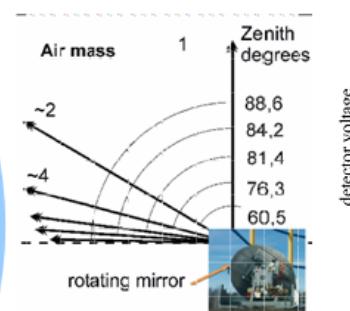
2017. The device (MIAP-2) did not have a thermoregulation system, but the measurements were carried out all year round.

В приборе (МИАП-2) не имелось системы терморегуляции, но измерения проводились круглогодично.



МИАР-2 radiometer. Five angles. Open device without thermoregulation in december. **These are inadequate measurements.**

Modified Atmospheric dip method



$$U(\theta) = U_{aver}(1 - e^{-\tau \cdot \sec(\theta)})$$

Classical “Atmospheric – dip” method was modified to reduce the errors and minimize the disadvantages of the method. We apply smooth filters and adaptive algorithms allowing to calculate opacity even in cloudy weather. We also develop a Machine Learning methods and Neural Net processing to investigate atmospheric parameters.

8

MIAP-2 radiometer. Atmospheric absorption from measurements on five viewing angles: 88.6, 84.2, 81.4, 76.3, 60.5. However, angles 88.6, 84.2, and 81.4 should not be used in the model of a plane-layered atmosphere.

Conclusion:

- 1. For year-round measurements, it is necessary to have perfect thermoregulation.**
- 2. For mobility, it is necessary to reduce the size of the device. This is fundamentally possible. However, it requires funds.**

Заключение:

- 1. Для круглогодичных измерений необходимо иметь совершенную терморегуляцию.**
- 2. Для мобильности необходимо уменьшить размер прибора. Это принципиально возможно. Однако требует средств.**

Thank you for your attention