

Визуализация данных климатических изменений растительных сообществ Мезенской и Канинской тундр по материалам спутниковых съёмок

© 2014. В. В. Елсаков, к.б.н., зав. лабораторией,
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
e-mail: elsakov@ib.komisc.ru

Опробованы возможности использования способов визуализации для выявления участков значимых климатических изменений фитоценозов Мезенской и Канинской тундры по данным съёмок Modis и Landsat разных лет. За двадцатилетний период наблюдений (1988–2009 гг.) наибольшие изменения в составе фитоценозов отмечены на окраинах сквозных таликов и связаны с формированием сомкнутых ивняков и еловых ерниковых редколесий. Для периода 2000–2009 гг. 62% площади характеризовались отсутствием изменений, слабый положительный рост индекса NDVI отмечен на 30–34% площади.

The possibility of using the visualization methods for identify areas of significant climate changes of plant communities in Mezenskaya and Kanin tundra was tested on basis of Modis and Landsat data over the period of 1988-2009 years. The greatest changes in the plant communities for period of twenty years observations were noted at the borders of taliks zone with forming willows, dwarf birch and spruce forests. For the period 2000-2009 years near the 62% of the area characterized as a stable. Weak positive growth index NDVI is marked on 30-34% of the area.

Ключевые слова: климатические изменения, растительный покров, спутниковый мониторинг

Keywords: climate changes, vegetation cover, satellite monitoring

В последние десятилетия экосистемы криолитозоны европейского северо-востока России (ЕСВР) демонстрируют наличие отчётливых трендов деградации многолетне-мёрзлых пород (ММП), связанных с ростом среднегодовых температур воздуха, годовых атмосферных осадков, мощности снежного покрова [1]. Такие территории испытывают существенные перестройки мерзлотных условий. Это диктует необходимость их дополнительных исследований, в том числе и для анализа возможностей обустройства и безопасной эксплуатации инженерных и транспортных сооружений.

Особый интерес представляют исследования экотонных зон, компоненты которых часто выступают в качестве индикаторов интенсивности и направленности протекающих изменений. Растительный покров, являясь основным звеном биогеоценоза, определяющим его продуктивность, находится в тесной связи с физико-географическими и климатическими условиями и выступает в качестве одного из интегрирующих показателей, обладающих определённой инерцией, маркируя происходящие экосистемные изменения.

Развитие технологий спутникового мониторинга, создание банков данных разнов-

ременных изображений, организация систем оперативного наблюдения за земной поверхностью, выполняемая с привлечением съёмок среднего и низкого пространственного разрешения: AVHRR (1,1 км пространственного разрешения, период съёмки 1981–2006 гг.), GIMMS (8 км, 1981–2006 гг.), SPOT-VGT (1 км, 1998–2011 гг.), MODIS (250 м, 2000–2013 гг.) позволили существенно расширить возможности анализа причин и трендов временных изменений количественных показателей фитоценозов. Как было ранее показано для Западной Сибири [2], Югорского п-ва [3], участки существенных изменений количественных характеристик фитоценозов часто маркируют интенсивно изменяющиеся геокриологические условия экосистем и связаны с деградацией неглубоко залегающих пластовых подземных льдов. Цель настоящей работы состояла в анализе возможностей использования материалов спутниковых съёмок и алгоритмов визуализации данных для выявления особенностей временных изменений фитоценозов Мезенской и Канинской тундр. Выбор района работ определён следующими причинами: 1) подробной геокриологической изученностью территории и наличием

исторических данных, характеризующих интенсивность и направленность криогенных процессов; 2) наличием набора безоблачных спутниковых сцен *Landsat*, полученных для разных лет съёмки; 3) положением района на границе редкоостровного и массивно-островного типов распространения ММП в условиях крайнего северо-западного положения ММП на Русской равнине.

Материалы и методы

Вследствие эпизодичности и отсутствия достаточного количества разносезонных съёмок *Landsat*, их редкой годовой повторяемости выполнение межгодовых и сезонных оценок изменений количественных показателей фитоценозов проводили преимущественно с привлечением более доступных, но имеющих более низкое пространственное разрешение сенсоров Terra-MODIS (MOD13Q1.005). Размер пикселя данных изображений составляет 0,25 x 0,25 км, период временного охвата – 2000–2009 гг. (источник данных: modis.gsfc.nasa.gov). Временные композиты изображений NDVI сенсоров MODIS составлены из максимальных значений, полученных для каждого вегетационного периода, что в целом соответствует периоду наибольшего развития наземной фитомассы. На основании полученных величин рассчитывали тренды изменений индекса NDVI_{max} за 10-летний период наблюдений (β) и отображали их в виде тематического изображения (рис.1). Показатель был разделен на пять классов в соответствии с ранее представленными в Goetz et. al. [4]: сильные отрицательные изменения ($\beta < -0,006$), слабые отрицательные ($-0,006 \leq \beta < -0,003$), незначительные ($-0,003 \leq \beta < 0,003$), слабые положительные ($0,003 \leq \beta < 0,006$) и сильные положительные ($0,006 \leq \beta$) изменения, отмеченные за год.

Для уточнения локализации участков изменений, для различных фитоценозов, представленных на территории, рассчитывали значения показателя нарушенности (*Disturbance Index, DI*) [5] по данным более высокого разрешения *Landsat* временного интервала 10.07.1988–28.07.2009 гг. данный индекс достаточно широко используется при выявлении антропогенных нарушений, особенно американскими исследователями, и рассчитывается по формуле:

$$DI = Br - (Gr + Wr) \quad (1), \text{ где}$$

Br, Gr, Wr – масштабированные значения величин «Brightness», «Greenness» и

«Wetness», полученные в результате преобразований:

$$Br = (B - B_m) / B\sigma$$

$$Gr = (G - G_m) / G\sigma \quad (2),$$

$$Wr = (W - W_m) / W\sigma \quad (2), \text{ где}$$

B, G, W – значения пикселей; B_m, G_m, W_m – средние значения величин и B σ , G σ , W σ – их стандартные отклонения. Значения B, G, W получены для изображений в результате стандартной процедуры преобразования Tasseled Cap для сенсоров TM и ETM+.

Для выявления влияния климатических изменений на формирование характеристик растительного покрова были собраны данные по основным метеорологическим параметрам (среднесуточные температуры приземного воздуха и количество осадков) по метеостанции Канин Нос и рассчитаны значения отклонений средних декадных значений от средних величин, полученных за весь период наблюдений (ib.komisc.ru/climat).

Результаты и обсуждение

Как было показано ранее [6, 7], ММП Двинско-Мезенской равнины и п-ова Канин находятся в состоянии деградации. Присутствие отчётливых признаков современной деградации ММП в регионе ЕСВР проявляется в смещении границ их распространения, повышении температуры мёрзлых грунтов. С 1837 г. для территории Мезенской тундры отмечено смещение границ ММП приблизительно на 45 км [7]. В настоящее время на территории встречаются ММП позднеголоценового возраста островного и редкоостровного типов распространения, с интервалом варьирования температур от –0,51°C на юге до –1,0°C на севере района [6]. Отсутствие видимых проявлений криогенных процессов, оцененных по изменениям количества и размеров термокарстовых озёр за период 1980–2001 гг. [8], в отличие от территорий востока Большеземельской тундры [9] косвенно показывает относительную стабильность современных мерзлотных условий территории.

Для территории Мезенской и Канинской тундр характерно отсутствие значимых изменений количественных показателей растительного покрова, рассчитанных по значениям MODIS за 2000–2009 гг. в отличие от Югорского п-ва, где изменения достаточно сильно выражены [3] (рис.1). Общий тренд изменений значений NDVI_{max} тундровых фитоценозов показал, что для территории характерны незначительные (62,1% террито-

рии Канинской и 62,7% Мезенской тундры) и слабые положительные (30,9 и 34,6% соответственно) изменения. Сильные положительные трансформации, соответствующие росту наземной зелёной фитомассы в пределах от 7 до 30 кг С·га год⁻¹ [10], немногочисленны и выявлены на участках, занимающих 4,2 и 2,6% общей площади. Для Югорского п-ва с распространением преимущественно сплошных ММП преобладание контуров растительности с несущественными трендами изменений отмечено на 53,0% площади, положительными – на 40,4%.

Анализ отклонений средних декадных значений от средних величин, полученных за весь период наблюдений по показателям среднесуточных температур приземного воздуха и количества осадков по м. ст. Канин Нос демонстрирует, что на территории фиксировались как периоды с более высокими значениями показателей, так и интервалы их снижения (рис. 2). Последние десятилетия характеризуются преимущественно ростом температур и количеством выпадающих осадков, что особенно заметно, начиная с 2000 г. Положительный тренд изменений NDVI формируется преимущественно за счёт пиков значений, отмеченных в 2007 и 2008 гг., несмотря на то, что данные годы не отличались наиболее высокой температурой в течение вегетационного периода. Отметим, что 2007 г. характеризовался и прежним абсолютным минимумом площади (4,25 млн км²) поверхности арктических льдов (www.ijis.iarc.uaf.edu).

Более детальный анализ изменений, выполненный с использованием индекса DI, показал, что наиболее существенные изменения за двадцатилетний период наблюдений (1988–2009 гг.) отмечены на участках, приуроченных к окраинам сквозных таликов, территориям, примыкающим к торфяным массивам (рис. 3). Верификация изменений, выполненная с привлечением материалов детального разрешения, полученных из открытых источников Google Earth, показала, что в большинстве случаев изменения фитоценозов связаны с формированием сомкнутых ивняков, еловых редколесий, берёзовых криволесий.

Таким образом, установлено, что для фитоценозов Мезенской и Канинской тундры за период 2000–2009 гг. характерны преимущественно несущественные (порядка 62% площади) и слабые положительные (30–35%) тренды изменений индекса NDVI_{max}, связан-

ные с запасом фотосинтетически активной фитомассы. Наиболее существенные изменения за двадцатилетний период наблюдений (1988–2009 гг.) отмечены на участках, приуроченных к окраинам сквозных таликов, и связаны с формированием сомкнутых ивняков и фрагментов еловых редколесий, берёзовых криволесий. Ответная реакция криолитозоны на потепление, выявленная на основании анализа исторических спутниковых данных на территорию ЕСВР, имеет внутрорегиональные различия. В широтно-долготном градиенте происходит её ослабление по направлению от массивно-островной зоны к южным границам распределения ММП и запаздывание временного отклика в направлении распределения прерывистых – сплошных ММП. Участки изменений достаточно чётко визуализируются на материалах спутниковых съёмок с использованием базовых алгоритмов выявления изменений и в дальнейшем могут быть подробно охарактеризованы при проведении полевых исследований.

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. Оберман Н. Г., Шеслер И. Г. Современный прогноз изменений мерзлотных условий европейского северо-востока РФ // Проблемы Севера и Арктики РФ. Научн.-инф. бюлл. М. 2009. Вып. 9. С. 96–106.
2. Елсаков В.В., Телятников М.Ю. Межгодовые изменения индекса NDVI на территории Европейского северо-востока России и Западной Сибири в условиях климатических флуктуаций последних десятилетий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 260–271.
3. Елсаков В.В., Кулюгина Е.Е., Щанов В.М. Тренды изменений растительного покрова Югорского полуострова последнего десятилетия: сопоставление результатов дистанционных и полевых исследований // Геоботаническое картографирование / Под ред. Т.К. Юрковской, И.Н. Сафроновой, С.С. Холода. СПб: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. С. 93–111.
4. Goetz Sc., Bunn A.G., Fiske G.J., Houghton R.A. Satellite-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. № 38. P. 13521–13525.
5. Healey, S. P. Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance

detection / S.P. Healey, W.B. Cohen, Y. Zhiqiang, O.N. Krankina // Remote Sensing of Environment. 2005. V. 97. P. 301–310.

6. Игловский С.А. Техногенные изменения гео-криологических условий Двинско-Мезенской равнины и полуострова Канин // Криосфера Земли. 2008. Т. XII. № 1. С. 24–28.

7. Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н., Игловский С.А. Изменения климата и их влияние на окружающую природную среду европейского Севера России // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. VI. Изменения клима-

та: влияние внеземных и земных факторов. Монография. М.: ИФА РАН, 2008. С. 80–98.

8. Кравцова В.И., Быстровой А.Г. Изучение динамики термокарстовых озёр России // Геоинформатика. 2009. № 1. С. 44–51.

9. Елсаков В.В., Марущак И.О. Межгодовые изменения термокарстовых озёр северо-востока европейской России // Исследования Земли из космоса. 2011. №5. С. 45–57.

10. Елсаков В.В. Материалы спутниковых съёмок в анализе значений хлорофилльного индекса тундровых фитоценозов // Исследования Земли из космоса. 2013. № 1. С. 60–70.

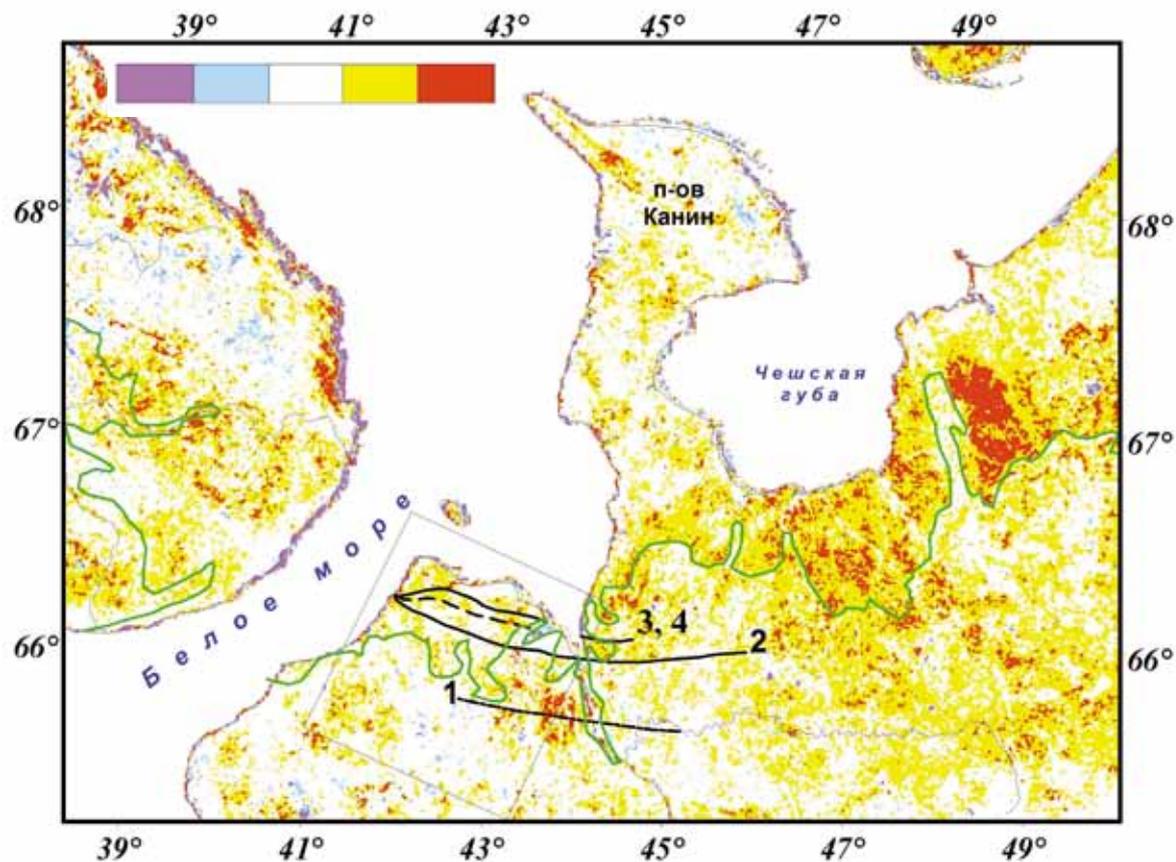
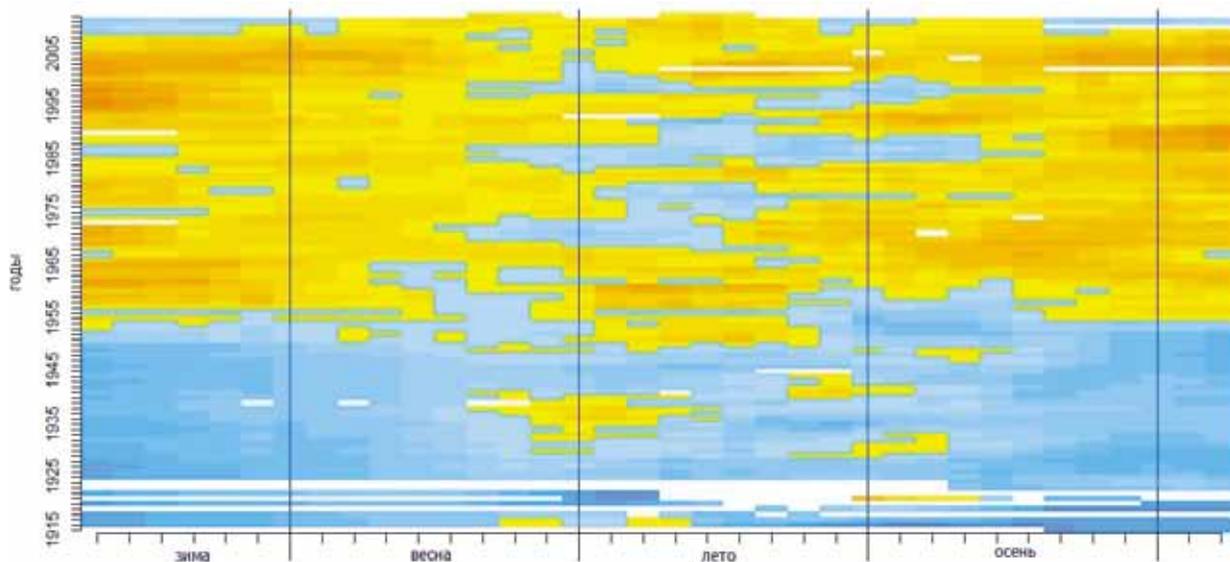


Рис. 1. Тренды межгодовых изменений максимальных значений индекса NDVI (β). Данные обработки MODIS. Линиями отмечены граница леса и граница распространения многолетне-мёрзлых пород, отмеченные разными авторами [по: 6, 7]. 1 – экспедиция А.И. Шренка 1837 г., 2 – экспедиции Н.Г. Датского 1933 г., 3 и 4 – данные геологоразведочных работ по материалам фондовых отчетов. Градация величин β представлена в тексте работы



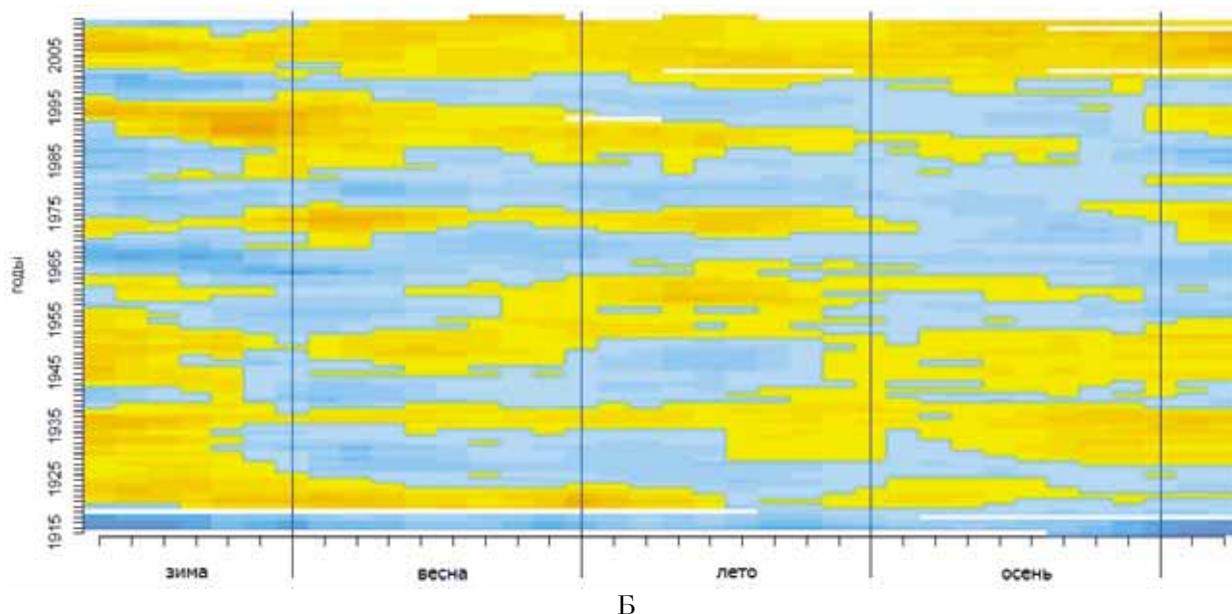
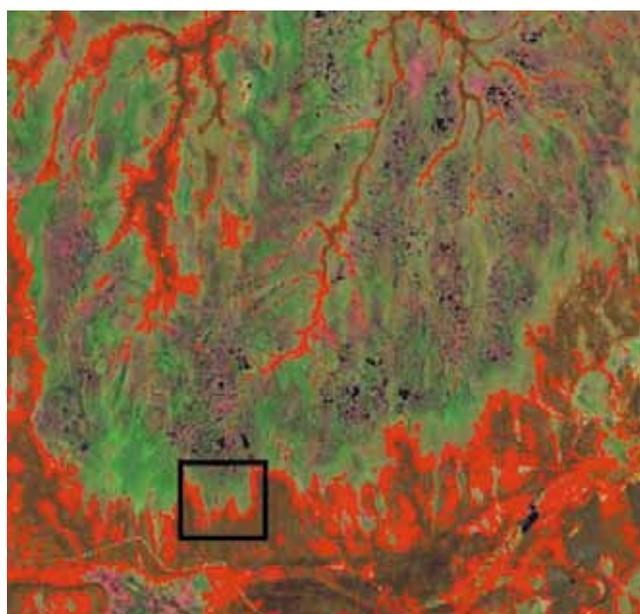
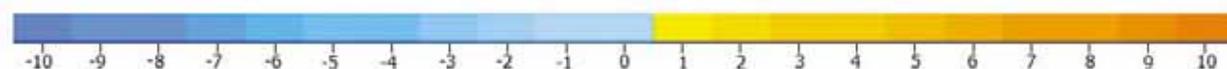
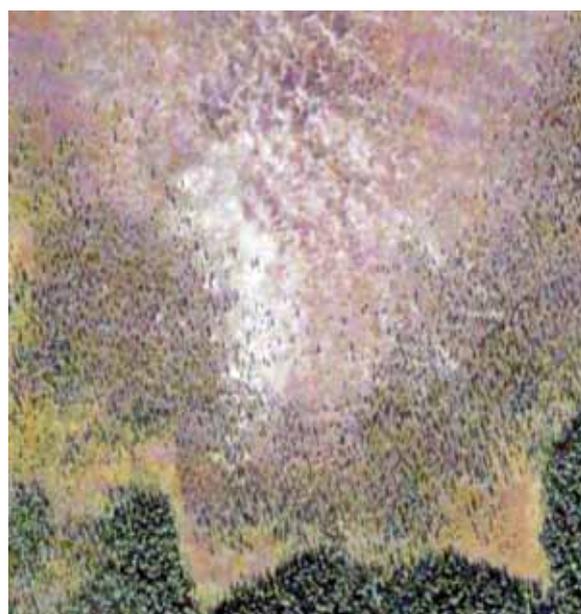


Рис. 2. Отклонение средних декадных значений от средних величин, полученных за весь период наблюдений для показателей осадков (А) и температуры (Б) по м.ст. Канин Нос. Цветом показаны отклонения от средних величин:



А



Б

Рис. 3. Итоговое изображение, полученное после расчёта индекса DI (А). Отклассифицированный RGB-синтез с использованием съёмок 10.7.1988, 28.7.2009 гг. Верификация участков изменений по данным Google Earth (Б)