

СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ВЫЯВЛЕНИИ ТРЕНДОВ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ЗАПАДНЫХ СКЛОНОВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Елсаков В.В.^{1,2}, Марущак И.О.¹

¹ Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

² Сыктывкарский лесной институт

Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии им. С.М. Кирова

Аннотация

В работе представлены результаты, демонстрирующие основные направления изменения сомкнутости крон предгорных и горных лесов Приполярного Урала за 18-летний временной период (1988-2006 гг.) по материалам анализа спутниковых изображений (каналов видимого диапазона спектра) Landsat. Привлечение серии зимних изображений периода 1988-2006 гг. и метода декомпозиции спектральных смесей позволило установить изменения показателя сомкнутости крон ненарушенных фитоценозов в среднем до 1-2 % в год на участках ранее сформированных лиственничников и редколесий экотонной зоны вблизи границы «лестундра». Наиболее стабильные характеристики отмечены для класса темнохвойных лесов.

Ключевые слова: экосистемы Приполярного Урала, сомкнутость крон, дистанционный мониторинг.

Введение

Материалы спутниковых наблюдений всё чаще выступают в качестве важных информационных источников при характеристике растительных сообществ, их ландшафтной приуроченности, выявлении изменений под влиянием естественных и антропогенных причин [1]. Наиболее крупномасштабными причинами, изменяющими характеристики растительного покрова, являются климатические и погодные флуктуации. Даже недолговременные климатические вариации напрямую влияют на продуктивность экосистем и динамику растительного покрова. Развитие системы дистанционного мониторинга, средств системного анализа данных и привлечение архивных метеорологических данных позволяет проводить анализ трендов изменения свойств растительного покрова для крупных территориальных единиц: Гренландии [2], Кольского полуострова [3], Феноскандии [4].

В последние годы возросло внимание исследователей, направленное на изучение изменений растительного покрова, наблюдаемых в пределах границ экотонных зон, отражающих общую направленность процессов трансформации природных экосистем под влиянием региональных или глобальных факторов. Границы лесных фитоценозов, ряд показателей древостоев рассматриваются авторами в качестве возможных параметров для исследования изменений биоценозов под их влиянием. Так, особый интерес вызывают исследования предгорных и горных лесов [5, 6] в связи с более яркой выраженностью градиента эколого-ценотических условий, приводящей к зональным сменам растительности на более компактной по площади территории, чем на равнинной части. Основные тенденции изменения лесных фитоценозов на верхней границе леса предгорных и горных участков прослеживаются в продвижении границы леса и увеличении сомкнутости крон залесённых участков, усилении радиального прироста древесины [7], что связывается с климатическими сдвигами.

В качестве наиболее важного показателя, применяемого для выявления временных изменений лес-

ных фитоценозов, используется характеристика сомкнутости древостоев. Предварительный анализ данных показал, что достоверность выявления показателей сомкнутости возрастает при использовании зимних изображений, что, с одной стороны, связано с маскированием многих форм микрорельефа земной поверхности снежным покровом [8], с другой – отсутствием листвы и погребением лишайниково-мохового, травяно-кустарничкового и частично кустарничкового яруса, что приводит к большей контрастности исследуемых компонент.

Цель настоящей работы состояла в исследовании особенностей распределения и выявления изменений показателя сомкнутости крон лесных фитоценозов предгорной и горной территории Приполярного Урала бассейна р. Кожим с использованием разногодových материалов дистанционного зондирования высокого разрешения (*Landsat TM 4, 5*). Горные леса Республики Коми занимают площадь около 2,4 млн. га – 6% всего лесного фонда [9], большинство из них сохранило свои природные особенности и включено в 1995 г. в перечень объектов всемирного наследия природы ЮНЕСКО. Большинство наблюдаемых изменений растительного покрова территории приходится на период разведки и освоения минеральных ресурсов территории, связано с послепожарным восстановлением фитоценозов [10].

Распределение и характеристики лесных фитоценозов территории исследований во многом зависят от их приуроченности к геоморфологическим элементам, комбинирования почвенных, микроклиматических условий, ландшафтной приуроченности и склоновой ориентации исследуемых участков [11].

Материалы и методы

Предобработку материалов спутниковых изображений высокого разрешения *Landsat* провели общепринятыми методами, включая пространственную, радиометрическую и топо-коррекцию [12 - 17]. Выделение основных классов растительного покрова для анализа особенностей их пространственной приуроченности проводили по изображению *Landsat TM 5*, полу-

ченному для 17.07.2001, методами поэтапной управляемой классификации [18]. Для калибровки данных, выделения эталонных участков и проверки результатов выполнены серии полевых выездов (7-10 апреля, 28 июня-1 июля, 16-22 августа 2009 гг.), по материалам лесоустройства (1998 г.) Кожимского и Верхнекожимского лесничеств. Для учёта сомкнутости крон древесного и кустарникового ярусов проведено сравнение результатов тематической обработки изображений высокого разрешения (30 м) *Landsat TM 5* второй половины зимнего периода наблюдений с 1988 г. по 2006 г. (табл. 1). Высота снежного покрова в данный период времени максимальна и варьируется в пределах 120-140 см.

Таблица 1. Характеристика используемых изображений

Параметры сцены	Дата съёмки	Время съёмки (GMT)	Высота солнца	Азимут солнца
L5 168_14	08.4.1988	06:50	30,5	159,9
L7 168_14	09.4.2000	07:16	31,6	167,3
L7 168_14	30.3.2002	07:13	27,5	165,9
L5 167_14	4.10.2006	07:12	19,9	172,3

При обработке изображений использовали принципы декомпозиции спектральных смесей (метод SMA, *Spectral Mixed Analysis*), исходя из положения, что доля компонент при этом принимается пропорционально их площади в проекции на земную поверхность [19]. Это позволяет количественно оценить вклад отдельных компонент в отражательную способность элементов изображения. В качестве «чистых компонент» использовали параметры, полученные для открытых пологих заснеженных участков (сомкнутость крон равна 0), и характеристики участков с максимально сомкнутым древостоем (сомкнутостью крон 0,9 - 0,95). Общий принцип оценки доли отдельных компонент для линейного смешивания спектров проводили согласно выражению:

$$DN_c = \sum_{i=1}^n F_i * DN_{i,c} + E_c, \quad (1)$$

учитывая следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^n F_i = 1, \quad 0 \leq F_i \leq 1, \quad (2)$$

где DN_c – числовое выражение значения пиксела в канале c , F_i – доля i -го эталона в смеси, $DN_{i,c}$ – числовое выражение значений i -го эталона в смеси в канале c , n – количество эталонов, E_c – ошибка оценки для канала c .

Абсолютное доминирование в формировании значений «древесной» компоненты на модельных участках относится к ели европейской и лиственнице сибирской, в качестве примеси отмечены берёза извилистая, ольховник кустарниковый, древовидные виды ив. Расчёт значений компоненты «сомкнутости древостоев» для пикселов изображения по крайним элементам значений (0-100%) выполнен с использованием возможностей программного пакета ENVI 4.6.1.

Калибровка построенной модели и проверка её точности выполнена на основании анализа сходимости полученных величин и пространственно привя-

занных данных, зафиксированных с использованием GPS приёмника, фотографической камеры Canon EOS-60D и объектива «Fish-eye» в ходе зимних полевых исследований модельного участка. Между полученными показателями отмечена значимая положительная коррелятивная связь ($r=0,94$) (рис. 1).

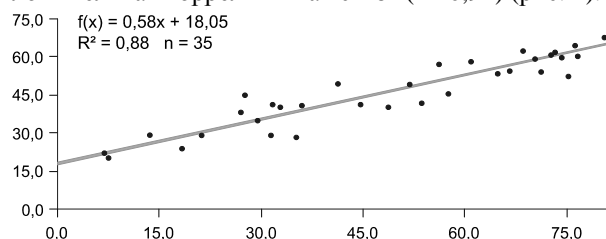


Рис. 1. Корреляция показателей сомкнутости по спутниковым материалам и полевыми измерениями

Итогом обработки изображений 1988-2006 гг. стали тематические картосхемы, отражающие показатель сомкнутости древесного яруса (%) для отдельных лет наблюдений. Результаты обработки легли в основу расчёта интенсивности изменения показателя по 4 изображениям (1988-2006 гг.), представленного в виде линейной функции и приведённого для удобства к 10-летнему интервалу наблюдений.

Результаты работы и их обсуждение

В ходе выполнения управляемой классификации выделено 18 классов земной поверхности, из них 14 приходится на разные типы растительного покрова. Доминирующие лесные фитоценозы, включающие в себя древесные породы – ель европейскую (*Picea obovata*) и лиственницу сибирскую (*Larix sibirica*), в качестве примеси отмечены берёза пушистая, берёза извилистая (*Betula pubescens*, *B. tortuosa*), разделены на следующие доминирующие классы:

1. Долинные темнохвойные леса (сомкнутость крон (СК) 0,6 - 0,9; 6,5% площади модельного участка) выположенных склонов на суглинистых почвах с доминированием *Picea obovata*, с примесью лиственных: *Betula pubescens*, *B. tortuosa*, кустарничково- и травяно-зеленомошных. В травяном покрове преобладают: *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Empetrum hermaphroditum* (Lange) Hagerup, *Linnaea borealis* L., *Avenella flexuosa* (L.) Drey., *Trientalis europaea* L., *Rubus arcticus* L. В хорошо развитом травянистом ярусе также присутствуют: *Geranium albiflorum* Ledeb., *Veratrum lobelianum* Bernh., *Solidago virgaurea* L., *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill, *Viola biflora* L. и многие другие виды. Моховой покров представлен преимущественно *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum* (далее обозначены Т1).

2. Светлохвойные леса (93,5% площади):

2.1. Смешанные лиственничные леса с примесью *Picea obovata* (СК 0,4 - 0,7) преимущественно ерничково-зеленомошные. Травяно-кустарничковый ярус беден видовым составом, преобладают *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., присутствуют *Bistorta major* S.F.Gray, *Pedicularis lapponica* L. В моховом покрове преобладают *Pleurozium schreberi*, виды родов *Sphagnum*, *Polytrichum*. Примесь кустистых лишайников (занимаемая площадь 28,6%) (С1).

2.2. Лиственничные ерниково-зеленомошные леса (СК 0,3 - 0,6) пологих склонов и речных долин с близким залеганием скальных пород. В травяно-кустарничковом ярусе преобладают: *Betula nana* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L. *Empetrum hermaphroditum* (Lange) Hagerup. Редки травянистые растения: *Bistorta major* S.F.Gray, *Luzula multiflora* (Ehrh.) Lej., *Rubus arcticus* L., *Trientalis europaea* L., *Avenella flexuosa* (L.) Drey. Моховой покров сложен в основном из *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* (площадь 24,5%) (C2).

2.3. Редколесья и редины из *Larix sibirica* (СК < 0,3) на участках подгольцового пояса. Хорошо развит кустарничковый ярус: *Betula nana* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L. *Empetrum hermaphroditum* (Lange) Hagerup, *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab., *Linnaea borealis* L. Из травянистых растений присутствуют *Avenella flexuosa* (L.) Drey., *Trientalis europaea* L., *Solidago virgaurea* L., *Diphysastrum alpinum* (L.) Holub. Моховой покров сложен в основном из *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum*, *Dicranum*. Единичны лишайники: *Cladonia*, *Stereocaulon* (40,3%) (C3).

Анализ распределения выделенных классов лесной растительности и редколесий показал, что на рассмотренной территории наиболее представлены классы редколесий и редин (40,3%) из *Larix sibirica* (C3), приуроченные преимущественно к верхним границам леса и участкам с близким залеганием скальных пород. Лесные фитоценозы террас высокого уровня часто окаймлены двумя экотонными зонами и переходят в тундровые классы растительности через редколесья. Менее представлены в пределах территории смешанные лиственничные леса с примесью *Picea obovata* (C1) (28,6%) и лиственничные ерниково-зеленомошные леса (24,5%) (C2). На долю долинных темнохвойных лесов (Т1), приуроченных к пойменным участкам и пологим склонам, приходится всего 6,5%.

Использование SМА-анализа разногодových зимних изображений позволило оценить показатель сомкнутости крон и его изменение для выделенных лесных фитоценозов на модельном участке. Половина лесных фитоценозов территории представлена сообществами с сомкнутостью крон 50 - 70% (25,1%) и 30 - 50% (24,2%) (табл. 2). Наибольшая сомкнутость древостоев отмечена в пределах террасы высокого уровня (эрозийная, цокольная). Её повышение и переход в подошву горных склонов сопровождается переходом в разреженные лиственничники и редколесья. Порядка 33% сообществ имеет сомкнутость ниже 30%.

Учёт изменений параметров сомкнутости древостоев по четырём изображениям (рис. 2) позволил, с одной стороны, снизить уровень погрешности измерений, с другой – наблюдать основные тренды изменений под влиянием естественных, катастрофических (пожары) причин и антропогенного влияния.

Для большинства элементов изображений (пикселей) всё многообразие изменений может быть сведено к трём видам: 1 – постепенный рост показателя сомкнутости – отмечен для ненарушенных фитоценозов, представленных преимущественно лиственничниками

классов C2 и C3 или восстанавливающихся после пожара сообществ; 2 – стабильность или незначительное снижение показателя – преимущественно классы Т1, C1; 3 – резкий рост/падение значения показателя для одного из лет изображений, что связано преимущественно с пожарами.

Таблица 2. Распределение классов сомкнутости крон для выделенных групп лесных фитоценозов по 2002 г. (числитель) и изменение относительных площадей выделенных групп между изображениями 1988-2002 гг. (%)

Классы сомкнутости (%)	Классы лесных фитоценозов*				ВСЕГО: ГО:
	Т1	С1	С2	С3	
<10	–	–	–	<u>8,7</u> -3,4	<u>9,3</u> -4,3
10-30	–	<u>0,6</u> -0,7	<u>4,0</u> -4,5	<u>19,1</u> 1,2	<u>23,7</u> -3,9
30-50	–	<u>3,0</u> -3,0	<u>11,1</u> 1,2	<u>9,9</u> 4,0	<u>24,2</u> 2,1
50-70	<u>0,9</u> -0,5	<u>13,9</u> -0,2	<u>8,1</u> 3,4	<u>2,2</u> 0,6	<u>25,1</u> 3,3
70-90	<u>4,7</u> 0,6	<u>11,0</u> 2,9	<u>0,8</u> 0,0	–	<u>16,9</u> 3,3
>90	<u>0,7</u> -0,2	<u>0,1</u> -0,3	–	–	<u>0,9</u> -0,5
ВСЕГО:	<u>6,5</u> -0,3	<u>28,6</u> -1,3	<u>24,5</u> -0,6	<u>40,3</u> 2,2	<u>100,0</u> 0

* – положительные значения – увеличение, отрицательные – уменьшение площадей.

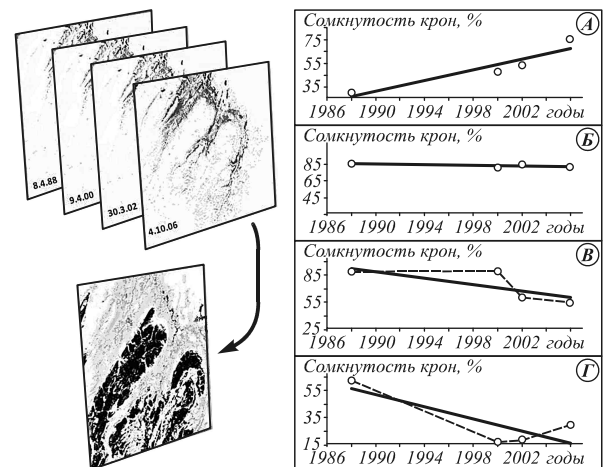


Рис. 2. Пример расчёта и возможные комбинации: А – лиственничные редколесья и редины; Б – долинные темнохвойные леса, В – гарь 2000 г., Г – гарь ранее 1988 г.

Представление полученных результатов в виде функции, демонстрирующей изменение показателя сомкнутости за 10-ти летний временной период, показал, что для отдельных участков территории также наблюдается как рост, так и снижение величин показателя или его стабильность (рис. 3). Наибольшие изменения связаны с переходом групп менее сомкнутых лиственничников в группы более высоких классов сомкнутости (табл. 2). При этом наблюдается уменьшение количества пикселей для классов меньшей сомкнутости. Для фитоценозов класса темнохвойных лесов изменения имели наименьшую представленность.

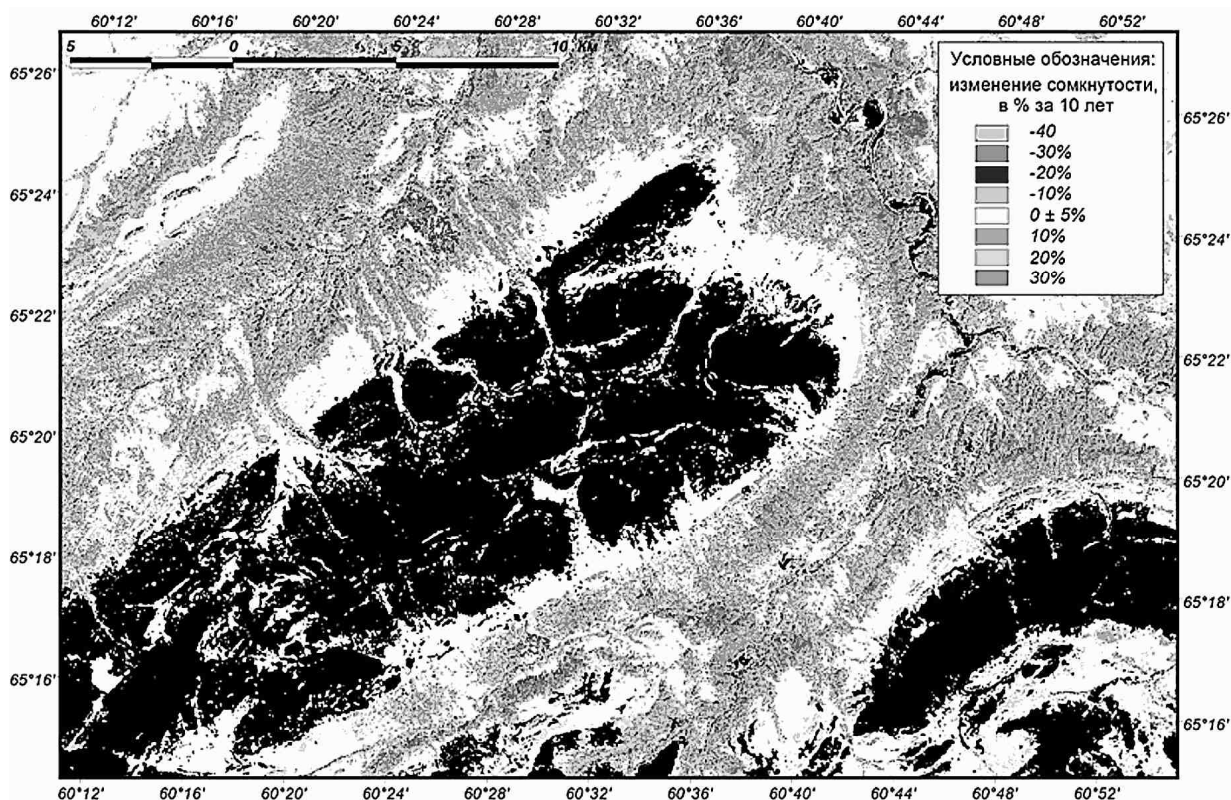


Рис. 3. Изменение сомкнутости лесных фитоценозов в % сомкнутости за 10 лет. Маска гор представлена чёрным цветом

Анализ соотношения контуров редколесий на изображениях разных лет показал, что значительно-го увеличения их распространения не отмечено, что, с одной стороны, является ограничениями используемого метода (использование изображений данного пространственного разрешения позволяет определить границы леса, а не границы древесной растительности), с другой – распространение древесной растительности во многом ограничено крутизной склонов, определяющей мощность почвенного покрова [20] и выход на поверхность каменных осипей и гольцов, заболачиванием верхних участков.

Вместе с тем можно отметить, что рост степени сомкнутости крон также выделяет участки, ранее подвергнувшиеся катастрофическим влияниям. Активное зарастание лиственными породами нарушенных участков отмечено на гарях Национального парка. Показателем интенсивности их изменений служит сомкнутость, меняющаяся за 10 лет до $\pm 20\%$. Полученные результаты позволяют оценить масштабность и пространственную приуроченность эндогенных и экзогенных влияний, ведущих к росту степени гетерогенности растительного покрова, оценить их интенсивность. Постпожарное восстановление нарушенных участков в пределах парка представлено на достаточно больших площадях. Так, за период 1995 - 2008 гг. на территории бассейна р. Кожим (Национальный парк «Югыд Ва») выявлено 5 крупных очагов возгорания: 1 – 1988 - 1995 гг., 3 – в 2000 г. и 1 – в 2004 г. Использование временных серий спутников среднего и низкого разрешения с привлечением автоматизированных алгоритмов обработки [21] позволяет установить даты возгорания и сроки прохождения огнём территории.

Так, 29 июля – 8 августа 2000 г., по данным временных серий SPOT-Vegetation S10, произошло возгорание трёх разобшённых участков, их затухание – 18-27 августа. В 2004 г. пожар, по данным Terra/Aqua-MODIS, пришёлся на 27.07 – 16.08.

Заключение

Использование разновременных спектрональных спутниковых изображений Landsat зимнего периода в сочетании с полевыми измерениями позволило выполнить статистически корректный анализ трендов изменения показателя сомкнутости крон древесного яруса модельной территории за 18-летний период. Предложенный алгоритм анализа может быть широко использован для выявления экологических и географических закономерностей изменения характеристик растительного покрова отдельных территорий под влиянием сукцессионных смен фитоценозов, климатических трансформаций или антропогенных влияний.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Влияние климатических изменений на биоценозы ненарушенных территорий российского Севера» (проект № 10-04-92514-ИК_a).

Литература

1. Сергеев, В.В. Анализ и обработка изображений, получаемых при наблюдениях Земли из космоса / В.В. Сергеев // Компьютерная оптика. – 2006. – № 29. – С. 41-57.
2. Karlsen, S.R. Method using indicator plants to map local climatic variation in the Kangerlussuaq/Scoresby Sund area, East Greenland / S.R. Karlsen, A.A. Elvebakk // Journal of Biogeography. – 2003. – N 30. – P. 1469-1491.

3. **Shutova, E.** Growing seasons of Nordic mountain birch in northernmost Europe as indicated by long-term field studies and analyses of satellite images / E. Shutova // *Int. J. Biometeorol.* – 2006. – N 51. – P. 155-166.
4. **Karlsen, S.R.** Satellite-based mapping of the growing season and bioclimatic zones in Fennoscandia / S.R. Karlsen, A. Elvebakk, K.A. Hogda, B. Johansen // *Global Ecology and Biogeography.* – 2006. – N 15. – P. 416-430.
5. **Шиятов, С.Г.** Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, М.М. Терентьев, В.В. Фомин // *Экология.* – 2005. – № 2. – С. 83-90.
6. **Шиятов, С.Г.** Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата / С.Г. Шиятов // Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 216 с.
7. **Ойдупаа, О.Ч.** Длительные изменения летней температуры и радиальный рост лиственницы на верхней границе леса в Алтае-Саянской горной стране / О.Ч. Ойдупаа, Е.А. Ваганов, М.М. Наурзбаев // *Лесоведение.* – 2004. – № 6. – С. 14-24.
8. **Алексеенко, Н.А.** Зимние топографические карты / Н.А. Алексеенко, Т.Г. Сваткова // *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5., География.* – 2008. – № 3. – С. 8-11.
9. Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми – М.: Дизайн. Информация картография, 2000. – 260 с.
10. Биоразнообразие водных и наземных экосистем бассейна р. Кожим (северная часть национального парка «Югыд Ва»). – Сыктывкар, 2010. – С. 128-136.
11. **Непомилуева, Н.И.** Древесная растительность горных долин Приполярного Урала / Н.И. Непомилуева, В.В. Пачучий, Г.А. Симонов // *География и природные ресурсы.* – 1986. – № 4. – С. 73.
12. **Teillet, P.M.** On the slope-aspect correction of multispectral scanner data / P.M. Teillet, B. Guindon, D.G. Goodeonugh // *Can. J. Remote Sens.* – 1982. – Vol. 8. – P. 84-106.
13. **Nichol, J.** Empirical correction of low Sun angle images in steeply sloping terrain: a slope-matching technique / J. Nichol, Law Kin Hang, Wong Man Sing // *International Journal of Remote Sensing.* – 2006. – Vol. 27, N 3. – P. 629-635.
14. **Twele, A.** The effect of stratified topographic correction on land cover classification in tropical mountainous regions / A. Twele, M. Kappas, J. Lauer // *ISPRS Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes"*, Enschede, the Netherlands, 2006. – P. 8-11.
15. **Civco, D.L.** Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery / D.L. Civco // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* – 1989. – Vol. 55(9). – P. 1303-1309.
16. **Law, K.H.** Topographic correction for differential illumination effects on ikonos satellite imagery / K.H. Law, J. Nichol. - URL: <http://www.isprs.org/istanbul2004/com3/papers/347.pdf>.
17. **Colby, J.D.** Topographic normalization in rugged terrain / J.D. Colby // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* – 1991. – Vol. 57. – P. 531-537.
18. **Елсаков, В.В.** Картирование растительного покрова бассейна р. Кожим (Приполярный Урал) с использованием материалов дистанционного зондирования / В.В. Елсаков, И.О. Марущак, В.М. Щанов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2009. – Вып. 6, Т. 2. – С. 360-363.
19. **Баргалёв, С.А.** Использование спутниковых изображений для оценки потерь углерода лесными экосистемами в результате вырубок / С.А. Баргалёв, Т.С. Ховратович, В.В. Елсаков // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2009. – Вып. 6, Т. 2. – С. 343-352.
20. Горные леса / С.Г. Синицин, А.С. Агеенко, В.З. Гулишавили, К.К. Калущий, И.П. Коваль [и др.] – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 200 с.
21. **Егоров, В.А.** Мониторинг повреждений растительного покрова пожарами по данным спутниковых наблюдений / В.А. Егоров, С.А. Барталев, Е.А. Лупян, И.А. Уваров; гл. ред. д.т.н. В.П. Савиных // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, МИИГАиК.* – 2006. – Вып. 2. – С. 98-109.

References

1. **Sergeev, V.V.** The analysis and processing of images received in observation Earth surface from space / V.V. Sergeev // *Computer Optics.* – 2006. – N 29. – P. 41-57. – (in Russian).
2. **Karlsen, S.R.** Method using indicator plants to map local climatic variation in the Kangerlussuaq/Scoresby Sund area, East Greenland / S.R. Karlsen, A.A. Elvebakk // *Journal of Biogeography.* – 2003. – N 30. – P. 1469-1491.
3. **Shutova, E.** Growing seasons of Nordic mountain birch in northernmost Europe as indicated by long-term field studies and analyses of satellite images / E. Shutova // *Int. J. Biometeorol.* – 2006. – N 51. – P. 155-166.
4. **Karlsen, S.R.** Satellite-based mapping of the growing season and bioclimatic zones in Fennoscandia / S.R. Karlsen, A. Elvebakk, K.A. Hogda, B. Johansen // *Global Ecology and Biogeography.* – 2006. – N 15. – P. 416-430.
5. **Shijatov, S.G.** Spatial-Temporal dynamic of forest-tundra ecotones on Polar Ural / S.G. Shijatov, M.M. Terentjev, V.V. Phomin // *Journal of Ecology.* – 2005. – N 2. – P. 83-90. – (in Russian).
6. **Shijatov, S.G.** The tree and shrub vegetation dynamic in mountains part of Polar Ural under climatic effects / S.G. Shijatov // *Yekaterinburg: UrD RAS,* 2009. – 216 p. – (in Russian).
7. **Ojdupa, O.Ch.** The long-term changes of summer temperature and radial growth of larch on high forest border of Altai-Sajan Mountains area / O.Ch. Ojdupa, E.A. Vaganov, M.M. Naurzbaev // *Journal of Dendrology.* – 2004. – N 6. – P. 14-24. – (in Russian).
8. **Alekseenko, N.A.** The winter topographic maps / N.A. Alekseenko, T.G. Svatkova // *Bulletin of Moscow st. Un-v. Series. 5., Geography.* – 2008. – N 3. – P. 8-11. – (in Russian).
9. The forestry and forest resources of Komi Republic. – Moscow: "Dizain. Informatia. Kartographya" Publisher, 2000. – 260 p. – (in Russian).
10. The Biodiversity of aquatic and terrestrial ecosystem of Kozim river basin. – Syktyvkar, 2010. – P. 128-136. – (in Russian).
11. **Nepomilueva, N.I.** The trees vegetation form of mountains plains of Subpolar Ural / N.I. Nepomilueva, V.V. Pachuchii, G.A. Simonov // *Geography and natural resources.* – 1986. – N 4. – P. 73. – (in Russian).
12. **Teillet, P.M.** On the slope-aspect correction of multispectral scanner data / P.M. Teillet, B. Guindon, D.G. Goodeonugh // *Can. J. Remote Sens.* – 1982. – Vol. 8. – P. 84-106.
13. **Nichol, J.** Empirical correction of low Sun angle images in steeply sloping terrain: a slope-matching technique / J. Nichol, Law Kin Hang, Wong Man Sing // *International Journal of Remote Sensing.* – 2006. – Vol. 27, N 3. – P. 629-635.
14. **Twele, A.** The effect of stratified topographic correction on land cover classification in tropical mountainous regions / A. Twele, M. Kappas, J. Lauer // *ISPRS Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes"*, Enschede, the Netherlands, 2006. – P. 8-11.
15. **Civco, D.L.** Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery / D.L. Civco // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* – 1989. – Vol. 55(9). – P. 1303-1309.

16. **Law, K.H.** Topographic correction for differential illumination effects on ikonos satellite imagery / K.H. Law, J. Nichol. - URL: http://www.isprs.org/istanbul2004/com_m3/papers/347.pdf.
17. **Colby, J.D.** Topographic normalization in rugged terrain / J.D. Colby // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1991. – Vol. 57. – P. 531-537.
18. **Elsakov, V.V.** Mapping of vegetation cover of Kozim river basin (Subpolar Ural) with remote sensing data / V.V. Elsakov, I.O. Marushak, V.M. Schyanov // Modern problems of remote sensing methods of Earth from Space. – 2009. – Vol. 6, part. 2. – P. 360-363. – (in Russian).
19. **Bartalev, S.A.** The satellite images for estimation of carbon sink in forest ecosystems under cutting effects / S.A. Bartalev, T.C. Chpvratovich, V.V. Elsakov // Modern problems of remote sensing methods of Earth from Space. – 2009. – Vol. 6, part. 2. – P. 343-352. – (in Russian).
20. **Mounties forests.** – Moscow: The Forestry industry, 1979. – 200 p. – (in Russian).
21. **Egorov, V.A.** The Monitoring of vegetation cover fire damages with satellite data / V.A. Egorov, S.A. Bartalev, E.A. Lupjan, I.A. Uvarov // Proceedings of the university. Geodesy and aero photography. – 2006. – Vol. 2. – P. 98-109. – (in Russian).

SPECTRAZONAL SATELITE IMAGES IN ESTIMATION OF CLIMATIC TRENDS OF FOREST VEGETATION ON WEST SLOPES OF SUBPOLAR POLAR URAL

V.V. Elsakov^{1,2}, I.O. Marushak¹
¹Institute of Biology Komi Sc UrD RAS,
²Syktvykar Forest Institute

Abstract

The results of remote sensing monitoring of tree density in Subpolar Ural are presented per period of 18 years (1988-2006). The SMA-method of winter images was a basis for calculation of changes. The forest density was more stable in plain part of area. The main natural trends of forest density were related with increasing of crown density in ecoton zone with rare Larix is near 1-2% per year on gently sloping mountains slopes.

Key words: satellite monitoring, optical spectral diapason, forest crown, Subpolar Ural.

Сведения об авторах



Елсаков Владимир Валериевич, 1973 года рождения. В 1995 г. окончил Сыктывкарский государственный университет (СыктГУ) по специальности «Биолог». Кандидат биологических наук, доцент по специальности «Ботаника». Старший научный сотрудник отдела компьютерных систем технологий и моделирования Института биологии Коми НЦ УрО РАН, доцент кафедры лесного хозяйства Сыктывкарского лесного института. Научные интересы – использование материалов дистанционного зондирования в исследовании растительности европейского севера России. Автор 80-ти работ. Персональные данные в Интернете: www.ib.komisc.ru.

E-mail: elsakov@ib.komisc.ru.

Vladimir Valerievich Elsakov, (b. 1973) graduated from Syktvykar State University (Syktvykar, Komi Republic) in Biology faculty. In present Dr. of biology in Biology Institute Komi Scientific Center in Department of computer analysis and modeling. Scientific interest – technology of remote sensing monitoring in investigation of vegetation comunetes of European North of Russia. Author of 80 scientific papers.



Марущак Игорь Олегович, 1987 года рождения. В 2009 г. окончил Сыктывкарский государственный университет (СыктГУ) по специальности «Экология». В настоящее время аспирант-очник Института биологии Коми НЦ УрО РАН по специальности «Экология». Соавтор пяти работ. Область научных интересов: дистанционные методы исследований.

E-mail: pipcosisco@mail.ru.

Igor Olegovich Marushak, (b. 1987). In 2009 graduated from Syktvykar State University (Syktvykar, Komi Republic) in Biology faculty as a «Ecologist». It present PhD student of post-graduate study at Komi Scientific Center. Author of 5 scientific papers at remote sensing application in ecologi research field.

Поступила в редакцию 1 октября 2010 г.