

ВОЗМОЖНОСТИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ СТРУКТУРНОЙ ПОСТОЯННОЙ ТУРБУЛЕНТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОЗДУХА: САО

Шиховцев А.Ю.¹, Потанин С.А.^{2,3}, Копылов Е.А.⁴, Больбасова Л.А.⁵, Сачков А.М.¹, Ковадло П.Г.¹

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

²Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

³Физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴Институт астрономии РАН, Москва, Россия,

⁵Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

e-mail: Ashikhovtsev@iszf.irk.ru, sr.potantin@gmail.com, kopylov@inasan.ru, sla@iao.ru, asachkov2003@yandex.ru, kovadlo2006@rambler.ru

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются возможности параметризации ночных и дневных значений структурной постоянной турбулентных флуктуаций показателя преломления воздуха в месте расположения Специальной Астрофизической Обсерватории.

Атмосферное угловое разрешение телескопа ограничено развитостью турбулентных неоднородностей показателя преломления воздуха по лучу зрения [1]. В настоящей работе обсуждаются возможности оценки структурной постоянной турбулентных флуктуаций показателя преломления воздуха в месте расположения Специальной Астрофизической Обсерватории. В качестве опорных используются данные измерений, выполненных 27 – 29 августа 2024 г., с помощью дифференциального монитора дрожания изображений звезд. На Рисунке 1 показаны изменения измеренной интегральной интенсивности оптической турбулентности в слое выше 500 м над подстилающей поверхностью (красные кривые) и общей интенсивности оптической турбулентности (черные кривые) [2]. Основываясь на данных измерений (используя их для калибровки), по данным реанализа ERA-5 были рассчитаны вертикальные профили оптической турбулентности. Усредненный вертикальный профиль оптической турбулентности с 25 и 75 % процентилями в ночное время в месте расположения Специальной Астрофизической Обсерватории показаны на Рисунке 2. На Рисунке 3 показаны вертикальные профили возмущенности в флуктуациях показателя преломления воздуха в ночное время в месте расположения Специальной Астрофизической Обсерватории.

Анализ Рисунков 2 и 3 показывает, вертикальная структура оптической турбулентности над Специальной Астрофизической Обсерваторией неоднородна. Над обсерваторией часто

образуются слои возмущенности в мелкомасштабных флуктуациях показателя преломления воздуха. Причем эти слои наблюдаются как в тропосфере, так и в стратосфере, хоть и меньшей энергетики.

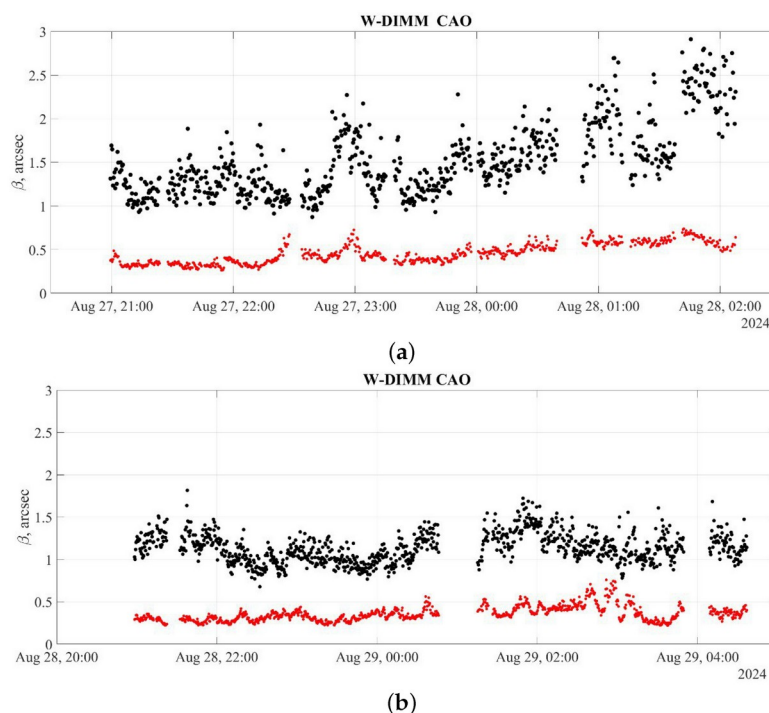


Рисунок 1 – Изменения измеренной интегральной интенсивности оптической турбулентности в слое выше 500 м над подстилающей поверхностью (красные кривые) и общей интенсивности оптической турбулентности (черные кривые)

При интегрировании вертикальных профилей оптической турбулентности по высоте, можно атмосферное угловое разрешение телескопа. Для CAO медиана углового разрешения составляет $\sim 1,21$ угл сек. Первый квартиль соответствует 0,75 угл сек; третий квартиль составляет 2,31 угл сек (для периода с 1 июня по 15 сентября 2024 года). Для периода с 1 января 2023 года по 31 декабря 2023 года первый квартиль составляет 0,78 угл сек, а третий квартиль — 1,71 угл сек. Значения изопланатического угла изменяются в диапазоне от 1,0 до 3,0 угл сек (при $\lambda = 500$ нм). Эти значения относятся к характеристикам ночной атмосферы. Совокупный анализ данных измерений и расчетных характеристик с применением градиентной методики позволяет оценить и вертикальный профиль внешнего масштаба турбулентности (Рисунок 4). Для характеристики дневного качества изображений и уточнения приземных вариаций интенсивности оптической турбулентности в течение суток на территории CAO мы организовали специальные мачтовые измерения приземных средних метеорологических величин и характеристик турбулентности.

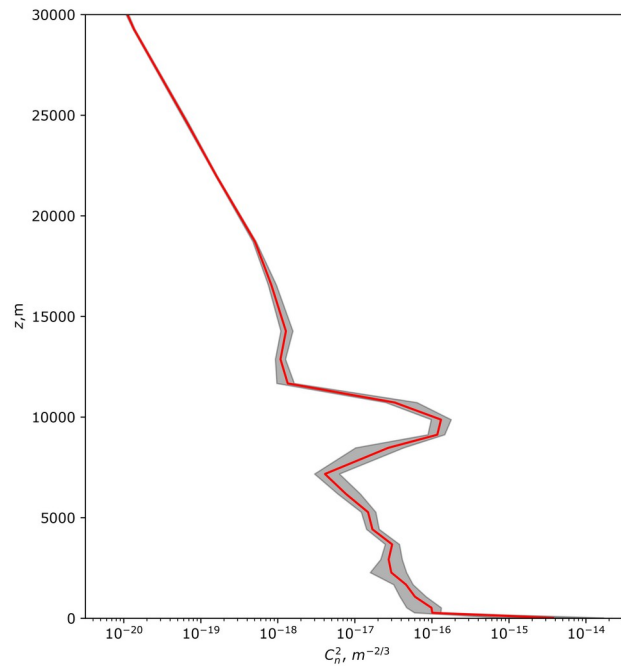


Рисунок 2 – Вертикальный профиль оптической турбулентности в ночное время в месте расположения Специальной Астрофизической Обсерватории

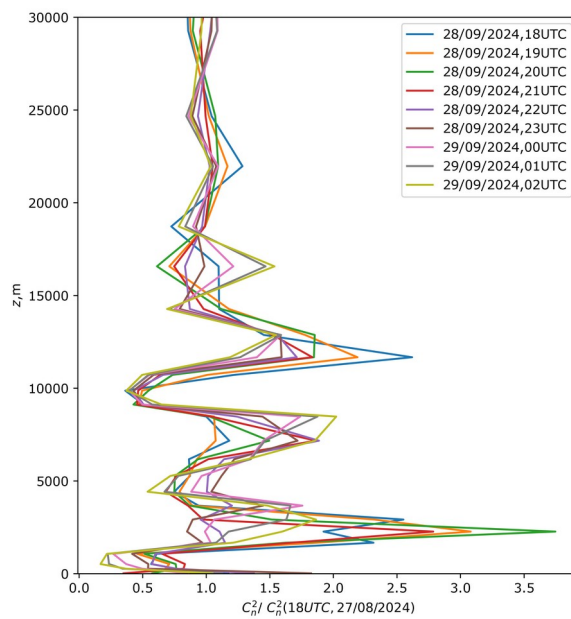


Рисунок 3 – Вертикальные профили возмущенности в флуктуациях показателя преломления

Измерения выполняются с марта 2025 г. в рутинном режиме. Планируется, что после накопления статистики будут найден характерный ход изменений приземных значений интенсивности оптической турбулентности в течение суток, что позволит уточнить вертикальные профили структурной постоянной турбулентных флуктуаций показателя

преломления воздуха. Вместе с этим, даже предварительные данные указывают на высокую переменность интенсивности оптической турбулентности в приземном слое атмосферы.

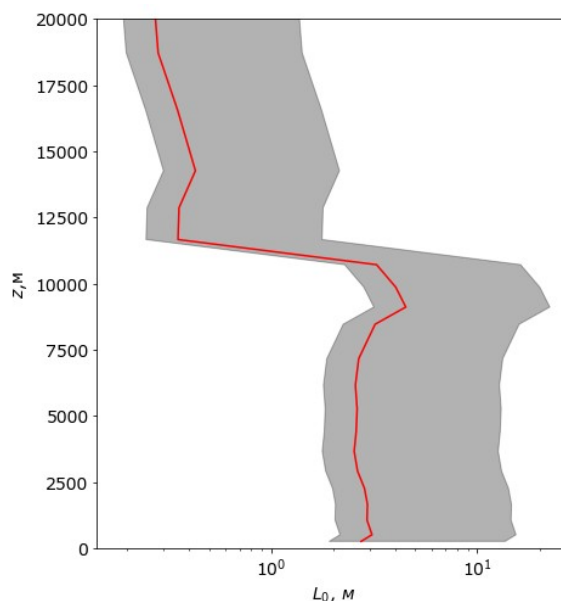


Рисунок 4 – Изменения внешнего масштаба турбулентности в ночное время в месте расположения Специальной Астрофизической Обсерватории

Таблица 1 показывает фрагмент полученных данных по приземным метеорологическим характеристикам в месте расположения САО.

Таблица 1. – Фрагмент полученных данных по приземным метеорологическим характеристикам в месте расположения САО

Дата	Время	V, м/с	C_n^2 , см ^{-2/3}	C_n^2 opt, , см ^{-2/3}
18.03.2025	9:00	4.18	4.69E-15	3.44E-15
18.03.2025	10:00	10.0	1.37E-14	-
18.03.2025	11:00	4.3	4.60E-17	1.94E-15
18.03.2025	12:00	1.48	9.90E-17	1.64E-15
18.03.2025	12:15	2.04	3.90E-16	1.45E-15

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-72-10043, <https://rscf.ru/project/24-72-10043/>.

1. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Больбасова Л.А., Лукин В.П. Особенности формирования наклонов волнового фронта на апертуре телескопа при различных вертикальных профилях оптической атмосферной турбулентности // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32, № 10. С. 819-823.
2. Shikhovtsev, A.Y.; Potanin, S.A.; Kopylov, E.A.; Qian, X.; Bolbasova, L.A.; Panchuk, A.V.; Kovadlo, P.G. Simulating Vertical Profiles of Optical Turbulence at the Special Astrophysical Observatory Site. *Atmosphere* 2024, 15, 1346.