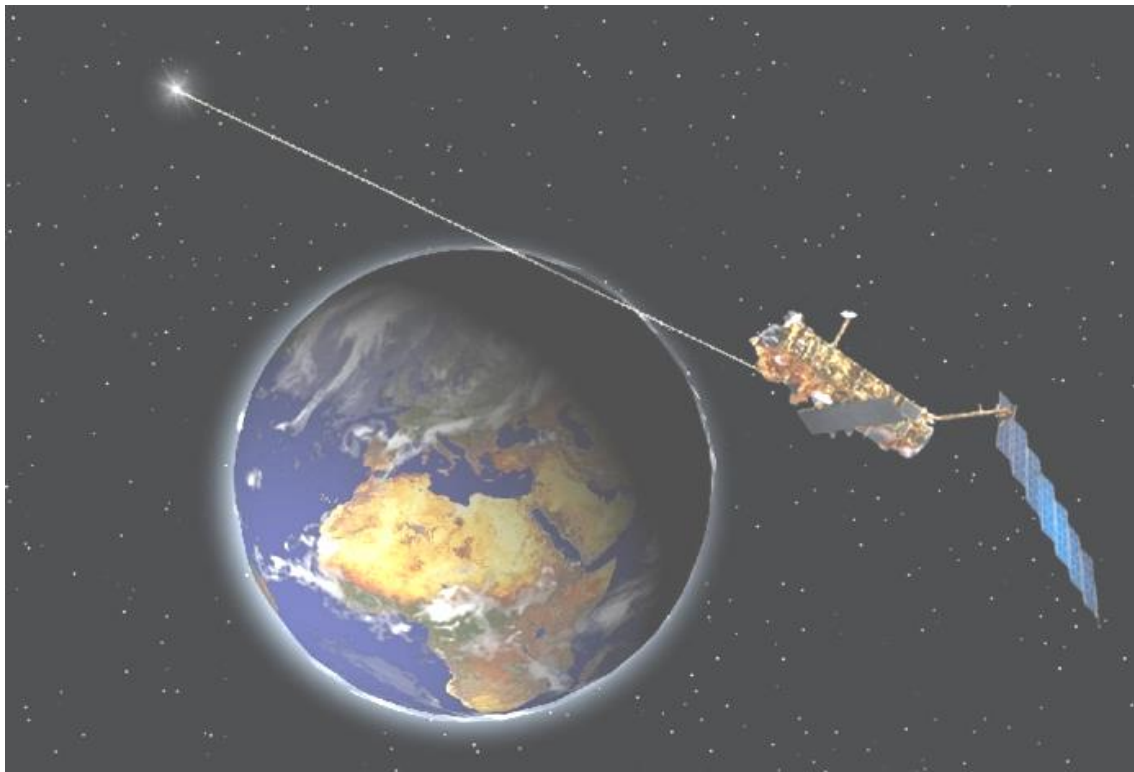


Исследования атмосферных неоднородностей по наблюдениям мерцаний звезд фотометрами GOMOS\ENVISAT.



Аппаратура GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Star) на борту европейского спутника Envisat (2002-2012 гг) включала два быстрых фотометра на длинах волн 500 нм (голубой) и 672 нм (красный) для синхронных оккультационных измерений мерцаний звезд с частотой выборки 1 кГц. Мерцания вызываются случайными неоднородностями плотности воздуха при погружении лучей в атмосферу во время захода звезд. Для атмосферы характерны два типа неоднородностей: сильно анизотропные, для описания которых используется модель насыщенных внутренних волн (ВГВ), и изотропные (модель турбулентности Колмогорова-Обухова). А.С. Гурвичем разработана и успешно использована методика восстановления статистических характеристик параметров этих 3D пространственных спектров флуктуаций плотности по наблюдениям мерцаний звезд на высотах 30-50 км. Для насыщенных ВГВ восстанавливались структурная характеристика, внутренний и внешний вертикальные масштабы неоднородностей, для турбулентности – структурная характеристика.

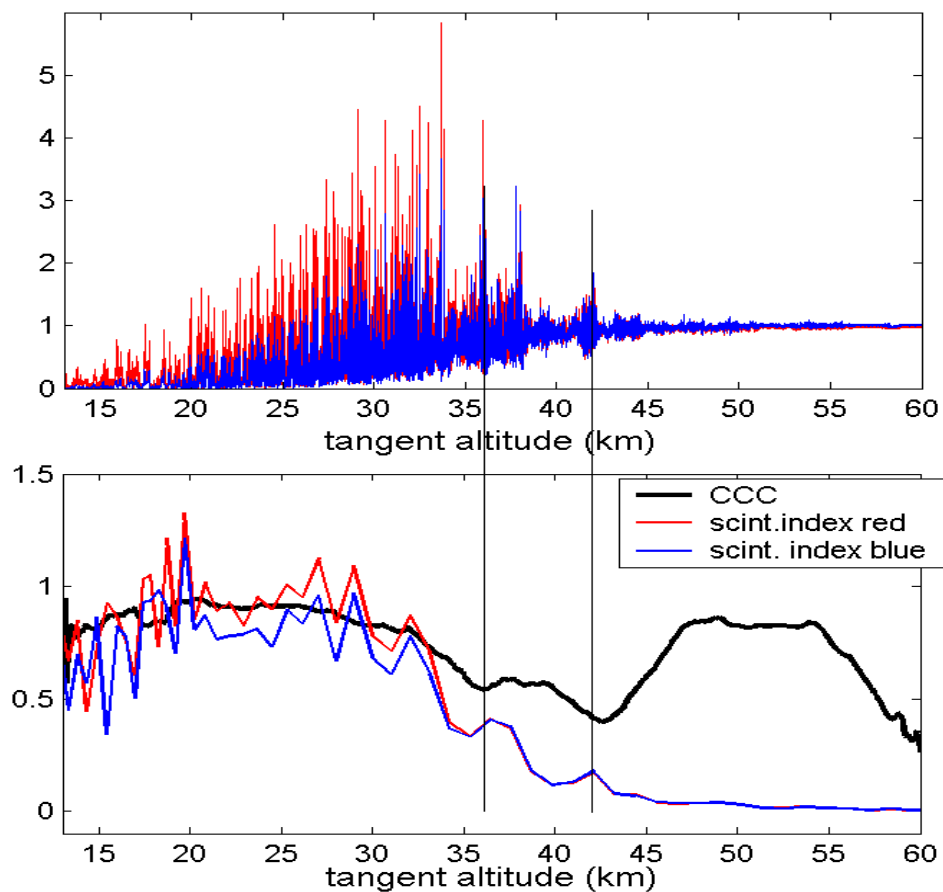


Рис. 1. Примеры сигналов фотометров (верхний рисунок). Внизу - индекс мерцаний.

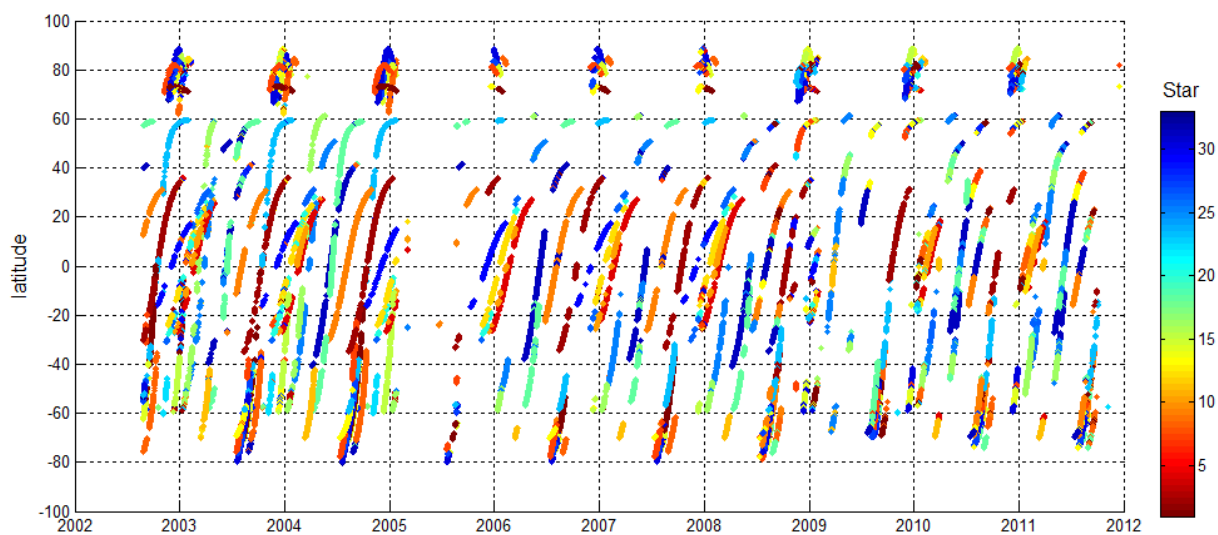


Рис. 2. Локализация перигейных областей оккультаций 32 наиболее ярких звезд в 2002-2011 гг, использованных для восстановления параметров ВГВ и турбулентности. База данных GOMOS для восстановления статистических характеристик атмосферных неоднородностей включает более 100 тысяч наблюдений заходов этих звезд.

Восстановление параметров ВГВ

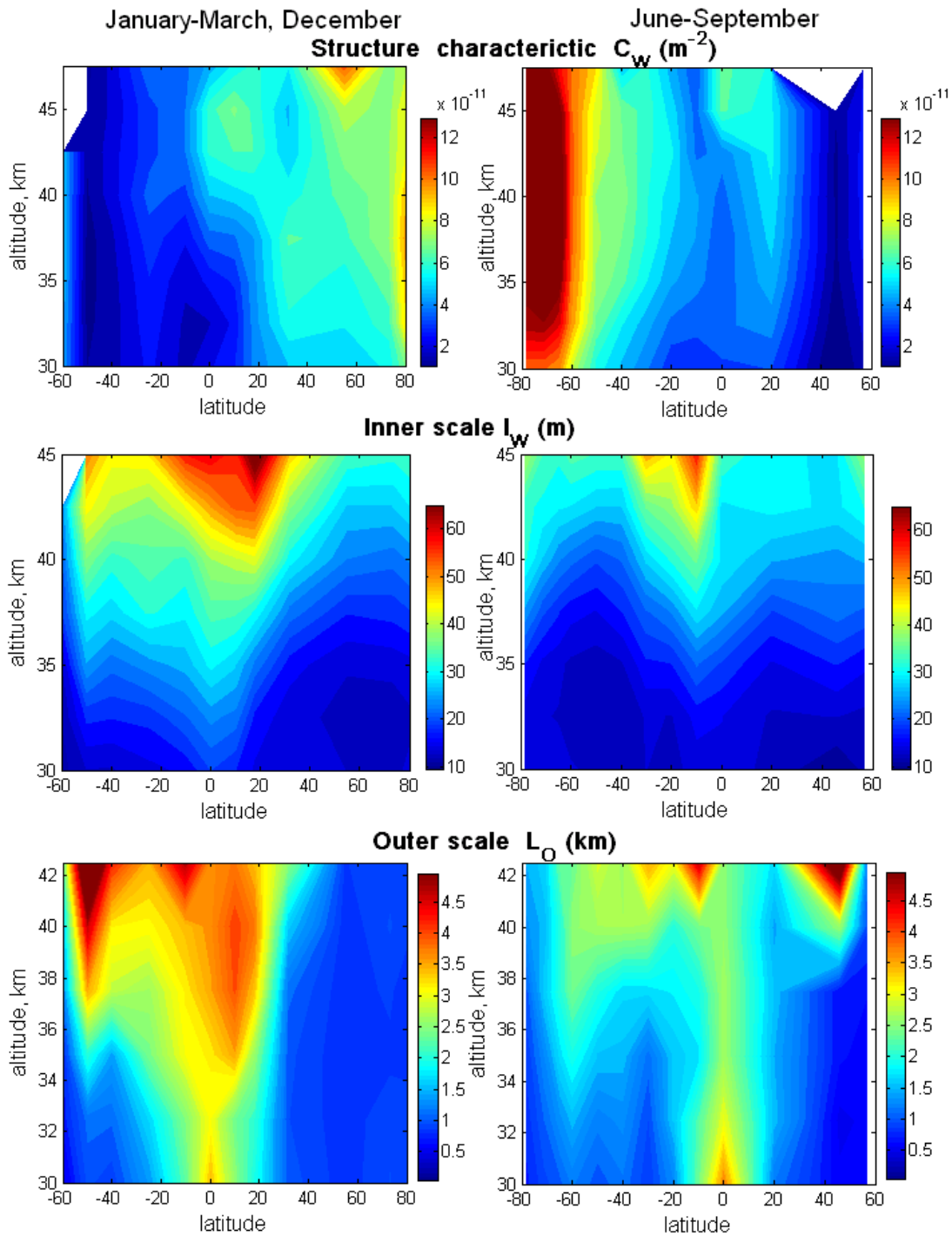


Рис. 3. Глобальное распределение усредненных по широтам параметров ВГВ для зимнего (слева) и летнего (справа) сезонов 2003 г: верхний рисунок – структурная характеристика, средний – внутренний масштаб, нижний – внешний масштаб.

Коэффициент анизотропии

Коэффициент анизотропии ВГВ (отношение характерных горизонтальных масштабов к вертикальным) является характеристикой 2D поля неоднородностей. Поэтому для его восстановления по 1D измерениям мерцаний необходимы синхронные измерения по разным траекториям. Такие измерения были проведены в GOMOS по наблюдениям двойной звезды Альфа Южного Креста (вертикальные оккультации разнесенных по горизонтали двойников звезды) и в специальной серии тангенциальных оккультаций (горизонтальные траектории разнесенных по вертикали из-за хроматической рефракции лучей голубого и красного фотометров).

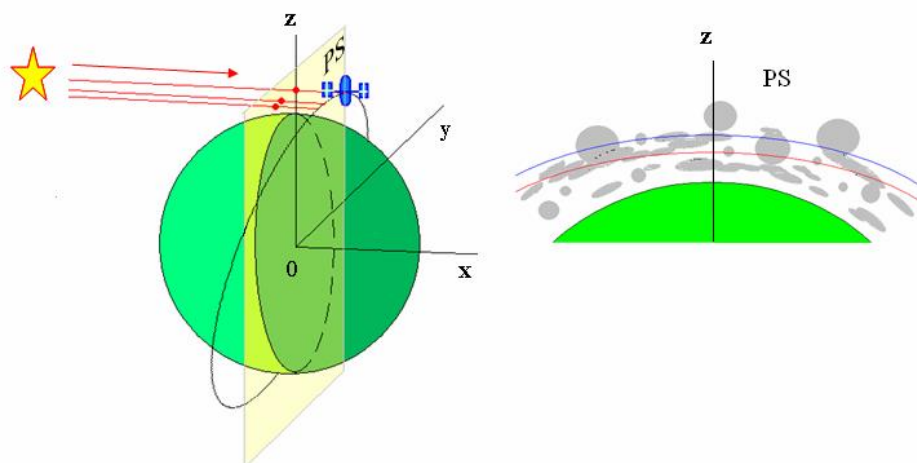


Рис. 4. Схема тангенциальных (горизонтальных) оккультаций. Вследствие хроматической рефракции лучи разного цвета (движущиеся по горизонтальным траекториям) рассовмещены по вертикали. PS – плоскость перигея, атмосферные неоднородности условно показаны серыми кружками и эллипсами.

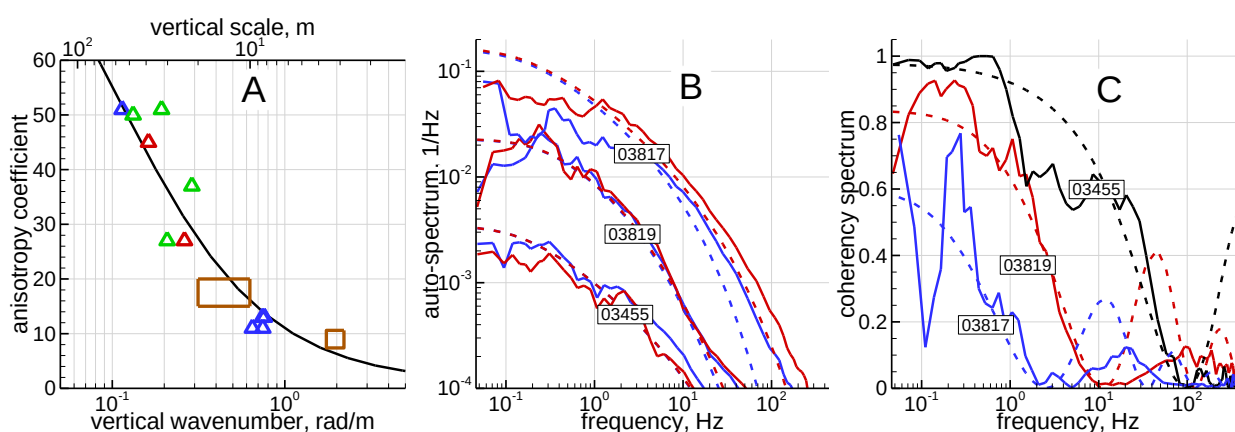


Рис. 5. Коэффициент анизотропии насыщенных ВГВ (рисунок А). Рисунки В и С – примеры автоспектров и спектров когерентности (в прямоугольниках номера орбит): сплошные линии – эксперимент, точки – теория с восстановленными значениями коэффициента анизотропии.

Восстановление параметров турбулентности.

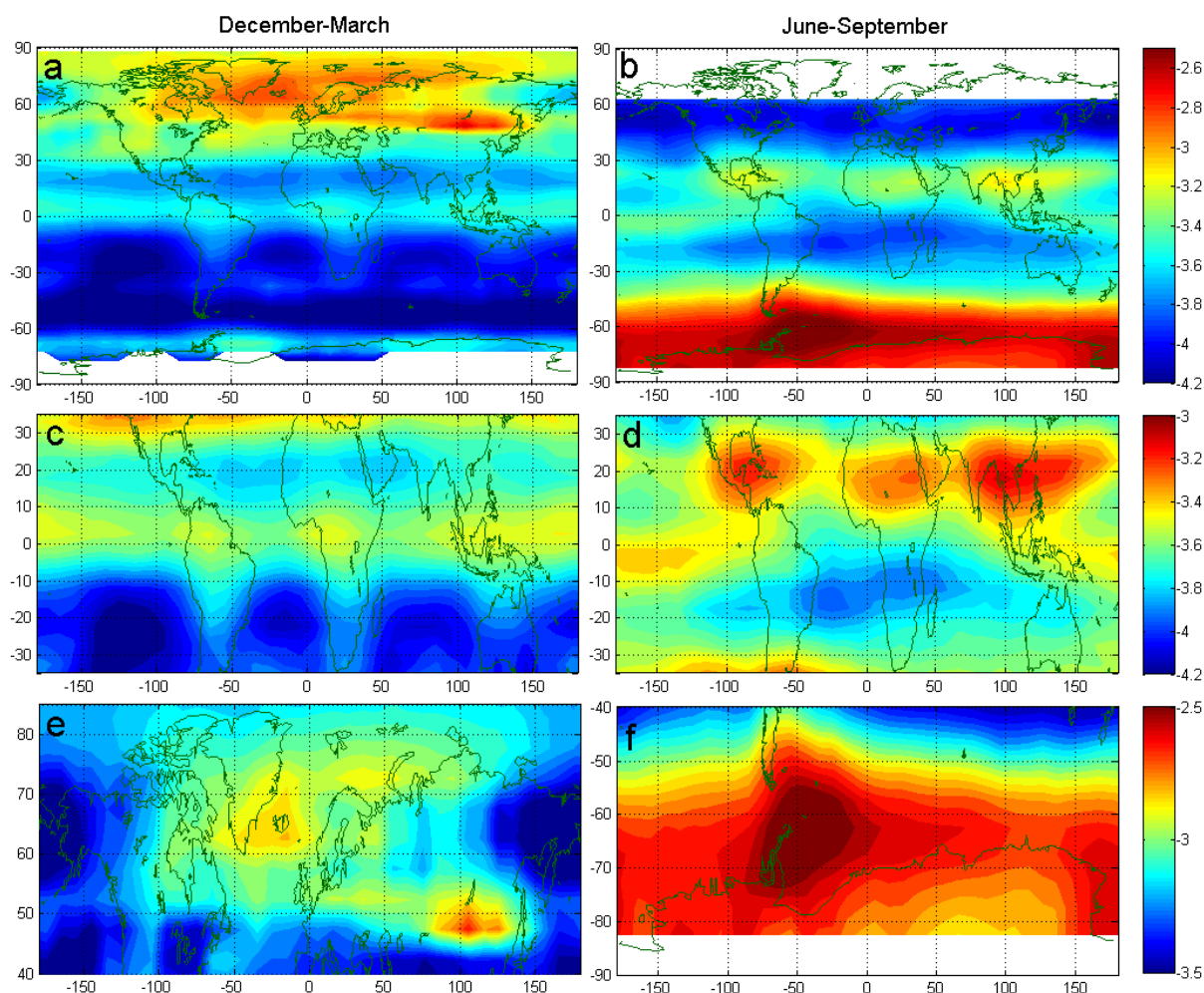


Рис. 6. Глобальное распределение структурной характеристики турбулентных флуктуаций температуры на 40-45 км для зимнего (слева) и летнего (справа) сезонов. Верхний рисунок - распределение по всему глобусу, средний - увеличено субтропики, нижний – увеличено высокие широты в локальные зимы. Данные усреднены по ячейкам 5x10 градусов по широте-долготе.

Краткие выводы

Разработанная в ИФА на базе данных наблюдений мерцаний звезд на российских орбитальных станциях САЛЮТ и МИР методика реконструкции статистических параметров атмосферных неоднородностей успешно развита и адаптирована для обработки данных спутника GOMOS/ENVISAT. Полученные результаты показывают, что оккультационные наблюдения мерцаний являются перспективным и эффективным методом мониторинга тонкой пространственной структуры атмосферы. Диапазон исследуемых вертикальных масштабов (от метра до километра) и интервал высот (30-50 км) труднодоступны другим методам измерений. На основе данных фотометров GOMOS получены уникальные результаты по глобальному распределению параметров насыщенных ВГВ и турбулентности в атмосфере.

Основные результаты по этой тематике опубликованы в статьях (сотрудники ИФА А.С. Гурвич и В. Кан соавторы этих публикаций)

1. Global distribution of CT2 at altitudes 30-50 km from space-borne observations of stellar scintillation, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L24813, doi:10.1029/2007GL031134, 2007.
2. Global analysis of scintillation variance: Indication of gravity wave breaking in polar winter upper stratosphere. 2007. *Geophys. Res. Lett.* V.34. L03812, doi:10.1029/2006GL028132.

3. Reconstruction of internal gravity waves and turbulence parameters in the stratosphere using GOMOS scintillation measurements. 2007. J. Geophys. Res. V.112. D12113, doi:10.1029/2006JD007483.
4. Influence of scintillation on quality of ozone monitoring by GOMOS, Atmos. Chem. Phys., 9, 9197–9207, doi:10.5194/acp-9-9197-2009, 2009.
5. Technical note: Scintillation of the double star α Cru observed by GOMOS/Envisat, Atmos. Chem. Phys., 9, 8967-8973, 2009, doi:10.5194/acp-9-8967-2009, 2009.
6. Mapping gravity waves and turbulence in the stratosphere using satellite measurements of stellar scintillation. *Physica Scripta*, 2010, doi: 10.1088/0031-8949/2010/T142/014043.
7. Retrievals from GOMOS stellar occultation measurements using characterization of modeling errors, Atmos. Meas. Tech., 3, 1019-1027, doi:10.5194/amt-3-1019-2010, 2010.
8. Anisotropy of small-scale stratospheric irregularities retrieved from scintillations of a double star α -Cru observed by GOMOS/ENVISAT, Atmos. Meas. Tech., 5, 2713–2722, 2012, doi:10.5194/amt-5-2713-2012.
9. Variable anisotropy of small-scale stratospheric irregularities retrieved from stellar scintillation measurements by GOMOS/Envisat, Atmos. Meas. Tech., 7, 1861–1872, 2014, doi:10.5194/amt-7-1861-2014.
10. Мерцания звезд в спутниковом затменном эксперименте для атмосферных неоднородностей с переменной анизотропией. *Оптика атмосферы и океана*. 2015. Т.28. № 11. С.979-992, doi: 10.15372/AOO20151105