

УДК 911.2; 574.9

К.Н. Дьяконов¹, Д.Л. Варлыгин², А.Ю. Ретеюм³

ВЛИЯНИЕ ОКЕАНОВ НА ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКУЮ ЗОНАЛЬНОСТЬ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ О ФОТОСИНТЕЗЕ

Использованы материалы по распределению нормализованного относительного индекса растительности (NDVI), служащего индикатором количества фотосинтетически активной фитомассы. Соответствующая информация обобщена по двум профилям, пересекающим Европу по параллели 50° с. ш. и по меридиану 57° в. д., выбранным для максимально полного отражения спектра типов растительных сообществ и последствий влияния каждого из океанов в отдельности. Охлаждающее влияние Атлантики в летние месяцы распространяется на расстояние около 2,5 тыс. километров – до лесостепи Западной Украины. Колебания биопродукции от года к году возрастают с побережья Атлантики в глубь континента, причем скачкообразное увеличение этого показателя отмечается у западной границы лесостепи и в Заволжье. Показатель NDVI по долготному профилю на восточной окраине Европы также увеличивается при удалении от морского побережья и достигает максимума на северной границе лесостепи. Растительный покров Европы реагирует на современные изменения климата дифференцированно в пространстве и во времени. Летом за период 1981–2011 гг. зафиксировано преимущественное увеличение фитопродуктивности, исключение составляют побережья океанов и юго-восток субконтинента.

Ключевые слова: физико-географическая зональность, секторность, вегетационный индекс (NDVI), фитопродуктивность, растительный покров Европы.

Введение. Различия климатов и природы в целом между районами суши в зависимости от их долготного положения было отмечено еще в начале XX в. Э.Дж. Гербертсоном и Г. Майером. Ранг фундаментальной географической закономерности этому явлению придал В.Л. Комаров. В 1921 г. им введен «принцип меридиональной зональности», суть которого заключается в том, что «крупные материковые массы дают два типа флор, именно приокеанские, вытянутые узкой прерывистой полосой вдоль побережий, и континентальные, удаленные от последних» [Комаров, 1945].

Идея меридиональной зональности в дальнейшем была реализована в геоботанических работах А.В. Прозоровского и А.П. Ильинского. Теоретическое объяснение долготной секторности принадлежит А.А. Григорьеву [Григорьев, 1946], придававшему важное значение процессам движения тепла и влаги. Понятие секторности ныне прочно вошло в физическую географию [Алексеев с соавт., 2004; Исаченко, 1991; Комаров, 1945; Лукашова, 1966]. Для количественной характеристики рассматриваемого явления предложены различные индексы континентальности, но они фиксируют только особенности действующего фактора.

Связь океанов и континентов представляет собой один из важнейших механизмов функционирования планетарной геосистемы, требующий углубленного анализа. В отношении наиболее изученных

частей земного шара – Северной Атлантики и Европы – можно утверждать, что имеется достаточно много информации о морском климате побережий, в особенности о его изменениях в последние десятилетия [Delworth et al., 2000; Knight et al., 2006; Kushnir, 1994; Schlesinger et al., 1994; Sutton et al., 2005; Sutton et al., 2012].

Однако остается неясным, где проходят границы сферы влияния водных масс в атмосфере и, что самое главное, каков отклик важнейшего компонента ландшафта – растительного покрова суши – на адвекцию тепла и влаги с запада и севера.

Указанные неопределенности служат серьезным препятствием в разработке фундаментальной проблемы внутренней дифференциации природы на территории субконтинента. Как известно со времен В.В. Докучаева, широтная зональность наиболее ярко выражена на Русской равнине. Очевидно, свой вклад в ее формирование должен вносить Северный Ледовитый океан, создающий муссонный эффект [Хромов с соавт., 1974], но системообразующая роль последнего до сих пор специально не рассматривалась.

Материалы и методы исследований. Исследование феноменов долготной секторности и широтной зональности в биосфере с применением флористических, фаунистических и иных традиционных географических показателей осложняется тем обстоятельством, что невозможно корректно вычле-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, зав. кафедрой, чл.-корр. РАН, профессор; *e-mail:* diakonov.geofak@mail.ru

² Geospatial Data Analysis Corporation (США), chief scientist; *e-mail:* dmitry@gdacorp.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, профессор; *e-mail:* aretejum@yandex.ru

нить вклад разных факторов. Преодолеть это затруднение позволяет анализ распределения величин продукции фотосинтеза, установленных с помощью дистанционного метода.

В настоящей работе использованы материалы по распределению нормализованного относительно индекса растительности (NDVI), служащего индикатором количества фотосинтетически активной фитомассы, определенной по разности интенсивностей отраженного красного и инфракрасного света. Значения индекса NDVI вычислены по данным высокоточного радиометра с очень большим разрешением (Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR) в рамках проекта NASA по глобальной инвентаризации (Global Inventory Modeling and Mapping Studies, GIMMS). Съемка была выполнена с разрешением 8 км дважды в месяц в период с июля 1981 г. по декабрь 2011 г. Осреднение производилось с ячейками размером от $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ до $1,0^{\circ} \times 1,0^{\circ}$. Соответствующая информация обобщена по двум профилям, пересекающим Европу.

Первый профиль проходит по параллели 50° с. ш., второй – по меридиану 57° в. д. Такое расположение точек сбора информации отвечает условиям максимально полного охвата всего разнообразия типов растительных сообществ для оценки последствий влияния каждого из океанов в отдельности.

Общая картина. Охлаждающее влияние Атлантики в летние месяцы распространяется на расстояние около 2,5 тыс. км до лесостепи Западной Украины, заметно уменьшаясь восточнее 37° в. д. Зимой же океан благодаря прогреву воздуха поддерживает значения индекса NDVI в западном секторе Европы (рис. 1).

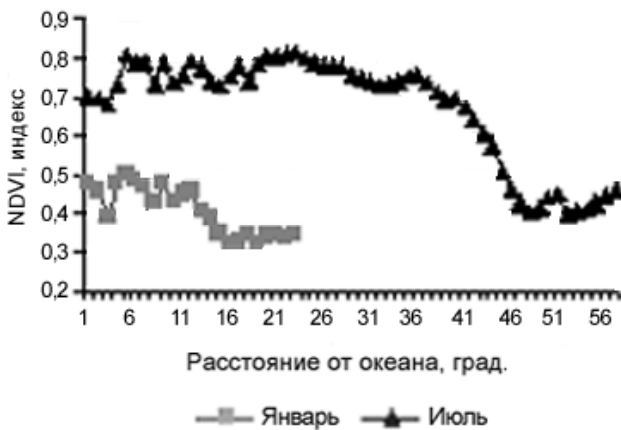


Рис. 1. Влияние Атлантического океана на NDVI зимой и летом
Fig. 1. The Atlantic effect on winter and summer NDVI values

Смена режимов происходит весной в мае и осенью в октябре, когда величины NDVI выравниваются (рис. 2).

Атмосферное воздействие Северного Ледовитого океана по понятным причинам наиболее ярко выражено летом. Судя по индикатору NDVI, растительный покров от Большеземельской тундры до лесостепи Предуралья зависит от воздушных потоков с акваторий Баренцева и Карского морей (рис. 3).

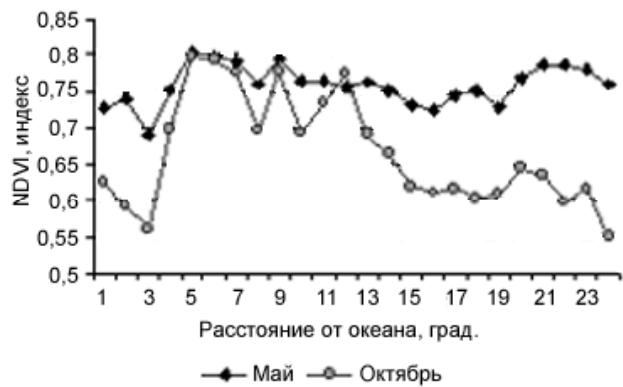


Рис. 2. Распределение фитомассы по широтному профилю весной и осенью

Fig. 2. Latitudinal distribution of biomass in spring and autumn

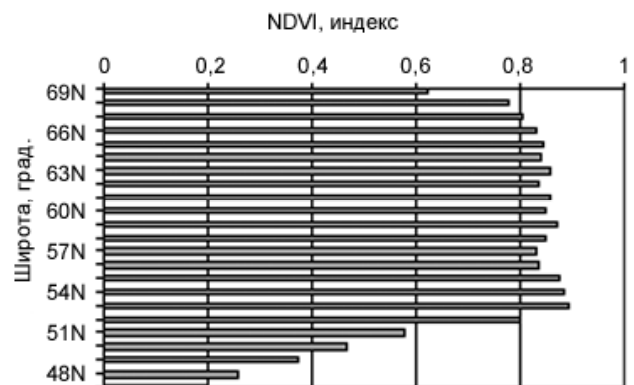


Рис. 3. Влияние Северного Ледовитого океана на фотосинтез в июле
Fig. 3. Influence of the Arctic Ocean on photosynthesis in July

Таким образом, в западной части Евразии лесная растительность тесно связана с морским (в широком смысле слова) климатом.

Межгодовые изменения. Колебания фитопродукции от года к году, как и следовало ожидать, возрастают с побережья Атлантики вглубь континента (рис. 4), причем скачкообразное увеличение стандартного отклонения отмечается у западной границы лесостепи и в Заволжье.



Рис. 4. Межгодовые колебания фитомассы по широтному профилю в период май–октябрь

Fig. 4. Interannual fluctuations of biomass along the latitudinal profile in May–October

Изменчивость показателя NDVI по долготному профилю на восточной окраине Европы также увеличивается при удалении от морского побережья и достигает максимума на северной границе лесостепи.

Возникает вопрос – как проявляется влияние океанов в годы положительной и отрицательной термических аномалий. Различия величин биопродукции в экстремальные зимы, обусловленные прогревом воздуха Атлантикой, прослеживаются до степей Поволжья (рис. 5).

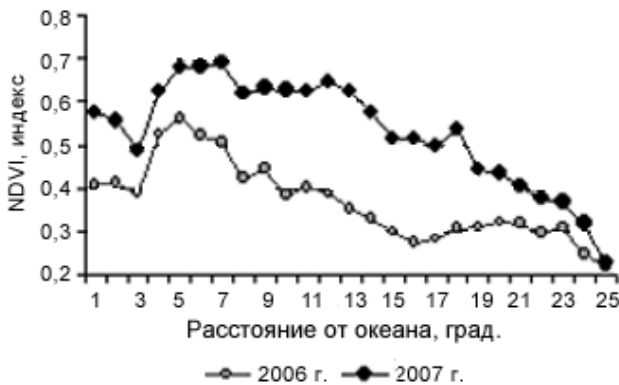


Рис. 5. Распределение фитопродукции в сфере влияния Атлантического океана в январе при anomalно холодной (2006 г.) и anomalно теплой (2007 г.) погоде

Fig. 5. Distribution of plant production in the zone of Atlantic influence during anomalно cold (2006) and anomalно warm (2007) January

Летом в Европе наблюдаются своего рода фазовые колебания биопродукции: скорость фотосинтеза при высокой температуре воздуха увеличивается к востоку от атлантического побережья до воронежских степей, а далее уменьшается в результате засух (рис. 6).

Межгодовые контрасты фотосинтеза, вызванные погодными условиями, в сфере влияния Северного Ледовитого океана сглаживаются на указанном выше рубеже, примерно в 2 тыс. км от побережья (рис. 7).

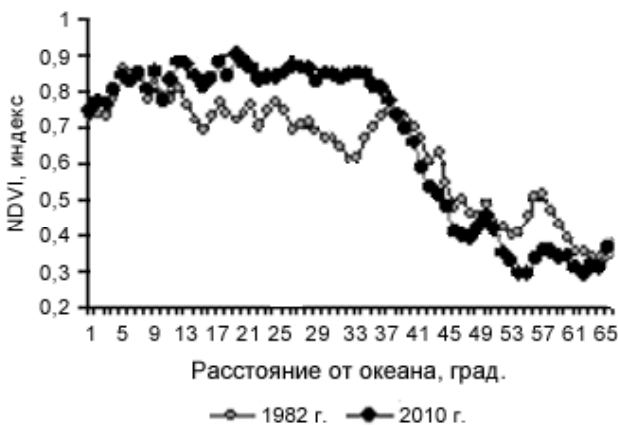


Рис. 6. Распределение фитопродукции в сфере влияния Атлантического океана в июле при холодной (1982 г.) и жаркой (2010 г.) погоде

Fig. 6. Distribution of plant production in the zone of Atlantic influence during cold (1982) and hot (2010) July

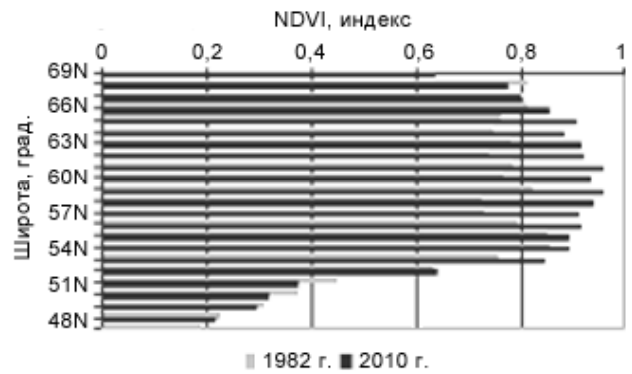


Рис. 7. Распределение фитопродукции в сфере влияния Северного Ледовитого океана в июле при холодной (1982 г.) и жаркой (2010 г.) погоде

Fig. 7. Distribution of plant production in the zone of Arctic influence during cold (1982) and hot (2010) July

Долговременные тренды. Растительный покров Европы реагирует на современные изменения климата дифференцированно в пространстве и во времени. Зимой в период 1981–2011 гг. на большей части рассматриваемой территории, кроме приморской части на западе, обнаруживается тенденция к уменьшению скорости фотосинтеза (рис. 8, 9). Летом фиксируется преимущественное увеличение биопродуктивности, исключение составляют побережья океанов и юго-восток субконтинента.



Рис. 8. Тренд NDVI летом в период 1981–2011 гг. на широтном профиле

Fig. 8. The latitudinal trend of NDVI in summer (1981–2011)

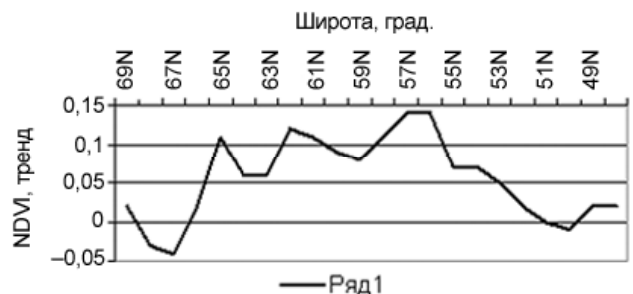


Рис. 9. Тренд NDVI летом в период 1981–2011 гг. на долготном профиле

Fig. 9. The longitudinal trend of NDVI in summer (1981–2011)

Характер положительных отклонений продуктивности указывает на то, что они являются следствием повышения температуры воздуха. Интересен факт локализации аномалий у меридиональной

оси Европы (рис. 8), который, возможно, объясняется эндогенными причинами.

Выводы:

– выполненный анализ показал высокую информативность показателя продуктивности NDVI как индикатора пространственно-временной организации ландшафтного покрова;

– установлено, что долготная физико-географическая секторность и широтная зональность

растительного покрова в ландшафтной структуре Европы формируются в значительной мере как результат интерференции потоков тепла и влаги с Атлантического и Северного Ледовитого океанов;

– выявленные участки резкой смены показателя фотосинтетически активной фитомассы требуют особого внимания с точки зрения риска возникновения опасных явлений.

Благодарности. Авторы выражают благодарность профессору И.А. Шульгину за полезные консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Б.А., Голубев Г.Н. Глобальная модель современных ландшафтов мира // Функционирование и современное состояние ландшафтов / Отв. ред. К.Н. Дьяконов, Э.П. Романова. М.: Изд. Дом «Городец», 2004. С. 319–326.

Григорьев А.А. Некоторые итоги разработки новых идей в физической географии // Известия Академии наук СССР. Сер. географическая и геофизическая. 1946. Т. 10, № 2. С. 139–167.

Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. Учебник. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.

Комаров В.Л. Меридиональная зональность организмов // Избр. соч. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. Т. 1. 64 с.

Лукашова Е.Н. Основные закономерности природной зональности и ее проявления на суше Земли // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1966. № 6. С. 11–25.

Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974.

Delworth T.L., Mann M.E. Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere // *Clim. Dynam.* 2000. V. 16. P. 661–676.

Knight J., Folland C.K., Scaife A. Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. L17706.

Kushnir Y. Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions // *J. Clim.* 1994. V. 7. P. 141–157.

Schlesinger M.E., Ramankutty N. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years // *Nature.* 1994. V. 367. P. 723–726.

Sutton R.T., Hodson D.L.R. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate // *Science.* 2005. V. 309. P. 115–118.

Sutton R.T., Bowen D. Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990 // *Nature Geoscience.* 2012. V. 5. P. 788–792.

Поступила в редакцию 01.12.2016

Принята к публикации 09.12.2016

Diakonov K.N.¹, Varlygin D.A.², Retejum A.Yu.³

IMPACT OF THE OCEANS ON GEOGRAPHICAL ZONES STUDIED BY THE REMOTE SENSING DATA ON PHOTOSYNTHESIS

The impact of the Atlantic and Arctic oceans on land vegetation was studied using the NDVI data which indicate the amount of photosynthetically active plant mass. The information was generalized by two profiles crossing the territory of Europe along 50° N and 57° E. The profiles provide for the maximum representation of the plant communities range and the effects of the impact of each ocean by itself. In summer the cooling effect of the Atlantic Ocean reaches the distance of about 2500 km, i.e. to the forest-steppes of Western Ukraine. Variations of annual bioproductivity grow from the Atlantic coast to the inner regions with a sharp increase near the western limit of the forest-steppe zone and in the Trans-Volga region. The NDVI values along the longitudinal profile in the eastern part of Europe also increase with the greater distance from the sea coast reaching their maximum at the northern limit of the forest-steppe zone. The vegetation cover of Europe shows a differentiated response to recent climate changes, both in space and in time. In the summers of 1981–2011 the plant productivity generally increased except for the sea coasts and the south-eastern part of the sub-continent.

Key words: physical geographical zoning, sectoring, vegetation index (NDVI), plant productivity, vegetation cover of Europe.

Acknowledgements. The authors are grateful to Prof. I.A. Shul'gin for his helpful advices.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Head of the Department, Corresponding Member of the RAS, Professor; *e-mail:* diakonov.geofak@mail.ru

² Geospatial Data Analysis Corporation (США), Chief Scientist; *e-mail:* dmitry@gdacorp.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Professor; *e-mail:* aretejum@yandex.ru

REFERENCES

- Alekseev B.A., Golubev G.N.* Globalnaia model sovremennykh landshaftov mira // *Funktsionirovanie i sovremennoe sostoianie landshaftov / Otv. red. K.N. Diakonov, E.P. Romanova. M.: Izd. Dom «Gorodets», 2004. S. 319–326 (in Russian).*
- Delworth T.L., Mann M.E.* Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere // *Clim. Dynam.* 2000. V. 16. P. 661–676.
- Grigoriev A.A.* Nekotorye itogi razrabotki novykh idei v fizicheskoi geografii // *Izv. Akademii Nauk SSSR. Ser. Geograficheskaya i Geofizicheskaya. 1946. T. 10, № 2. S. 139–167 (in Russian).*
- Isachenko A.G.* Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie. Uchebnik. M.: Vysshaya shkola, 1991. 366 s. (in Russian).
- Khromov S.P., Mamontova L.I.* Meteorologicheskij slovar'. L.: Gidrometeoizdat, 1974 (in Russian).
- Komarov V.L.* Meridionalnaia zonalnost' organizmov // *Izbr. soch. M.-L.: Izd. AN SSSR, 1945. T. 1. 64 s (in Russian).*
- Knight J., Folland C.K., Scaife A.* Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. L17706.
- Kushnir Y.* Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions // *J. Clim.* 1994. V. 7. P. 141–157.
- Lukashova E.N.* Osnovnye zakonomernosti prirodnoj zonalnosti i eyo proyavleniya na sushe Zemli // *Vestn. Mosk. unta. Seriya 5. Geografiia. 1966, № 6. S. 11–25 (in Russian).*
- Schlesinger M.E., Ramankutty N.* An oscillation in the global climate system of period 65–70 years // *Nature.* 1994. V. 367. P. 723–726.
- Sutton R.T., Hodson D.L.R.* Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate // *Science.* 2005. V. 309. P. 115–118.
- Sutton R.T., Bowen D.* Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990 s // *Nature Geoscience.* 2012. V. 5. P. 788–792.

Поступила в редакцию 01.12.2016
Принята к публикации 09.12.2016