

УДК 621.372:551

## **НИСХОДЯЩЕЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ НА ВОЛНЕ 3 мм**

**К. Ш. Ашымканов**

**Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской  
Республики, 720071, Бишкек, пр-т Чуй 265а**

Статья поступила в редакцию 8 октября 2016 г., после доработки – 24 января 2017 г.

**Аннотация.** Приведены результаты многолетних исследований нисходящего излучения атмосферы в горной местности на волне 3мм. Выполнены экспериментальные измерения радиояркостной температуры атмосферы на высотах 760, 1660 и 3050 метров над уровнем моря за период от июня 1985 года по сентябрь 1995 года. При этом использован передвижной радиометрический комплекс, собранный в ИРЭ РАН по макету приемника радиотелескопа МГТУ им. Н.Баумана. Измерения выполнялись по методу поворотного отражателя. Метод позволял регистрировать нисходящее излучение атмосферы в пределах от 0 до 90 градусов зенитного угла, а также выполнять калибровку приемника по эталонным температурам (черные тела при температуре приземного слоя воздуха и жидкого азота). Проведены расчеты радиояркостной температуры атмосферы по стандартной и по радиозондовым данным аэрологической станции «Бишкек» Кыргызгидромета по методике А.Ю.Зражевского (ИРЭ РАН). При проведении расчетов использована модель плоскостлой атмосферы. В программу расчета задаются табулированные данные давления, температуры и влажности атмосферы до высоты 20км. Результаты расчетов радиояркостной температуры получают в виде таблиц индикатрисы излучения от 0 до 80 градусов зенитного угла. Представлены угловые, высотные и сезонные зависимости излучения атмосферы от температуры и влажности.

**Ключевые слова:** радиоволны, излучение, длина волны, атмосфера.

**Abstract.** The results of many years of research the downward atmospheric radiation in a mountainous area in the wake of 3mm are presented.. Experimental measurements of radio brightness temperature of the atmosphere at altitudes of 760, 1660 and 3050 meters above sea level for the period of June 1985 to September 1995 are fulfilled. We used a mobile radiometric complex, assembled in the IRE on the layout of the receiver telescope of Bauman Moscow State Technical University. The measurements were performed by the method of rotating reflector. The method allows to record the downward atmospheric radiation in the range from 0 to 90 degrees inclination angle, and to perform a receiver calibration reference temperature (black body at the temperature of the surface air and liquid nitrogen). The calculations of brightness temperature of the atmosphere at the standard and radiosonde data of upper-air station "Bishkek" of Kyrgyz hydrometeorological service according to the procedure of A.Yu.Zrazhevsky (Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronica of Russian Academy of Sciences). During the calculations we used the model of stratified atmosphere. The calculation program operates with the set of tabulated data of pressure, temperature and humidity of the atmosphere at the altitude of 20km. Brightness temperature calculation results are prepared in tables of emission indicatrix of 0 to 80 degrees inclination angle. Angle, altitude and seasonal dependence of the radiation from the atmosphere temperature and humidity are presented.

**Keywords:** radio waves, radiation, wavelength, atmosphere.

Использование диапазона миллиметровых радиоволн в радиосвязи (скрытная связь), в радиолокации, в телевидении и в медицине приносит определенные экономические выгоды. Во-первых, в настоящее время в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазонах уже нет свободных частот для использования их в вышеназванных отраслях народного хозяйства [1-3]. Во-вторых, миллиметровый диапазон (ММД) имеет ряд существенных преимуществ, по сравнению с длинноволновой частью УКВ. Например, в радиолокации это более высокое угловое разрешение, в медицине –

диагностика и лечение радиоволнами ММД и др. В этой связи исследование собственного излучения атмосферы в ММД является перспективной задачей. Ближайшим применением результатов таких исследований будет внедрение сотового телевидения [4]. В горных условиях Кыргызской Республики применение методов и техники сотового телевидения дает следующие преимущества :

а) техника сотового телевидения основана на использовании цифровых технологий передачи изображения и звука, б) мощность передающего устройства обеспечивает радиус вещания всего 5 км (это приблизительно территория одного высокогорного села), в) станция сотового телевидения может транслировать передачу до 500 телевизионных каналов и плюс Интернет.

В настоящей статье представлены результаты экспериментальных измерений излучения атмосферы на волне 3мм проведенных в лаборатории радиофизики Института физико-технических проблем и материаловедения Национальной Академии Наук Кыргызской Республики (ИФТПМ НАН КР) за период с 1985 года по 1995 годы. Целью работы является исследование угловой, высотной и сезонной зависимости радиоизлучения атмосферы на волне 3мм в горной местности. Полевые измерения яркостной температуры атмосферы выполнялись методом «поворотного отражателя» [7] в следующих пунктах наблюдений : 1) Экспериментальная база ИФТПМ НАН КР в пригороде Бишкека, 2) РРС «Чолпон-Ата», 3) Перевал Туя-Ашу. Эти пункты наблюдений размещены в разных климатических зонах и высотах над уровнем моря. Измерения яркостной температуры атмосферы получались в виде индикатрис нисходящего излучения атмосферы в каждом из пунктов. Кроме того, каждое измерение сопровождалось выполнением сопутствующих измерений давления, температуры и влажности приземного слоя воздуха. Таким образом можно было сравнивать индикатрисы каждого пункта и получать угловую, высотную и сезонную зависимость излучения атмосферы. Для сравнения на Рис. 1 представлены индикатрисы яркостной температуры

Тя, которые были вычислены по данным стандартной атмосферы (сплошная кривая), по радиозондовым данным Кыргызгидромета (пунктирная линия) и данные эксперимента (прерывистая линия).

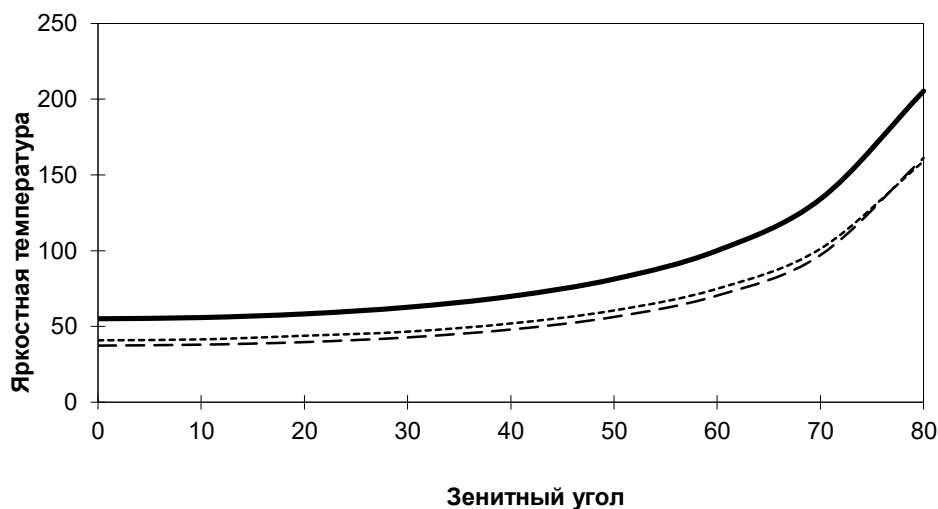


Рис. 1 Сравнение расчетных и экспериментальных индикатрис нисходящего излучения атмосферы на волне 3мм (июль).

Как видно из графика, летом стандартная атмосфера на 15-18К завышает яркостную температуру атмосферы, а расчеты по радиозондовым данным хорошо согласуются с экспериментом. Для зимних условий погоды (см. Рис. 2) картина иная: эксперимент ближе к индикатрисе стандартной атмосферы, чем к радиозондовой. Этот результат, возможно, получается из-за малости влагосодержания атмосферы в зимнее время.

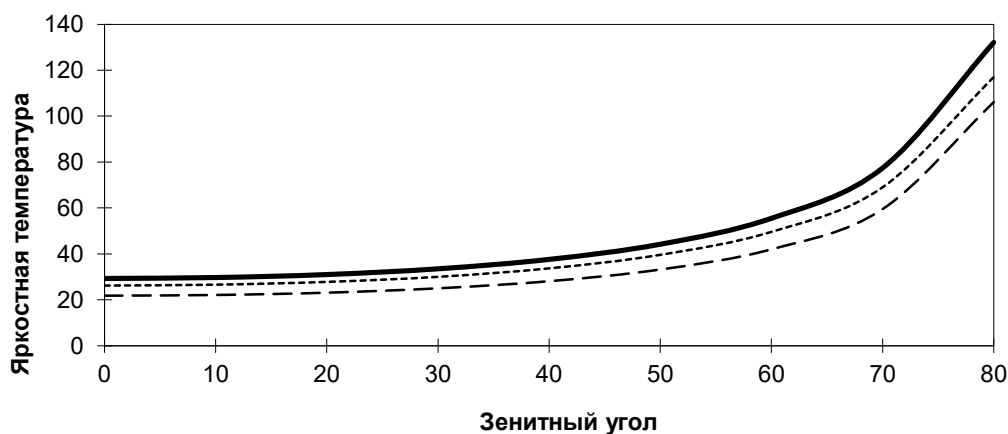


Рис. 2 Сравнение расчетных и экспериментальных индикатрис нисходящего излучения атмосферы на волне 3мм (январь).

Высотная зависимость радиоизлучения атмосферы на частоте 90 ГГц исследована по данным расчетов  $T_y$  на основе таблиц радиозондовых данных для летних и зимних условий Северного Кыргызстана, а также полевыми измерениями на вышеназванных пунктах методом «поворотного отражателя». Эти графики показаны на Рис.4. и Рис. 5.

Расчеты  $T_y$  были выполнены по методике работы [5], при этом нисходящее излучение земной атмосферы  $T_y$  вычислялось по формуле:

$$T_y = 0,23 \sec \theta \int_{H_1}^{H_2} T(h) \gamma(h) \exp \left( -0,23 \sec \theta \int_H^h \gamma(h) dh \right) dh$$

где  $\theta$  - зенитный угол.

Метод «поворотного отражателя» поясняет схема измерений представленная на Рис.3.

Измерение нисходящего излучения атмосферы при неподвижной приемной антенне осуществляется по схеме на Рис.3. В

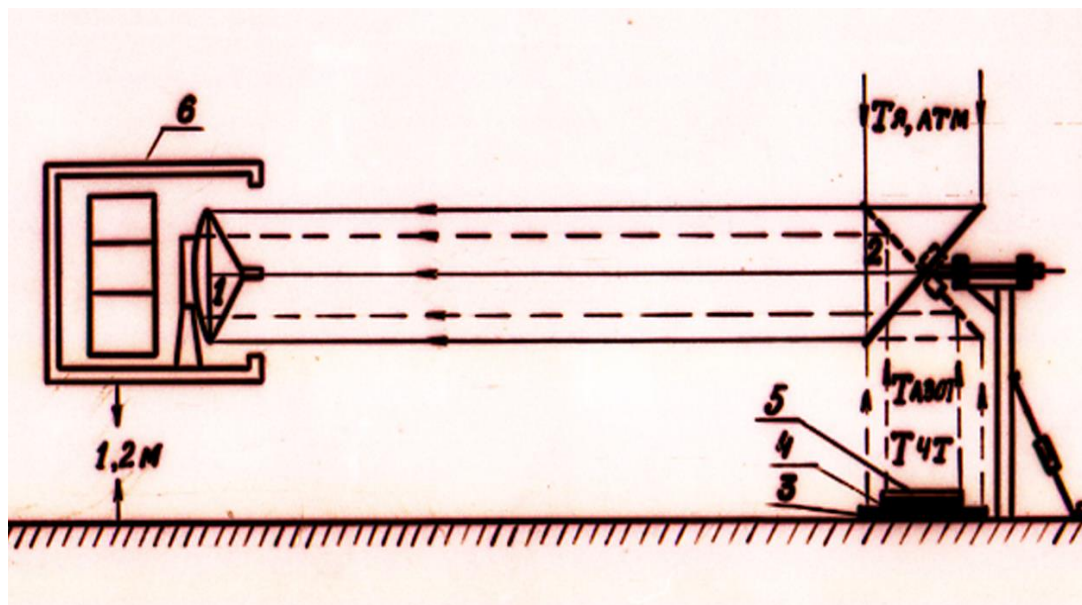


Рис. 3. Схема калибровки аппаратуры и измерений индикатрисы излучения атмосферы:

1-антенна, 2-отражатель, 3-большое черное тело, 4-кювета с черным телом, 5-лист металла, 6-кузов автомашины.

В сторону антенны-1, при соответствующем повороте отражателя-2 подается излучение атмосферы с различных зенитных углов. При этом видимая (со стороны антенны) площадь отражателя остается неизменной, что

позволяет исключить систематические ошибки измерений. Такая схема измерений позволяет осуществлять калибровку всего приемника по эталонным излучателям.

Согласно методу замещения, поочередно устанавливая под отражателем-2 «теплое» черное тело-3 и «холодное» черное тело-4 (с температурами приземного слоя воздуха и жидкого азота соответственно), получаем калибровочную прямую. Далее, закрывая кювету-4 металлической пластинкой-5, определяем радиоизлучение «опорной области». Вычислив зенитный угол последнего, получаем рабочую прямую, и по ней уже можем определить излучение неба при любом зенитном угле.

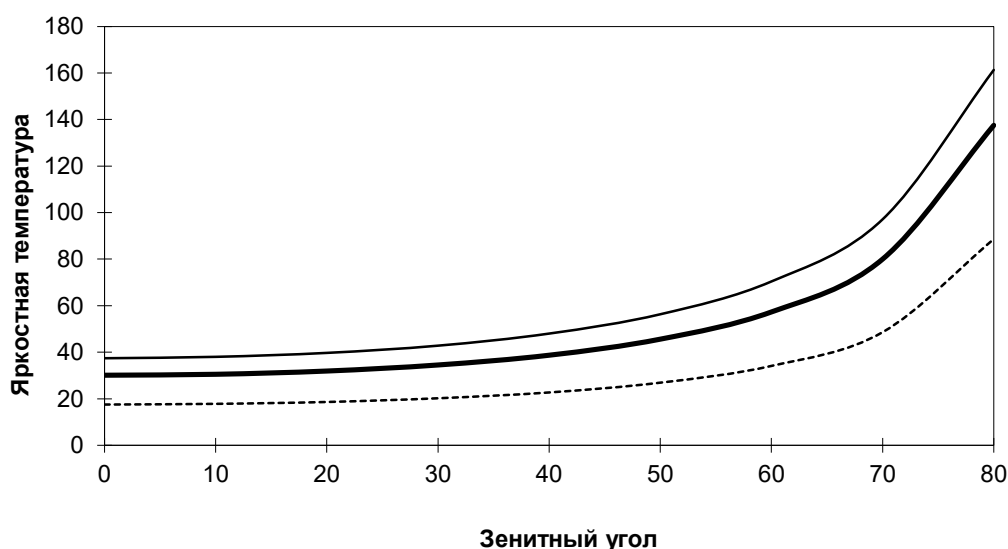
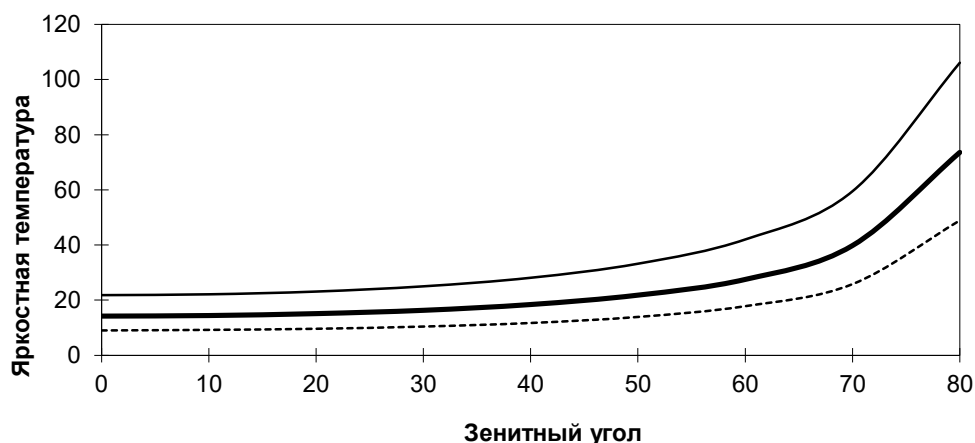


Рис.4 Высотная зависимость  $T_y$  (июль).

Здесь сплошная линия представляет индикатрису нисходящего излучения атмосферы для высоты наблюдения 760м, сплошная жирная - для высоты 1600м и пунктирная - для высоты 3050м. Как видно, высотная зависимость проявляется в уменьшении яркостной температуры с увеличением высоты над уровнем моря. Например, летом зенитные температуры равны - 37.4, 30.1 и 17.5К, а зимой - 21.8, 14.2 и 9.2К соответственно. Зимние индикатрисы представлены на Рис. 5

Рис 5 Высотная зависимость  $T_{я}$  (январь).

Видно, что чем выше высота над уровнем моря, тем меньше их яркостные температуры. Зимой яркостные температуры для тех же зенитных углов меньше. Например, для высоты над уровнем моря 1600м - на 18-20К меньше для зенитных углов от 0 до 30 градусов, а для зенитного угла 80 градусов - меньше 64К. Для зенитных углов более 80 градусов необходимо учитывать рефракцию и сферичность земли, т.к. плоско-слоистая модель атмосферы не работает. Относительные среднеквадратичные погрешности аппроксимации зависимости расчетных яркостных температур атмосферы в зените от измеренных на этих высотах составили 7% и 8% соответственно. На всех высотах экспериментальные значения больше расчетных. Например, на высоте 3,05 км максимальные значения измеренных яркостных температур атмосферы в зените летом больше на 23 К, чем расчетные, а зимой - на 10 К.

Для исследования годовых вариаций излучения атмосферы Северного Кыргызстана выполнена выборка радиозондовых данных Кыргызгиромета и затем вычислены  $T_{я}$  для трех пунктов – Бишкека, Чолпонаты и перевала Туяашу. Причем год выборки совпадал со сроками проведения полевых измерений  $T_{я}$ . На рис. 6 показаны вариации  $T_{я}$  для июля 1985 года, верхняя кривая получена на высоте 760 метров над уровнем моря (город Бишкек), средняя – 1600 метров (город Чолпоната) и нижняя – 3050 метров (перевал Туяашу). При этом, среднемесячная яркостная температура равна – 57,4; 44,6 и 28,4 К соответственно.

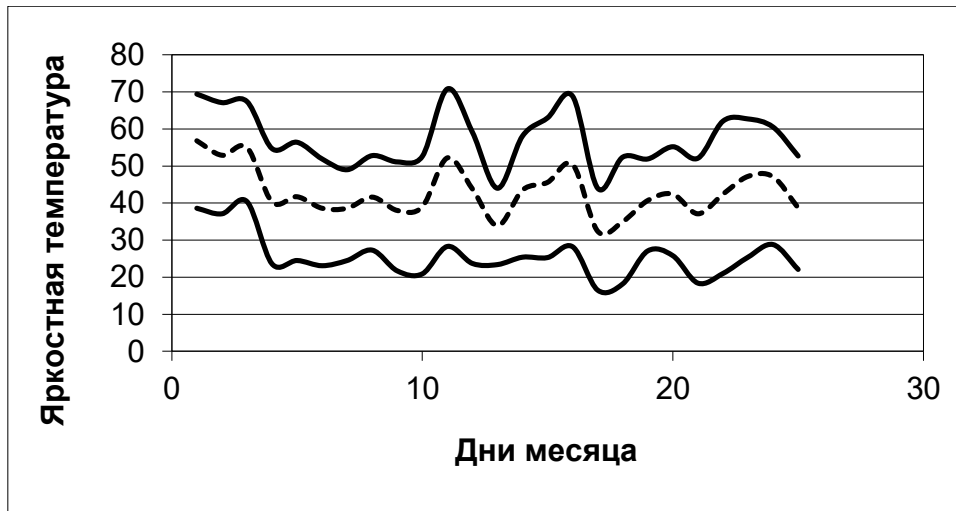


Рис 6. Месячные вариации Тя для июля (сплошная линия –Бишкек, пунктирная – Чолпоната и нижняя - Туяашу).

Изменения Тя в октябре для указанных высот приведены на Рис. 7. Как видно, здесь тоже имеет место вариации Тя. Причем, среднемесячные значения яркостных температур меньше на 11,2; 13,0 и 12,1 К чем в июле соответственно.

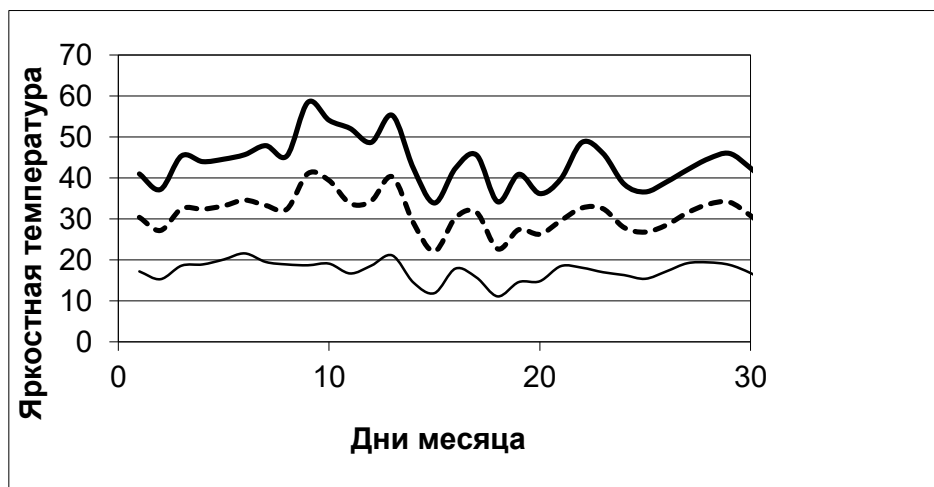


Рис. 7 Месячные вариации Тя для октября.

Зимой яркостные температуры для всех высот еще меньше. Это показано на Рис. 8. Для всех дней января 1986 года радиозондовые данные были приведены к виду, удобному для выполнения расчетов и сохранены в виде отдельного файла. При этом, были вычислены Тя как для облачной, так и для безоблачной (чистой) атмосферы.



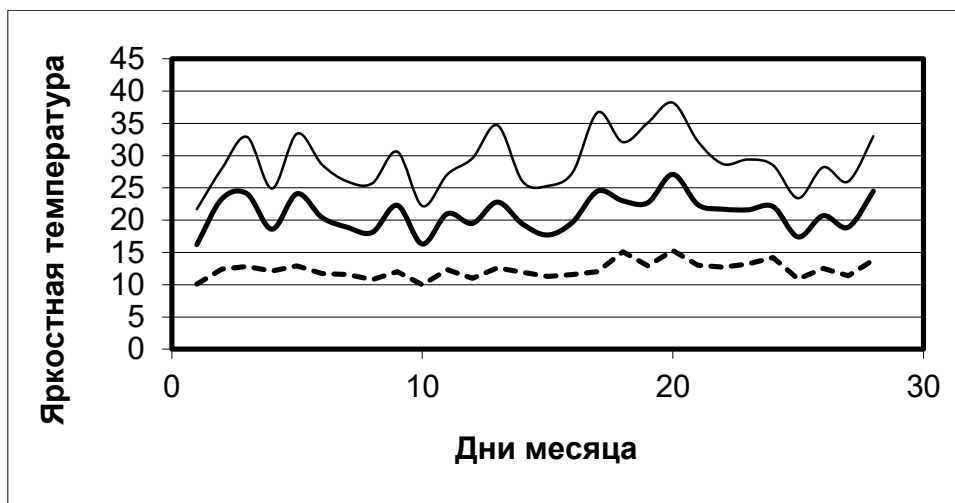


Рис 8. Вариации Тя для января.

Как видно из графика, значения яркостных температур января 1986 года изменяются в пределах – от 21,7 до 38,2 для Бишкека, от 16,2 до 27,1 для Чолпонаты и от 10,1 до 15,1 для перевала Туяашу. Причем самая низкая яркостная температура, равная 10,1К, получена на указанном перевале. Разность яркостных температур для июля 1985 года и января 1986 года по средним величинам составляет – 26,3; 23,0 и 15,8 К соответственно. Для весенних условий погоды изменения яркостных температур для апреля 1986 года показаны на Рис. 9.

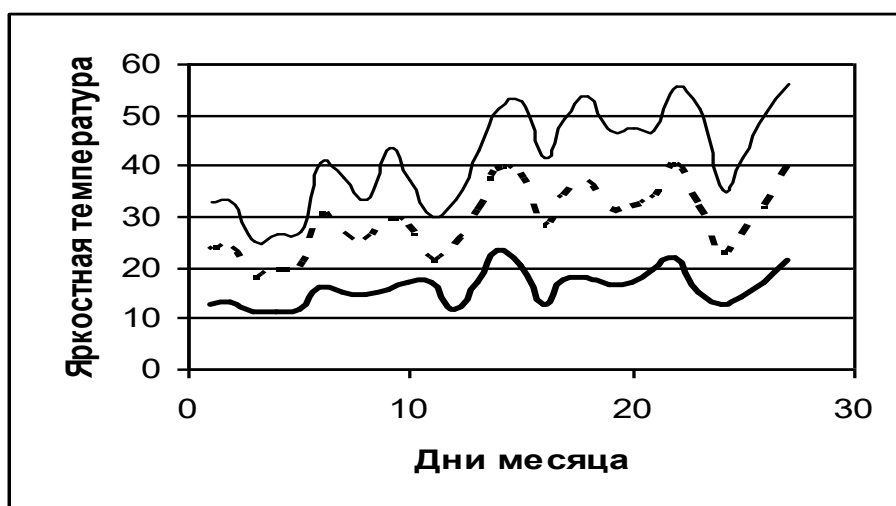


Рис. 9. Вариации Тя для апреля.

Видно, что значения вариаций  $T_A$  лежат в пределах – от 25 до 56 К для Бишкека, от 17,9 до 40 К для Чолпон-Аты и от 11 до 23,4 К для перевала Туя-Ашу. Это близкие значения для осени 1985 года. В случае облачной атмосферы измерения были эпизодическими, но регистрация хода эксперимента была достаточно подробной, что давало возможность определять значения собственного излучения облака и его временные вариации. Все сеансы регистрации радиоизлучения облака проводились после калибровки приемника по азоту и далее оценивалась чувствительность радиометра и дрейф нуля. До эксперимента и после замерялась термодинамическая температура черного тела (ЧТ) и синхронно регистрировался сигнал от генератора шума (ГШ). Такой ход измерений позволял визуально контролировать работу радиометра. На Рис.10 показаны флуктуации сигнала от облака при зенитном угле 30 градусов. Это быстрые флуктуации сигнала при постоянной времени приемника - 0,1сек. Место регистрации излучения облака – город Чолпон-Ата, дата – 5 июня, время – 11 часов. Температура приземного слоя воздуха – 26,4 градусов Цельсия.

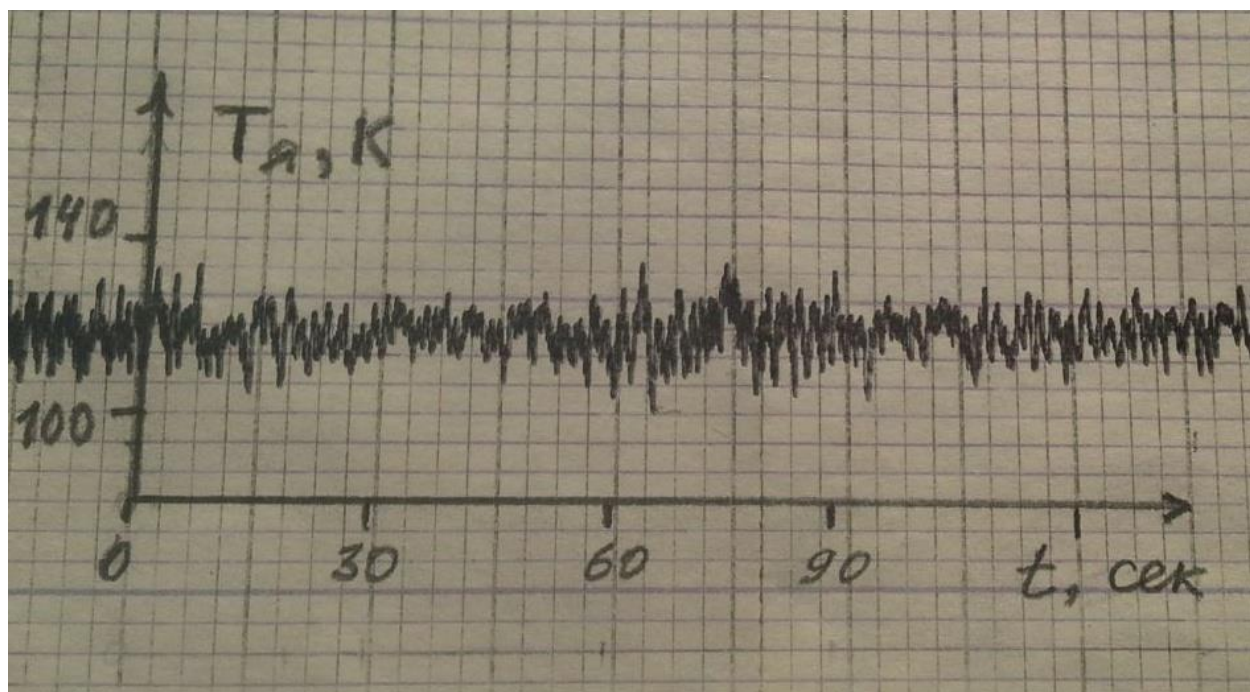


Рис.10. Флуктуации радиоизлучения облачной атмосферы.

Записи флуктуаций излучения облака была обработана по методике работы [7], и получены численные значения радиоизлучения этого объекта в

абсолютной шкале температур. Оказалось, что радиояркая температура варьирует от 102,8 до 135,1К, и амплитуда флуктуаций составляет более 32К. Полевые измерения нисходящего излучения атмосферы были проведены и обработаны за период с июня 1985 года по август 1995 года.

При этом получены средние многолетние дневные яркие температуры :

а) Бишкек – 44,2К, б) Чолпон-Ата – 50,2К, в) Туя-Ашу – 25,9К.

Превышение среднего значения в Чолпон-Ате над Бишкеком видимо объясняется тем фактором, что пункт измерения на высоте 1600 метров находится в непосредственной близости от озера Ысык-Куль и влажности больше.

В качестве выводов можно сказать следующее : приведены результаты многолетних исследований нисходящего излучения атмосферы в горной местности на волне 3мм. Представлены угловые, высотные и сезонные зависимости излучения атмосферы от температуры и влажности.

### **Литература:**

1. Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Т. Радиоизлучение Земли как планеты, М., Наука, 1974.
2. Степаненко В.Д., Щукмн Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплокация в метеорологии, Л., Гидрометеиздат, 1987.
3. Быстров Р.П., Петров А.В., Соколов А.В. Миллиметровые волны в системах связи // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2000. № 5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/mac/may00/5/text.html>
4. Гольшко А.В. Сети и системы связи, 1998, № 3, с. 102-111.
5. Исхаков И.А., Аганбекян К.А., Зражевский А.Ю. Поглощение и излучение безоблачной атмосферы Земли в ММ-диапазоне волн, Препринт ИРЭ АН СССР, №4, М.,1981.

6. Ашымканов К.Ш., Зражевский А.Ю., Исхаков И.А., Новичихин Е.П.

Нисходящее излучения атмосферы в окнах прозрачности миллиметрового диапазона Тезисы докладов XIУ Всесоюзной конференции по распространению радиоволн, Ленинград, 1984, т2,с.11.

7. Ашымканов К.Ш., Зражевский А.Ю., Орозобаков Т., Соколов А.В.

Исследование радиоизлучения атмосферы в горных условиях в ММ диапазоне волн. // Известия НАН КР, 1988, № 2, с. 42-48.

**Ссылка на статью:**

Нисходящее радиоизлучение атмосферы в горной местности на волне 3 мм. К.Ш.Ашымканов. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №1. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jan17/9/text.pdf>