



Исследование альbedo облаков Венеры в УФ диапазоне по измерениям спектрометров SPICAV и VIRTIS на борту КА Venus Express

Павел Власов¹ (pavel.vlasov@phystech.edu), Эмилиано Д'Аверса², Николай Игнатьев¹, Денис Беляев¹, Олег Яковлев¹, Жан-Лу Берто^{1,3}, Эммануэль Марк³, Люччо Баджио³, Джузеппе Пиччони² и Роберт Карлсон⁴

(1) Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, (2) INAF-IAPS, Рим, Италия, (3) LATMOS-CNRS, Гвианкур, Франция, (4) CalTech JPL, Пасадина, шт. Калифорния, США



Предыдущие попытки анализа УФ альbedo облаков Венеры и возможные кандидаты на роль УФ поглотителя

Первая эпоха исследований (1970–1980-е гг.):

- ✓ Mariner 10 (1974)
- ✓ Наземные УФ наблюдения (Barker, 1979)
- ✓ Pioneer Venus (Esposito et al., 1979)
- ✓ Венера 13,14 (Ekonomov et al., 1983)
- ✓ International Ultraviolet Explorer (Na et al., 1990)

Кандидаты на роль УФ поглотителя:

SO₂ + SO + :

- Cl₂ (Pollack et al., 1980)
- FeCl₃ (Zasova et al., 1981)
- S₈+S_n (0.4:0.6) (Carlson, 2015)
- C₅H₂O₅ (Hartley, 1989)
- OSSO (Frandsen et al., 2016)

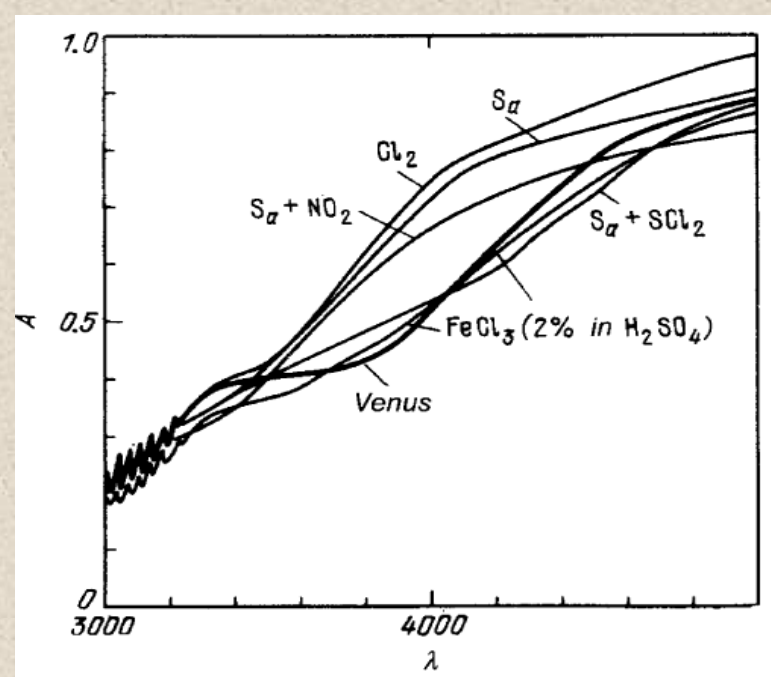


Рис. 1. Набор кандидатов.

Анализ УФ альbedo облаков Венеры по измерениям в надиr во время миссии Venus Express

Миссия Venus Express (VEx) предоставила новую возможность для изучения УФ альbedo облаков Венеры в спектральном диапазоне 200–600 нм по данным спектрометров SPICAV и VIRTIS.

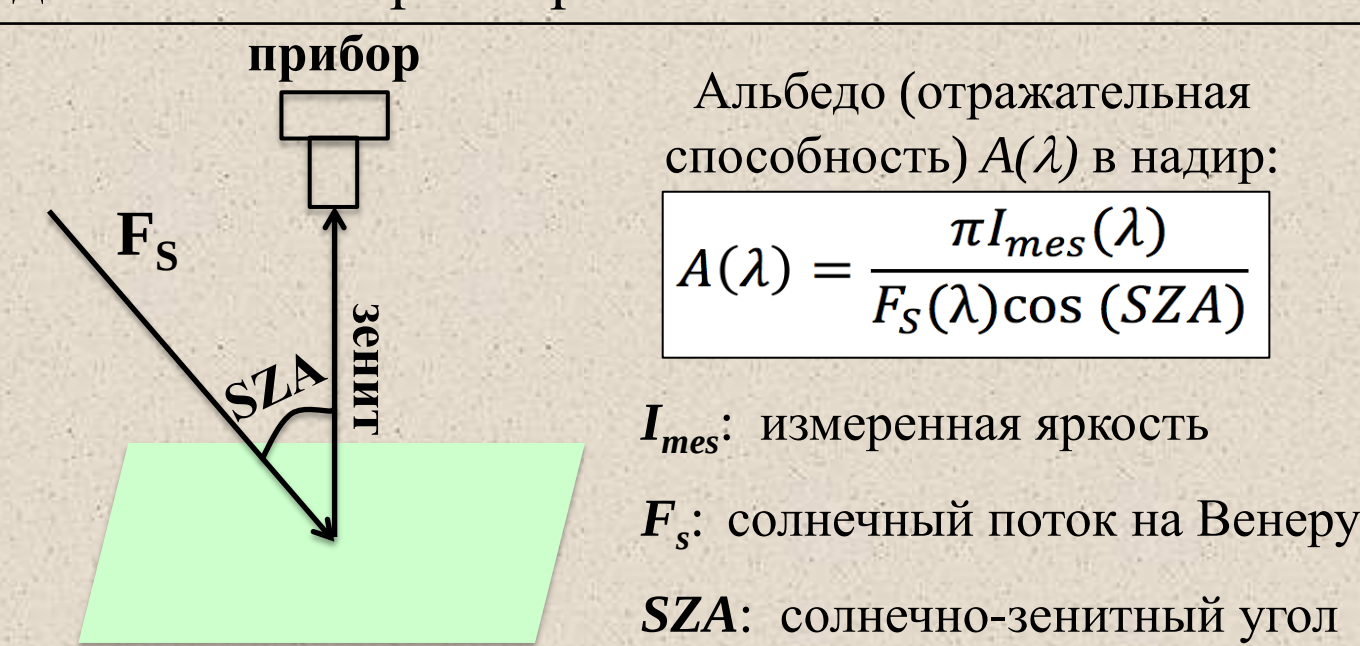


Рис. 2. Определение УФ альbedo (отражательной способности).

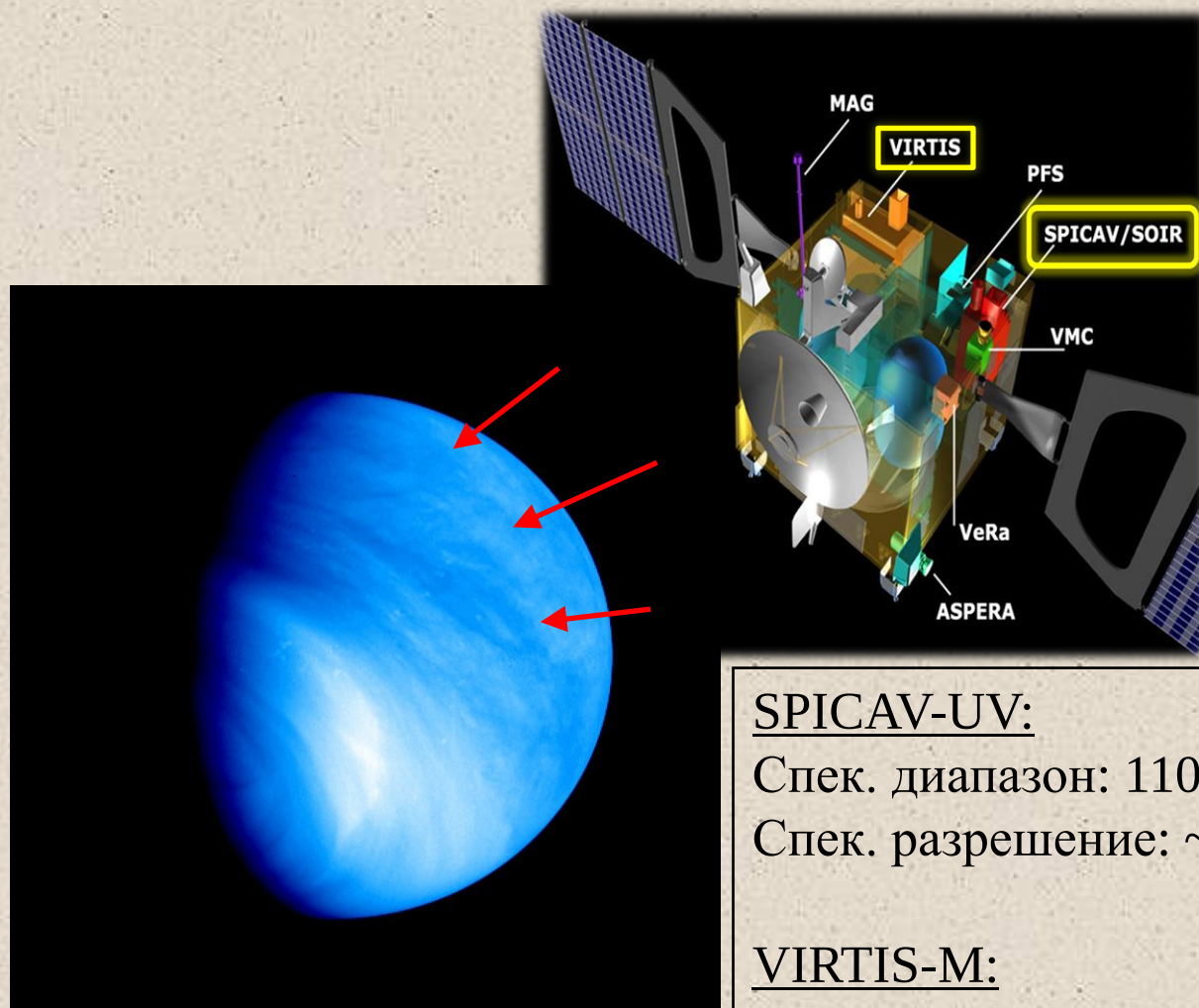


Рис. 3. Схема Venus Express.

SPICAV-UV:
Спек. диапазон: 110-320 нм
Спек. разрешение: ~1.5 нм

VIRTIS-M:
Спек. диапазон: 280-1100 нм
Спек. разрешение: ~3 нм

Набор совместных измерений SPICAV и VIRTIS

До сих пор не было получено непрерывных аккуратных измерений альbedo Венеры в диапазоне 200–600 нм, что позволило бы определить точный состав неизвестных УФ поглотителей в облаках Венеры. Объединённые данные с УФ канала SPICAV и УФ-видимого канала VIRTIS могут продвинуть исследование. Для изучения было отобрано несколько десятков сеансов одновременных измерений SPICAV-UV и VIRTIS-M. Результаты в данной работе представлены на примере участка орбиты 110 (дата: 09.08.2006, широты: 5–31°, местное время: 10.3567–10.3644).

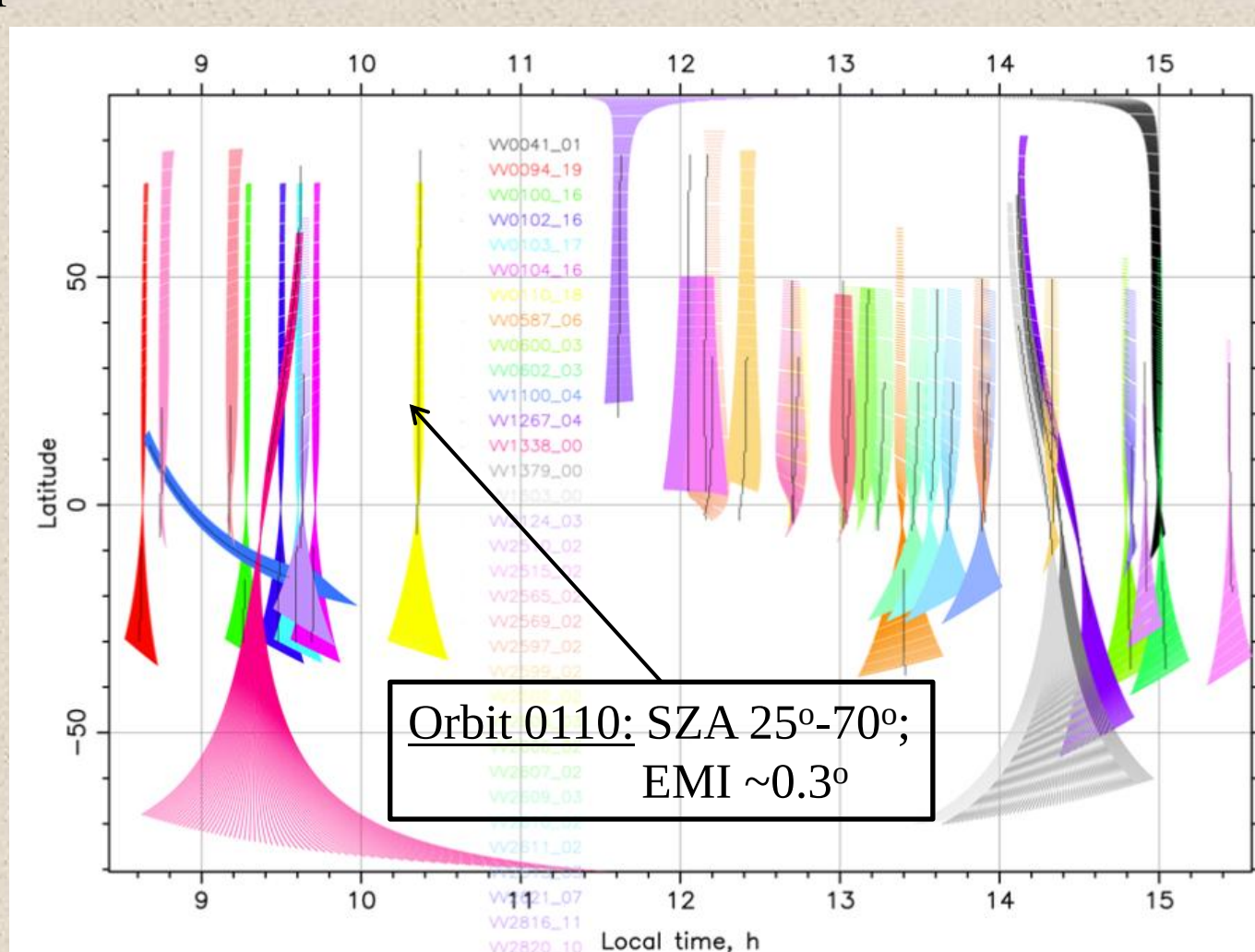


Рис. 4. Покрывте одновременных наблюдений.

Коррекция засветки в спектрах VIRTIS

Основная задача – исключение из спектров VIRTIS лишнего света в диапазоне 300–500 нм. Паразитная засветка, наиболее вероятно, была вызвана отражённым от внешней решётки прибора (ИК-канал) солнечным излучением, которое попало в центральную зону (УФ-видимый канал) [10]. Частичный вычет засветки возможен, если вместо лабораторных калибровок чувствительности использовать калибровки, полученные по измерениям VIRTIS отражательной способности поверхности Луны во время полёта КА VEx к Венере.

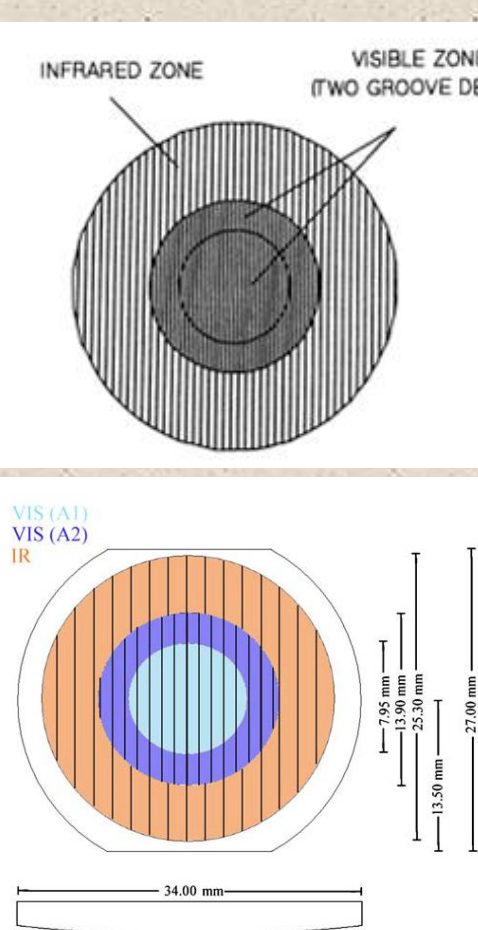


Рис. 5. Схема решётки VIRTIS.

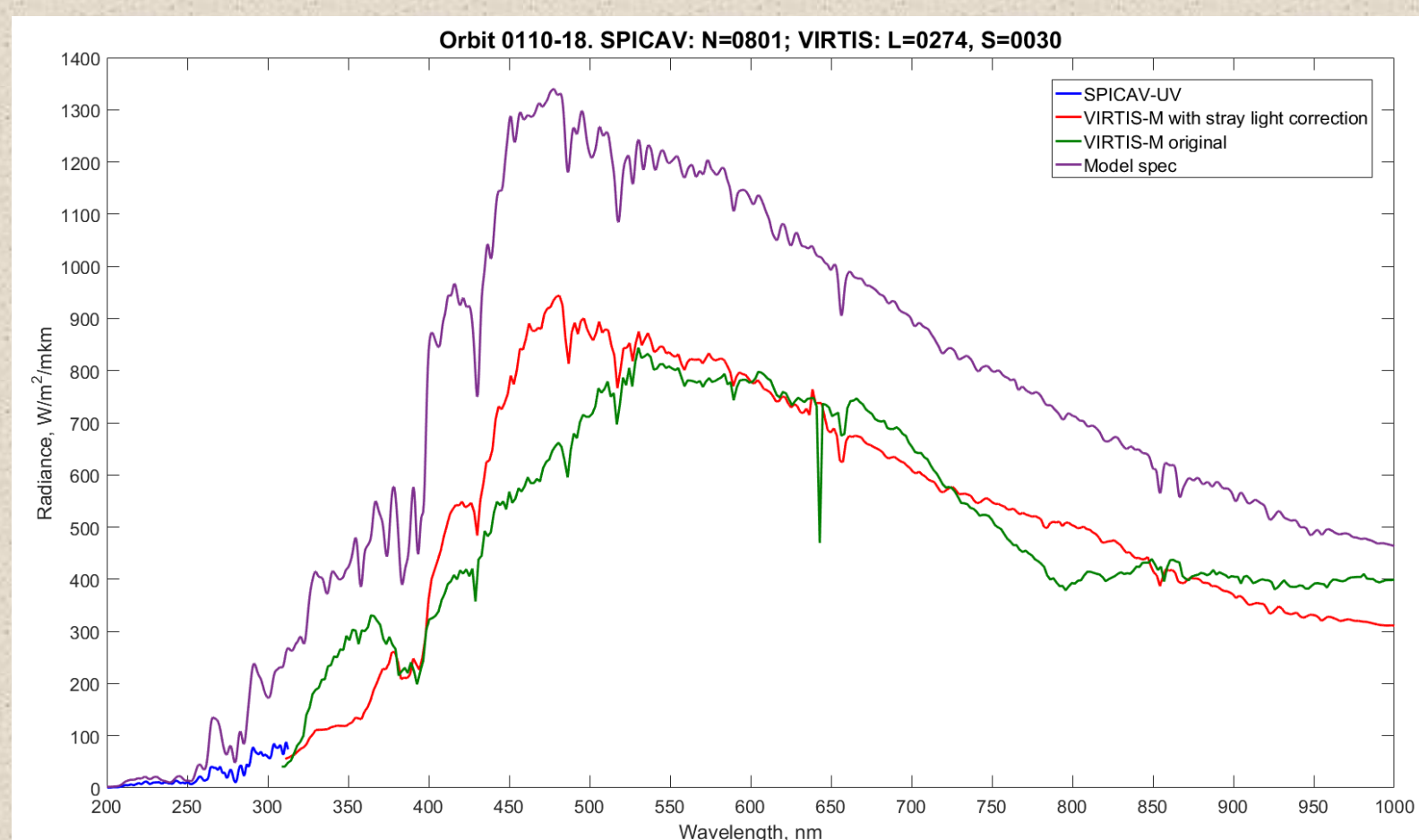


Рис. 6. Коррекция паразитного света в спектрах излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Была произведена первая попытка объединения спектров SPICAV-UV и VIRTIS-M для определения УФ альbedo облаков Венеры в диапазоне 200–600 нм. Для этого было отобрано несколько десятков сеансов одновременных наблюдений двух спектрометров. Проведено сравнение полученных результатов с одновременными измерениями 365-нм УФ-канала камеры VMC на борту Venus Express, наземными наблюдениями в 1974 г. и измерениями MESSENGER/MASCS в 2017 г.
- Обнаружено, что в процессе калибровок измеренных VIRTIS-M спектров излучения, помимо калибровки длины волны по линиям поглощения в солнечном спектре, необходимо корректно вычесть влияние паразитной засветки в диапазоне 300–500 нм. Работа в данном направлении продолжается.
- Объединённые и сглаженные спектры УФ альbedo в диапазоне 200–600 нм в дальнейшем позволят определить точный химический состав неизвестных УФ поглотителей в облаках Венеры, активно участвующих в тепловом балансе планеты. Кроме того, полученные данные об альbedo могут послужить в качестве спектроскопических библиотек для наблюдений экзопланет.

ССЫЛКИ

- [1] Barker E.S. Relative Spectrophotometry of Venus from 3067 to 5960 Å. Journal of the Atmospheric Sciences. – 1975. – Vol.32. – P. 1205–1211
- [2] Marcq E. et al. Variations of sulphur dioxide at the cloud top of Venus's dynamic atmosphere. Nature Geoscience. – 2013. – Vol.6. – P. 25–28
- [3] Carlson R. W. et al. Venus's ultraviolet absorber: Cyclo-octal (S₈) and polymeric sulfur (S_x) and their latitudinal behavior. International Venus Conference, Oxford, 2016
- [4] Frandsen B. N. et al. Identification of OSSO as a near-UV absorber in the Venusian atmosphere. Geophys. Res. Lett. – 2016. – Vol.43. – P. 11146–11155
- [5] Pollack J.B. et al. Distribution and source of the UV absorption in Venus atmosphere. J. Geophys. Res. – 1980. – Vol.85. – P. 8141–8150
- [6] Zasova L.V. et al. Vertical distribution of SO₂ in upper cloud layer of Venus and origin of UV-absorption. Advances in Space Research. – 1981. – Vol.1. – P. 13–16
- [7] Bertaux J.-L. et al. SPICAV on Venus Express: Three spectrometers to study the global structure and composition of the Venus atmosphere. Planet. Space Sci. – 2007. – Vol.55. – P. 1673–1700
- [8] Drossart P. et al. Scientific goals for the observation of Venus by VIRTIS on ESA/Venus express mission. Planet. Space Sci. – 2007. – Vol.55. – P. 1653–1672
- [9] Markiewicz W.J. et al. Venus Monitoring Camera for Venus Express. Planet. Space Sci. 2007. – Vol.55. – P. 1653–1672
- [10] Coradini A. et al. VIRTIS: An imaging spectrometer for the Rosetta mission. Space Science Reviews. – 2007. – Vol.128. – P. 529–559
- [11] Kurucz, R.L., 1997. The solar irradiance by computation. <http://kurucz.harvard.edu/sun/irradiance/solarirr.tab>
- [12] Pérez-Hoyos et al. Venus upper clouds and the UV absorber from MESSENGER/MASCS observations. J. Geophys. Res. – 2018. – Vol.123(1). – P. 145–162

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки РФ №075-15-2020-780.

Метод стационарных точек для корректного определения отражательной способности

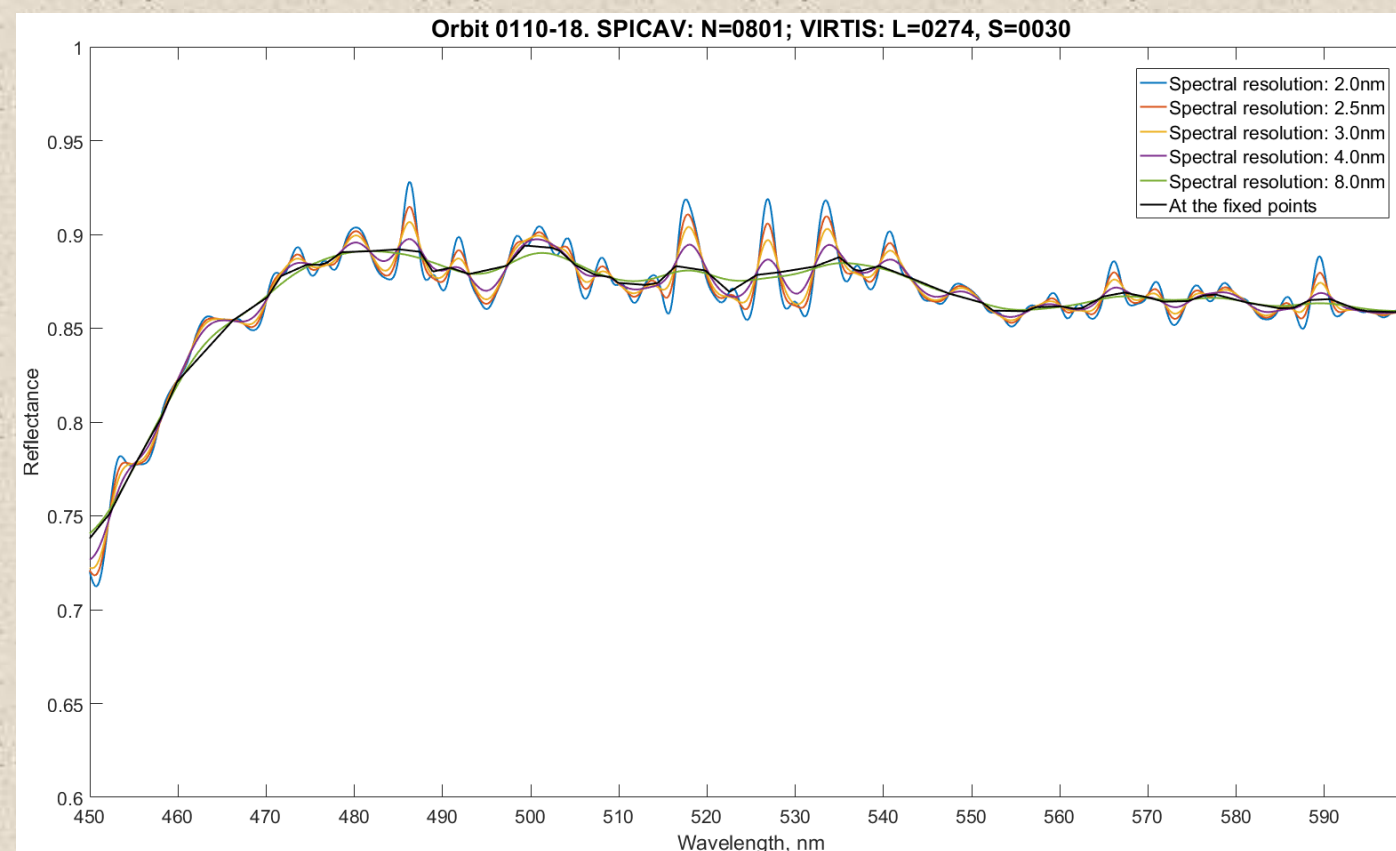


Рис. 9. Метод заключается в поиске стационарных точек спектра, в которых значение альbedo не зависит от линий в солнечном спектре и спектр. разрешения прибора.

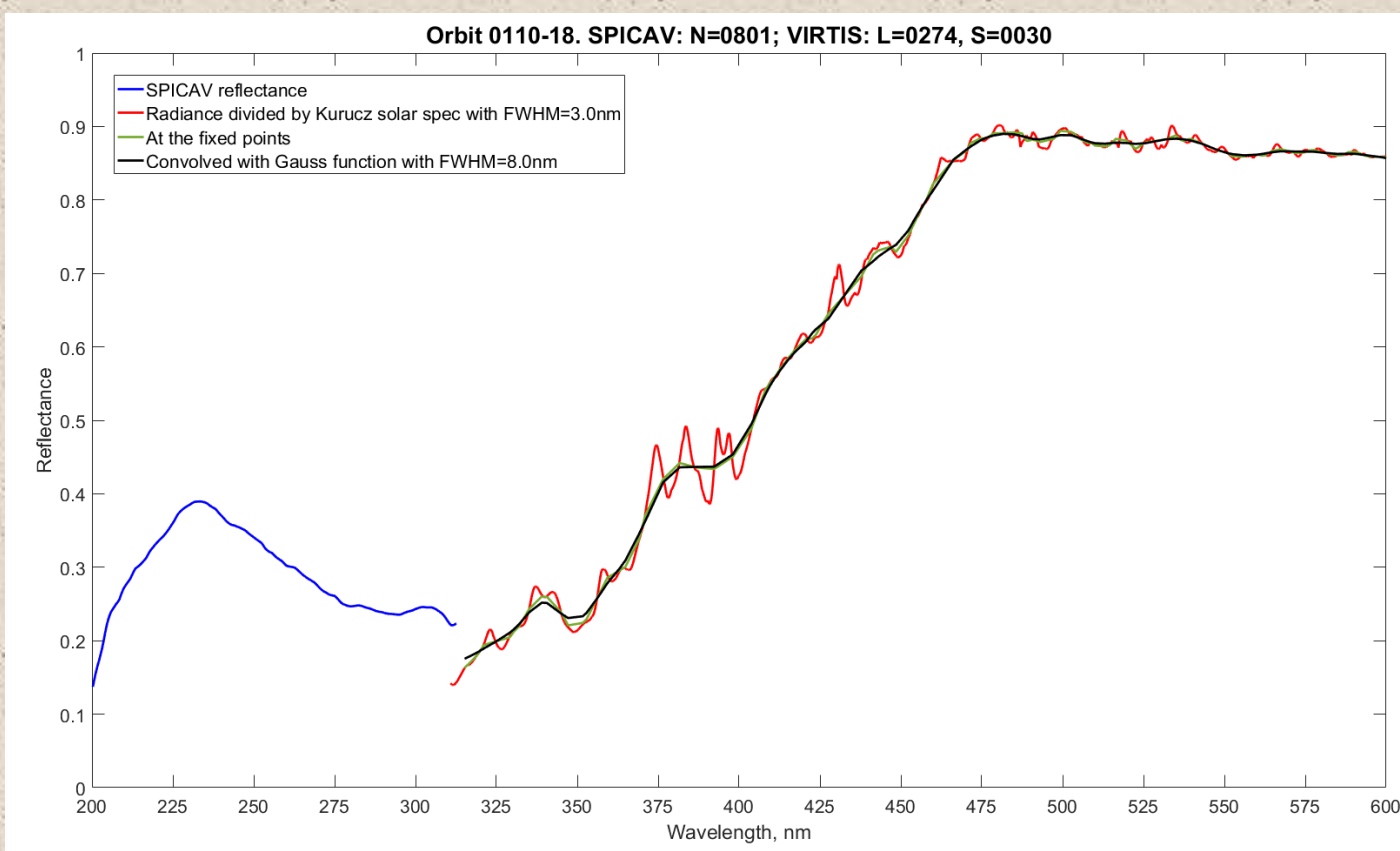


Рис. 10. Пример объединённого спектра альbedo по одновременным измерениям SPICAV и VIRTIS. Показано преимущество метода по сравнению с простым делением для вычисления альbedo по определению.

Результаты на примере одной орбиты

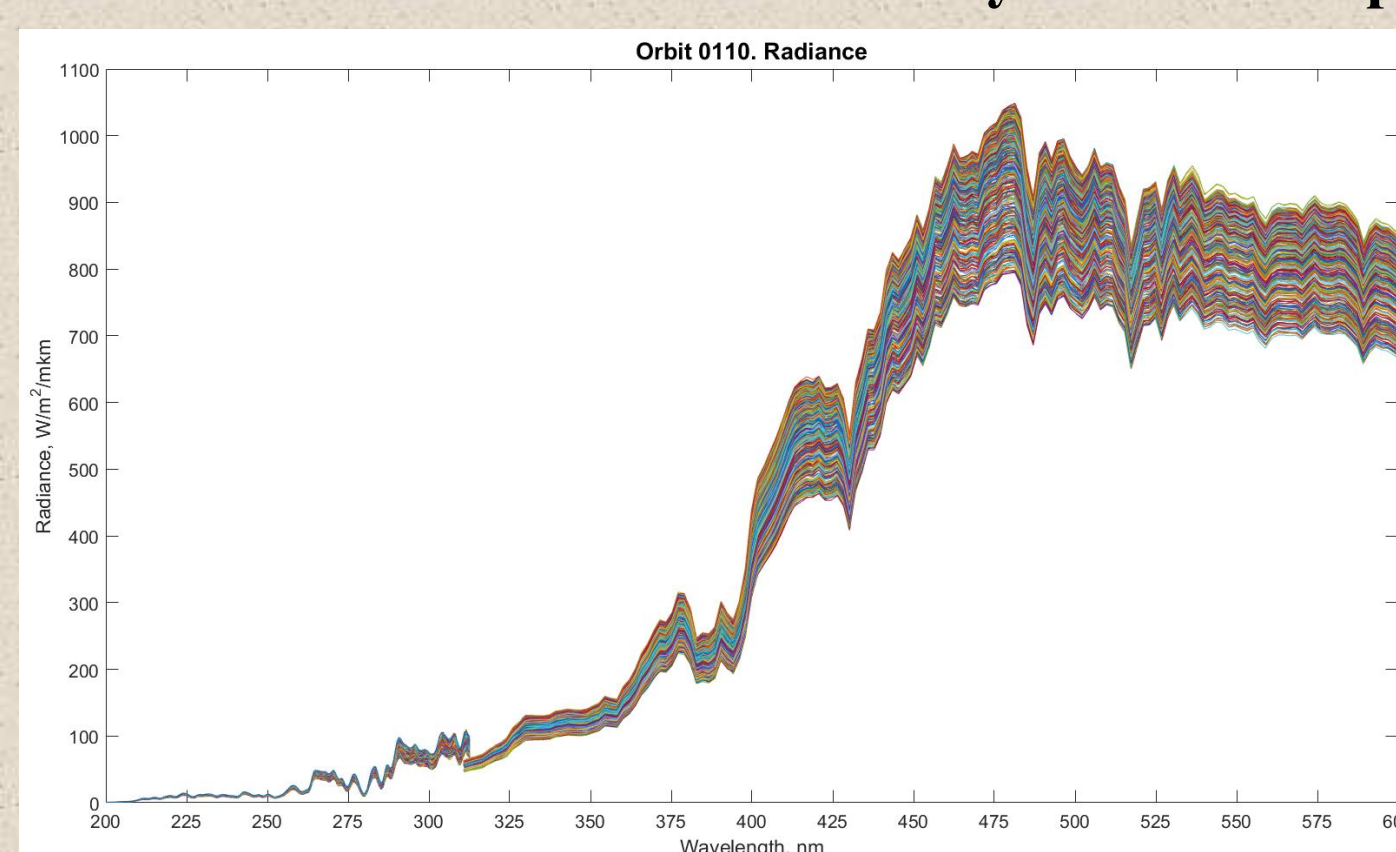


Рис. 11. Пример одного набора наблюдений в диапазоне 200–600 нм. Объединённые спектры излучения, измеренные SPICAV-UV и VIRTIS-M. Орбита 110, 09.08.2006, широты: 5–31°, местное время: 10.3567–10.3644.

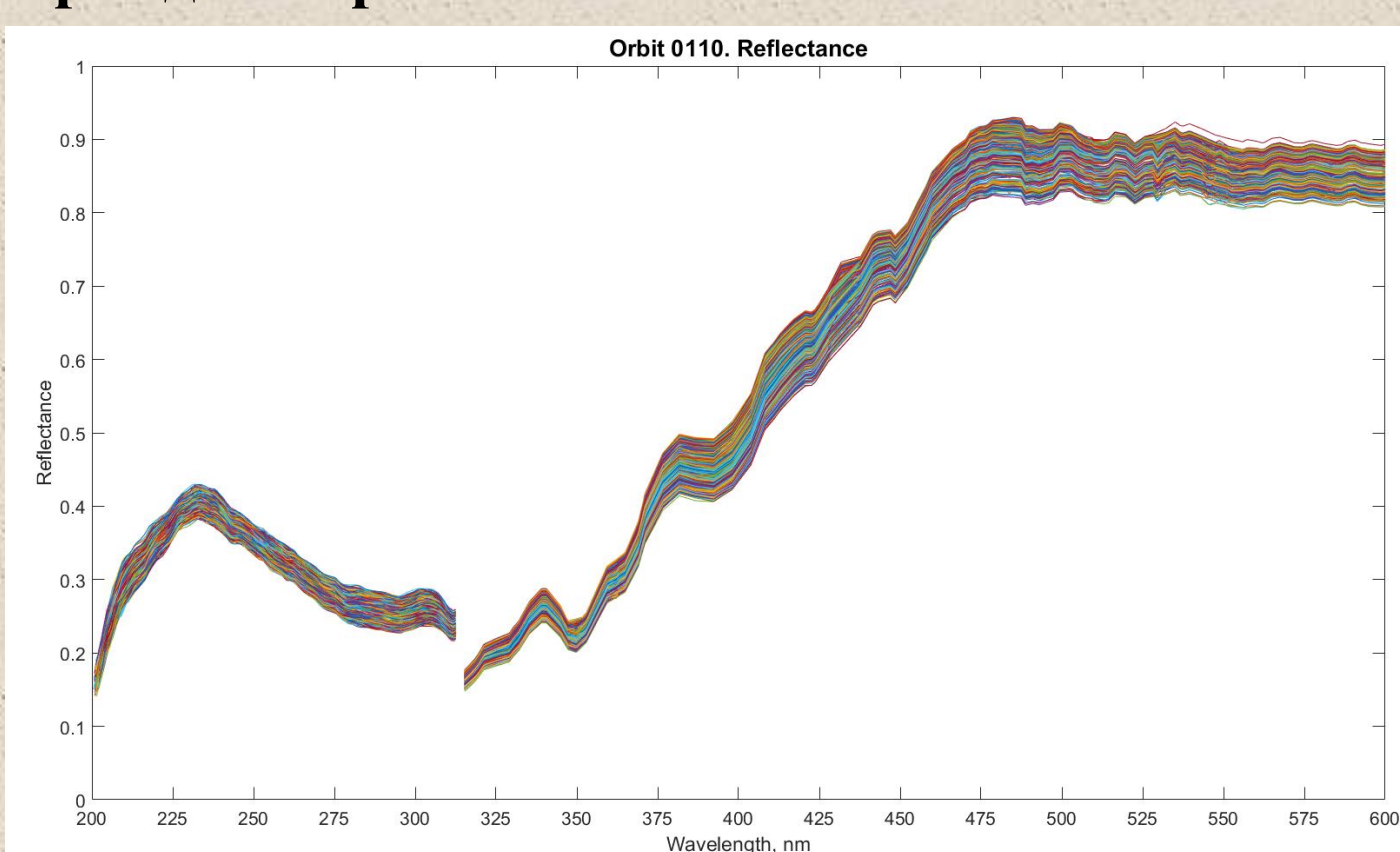


Рис. 12. Объединённые спектры УФ альbedo по данным SPICAV-UV и VIRTIS-M для того же набора наблюдений. Коррекция паразитной засветки не совсем аккуратная из-за излишней коррекции в диапазоне 300–370 нм.

Сравнение с другими измерениями

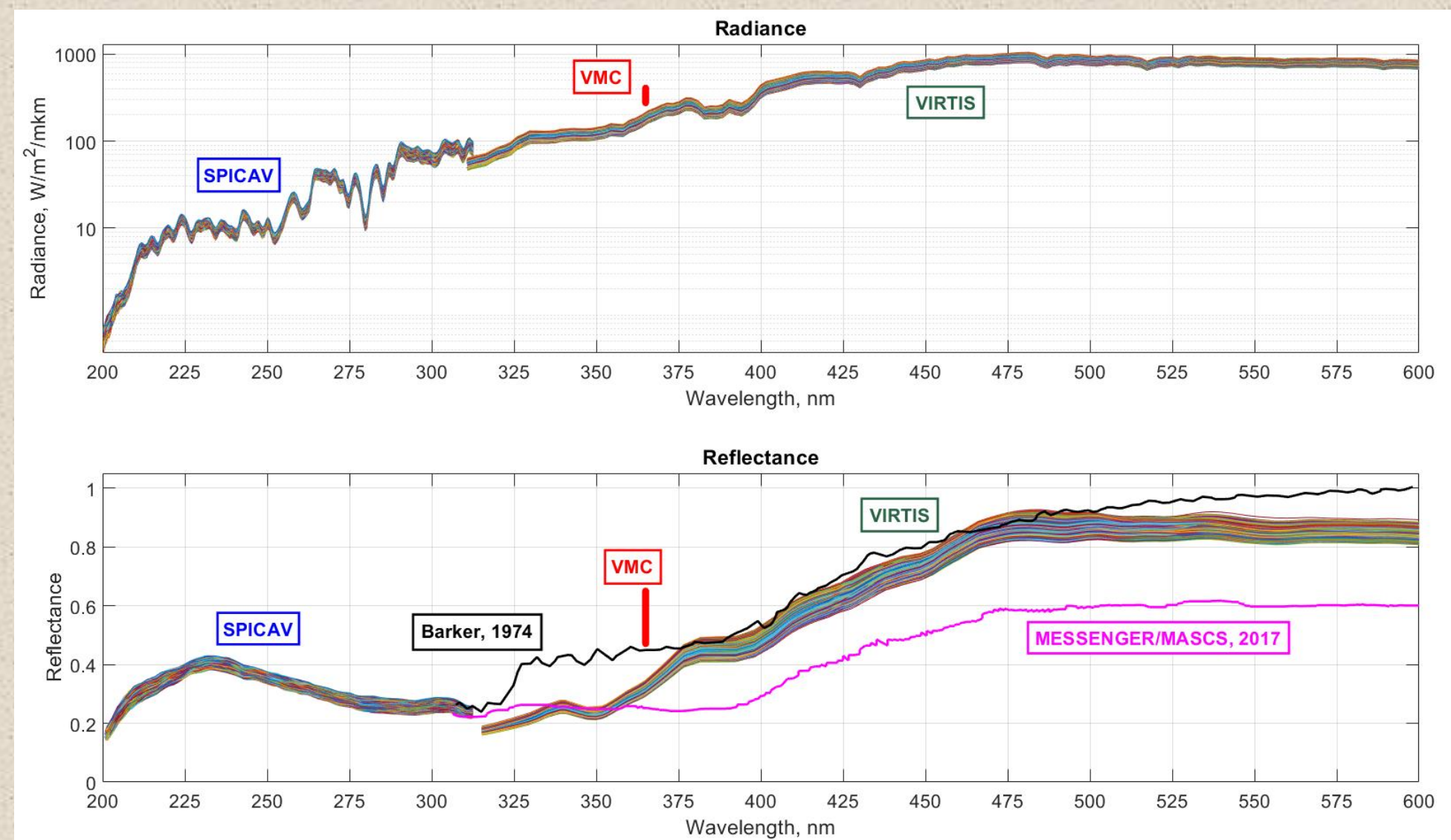


Рис. 13. Сравнение полученного результата с одновременными измерениями VMC/VEx (на 365 нм), наземными наблюдениями в 1974 г. [1] и измерениями MESSENGER/MASCS в 2017 г. [12].