

А. А. Бобков<sup>1</sup>, Е. А. Паниди<sup>1</sup>, В. Ю. Цепелев<sup>2</sup>

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ РОССИИ

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

<sup>2</sup> Департамент по Северо-Западному федеральному округу Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Российская Федерация, 199106, Санкт-Петербург, 23 линия В. О., 2а

Для анализа климатической изменчивости за период с 1990 по 2012 гг. субарктического региона России использована база данных по температуре воздуха. Для оценки изменчивости типов растительного покрова использована классификационная схема IGBP (International Biosphere Geosphere Program). Рассчитаны тренды температур воздуха для летних месяцев и суммы накопленных аномалий температур по параллели 67° с. ш. на реперных меридианах 45, 85 и 125° в. д., которые сравниваются между собой за экспериментальный период. При оценке пространственных изменений растительного покрова и температурного режима выделены три района, в которых изменения климата происходят разнонаправленно: район «А», ограниченный 40 и 80° в. д.; район «Б», расположенный между 80° и 105° в. д.; район «В», между меридианами 105 и 130° в. д. Основное потепление наблюдалось на территориях, расположенных восточнее Таймыра. Библиогр. 16 назв. Ил. 6. Табл. 1.

*Ключевые слова:* Северная полярная область, климатические изменения, растительный покров, динамика растительности.

### INFLUENCE OF CLIMATE VARIATIONS ON STATE OF VEGETABLE COVER OF THE NORTH POLAR AREA OF RUSSIA

A. A. Bobkov<sup>1</sup>, E. A. Panidi<sup>1</sup>, V. Yu. Tsepelev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

<sup>2</sup> Department of Roshydromet for North-West Federal District, 2a, 23 liniya V. O., St. Petersburg, 199106, Russian Federation

For the analysis of climatic variability from 1990 to 2012 of the subarctic region of Russia the database on air temperature is used. For an estimation of variability of types of a vegetable cover the classification scheme of IGBP (International Biosphere Geosphere Program) is used. Trends of air temperatures for summer months and the sum of accumulated anomalies of temperatures alongside the parallel of 67° N on meridians of 45, 85° and 125° E were calculated which are compared for the experimental period. For an estimation of spatial changes in a vegetable cover and of temperature regime three areas in which climate changes happen multidirectional are allocated: area «A», limited 40 and 80° E; the region of «Б» located between 80° and 105° E; the area «В», between meridians 105 and 130° E. The main warming was observed in the territories located to the east of Taimyr. Refs 16. Figs 6. Table 1.

*Keywords:* North polar area, climate variation, vegetation cover, dynamics of vegetation.

**Введение.** Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в своем докладе фиксирует беспрецедентное за последние 1000 лет глобальное потепление климата планеты. Согласно ее выводам, средняя годовая глобальная температура приземного воздуха увеличилась за 1906–2005 гг. на 0,74°C ± 0,18°C [1]. Процесс потепления проявляется и на территории России [2, 3]. Временные ряды основных гидрометеорологических параметров говорят в пользу потепления климата и на субарктических территориях России, величина которого оценивается в среднем в 0,9°C с рекордным максимумом в 1995 г. (отклонение от нормы составило +1,9°C). Климатические изменения, которые уже в ближайшем будущем могут оказать влияние на экосистемы арктических и субарктических районов [4], проявились

в сезонной изменчивости температур воздуха и воды, площади покрытия арктических акваторий морскими льдами, распределении типов растительного покрова в полосе материковых тундр [5].

Мониторинг происходящих изменений в Северной полярной области России предполагает изучение пространственного распределения климатических параметров в западной части арктической и субарктической зон Евразии, а также констатацию этих изменений в распределении параметров растительного покрова прибрежных (водных и наземных) ландшафтов.

**Материалы и методика.** Для исследования климатических изменений, которые произошли в период с 1990 по 2012 гг. в западной части субарктического и арктического регионов России, нами была использована база данных по температуре воздуха, взятая из проекта «Reanalysis 1» NCEP/NCAR [6]. За период с 1948 по 2012 гг. были рассчитаны нормы температуры воздуха и на их основе вычислены ее аномалии.

Продолжительность спутниковых наблюдений над динамикой растительного покрова подстилающей поверхности еще коротка, однако накопленные данные дистанционного зондирования (ДДЗ) земной поверхности, получаемые в рамках проекта «MODIS», уже позволяют отслеживать изменения, происходящие в наземных экосистемах [7]. Классификация типов растительного покрова, основанная на данных «MODIS», ежегодно выполняется NASA на основе усреднённых за соответствующий год материалов съёмки MODIS [8, 9]. Мониторинг динамики изменения типов растительного покрова в Субарктике проведен нами на основе классификационной схемы «IGBP» (International Geosphere Biosphere Program), которая доступна с пространственным разрешением около 5600 м (или 0,05 градуса). Следует заметить, что данные «IGBP» существуют лишь с 2001 г., более ранние классификации не охватывали субарктические и арктические районы Евразии.

Изначально классификационная схема IGBP содержит 16 классов растительности, не считая водных поверхностей и неклассифицированных участков [10]. В применении к районам Субарктики исходные классы были укрупнены путём объединения некоторых из них. В результате была получена классификационная схема, содержащая 12 классов за 2001–2011 гг., не считая водных поверхностей и неклассифицированных участков (табл.).

Для проведения исследований межгодовой динамики растительного покрова важным фактором является постоянство от года к году способа определения типа растительности [11]. Априори предполагая выполнение данного условия, и на основе анализа карт модифицированной классификационной схемы «IGBP» за разные годы, нами была построена карта изменчивости во времени типов растительного покрова в субарктических регионах за последние десять лет (см. ниже рис. 6). Предполагалось, что при однонаправленных климатических изменениях динамика изменения растительности также должна иметь определенное направление. Возможные изменения растительного покрова были условно разделены на следующие категории: 1) изменений классов растительного покрова не произошло; 2) на месте любого класса растительности появилась водная поверхность; 3) лес заменил кустарники безотносительно класса леса; 4) на месте водных поверхностей появился любой класс растительности; 5) кустарники заменили лес (безотносительно класса леса); 6) на месте кустарников появился снег или лед; 7) на месте снега или льда появились кустарники; 8) изменения других типов, не значимые в контексте данного исследования.

### Классы растительного покрова IGBP до и после укрупнения

Оригинальные классы по схеме IGBP	Классы после укрупнения
Водные объекты	Водные объекты
Хвойные леса	Хвойные леса
Широколиственные леса	Широколиственные леса
Лиственничные леса	Лиственничные леса
Листопадные леса	Листопадные леса
Смешанные леса	Смешанные леса
Сомкнутые кустарники	Кустарники
Разреженные кустарники	Кустарники
Лесостепи (Лесотундра)	Кустарники
Степи (Тундра)	Степи (Тундра)
Луга	Луга
Болота	Луга
Пашни	Луга
Селитебные и промышленные земли	Селитебные и промышленные земли
Пашни и луга	Пашни и луга
Снег и лед	Снег и лед
Пустоши	Пустоши
Не классифицировано	Не классифицировано

**Обсуждение результатов.** Климатические изменения в арктических и субарктических районах Евразии происходят неравномерно в разных их частях. Подтверждения этим изменениям обнаруживаются на карте динамики растительного покрова.

**Климатические тренды в субарктической зоне.** Карты трендов приземной температуры воздуха показывают, что потепление в арктических широтах выражено сильнее, чем на юге России (рис. 1). При этом, максимальный рост температуры наблюдался над центральной частью Северного Ледовитого океана. Положительная аномалия средней августовской температуры за 1985–2012 гг. (от +1°C и выше) располагалась над севером Баренцева и Карского морей и арктическим побережьем Восточной Сибири. Над субарктическими районами ЕТР наблюдалась область слабо отрицательных аномалий температуры воздуха.

Если в Центральной и Восточной Сибири наблюдается положительный линейный тренд среднегодовой приземной температуры воздуха, то в субарктической зоне Европейской части РФ и Урала тренд среднегодовой приземной температуры воздуха отрицательный (рис. 2). Самый значительный отрицательный линейный тренд среднегодовой температуры наблюдается на 45° в.д. и составляет  $-0,3^{\circ}\text{C}$ . В центре изучаемого района (85° в.д.) линейный тренд среднегодовой температуры незначительный и составляет всего  $+0,1^{\circ}\text{C}$ . На востоке района — в Восточной Сибири (125° в.д.) — линейный тренд среднегодовой температуры положительный и составляет  $+0,4^{\circ}\text{C}$ .

Тренд августовских температур выше, чем тренд ее среднегодовых значений (рис. 3). Так, положительный тренд на востоке региона в августе составляет  $+2,0^{\circ}\text{C}$ , а максимальный отрицательный тренд на 85° в.д. —  $-2,7^{\circ}\text{C}$ . Линейный тренд на за-

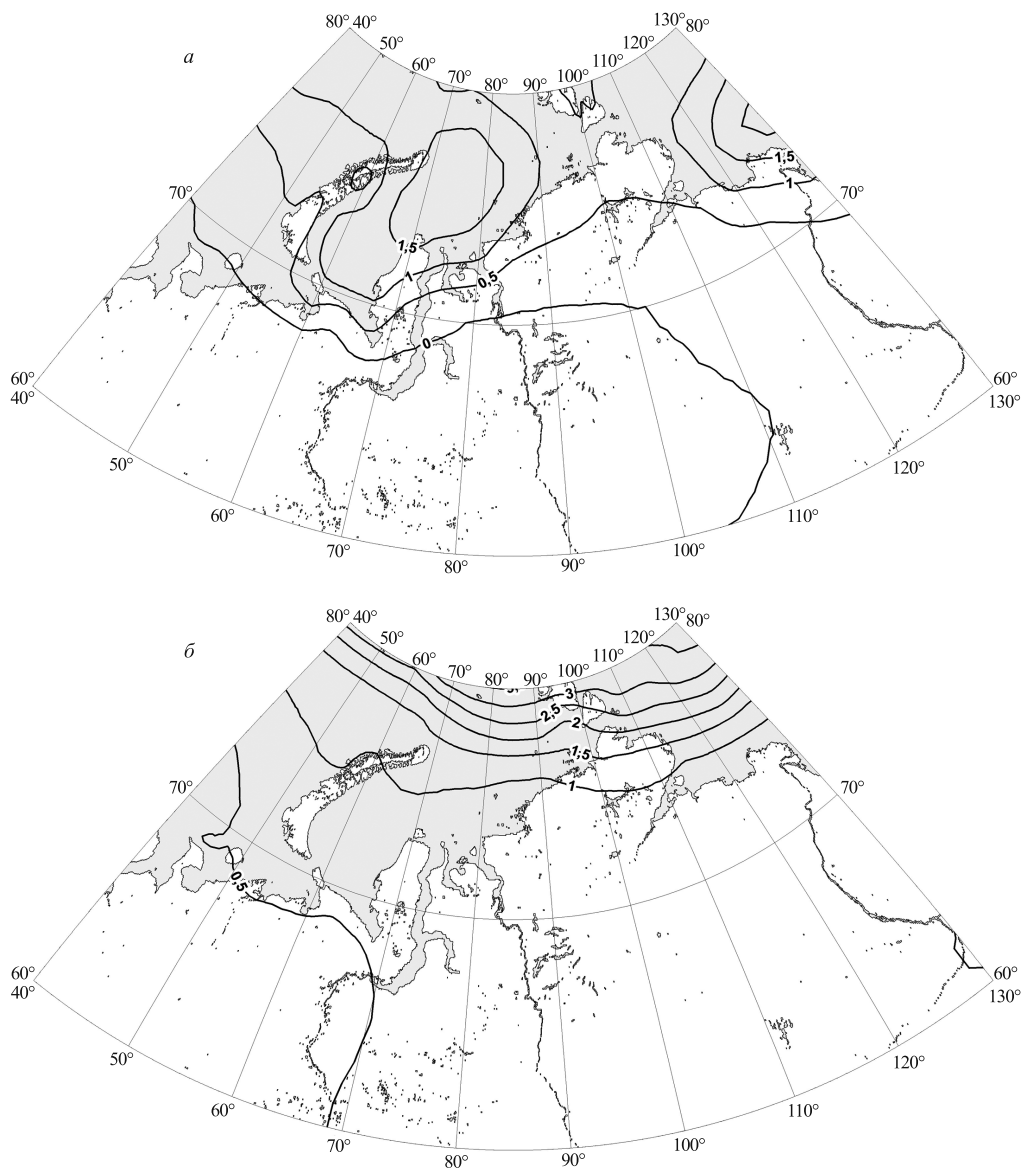


Рис. 1. Карта средних аномалий приземной температуры воздуха за 1990–2012 гг.:  
*a* — в августе, *б* — в среднем за год

паде региона практически нейтрален. Разница в трендах свидетельствует, что потепление и похолодание районов наблюдается в разные сезоны года. Если на востоке района потепление происходит в летний и в зимний сезоны, то в центральной части района зимнее потепление климата компенсирует отрицательный летний тренд. На западе района ярко выраженных температурных трендов не наблюдается.

В связи с тем, что изменчивость температурного режима год от года велика, для оценки влияния температурного тренда на динамику растительного покрова можно использовать сумму накопленных аномалий температуры. Нами были рассчита-

ны суммы накопленных среднегодовых аномалий приземной температуры воздуха с 1985 по 2012 гг. (рис. 2), а также суммы среднемесячных аномалий приземной температуры воздуха с 2000 по 2012 гг. (рис. 4). Методика расчета накопленных аномалий заключается в том, что аномалии температуры в начальный период времени суммируются с аномалиями в каждый последующий момент времени. Рост на гра-

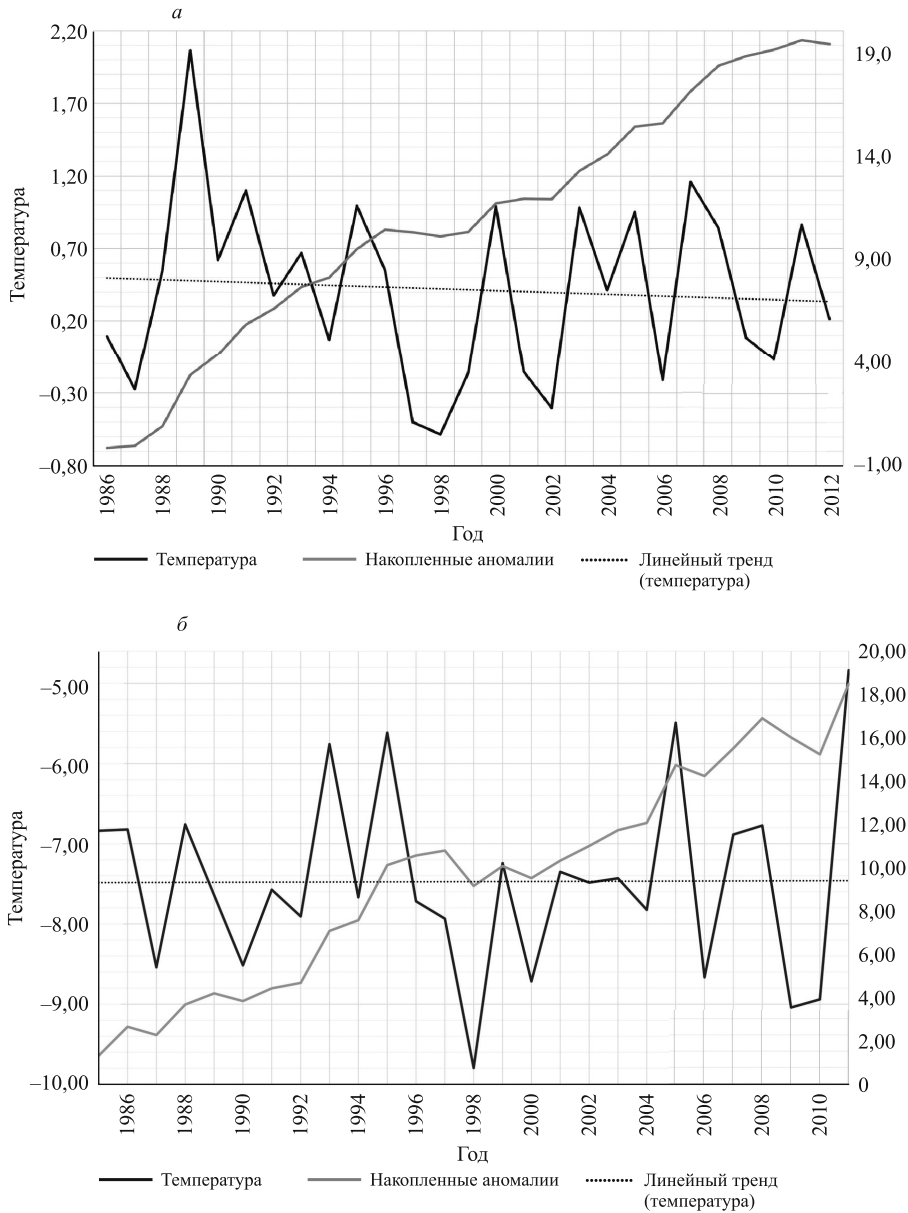


Рис. 2. График среднегодовой температуры воздуха (жирная линия), ее линейный тренд (пунктир) и график накопленных аномалий температуры (светлая линия) за период с 1985 по 2012 гг. для точек с координатами:

*а* — 67° с. ш. и 45° в. д.; *б* — 67° с. ш. и 85° в. д.; *в* — 67° с. ш. и 125° в. д.

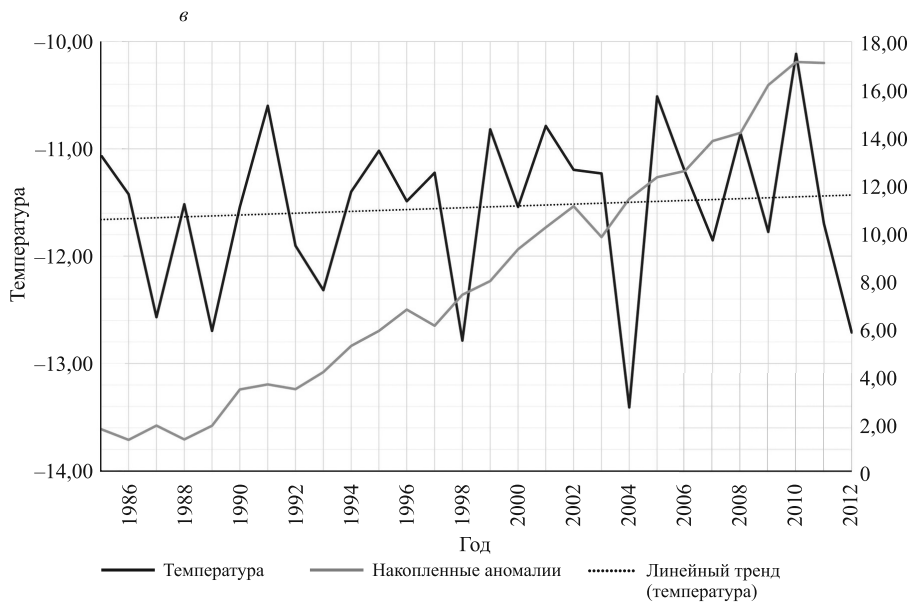


Рис. 2. Окончание

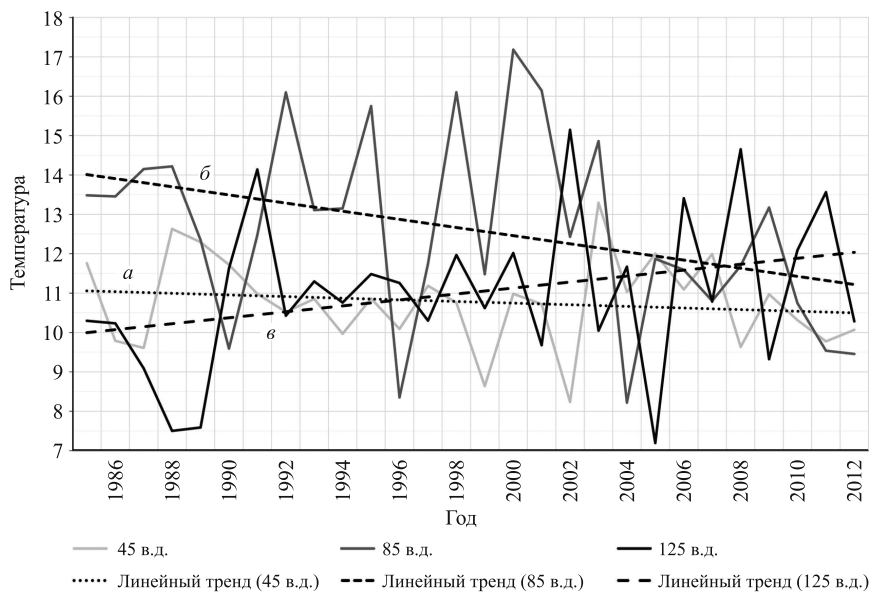


Рис. 3. График августовской температуры воздуха (сплошные линии) и ее линейные тренды (пунктир) за период с 1985 по 2012 гг. для точек, расположенных на пересечении Северного полярного круга с меридианами:

*a* — 67° с. ш. и 45° в. д.; *б* — 67° с. ш. и 85° в. д.; *в* — 67° с. ш. и 125° в. д.

фике накопленных аномалий трактуется как накопление энергии, необходимое для роста растений.

Максимальная сумма накопленных аномалий среднегодовой температуры воздуха наблюдается в районе, расположенном на  $85^\circ$  в.д., и составляет  $20^\circ\text{C}$ , минимальная сумма в районе  $125^\circ$  в.д. —  $17^\circ\text{C}$ .

Из рис. 4 видно, что среднемесячные суммы накопленных аномалий температуры на протяжении последних 12 лет непрерывно росли во все сезоны года: на  $125^\circ$  в.д. они составили  $115^\circ\text{C}$ , в районе  $85^\circ$  в.д. достигли максимальных значений в  $125^\circ\text{C}$ . Из графика следует, что практически половина этой суммы была накоплена в 2011–2012 гг. За период с конца 2005 г. по середину 2010 г. суммы аномалий температуры в этом районе практически не изменились. В районе  $45^\circ$  в.д. суммы накопленных аномалий температуры минимальны и достигают значения в  $70^\circ\text{C}$ . Рост сумм накопленных аномалий происходил здесь с 2003 по 2009 гг. и на протяжении 2011–2012 гг.

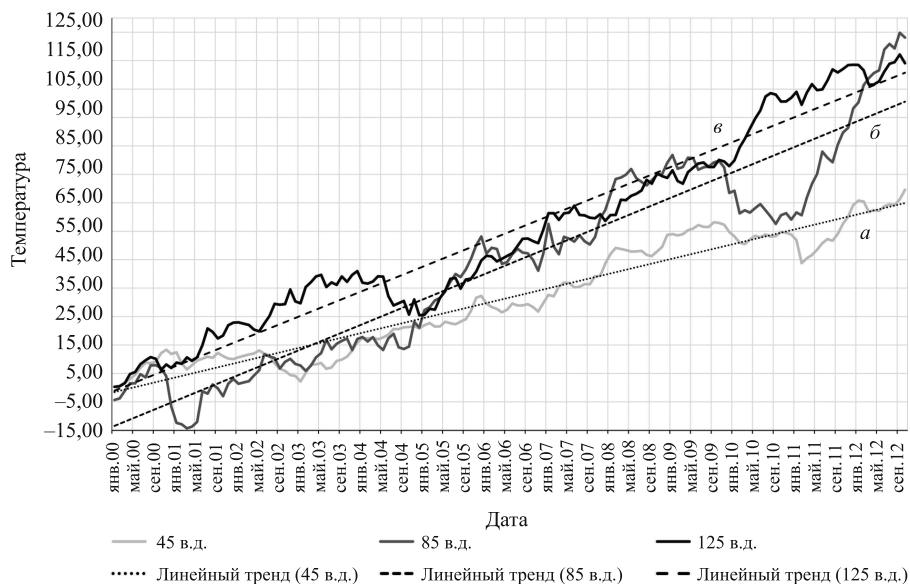


Рис. 4. Накопленные суммы аномалий среднемесячной температуры воздуха (сплошная линия) и ее линейные тренды (пунктир) в период с января 2000 г. по октябрь 2012 г. для точек, расположенных на пересечении Северного полярного круга с меридианами:

*a* —  $67^\circ$  с. ш. и  $45^\circ$  в. д.; *б* —  $67^\circ$  с. ш. и  $85^\circ$  в. д.; *в* —  $67^\circ$  с. ш. и  $125^\circ$  в. д.

В качестве климатического показателя динамики южной границы растительного покрова тундры обычно принимают географическое положение приземной июльской изотермы  $10^\circ\text{C}$ . Из рис. 5а видно, что ее положение за период с 1990 по 2012 гг. практически неизменно для всего изучаемого района. В августе же изотерма  $10^\circ\text{C}$  от 1990 к 2012 г. перемещалась с севера на юг в полосе долгот, ограниченной  $50^\circ$  и  $110^\circ$  в.д. (рис. 5б). Особенно значительным это смещение было в районе полуострова Таймыр, между  $80$  и  $100^\circ$  в.д., где произошло опускание изотермы  $10^\circ\text{C}$  в южном направлении на 10 градусов широты. Такое смещение указывает на продол-

жающееся в течение последних 22 лет похолодание и ухудшение здесь вегетационных условий. В сентябре изотерма  $10^{\circ}\text{C}$  уходит из Субарктики в умеренные широты, поэтому для оценки изменчивости температурного режима была взята изотерма  $0^{\circ}\text{C}$  (рис. 5 в). В ее локализации в период с 1985 по 2012 гг. произошли такие же существенные изменения, как и с географическим положением изотермы  $10^{\circ}\text{C}$  в августе. Но в отличие от августа, изотерма  $0^{\circ}\text{C}$  постепенно сместилась на север, примерно на 10 градусов широты в районе, ограниченном  $80^{\circ}$  и  $100^{\circ}$  в. д. Таким образом, за счет сентябрьского потепления у полуострова Таймыр произошло удлинение вегетационного периода. На западе и востоке Субарктики существенных изменений в положении изотермы  $10^{\circ}\text{C}$  в июле и августе и  $0^{\circ}\text{C}$  в сентябре не было.

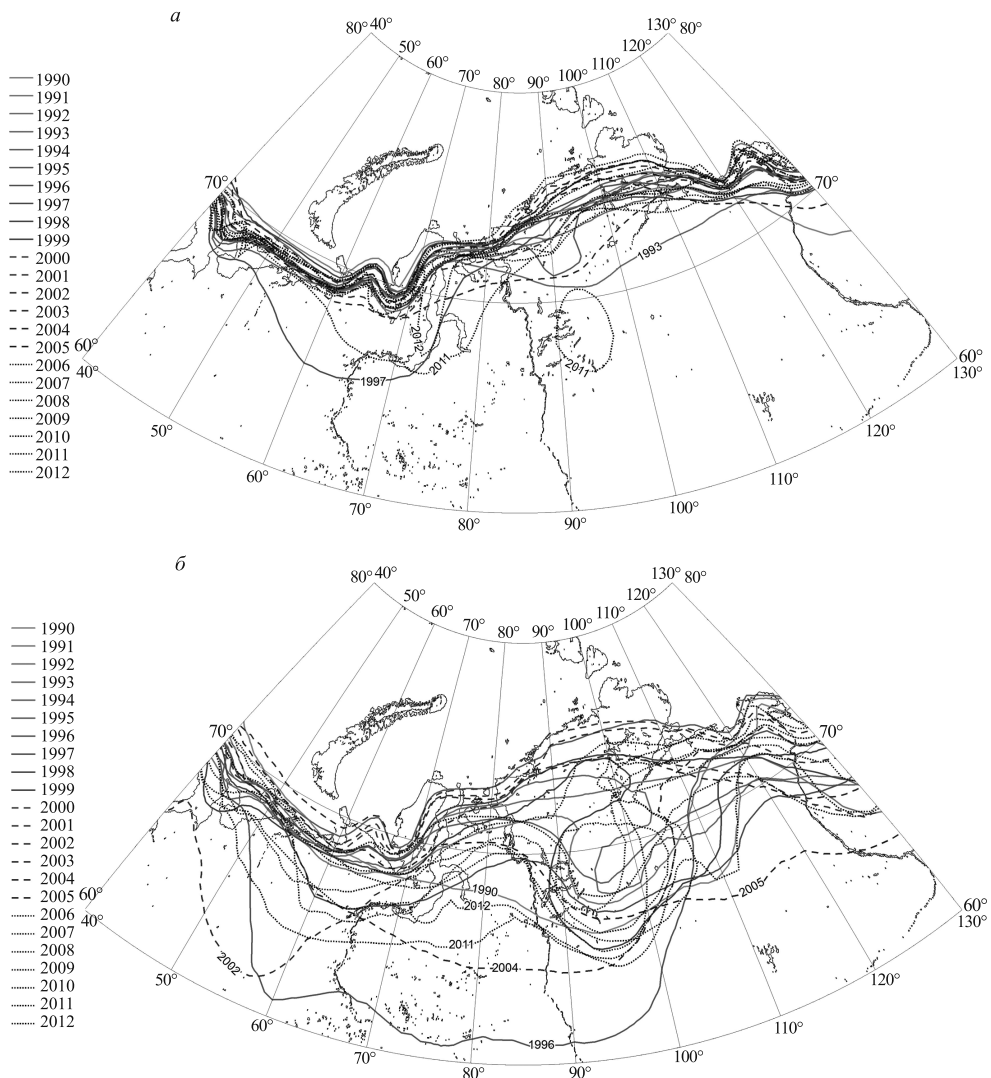


Рис. 5. Географическое положение изотермы  $10^{\circ}\text{C}$  в июле (а) и августе (б) и изотермы  $0^{\circ}\text{C}$  в сентябре (в) за период с 1990 по 2012 гг.



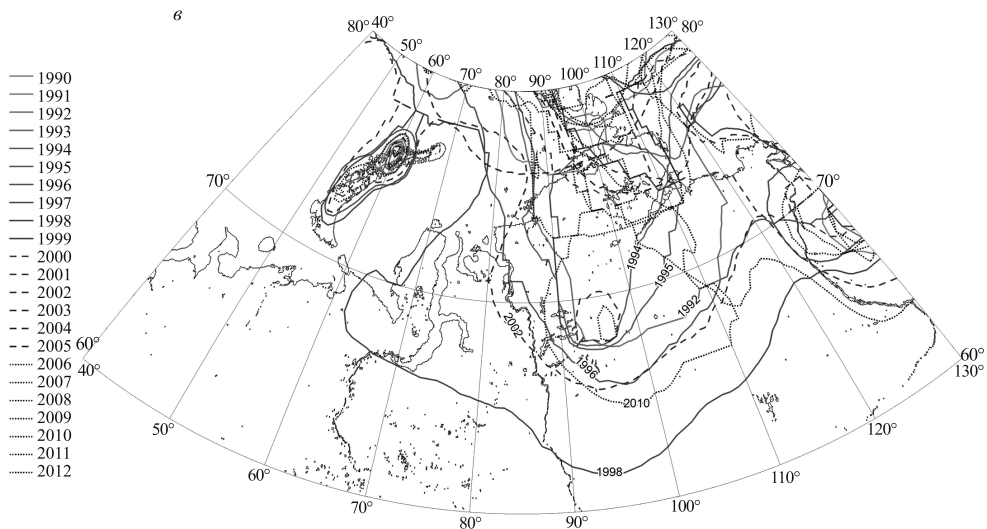


Рис. 5. Окончание

**Динамика растительного покрова и ее связь с климатическими изменениями.** Использование ДДЗ, в частности вегетационного индекса (NDVI), позволяет изучать изменения растительного покрова арктических и субарктических регионов [12, 13]. Исследования показали, что изменение ареалов таких типов растительного покрова, как кустарники тундры в Сибири и Канадской Арктике, положительно связано с летней температурой воздуха [13, 14, 15, 16]. Спутниковые данные подтвердили гипотезу, что кустарниковый тип растительного покрова ответственен за увеличение растительной биомассы Арктики и Субарктики в последние десятилетия [7, 13]. В свою очередь, динамика растительного покрова может являться индикатором влияния климата на наземные экосистемы.

Для оценки пространственных изменений растительного покрова и температурного режима в субарктической зоне России нами было выделено три района, в которых изменения климата происходят разнонаправленно: район «А», ограниченный 40 и 80° в. д.; район «Б», расположенный между 80° и 105° в. д.; и район «В», находящийся между 105 и 130° в. д.

Результаты классификации растительного покрова за период с 2001 по 2011 гг. представлены на рис. 6, который иллюстрирует изменчивость положения границ между различными типами растительного покрова от года к году. Основные изменения растительного покрова в арктических и субарктических районах Сибири происходят за счет изменения площади распространения кустарников вследствие изменения температурного режима. Поэтому первоочередное внимание следует обратить на динамику границы тех типов растительного покрова, которые выше были выделены нами как «кустарники». Следует сказать, что в связи с выраженной межгодовой и региональной изменчивостью температурного режима Северной полярной области (см. рис. 2–4) границы районов, занятых кустарниками, могут последовательно изменяться от года к году и в разных направлениях. Анализ карт, характеризующих динамику типов растительного покрова, позволил обозначить участки

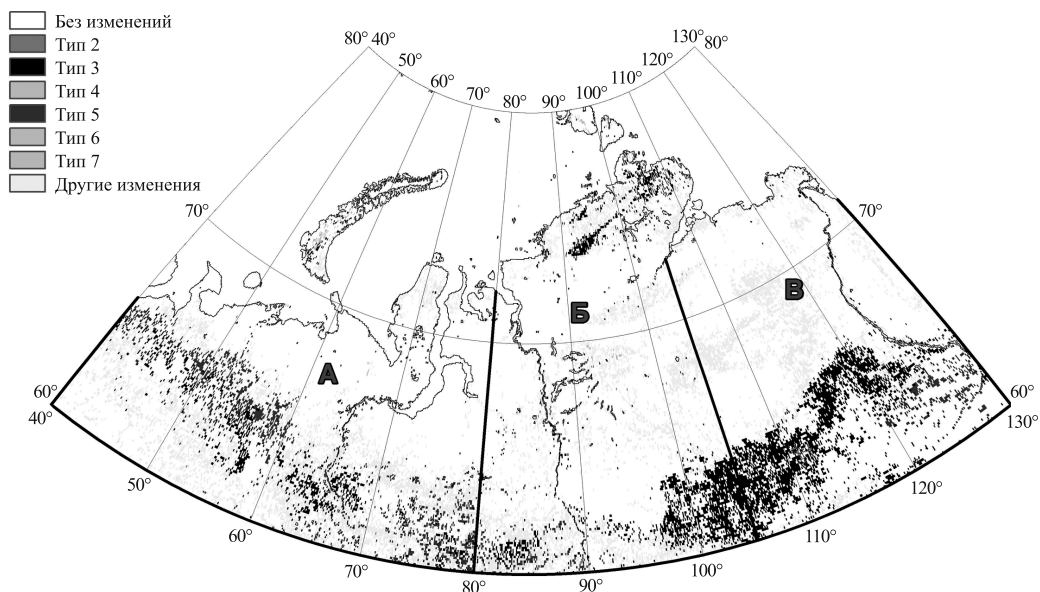


Рис. 6. Направление динамики растительного покрова за период с 2001 по 2011 гг. в районах «А», «Б» и «В». Обозначения типов в даны тексте

территории, в которых такие изменения произошли. Общей особенностью этих изменений является то, что они коснулись типов растительного покрова, расположенных на границе леса и тундры в субарктической зоне, а также в центре и на арктическом побережье полуострова Таймыр. Изменения на севере Таймыра связаны с типом преобразования «5» (см. раздел «Материалы и методика») — то есть со сменной тундровой травяной и кустарниковой растительности на снежный и ледовый покров (район «Б»). На южной границе субарктического региона (районы «Б» и «В») преобладал тип преобразования «2», т.е. смена кустарниковой растительности на лес. В районе «А» доминировал тип преобразования «4», который интерпретируется нами как смена лесного и кустарникового типа растительности на кустарниковый и травяной покров соответственно.

**Выводы.** Анализ исследованных данных позволяет выделить в Северной полярной области России 3 крупных региона (А, Б и В), в которых климатические изменения, наблюдаемые в первом десятилетии XXI в., подтверждаются изменениями, в основном происходящими в растительном покрове лесотундры.

1. В районе «А» происходило небольшое понижение как среднегодовых, так и среднемесячных, августовских температур воздуха. Наблюдался умеренный рост накопленных сумм аномалий температуры воздуха и сохранение географического положения как июльской и августовской изотермы 10°C, так и сентябрьской изотермы 0°C. В соответствии с отмеченными климатическими особенностями в районе «А» наблюдалось незначительное отступление на юг границы лесотундры и уменьшение площади, занятой кустарниками (в соответствии с классификационной схемой «IGBP»).

2. В районе «Б» происходило самое сильное из всех трех регионов понижение августовской температуры воздуха, хотя и отсутствовал значимый тренд среднегодовых температур за счет компенсационного роста среднемесячных температур

воздуха в другие сезоны года. Рост накопленных среднегодовых и августовских сумм аномалий температуры в районе «Б» происходил в основном за счет повышения температуры воздуха в зимний период 2011–2012 гг. В летний период в районе «Б» наблюдается похолодание, связанное со смещением июльской изотермы 10°C практически на 1000 км на юг. При этом сентябрьская изотерма 0°C в этом районе столь же значительно сместилась на север, что, в свою очередь, вызвало удлинение вегетационного периода. В связи с летним похолоданием произошло отступление на юг границы лесотундры (кустарникового покрова) и тундры (травяного покрова) в северной части Таймырского полуострова. Одновременно в юго-восточной части района «Б» наблюдалась обратная картина — увеличение площади лесов и кустарников и продвижение их на север, что возможно связано с удлинением теплого периода года в субарктических районах.

3. В районе «В» с 1985 по 2012 гг. происходило устойчивое повышение температуры воздуха. Накопление среднегодовых аномалий температуры было не столь значительно, как в более западных районах. Основное потепление наблюдалось за счет повышения летних температур воздуха. Суммы аномалий среднемесячных температур непрерывно росли в течение последних двенадцати лет. В этом районе произошло перемещение на север августовской изотермы 10°C и сентябрьской изотермы 0°C при практически неизменном положении июльской изотермы 10°C, что привело к улучшению вегетационных условий развития растительного покрова. В связи с перечисленными факторами на юге района «В» происходил сдвиг на север границы тайги и лесотундры (увеличение площади лесов и кустарников). Значительных изменений растительного покрова в центральной части района «В» не отмечено. Рост летней температуры воздуха в районе «В», в свою очередь, мог привести к увеличению повторяемости лесных пожаров. В последнее десятилетие XX в. здесь отмечались самые большие площади возгораний, которые привели к значительному уменьшению площади тайги [16]. Увеличение площади лесного покрова в южной части района «В» могло замедлиться именно по этой причине.

Климатические изменения в арктических и субарктических районах Евразии происходят неравномерно в разных их частях. Основное потепление отмечено на территории восточнее Таймыра. На западе Субарктики от Белого моря до Таймыра наблюдалось похолодание, особенно проявившееся на Таймырском полуострове. Подтверждение этим климатическим изменениям обнаруживаются в соответствующей динамике растительного покрова.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00858 а.

## Литература

1. IPCC Briefing on the Fourth Assessment Report with emphasis on its synthesis report. 2007 [http://unfccc.int/meetings/cop\\_13/items/4189.php](http://unfccc.int/meetings/cop_13/items/4189.php) (дата обращения 19.03.2014).
2. Анохин Ю. А., Величко А. А., Демченко П. Ф. Россия в условиях глобальных изменений окружающей среды и климата / отв. ред. С. А. Пегов. М.: ИСА РАН, 1993. 49 с.
3. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. № 4. 2004. С. 50–66.
4. Kattsov V.M. Arctic climate in the 21st century: Modelling and scenarios. Vulnerability to global environmental change // A summary of climate change impact assessments from the U.S. Country Studies Program. Cambridge University Press, 2004. P.99–150.
5. Ecosystem feedbacks and cascade processes: understanding their role in the responses of Arctic and alpine ecosystems to environmental change / Wookey P. A., Aerts R., Bardgett R. D., Baptist F., Brathen K. A.,

Cornelissen J. H. C., Gough L., Hartley I. P., Hopkins D. W., Lavorel S., Shaver G. R. // *Global Change Biology*. Vol. 15. 2009. P. 1153–1172.

6. The NCEP/NCAR 40Year Reanalysis Project / Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. // *Bulletin of The American Meteorological Society*. Vol. 77, N 3. 1996. P. 437–470. doi: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TN YRP>2.0.CO;2.

7. Hansen M. C., DeFries R. S., Townshend J. R. G., Sohlberg R. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach // *International Journal of Remote Sensing*. N 21. 2000. P. 1331–1364.

8. Forbes B. C., Fauria M. M., Zetterberg P. Russian Arctic warming and «greening» are closely tracked by tundra shrub willows // *Global Change Biol.* N 16. 2010. P. 1542–1554.

9. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results / Friedl M. A., McIver D. K., Hodges J. C. F., Zhang X. Y., Muchoney D., Strahler A. H., Woodcock C. E., Gopal S., Schneider A., Cooper A., Baccini A., Gao F., Schaaf C. // *Remote Sensing of Environment*. N 83. 2002. P. 287–302.

10. Bonan G. B., Levis S., Kergoat L., Oleson K. W. Landscapes as patches of plant functional types: an integrating concept for climate and ecosystem models // *Global Biogeochemical Cycles* 16 (2). 1021. 2002. doi:10.1029/2000GB001360.

11. Krankina O. N., Pflugmacher D., Hayes D. J., McGuire A. D., Hansen M. C., Hame T., Elsakov V., Nelson P. Vegetation Cover in the Eurasian Arctic: distribution, monitoring, and role in carbon cycling. Chapter 5. Eurasian arctic land cover and land use in a changing climate. Springer, 1st edition. 2010. P. 7908.

12. Goetz S. J., Mack M. C., Gurney K. P., Randerson J. T., Houghton R. A. Ecosystem responses to recent climate change and fire disturbance at northern high latitudes: observations and model results contrasting northern Eurasia and North America // *Environ. Res. Lett.* N 2, 045031 (9pp). 2007. doi:10.1088/1748-9326/2/4/045031.

13. Jia G. J., Epstein H. E., Walker D. A. Vegetation greening in the Canadian Arctic related to decadal warming // *J. Environ. Monitoring*. N 11. 2009. P. 2231–2238.

14. Jia G. J., Epstein H. E., Walker D. A. Spatial heterogeneity of tundra vegetation response to recent temperature changes // *Global Change Biology*. N 12. 2006. P. 42–55.

15. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems / Stow D. A., Hopea A., McGuire D., Verbylac D., Gamond J., Huemmliche F., Houston S., Racinef C., Sturmg M., Tapeh K., Hinzman L., Yoshikawai K., Tweedie J. C., Noylek B., Silapaswanl C., Douglasm D., Griffithn B., Jiao G., Epsteino H., Walker D., Daeschnera S., Petersena A., Zhouq L., Myneni R. // *Remote Sensing of Environment*. N 89. 2004. P. 281–308.

16. Plant community responses to experimental warming across the tundra biome / Walker M. D., Wahren C. H., Hollister R. D., Henry G. H. R., Ahlquist L. E., Alatalo J. M., Bret-Harte M. S., Calef M. P., Callaghan T. V., Carroll A. B. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. № 103(5). 2006. P. 1342–1346.

Статья поступила в редакцию 1 апреля 2014 г.

#### Контактная информация:

Бобков Андрей Анатольевич — доцент; [abk-437@yandex.ru](mailto:abk-437@yandex.ru)

Паниди Евгений Александрович — старший преподаватель; [panidi@yandex.ru](mailto:panidi@yandex.ru)

Цепелев Валерий Юрьевич — заместитель руководителя; [v0010200@mail.ru](mailto:v0010200@mail.ru)

Bobkov A. A. — Associate Professor, [abk-437@yandex.ru](mailto:abk-437@yandex.ru)

Panidi E. A. — Senior Lecturer; [panidi@yandex.ru](mailto:panidi@yandex.ru)

Tsepelev V. Yu. — Deputy Head; [v0010200@mail.ru](mailto:v0010200@mail.ru)