

Научная статья

УДК 621.372:551.508.8

DOI 10.25205/2541-9447-2023-18-2-5-15

## Определение общего содержания стратосферного озона на миллиметровых волнах над регионом Средней Азии

Алманбет Токтосунович Орозобаков<sup>1</sup>, Бурул Бапаевна Саякбаева<sup>2</sup>,  
Эрмек Учтурукович Орозобаков<sup>3</sup>, Нургуль Асимкановна Аманкулова<sup>4</sup>

<sup>1-3</sup>Институт физики им. акад. Ж. Ж. Жеенбаева НАН КР  
Бишкек, Кыргызстан

<sup>4</sup>Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова  
Бишкек, Кыргызстан

<sup>1</sup>a.orozbekov@mail.ru

<sup>2</sup>burulsayakbaeva@mail.ru

<sup>3</sup>orozbekov82@mail.ru

<sup>4</sup>a\_nur4@mail.ru

### Аннотация

Приведены принципы действия основных блоков радиоспектрометра миллиметрового диапазона по исследованию озонового слоя. Представлены некоторые результаты измерений высотного распределения озона над регионом Средней Азии, по данным которых подтверждены зоны максимальной концентрации озона по высоте, определен суммарный озон в интервале высот 20–60 км.

### Ключевые слова

радиоволны, длина волны, излучение, обтюратор, концентрация озона, озоновый слой, спектр, миллиметровые волны, спектрометр.

### Для цитирования

Орозобаков А. Т., Саякбаева Б. Б., Орозобаков Э. У., Аманкулова Н. А. Определение общего содержания стратосферного озона на миллиметровых волнах над регионом Средней Азии // Сибирский физический журнал. 2023. Т. 18, № 2. С. 5–15. DOI 10.25205/2541-9447-2023-18-2-5-15

## Determination of Total Stratospheric Ozone on Millimeter Waveband over the Central Asian Region

Almanbet T. Orozobakov<sup>1</sup>, Burul B. Sayakbayeva<sup>2</sup>,  
Ermekek U. Orozobakov<sup>3</sup>, Nurgul A. Amankulova<sup>4</sup>

<sup>1-3</sup>Institute of Physics named after J. J. Jeenbaeva NAS KR Bishkek  
Bishkek, Kyrgyzstan

<sup>4</sup>Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov  
Bishkek, Kyrgyzstan

<sup>1</sup> a.oroobakov@mail.ru

<sup>2</sup> burulsayakbaeva@mail.ru

<sup>3</sup> oroobakov82@mail.ru

<sup>4</sup> a\_nur4@mail.ru

### Abstract

The principles of operation of the main blocks of the radio spectrometer of the millimeter range for the study of the ozone layer are presented. Some results of measurements of the altitude distribution of ozone over the region of Central Asia are presented, according to which the zones of maximum ozone concentration in height are confirmed, and total ozone is determined in the altitude range of 20-60 km.

### Keywords

radio waves, wavelength, radiation, shutter, concentration of ozone, ozone layer, spectrum, millimeter waves, spectro-radiometer

### For citation

Orozobakov A. T., Sayakbaeva B. B., Orozobakov E. U., Amankulova N. A. Determination of total stratospheric ozone on millimeter waveband over the central asian region. *Siberian Journal of Physics*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 5–15 (in Russ). DOI 10.25205/2541-9447-2023-18-2-5-15

Радиофизические исследования озонового слоя над регионом Средней Азии были начаты благодаря проектам МНТЦ сотрудниками ИФ НАН КР совместно с ИПФ РАН и НИИИС им. Седакова. На берегу оз. Иссык-Куль была организована радиофизическая атмосферная обсерватория, позволяющая вести круглосуточные наблюдения за озоновым слоем в пределах высот 20–60 км на миллиметровых волнах [1–3]. Определение содержания озона в стратосфере выполнялось методом микроволнового пассивного зондирования. В России подобные исследования атмосферы были начаты в 60-х гг. прошлого века [4–7]. Совместные наблюдения спектральных линий озона на частотах 142,2 и 101,7 ГГц, выполненные в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН (г. Москва) и в Институте прикладной физики РАН (г. Апатиты) [7], показывают высокую эффективность радиофизических методов исследования озоносферы из наземных пунктов, находящихся на большом расстоянии друг от друга.

В Киргизии исследования озонового слоя были начаты в 80-х гг. XX в. [8–11] оптическими методами и на лидарной станции. Были получены среднемесячные значения общего содержания озона в атмосфере центральной части Евразии (Иссык-Куль) за 1980–2006 гг., линейный тренд и плавные изменения озона от года к году, определенные скользящим 12-месячным усреднением. За период этих наблюдений среднегодовое содержание озона в атмосфере упало примерно на 14 % с 349 е.Д. в 1980 г. до 300 е.Д. в 2006 г. Отрицательный линейный тренд составил – 0,3 % в год, эта величина превышает скорость истощения озона для равнинных и океанических регионов для средней широты северного полушария.

В Иссыккульской обсерватории наблюдения ведутся с помощью радиометрического спектрометра (РМС-001) миллиметрового диапазона, основанного на измерении спектра селективного теплового радиоизлучения молекул атмосферного озона в окрестности одной из линий вращательного спектра этого газа. Исследуется вращательный переход молекулы  $O_3$  ( $6_{0,6} \rightarrow 6_{1,5}$ ),

резонансная частота которого близка 110836 МГц. Конструктивно озонметрический комплекс состоит из СВЧ-блока, установленного на опорном устройстве и блока управления, содержащего источники питания, спектральные фильтры и блоки согласования с системой ввода и обработки информации. Компоновка СВЧ-блока на опорном устройстве приведена на рис. 1.

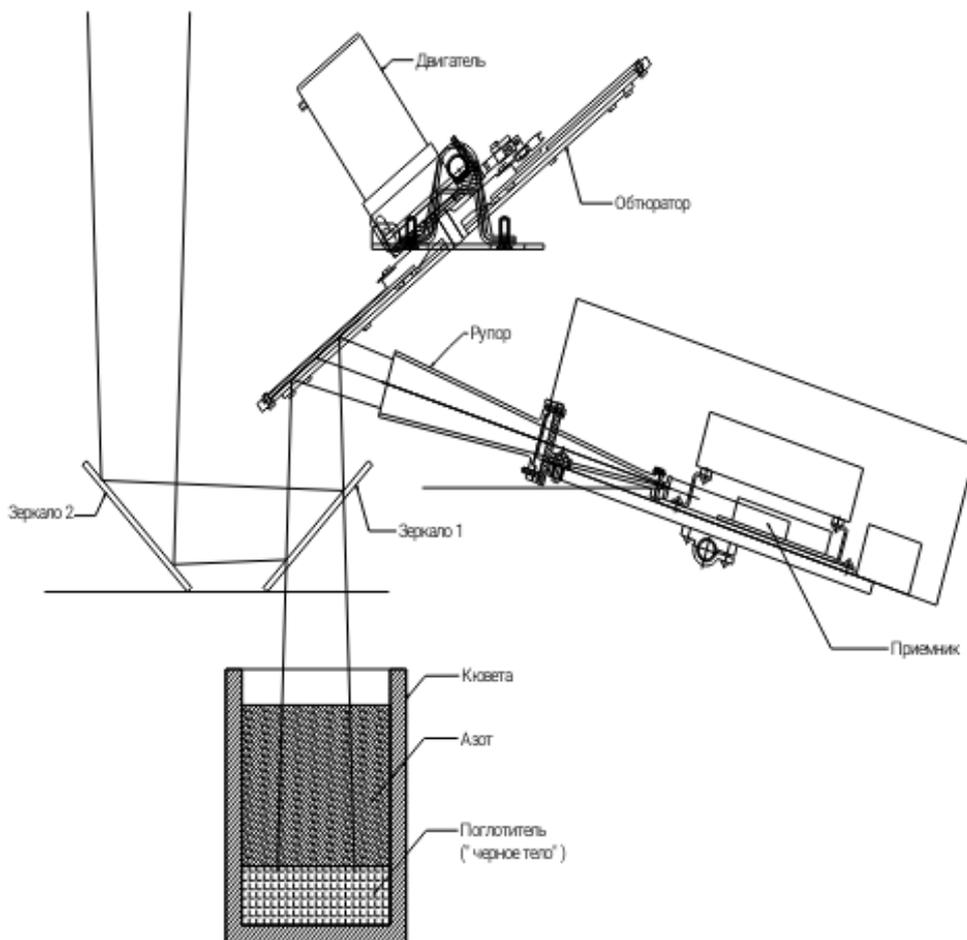


Рис. 1. Схема расположения озонметрического комплекса  
 Fig. 1. Scheme of location of the ozonometric complex

В зависимости от режимов в различные интервалы времени на вход приемника поступают: сигналы от эталонных нагрузок зенита или «черного тела» при температуре жидкого азота; излучения атмосферы под углом наблюдения и «черного» тела на обтюраторе. Принятый антенной сигнал 2,7-миллиметрового диапазона преобразуется смесителем приемника в сигнал промежуточной частоты ПЧ1 в диапазоне 1250...1800 МГц, который далее усиливается включенными последовательно малошумящим усилителем МШУ ( $N_{\text{Ш}} \sim 1$  дБ,  $K_{\text{р}} = 34,5$  дБ) и УПЧ ( $N_{\text{Ш}} \sim 3$  дБ,  $K_{\text{р}} = 29$  дБ).

Компоновка блока ММ (внешний вид), включающего в себя основные узлы (рупорную антенну, плату приемника с СВЧ-узлами приемного и гетеродинного трактов, синтезатор, стабилизаторы питающих напряжений – СН) и дополнительные узлы для модуляционного режима работы (генератор НЧ управляющего напряжения), приведена на рис. 2.



Рис. 2. Узлы блока ММ  
Fig. 2. Units of the MM block

С выхода блока ММ сигнал диапазона ПЧ<sub>1</sub> поступает на блок ПЧ-2, предназначенный для дальнейшего преобразования диапазона частот ПЧ<sub>1</sub> в диапазон более низких частот ПЧ<sub>2</sub>.

Выделенные фильтрами спектральных каналов анализируемые сигналы подаются на квадратичные детекторы (на базе диодов 2A202A) и далее поступают на УНЧ. Каждый УНЧ собран по схеме с использованием прецизионных УПТ. С выходов УНЧ сигналы напряжением  $\sim 2,25$  В (при сигнале, эквивалентном 300 °К) через устройства коммутации поступают в вычислитель, где с помощью АЦП преобразуются в цифровую форму. На входе АЦП включен электронный коммутатор на 32 положения с быстродействием не хуже 0,5 мкс. Оцифрованные сигналы поступают на вход ПЭВМ, где проводится их обработка по заданным алгоритмам и накопление данных измерений. Полученные зависимости оптической толщины линии от частоты позволяют решить уравнение переноса теплового излучения в атмосфере относительно величины содержания озона на луче зрения, т. е. определить вертикальное распределение озона.

Для получения спектров атмосферного озона в основном была использована методика абсолютной калибровки интенсивности линии озона [12, 13], которая включает в себя последовательный прием излучения «черного тела» при температуре кипящего жидкого азота, в направлении угла места  $16^\circ$  и от «черного тела» при температуре окружающего воздуха. Средняя продолжительность такого скана составляла около 4,5 мин. Время усреднения выбиралось в зависимости от поставленной задачи и менялось от 1 часа (для анализа суточных вариаций содержания озона) до нескольких часов (для получения среднесуточных значений).

Измерения, результаты которых приведены в данной статье, проводились в течение 6 дней. Осадков не было, стояла обычная для данного района летняя погода, в дни измерений малооблачная. В результате измерений были получены спектры поглощения в линии озона с резонансной частотой 110836 МГц. На рис. 3 приведена панель восстановления высотного распределения озона по спектру дневного наблюдения за 25 июля.

В таблице приведен спектр поглощения озона, измеренный и рассчитанный по трехпараметрической модели вертикального профиля озона. Иначе говоря, это зависимость оптической толщины (поглощения) озона от частоты в единицах Непер. Ошибка в столбце – это погрешность измерения (тоже в Неперах). Она колеблется от 1 % в первом канале до 100 % в послед-

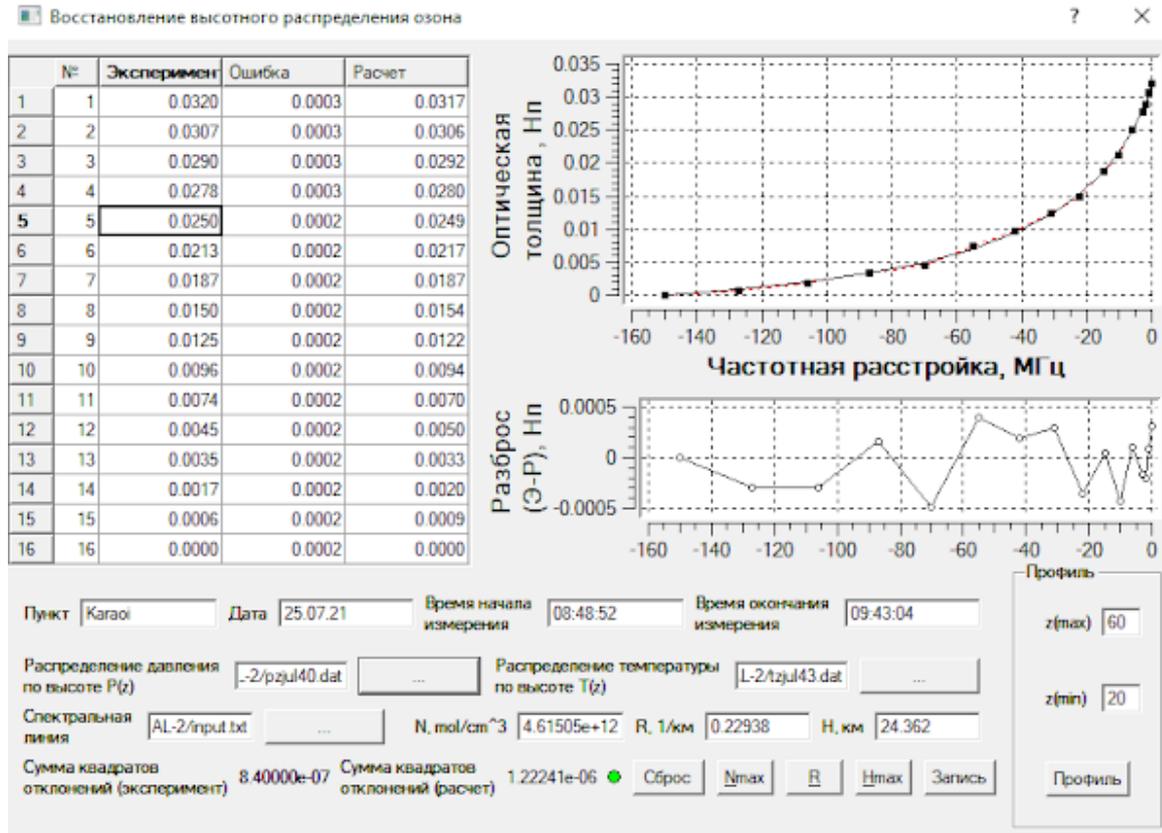


Рис. 3. Панель восстановления высотного распределения озона  
Fig. 3. Altitude Ozone Recovery Panel

нем. Внизу таблицы приведена суммарная по всем каналам среднеквадратичная погрешность измерений  $1,05 \times 10^{-6}$  ( $1,05 \oplus 10^{-6}$ ).

Полученные зависимости оптической толщины линии от частоты позволяют решить уравнение переноса теплового излучения в атмосфере относительно величины содержания озона на луче зрения, т. е. определить вертикальное распределение озона (ВРО). Связь измеряемой оптической толщины озона  $\tau_{oz}(\nu)$  и его высотного профиля концентрации  $N_{oz}(z)$  определяется известным уравнением Фредгольма 1-го рода:

$$\tau_{oz}(\nu) = \int N_{oz}(z) \cdot K(\nu, z) dz, \quad (1)$$

где  $K(\nu, z)$  – весовая функция, описывающая конкретный вращательный переход.

В данном случае при регуляризации решения использовался метод подбора параметров заданной модели озонового слоя путем минимизации среднеквадратичных разностей измеренных спектров и рассчитанных по восстановленным профилям озона. Он основан на использовании априорной информации о характере вертикального распределении озона, которое задается аналитически в виде «параболического» слоя:

$$N_{oz}(z) = 4N_m \frac{\exp[(z - z_m)R]}{\{1 + \exp[(z - z_m)R]\}^2}. \quad (2)$$

Изменяя параметры слоя – концентрацию в максимуме  $N_m$ , высоту максимума  $z_m$  и фактор убывания концентрации  $R$ , а также используя методику последовательных приближений, достигли, чтобы в результате решения прямой задачи расчетный спектр  $\Delta\tau_{oz}^c(\nu_i)$  был близок к экспериментальному  $\Delta\tau_{oz}^e(\nu_i)$ , т. е. выполнялось условие

$$D = \sum_i [\Delta\tau_{oz}^c(\nu_i) - \Delta\tau_{oz}^e(\nu_i)]^2 = \min. \quad (3)$$

Из условия равенства нулю производных функционала  $D$  по  $N_m$ ,  $z_m$ ,  $R$  можно получить параметры искомого профиля. Критерием завершения процедуры подбора параметров озонового слоя является величина среднеквадратичных ошибок измерения спектра  $O_3$  в каналах спектрометра –  $\delta[\Delta\tau_{oz}^e(\nu_i)]$ . На практике условие (3) сводится к следующему:

$$\sum_i [\Delta\tau_{oz}^c(\nu_i) - \Delta\tau_{oz}^e(\nu_i)]^2 \leq \sum_i \{\delta[\Delta\tau_{oz}^e(\nu_i)]\}^2. \quad (4)$$

В нашем случае характерное разрешение по высоте данного метода восстановления (ВРО) составляет около 10 км. В процедуре восстановления использовались как модельные зависимости давления и температуры от высоты, так и реальные, полученные в результате измерений в пункте микроволновых наблюдений. Точность восстановления ВРО зависит в основном от ошибок радиометрических измерений спектров озона и от погрешности определения профиля температуры. С помощью численного эксперимента были получены оценки влияния на точность восстановления ВРО ошибок первого типа путем добавления к измеренному спектру шума с дисперсией, равной дисперсии результатов измерений. Для типичных значений погрешности измерения спектров  $O_3$  около 1 % разброс восстановленных профилей по 100 реализациям достигал 10 % в интервале высот 25–50 км. Для уровня 60 км погрешность восстановления увеличивалась до 30 %. Влияние возможных отклонений температурного профиля от реального профиля оценивается в 10–20 %. И, наконец, следует упомянуть о система-



Рис. 4. Высотное распределение озона  
Fig. 4. Altitude distribution of ozone

тической погрешности измерений спектра, связанной с возникновением интерференционных эффектов в высокочастотном тракте приемника. В целом верхний предел неопределенности восстановления ВРО на высотах 30–50 км не превышает 20 %, увеличиваясь до 30 % на высоте 25 км и 40 % на высоте 60 км. Справедливость этих оценок подтверждают многочисленные результаты сопоставления наших данных с данными спутниковых измерений и другими наземными микроволновыми измерениями [2, 14].

По данным спектрам, которых в течение часа набирается около 12, определяются концентрация озона по высоте и содержания стратосферного озона. На рис. 4 представлен результат обработки усредненных за один час измерений, по нему можно определить суммарный озон в стратосфере в пределах высот 20–60 км, зоны максимальной его концентрации. В данном случае это –  $5.398 \times 10^{18}$  молекул в столбе от 20 до 60 км с сечением 1 см или 200 единиц Добсона ( $1 \text{ е.Д.} \approx 2,687 \times 10^{16}$  молекул/см<sup>2</sup>) и 24.4–25.2 км.

За другие дни данные измерений о содержании озона в слоях 20–30 и 30–60 км приведены в таблице. Здесь заметны превышения содержания озона в утренние часы над дневными на 3–5 %, обычный ли это процесс – предстоит еще выяснить. Для определения суточного хода содержания озона необходимы более длительные измерения. Ранее были замечены ночные превышения озона над дневными [14].

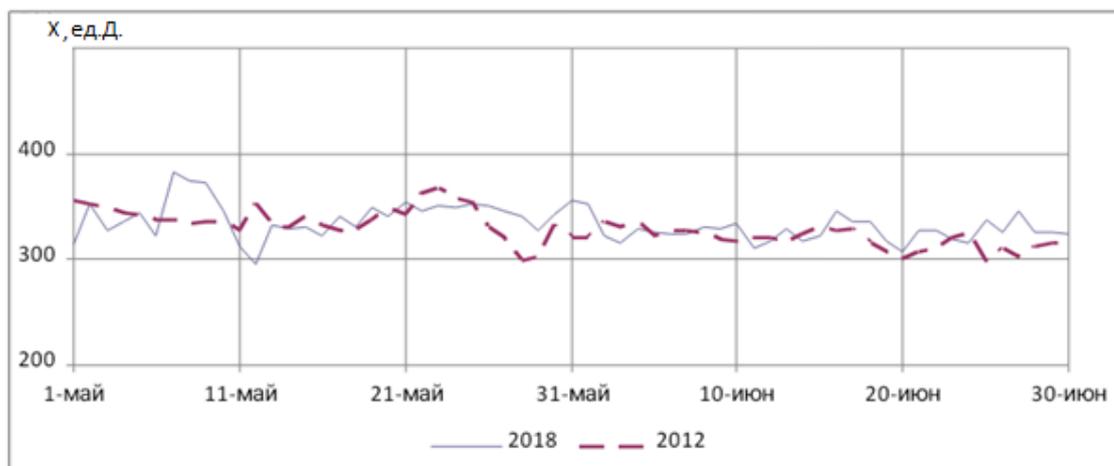
#### Содержание стратосферного озона по данным микроволновых измерений

##### Stratospheric ozone concentration according to microwave measurements

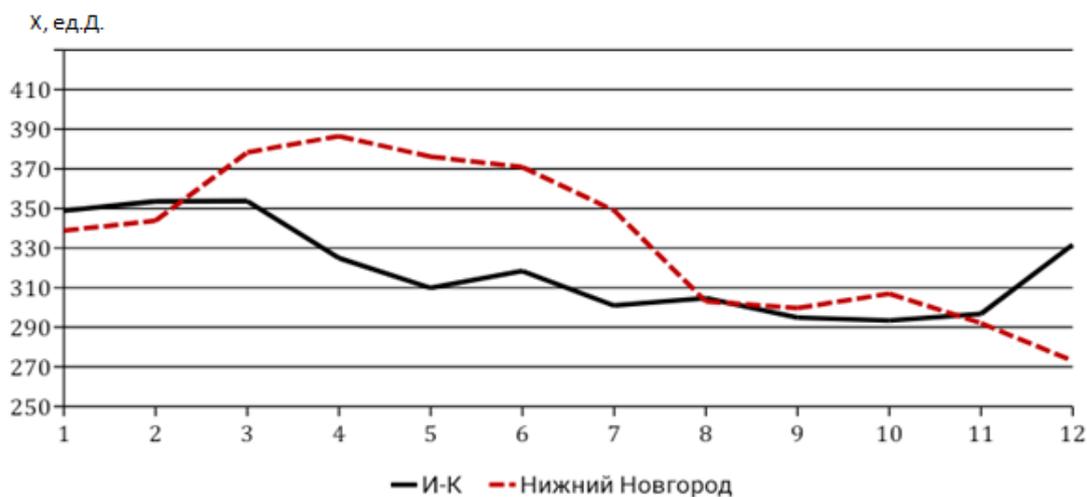
Дата	20.07.21	22.07.21	23.07.21	24.07.21	25.07.21	26.07.21
Местное время	17:38–19:19	18:40–19:58	9:25–10:19	10:06–11:05	8:48–9:43	8:22–9:14
X(20–30) км 10 <sup>18</sup> мол/см <sup>2</sup>	3,671	3,684	3,646	3,630	3,797	3,772
X(30–60) км 10 <sup>18</sup> мол/см <sup>2</sup>	1,635	1,583	1,925	1,639	1,601	1,675
X(20–60) км 10 <sup>18</sup> мол/см <sup>2</sup>	5,306	5,267	5,571	5,269	5,398	5,447
X(20–60) км ед.Д.	197	195	206	195	200	202

Видно, что в столбе с сечением в один квадратный сантиметр от 20 до 30 км озона содержится почти вдвое больше, чем в находящиеся выше 30. Известно, что в низких широтах основной максимум озонового слоя находится выше, чем в верхних. В нашем случае наиболее насыщенным озоном является интервал высот 22–35 км, что подтверждается многолетними наблюдениями.

По данным наземных станций [15], над районом измерений обсерватории (рис. 5, а) общее содержание озона составляет около 290–340 ед.Д. В верхних широтах, над другим районом наземных радиофизических измерений (Нижний Новгород), в весенне-летний период содержание озона больше (рис. 5, б).



а



б

Рис. 5. Общее содержание X озона над районами наземных радиофизических измерений по данным [15]: а – над оз. Иссык-Куль; б – над двумя районами

Fig. 5. The total content of X ozone over the areas of ground-based radiophysical measurements according to the world network data [15]: а – over the lake. Issyk-Kul; б – over two districts

Таким образом, по данным обсерватории (см. таблицу), в пределах высот 20–60 км озона содержится около 65–75 % от всего общего содержания. В зависимости от поставленных задач по высотным распределениям озона в обсерватории отслеживаются суточный и сезонный ходы содержания стратосферного озона, а также его межгодовые вариации.

### Список литературы

1. **Вдовин В. Ф., Зинченко И. И., Кисляков А. Г., Красильников А. А., Куликов Ю. Ю., Носов В. И., Носова Е. В., Рыскин В. Г., Орозобаков А. Т., Орозобаков Т. О., Орехов Ю. И., Шкелев Е. И., Хохрин Л. П.** Обсерватория для мониторинга озонового слоя земли в мм диапазоне длин волн в Среднеазиатском регионе. Первые наблюдения // Меж-

- дународный симпозиум «Физика атмосферы: Наука и образование». 11–13 сент. 2007 г. Санкт-Петербург, 2007. С. 118–122.
2. **Орозобаков Т. О., Зинченко И. И., Рыскин В. Г., Орозобаков А. Т.** Об особенностях распределения озона в стратосфере по результатам одновременных наземных микроволновых измерений в Нижнем Новгороде и Кыргызстане // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 10. С. 24–32.
  3. **Орозобаков Т. О., Кисляков А. Г., Орехов Ю. И., Орозобаков А. Т. и др.** Мониторинг озонового слоя Земли в миллиметровом диапазоне длин волн в Центральноазиатском регионе // *Известия НАН КР*. 2008. № 1. С. 44–46.
  4. **Кисляков А. Г., Куликов Ю. Ю., Рыскин В. Г.** Поглощение микрорадиоволн примесными газами атмосферы // *Труды ИПФ АН СССР / Сб. «Спектральные исследования космического и атмосферного излучения»*. Горький, 1979. С. 84–123.
  5. **Соломонов С. В., Кропоткина Е. П., Лукин А. Н., Пономаренко Н. И., Розанов С. Б.** О вариациях атмосферного озона на миллиметровых волнах // *Изв. АН. Физика атмосферы и океана*. 1993. Т. 29. № 8. С. 525–531.
  6. **Соломонов С. В., Гайкович К. П., Кропоткина Е. П.** Определение вертикального профиля атмосферного озона по наземным измерениям излучения в миллиметровом диапазоне // *Известия АН. Физика атмосферы и океана*. 1999. Т. 35, № 1. С. 86–95.
  7. **Кропоткина Е. П., Куликов Ю. Ю., Рыскин В. Г., Соломонов С. В.** Исследование изменений вертикального распределения озона над Москвой и Апатитами на миллиметровых волнах // *Известия вузов. Радиофизика*. 2005. Т. 11. С. 10–11.
  8. **Токтомышев С. Ж.** Об измерении концентрации атомарных частиц кислорода в диссоциированных газах // *Журнал прикладной механики и технической физики*. 1970. № 1. С. 146–149.
  9. **Семенов В. К., Синяков В. П., Токтомышев С. Ж.** Соотношение между общим содержанием озона и солнечной УФ-В радиации в районе озера Иссык-Куль // *Семинар «Конверсионный потенциал Кыргызской Республики и проекты МНТЦ»*, 7–12 сентября 1998.
  10. **Токтомышев С. Ж., Колбаев К. Б., Семенов В. К., Синяков В. П.** Озоновый слой и геоморфологические процессы горного региона Кыргызского Тянь-Шаня // *Известия НАН КР*. 2007. № 4. С. 49–67.
  11. **Чен Б. Б., Петров Ю. М.** Некоторые вопросы организации климатического мониторинга стратосферного аэрозоля в Киргизии // *Материалы IV съезда ГО Кирг. ССР*. Фрунзе: Илим, 1985. С. 77–79.
  12. **Орозобаков А. Т., Саякбаева Б. Б.** Наблюдения стратосферного озона над оз. Иссык-Куль радиоастрономическими методами в миллиметровом диапазоне длин волн // *Наука и новые технологии*. 2009. № 3. С. 276–279.
  13. **Орозобаков А. Т., Саякбаева Б. Б., Токтосунов Э. К.** Наземные измерения высотного распределения озона на миллиметровых волнах в Иссыккульской обсерватории // *Наука и новые технологии*. 2020. № 4. С. 3–9.
  14. **Орозобаков А. Т., Рыскин В. Г.** Микроволновые наземные измерения суточных вариаций озона в верхней стратосфере над Киргизией // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2015. № 1. Т. 51. С. 88–95.
  15. Scientific assessment of ozone depletion: 1998. WMO. Global ozone research and monitoring project // Report No. 44. Geneva. WMO. 1999.

#### References

1. **Vdovin V. F., Zinchenko I. I., Kislyakov A. G., Krasilnikov A. A., Kulikov Yu. Yu., Nosov V. I., Nosova E. V., and Ryskin V. G., Orozobakov A. T., Orozobakov T. O., Orekhov Yu. I., Shkelev E. I., Khokhrin L. P.** Observatory for monitoring the earth's ozone layer in the mm

- wavelength range in the Central Asian region. First observations // International Symposium «Atmospheric Physics: Science and Education». September 11-13, 2007. St. Petersburg, 2007, pp.118-122.
2. **Orozobakov T. O., Zinchenko I. I., Ryskin V. G., Orozobakov A. T.** On the features of ozone distribution in the stratosphere based on the results of simultaneous ground-based microwave measurements in Nizhny Novgorod and Kyrgyzstan // *Meteorology and Hydrology*. 2012. No. 10. P. 24–32.
  3. **Orozobakov T. O., Kislyakov A. G., Orekhov Yu. I., Orozobakov A. T.** et al. Monitoring of the Earth's ozone layer in the millimeter wave range in the Central Asian region // *Izvestiya NAS KR*. 2008. № 1. P. 44-46.
  4. **Kislyakov A. G., Kulikov Yu. Yu., and Ryskin V. G.** Absorption of microradio waves by impurity gases of the atmosphere // *Proceedings of the Institute of Applied Physics of the Academy of Sciences of the USSR. Collection «Spectral studies of cosmic and atmospheric radiation»*. Gorky, 1979. P. 84-123.
  5. **Solomonov S. V., Kropotkina E. P., Lukin A. N., Ponomarenko N. I., and Rozanov S. B.** On atmospheric ozone variations at millimeter waves // *Izv. AN. Physics of the atmosphere and ocean*. 1993. Vol. 29. No. 8. P. 525-531.
  6. **Solomonov S. V., Gaikovich K. P., Kropotkina E. P.** Determination of the vertical profile of atmospheric ozone from ground-based measurements of radiation in the millimeter range // *Izvestiya AN Atmospheric and oceanic physics*. 1999. Vol. 35, iss. 1. P. 86-95.
  7. **Kropotkina E. P., Kulikov Yu. Yu., Ryskin V. G., Solomonov S. V.** Study of changes in the vertical distribution of ozone over Moscow and Apatity on millimeter waves // *Izvestiya VUZov. Radiophysics*. 2005. Vol.11. P. 10-11.
  8. **Toktomyshev S. Zh.** On measuring the concentration of atomic oxygen particles in dissociated gases // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 1970. No. 1. P. 146-149.
  9. **Semenov V. K., Sinyakov V. P., Toktomyshev S. Zh.** Correlation between total ozone and solar UV-B radiation in the area of the Lake Issykkul // *Seminar «Conversion potential of the Kyrgyz Republic and ISTC projects»*, 7-12 September 1998.
  10. **Toktomyshev S. Zh., Kolbaev K. B., Semenov V. K., Sinyakov V. P.** Ozone layer and geomorphological processes of the mountainous region of the Kyrgyz Tien Shan // *Izvestiya NAS KR*. 2007. No. 4. P. 49–67.
  11. **Chen B. B., Petrov Yu. M.** Some issues of organizing climate monitoring of stratospheric aerosol in Kyrgyzstan // *Materials of the IV congress of GO Kirg. SSR*. Frunze: Ilim, 1985. P. 77–79.
  12. **Orozobakov A. T., Sayakbaeva B. B.** Observations of stratospheric ozone over Lake Issyk-Kul by radio astronomical methods in the millimeter wavelength range // *Science and New Technologies*. 2009. No. 3. P. 276–279.
  13. **Orozobakov A. T., Sayakbaeva B. B., Toktosunov E. K.** Ground-based measurements of the altitude distribution of ozone at millimeter waves in the Issyk-Kul Observatory // *Science and New Technologies*. 2020. No. 4. P. 3–9.
  14. **Orozobakov A. T., Ryskin V. G.** Microwave ground-based measurements of diurnal ozone variations in the upper stratosphere over Kyrgyzstan // *Izvestiya RAS Physics of the atmosphere and ocean*. 2015. No. 1, vol. 51. P. 88–95.
  15. Scientific assessment of ozone depletion: 1998. WMO. Global ozone research and monitoring project // Report No. 44. Geneva. WMO. 1999.

### Сведения об авторах

**Алманбет Токтосунович Орозобаков**, кандидат физико-математических наук

**Бурул Бапаевна Саякбаева**, кандидат физико-математических наук

**Эрмек Учуркулович Орозобаков**, инженер

**Аманкулова Нургуль Асимкановна**, кандидат физико-математических наук

### Information about the Authors

**Almanbet T. Orozobakov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

**Burul B. Sayakbayeva**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

**Ermek U. Orozobakov**, Engineer

**Nurgul A. Amankulova**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

*Статья поступила в редакцию 25.10.2022; одобрена после рецензирования 13.05.2023;  
принята к публикации 12.09.2023*

*The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 13.05.2023;  
accepted for publication 12.09.2023*