

УДК 551.582.2

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ АРКТИЧЕСКОГО ФРОНТА В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА И ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ В ЛАНДШАФТАХ СЕВЕРА

© 2015 г. Т.Б. Титкова, В.В. Виноградова, А.Ю. Михайлов

*Институт географии РАН, Москва, Россия;
titkova@yandex.ru, vvvinog@yandex.ru*

Поступила в редакцию 27.02.2014 г.

Анализируется продолжительность вегетационных сезонов и реакция растительного компонента ландшафтов Севера России в зависимости от положения Арктического фронта в разные климатические эпизоды по данным наблюдений в субарктических (тундровых и лесотундровых) и бореальных (северотаежных и среднетаежных) ландшафтах на европейской территории России и в Западной Сибири севернее 60° с.ш. Для оценки используется динамика таких показателей климата, как градиенты температуры и осадков, сумма активных температур, индекс климатических экстремумов (Satellite Climatic Extremes Index, SCEI), градиенты вегетационного индекса – NDVI AVHRR (1982–2000 гг.) и NDVI MODIS (2000–2012 гг.). Выявлены рост суммы активных температур и слабые колебания увлажнения, квазистационарность и увеличение интенсивности фронтальных процессов на Арктическом фронте в летний период. Эти процессы будут способствовать продвижению бореальных лесов на север.

Ключевые слова: Арктический фронт, градиенты температуры, динамика ландшафтов, индекс климатических экстремумов, сумма активных температур, вегетационный индекс (NDVI).

Введение. Режим тепла и увлажнения различных ландшафтных зон определяется положением и динамикой климатических фронтов и интенсивностью циклонической деятельности. Подавляющее число циклонов умеренных широт возникает на Арктическом фронте, что обусловлено высокими контрастами температур в его фронтальной зоне [2]. В период современного потепления климата с конца 1980-х гг. растет интенсивность циклонов в зимний и в особенности в летний период [3]. В связи с этим исследование реакции растительного покрова на такие изменения представляются актуальными.

В работе исследуется продолжительность вегетационных сезонов и реакция растительного компонента субарктических и бореальных ландшафтов Севера России на положение Арктического фронта (АФ) в разные климатические эпизоды (период до начала потепления – 1951–1980 гг. и период современного потепления – 1981–2012 гг.) по данным наземных и спутниковых наблюдений. Для оценки динамики изменения ландшафтов используются градиенты температуры и осадков, сумма активных температур, индекс климати-

ческих экстремумов (Satellite Climatic Extremes Index, SCEI), градиенты вегетационного индекса – NDVI AVHRR (1982–2000 гг.) и NDVI MODIS (2000–2012 гг.).

Материалы и методика. Определение географического положения АФ основывалось на том, что климатический фронт проходит в зоне пониженного давления, где формируются часто повторяющиеся синоптические фронты. То есть район с повышенной повторяемостью центров циклонов, максимальных значений модуля горизонтального градиента температуры может указывать на климатический фронт [6, 7]. В настоящей работе определение положения АФ оценивалось на основе: минимума поля приземного давления, области максимальной повторяемости центров циклонов Н 1000 гПа и максимальных величин горизонтальных градиентов температуры АТ 1000 гПа и среднесезонному модулю адвекции тепла, который характеризует величину скорости горизонтального обмена и область максимального фронтогенеза.

При рассмотрении вопроса о географическом положении Арктического фронта исходные данные реанализа были взяты с сайта Университета Восточной Англии (UEA CRU), которые разработаны в National Centers for Environmental Prediction в США [10]. Был взят массив значений различных метеозлементов в узлах географической сетки, с разрешением $2.5 \times 2.5^\circ$. Использовались четыре метеорологических срока для Н 1000 и суточные значения для температуры на изобарической поверхности за все дни летнего периода с 1951 по 2012 г. Подробно методика определения повторяемости центров циклонов на АТ 1000, повторяемости максимума величины горизонтального температурного градиента на изобарических поверхностях АТ 1000 и средне-сезонного модуля адвекции тепла изложена в работах [6, 7]. Климатическое положение АФ оценивалось за периоды 1951–1980 и 1981–2012 гг. в летний сезон.

Продолжительность вегетационных сезонов и реакция растительного компонента ландшафтов Севера России в зависимости от среднего положения вторичного АФ в разные климатические эпизоды исследовалась по данным наблюдений на метеорологической сети из архива ВНИИ-ГМИ-МЦД [11] и спутниковых данных для NDVI, альbedo, температуры поверхности [8, 9].

Исследование проводилось для субарктических (тундровых и лесотундровых) и бореальных (северотаежных и среднетаежных) ландшафтов на европейской территории России и Западной Сибири севернее 60° с. ш.

Для оценки изменения теплообеспеченности ландшафтов использовалась сумма активных температур (температур воздуха выше $+10^\circ$ С) и продолжительность периода с температурой воздуха выше $+10^\circ$ С. Сумма активных температур рассчитывалась как сумма среднесуточных температур за те дни, когда она превышала установленный порог $+10^\circ$ С. Суммы активных температур были рассчитаны по данным метеорологической сети климатического архива ВНИИГМИ-МЦД [11] для двух периодов 1951–1980 и 1981–2010 гг. Также было вычислено изменение суммы активных температур во второй период по сравнению с первым. По результатам расчетов были построены соответствующие карты.

Динамика увлажнения для современного периода (2000–2012 гг.) оценивалась при помощи спутникового индекса климатических экстремумов (SCEI), который представляет собой сумму отклонений от многолетнего среднего NDVI, аль-

bedo, температуры поверхности, нормированных на среднеквадратическое отклонение.

Спутниковый индекс климатических экстремумов (Satellite Climatic Extremes Index, SCEI) используется для оценки отклонений увлажнения территории от многолетнего среднего. Он представляет собой сумму отклонений от многолетнего среднего влажности почвы, NDVI, альbedo, температуры поверхности, нормированных на среднеквадратическое отклонение.

Этот индекс по физическому смыслу может быть как отрицательным (засуха), так и положительным (переувлажнение). В бореальных ландшафтах (где преобладает хвойная растительность) и в особенности в зонах лесотундры и тундры, где нет сплошного покрытия зеленой фитомассы, индекс SCEI является функцией аномалий биофизических параметров и показывает преобладание нормальных или повышенных условий увлажнения. В физическом аспекте на уровне растительной ассоциации это выглядит следующим образом: в условиях переувлажнения при разреженности растительного покрова прослеживается положительная аномалия влажности почвы, цвет растений продолжительно устойчивый, возникает положительная аномалия NDVI, вызывающая отрицательную аномалию альbedo поверхности. Энергия тратится на транспирацию и испарение влаги с почвы. Возникает отрицательная аномалия температуры поверхности. В этом случае индекс, как функция аномалий биофизических параметров, становится положительным.

Из-за неполноты данных о влажности почвы в работе использовался индекс в сокращенном виде [4, 5]:

$$\text{SCEI}_i = - (\Delta A_i / \sigma A + \Delta T_{si} / \sigma T_s) + (\Delta \text{NDVI}_i / \sigma \text{NDVI}), \quad (1)$$

где ΔA_i – аномалия альbedo за i год; σA – среднеквадратическое значение альbedo за базовый период (2000–2013 гг.); ΔT_{si} – аномалия температуры поверхности за i год; σT_s – среднеквадратическое значение температуры поверхности за базовый период; ΔNDVI_i – аномалия NDVI за i год; σNDVI – среднеквадратическое значение NDVI за базовый период.

Для расчета индекса SCEI использовались данные NDVI, альbedo, температуры поверхности [9]. Все параметры имеют разрешение $0.05 \times 0.05^\circ$ (в среднем 5600×5600 м). Для альbedo бралась модель MCD43 C1 версии 005 (данные спутников MODIS/Terra + Aqua BRDF/Albedo) с дискретностью 16 дней. Значения индекса растительности NDVI были получены по данным MODIS/Terra мо-

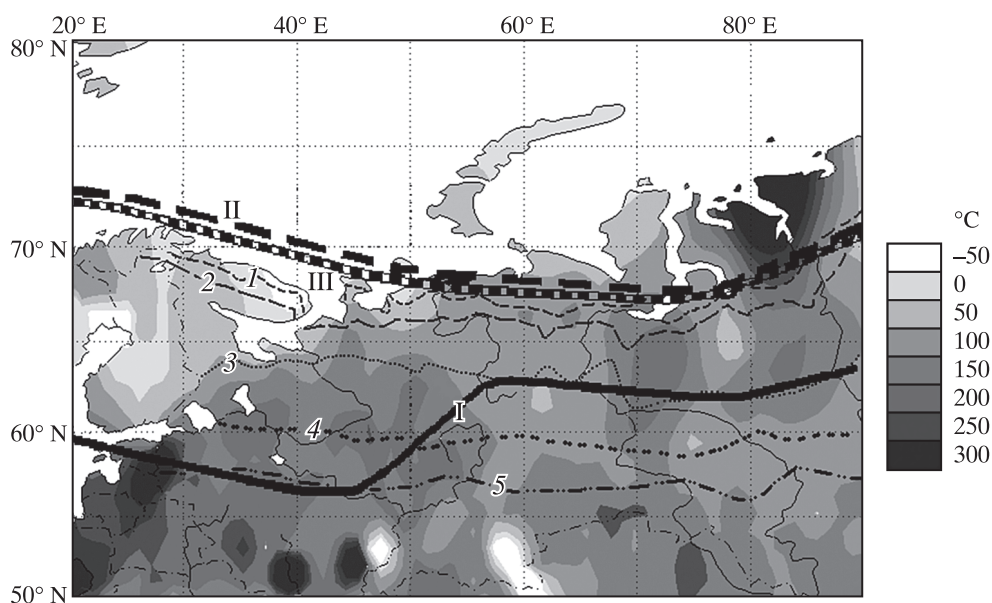


Рис. 1. Изменение суммы активных температур >10° С для периода 1981–2010 гг. по сравнению с 1951–1980 гг. и положение Арктического фронта (1951–2012 гг.) в летний период.

Линии: I – максимального числа центров циклонов Н 1000 гПа на вторичном Арктическом фронте, II – максимальных значений градиентов температуры АТ 1000 гПа на главной ветви Арктического фронта, III – максимальных значений среднесезонного модуля адвекции тепла Н 1000 гПа на главной ветви Арктического фронта.

Границы природных зон: 1 – тундры; 2 – лесотундры; тайги: 3 – северной, 4 – средней, 5 – южной.

дели MOD13C1 – варианта 005 с шагом в 16 дней. Для среднемесячной температуры поверхности использовалась модель MOD11 C2 версии 005, по данным MODIS/Terra с периодичностью 8 дней. По двум 8-дневным срокам вычислялось среднее значение за период 16 дней и идентичным периодам для альбедо и NDVI.

Значения индекса показывают условия увлажнения: от –1 до 1 – условия увлажнения нормальные; от 1 до 2 – переувлажнение; более 2 – сильное переувлажнение; от –1 до –2 – засуха; менее –2 – сильная засуха. Сравнение индекса SCEI и традиционного ГТК было проведено для переходных ландшафтных зон в статье [1] и дало сопоставимые результаты.

По рассчитанным значениям индекса SCEI были построены карты для периодов 2000–2006 гг., 2007–2012 гг. и карты изменения индекса SCEI в 2007–2012 гг. по сравнению с 2000–2006 гг. Также была проведена оценка площадей с увлажнением выше и ниже среднего многолетнего в начале XXI в. и соотношения этих площадей.

Области возможных наибольших изменений климатических параметров оценивались на основании горизонтальных градиентов температуры, осадков и вегетационного индекса (NDVI). Использовались данные метеостанций, расположенных на Европейской территории России, интерполированные на сетку 1 × 1°.

Модуль горизонтального градиента **Gt** рассчитывался по формуле:

$$Gt = \sqrt{Gx^2 + Gy^2}; \quad (2)$$

$$Gy = (t_{i,j+1} + t_{i+1,j+1} - t_{i,j} - t_{i+1,j})/2;$$

$$Gx = (t_{i,j+1} + t_{i+1,j+1} - t_{i,j} - t_{i+1,j})/(2 \cos \varphi).$$

Здесь *i* – индекс ячейки по долготе (увеличивается в восточном направлении), *j* – индекс ячейки по широте (увеличивается в северном направлении), φ – широта ячейки [3].

Результаты и обсуждение. Положение Арктического фронта в летний период. Рассмотрим положение АФ по климатическим данным в летний период. В работе [6] показано, что АФ в зимний период имеет две ветви. Главная ветвь разделяет морские арктические массы воздуха над Северной Атлантикой и трансформированные над сушей умеренные воздушные массы. При трансформации над сушей умеренный воздух охлаждается и приобретает новые свойства (субарктические), которые отличаются от свойств как умеренного, так и арктического воздуха. Вторичный АФ (его можно назвать тогда субарктическим) разделяет субарктические воздушные массы и умеренные.

На карте (рис. 1) показано положение АФ летом, рассчитанное по трем критериям: области максимальной повторяемости центров циклонов на Н 1000 гПа и максимальных величин горизон-

тальных градиентов температуры на АТ 1000 гПа и среднесезонному модулю адвекции тепла за период 1951–2010 гг.

В летний, как и в зимний период, можно выделить две ветви АФ над Севером России. Главная ветвь АФ выражена максимальными градиентами температуры на АТ 1000 гПа и примыкающей к ней максимальными значениями среднесезонного модуля адвекции тепла на Н 1000 гПа. Эти максимумы проходят вдоль побережья Скандинавии и Кольского полуострова, выходят на сушу в районе 45° меридиана, далее через Обскую губу на север Западной Сибири и разделяют арктические воздушные массы от субарктических. Зона главной ветви АФ проходит в области повышенных градиентов приземной температуры и максимальных градиентов осадков. В этом же районе наблюдаются повышенные градиенты NDVI. Здесь происходит быстрая смена с юга на север лесотундрового редколесья в сочетании с тундрами (южная тундра) на тундрово-кустарничковую и кустарничково-моховую растительность (северная тундра).

Вторичная ветвь АФ в летний период выражена только повышенной повторяемостью центров циклонов над северной частью Европейской России и Западной Сибири на Н 1000 гПа и разделяет субарктический (трансформированный над сушей морской арктический воздух) и умеренный воздух. Эта ветвь АФ на Европейской части России проходит южнее Финского залива через Великий Новгород и Ярославль, выходит на Нижний Новгород и поворачивает к северу к истокам Печоры. Таким образом, она проходит в западной части Европейской России по зоне южнотаежных лесов, а ближе к Уралу – по зоне среднетаежных лесов. В Западной Сибири максимум повторяемости центров циклонов лежит между 62–64° с. ш. в области перехода среднетаежных к северотаежным лесам.

Значимых различий в положении максимумов повторяемости центров циклонов и климатических градиентов (температуры на АТ 1000 гПа и среднесезонного модуля адвекции тепла на Н 1000 гПа) за два периода 1951–1980 и 1981–2012 гг. не наблюдается. Все они находятся в пределах среднеквадратического отклонения. Таким образом, положение двух ветвей АФ можно считать квазистационарным, но при этом наблюдалось увеличение максимума климатических градиентов на высотах. Во второй период по сравнению с первым, в районе главной ветви АФ на фоне общего повышения поля приземного давления порядка 5 гПа, увеличились максимумы градиентов температуры на АТ 1000 гПа с 3.5 град/мес. до 4 град/мес. и максимумы среднесезонного модуля

адвекции тепла на Н 1000 гПа с 5 до 5.5 град/мес. В районе вторичной ветви АФ расширилась зона максимального числа центров циклонов и происхождения циклонов.

Таким образом, летом можно выделить две ветви АФ, они квазистационарны в условиях современного потепления (во второй половине XX и начале XXI в.), при этом на Арктическом фронте произошло увеличение интенсивности фронтальных процессов.

Сумма температур выше +10 °С. Теплообеспеченность субарктических и бореальных ландшафтов оценивалась для периодов 1951–1980 гг. и 1981–2010 гг. на основании суммы активных температур. Для первого периода на севере Европейской территории России (ЕТР) сумма активных температур составляла в тундровой зоне – 400–600 °С (на арктическом побережье около 300 °С) в лесотундровой зоне – 600–800 °С, а в зоне северной тайги – 800–1200 °С. Наименьшие суммы для субарктических ландшафтов наблюдались на востоке Кольского полуострова и в Ненецком АО, а для бореальных ландшафтов – в Республике Коми. В период современного потепления на всей территории отмечается рост суммы активных температур. В этот период в тундровой зоне суммы активных температур достигают 500–700 °С, в лесотундровой зоне – 800–900 °С, а в зоне северной тайги – 900–1300 °С. Таким образом, рост суммы активных температур при современном потеплении климата на большей части севера ЕТР в зоне воздействия сухопутной части главной ветви АФ составляет 50–100 °С. Исключение составляют области, которые находятся вне зоны воздействия главной ветви АФ – эта восточная часть Кольского полуострова и полуостров Канин, где сумма активных температур практически не повысилась, и крайний восток Кольского полуостров, где сумма активных температур даже уменьшилась на 50 °С (рис. 1). Вторичная ветвь АФ летом в Европейской части (20–60° в. д.) располагается между 55–60° с. ш. В зоне влияния вторичной ветви АФ наблюдается рост активных температур на 150–200 °С.

В Западной Сибири в первый период сумма активных температур составляла в тундровой зоне 300–600 °С (на п-овах Ямал и Гыданский – 100–200 °С), в лесотундровой зоне – 700–900 °С, а в зоне северной тайги – 900–1300 °С. Во второй период в Западной Сибири также наблюдается рост суммы активных температур на 100–150 °С (рис. 1). Максимальный рост отмечался в районе прохождения главной ветви АФ на Урале и востоке региона. На западе Ямала, который находится севернее главной ветви АФ, суммы активных

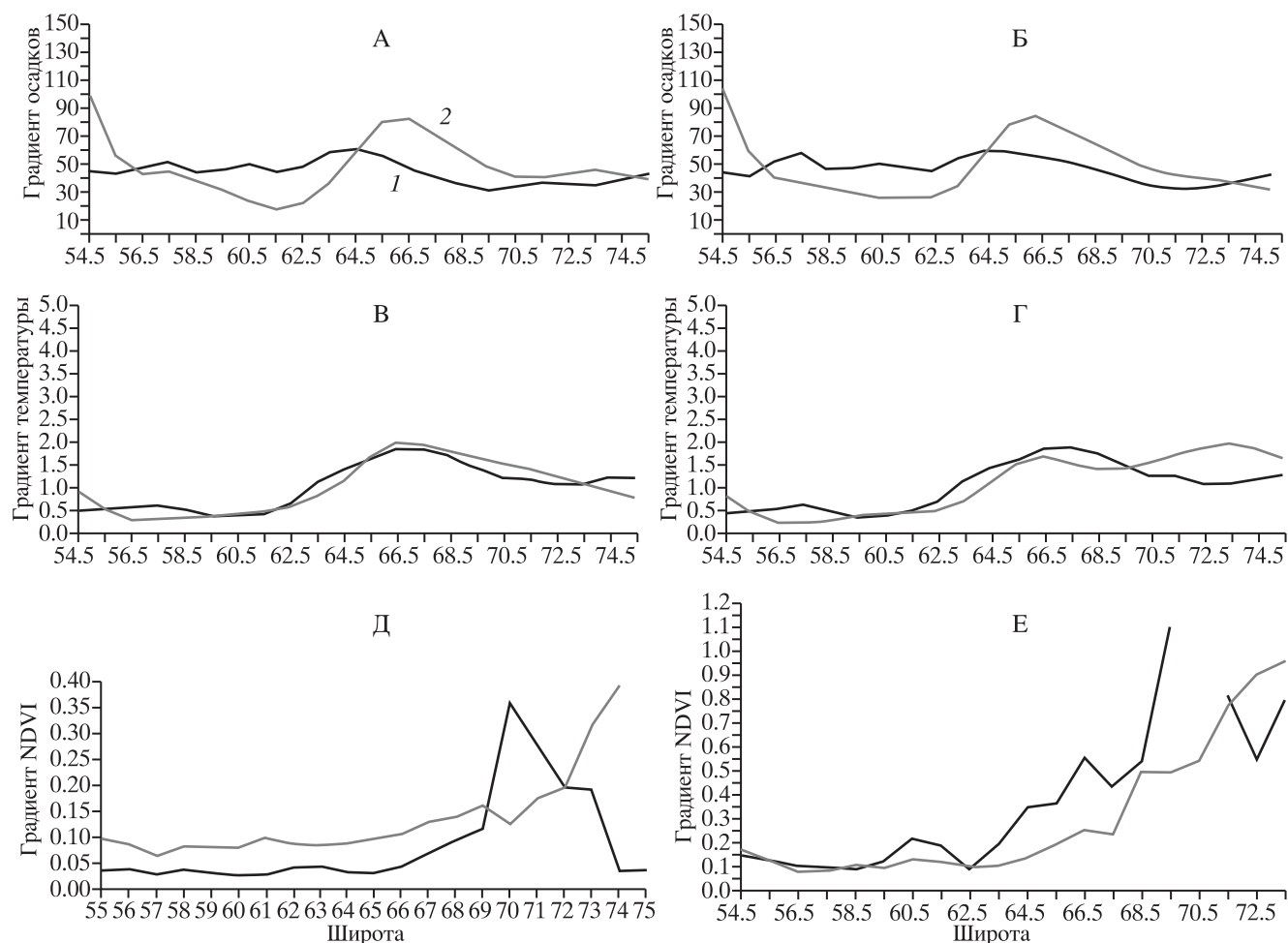


Рис. 2. Горизонтальный градиент осадков (А, Б), температуры воздуха (В, Г) и вегетационного индекса (NDVI) (Д, Е) в июле; (А, Б) – 1951–1980 гг., (Б, Г) – 1981–2010 гг., (Д) – AVHRR (1982–2000 гг.), (Е) – MODIS (2000–2012 гг.). 1 – Европейская территория России, 30–60° в. д., 2 – Западная Сибирь, 60–90° в. д.

температур практически не изменились. В зоне прохождения вторичной ветви АФ на территории Западной Сибири (60–65° с. ш., 60–90° в. д.) рост суммы активных температур достигал 100–150 °С.

Необходимо отметить, что при потеплении климата для субарктических и бореальных ландшафтов характерен не только рост суммы активных температур, но и увеличение продолжительности периода с температурой выше +10 °С на ЕТР для субарктических ландшафтов на 3–5 дней, а для бореальных ландшафтов на 5–7 дней, за исключением крайнего востока Кольского полуострова и полуострова Канин, где продолжительность этого периода не изменилась. В Западной Сибири период с температурой выше +10 °С увеличился на 5–10 дней, кроме арктического побережья.

Таким образом, в результате современного потепления климата в субарктических ландшафтах суммы активных температур стали больше соответствовать зоне северной тайги.

Градиенты осадков и температуры. В районе прохождения главной ветви АФ наблюдаются максимумы градиентов осадков и температуры. При потеплении климата практически на всей территории севера европейской территории России при усилении циклонической активности на АФ отмечается рост годовой суммы и особенно летних осадков, а в Западной Сибири – слабый рост на большей части территории и уменьшение осадков в районе Обской губы.

Максимальные градиенты осадков в июле в период 1951–1980 гг. в Европейской России наблюдаются в районе 64° с. ш. и 67° с. ш., а в Западной Сибири – между 66 и 68° с. ш. В период 1981–2010 гг. на Европейском Севере области максимальных градиентов смещаются на север, приблизительно на 1°, и имеют двойной максимум на 65 и 68° с. ш., а в Западной Сибири области максимальных градиентов осадков не меняют своего положения (рис. 2А, Б).

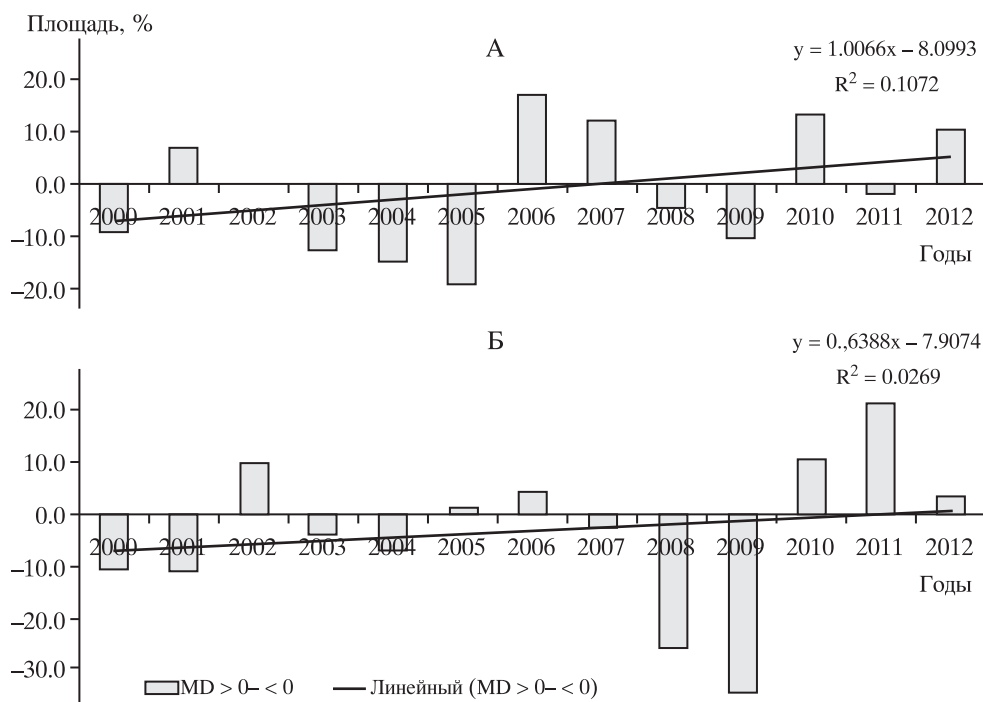


Рис. 3. Изменение соотношения площадей территорий с засухой и увлажнением по индексу SCEI на Европейском Севере (65–70° с. ш., 30–65° в. д.) – А и на севере Западной Сибири (65–70° с. ш., 65–90° в. д.) – Б.

Распределение горизонтальных градиентов температуры воздуха практически повторяет распределение градиентов осадков (рис. 2В, Г). Максимальные значения расположены на 66–68° с. ш. во всем рассматриваемом регионе в 1951–1980 гг. Во второй период в Западной Сибири область максимальных градиентов смещается к югу на 1°. Также в период потепления климата возрастают градиенты температуры.

В районе влияния вторичной ветви АФ на европейской территории России и в Западной Сибири не наблюдается усиления градиентов осадков и температуры воздуха.

Индекс климатических экстремумов (SCEI). В начале XXI в. индекс SCEI показывает преобладание нормальных или слабо повышенных условий увлажнения в субарктических и бореальных ландшафтах. Наиболее увлажненные участки в 2000–2006 гг. расположены в предгорьях Урала, на побережье Обской губы и на востоке Западной Сибири. Наименее увлажненные территории расположены на западе ЕТР. В 2007–2012 гг. изменения увлажнения не очень значительны, но можно отметить уменьшение увлажнения, особенно за Уралом. Выявлено преобладание среднеувлажненных территорий по сравнению со слабоувлажненными.

На рисунке 3 представлен индекс MD, показывающий соотношение площадей с увлажнением выше и ниже нормы. Оценка площадей засушливых и переувлажненных территорий по индексу SCEI на ЕТР показывает тенденцию сокращения площадей с переувлажнением и сильным переувлажнением от начала к концу периода. При этом площадь засушливых территорий тоже немного сокращается. Это привело к увеличению площадей с нормальным увлажнением на Европейском Севере (рис. 3А).

На территории Западной Сибири можно отметить еще более слабые изменения площадей засушливых и увлажненных территорий. Но индекс MD показывает слабый рост площадей увлажненных территорий (рис. 3Б).

Незначительные изменения увлажнения связаны с квазистационарностью вторичной ветви Арктического фронта, расположенного в летний период над северо-западом Евразийского континента в районе 55–65° с. ш. При этом небольшое увеличение увлажнения связано с ростом интенсивности фронтальных процессов на вторичной ветви АФ.

Градиенты NDVI AVHRR (1982–2000 гг.) и NDVI MODIS (2000–2012 гг.). Выявленные изменения тепло- и влагообеспеченности проявляются в реакции растительного покрова на изменение

климата, индикатором которого является вегетационный индекс (NDVI). Максимальные градиенты NDVI связаны с субарктическими ландшафтами и показывают области, в которых растительность подвержена наибольшим изменениям.

Изменения NDVI оценивались для двух периодов: 1982–2000 гг. и 2000–2012 гг. (рис. 2Д, Е). В 1982–2000 гг. наибольшие значения градиентов NDVI AVHRR расположены в районе 67–68° с. ш. на ЕТР и 68–69° с. ш. в Западной Сибири в зоне прохождения главной ветви АФ, соответствующей южной границе тундровой зоны. В 2000–2012 гг. область максимальных градиентов смещается к югу примерно на 1°. В этот период максимальные градиенты NDVI MODIS локализованы в районе 66–68° с. ш. на севере ЕТР и в Западной Сибири и связаны с границей субарктических и бореальных ландшафтов. Величина градиентов NDVI существенно возрастает в начале XXI в., что может свидетельствовать об усилении изменения растительности при потеплении климата и, в частности, о продвижении бореальной растительности на север.

Выводы. В летний период можно выделить две ветви АФ. Главная ветвь АФ разделяет арктические воздушные массы от субарктических и проходит на континенте в зоне смены растительности южной тундры на растительность северной тундры. Вторичная ветвь АФ в летний период разделяет субарктический (арктический трансформированный) и умеренный воздух. Эта ветвь АФ проходит в западной части Европейской России по зоне южнотаежных лесов, ближе к Уралу – по зоне среднетаежных лесов, а в Западной Сибири – в области перехода среднетаежных к северотаежным лесам. Две ветви АФ квазистационарны в условиях современного потепления, при этом произошло увеличение интенсивности фронтальных процессов.

На всей территории отмечается рост суммы активных температур (выше +10 °С). В лесотундровой зоне севера европейской территории в зоне воздействия сухопутной части главной ветви АФ сумма активных температур увеличилась на 50–100 °С, а за Уралом и в районе прохождения на континенте главной ветви АФ – на 100–150 °С. В зоне влияния вторичной ветви АФ наблюдается рост активных температур на 150–200 °С на Европейской части и 100–150 °С в Западной Сибири. Также увеличилась продолжительность периода с температурой выше +10 °С на 5–10 дней.

Максимальные градиенты температуры, осадков и вегетационного индекса (NDVI) в летний

период связаны с локализацией главной ветви АФ и мало меняют свое положение (в пределах 1°). При современном потеплении климата наблюдается рост максимальных градиентов температуры и осадков в результате усиления циклонической активности на главной ветви Арктического фронта.

В субарктических и бореальных ландшафтах в начале XXI в. изменения увлажнения не очень значительны и связаны с преобладанием территорий с повышенным увлажнением.

Выявленные закономерности изменения тепло- и влагообеспеченности в субарктических и бореальных ландшафтах показывают тенденции изменения растительности. Рост суммы активных температур при стабильном увлажнении будет способствовать продвижению бореальных лесов на север.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградова В.В., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А.* Динамика увлажнения и теплообеспеченности в переходных ландшафтных зонах по спутниковым и метеорологическим данным в начале XXI века // Совр. пробл. дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 2. С. 9–20.
2. *Воробьев В.И.* Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 616 с.
3. *Вязилова Н.А.* Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике // Метеорология и гидрология. 2012. № 7. С. 5–14.
4. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Новый подход к мониторингу очагов опустынивания // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 3(48). С. 14–22.
5. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Спутниковый индекс климатических экстремумов засушливых земель // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18. № 4(53). С. 5–12.
6. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Михайлов А.Ю.* Климатические вариации арктического фронта и ледовитости Баренцева моря зимой // Снег и лед. 2014. № 1. С. 85–90.
7. *Михайлов А.Ю., Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Полярный фронт над равнинами России летом // Метеорология и гидрология. 2012. № 2 С. 24–29.
8. DAAC. Distributed Active Archive Center. <http://daac.gsfc.nasa.gov/>
9. https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products
10. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/ncep/>
11. <http://www.meteo.ru>

Climatic Variation of the Arctic Front during the Warm Period and their Influence on the Northern Landscapes

T.B. Titkova, V.V. Vinogradova, A.Yu. Mikhailov

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

titkova@yandex.ru, vvvinog@yandex.ru

The duration of growing seasons and the reaction of the plant component of landscape depending on the average position of the Arctic Front (AF) in different climatic episodes according to observations in the sub-arctic (tundra and forest-tundra) and boreal (northern taiga and middle taiga) landscapes in European Russia and in Western Siberia, north of 60° N, is analyzed. The dynamics of climatic characteristics such as gradients of temperature and precipitation, sum of air temperatures above +10° C (sum of active temperatures), Satellite Climatic Extremes Index (SCEI), vegetation index gradients (NDVI AVHRR (1982–2000) and NDVI MODIS (2000–2012)) was used for the estimation. The regularities of the active temperatures sum increase and slight moisture variation were found. It was caused by the quasistationary and increasing intensity of frontal processes at the Arctic front in summer. All these reasons will cause the advance of the boreal forests to the north.

Keywords: Arctic front, temperature gradients, landscape dynamics, Satellite Climatic Extremes Index, sum of active temperatures, vegetation index (NDVI).