О связи между состоянием горной растительности Тянь-Шаня и индексами североатлантической осцилляции следующего года

А. Г. Терехов[1,2], Н. Н. Абаев[2,3], И. С. Витковская[1], А. А. Пак[1], З. М. Егембердиева[1,4]

[1] *Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК*
Алматы, 050010, Казахстан
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

[2] *Республиканское государственное предприятие «Казгидромет»*
Алматы, 050022, Казахстан
E-mail: terekhov_a@meteo.kz

[3] *Казахский национальный университет имени аль-Фараби*
Алматы, 050040, Казахстан
E-mail: abayev.nurlan@gmail.com

[4] *Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, 050013, Казахстан*
E-mail: egem.zm@mail.ru

Североатлантическая осцилляция (колебание) (North Atlantic Oscillation — NAO) является одним из наиболее выраженных центров действия атмосферы, определяющих преобладающий характер погодных режимов в Северном полушарии. В настоящий момент известно о двух природных параметрах, в частности о поверхностной температуры воды Атлантического океана и снежном покрове Евразии, которые могут использоваться для прогноза величин индекса NAO. В настоящей работе описывается ещё один такой параметр — летние величины вегетационного индекса NDVI растительности гор Тянь-Шаня. Анализ периода 2002–2018 гг. показал, что июльские значения NDVI для естественной горной растительности Тянь-Шаня имеют достаточно тесную и статистически значимую связь со средними величинами NAO за март – июль следующего сезона (коэффициент корреляции Пирсона $r = 0{,}598$). Под естественной горной растительностью понималась совокупность фитоценозов высотного пояса, примерно 1300–3800 м над уровнем моря, к которой относятся альпийские/субальпийские луга, горные леса и степи. Сезонное состояние растительности характеризовалось декадными продуктами eMODIS NDVI C6 FEWS NET, разрешение 250 м, при этом использовался накопленный максимум значений NDVI за 11–31 июля (20-я и 21-я декады). Величины месячных значений индексов NAO были взяты из архива Climate Prediction Center (National Weather Service). Положительная фаза NAO увеличивает интенсивность западного переноса, повышает влажность и улучшает состояние растительности Тянь-Шаня. Существующая прямая связь между летними значениями NDVI вегетации Тянь-Шаня и NAO следующего года диагностирует персистентность летних погодных режимов материка. Особенности погодного режима года (влажный/сухой) центра Евразии имеют большую вероятность на повторение в следующем сезоне. Обнаруженный эффект, возможно, имеет перспективы для развития схем прогноза значений индекса NAO.

Ключевые слова: индексы североатлантического колебания, горная растительность, NDVI FEWS NET, Тянь-Шань, линейная корреляция, персистентность, прогноз индексов NAO

Одобрена к печати: 28.02.2020
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-275-281

Важность соотношения между давлениями воздуха в районе Исландии (Исландский минимум) и Азорскими островами (Азорский максимум) для режимов погоды Евразии, что в последствии было названо североатлантическим колебанием (North Atlantic Oscillation — NAO), была обнаружена более 40 лет назад (Barnston, Livezey, 1987; van Loon, Rogers, 1978; Wallace, Gutzler, 1981). В настоящий момент этот район считается одним из наиболее выраженных постоянно существующих центров действия атмосферы (ЦДА). Величины индекса NAO связывают с преобладающим характером погодных режимов в Северном полушарии (Покровский,

2005; Попова, Шмакин, 2003; Polonskii et al., 2004; Wanner et al., 2001), включая температуру воздуха (Sun et al., 2008), состояние растительного покрова (Gong, Shi, 2003; Li et al., 2016) и общее увлажнение, диагностируемое через количество осадков (Черенкова, 2018; Sun, Wang, 2012; Vicente-Serrano, López-Moreno, 2008), в том числе и объём речного стока (Li et al., 2008; Pociask-Karteczka, 2006; Wrzesiński, Paluszkiewicz, 2011).

Центр материка Евразия значительно удалён от океанов, что приводит к формированию аридного, резко континентального климата. Здесь расположены крупные пустыни и обширные горные страны с высочайшими вершинами. Состояние растительности этих территорий прямо связано с увлажнённостью, которая зависит от накопленного зимой количества снега, влажности воздуха и осадков тёплого периода. Чем больше влаги, тем выше увлажнённость горных территорий, что сопровождается как ростом объёма стока рек (Терехов, Пак, 2019), так и улучшением состояния растительного покрова (Терехов и др., 2019). Растительный покров горных стран Евразии развит значительно лучше окружающих их засушливых территорий. Это является следствием взаимодействия воздушных масс западного переноса с горными хребтами. На горных склонах воздух поднимается вверх и охлаждается, что вызывает осадки.

Естественный растительный покров высоких горных хребтов Евразии обычно хорошо выделен. С одной стороны он ограничен гляциальной зоной ледников, с другой — зонами горных сухих степей, полупустынь и пустынь. Это делает его удобным объектом для спутникового мониторинга. В работе была рассмотрена динамика состояния растительного покрова в период 2002–2018 гг. для ряда горных стран Евразии, в том числе: части Алтая, Джунгарского Алатау, Тянь-Шаня, Памира, Каракорума, Кунь-Луня и Гиндукуша. Рассматриваемая растительность относится к альпийским/субальпийским лугам, горным лесам и степям. Маски растительности строились экспертным дешифрированием. Для характеристики растительности использовался декадный продукт вегетационного индекса eMODIS NDVI Collection 6 (NDVI — Normalized Difference Vegetation Index, нормализованный разностный вегетационный индекс) с пространственным разрешением 250 м. Эти данные имеют архив с 2002 г. (19-я декада) и доступны в виде файлов Geo-Tiff, на портале программы Famine Early Warning System (FEWS NET, https://earlywarning.usgs.gov/fews/search/Asia/Central%20Asia). В качестве сезонной характеристики растительности использовался максимум значений, накопленный за период 11–31 июля (20-я и 21-я декады), который близок к сезонному максимуму NDVI горной растительности. Таким образом, при анализе многолетней динамики июльского NDVI рассматривалось по 34 сцены для каждого из семи рассмотренных горных регионов.

Тянь-Шань — крупная горная система, расположенная в центре Евразии (высшая точка — пик Победы, 7439 м). Аридный, резко континентальный климат Тянь-Шаня формирует прямую зависимость состояния горной растительности от условий увлажнения. В увлажнении корнеобитаемого слоя почвы присутствуют несколько источников атмосферной влаги. Это осадки и конденсатная влага, формирующаяся на градиентах температуры почвы «день–ночь» в тёплый период. Таким образом, количество накопленного зимой снега, влажность воздуха и осадки тёплого периода определяют состояние горной растительности Евразии.

Было обнаружено, что динамика июльских значений NDVI Тянь-Шаня имеет тесную и статистически значимую связь с динамикой усреднённых за март – июль значений индекса NAO следующего сезона (*рис. 1*, *2*, см. с. 277). Исходная среднемесячная информация по индексам NAO доступна на сайте Центра прогнозирования климата, США (*англ.* Climate Prediction Center, https://www.cpc.ncep.noaa.gov). Статистическая значимость связи NDVI и NAO оценивалась стандартным методом. Индекс корреляции Пирсона составил 0,598, *t*-фактор равнялся 2,792 ($t_{крит} = 2{,}12$; $p = 0{,}95$), что позволяет считать обнаруженную взаимосвязь статистически значимой. Индекс корреляции Пирсона весьма чувствителен к отдельным выбросам, которые существенно уменьшают его значение. Если исключить из периода 2002–2017 гг. информацию о двух годах (2008, 2011) индекс корреляции вырастает до 0,906. Когда мы имеем дело с нестационарным процессом, а в данном случае это именно так (Xu et al., 2016), величины коэффициента корреляции Пирсона будут иметь высокие значения только на отдельных фрагментах ряда отсчётов.

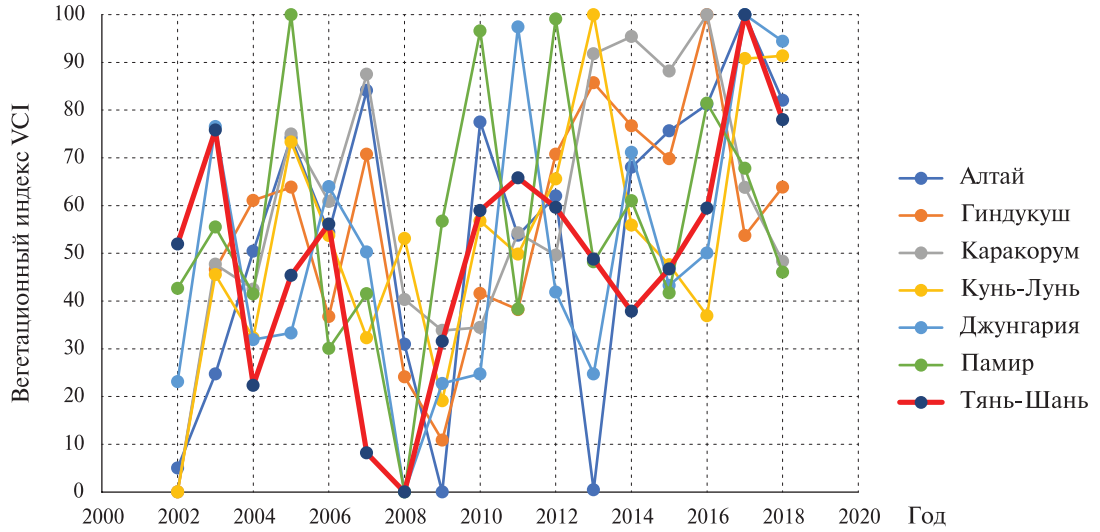

Рис. 1. Многолетняя динамика вегетационного индекса VCI (Vegetation Condition Index — индекс состояния вегетации) (максимум на 11–31 июля) для естественной растительности некоторых горных систем Евразии. Значения VCI строились на основе USGS/EROS e-Modis NDVI C6 (разрешение 250 м) по методике работы (Терехов и др., 2015)

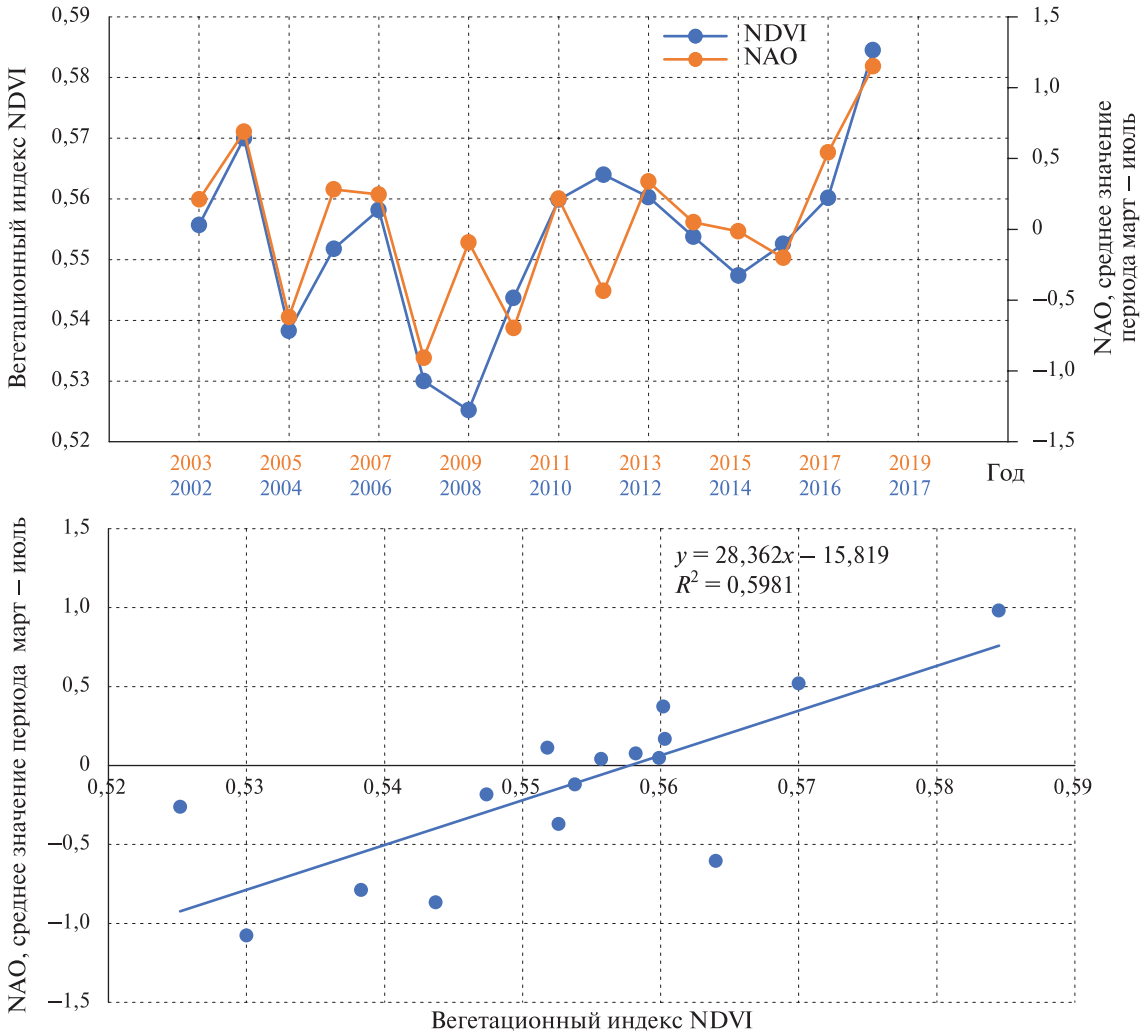

Рис. 2. Взаимосвязь между вегетационным индексом NDVI для горной растительности Тянь-Шаня (максимумы 11–31 июля, период 2002–2017 гг.) и средними величинами NAO (март – июль следующего сезона, период 2003–2018 гг.)

Иллюстрацией этого эффекта могут служить результаты, представленные на *рис. 3*. Значения индекса корреляции в плавающем временном окне варьируются от 0,03 до 0,95 (см. *рис. 3*). Для остальных проанализированных горных систем (часть Алтая, Джунгарский Алатау, Памир, Каракорум, Кунь-Лунь, Гиндукуш) многолетняя динамика состояния растительности в целом была близка к Тянь-Шаню, но простая линейная связь между NDVI и NAO отсутствовала (см. *рис. 1*). Очевидным искажающим фактором выступали южные вторжения влажного воздуха с Индийского океана, которые в отдельные годы поддерживали растительность горных хребтов, расположенных к югу от Тянь-Шаня, нарушая корреляционные связи с индексом NAO.

Рис. 3. Изменения величины индекса корреляции Пирсона между индексом растительности Тянь-Шаня (NDVI, июль) и NAO следующего сезона (март – июль) в плавающем пятилетнем окне (сдвиг 1 год)

Обнаруженная прямая связь между летними значениями NDVI вегетации Тянь-Шаня и величинами NAO следующего года диагностируют персистентность погодных режимов центра материка, что ранее отмечалось для циркуляции атмосферы (Barnston, Livezey, 1987; Dole, Gordon, 1983). Особенности погодного режима года (влажный/сухой) центра Евразии имеют большую вероятность на повторение в следующем сезоне.

Физическое объяснение обнаруженного явления в полном объёме затруднительно. В литературе описывалось влияние растительного покрова на климатические параметры (например, работы (Deng et al., 2019; Ho et al., 2012)). Но это было следствием непосредственного влияния растительности на водно-энергетический баланс территорий. В рассматриваемом случае растительность только трассирует динамику состояния атмосферы над центром Евразии, которая, в свою очередь, формирует дальнодействие и коррелированность с параметрами NAO следующего года. Также можно упомянуть близкие по сути работы, описывающие связь с будущими значениями NAO осенней температуры поверхности вод Атлантического океана и площади снежного покрытия Евразии (Tian, Fan, 2015). Возможно, условия летнего увлажнения центра Евразии, диагностируемые через состояние растительности Тянь-Шаня, также смогут дополнять схемы прогноза NAO.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан, проект № AP 05134241.

Литература

1. *Покровский О. М.* Изменение температуры поверхности океана в Северной Атлантике и колебания климата Европы // Исслед. Земли из космоса. 2005. № 4. С. 24–34.
2. *Попова В. В.*, *Шмакин А. Б.* Влияние Северо-Атлантического колебания на многолетний гидротермический режим Северной Евразии. Статистический анализ данных наблюдений // Метеорология и гидрология. 2003. № 5. С. 62–74.

3. *Терехов А. Г.*, *Пак А. А.* Спутниковый прогноз влияния пополнения Капшагайского водохранилища (КНР) на водность трансграничной р. Иле в 2019 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 298–302. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.
4. *Терехов А. Г.*, *Макаренко Н. Г.*, *Пак И. Т.* Комбинированный индекс температурных условий и его применимость к описанию состояния сельскохозяйственной вегетации Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 31–40.
5. *Терехов А. Г.*, *Витковская И. С.*, *Абаев Н. Н.*, *Долгих С. А.* Многолетние тренды в состоянии растительности хребтов Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау по данным eMODIS NDVI C6 (2002–2019) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 133–142. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-133-142.
6. *Черенкова Е. А.* Влияние изменений крупномасштабных атмосферных циркуляций и температуры поверхности океана на тренды летних осадков на Европейском Севере России по наземным и спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 229–238. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-229-238.
7. *Barnston A. G.*, *Livezey R. E.* Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns // Monthly Weather Review. 1987. V. 115. P. 1083–1126.
8. *Deng C.*, *Zhang B.*, *Cheng L.*, *Hu L.*, *Chen F.* Vegetation dynamics and their effects on surface water-energy balance over the Three-North Region of China // Agricultural and Forest Meteorology. 2019. V. 275. P. 79–90. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.05.012.
9. *Dole R. M.*, *Gordon N. D.* Persistent anomalies of extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Geographical distribution and regional persistence characteristics // Monthly Weather Review. 1983. V. 111. P. 1567–1586.
10. *Gong D.*, *Shi P.* Northern hemispheric NDVI variations associated with large-scale climate indices in spring // Intern. J. Remote Sensing. 2003. V. 24. No. 12. P. 2559–2566. DOI: 0.1080/0143116031000075107.
11. *Ho C.-H.*, *Park S.-J.*, *Jeong S.-J.*, *Kim J.*, *Jhun J.-G.* Observation Evidence of Double Cropping Impacts on the Climate in the Northern China Plains // J. Climate. 2012. V. 25. No. 13. P. 4721–4728. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00224.1.
12. *Li H.*, *Jiang Z.*, *Liu X.*, *Yang Q.* The Relationship between the North Atlantic Oscillation and Runoff Variation of Aksu River in Xinjiang, China // Acta Geographica Sinica. 2008. No. 5. URL: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-DLXB200805007.htm (accessed: 08.10.2019).
13. *Li J.*, *Fan K.*, *Xu Z.* Links between the late wintertime North Atlantic Oscillation and springtime vegetation growth over Eurasia // Climate Dynamics. 2016. V. 46. Iss. 3–4. P. 987–1000. DOI: 10.1007/s00382-015-2627-9.
14. *Pociask-Karteczka J.* River hydrology and North Atlantic Oscillation: A General Review // J. Human Environment. 2006. V. 35. No. 6. P. 312–314. DOI: 10.1579/05-S-114.1.
15. *Polonskii A. B.*, *Basharin D. V.*, *Voskresenskaya E. N.* North Atlantic Oscillation: Description, Mechanisms, and Influence on the Eurasian Climate // Physical Oceanography. 2004. V. 14. Iss. 2. P. 96–113. DOI: 10.1023/B:POCE.0000037873.85289.6e.
16. *Sun J. Q.*, *Wang H. J.* Changes of the connection between the summer North Atlantic Oscillation and the East Asian summer rainfall // J. Geophysical Research. 2012. V. 117. Iss. D08-110. DOI: 10.1029/2012JD017482.
17. *Sun J. Q.*, *Wang H. J.*, *Yuan W.* Decadal variations of the relationship between the summer North Atlantic Oscillation and middle East Asian air temperature // J. Geophysical Research. 2008. V. 113. Iss. D15-107. DOI: 10.1029/2007JD009626.
18. *Tian B. Q.*, *Fan K.* A skillful prediction model for winter NAO based on Atlantic sea surface temperature and Eurasian snow cover // J. Weather Forecasting. 2015. V. 30. P. 197–205. DOI: 10.1175/WAF-D-14-00100.1.
19. *van Loon H.*, *Rogers J. C.* The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I: General description // Monthly Weather Review. 1978. V. 106. P. 296–310.
20. *Vicente-Serrano S. M.*, *López-Moreno J. I.* Nonstationary influence of the North Atlantic Oscillation on European precipitation // J. Geophysical Research. 2008. V. 113. D20120. DOI: 10.1029/2008JD010382.
21. *Wallace J. M.*, *Gutzler D. S.* Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter // Monthly Weather Review. 1981. V. 109. P. 784–812.
22. *Wanner H.*, *Brönnimann S.*, *Casty C.*, *Gyalistras D.*, *Luterbacher J.*, *Schmutz C.*, *Stephenson D. B.*, *Xoplaki E.* North Atlantic Oscillation — concepts and studies // Surveys in Geophysics. 2001. V. 22. Iss. 4. P. 321–381. DOI: 10.1023/A:1014217317898.
23. *Wrzesiński D.*, *Paluszkiewicz R.* Spatial differences in the impact of the North Atlantic Oscillation on the flow of rivers in Europe // Hydrology Research. 2011. V. 42. No. 1. P. 30–39. DOI: 10.2166/nh.2010.077.
24. *Xu T.*, *Shi Z.*, *Wang H.*, *An Z.* Nonstationary impact of the winter North Atlantic Oscillation and the response of mid-latitude Eurasian climate // Theoretical and Applied Climatology. 2016. V. 124. No. 1. DOI: 10.1007/s00704-015-1396-z.

Links between the vegetation state over Tien-Shan mountains and North Atlantic Oscillation indices of the upcoming season

A. G. Terekhov[1, 2], N. N. Abayev[2, 3], I. S. Vitkovskaya[1], A. A. Pak[1], Z. M. Yegemberdyeva[1, 4]

[1] *Institute of Information and Computing Technology MES RK*
Almaty 050010, Kazakhstan
E-mail: aterekhov1@yandex.ru

[2] *RSE Kazhydromet, Almaty 050022, Kazakhstan*
E-mail: terekhov_a@meteo.kz

[3] *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty 050040, Kazakhstan*
E-mail: abayev.nurlan@gmail.com

[4] *Almaty University of Power Engineering and Telecommunications*
Almaty 050013, Kazakhstan
E-mail: egem.zm@mail.ru

The North Atlantic Oscillation (NAO) is one of the most pronounced global atmospheric centers of action that determines the weather regimes in the Northern Hemisphere. There are several natural parameters including Atlantic Ocean surface temperature and Eurasian snow cover which can be useful as predictors for the NAO indices of upcoming season. In this paper, we present a new prediction parameter which is summer NDVI vegetation indices of Tien Shan natural vegetation. The analysis of the period 2002–2018 showed that the July's NDVI values for the natural mountain vegetation of the Tien Shan has a high correlation coefficient of 0,598 with March – July NAO values of the next season. Natural mountain vegetation was understood as the totality of phytocoenosis of the high-altitude zone, approximately 1300–3800 m above sea level, which includes: alpine/subalpine meadows, mountain forests and steppes. The seasonal state of vegetation was characterized by decadal products of FEWS NET eMODIS NDVI C6, resolution 250 m. The accumulated maximum of NDVI values for July 11–31 (20 and 21 decades) were used. The March – July monthly values of the NAO indices were taken from the archive of the National Weather Service (Climate Prediction Center). Since the positive NAO mode is associated with raised rainfall on the mainland, we see the persistence of seasonal weather patterns in Tien-Shan mountains. Features of the weather regime of the year (wet/dry) in Eurasia have an increased probability of reoccurrence in the next season. The detected effect may have prospects for the development of predicting schemes of the NAO indices values.

Keywords: indices of North Atlantic Oscillation, mountain vegetation, NDVI FEWS NET, Tien-Shan, linear correlation, persistence, forecast of NAO indices

Accepted: 28.02.2020
DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-275-281

References

1. Pokrovsky O. M., Izmenenie temperatury poverkhnosti okeana v Severnoi Atlantike i kolebaniya klimata Evropy (Changes in ocean surface temperature in the North Atlantic and European climate variations), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2005, No. 4, pp. 24–34.
2. Popova V. V., Shmakin A. B., Vliyanie Severo-Atlanticheskogo kolebaniya na mnogoletnii gidrotermicheskii rezhim Severnoi Evrazii. Statisticheskii analiz dannykh nablyudenii (The influence of the North Atlantic Oscillation on the long-term hydrothermal regime of Northern Eurasia. Statistical analysis of observational data), *Meteorologiya i Gidrologiya*, 2003, No. 5, pp. 62–74.
3. Terekhov A. G., Pak A. A., Sputnikovyi prognoz vliyaniya popolneniya Kapshagaiskogo vodokhranilishcha (KNR) na vodnost' transgranichnoi r. Ile v 2019 g. (Influence of the Kapshagay Reservoir (China) refill on transboundary River Ile runoff and satellite-based forecasting), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 4, pp. 298–302, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-298-302.
4. Terekhov A. G., Makarenko N. G., Pak I. T., Kombinirovannyi indeks temperaturnykh uslovii i ego primenimost' k opisaniyu sostoyaniya sel'skokhozyaistvennoi vegetatsii Kazakhstana (Combined index of tempera-

ture conditions and its applicability to the description of the state of agricultural vegetation of Kazakhstan), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 31–40.
5. Terekhov A. G., Vitkovskaya I. S., Abayev N. N., Dolgikh S. A., Mnogoletnie trendy v sostoyanii rastitel'nosti khrebtov Tyan'-Shanya i Dzhungarskogo Alatau po dannym eMODIS NDVI C6 (2002–2019) (Long term trends in vegetation in Tien-Shan and Dzungarian Alatau from eMODIS NDVI C6 data (2002–2019)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 6, pp. 133–142, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-133-142.
6. Cherenkova E. A., Vliyanie izmenenii krupnomasshtabnykh atmosfernykh tsirkulyatsii i temperatury poverkhnosti okeana na trendy letnikh osadkov na Evropeiskom Severe Rossii po nazemnym i sputnikovym dannym (Influence of changes in large-scale atmospheric circulation and ocean surface temperature on the trends of summer precipitation in the north of European Russia based on terrestrial and satellite data), S*ovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 5, pp. 229–238, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-229-238.
7. Barnston A. G., Livezey R. E., Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns, *Monthly Weather Review*, 1987, Vol. 115, pp. 1083–1126.
8. Deng C., Zhang B., Cheng L., Hu L., Chen F., Vegetation dynamics and their effects on surface water-energy balance over the Three-North Region of China, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2019, Vol. 275, pp. 79–90, DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.05.012.
9. Dole R. M., Gordon N. D., Persistent anomalies of extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Geographical distribution and regional persistence characteristics, *Monthly Weather Review*, 1983, Vol. 111, pp. 1567–1586.
10. Gong D., Shi P., Northern hemispheric NDVI variations associated with large-scale climate indices in spring, *Intern. J. Remote Sensing*, 2003, Vol. 24, No. 12, pp. 2559–2566, DOI: 0.1080/0143116031000075107.
11. Ho C.-H., Park S.-J., Jeong S.-J., Kim J., Jhun J.-G., Observation Evidence of Double Cropping Impacts on the Climate in the Northern China Plains, *J. Climate*, 2012, Vol. 25, No. 13, pp. 4721–4728, DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00224.1.
12. Li H., Jiang Z., Liu X., Yang Q., The Relationship between the North Atlantic Oscillation and Runoff Variation of Aksu River in Xinjiang, China, *Acta Geographica Sinica*, 2008, No. 5, available at: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-DLXB200805007.htm.
13. Li J., Fan K., Xu Z., Links between the late wintertime North Atlantic Oscillation and springtime vegetation growth over Eurasia, *Climate Dynamics*, 2016, Vol. 46, Issue 3–4, pp. 987–1000, DOI: 10.1007/s00382-015-2627-9.
14. Pociask-Karteczka J., River hydrology and North Atlantic Oscillation: A General Review, *J. Human Environment*, 2006, Vol. 35, No. 6, pp. 312–314, DOI: 10.1579/05-S-114.1
15. Polonskii A. B., Basharin D. V., Voskresenskaya E. N., North Atlantic Oscillation: Description, Mechanisms, and Influence on the Eurasian Climate, *Physical Oceanography*, 2004, Vol. 14, Issue 2, pp. 96–113, DOI: 10.1023/B:POCE.0000037873.85289.6e.
16. Sun J. Q., Wang H. J., Changes of the connection between the summer North Atlantic Oscillation and the East Asian summer rainfall, *J. Geophysical Research*, 2012, Vol. 117, Issue D08-110, DOI: 10.1029/2012JD017482.
17. Sun J. Q., Wang H. J., Yuan W., Decadal variations of the relationship between the summer North Atlantic Oscillation and middle East Asian air temperature, *J. Geophysical Research*, 2008, Vol. 113, Issue D15-107, DOI: 10.1029/2007JD009626.
18. Tian B. Q., Fan K., A skillful prediction model for winter NAO based on Atlantic sea surface temperature and Eurasian snow cover, *J. Weather Forecasting*, 2015, Vol. 30, pp. 197–205, DOI: 10.1175/WAF-D-14-00100.1.
19. van Loon H., Rogers J. C., The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I: General description, *Monthly Weather Review*, 1978, Vol. 106, pp. 296–310.
20. Vicente-Serrano S. M., López-Moreno J. I., Nonstationary influence of the North Atlantic Oscillation on European precipitation, *J. Geophysical Research*, 2008, Vol. 113, D20120, DOI: 10.1029/2008JD010382.
21. Wallace J. M., Gutzler D. S., Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Monthly Weather Review*, 1981, Vol. 109, pp. 784–812.
22. Wanner H., Brönnimann S., Casty C., Gyalistras D., Luterbacher J., Schmutz C., Stephenson D. B., Xoplaki E., North Atlantic Oscillation-concepts and studies, *Surveys in Geophysics*, 2001, Vol. 22, Issue 4, pp. 321–381, DOI: 10.1023/A:1014217317898.
23. Wrzesiński D., Paluszkiewicz R., Spatial differences in the impact of the North Atlantic Oscillation on the flow of rivers in Europe, *Hydrology Research*, 2011, Vol. 42, No. 1, pp. 30–39, DOI: 10.2166/nh.2010.077.
24. Xu T., Shi Z., Wang H., An Z., Nonstationary impact of the winter North Atlantic Oscillation and the response of mid-latitude Eurasian climate, *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, Vol. 124, No. 1, DOI: 10.1007/s00704-015-1396-z.