Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 260–271

Межгодовые изменения индекса NDVI на территории европейского северо-востока России и западной Сибири в условиях климатических флуктуаций последних десятилетий

В.В. Елсаков [1], М.Ю. Телятников [2]

[1] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru
[2] Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия
E-mail: arct-alp@rambler.ru

Временные композиты NDVI спутниковых изображений Terra-MODIS периода съемки 2000–2009 гг. (периодичность 16 дней) были использованы для выявления интенсивности и направленности межгодовых изменений максимальных величин индекса NDVI на участках тундровой зоны двух территориально смежных регионов: Европейского северо-востока (ЕС-ВР) и Западной Сибири (ЗС). Фитоценозы ЕС-ВР характеризовались более высокими, чем на территории ЗС, показателями NDVI в пределах одних геоботанических зон. Показано, что в условиях климатических флуктуаций последних десятилетий растительный покров рассмотренных территорий сохраняет особенности широтной зональности и региональной специфичности. Формирование положительного тренда показателя на отдельных участках связано с периодом 2007–2008 гг. Значения вегетационного индекса в пределах фитоценозов ЕС-ВР в наибольшей степени испытали значимые положительные изменения (существенный рост индекса на 43,9% площади, снижение на 5,7%), чем в ЗС (18,7 и 20,2%, соответственно).

Ключевые слова: тренды изменений растительного покрова, Европейский северо-восток России, Западная Сибирь, климатические изменения, временные композиты MODIS.

Введение

Экосистемы, локализованные в пределах северо-востока Русской платформы и Западно-Сибирской плиты, имеют ряд общих особенностей, обусловленных сходством физико-географических условий, геолого-тектоническим строением и геологическим развитием (Баулин и др., 1981). Использование методов математического моделирования для оценки изменения криологической обстановки в выделенных смежных регионах в условиях потепления климата демонстрирует и высокую степень сходства интенсивности процесса деградации многолетнемерзлых пород (ММП) (Клименко и др., 2007). Вместе с тем среди основных причин, определяющих специфичность регионов, выделяют (Баулин и др., 1981) бóльшую океаничность климата ЕС-ВР, что сказывается на меньшей протяженности климатических и геокриологических зон. На смещение широтных границ важное влияние оказывают и охлаждающее влияние Обской губы (Раковская, Давыдова, 2001), Уральская горная система. Более морозный и континентальный климат ЗС оказывает влияние на сохранение в восточных регионах реликтовых ММП, в то время как в регионах ЕС-ВР условия для их сохранения относительно неблагоприятны и определяются, прежде всего, незначительной льдистостью субстратов, слагающих эти регионы (Баулин и др., 1981). Территория Печоро-Уральского региона в настоящее время рассматривается в качестве интенсивно меняющейся, в связи с изменениями климатических условий последних десятилетий, что определяется распространением высокотемпературных (до –3°С) и весьма динамичных многолетнемерзлых пород (Оберман, 2007).

Растительный покров территории, являясь основным звеном биоценоза, определяющим продуктивность экосистем, находится в тесной связи с физико-геогрфическими и климатическими условиями, и выступает в качестве одного из интегрирующих показателей, обладающих определенной инерцией, маркируя происходящие экосистемные изменения. Развитие систем спутникового мониторинга фитоценозов, особенно осуществляющих ежедневный прием данных на участки земной поверхности и их производных продуктов: AVHRR (1,1 км пространственного разрешения, период съемки 1981–2006 гг.), GIMMS (8 км, 1981–2006 гг.), SPOT-VGT (1 км, 1998–2011 гг.), MODIS (250 м, 2000–2013 гг.), существенно расширили возможности анализа особенностей регионального распределения фитомассы, динамики сезонного развития направленности и трендов межгодовых изменений количественных показателей растительного покрова. Современные наблюдения за изменениями арктического региона выполнены для Аляски по данным съемки NOAA-AVHRR (Jia, Epstein, 2003), бассейна р. Лена (Sakai et al., 2008), для Северной Америки с использованием GIMMS (Goetz et al., 2005; Forbes et al., 2010), Terra-MODIS (Blok et al., 2011). Результаты работ стали основой для выявления общих трендов изменений крупных территориальных массивов. Так, региональные оценки, выполненные по спектрозональным изображениям сенсора AVHRR за период 1981–2003 гг., показали, что для тундровых сообществ Северной Америки (порядка 723 тыс. км^2) 62,4% территории не обнаружили статистически значимого тренда изменений показателя запасов фотосинтетически активной фитомассы (Scott et al., 2005). Только 15,9% территории характеризовались положительным и 8,6% сильно положительным трендами изменений, а 2,7% характеризовались отрицательными значениями. Однако сопоставление результатов, полученных разными сенсорами для съемок, выполненных за одни временные периоды и для одних участков, показывает, что между ними наблюдается высокая временная и пространственная декорреляция.

Цель настоящей работы состояла в 1) сравнительном анализе особенностей распределения максимальных значений индекса $NDVI_{MAX}$ за вегетационный период на территории ЕС-ВР и ЗС для различных лет периода 2000–2009 гг. по материалам серий спутниковых съемок среднего пространственного разрешения MODIS; 2) исследовании общих трендов изменения индекса за указанный интервал времени и выделении участков изменений; 3) выявлении региональных особенностей межгодовых изменений $NDVI_{MAX}$ по усредненным характеристикам, полученным в пределах крупных территориальных массивов.

Материалы и методы

Временные композиты изображений NDVI сенсоров MODIS были составлены из максимальных значений, полученных для каждого года наблюдений ($NDVI_{MAX}$). Это позволило получить параметры, характеризующие наиболее полное развитие надземной фитомассы за вегетационный период отдельных лет, снизить ошибку, связанную со значительной долготной и широтной протяженностью территорий, приводящей к возможным различиям в наступлении фенологических фаз. Усредненные для всего периода наблюдений величины $NDVI_{MAX}$ стали основой для анализа особенностей широтно-долготного распределения

индекса в регионе. На основании составленных выборок рассчитывали тренды изменений индекса $NDVI_{MAX}$ за 10-летний период наблюдений (β) (интенсивность изменения NDVI год$^{-1}$). Показатель β был дифференцирован в соответствии с (Goetz et. al., 2005) в градации: высокие отрицательные изменения ($\beta \leq -0{,}006$), низкие отрицательные изменения ($-0{,}006 < \beta \leq -0{,}003$), несущественные изменения ($-0{,}003 < \beta \leq 0{,}003$), слабые положительные ($0{,}003 < \beta \leq 0{,}006$), высокие положительные ($0{,}006 < \beta$).

Анализ значений показателя и изменений выполнен в среднем по регионам и для отдельных участков, границы которых соответствовали размерам сцен Landsat. В качестве модельных были рассмотрены участки, охарактеризованные преимущественно положительными изменениями показателя: ЕС-ВР – о-в Колгуев (KOL), Югорский п-ов или Пай-Хой (PAI); ЗС: Западный Ямал (WYAM), север п-ва Таз (TAZ), бассейн р. Мессояха (MES), и отрицательными изменениями: северная часть Гыданского п-ва (GYD). Для всех выделенных участков рассчитывали межгодовые усредненные показатели в пределах выделенных границ ($NDVI_{MAX}$) и β.

Результаты

Максимальные величины показателя NDVI за вегетационный сезон ($NDVI_{MAX}$) приходятся на декады конца июля – начала августа и смещены во времени относительно сезонных температурных максимумов. К началу июля травянистые растения формируют в среднем порядка 53,2% запаса фитомассы от максимума, отмеченного в начале августа, листопадные кустарники и кустарнички – 65,0% (Андреев и др., 1978). Анализ средних величин $NDVI_{MAX}$, рассчитанных для всех лет наблюдений, показал, что распределение индекса на территории имеет выраженные широтные и региональные особенности, которые хорошо коррелируют с границами, выделенными при ландшафтно-геоботаническом районировании (Атлас Арктики, 1985) и разграничивающими отдельные мерзлотные зоны (*рис. 1А*). В отдельных работах (Базилевич, 1993) отмечено отсутствие резких различий в показателях продуктивности между соответствующими зональными растительными формациями сравниваемых территорий. На долю зеленых ассимилирующих органов, преимущественно составленную мхами (3/4), в пределах южных тундр ЕС-ВР и ЗС приходится 20–25% (подземные части 50–60%) при запасах фитомассы на вершинах водоразделов 7–13 т/га с увеличением на склонах до 20–25 т/га (Базилевич, 1993). Однако анализ спутниковых данных показал, что для тундр ЕС-ВР с «вялой, теплой» мерзлотой (Астахов, Свенсен, 2011) усредненное за все года наблюдений значение индекса $NDVI_{MAX}$ значимо выше, чем на территории Зауралья, и представлено для модельных участков в диапазоне варьирования средних значений 0,75 ± 0,03 (X ± SD) (PAI) и 0,71 ± 0,06 (KOL) (*табл. 1*). Для ЗС тундр той же формации значения показателя ниже и в среднем составляют 0,65 ± 0,07 (WYAM и TAZ), 0,64 ± 0,06 (MES), 0,61 ± 0,10 (GYD). По менее детальным данным съемки AVHRR регионы демонстрируют схожую зависимость: для Канинско-Печорской флористической провинции показатель оценен как 0,57 ± 0,04 (X ± SD), Ямало-Гыданской 0,47 ± 0,03 (Raynolds et al., 2006).

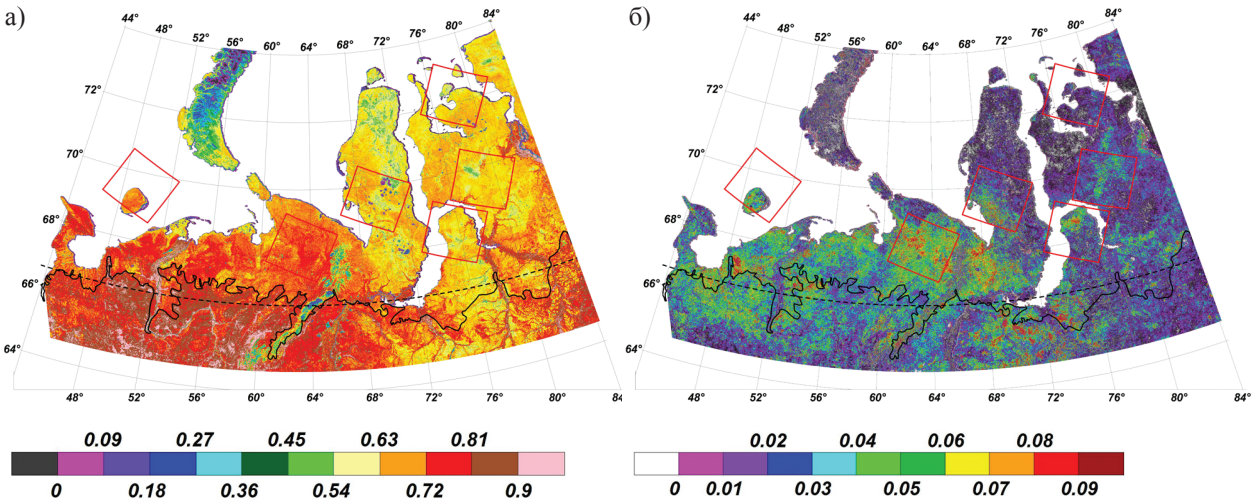

Рис. 1. Распределение значений усредненного индекса $NDVI_{MAX}$ на территории ЕС-ВР и ЗС за период 2000–2009 гг. (а) и тренды межгодовых изменений индекса (β) (б). Линией отмечена граница леса. Красными квадратами выделены модельные территории для сравнительного анализа межгодовых изменений. Данные обработки MODIS

Сопоставление полученных результатов с ранее выполненными наблюдениями за временными изменениями криогенных ландшафтов территории (Природная…, 2005) позволяет соотнести рост продуктивности фитоценозов на отдельных участках с увеличением глубины протаивания сезонно-талого слоя, ростом температуры верхней кровли многолетне-мерзлых пород, отмечаемым в последние десятилетия. Анализ межгодовых суммарных трендов изменений индекса показал, что для европейской части порядка 78,7% площади характеризуется положительными изменениями (ростом значений NDVI) различной интенсивности (β > 0) (*табл. 1*).

Таблица 1. Площади изменений (%) показателя NDVI (β) для рассмотренных регионов за 10-летний период (2000–2009 гг.).

Интервалы изменений	***ЕС-ВР***	***ЗС***
Высокие отрицательные (β ≤ –0,006)	1,5	6,3
Низкие отрицательные (–0,006 < β ≤ –0,003)	4,2	13,9
Несущественные (–0,003 < β ≤ 0,003)	50,3	61,1
Низкие положительные (0,003 < β ≤ 0,006)	32,3	13,9
Высокие положительные (0,006 < β)	11,6	4,8

Собственные аэровизуальные наблюдения и полевые исследования (2011, 2012 гг.), данные литературы (Sturm et al., 2001) показывают, что рост $NDVI_{MAX}$ на территории связан преимущественно с увеличением фитомассы кустарников (виды р. *Salix* и *Betula nana*). Для ЗС данный показатель ниже и составляет порядка 50%. Значимые положительные

изменения отмечены в Европейской части на 43,9% площади (0,003 < β) и только 5,7% территории характеризовалось значимыми отрицательными трендами. Для ЗС показатели смещены в сторону отрицательных изменений: 20,2% (положительные 18,7%). Положительные тренды изменений характерны лишь для отдельных участков, сконцентрированных в пределах территории локализованной в западной части Центрального Ямала (южнее Бованенковского НГКМ), северной оконечности п-ва Таз и бассейна р. Мессояха (Гыданский п-ов), что может выделять прежде всего интенсивно изменяющиеся геокриологические условия участков, связанные с деградацией неглубоко залегающих пластовых подземных льдов. В отдельных публикациях (Хомутов и др., 2012) отмечено, что на Центральном Ямале (междуречья рек Морды-Яха, Се-Яха и Надуй-Яха) пластовые льды занимают площади в десятки квадратных километров, распространены на всех геоморфологических уровнях от высоких морских равнин до поймы. Для Западного Ямала деградация пластовых льдов приводит к развитию опасных экзогенных природных процессов (криогенное пучение, морозобойное растрескивание поверхности, термокарст, термоэрозия, термоабразия, криогенные оползни) (Ермак, Слагода, 2012). Особенностью данной части Ямала является и более широкое (для данной широты и подзоны) распространение высоких (до 1,0–1,5 м) зарослей ив (*Salix lanata, S. glauca*) (Хитун и др., 2011). Авторы связывают данный рост с приуроченностью ивняков к древним оползневым циркам, деградация которых приводит к термоэрозии, выходу на поверхность засоленных пород и обогащению субстратов минеральными соединениями. В ходе многолетних (начиная с 1978 г.) инженерно-геокриологических исследований на Ямале и Западном Гыдане было установлено, что высокоствольные ивняки развиваются в типичной тундре благодаря совместному действию двух ведущих факторов: засоленности ММП и криогенного оползания. Ареал распространения ивняковых тундр совпадает с границей засоленных с поверхности морских отложений, а сами ивняки являются индикаторами древней оползневой активности (Украинцева, 2012).

Аномально высокий рост показателя NDVI подтвержден и анализом материалов эпизодической съемки Landsat (TM 4/5) для сравниваемых 31.07.1988 и 31.07.2009 на территории западной части п-ва Ямал в южной части Бованенковского ГКМ (Якубсон и др., 2012).

Изменчивость межгодовых значений $NDVI_{MAX}$ для большей части территории (коэффициент вариации, C_V) не превышала 10% (порядка 95% элементов изображения), причем изменчивость не выше 6% отмечена для 78% (ЗС) и 84% (ЕС-ВР) рассматриваемых территорий. Для теплых лет наблюдений, способствующих накоплению фитомассы, рост значений индекса не превышал 6% относительно средних величин на 44% (ЕС-ВР) и 37% (ЗС) территории. Высокий уровень изменчивости (выше 10%) отмечен на участке 22 и 28% соответственно. В «холодные» года существенное снижение зеленой фитомассы (более 10%) отмечено на 12 и 13% площади сравниваемых участков.

Анализ коррелятивных связей между метеорологическими данными и $NDVI_{MAX}$ показал, что наиболее высокая значимая коррелятивная связь между параметрами наблюдается для значений средней температуры июля и величинами NDVI ($r^2 = 0,39$, $p < 0,05$)

для участков KOL и PAI (Елсаков и др., 2013). Положительный ход тренда изменений за весь период наблюдений обусловлен ростом показателей в 2005–2008 гг. Этот же период характеризуется существенным увеличением температуры воздуха (*рис. 2А*) и многолетнемерзлых пород на территории Уренгойского НГКМ (средняя часть п-ва Таз) (Дроздов и др., 2010).

Сравнение $NDVI_{MAX}$, рассчитанного как средняя величина для отдельных выделенных модельных участков, показало, что для большинства территорий обнаруживаются схожие по направленности изменения (*рис. 2Б*). Практически для всех участков наблюдается рост значений в 2002 г. и 2007 г. В 2008 г. значения показателя для Европейской части остаются выше средних величин, для ЗС они существенно снижаются. Отметим, что 2007 г. характеризовался и прежним абсолютным минимумом площади (4,25 млн. км^2) поверхности арктических льдов (www.ijis.iarc.uaf.edu).

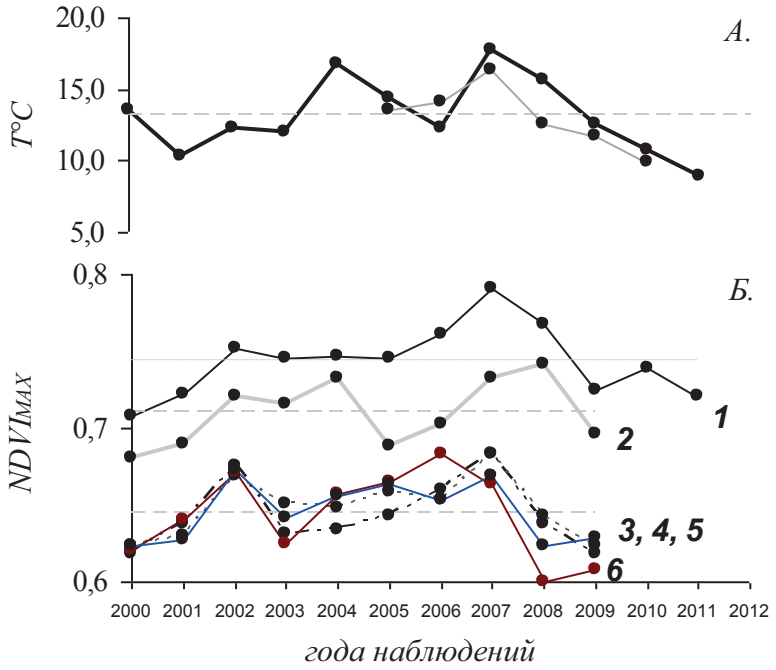

Рис. 2. Ход средних значений температуры приземного слоя воздуха за июль для м. ст. Воркута (черная сплошная) и Мыс Каменный (А). Динамика межгодовых максимумов MODIS $NDVI_{MAX}$, усредненных по всему модельному участку (Б). Числами обозначены: 1 – PAI, 2 – KOL, 3 – WYAM, 4 – TAZ, 5 – MES, 6 –GYD. Серые пунктирные линии показывают средние значения показателей

Анализ хода межгодовых значений $NDVI_{MAX}$ показал, что смежные территории демонстрируют более схожую вариабельность значений. С удалением рассматриваемых участков друг от друга коррелятивные связи между показателями в большинстве случаев ослабевают (*табл. 2*). Наиболее сильная корреляция показателями отмечена между участками, локализованными в ЗС: MES и TAZ, WYAM и TAZ (0,89), MES и GYD (0,85).

Таблица 2. Коррелятивные связи между усредненными по участкам межгодовыми величинами $NDVI_{MAX}$ периода 2000–2009 гг.

	PAI	***WYAM***	***TAZ***	***MES***	***GYD***
KOL	0,77	0,43	0,54	0,30	–0,004
PAI		0,77	0,84	0,60	0,39
WYAM			0,89	0,79	0,72
TAZ				0,89	0,67
MES					0,85

Таблица 3. Усредненные характеристики для выделенных модельных участков (X±*SD)**

	$\frac{S_1}{S_2\ (км \cdot 10^3),\ (\%)}$	$NDVI_{MAX}^{2000\text{-}2009}$	$\beta*10^{-3**}$
KOL	$\frac{4,3}{2,3(\mathbf{52,5\%})}$	0,71 ± *0,06*	$\frac{2,97 \pm 3,25}{5,18 \pm 1,92}$
PAI	$\frac{32,2}{23,4(\mathbf{72,8\%})}$	0,75 ± *0,03*	$\frac{4,22 \pm 2,88}{5,48 \pm 1,79}$
WYAM	$\frac{27,3}{7,5(\mathbf{27,5\%})}$	0,65 ± *0,07*	$\frac{0,80 \pm 4,46}{5,69 \pm 3,23}$
TAZ	$\frac{19,6}{5,6(\mathbf{28,4\%})}$	0,65 ± *0,07*	$\frac{1,03 \pm 3,84}{5,25 \pm 2,39}$
MES	$\frac{31,8}{5,2(\mathbf{16,3\%})}$	0,64 ± *0,06*	$\frac{0,26 \pm 3,24}{4,46 \pm 1,82}$
GYD	$\frac{15,8}{0,8(\mathbf{5,1\%})}$	0,61 ± *0,10*	$\frac{-1,68 \pm 3,46}{4,99 \pm 3,02}$

* В расчет площадей не включены водные поверхности: S_1 – площадь выделенного модельного участка, S_2 – площадь низких и высоких положительных изменений ($0,003 < \beta$) и отношение к площади всего участка

** Числитель – среднее значение по всему модельному участку; знаменатель – среднее значение для площади с низкими и высокими положительными изменениями.

В целом, для рассмотренных участков с продвижением на север и запад доля положительных изменений (β) сокращается: наибольшие площади положительных изменений отмечены на Югорском п-ве (PAI – 72.8%) (*табл. 3*), участки WYAM и TAZ (27,5 и 28,4%, соответственно), основание (MES 16.3%) и север Гыданского п-ва (GYD 5.1%). Интенсивность роста индекса на участках, характеризующихся положительными изменениями, была максимальной на территории WYAM ($5,69*10^{-3}$ год$^{-1}$) и PAI ($5,48*10^{-3}$ год$^{-1}$).

Заключение

Метеорологические наблюдения, выполненные для Севера России, демонстрируют наличие устойчивого тренда потепления, начинающегося со второй половины 1960-х – середины 1970-х гг. Наибольшая скорость потепления приходится на 1980-е гг.,

во второй половине 1990-х и 2000–2005 гг. процесс оценивается как очень слабый (Павлов, 2008; Мельников и др., 2007). Самые большие локальные тренды повышений температуры почвы за 1961–2005 гг. на севере России отмечены в ЗС (0,035–0,060°С/год), наименьшие – на ЕС-ВР (0,008–0,032°С/год), однако в регионе ЗС криолитозона в большей степени сохраняет устойчивость в отношении стабильности термических показателей грунтов (Павлов, 2008).

Присутствие отчетливых признаков современной деградации ММП в регионе ЕС-ВР проявляется в смещении границ их распространения в регионе цокольных равнин Приуралья и низкогорного Пай-Хоя на десятки км за период 1970–2005 гг., возникновении многочисленных снежниковых несквозных таликов на междуречьях южных площадей зоны их распространения и повышении температуры мерзлых грунтов (Oberman, 2008). Ранее показано (Елсаков, Марущак, 2011), что основные изменения криолитозоны территории ЕС-ВР, оцениваемые по интенсивности дренирования термокарстовых озер для участков прерывистого и островного расположения ММП, приходятся на период 1973–1988 гг. (от 60 до 80% всех изменений). Для районов сплошного залегания ММП общий тренд изменений смещен во времени и связан с периодами 1988–2002 гг. Период 2000–2007 гг. характеризовался относительно устойчивым состоянием. Для территории ЗС также отмечено проявление термокарстовых процессов, связанное с деградацией ММП, однако характеризуется меньшей интенсивностью (Днепровская и др., 2009). Более суровые мерзлотные условия Зауралья, сформированные в областях, проявляющих большую континентальность климатических показателей, в меньшей степени подвержены климатическим влияниям и, как следствие, в меньшей степени влияют на растительный покров. За 26 лет спутниковых наблюдений с использованием AVHRR по территории Ямала изменения растительного покрова существенно не выявлены – что достаточно контрастно в сравнении с Аляской или Северной Америкой (Walker et al., 2009).

Среди возможных причин изменений характеристик ММП и растительного покрова широко рассматривается возможное изменение режима увлажнения связанное с изменением количества выпадающих осадков, рост снегонакопления в течение последних лет (Oberman, 2008), перераспределение снежного покрова (Park, 2011).

Так, анализ ценотической активности и видового богатства широтных географических элементов видов сосудистых растений и лишайников разных ценофлор позволил зафиксировать увеличение влажности и уменьшение тепла в ерниково-кустарничково-лишайниково-моховых и дриадовых тундрах (в подзоне южных тундр) Ямала (Телятников, 2002). Увеличение влажности на фоне стабильного теплообеспечения наблюдается в местообитаниях нивальных разнотравных лугов подзоны южных тундр, а также кустарничково-осоково-хилокомиевых и дриадовых тундр подзоны типичных тундр.

На участках, существенно увеличивающих значение индекса, рост надземной зеленой фитомассы отмечен в пределах от 7 до 30 кг/га в год (Елсаков, 2013), что диктует необходимость выполнения более частой инвентаризации пастбищных угодий северного оленя данных участков, с коррекцией показателей оленеемкости по зеленым и лишайниковым

кормам. Полученные нами результаты позволяют сформулировать несколько следующих основных выводов.

1. По данным усредненных значений индекса NDVI съемки MODIS за период 2000–2009 гг. на территории ЕС-ВР и ЗС наблюдается сохранение географически обусловленной широтной и долготной зональности распределения показателей NDVI, осложненной климатическими, геокриологическими и мерзлотными условиями, орографическими структурами.
2. Отдельные участки территории демонстрируют межгодовую вариабельность максимального развития зеленой фитомассы (по данным анализа индекса NDVI). При этом территории смежных регионов имеют более сходные изменения между годами.
3. Максимальные величины развития параметра NDVI для разных лет наблюдений приходятся на 2002 и 2007 гг., что связано прежде всего с аномально теплыми годами.
4. Общие тренды значимых изменений связаны с ростом (ЕС-ВР – 43,9%, ЗС – 18,7%) и снижением (5,7 и 20,2%) величин индекса NDVI. Несущественные изменения отмечены на территории 50,3 и 61,1%, соответственно. Рост показателя приурочен к отдельным участкам нескольких территорий, что демонстрирует преимущественно влияние локальных условий.

Работа выполнена в рамках программы научных исследований УрО РАН «Реакция экосистем криолитозоны Европейского Севера и Западной Сибири на климатические флуктуации последних десятилетий» (*12-С-4-1018*).

Литература

1. *Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф., Говоров П.М., Захарова В.И., Неустроева А.И., Савинов Д.Д., Торговкина Е.Е.* Сезонная и погодовая динамика фитомассы в субарктической тундре. Новосибирск: Наука, 1978. 191 с.
2. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293с.
3. *Баулин В.В., Данилова Н.С., Суходольская Л.А.* История развития многолетнемерзлых пород на территории СССР и методы ее изучения // История развития многолетнемерзлых пород Евразии. М.: Наука, 1981. С. 24–40.
4. *Днепровская В.П., Брыксина Н.А., Полищук Ю.М.* Изучение изменений термокарста в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Исследования Земли из космоса. 2009. № 4. С. 88–96.
5. *Дроздов Д.С., Украинцева Н.Г., Царев А.М., Чекрыгина С.Н.* Изменения температурного поля мерзлых пород и состояния геосистем на территории Уренгойского месторождения за последние 35 лет (1974–2008) // Криосфера Земли. Т. XIV. № 1. С. 22–31.
6. *Елсаков В.В.* Материалы спутниковых съемок в анализе значений хлорофилльного индекса тундровых фитоценозов // Исследования Земли из космоса. 2013. № 1. С. 60–70.

7. *Елсаков В.В., Кулюгина Е.Е., Щанов В.М.* Тренды изменений растительного покрова Югорского полуострова последних десятилетий: сопоставление результатов дистанционных и полевых исследований // Геоботаническое картографирование. СПб: БИН, 2013. (Принята в печать).
8. *Елсаков В.В., Марущак И.О.* Межгодовые изменения термокарстовых озер Северо-Востока Европейской России // Исследования Земли из космоса. 2011. № 5. С. 45–57.
9. *Ермак А.А., Слагода Е.А.* Дешифрирование природных процессов и образований в зоне освоения месторождений углеводородов западного побережья п-ва Ямал (в районе Бованенково) // Труды X Междун. конф. по мерзлотоведению. Тюмень, 2012. Т. 3. С. 171–175.
10. *Клименко В.В., Хрусталев Л.Н., Микушина О.В., Емельянова Л.В., Ершов Э.Д., Пармузин С.Ю., Терешин А.Г.* Изменения климата и динамика толщ многолетнемерзлых пород на северо-западе России в ближайшие 300 лет // Криосфера Земли. 2007. Т. XI. № 3. С. 3–13.
11. *Мельников В.П., Павлов А.В., Малкова Г.В.* Геокриологические последствия современных изменений глобального климата // География и природные ресурсы. 2007. № 3. С. 19–27.
12. *Оберман Н.Г.* Глобальное потепление и изменение криолитозоны Печоро-Уральского региона // Разведка и охрана недр. 2007. № 4. С. 63–68.
13. *Павлов А.В.* Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // Криосфера Земли. 2008.Т. XII. № 3. С. 22–27.
14. *Раковская Э.М., Давыдова М.И.* Физическая география России: Учебник для вузов. М.: ВЛАДОС, 2001. Ч. 1, 2.
15. *Телятников М.Ю.* Растительный покров как индикатор изменений климата в субатлантическую фазу голоцена (на примере субарктических тундр полуострова Ямала) // Сибирский экологический журнал. 2002. Т. 9. № 4. С. 461–472.
16. *Украинцева Н.Г., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Коробова Т.А.* Ландшафтно-индикационная (геосистемная) концепция в геокриологических исследованиях: подходы и результаты // Труды X Междун. конф. по мерзлотоведению. Тюмень, 2012. Т. 3. С. 527–532.
17. *Хитун О.В., Лейбман М.О., Москаленко Н.Г., Орехов П.Т., Уолкер Д.А., Фрост Д.Д., Хомутов А.В., Эпштейн Х.Е.* Зональные изменения некоторых параметров растительного покрова в западносибирской Арктике // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (20–24 сентября, 2011 г.). СПб, 2011. Т. 1. С. 429–432.
18. *Хомутов А.В., Лейбман М.О., Андреева М.В.* Методика картографирования пластовых льдов центрального Ямала // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 7. С. 76–84.
19. *Якубсон К.И., Корниенко С.Г., Разумов С.О., Дубровин В.А., Крицук Л.Н., Ястреба Н.В.* Геоиндикаторы изменения окружающей среды в районах интенсивного освоения нефтегазовых месторождений и методы их оценки // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. Электронный научный журн. 2012. Вып. 2. № 6. 12 с. Режим доступа – oilgasjournal.ru
20. Атлас Арктики. М.: Гл. упр. геодезии и картографии, 1985. 204 с.

21. Природная среда в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения) / Под общей ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2005. 246 с.
22. *Astakhov V.I., Svensen Y.I.* Blanket formation of final Pleistocene in the far north-east of the European Russia // Regional geology and metallogeny J. 2011. № 47. P. 12–27.
23. *Blok D., Schaepman-Strub G., Bartholomeus H., Heijman M., Maximov T., Berendse F.*, 2011. The response of Arctic vegetation to the summer climate: relation between shrub cover, NDVI, surface albedo and temperature // Environ. Res. Lett. 6 (2011). doi:10.1088/1748-9326/6/3/035502.
24. *Forbes B.C., Macias-Fauria M., Zetterberg P.I.* Russian Arctic warming and 'greening' are closely tracked by tundra shrub willows // Global Change Biology. 2010. 16. P. 1542–1554.
25. *Goetz Sc., Bunn A.G., Fiske G.J., Houghton R.A*. Satelite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance // PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America). 2005. V. 102. No. 38. P. 13521–13525.
26. *Jia G.J., Epstein H*. Greening of arctic Alaska, 1981-2001 // Geophysical Research Letters. V. 30. No. 20. 2003. P. 3.1–3.3.
27. *Oberman N.G.* Contemporary permafrost degradation of northern European Russia // Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost, June 29 – July 3, Fairbanks, Alaska, 2008. Vol. 2. P. 1305–1310.
28. *Park H., Yabuki H., Ohata T.* Analysis of satellite and model datasets for variability and trends in Arctic snow extent and depth, 1948–2006 // Polar Science 6. 2012. P. 23–37.
29. *Raynolds M.K., Walker D.A., Maier H.A.* NDVI patterns and phytomass distribution in the circumpolar Arctic // Remote Sensing of Environment. 2006. 102: 271–281.
30. *Sakai H., Suzuki R., Kondoh A*. Recent signal of vegetation change in Siberia using satellite data. J. Japan Soc. Hydrol. and Water Resour. 2008. 21. P. 50–56. (in Japanese)
31. *Scott G., Bunn A.G., Fiske G.J., Houghton R.A*. Satelite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance // PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America). 2005. V. 102. No. 38. P. 13521–13525.
32. *Sturm M., Racine C., Tape K.* Climate change – Increasing shrub abundance in the Arctic // Nature. 41. 1. P. 546–547.
33. *Walker D.A., Leibman M.O., Epstein H.E., Romanovsky V.E., Ukraientseva N.G. and Yu Q.* Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: interactions of ecological and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index // Environ. Res. Lett. 2009. V. 4. ISI:000272900500021.

Effects of interannual climatic fluctuations of the last decade on NDVI in north-eastern European Russia and Western Siberia

V.V. Elsakov [1], M.Y. Teljatnikov [2]

[1] Institute of Biology Komi SC UrD RAS, Syktyvkar, Russia
E-mail: elsakov@ib.komisc.ru
[2] Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, Russia
E-mail: arct-alp@rambler.ru

The 16-days NDVI time- series satellite images Terra-MODIS (2000-2009) were used for observation of intensity and direction of inter year's changes at European Russian north-east (EN-ER) and Western Siberia (WS). The European part has higher index value then Siberia at same vegetation zone. The vegetation cover keep well latitudinal and regional specific per period of last decades climatic fluctuation. The positive trend in some area is forming at 2006–2007 period. The NDVI at EN-ER have most intensive changes (significant positive growth at 43.9 % area and 5.7% area decrease) then at WS (18.7 and 20.2% correspondingly)

Keywords: trends of vegetation changes, European north-east, West Siberia, climate transformation, MODIS composite.