

АСТРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБСЕРВАТОРИЯХ ХОА ЛАК И НЯЧАНГ

¹А.Ю. Шиховцев, ¹П.Г. Ковадло, ²Е.А. Копылов, ²М.А. Ибрагимов, ³Х.Л. Суан

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

²Институт астрономии РАН, Москва, Россия
kopylov.phd@ya.ru

³Вьетнамский национальный космический центр Вьетнамской академии науки и техники, Ханой, Вьетнам

ASTROCLIMATIC CONDITIONS AT THE HOA LAC AND NHA TRANG ASTRONOMICAL OBSERVATORIES

¹A.Yu. Shikhovtsev, ¹P.G. Kovadlo, ²E.A. Kopylov, ²M.A. Ibrahimov, ³H. Le Xuan

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

²Institute of Astronomy RAS, Moscow, Russia
kopylov.phd@ya.ru

³Vietnam National Space Center VAST, Hanoi, Vietnam

Аннотация. Представлены первые результаты астроклиматических исследований на площадках астрономических обсерваторий Хоа Лак и Нячанг. Показано, что в обсерватории Нячанг период с потенциально хорошими астроклиматическими условиями приходится на весну, когда наблюдается высокая повторяемость слабых ветров. В обсерватории Хоа Лак наилучшие условия наблюдаются летом и осенью. В этот период средние скорости ветра низкие. Показано, что низкочастотный максимум в спектрах выражен только в нижних слоях атмосферы.

Ключевые слова: астроклимат, телескоп, оптическая турбулентность, спектр турбулентности.

Abstract. The first results of astroclimatic studies at the sites of the astronomical observatories Hoa Lac and Nha Trang are presented. It is shown that the period with potentially good astroclimatic conditions at the Nha Trang Observatory is in spring when weak winds are frequent. At Hoa Lake Observatory, the best conditions are observed in summer and autumn. During this period, average wind speeds are low. We have shown that the low-frequency maximum in the spectra is expressed only in the lower layers of the atmosphere.

Keywords: astroclimate, telescope, optical turbulence, turbulence spectrum.

ВВЕДЕНИЕ

В физике атмосферы одной из важнейших проблем остается параметризация турбулентных характеристик, включая кинетическую и потенциальную энергии турбулентности, а также структурные постоянные флуктуаций скорости ветра, температуры и показателя преломления воздуха. Детальное знание вертикальных профилей средней скорости ветра до больших высот, а также скорости и направления ветра в приземном слое атмосферы является основой создания как качественных, так и численных моделей оптической турбулентности, описывающих изменения параметра Фрида, видимости (seeing), изопланатического угла, времени когерентности, а также внешнего масштаба турбулентности. Изучению характеристик поля скорости ветра уделяется существенное внимание во многих статьях. Предложенные модели для оценки параметров оптической турбулентности главным образом основаны на вертикальных градиентах скорости ветра или на параметризации характеристик турбулентности через скорость диссипации мелкомасштабных температурных флуктуаций и флуктуаций скорости ветра.

В настоящее время Россия и Вьетнам осуществляют двустороннее международное сотрудничество в рамках проекта создания российской распределенной наземной сети оптических телескопов. В рамках этого проекта проведены первые астроклиматические исследования с целью оценки атмосферных характеристик над Вьетнамом. Дальнейшие исследования астроклимата предполагается проводить

как с использованием наземных инструментов на базе датчика волнового фронта Шака—Гартмана, так и с помощью данных реанализа. Обе оценки планируется реализовать в двух действующих обсерваториях во Вьетнаме — обсерватории Хоа Лак, расположенной недалеко от Ханоя, и обсерватории Нячанг, расположенной в Хон Чонге. Астрономические обсерватории Нячанг и Хоа Лак расположены в субтропическом поясе на уровне моря. Обе обсерватории принадлежат Вьетнамскому национальному космическому центру и оснащены современными 50-см телескопами системы Ричи—Кретьена. В настоящем исследовании мы рассматриваем астроклиматические условия в местах расположения астрономических обсерваторий Хоа Лак и Нячанг. Для них мы оценили статистические характеристики скорости ветра в высотном атмосферном слое. Для характеристики структуры течений мы рассчитали и проанализировали энергетические спектры турбулентности на разных высотах. Были использованы данные реанализа последнего поколения Era-5, верифицированные и используемые во многих исследованиях [Han et al., 2021].

СТАТИСТИКИ СКОРОСТИ ВЕТРА В ВЕРХНЕМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Используя данные реанализа Era-5 за 2011–2020 гг., мы определили пространственные распределения скорости ветра, усредненные для диапазона высот 100–200 гПа. Для определения параметров струйных течений над астрономическими обсерваториями Хоа

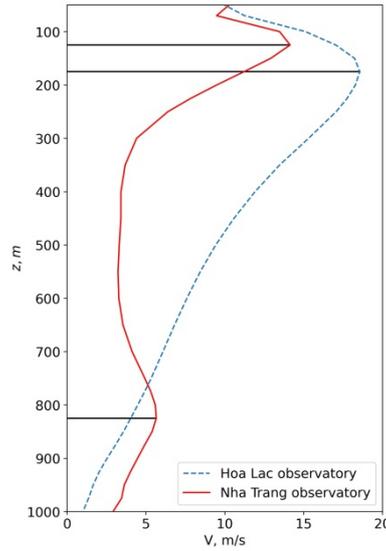


Рис. 1. Профили средней скорости ветра над астрономическими обсерваториями Вьетнама

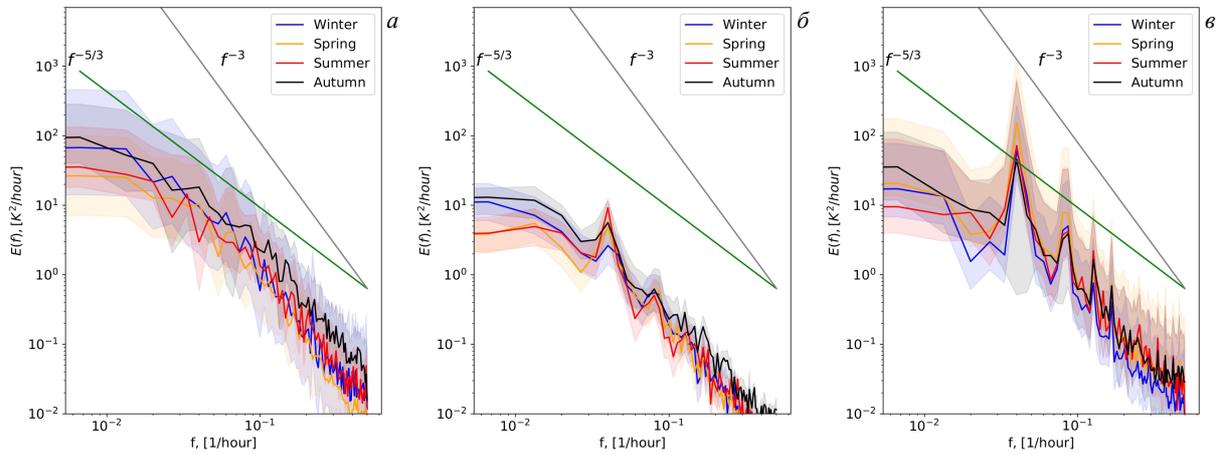


Рис. 2. Спектр колебаний температуры воздуха в обсерватории Нячанг: а — 100гПа, б — 300 гПа, в — у поверхности

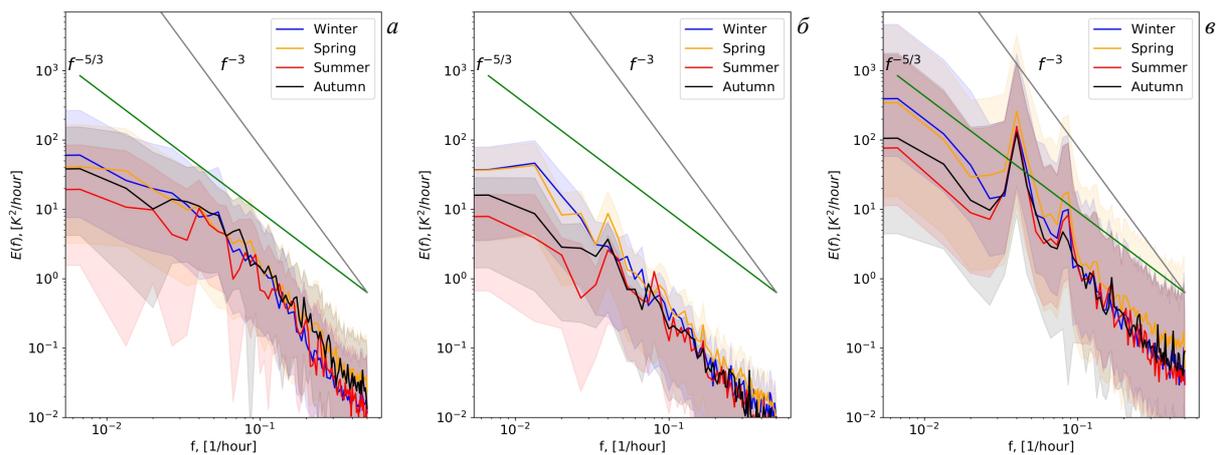


Рис. 3. То же для обсерватории Хоа Лак

Лак и Нячанг по данным реанализа Era-5 мы оценили средние годовые вертикальные профили скорости ветра, показанные на рис. 1.

Максимумы средней скорости ветра наблюдаются на разных высотах. Для обсерватории Хоа Лак максимум наблюдается на уровне 175 гПа, средняя ско-

рость составляет 18.5 м/с. Над обсерваторией Нячанг максимум скорости ветра соответствует 125 гПа.

В приближении модели стандартной атмосферы относительное смещение максимума скорости составляет около 2.1 км. Для обсерватории Нячанг скорость ветра в максимуме несколько меньше и равна 14.2 м/с.

В вертикальном профиле скорости ветра также выделяется максимум скорости ветра, который мы связываем со струйным течением нижних уровней. Средняя скорость ветра (на изобарической поверхности 825 гПа) составляет 5.6 м/с. Таким образом, мы определили среднее положение по высоте максимума скорости ветра в местах расположения астрономических обсерваторий Хоа Лак и Нячанг.

Сравнение медианных значений с другими астрономическими местами показало следующее. Оцененная медиана для обсерватории Нячанг (14.8 м/с) существенно ниже медиан для La Silla (31.2 м/с), Paranal (28.1 м/с), Майданак (25.9 м/с). В месте расположения обсерватории Хоа Лак медиана (18.6 м/с) оказалась близка к значениям, полученным для Sierra Negra (18.3 м/с), CAO РАН (19.8 м/с), Oukaimeden (20.3 м/с), La Palma (20.8 м/с), Mauna Kea (21.0 м/с) и превысила медиану в Costa Rica (7.7 м/с) [Bounhir, 2009; Shikhovtsev, 2020].

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ОБСЕРВАТОРИЙ НЯЧАНГ И ХОА ЛАК

В изучении атмосферной турбулентности существенное внимание уделяется энергетическим спектрам в широком диапазоне пространственных и временных масштабов. С целью определения особенностей структуры атмосферных крупномасштабных течений мы рассчитали частотные зависимости спектральной плотности мощности температурных флуктуаций по данным реанализа Era-5. Спектры температурных флуктуаций на разных изобарических уровнях показаны на рис. 1, 2. Для обсерваторий Нячанг и Хоа Лак в нижней части оптически активной атмосферы спектр имеет наклон $-5/3$. С высотой спектр становится круче. Показатель степени находится в диапазоне между $-5/3$ и -3 . Лишь на высотах 200–100 гПа в высокочастотной части спектра наклон становится близок к -3 . В сравнении со спектрами, полученными для средних широт с развитыми крупномасштабными флуктуациями, спектры в обсерваториях Нячанг и Хоа Лак существенно различаются.

Энергетические спектры содержат несколько максимумов энергии. В приземном слое атмосферы наиболее выражен суточный максимум. Энергия флуктуаций достигает $10.4 (^{\circ})^2$ весной и $5.3 (^{\circ})^2$ осенью. С высотой амплитуда суточных вариаций существенно уменьшается. Выше уровня давления 775 гПа слабые низкочастотные возмущения наблюдаются только в зимне-весенний период. Летом и осенью энергия низкочастотных возмущений незначительна. Вероятно, динамика низкочастотного максимума определяется процессами в атмосферном пограничном слое, включая волновые возмущения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье обсуждаются астроклиматические характеристики в местах расположения обсерваторий Хоа Лак и Нячанг. По данным реанализа Era-5 мы оценили пространственные распределения скорости ветра в верхних слоях атмосферы. Определены средние годовые положения оси струйных течений в местах расположения этих обсерваторий. Высоты формирования струйных течений отличаются от 200 гПа и соответствуют изобарическим уровням 175 и 125 гПа для обсерваторий Хоа Лак и Нячанг соответственно. Для обсерватории Хоа Лак средняя скорость на оси струи больше на 4.3 м/с в сравнении с обсерваторией Нячанг. Полученные спектры для обсерваторий Нячанг и Хоа Лак содержат низкочастотный и суточный максимумы. Анализ спектров показал, что амплитуда суточного максимума существенно уменьшается с высотой. В месте расположения Хоа Лак амплитуда суточного максимума существенно уменьшается на высоте, соответствующей давлению 775 гПа. В обсерватории Нячанг атмосферный слой с существенными суточными вариациями более тонкий. Суточный максимум имеет небольшие амплитуды на уровне 875 гПа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, соглашение No. 075-15-2021-982 от 13 октября 2021 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bounhir A., Benkhaldoun Z., Carrasco E., Sarazin M. High-altitude wind velocity at Oukaimeden observatory. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2009. Vol. 398. P. 862–872. DOI: [10.1111/j.1365-2966.2009.14998.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2009.14998.x).
- Han Y., Yang Q., Liu N., et al. Analysis of wind-speed profiles and optical turbulence above Gaomeigu and the Tibetan Plateau using ERA5 data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2021. Vol. 501, iss. 4. P. 4692–4701. DOI: [10.1093/mnras/staa2960](https://doi.org/10.1093/mnras/staa2960).
- Nastrom G.D., Gage K.S. A Climatology of atmospheric wavenumber spectra of wind and temperature observed by commercial aircraft. *J. Atmos. Sci.* 1985. Vol. 42, no. 9. P. 950–960.
- Shikhovtsev A.Yu., Bolbasova L.A., Kovadlo P.G., Kiselev A.V. Atmospheric parameters at the 6-m Big Telescope Alt-azimuthal site. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2020. Vol. 493. P. 723–729. DOI: [10.1093/mnras/staa156](https://doi.org/10.1093/mnras/staa156).