

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТНЕГО МУССОНА ВОСТОЧНОЙ АЗИИ ПО ДАННЫМ ERA-40 И NCEP/NCAR REANALYSIS

<sup>1</sup>О.Ю. Марченко, <sup>2</sup>В.И. Мордвинов, <sup>2</sup>О.С. Кочеткова, <sup>3</sup>П.Н. Антохин

### LONG-TIME VARIATIONS OF THE EAST ASIAN SUMMER MONSOON CHARACTERISTICS INVESTIGATED USING DATA ERA-40 AND NCEP/NCAR REANALYSIS

<sup>1</sup>O.Yu. Marchenko, <sup>2</sup>V.I. Mordvinov, <sup>2</sup>O.S. Kochetkova, <sup>3</sup>P.N. Antokhin

Граница распространения влаги в летнем муссоне Восточной Азии является важной характеристикой увлажненности внутриматериковых районов Китая, Монголии и юга Сибири. Положение границы зависит от интенсивности муссона и меняется вследствие глобальных климатических изменений и изменений общей циркуляции атмосферы (ОЦА). В работе исследуются особенности этих изменений по данным архивов ECMWF 40 Year Reanalysis (ERA-40 1958-2002) и NCEP/NCAR Reanalysis V1 (1948-present). Показано, что граница распространения муссона Восточной Азии подвержена существенным межгодовым и кваздекадным изменениям. Ослабление муссона с середины 70-х гг. сопровождалось смещением границы муссона к юго-востоку. Данные двух реанализов оказались неплохо согласованы между собой за исключением промежутка времени до начала 70-х гг.

The boundary of moisture expansion deep into the Asian continent closely related to the East Asian summer monsoon (EASM) intensity is one of the key features of the EASM. We investigate this feature dynamics, using the ECMWF 40 Year Reanalysis (ERA-40 1958-2002) and NCEP/NCAR Reanalysis V1 (1948-present) data. We found that border of the EASM extension had strong inter-annual and quasi-decadal changes. A significant decrease in the intensity EAM from the mid 70-th years is accompanied by trend changes in the position of EASM boundaries: area of the EASM extension moves southeast. In general, the ERA-40 and NCEP/NCAR Reanalysis V1 data were well matched to each other except for an interval of time before the start of the 70's.

#### Введение

«Муссонные регионы» всегда привлекали внимание исследователей, ведь именно в этих регионах проживает две трети населения земного шара. Все муссоны земного шара существуют в рамках общей системы, именуемой планетарным муссоном [Ding, Chan, 2005], которая включает Азиатско-Тихоокеанскую, Африканскую, Австралийскую и Североамериканскую муссонные области. Наиболее сложной для анализа является муссонная циркуляция самого крупного Азиатско-Тихоокеанского региона. Традиционно изучалась лишь одна компонента этой системы – индийский муссон. Однако муссон в Индии является однородной и простой системой, его характеристики на всей территории тесно связаны с одной величиной – количеством осадков. Об этом свидетельствует существующий индекс муссонности Индии – All-India summer monsoon rainfall – сумма осадков, выпадающая на территории страны.

В других областях Азиатско-Тихоокеанского региона характеристики муссонов не столь однозначно связаны с осадками. Wang и Lin [Wang, Lin, 2002] выделили три относительно независимых муссонных подсистемы (рис. 1): летний индийский муссон (ISM), летний муссон западной части Тихого океана (WNPSM) и летний муссон Восточной Азии (EASM) [Ding, Chan, 2005]. Подсистемы ISM и WNPSM являются классическими тропическими системами, зависящими от циркуляции атмосферы и океана в низких широтах. Подсистема EASM имеет гибридную природу тропических и субтропических муссонов, для которой характерно интенсивное взаимодействие циркуляции атмосферы умеренных широт и тропиков [Ding, Chan, 2005].

Важнейшей характеристикой EASM является граница распространения влаги вглубь Азиатского континента, тесно связанная с интенсивностью мус-

сона. При сильном муссоне влага может достигать северных районов Восточной Азии (Северный Китай, восточная часть Монголии и территория Забайкалья) [Wang et al., 2008]. Так как при этом в областях «традиционного» муссонного фронта мей-у (бай-у в Японии и чангма в Корее) количество осадков снижается, некоторые авторы [Wang et al., 2008] предложили альтернативные индексы интенсивности муссона, связывая муссон не с осадками в северных районах, а с осадками в бассейне реки Янцзы.

#### Методика и данные

Поскольку перенос воздуха в EASM происходит преимущественно вдоль восточной границы Азии параллельно меридианам, для исследования распространения муссона вглубь континента использовались диаграммы Хофмеллера осредненной за июль меридиональной компоненты скорости вблизи северо-западной границы муссона (рис. 1). Величины, характеризующие количество влаги в атмосфере, в силу сложности атмосферных процессов и неточности измерений оказываются гораздо менее надежными. Расчеты выполнялись для изобарической поверхности 850 гПа, на этом уровне муссон Восточной Азии получает наибольшее развитие. В качестве исходных были использованы данные двух архивов, располагающих наиболее длинными рядами, – ECMWF 40 Year Reanalysis (ERA-40 1958-2002) и NCEP/NCAR Reanalysis V1 (1948-present) [Kalnay et al., 1996; Gibson et al., 1996].

#### Результаты

На рис. 2 показаны долго-временные изменения меридиональной компоненты поля скорости, усредненной в интервале «традиционной» зоны мей-у 20–35° N и в интервале 35–50° N, соответствующем «северным областям» муссона. Такое деление позво-

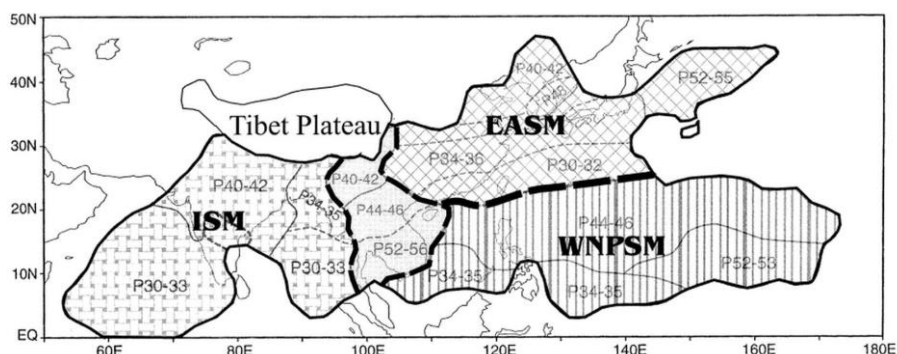


Рис. 1. Деление на муссонные области Азиатско-Тихоокеанского региона согласно [Wang et al., 2002].

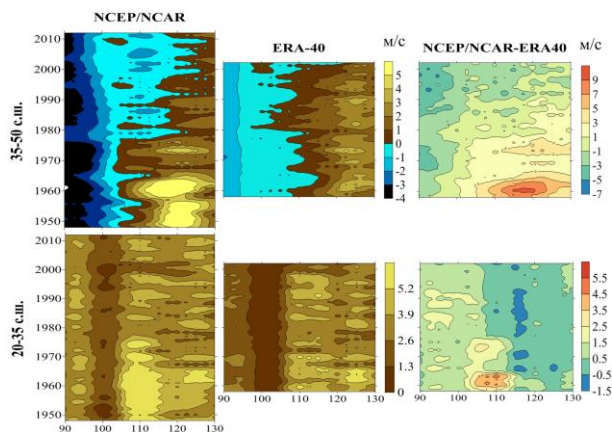


Рис. 2. Долготно-временные срезы меридиональной компоненты скорости, осредненной в широтных областях 20–35° и 35–50° N по данным архивов NCEP/NCAR и ERA-40, и их разности. Положительным значениям меридиональной скорости соответствует перенос к северу, отрицательным – к югу.

ляет получить представление не только о динамике границ распространения EASM, но и об изменениях интенсивности муссона в каждом из центров выпадения осадков. Видно, что граница распространения муссона смещается в зональном направлении в целом не очень сильно и колеблется вблизи 110° E. Более заметным изменениям подвержены границы максимумов меридиональных скоростей. В южных районах положение границ меняется мало, но в северных районах испытывает сильные межгодовые колебания. Распределения поля скорости, построенные по различным данным, похожи, более сильно различаются величины скоростей: для южных районов они практически повсеместно занижены в данных реанализа NCEP относительно данных ERA, а для северных районов, наоборот, завышены вплоть до 80-х гг. прошлого столетия. В более поздний период значения NCEP, как правило, ниже значений ERA. Максимальные различия наблюдаются до середины 70-х гг., значения NCEP в этот период на порядки выше значений ERA.

На рис. 3 показаны широтно-временные диаграммы Хофмеллера меридиональной компоненты поля скорости, усредненной в западной (110–120° N) и восточной области (120–130° N) EASM. Видно, что северная граница распространения муссона испытывает сильные межгодовые изменения, причем оба реанализа неплохо согласованы, хотя для данных

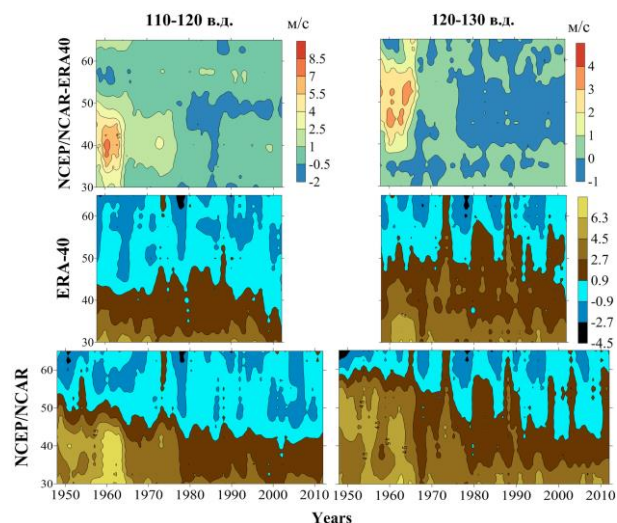


Рис. 3. Широтно-временные срезы меридиональной компоненты скорости ветра, осредненной в долготных областях: 110–120° E и 120–130° E по данным архивов NCEP/NCAR и ERA-40, и их разности. Положительным значениям меридиональной скорости соответствует перенос к северу, отрицательным – к югу.

NCEP до середины 70-х гг. характерно несколько более северное положение границы распространения муссонной циркуляции.

Совместный анализ рис. 2 и 3 позволяет выделить интервалы времени, когда муссон смещается к северо-западу (начало 60-х, 1971, 1973, середина 80-х, 90-х гг.), они чередуются с периодами, когда EASM не проникает глубоко на север и смещается к востоку (конец 70-х, начало 80-х, 1969, 1992 гг., а также с 2000 г.). В эти периоды происходило наиболее существенное перераспределение осадков на территории Восточной Азии.

Интересной особенностью динамики EASM является резкое изменение характеристик муссона в конце 60-х гг. Этот сдвиг особенно заметен в данных NCEP/NCAR, для которых до 70-х гг. характерны более высокие показатели интенсивности и смещенные к северо-западу границы муссона во всех широтных зонах. Наличие сдвига подтверждается данными архива ERA и, кроме того, отмечается целым рядом исследователей, обнаруживших сдвиг в характеристиках осадконакопления. Данные метеостанций Китая также указывают на климатический сдвиг в 70-х гг., особенностями которого были уменьшение количества осадков на территории Се-

верного Китая и увеличение в бассейне реки Янцзы. Это привело к усилению засухи в Северном Китае и наводнениям в бассейне реки Янцзы. Все авторы подчеркивают, что изменения в количестве осадков могли произойти лишь вследствие изменения структуры муссона Восточной Азии и связанного с ним переноса влаги в нижней тропосфере вследствие смещения на юго-запад границы распространения муссона.

#### **Заключение**

Исследование показало, что муссонная система Восточной Азии подвержена существенной межгодовой и декадной изменчивости. Интенсивность муссона оказывается тесно связанной с основными направлениями распространения муссонной влаги. В случае сильного муссона границы смещаются к северо-западу, при слабом муссоне потоки влаги не проникают на север и смещаются к востоку. Помимо довольно высокой межгодовой изменчивости, исследуемые вариации демонстрируют наличие сдвига в конце 70-х гг. прошлого столетия: до 70-х гг. интенсивность муссона была выше, чем в более поздний период. Эти особенности подтверждаются данными обоих исследуемых архивов, но в данных NCEP они все же прослеживаются гораздо лучше.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

Ding Yi.H., Chan C.L. The East Asian Summer monsoon: An overview // *Meteor. Atmos. Phys.* 2005. V. 89. P. 117–142.

Gibson J.K., Kalberg P., Uppala S. The ECMWF reanalysis (ERA) Project // *ECMWF Newsletter*. 1996. N 73. P. 7–17.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1996. V. 77, N 3. P. 437–471.

Wang B., Lin H. Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon // *J. Climate*. 2002. V. 15, N 4. P. 386–396.

Wang B., Wu Z., Li J., et al. How to Measure the Strength of the East Asian Summer Monsoon? // *Ibid.* 2008. V. 21, N 17. P. 4449–4463.

<sup>1</sup>*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

<sup>3</sup>*Институт оптики атмосферы и океана им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия*