

# АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ОКЕАНА

УДК 551.513+551.557.5

## Восточноатлантическое колебание: механизм и влияние на климат Европы в зимний период

© 2016 Н.В. Михайлова, А.В. Юровский

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия  
e-mail: mikhailova\_nv@mhi-ras.ru, a-yurovskiy@mhi-ras.ru*

Поступила в редакцию 29.02.2016 г.

В работе рассматривается вторая главная компонента разложения поля атмосферного давления в Атлантико-Европейском регионе, называемая Восточноатлантическим колебанием (ВАК). Пространственная структура ВАК в поле геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа представлена диполем с центрами над Северной Атлантикой и Центральной Европой. Изменение атмосферного давления в центрах действия ВАК (смена фазы ВАК) связано с изменением типа общей циркуляции атмосферы в регионе. В положительную фазу ВАК преобладает зональный тип циркуляции, в отрицательную фазу – меридиональный. Это находит свое отражение в изменении траекторий внетропических циклонов и оказывает влияние на формирование аномалий полей приземной температуры воздуха и осадков в Европе в зимний период.

Механизм влияния ВАК на атмосферные поля Атлантико-Европейского региона осуществляется через изменение положения и интенсивности среднетропосферного струйного течения над Северной Атлантикой. В положительную фазу ВАК струйное течение смещается в южном направлении, в отрицательную фазу – в северном.

**Ключевые слова:** Восточноатлантическое колебание, приземная температура воздуха, осадки, среднетропосферное струйное течение, циркуляция атмосферы, траектории циклонов.

**Введение.** Крупномасштабные сигналы в системе океан – атмосфера являются важным объектом исследования в климатологии. Современная климатическая парадигма основана на представлении о том, что в атмосфере существуют некие устойчивые ее состояния (режимы), а изменение климатических условий рассматривается как переход от одного устойчивого состояния к другому. Выделяют крупномасштабные сигналы, определяют их пространственную структуру и временную изменчивость с помощью методов многомерного статистического анализа. В Атлантико-Европейском регионе основным сигналом или первой главной компонентой разложения поля атмосферного давления является Североатлантическое колебание (САК). Вторую (иногда третью) главную компоненту называют Восточноатлантическим колебанием (ВАК).

Первые сведения о ВАК появились в статье [1]. Согласно этой работе, центры действия ВАК располагаются к юго-западу от Канарских о-вов (25° с.ш., 25° з.д.), между Черным и Каспийским морями (50° с.ш., 40° в.д.) и к западу от Великобритании (55° с.ш., 20° з.д.). Позже на основании анализа главных компонент поля геопотенциала изобарической поверхности 700 гПа методом VARIMAX Барнстон и Ливзи [2] определили положение основного центра ВАК в районе к западу от Великобритании (55° с.ш., 20 – 35° з.д.) и центра противо-

положительного знака – вблизи Северной Африки и Средиземного моря (25 – 35° с.ш., 0 – 10° з.д.). В недавних работах [3 – 5] ВАК описывается как поле с единым центром, расположенным к югу от Исландии (52,5° с.ш., 22,5° з.д.).

Значимость или порядок главной компоненты зависит от величины объясняемой ею доли суммарной дисперсии исходной характеристики (в нашем случае дисперсии атмосферного давления). Вторая главная компонента объясняет, по сведениям различных авторов, от 6 [2] до 23% [6] межгодовой изменчивости полей атмосферного давления в Атлантико-Европейском регионе. Таким образом, исследователи демонстрируют некоторое расхождение в том, что касается количества центров действия ВАК, их географического положения и величины суммарной дисперсии поля атмосферного давления, описываемой этим сигналом.

Наряду с САК, ВАК оказывает заметное влияние на особенности атмосферной циркуляции и климат Европейского региона. В частности, показано, что ВАК модулирует осадки на юго-западе Великобритании и Пиренейском п-ове [7] и оказывает влияние на положение основных шторм-треков и струйных течений в Северной Атлантике [6, 8 – 11]. Причем в работах [8, 11] делается вывод о том, что индекс САК отражает широтные изменения траекторий циклонов, а индекс ВАК – изменение интегральной интенсивности и количества циклонов. В то же время авторы статьи [12] на основании анализа главных компонент поля зональной составляющей скорости ветра на изобарической поверхности 250 гПа пришли к выводу, что ВАК контролирует не интенсивность, а расширение и сужение струйного течения над Атлантикой. Таким образом, взаимосвязь Восточноатлантического колебания, струйных течений и циклонической активности требует уточнения. Тем более что в работе [11] анализ проводился только для глубоких (<1000 гПа) циклонов. При таком подходе самые активные зоны циклогенеза в зимний период – Средиземное и Черное моря – оказались за рамками анализа, так как в среднем атмосферное давление в центре средиземноморских или черноморских циклонов выше, чем 1000 гПа.

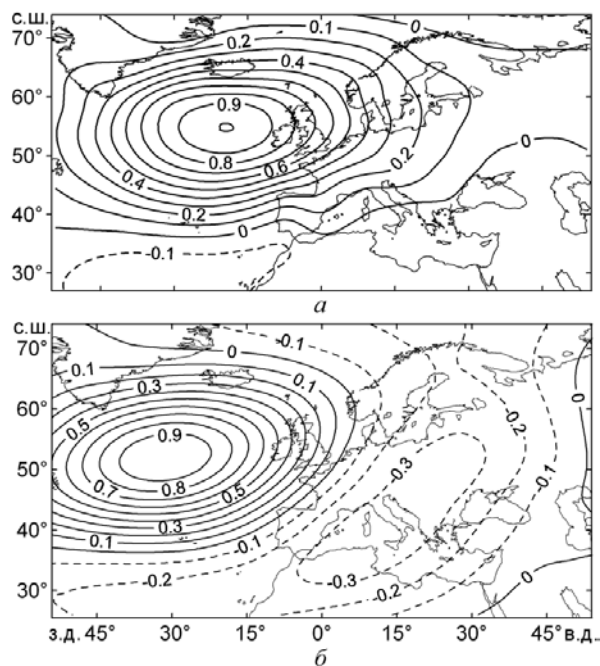
Изменения гидрометеорологических полей под влиянием любого крупномасштабного сигнала в системе океан – атмосфера хорошо диагностируются и прогнозируются, если известен механизм сигнала. Поэтому целью настоящей работы является описание механизма Восточноатлантического колебания и его влияния на атмосферную циркуляцию, а также на поля температуры воздуха и осадков в Атлантико-Европейском регионе в зимний период.

**Исходные данные и методы исследования.** В работе использовались данные о температуре воздуха и осадках за 1950 – 2015 гг. из массива *E-OBS* 11.0 [13], приземном атмосферном давлении за 1870 – 2015 гг. из массива *Hadslp2* Центра Гадлея Метеорологической службы Великобритании [14], геопотенциале изобарической поверхности 500 гПа ( $H_{500}$ ), зональной составляющей скорости ветра на изобарической поверхности 500 гПа за 1870 – 2015 гг. из массива реанализа XX века *NCEP/NCAR 20CR* [15], а также среднемесячные индексы САК и ВАК за 1950 – 2015 гг., полученные в *NOAA Climate Prediction Centre* (<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/>). Анализ траекторий циклонов проводился на основании архивов Метеорологической

службы Великобритании за 1998 – 2015 гг. (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>) и атласа траекторий циклонов за 1961 – 1998 гг., подготовленного в NASA (США) (<http://data.giss.nasa.gov/stormtracks/>).

В настоящей работе для выделения климатических сигналов по данным об атмосферном давлении на уровне моря и геопотенциале  $H_{500}$  использовался стандартный метод главных компонент. Дальнейшее исследование проводилось композитным методом. Композиты метеорологических полей для положительной и отрицательной фаз ВАК были получены путем осреднения соответствующих атмосферных характеристик по пяти годам с положительным (1990, 1998, 2001, 2007, 2014) и пяти годам с отрицательным (1952, 1954, 1976, 1981, 2012) зимним индексом ВАК. Годы выбирались из соображений, чтобы индекс ВАК был наибольшим по абсолютной величине, а индекс САК по абсолютной величине был менее единицы. Мы считаем, что в этом случае влияние главной моды межгодовой изменчивости поля давления в Атлантико-Европейском регионе нейтрализуется.

**Результаты.** В пространственной структуре второй главной компоненты разложения поля атмосферного давления на уровне моря наблюдается один центр с координатами  $55^\circ$  с.ш.,  $20^\circ$  з.д. (рис. 1, а). В поле геопотенциала  $H_{500}$  прослеживаются два центра разного знака: один – над Северной Атлантикой ( $52^\circ$  с.ш.,  $30^\circ$  з.д.), второй, достаточно обширный, но гораздо менее интенсивный, – над Центральной Европой (рис. 1, б). Согласно нашим расчетам, на долю второй компоненты приходится 20,1% суммарной дисперсии поля приземного атмосферного давления и 22,6% суммарной дисперсии поля геопотенциала  $H_{500}$ .



**Рис. 1.** Вторая главная компонента разложения поля приземного атмосферного давления (а) и поля геопотенциала  $H_{500}$  (б) в зимний период в Атлантико-Европейском регионе  
 МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ № 4 2016

В качестве меры изменчивости главных компонент поля атмосферного давления обычно используют циркуляционные индексы. Анализ многолетней изменчивости индекса ВАК, рассчитанного для поля геопотенциала  $H_{500}$  в зимний период, показывает, что до 1986 г. преобладала отрицательная фаза сигнала, а после – с равной частотой наблюдались и положительная и отрицательная фазы ВАК (рис. 2). В целом с начала 1950-х годов отмечается устойчивый рост индекса ВАК.

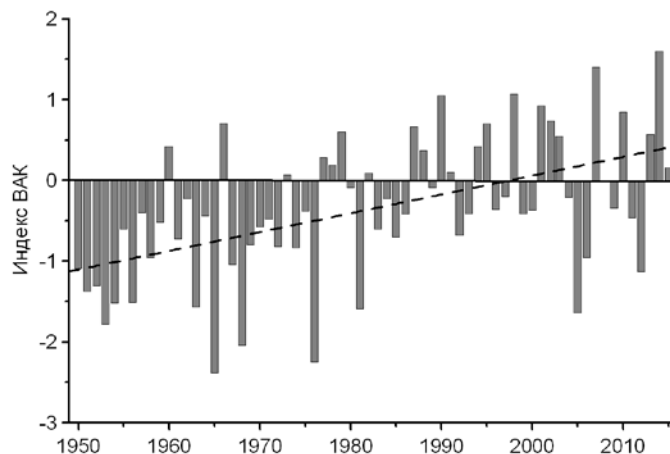
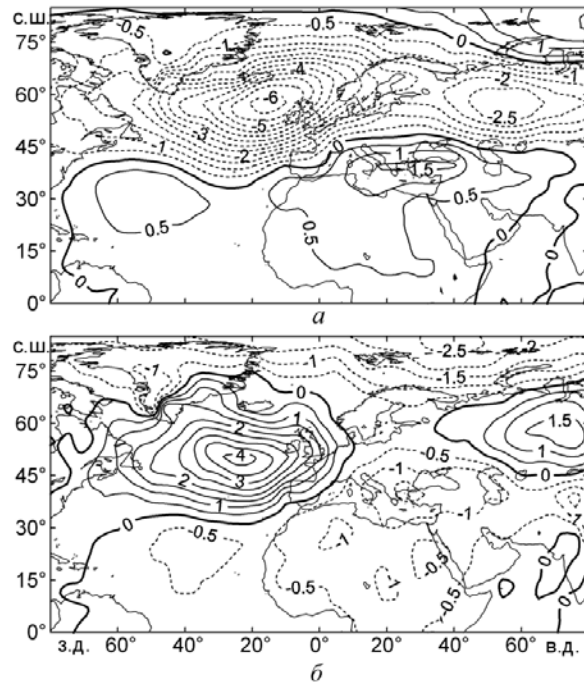


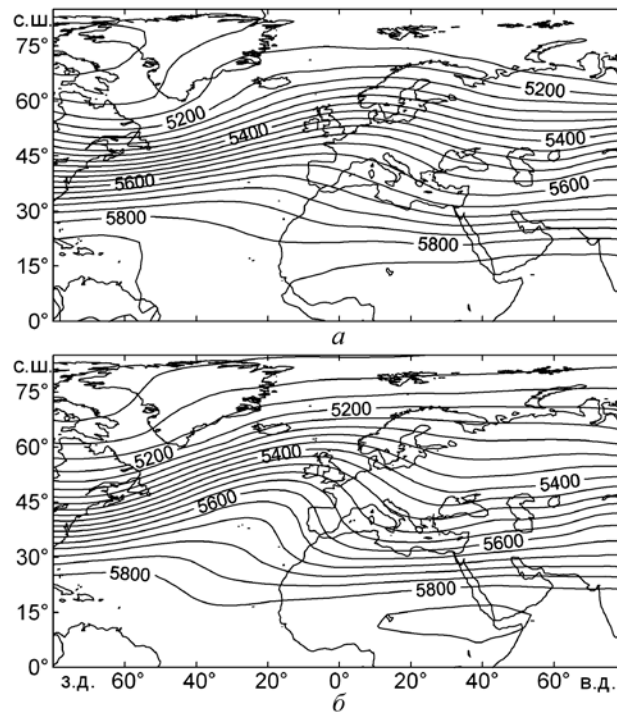
Рис. 2. Многолетний ход зимнего индекса ВАК и его линейный тренд

Как показано на рис. 3, зимой аномалии приземного атмосферного давления максимальны над умеренными широтами Северной Атлантики вблизи основного центра действия ВАК. В положительную фазу ВАК композитные аномалии приземного атмосферного давления достигают  $-6$  гПа, в отрицательную фазу —  $+4$  гПа. Аналогичный результат получен в работах [4, 5].

В поле геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа положительная фаза ВАК характеризуется хорошо выраженным зональным переносом над Атлантико-Европейским регионом (рис. 4, а). Отрицательная фаза ВАК ассоциируется с интенсивным субтропическим гребнем, располагающимся к западу от побережья Европы над Северной Атлантикой, и ложбиной, ось которой проходит от Баренцева к Средиземному морю (рис. 4, б). Наличие холодной ложбины над Черным и Средиземным морями в зимнее время является фактором развития активного циклогенеза над этими районами. Поэтому в отрицательную фазу ВАК следует ожидать рост циклонической активности в Черноморско-Средиземноморском регионе. Последний вывод подтверждается данными работы [16], посвященной классификации синоптических процессов, приводящих к штормовым ситуациям над Азовским и Черным морями. Авторы статьи [16] показали, что при зональной форме циркуляции (положительной фазе ВАК) штормы практически не возникают, а при конфигурации поля геопотенциала  $H_{500}$ , показанной на рис. 4, б (отрицательной фазе ВАК), в Азово-Черноморском регионе наблюдается 42% всех штормов. Таким образом, в положительную фазу ВАК зимой над Атлантико-Европейским регионом преобладает зональный тип циркуляции, в отрицательную фазу – меридиональный.

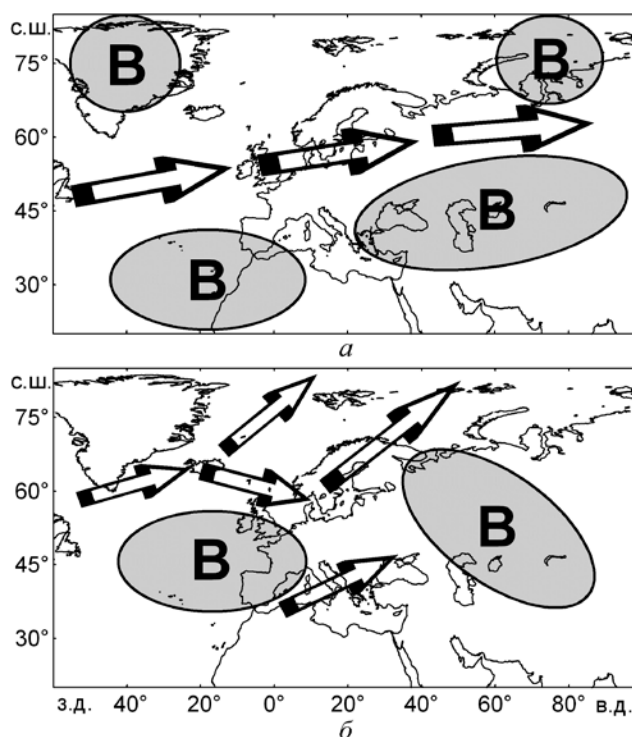


**Рис. 3.** Композитные аномалии поля приземного атмосферного давления (гПа) в Атлантико-Европейском регионе в положительную (а) и отрицательную (б) фазы ВАК в зимний период относительно климата 1981 – 2010 гг.



**Рис. 4.** Композитный геопотенциал изобарической поверхности  $H_{500}$  (гп м) в положительную (а) и отрицательную (б) фазы ВАК в зимний период  
 МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ № 4 2016

Аномалии поля атмосферного давления в разные фазы ВАК формируются в результате изменения крупномасштабной циркуляции в Атлантико-Европейском регионе. Анализ синоптических карт показал, что зимой в положительную фазу ВАК вся юго-восточная часть региона находится под влиянием Сибирского антициклона, северо-восточная часть – под влиянием скандинавских или арктических антициклонов. Кроме того, на севере Атлантико-Европейского региона усиливается Гренландский антициклон. Вдоль 50 – 60° с.ш. образуется своеобразный «коридор», по которому перемещаются атлантические циклоны (рис. 5, а). Сами циклоны являются очень глубокими, их интенсификации способствуют положительные аномалии температуры поверхности Северной Атлантики. Циклоническая деятельность над Средиземным морем подавлена, что является основной причиной дефицита осадков на юге Европы и в Черноморском регионе. Зима в положительную фазу ВАК на большей части Европы мягкая, аномалии температуры воздуха относительно климатических значений 1981 – 2010 гг. составляют от +0,5 до +3,5°С.

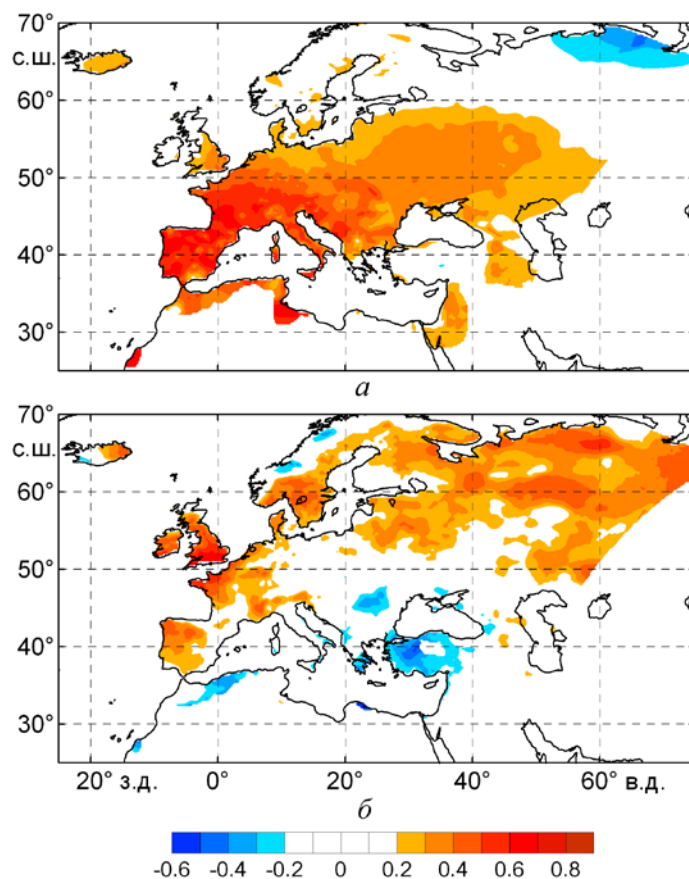


**Рис. 5.** Основные шторм-треки внетропических циклонов (обозначены стрелками) и положение основных антициклонов в положительную (а) и отрицательную (б) фазы ВАК в зимний период

Отрицательная фаза ВАК ассоциируется с распространением на северо-восток Азорского антициклона (рис. 5, б), при этом северо-восточная часть Атлантико-Европейского региона находится в области влияния отрогов Сибирского антициклона. Шторм-треки атлантических циклонов проходят по северной периферии Азорского антициклона либо крупного подвижного ан-

тициклона, который формируется над акваторией Северной Атлантики. Затем через Скандинавию циклоны проникают на север России, принося в этот район осадки. Некоторая часть циклонов перемещается по ультраполярным траекториям, снабжая арктические районы большим количеством тепла и влаги. Активный процесс циклогенеза наблюдается также над восточной частью Средиземного моря, Малой Азией и Черным морем. Зима в отрицательную фазу ВАК на большей части Европы холоднее, чем обычно: аномалии температуры воздуха составляют от  $-1,5$  до  $-0,5^{\circ}\text{C}$ .

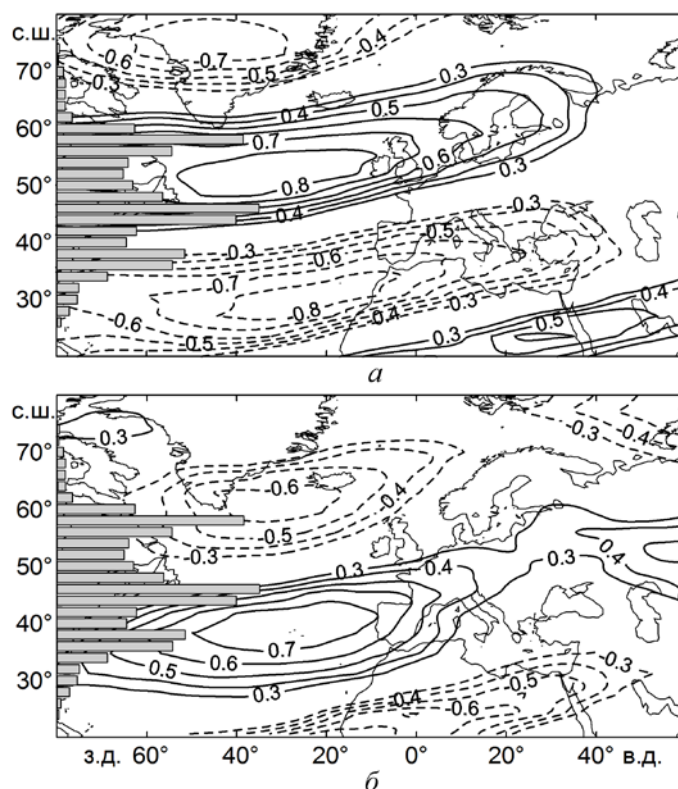
Поле корреляций индекса ВАК и приземной температуры воздуха в зимний период в Европейском регионе свидетельствует о тесной положительной связи между этими характеристиками (рис. 6, *a*). Коэффициенты корреляции превышают по величине 0,5 над Центральной Европой и 0,6 над Западной. Таким образом, на 25 – 35% изменчивость температуры воздуха в Европейском регионе в зимние месяцы объясняется влиянием ВАК.



**Рис. 6.** Поле корреляций индекса ВАК с приземной температурой воздуха (*a*) и осадками (*б*) в Европейском регионе в зимний период 1950 – 2015 гг.

Поле корреляций индекса ВАК и осадков характеризуется зональной структурой: на юге Скандинавского п-ова, севере Европейской части России и над большей частью Западной Европы располагается область положитель-

ных значений коэффициентов корреляции, на юге Центральной Европы и севере Скандинавского п-ова – отрицательных (рис. 6, б). Наиболее тесная положительная связь индекса ВАК и сумм осадков за зимние месяцы (коэффициент корреляции  $R > 0,6$ ) наблюдается над Великобританией и северными районами Франции, тогда как область отрицательных коэффициентов корреляции ( $R < -0,6$ ) локализуется главным образом к югу и западу от Черного моря – над Турцией и Румынией. Следовательно, в среднем на 15 – 25%, а в некоторых районах Европы и до 35% изменчивость осадков в Европейском регионе в зимний период объясняется влиянием ВАК. Характер поля изокоррелянт хорошо согласуется с описанными особенностями атмосферной циркуляции.



**Рис. 7.** Поле корреляций индексов САК (а) и ВАК (б) с зональной составляющей скорости ветра на изобарической поверхности 500 гПа (линейная гистограмма показывает распределение положения среднетропосферной струи в различных широтных зонах Северной Атлантики (из работы [17]))

Поскольку шторм-треки циклонов связаны с положением струйного течения в средней тропосфере, а количество циклонов – с интенсивностью струи [10, 17], то очевидно, что струйные течения являются важнейшим климатообразующим фактором. Рассмотрим влияние двух основных климатических сигналов (САК и ВАК) на параметры струйного течения. Зимой струйное течение над Северной Атлантикой, по данным работы [17], наиболее часто располагается в трех широтных полосах: 34 – 38° с.ш., 42 – 46° с.ш. и 54 –





В отрицательную фазу ВАК над Северной Атлантикой формируется аномальная антициклоническая циркуляция (рис. 8, б). Скорость зонального переноса увеличивается на 6 – 7 м/с к северу от 57° с.ш. и уменьшается на 6 – 7 м/с к югу от 42° с.ш. Следовательно, струйное течение находится в северном положении, т. е. циклоническая активность возрастает в полярных широтах и снижается в умеренных.

**Заключение.** Проведен совместный анализ индекса Восточноатлантического колебания и полей атмосферного давления, геопотенциала  $H_{500}$ , зональной составляющей скорости ветра на изобарической поверхности 500 гПа, приземной температуры воздуха и осадков в зимний период в Атлантико-Европейском регионе.

Получено, что в разные фазы Восточноатлантического колебания меняется тип циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском регионе. В положительную фазу ВАК преобладает зональный тип циркуляции, в отрицательную фазу – меридиональный. Это находит свое отражение в траекториях внетропических циклонов и влияет на формирование полей приземной температуры воздуха и осадков в этом регионе.

На 25 – 35% изменчивость приземной температуры воздуха и на 15 – 25% изменчивость осадков в Европейском регионе в зимние месяцы объясняются влиянием ВАК. Положительная фаза ВАК ассоциируется с повышенными температурами воздуха в зимний период в регионе (среднезимние аномалии температуры воздуха зимой в Европе составляют от +0,5 до +3,5°C), отрицательная фаза ВАК – с пониженными температурами (аномалии составляют от –1,5 до –0,5°C).

Индекс Восточноатлантического колебания тесно связан со скоростью струйного течения в средней тропосфере над Северной Атлантикой. Знак индекса ВАК является хорошим индикатором широтного положения струи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wallace J.M., Gutzler D.S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter // Mon. Wea. Rev. – 1981. – 109, Iss. 4. – P. 784 – 812.
2. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. – 1987. – 115, Iss. 6. – P. 1083 – 1126.
3. Нестеров Е.С. О восточноатлантическом колебании циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 12. – С. 32 – 40.
4. Moore G.W.K., Renfrew I. Cold European winters: Interplay between the NAO and the East Atlantic mode // Atmos. Sci. Lett. – 2012. – 13. – P. 1 – 8.
5. Comas-Bru L., McDermott F. Impacts of the EA and SCA patterns on the European twentieth century NAO – winter climate relationship // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. – 2014. – 140. – P. 354 – 363. – doi: 10.1002/qj.2158.
6. Woollings T., Blackburn M. The North Atlantic jet stream under climate change, and its relation to the NAO and EA patterns // J. Climate. – 2012. – 25. – P. 886 – 902.
7. Rodriguez-Puebla C., Encinas A.H., Nieto S. et al. Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula // Int. J. Clim. – 1998. – 18. – P. 299 – 316.
8. Franzke C., Feldstein S.B. The continuum and dynamics of Northern hemisphere teleconnection patterns // J. Atmos. Sci. – 2005. – 62, № 9. – P. 3250 – 3267.

9. *Seierstad I.A., Stephenson D.B., Kvansto N.G.* How useful are teleconnection patterns for explaining variability in extratropical storminess? // *Tellus A.* – 2007. – 59, № 2. – doi: 10.1111/j.1600-0870.2007.00226.x.
10. *Woollings T., Hannachi A., Hoskins B.* Variability of the North Atlantic eddy-driven jet stream // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* – 2010. – 136. – P. 856 – 868.
11. *Вязилова Н.А.* Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // *Метеорология и гидрология.* – 2012. – № 7. – С. 5 – 14.
12. *Athanasiadis P.J., Wallace J.M., Wettstein J.J.* Patterns of wintertime jet stream variability and their relation to the storm tracks // *J. Atmos. Sci.* – 2010. – 67, Iss. 5. – P. 1361 – 1381.
13. *Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G. et al.* A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation // *J. Geophys. Res.: Atmospheres.* – 2008. – 113. – D20119. – doi: 10.1029/2008JD10201.
14. *Allan R., Ansell T.* A new globally complete monthly historical gridded mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850 – 2004 // *J. Clim.* – 2006. – 19. – P. 5816 – 5842. – doi: 10.1175/JCLI3937.1.
15. *Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. et al.* The Twentieth Century Reanalysis Project // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* – 2011. – 137. – P. 1 – 28.
16. *Воскресенская Е.Н., Наумова В.А., Евстигнеев М.П. и др.* Классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне // *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту.* – 2009. – Вип. 258. – С. 189 – 200.
17. *Woollings T., Czuchnicki C., Franzke C.* Twentieth century North Atlantic jet variability // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* – 2014. – 140. – P. 783 – 791.

## **East Atlantic Oscillation: mechanism and impact on the European climate in winter**

**N.V. Mikhailova, A.V. Yurovsky**

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia  
e-mail: mikhailova\_nv@mhi-ras.ru, a-yurovskiy@mhi-ras.ru*

The second principal component of the atmospheric pressure field resolution in the Atlantic-European region called the East Atlantic Oscillation (EAO) is considered. The EAO spatial structure in the field of the isobaric surface geo-potential 500 hPa is represented by a dipole with the centers over the North Atlantic and the Central Europe. Change of the atmospheric pressure in the centers of the EAO action (change of the EAO phase) is connected with change of the general circulation type in the region. During the EAO positive phase the zonal type of circulation dominates, during the negative one – the meridian type is predominant. This phenomenon is reflected in change of the extra-tropical cyclones' storm-tracks and impacts formation of the anomalies of the surface air temperature and precipitation fields in Europe in winter.

The mechanism of the EAO influence upon the atmospheric fields of the Atlantic-European region is realized through change of location and intensity of the mid-troposphere jet over the North Atlantic. During the EAO positive phase the jet stream shifts southward, and during the negative one – northward.

**Keywords:** East Atlantic Oscillation, air surface temperature, precipitation, mid-troposphere jet, atmospheric circulation, storm-tracks.