

## **Динамика увлажнения и теплообеспеченности в переходных ландшафтных зонах по спутниковым и метеорологическим данным в начале XXI века**

**В.В. Виноградова, Т.Б. Титкова, Е.А. Черенкова**

*Институт географии РАН, Москва, 119017, Россия  
E-mail: vvvinog@yandex.ru*

Анализируются изменения условий тепло- и влагообеспеченности в переходных природных ландшафтах, где тепло и влага являются лимитирующими факторами существования растительности (в зонах лесотундры, лесостепи и широколиственных лесов) на Европейской территории России и в Западной Сибири в начале XXI века, в связи с положением климатических фронтов. Для оценки изменения теплообеспеченности используется сумма активных температур (температур воздуха выше +10°C). Динамика увлажнения оценивается на основании спутникового индекса климатических экстремумов (SCEI) и гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК). Выявленные закономерности потепления и увеличения повторяемости засух от начала к концу десятилетия в подзонах лесостепи и широколиственных лесов, связанные с изменением положения полярного фронта, показывают тенденции изменения потенциальной растительности на этой территории. Рост суммы активных температур и слабые колебания увлажнения, обусловленные квазистационарностью арктического фронта в лесотундровой зоне будут способствовать продвижению бореальных лесов на север.

**Ключевые слова:** сумма активных температур, спутниковый индекс климатических экстремумов (SCEI), гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), ландшафт, арктический фронт, полярный фронт.

### **Введение**

Выявленное потепление климата в большинстве регионов земного шара приводит к изменениям в составе, структуре и функционировании растительных экосистем, особенно в умеренной, субарктической и арктической зонах (Climate Change, 2002). В связи с этим в настоящее время большое внимание уделяется возможному смещению границ растительных сообществ. Изменения наиболее вероятны в тех районах, где тепло и влага являются лимитирующими факторами существования растительности (Эколого-географические, 2011). В работе анализируются изменения условий тепло- и влагообеспеченности в переходных природных ландшафтах, а именно, в зонах лесотундры и лесостепи, а также в подзоне широколиственных лесов на Европейской территории России и в Западной Сибири в начале XXI века, в связи с положением климатических фронтов.

### **Материалы и методика**

Для анализа изменений условий тепло- и влагообеспеченности в ландшафтных зонах лесотундры и лесостепи, а также в подзоне широколиственных лесов на Европейской территории России и в Западной Сибири были использованы данные метеорологических наблюдений за 2000–2012 гг., среднемноголетние значения метеорологических параметров за 1961–1990 гг. и спутниковые значения NDVI, альбедо, температуры поверхности.

Исследование проводилось для лесотундровой ландшафтной зоны на Европейском Севере (65–70° с.ш., 30–65° в.д.) и на Севере Западной Сибири (65–70° с.ш., 65–90° в.д.), а также

для лесостепной зоны и подзоны широколиственных лесов на Европейской территории России (52–54° с.ш., 30–60° в.д.) и лесостепной зоны в Западной Сибири (54–56° с.ш., 60–90° в.д.).

Для оценки изменения теплообеспеченности использовалась сумма активных температур (температур воздуха выше +10 °С), которая считается одной из основных характеристик продолжительности вегетационного периода для растений. Сумма активных температур рассчитывалась как сумма среднесуточных температур за те дни, когда она превышала установленный порог +10 °С. Суммы активных температур были рассчитаны по данным метеорологической сети климатического архива ВНИИГМИ-МЦД для среднемноголетних значений (1961–1990 гг. – период, рекомендованный ВМО) и для периода современного потепления (2000–2012 гг.), а также определялось изменение суммы активных температур во второй период по сравнению с первым. По результатам расчетов были построены соответствующие карты.

Динамика увлажнения оценивалась при помощи спутникового индекса климатических экстремумов (Satellite Climatic Extremes Index, SCEI), который представляет собой сумму отклонений от многолетнего среднего NDVI, альбедо, температуры поверхности, нормированных на среднеквадратическое отклонение и гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК).

Спутниковый индекс климатических экстремумов (SCEI) используется для детектирования засух и переувлажнения после обильных осадков. Он представляет собой сумму отклонений от многолетнего среднего индекса влажности почвы, NDVI, альбедо, температуры поверхности, нормированных на среднеквадратическое отклонение. Из-за неполноты данных о влажности почвы в работе использовался индекс в сокращенном виде (Золотокрылин, Титкова, 2011; 2012):

$$SCEI_i = -(\Delta A_i / \sigma A + \Delta T_{si} / \sigma T_s) + (\Delta NDVI_i / \sigma NDVI),$$

где  $\Delta A_i$  – аномалия альбедо за  $i$  год;  $\sigma A$  – среднеквадратическое значение альбедо за базовый период (в данной работе базовый период был принят 2000–2013 гг.);  $\Delta T_{si}$  – аномалия температуры поверхности за  $i$  год;  $\sigma T_s$  – среднеквадратическое значение температуры поверхности за базовый период;  $\Delta NDVI_i$  – аномалия NDVI за  $i$  год;  $\sigma NDVI$  – среднеквадратическое значение NDVI за базовый период.

Значения, полученные по формуле, нормировались на их среднеквадратическое отклонение относительно базового периода (2000–2013), чтобы исключить незначимые («шумовые») значения индекса, т.е. значения, лежащие в диапазоне среднеквадратического отклонения. Анализировались значения индекса менее –1 (засуха), менее –2 (сильная засуха), более 1 (переувлажнение) и более 2 (сильное переувлажнение).

Во время засухи возникает отрицательная аномалия влажности почвы, и растения начинают испытывать недостаток влаги. Из-за изменения физиологических процессов цвет ассимиляционных органов меняется в сторону пожелтения. Возникает отрицательная аномалия NDVI, вызывающая положительную аномалию альбедо поверхности. Энергия, которая раньше тратилась на транспирацию и испарение почвы, расходуется на турбулентный прогрев воздуха и почвы. В результате формируется положительная аномалия температуры

поверхности и воздуха. Таким образом, засуху можно выразить через индекс, который является отрицательной функцией аномалий биофизических параметров.

В период, когда осадки и влажность почвы выше среднееголетних значений, характерны положительные аномалии влажности почвы, NDVI и отрицательные аномалии альбедо и температуры поверхности. В этом случае индекс как функция аномалий биофизических параметров становится положительным (Золотокрылин, Титкова, 2011; 2012).

Для расчета индекса SCEI использовались данные NDVI, альбедо, температуры поверхности ([https://lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table](https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table)), центра LP DAAC NASA: LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER. Все параметры имеют разрешение  $0,05 \times 0,05^\circ$  (в среднем  $5600 \times 5600$  м). Анализировались данные за сроки: 9 – 25 мая, 26 мая – 9 июня, 10 – 25 июня, 26 июня – 11 июля, 12 – 27 июля, 28 июля – 12 августа, 13 – 28 августа для периода 2000–2013 гг.

Для альбедо 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 модели 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-ми дневным срокам вычислялось среднее за период 16 дней, идентичным периодам для альбедо и NDVI.

На основании ранее проведенных исследований с использованием индекса вегетационных условий VCI (Золотокрылин, Виноградова, 2010) были выбраны два контрастных по степени увлажнения периода начала XXI века. Период 2000–2006 гг. можно характеризовать как переходный от более влажного конца XX века (1987–1999 гг.) к засушливому периоду 2007–2012 гг. По рассчитанным значениям индекса SCEI были построены карты для выбранных периодов и карты изменения индекса SCEI в 2007–2012 гг. по сравнению с 2000–2006 гг. Также была проведена оценка площадей территорий, подверженных засухе и увлажнению в начале XXI века, и соотношения этих площадей на Европейской территории России и в Западной Сибири.

Вторым показателем для оценки увлажнения был гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) – показатель увлажнённости территории, установленный климатологом Г.Т. Селяниновым. Гидротермический коэффициент характеризует засуху с точки зрения соотношения тепла и влаги и определяется как:

$$\text{ГТК} = R \times 10 / \Sigma t,$$

где  $R$  – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше  $+10^\circ\text{C}$ ,  $\Sigma t$  – сумма температур в градусах за то же период. По Селянинову, северная граница степной полосы на всем пространстве ЕТР хорошо совпадает с изолинией ГТК = 1, а северная граница полупустыни – с изолинией ГТК = 0,5. Для Москвы ГТК = 1,4 (Селянинов, 1928).

Исследование ГТК проводилось на основе климатического архива ВНИИГМИ-МЦД суточных данных температур воздуха и сумм осадков (<http://www.meteo.ru>).

По результатам расчетов ГТК были построены карты для периодов 2000–2006 гг., 2007–2012 гг. и карты изменения этого индекса во второй период по сравнению с первым.

## Основные результаты и их обсуждение

### *Оценка теплообеспеченности*

В начале XXI века на всей территории отмечается рост суммы активных температур. В этот период в лесотундровой зоне суммы активных температур достигают 800°–1000 °С, что больше соответствует зоне северной тайги. Таким образом, рост суммы активных температур в начале XXI века по сравнению со среднемноголетними условиями достигает 50–100 °С на Европейской территории и 100–150 °С – в Западной Сибири (*рис. 1*). Максимальный рост отмечался на западе Кольского полуострова и в Западной Сибири.

В период современного потепления климата в лесостепной зоне и подзоне широколиственных лесов также наблюдается значительный рост суммы активных температур. Так, на ЕТР в 2000–2012 гг. значения достигли 2600–3000 °С в лесостепной зоне и 2200–2400 °С в подзоне широколиственных лесов. В лесостепных ландшафтах Западной Сибири сумма активных температур в настоящее время составляет более 2200 °С. Таким образом, рост суммы активных температур для лесостепной зоны и подзоны широколиственных лесов на ЕТР достигает 250–350 °С, а для Западной Сибири – 150–200 °С (*рис. 1*). Зона максимального роста суммы активных температур расположена на Европейской территории в районе 52–53° с.ш. и, по-видимому, связана со смещением на север климатического полярного фронта (Виноградова, 2014; Золотокрылин и др., 2011).

### *Оценка влагообеспеченности*

В начале XXI века в лесотундровой зоне по индексу SCEI преобладают нейтральные условия или слабое увлажнение. 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 увлажненных территорий над менее увлажненными.

На *рис. 2* представлен индекс MD, показывающий соотношение увлажненных и засушливых площадей:

$$MD = S_{\text{увл.}} - S_{\text{сух.}}$$

Здесь  $S_{\text{увл.}}$  – суммарная площадь территорий с влажными условиями, а  $S_{\text{сух.}}$  – суммарная площадь территорий с засушливыми условиями.



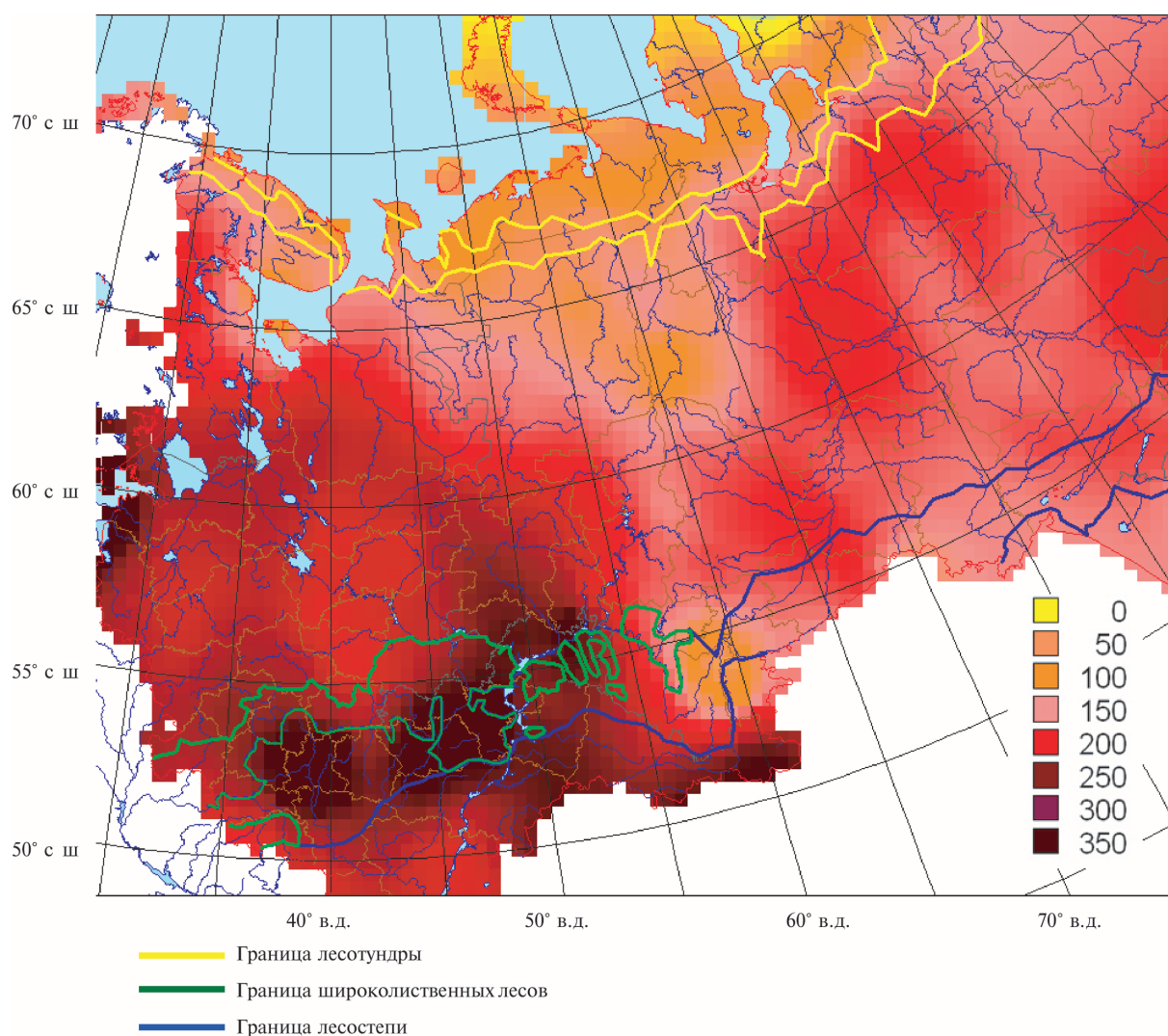


Рис. 1. Изменение суммы активных температур для периода 2000–2012 гг. по сравнению со среднемноголетними условиями 1961–1990 гг.

Оценка площадей засушливых и переувлажненных территорий по индексу SCEI для лесотундровой зоны на Европейской территории (65–70° с.ш., 30–65° в.д.) показывает тенденцию сокращения площадей с переувлажнением и сильным переувлажнением от начала к концу периода. При этом площадь засушливых территории тоже немного сокращается (рис. 2а). Это привело к увеличению площадей с нормальным увлажнением на Европейском Севере.

На территории Западной Сибири (65–70° с.ш., 65–90° в.д.) также можно отметить слабые изменения площадей засушливых и увлажненных территорий. Но индекс MD показывает слабый рост площадей увлажненных территорий (рис. 2б).

Незначительные изменения увлажненности связаны с квазистационарностью вторичной ветви арктического фронта, расположенного в летний период над северо-западом Евразийского континента в районе 60–65° с.ш. (Золотокрылин и др., 2014). При этом небольшое увеличение увлажнения связано ростом циклонической активности в Арктике и Субарктике от эпизода похолодания (1948–1980 гг.) к современному потеплению (Золотокрылин и др., 2014).

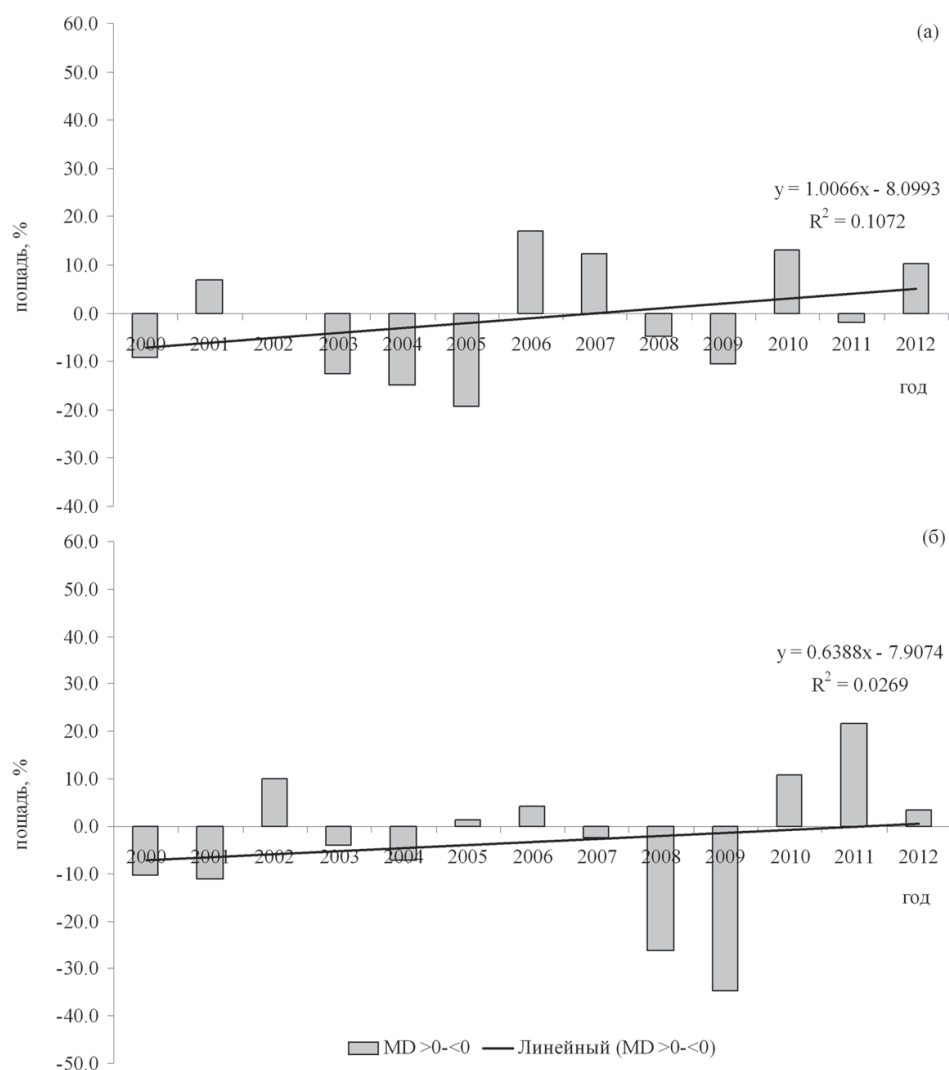


Рис. 2. Изменение соотношения площадей территорий с засухой и увлажнением по индексу SCEI: (а) на Европейском Севере (65–70° с.ш., 30–65° в.д.); (б) на севере Западной Сибири (65–70° с.ш., 65–90° в.д.)

Летом на Европейской территории в 2000–2006 гг. для лесостепной зоны характерно преобладание слабого увлажнения по индексу SCEI (значения от 0 до +0,5) (рис. 3а). Самыми засушливыми в этот период являются Пензенская область и республика Мордовия. В подзоне широколиственных лесов в этот период более засушливые условия складывались на западе – в Курской, Орловской и Тульской областях (значения SCEI порядка – 0,5). Площади увлажненных территорий превышали засушливые в лесостепной зоне на 15–20%.

Во второй половине рассматриваемого периода (2007–2012 гг.) происходит значительное увеличение засушливости территории, проявляющееся в сокращении площадей переувлажненных территорий и расширении территорий, подверженных засухе и сильной засухе. Практически вся зона лесостепи в летний период становится засушливой. Индекс SCEI достигает значений от -1 до -1,5, т.е. засуха преобладает практически на всей территории за исключением Пензенской области и Мордовии, которые были самыми засушливыми в предыдущий период. В подзоне широколиственных лесов можно отметить увеличение ув-

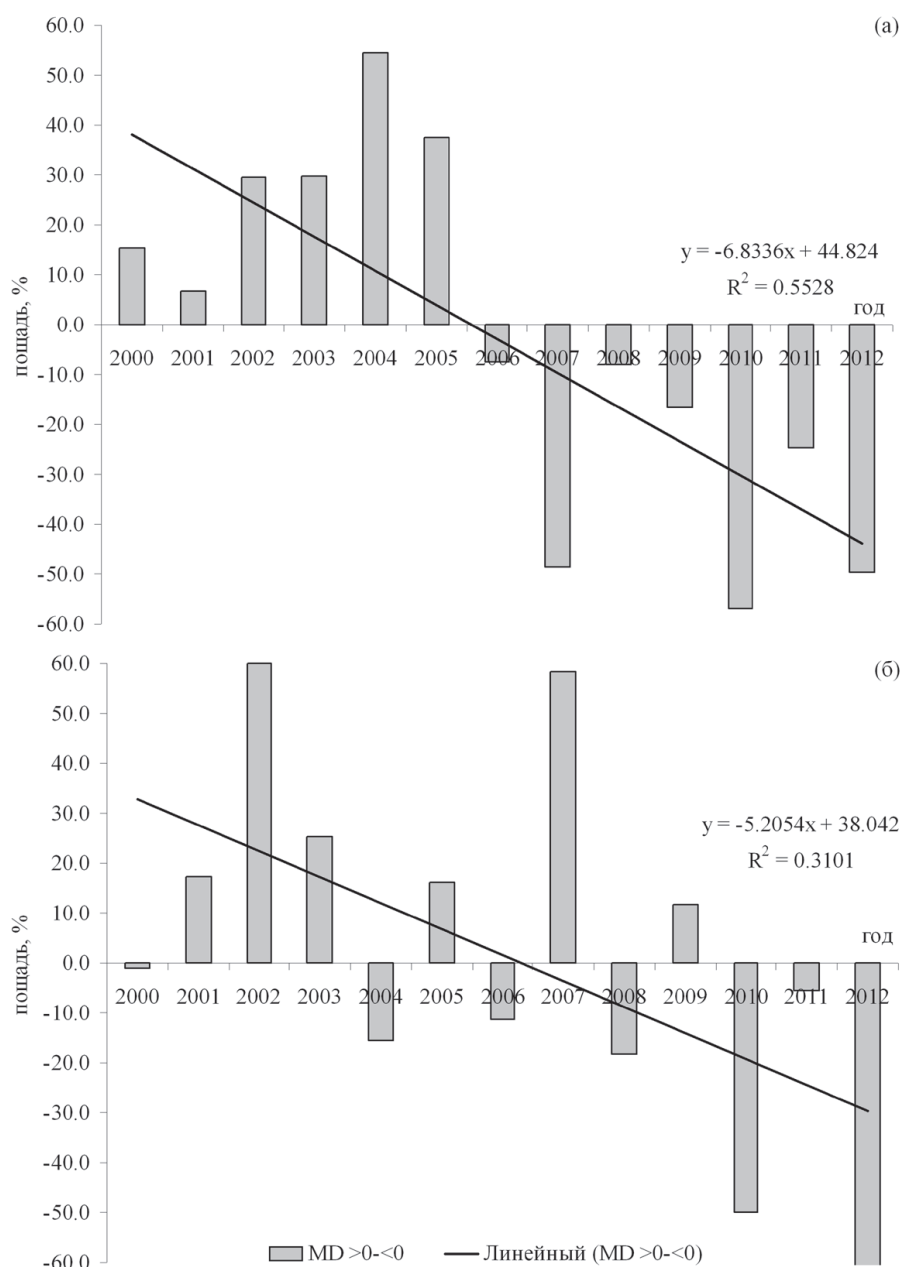


Рис. 3. Изменение соотношения площадей территорий с засухой и увлажнением в лесостепной зоне по индексу SCEI (а) на Европейской территории (52–54° с.ш., 30–60° в.д.); (б) в Западной Сибири (54–56° с.ш., 60–90° в.д.)

лажнения на западе – в районе Тульской и Калужской областей – и рост засушливости на остальной территории, особенно на юге.

Оценка соотношения площадей увлажненных территорий и территорий, подверженных засухе по индексу SCEI показывает, что от начала к концу периода происходило значительное сокращение увлажненных территорий и увеличение территорий с засухой и сильной засухой, особенно в конце периода (2010–2012 гг.). Соотношение площадей с засухой и переувлажнением (индекс MD) показывает, что в начале периода (до 2005 г.) преобладали увлажненные территории, а с 2006 г. наблюдается рост площадей территорий, подверженных засухе (рис. 3а).

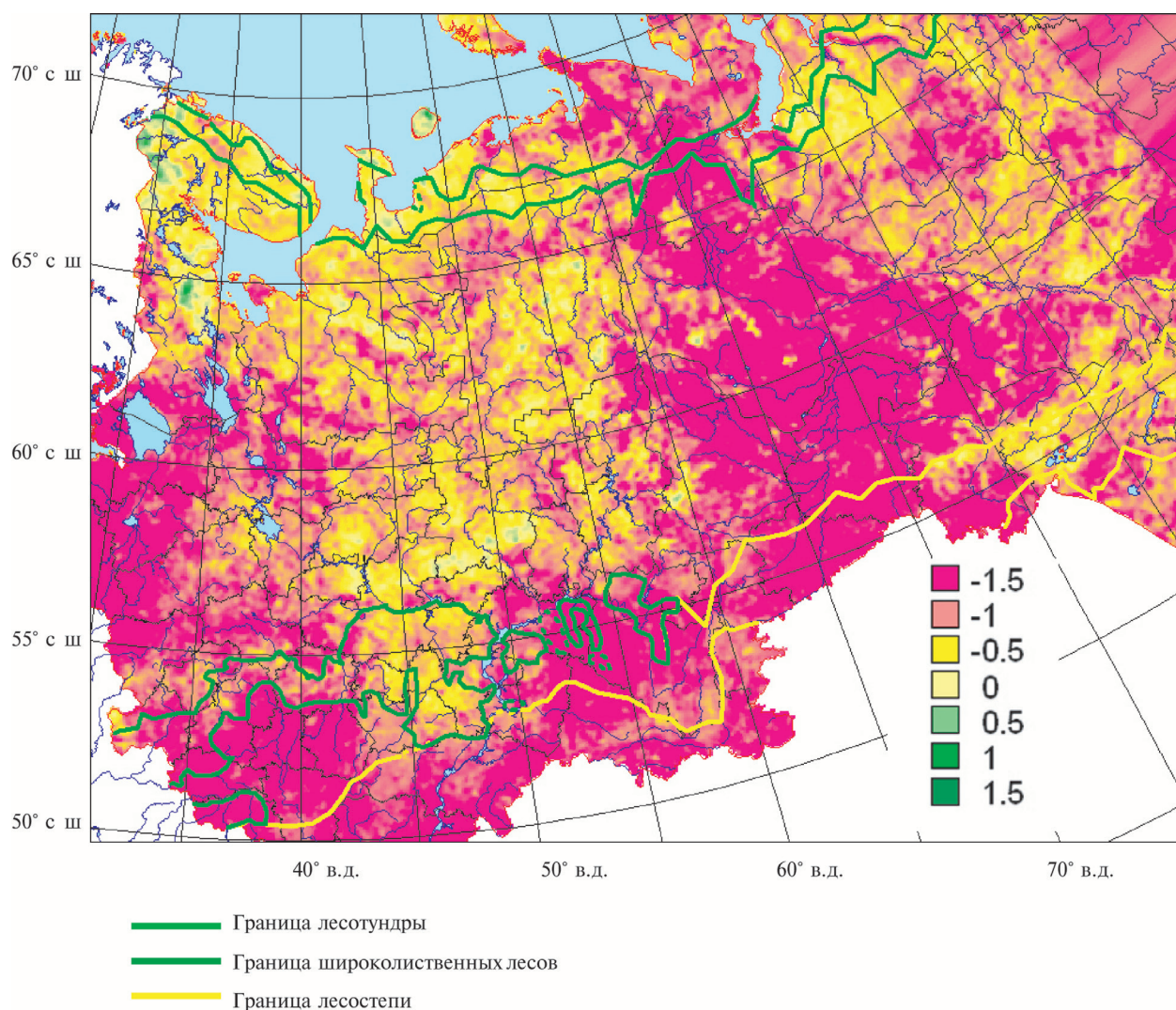


Рис. 4. Изменение спутникового индекса климатических экстремумов (SCEI) в 2007–2012 гг. по сравнению с 2000–2006 гг.

В сезонном ходе можно отметить, что засушливые условия преобладали в начале вегетационного сезона (в мае – начале июня), т.е. имела место весенняя засуха, которая особенно опасна для травянистых растений и сельскохозяйственных культур.

На территории Западной Сибири в 2000–2006 гг. в лесостепной зоне наблюдалось слабое увлажнение, а в Курганской области и на самом юге Тюменской области – сильное увлажнение (рис. 3б). Во второй период (2007–2012 гг.), как и на Европейской территории, преобладают засушливые условия по индексу SCEI (значения от -1 до -1,5). Индекс MD показывает увеличение доли засушливых земель от начала к концу периода. Но можно отметить, что в 2000–2003 гг. преобладала доля увлажненных территорий. В 2002 г. разница площадей увлажненных и засушливых территорий достигала 60%. Но, начиная с 2004 г., засушливые годы чередовались с переувлажненными, с тенденцией увеличения площади засушливых площадей. В 2012 г. разница между засушливыми и увлажненными территориями достигла 65% (рис. 3б).

Таким образом, во всей лесостепной зоне и подзоне широколиственных лесов в начале XXI века наблюдался устойчивый рост засушливости от начала к концу периода (рис. 4).



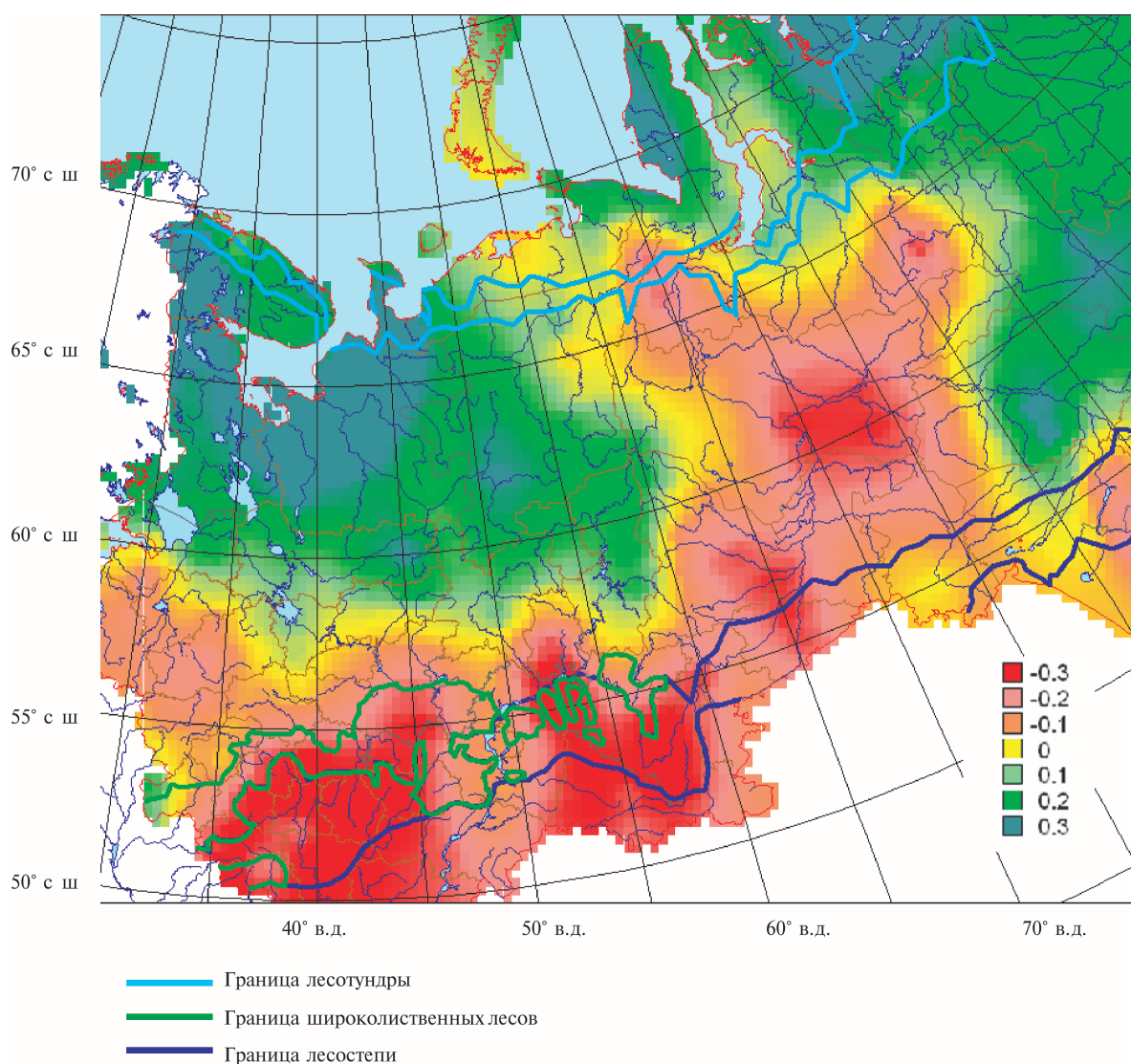


Рис. 5. Изменение Гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) в 2007–2012 гг. по сравнению с 2000–2006 гг.

Выявленные закономерности динамики увлажнения по индексу SCEI в значительной степени подтверждаются рассчитанным для этого же периода Гидротермическим коэффициентом Селянинова (ГТК). Это особенно хорошо заметно на территории лесостепной зоны. На картах, построенных для двух рассмотренных ранее периодов – 2000–2006 гг. и 2007–2012 гг., хорошо виден рост засушливости во второй период по сравнению с первым (рис. 5). Так, значения ГТК = 1, отмечавшиеся на южной границе лесостепной зоны и соответствующие границе степи, во второй период соответствуют северной границе этой зоны на ЕТР и наблюдаются вблизи этой границы – в Западной Сибири.

На южной границе лесостепной зоны на Европейской территории во второй период значения ГТК составляют 0,5–0,6, что больше характерно для зоны полупустынь. На большей части подзоны широколиственных лесов во второй период отмечались значения ГТК 0,9–1,1, которые больше соответствуют лесостепной зоне.

Таким образом, в 2007–2012 гг. на всей территории лесостепной зоны и подзоны широколиственных лесов наблюдался рост засушливости со снижением ГТК на 0,2–0,3,

что вместе с ростом суммы активных температур будет способствовать остепнению лесостепной зоны и подзоны широколиственных лесов при сохранении этих тенденции в будущем.

В лесотундровой зоне в начале XXI века наблюдалось достаточное увлажнение, соответствующее ГТК около 1,2–1,3. Во второй период отмечался небольшой рост увлажнения на западе и уменьшение – в Предуралье. Но изменения были довольно слабые и находились в пределах зоны увлажнения.

## Выводы

Использование спутникового индекса климатических экстремумов (SCEI) позволило выявить тренды засушливости и увлажнения в переходных ландшафтных зонах. Выявленные закономерности по индексу SCEI и Гидротермическому коэффициенту Селянинова (ГТК) дают сопоставимые результаты.

В лесостепной зоне и подзоне широколиственных лесов в начале XXI века наблюдается увеличение засушливости, особенно в период 2007–2012 гг. Происходит сокращение площади переувлажненных территорий и расширение территорий подверженных засухе и сильной засухе. В лесотундровой зоне в начале XXI века изменения увлажнения не столь значительны и связаны с преобладанием увлажненных территорий над засушливыми.

На всей территории в начале XXI века отмечается рост суммы активных температур (выше  $+10^{\circ}\text{C}$ ). В лесостепной зоне на ЕТР – на  $250\text{--}350^{\circ}\text{C}$ , а в Западной Сибири – на  $150\text{--}200^{\circ}\text{C}$ . В лесотундровой зоне сумма активных температур увеличилась на  $50\text{--}100^{\circ}\text{C}$  в Европейской части и на  $100\text{--}150^{\circ}\text{C}$  за Уралом. Таким образом, наибольшее потепление на ЕТР произошло в лесостепной зоне, а в Западной Сибири – в лесотундровой.

Выявленные изменения тепло- и влагообеспеченности в переходных ландшафтных зонах позволяют предположить наметившиеся тенденции изменения растительности. Рост суммы активных температур при стабильном увлажнении в лесотундровой зоне будет способствовать продвижению бореальных лесов на север. А увеличение суммы активных температур на фоне уменьшения увлажнения в лесостепной зоне и подзоне широколиственных лесов будет способствовать уменьшению лесной растительности и остепнению этих регионов, особенно в Европейской части России.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект №13-05-00031).

## Литература

1. *Виноградова В.В.* Волны тепла на Европейской территории России в начале XXI века // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 1. С. 47–55.
2. *Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В.* Исследование засухи на юго-востоке Европейской России в конце XX – начале XXI века по спутниковым данным. // ПЭММЭ 2010. Т. XXIII. С. 128–137.
3. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Новый подход к мониторингу очагов опустынивания // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 3(48). С. 14–22.



4. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. Спутниковый индекс климатических экстремумов засушливых земель // Аридные экосистемы. 2012 Т. 18. № 4(53). С. 5–12.
5. Золотокрылин А.Н., Михайлов А.Б., Титкова Т.Б. Полярный фронт и контрастность степной растительности Европейской России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М. 2011. Т. XXIV. С. 300–311.
6. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Михайлов А.Ю. Климатические вариации арктического фронта и ледовитости Баренцева моря зимой // Снег и лед. 2014.
7. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.
8. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. Под ред. Н.С. Касимова и А.В. Кислова. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.
9. Climate Change and Biodiversity. Ed. by H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson, D.J. Dokken. 2002. <http://www.ipcc.ch/pub/tpbiodiv.pdf> 86 p.

## Dynamics of moisture and heat fluxes in transitional landscape zones from satellite and meteorological data in the beginning of the XXI century

V.V. Vinogradova, T.B. Titkova, E.A. Cherenkova

*Institute of Geography RAS, Moscow, 119017, Russia*  
E-mail: [vvvinog@yandex.ru](mailto:vvvinog@yandex.ru)

The paper analyzes the changes in heat and moisture conditions of transitional natural landscapes, where heat and moisture are the limiting factors for the existence of vegetation (in forest-tundra, forest-steppe and broadleaf forests areas) in European Russia and Western Siberia in the early XXI century, in relation to climatic fronts. To assess changes in heat, the sum of active temperatures (air temperature above +10°C) is used. The dynamics of moisture is estimated based on the satellite index of climate extremes (SCEI) and hydrothermal Selyaninov coefficient (SCC). The revealed patterns of warming and increase in frequency of droughts over the first decade in the forest-steppe and broadleaf forests, associated with the position of the Polar front, indicate trends of vegetation change in the area. The increase of the sum of active temperatures and slight variation of moistening due to the quasi-stationarity of the Arctic front in the forest-tundra zone facilitate the advance of boreal forests to the north.

**Keywords:** sum of active temperatures, satellite index of climate extremes (SCEI), Selyaninov hydrothermal coefficient (SCC), the landscape, the Arctic front, Polar front.

### References

1. Vinogradova V.V. Volny tepla na Evropeiskoy territorii Rossii v nachale XXI veka (Heat waves in European Russia in the early twenty-first century), *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*, 2014, No. 1, pp. 47–55.
2. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V. Issledovanie zasukhi na uygo-vostoke Evropeiskoi Rossii v kontse XX – nachale XXI veka po sputnikovym dannym (Investigations of droughts in the south-east of European Russia in the end of XX – beginning of XXI century, using the satellite data) *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 2010. Vol. XXIII, pp. 128–137.
3. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. Novyi podkhod k monitoringu ochagov opustynivaniya (A new approach to monitoring centers of desertification) *Aridnye ekosistemy*, 2011, Vol. 17, No. 3(48), pp. 14–22.
4. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. Sputnikovyi Indeks Klimaticheskikh Ekstremumov zasushchivyykh zemel' (Satellite Climatic Extremes Index of dryland), *Aridnye ekosistemy*, 2012, Vol. 18, No. 4(53). pp.5–12.
5. Zolotokrylin A.N., Mikhailov A.Yu. Titkova T.B. Polyarnyi front i kontrastnost' stepnoi rastitel'nosti Evropeiskoi Rossii (Polar Front and contrast steppe vegetation of European Russia), *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 2011, Vol. 24, pp. 300–311.
6. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Mikhailov A.Yu. Klimaticheskie variatsii Arkticheskogo fronta i ledovitost' Barentseva morya zimoi (Climatic variations of the Arctic front and the Barents Sea ice cover in winter), *Sneg i led*, 2014.
7. Selyaninov G.T. O sel'skokhozyaistvennoi otsenke klimata (About agricultural climate assessment), *Trudy po sel'skokhozyaistvennoi meteorologii*, 1928, Vol. 20, pp. 165–177.
8. *Ekologo-geograficheskie posledstviya global'nogo potepleniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropeiskoi ravnine i v Zapadnoi Sibiri* (Ecological and geographical implications of global warming on the twenty-first century East European Plain and Western Siberia), Eds. Kasimov N.S. and Kislov A.V. Moscow: MAKSS Press, 2011, 496 p.
9. *Climate Change and Biodiversity*, Eds. H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson, D.J. Dokken, 2002, <http://www.ipcc.ch/pub/tpbiodiv.pdf>, 86 p.