

О ДИНАМИКЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СКОРОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

¹А.Ю. Шиховцев, ¹П.Г. Ковадло, ²В.П. Лукин, ¹А.В. Киселев

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

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия
Ashikhovtsev@iszf.irk.ru

ON DYNAMICS OF THE EFFECTIVE ATMOSPHERIC TURBULENCE VELOCITY IN THE MOUNTAINOUS REGIONS OF EASTERN SIBERIA

¹A.Yu. Shikhovtsev, ¹P.G. Kovadlo, ²V.P. Lukin, ¹A.V. Kiselev

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

²V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

Аннотация. В работе обсуждается динамика отдельных характеристик оптической атмосферной турбулентности в приложении к крупным астрономическим телескопам наземного базирования. Рассматриваются изменения одного из важнейших турбулентных параметров, определяющих динамический диапазон работы адаптивных оптических систем, — эффективной скорости турбулентности V_e в слое атмосферы от 0 до 20 км. По данным реанализа показано, что в месте расположения Большого солнечного вакуумного телескопа величины V_e , оцениваемые по изменениям средней скорости струйного течения на высотах ~ 12 км, уменьшились на ~ 0.8 м/с за период с 1948 по 2016 г. Приведены оценки эффективной высоты атмосферной турбулентности в зимний (3470 м) и летний (4170 м) периоды. Увеличение эффективной высоты турбулентности в летний период связано не только с понижением интенсивности приземной турбулентности, но и ее понижением во всем рассматриваемом слое до 20 км.

Ключевые слова: оптическая атмосферная турбулентность, эффективные скорость и высота турбулентности

Abstract. We discuss the dynamics of a few characteristics of optical atmospheric turbulence for large ground based astronomical telescopes. Variations of the effective turbulence rate V_e in the atmosphere layer from 0 to 20 km as an important turbulent parameter that determines the dynamic range of adaptive optical systems are considered. From the reanalysis data 0.8 m/s V_e decreasing at the Large Solar Vacuum Telescope site for the period from 1948 to 2016. V_e decreasing has been estimated from the jet stream mean velocity fluctuations at altitudes of ~ 12 km. Also, estimates of the effective atmospheric turbulence height in winter (3470 m) and summer (4170 m) are given. The effective turbulence height increasing in the summer is due not only to the intensity of surface turbulence decreasing, but also to its decreasing in the entire layer up to 20 km.

Keywords: optical atmospheric turbulence, effective turbulence rate and height

Введение

Разработка астрономических адаптивных оптических систем для телескопов наземного базирования, помимо знания интегральной интенсивности турбулентности по лучу зрения, требует знания динамических характеристик турбулентности. Для определения динамического диапазона адаптивной оптической системы одной из важнейших характеристик атмосферной турбулентности является изменение скорости турбулентных течений по лучу зрения. Рассматривая распределения плотности воздуха и интенсивности турбулентности в пространстве, выявляется существенная особенность атмосферы — ее расслоение по вертикали. Несмотря на то, что энергия мелкомасштабных турбулентных флуктуаций значительно выше в нижнем, так называемом, пограничном слое, вышележащие слои свободной атмосферы могут вносить существенный вклад до 50 % в искажения фронта волны оптического излучения, проходящего через атмосферу.

Результаты исследований динамики эффективной скорости турбулентных течений

В рамках теории Колмогорова так называемая эффективная скорость турбулентных течений оце-

нивается, как отношение интеграла от произведения между структурной характеристикой флуктуаций показателя преломления воздуха и скоростью атмосферного течения в «активном» слое атмосферы толщиной ~ 20 км к интегральной интенсивности турбулентности [Sarazin, 2001; Garcia-Lorenzo, et al., 2009]:

$$V_{eff} = \left(\int_0^H C_n^2(z) V(z) dz / \int_0^H C_n^2(z) dz \right)^{3/5},$$

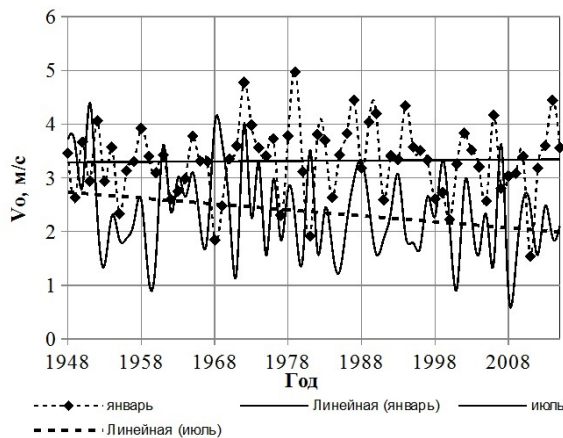
где $C_n^2(z)$ — структурная характеристика флуктуаций показателя преломления воздуха, $V(z)$ — скорость воздушного потока на высоте z . Здесь структурная характеристика флуктуаций показателя преломления воздуха вступает в роли весовой функции для отдельных атмосферных слоев. Непосредственно вычисления эффективной скорости турбулентных течений возможны только тогда, когда известны вертикальные профили скорости воздушного потока и структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха.

Такие вычисления были проведены для пункта Ливтянки — места расположения Большого солнечного вакуумного телескопа. По данным архива NCEP/NCAR Reanalysis за период с 1948 по 2015 г.

были восстановлены вертикальные профили скорости ветра $V(z)$ в слое атмосферы до высоты ~ 20 км.

Вертикальные профили структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха $C_n^2(z)$ [Kovadlo, et al., 2016] были рассчитана на основе метода [Ковadlo, Шиховцев, Кочеткова, 2012], основанного на оригинальной спектральной модели турбулентности воздуха в широком динамическом диапазоне.

На рисунке показаны модельные значения вариации эффективной скорости турбулентных течений за период с 1948 г. по 2015 г. Вариации эффективной скорости турбулентных течений показаны непрерывной кривой — в летний период (июль), штриховой линией — в зимний период (январь). Непрерывной и пунктирной прямыми линиями обозначены тенденции за период с 1948 по 2015 г. для зимнего и летнего периодов соответственно.



Модельные значения вариации эффективной скорости турбулентных течений за период с 1948 по 2015 г.

Анализ изменений эффективной скорости турбулентных течений в точке стояния БСВТ позволяет говорить, о том что в зимний период значения эффективной скорости практически не изменились, начиная с 1948 г. В летний период за 1948 — 2015 гг. наблюдается уменьшение эффективной скорости турбулентных течений примерно от 3.8 до 2 м/с. Это позволяет говорить о том, что условия астрономических наблюдений в месте расположения БСВТ улучшаются. В частности это позволяет снизить требования к динамическому диапазону адаптивных систем. Говоря о качестве астрономического изображения, о так называемом seeing или о другой величине — радиусе Фрида, то по динамике эффективной скорости турбулентных течений однозначно судить нельзя. При одних и тех же значения структура турбулентности флуктуаций показателя преломления, эффективная скорость турбулентных течений может как уменьшаться, так и увеличиваться за счет изменения профиля скорости ветра.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 15-19-20013.

Список литературы

Ковadlo П.Г., Шиховцев А.Ю., Кочеткова О.С. Методика оценки оптической нестабильности земной атмосферы на основе численного анализа сетевых метеорологических данных // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2012. С. 139–149.

Garcia-Lorenzo B., Eff-Darwich A., Fuensalida J.J., Castro-Almazan J. Adaptive optics parameters connection to wind speed at the Teide Observatory / Mon. Not. R. Astron. Soc. 2009. 397. P. 1633–1646, DOI: 10.1111/j.1365-2966.2009.15071.

Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu., Lukin V.P., Bolbasova L.A. Some approaches to describe the vertical structure of air refraction index variations (Proc. SPIE, V. 10035, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, (29 November 2016). 2016. DOI: 10.1117/12.2249028.

Sarazin M. The statistics of isoplanatic angle and adaptive optics time constant derived from DIMM data / M. Sarazin, A. Tokovinin // Beyond Conventional Adaptive Optics. A conference devoted to the development of adaptive optics for extremely large telescopes. Venice, Italy may 7–10. 2001. P. 321–328.