# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ СИММЕТРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИКСЕЛЕЙ В МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СРЕДНЕГО И ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Ю. Ф. Рожков<sup>1</sup>, М. Ю. Кондакова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный природный заповедник «Олекминский» e-mail: olekmazap-nauka@yandex.ru <sup>2</sup>ФГБУ «Гидрохимический институт» e-mail: vesna-dm@mail.ru

Поступила в редакцию 01.02.2016

Целью настоящего исследования была оценка возможности использования показателя симметрии распределения пикселей в мониторинге состояния лесов. Мультиспектральные космические снимки высокого и среднего разрешения Landsat TM/ETM+, Aster, Spot, IRS, сделанные в период с 1995 по 2011 гг. и их фрагменты подвергались двухэтапной обработке. Вначале проводилась неуправляемая классификации методом ISODA-ТА (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technigue). Затем проводился расчет показателя симметрии распределения пикселей. Результаты классификации делились на две половины. В верхней половине сосредоточены классы с низкими значениями оптической плотности отраженного света, в нижней – классы с высокими значениями оптической плотности. Показатель симметрии распределения представляет собой разность между двумя половинами результатов классификации (в пикселах) или разность между долями верхней и нижней половин в общем результате классификации (безразмерная величина, позволяющая сравнивать разные по величине фрагменты снимков). Показана перспективность показателя симметрии распределения пикселей при оценке нарушенности лесов от пожаров. Нарушенные участки леса имеют сумму пикселей в нижней половине результатов классификации большую, чем в верхней половине результатов классификации. Тогда как ненарушенные участки леса имеют сумму пикселей в верхней половине результатов классификации большую или равную результатам классификации нижней половины. Показана перспективность использования показателя симметрии распределения пикселей в мониторинге сезонных изменений состояния лесов. Сравнение двух фрагментов с доминированием лиственницы и сосны сибирской показало, что в осенние месяцы (сентябрь, октябрь) происходит резкое уменьшение показателя симметрии распределения пикселей фрагмента с доминированием лиственницы за счет увеличения доли пикселей с высокой оптической плотностью после хвоепада и листопада. Для фрагмента с доминированием сосны сибирской сезонные изменения показателя симметрии распределения пикселей менее выражены. Рассмотрена перспективность использования показателя симметрии распределения пикселей в долговременном мониторинге состояния лесных экосистем (на примере процесса восстановления лесов после пожара). Определена скорость восстановления леса на фрагменте гари площадью 6.98 км<sup>2</sup>.

**Ключевые слова**: дешифрирование космических снимков, классификация Isodata, симметрия распределения пикселей.

## Введение

Для решения вопросов оперативного мониторинга состояния экосистем и оценки их нарушенности с использованием дешифрирования космических снимков используются различные методы, основанные на анализе изменений спектральных характеристик и оптической плотности на снимках. В случае анализа нарушенности лесных экосистем от пожаров широко используется оценка по хлорофильному индексу – MTCI (Jadunandan Dash, Curran, 2004), эмиссии углерода в результате пожаров (Krankina et al., 2004; Hall et al., 2006), индексу гарей – NBR (Hudak et al., 2007; Escuin et al., 2008). В основе перечисленных индексов заложена закономерная связь уменьшения концентрации хлорофилла, продуктивности, биомассы растений с увеличением нарушенности экосистем.

Недостатком этих традиционных методов определения является зависимость спектральной яркости от различных факторов, связанных с условиями съемки: сезонностью, состояния атмосферы, типом съёмочной камеры и её ориентацией.

Появляется необходимость выявления других признаков, взятых для дешифрирования. Влиянию перечисленных недостатков менее подвержены методы, основанные на оценке состояния экосистемы по изменению её структуры. При этом оцениваются изменения самой структурной организации экосистемы независимо от типа съемочной камеры, спектральных характеристик снимка, сезонности, состояния атмосферы.

## Материал и методы

Для осуществления непрерывного мониторинга за состоянием бореальных лесов использовалось дешифрирование мультиспектральных космических снимков среднего и высокого разрешения Landsat TM/ETM+, Aster, Spot, IRS, сделанных в период с 1995 по 2011 гг. Все снимки прошли радиометрическую и геометрическую коррекцию. Исследования проводились на территории Юго-Западной Якутии на территории площадью 10000 км<sup>2</sup>. Для обработки космических снимков использовался пакет программ ENVI-4.0, ArcGis 10.3, ArcView-3.3 с модулями Image Analyst, Spatial Analyst. В качестве показателей, с помощью которых осуществлялся мониторинг состояния лесов, был выбран показатель симметрии распределения результатов неуправляемой классификации мультиспектральных снимков, проведенной по методу ISODATA (классификации «без обучения»). В основу инструмента «Классификация» заложен метод кластерного анализа ISODATA, который использует установленное число итераций (перегруппировка пикселей по классам) и порог сходимости для выбранных классов. Выбранный метод неуправляемой классификации является самоорганизующимся, так как исследователь указывает только количество классов, на которые нужно разбить весь массив данных (ArcView Image Analysis, 1998). В качестве объектов для анализа выступают пиксели снимков среднего и высокого разрешения, которые соответствуют по шкале биоразнообразия

урочищам. При разрешающей способности снимка в 30 м размеры пикселя соответствуют площади 900 м<sup>2</sup>. Каждый пиксель характеризуется своим спектром (в случае снимков Landsat – семь спектральных каналов) и величиной оптической плотности отраженного света, который фиксирует фотокамера спутника. При проведении классификации по методу ISODATA программой в первую очередь учитывается значение оптической плотности и классы формируются в группы по увеличению оптической плотности. Визуально, при классификации на два класса в первый класс включены пиксели с малыми значениями оптической плотности (он представлен темным цветом), во второй класс -пиксели с большими значениями оптической плотности (он представлен белым цветом). При увеличении количества классов появляются классы с промежуточными значениями оптической плотности, но при этом сохраняется симметрия распределения пикселей. Этот показатель характеризует соотношение между пикселями с малой оптической плотностью отраженного света (что соответствует покрытой лесом территории, сосредоточенной в верхней части результатов классификации) и пикселями с большой оптической плотностью (что соответствует территории с большой долей открытых пространств в том числе, каменными осыпями и гольцами, лугами, ерниковыми зарослями, пустошами и редколесьем), представленными в нижней части результатов классификации).

Расчет показателя симметрии распределения пикселей производится в два этапа:

1. Проводится классификация выбранного фрагмента снимка или снимка целиком на любое четное количество классов: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 и т.д.

2. Каждый результат классификации делится пополам. Рассчитывается сумма пикселей для

Havan waxay ya a	Landsat, 1995 г.		Spot, 2007 год			IRS, 2009 год			
пенарушенный лес	6 кл.	10 кл.	18 кл.	6 кл.	10 кл.	18 кл.	6 кл.	10 кл.	18 кл.
общая ∑ пикс.	256956	256956	256956	127049	127049	127049	375512	375512	375512
∑ пикселей верхн. части	147829	140832	143792	68593	64599	67978	222822	219964	220011
∑ пикселей нижн. части	109127	116124	113164	58456	62450	59071	152690	155548	155501
	38702	24705	30628	10137	2149	8907	70132	64416	64510
Показатель симметрии	или	или	ИЛИ	или	или	ИЛИ	или	или	ИЛИ
распределения	0.575	0.56 -	0.56 -	0.54 -	0,51 -	0.53 -	0.59 -	0.59 -	0.59 -
пикселей	-0.425=	0.45=	0.44=	0.46=	0.49=	0.46=	0.41=	0.41=	0.41=
	0.15	0.11	0.11	0.08	0.02	0.07	0.18	0.18	0.18

 Таблица 1. Показатель симметрии распределения пикселей при классификации ненарушенных лесов

 Table 1. A symmetry of the distribution of pixels in the classification of undisturbed forests

Таблица 2. Показатель симметрии распределения пикселей при классификации нарушенных лесов

Hanymanny X Haa	Landsat, 1995 г. 10		Landsat,2001 г. 15			Spot, 2009 г. 24 года			
парушенный лес	лет после пожара		лет после пожара			после пожара			
после пожара 1985 г.	6 кл.	10 кл.	18 кл.	6 кл.	10 кл.	18 кл.	6 кл.	10 кл.	18 кл.
общая ∑ пикс.	331047	331047	331048	331047	331047	331047	484056	484056	484056
∑ пикс. верхн. половины	153627	155346	155258	151027	158368	160186	247354	245948	243590
∑ пикс. нижн. половины	177420	175701	175790	180020	171679	170861	236702	238108	240466
	-23793	-20355	-20532	-28993	-13311	-10675	10652	7840	3124
Показатель симметрии	или	или	или	или	или	ИЛИ	или	или	или
распределения	0.46 -	0.46 -	0.46 -	0.48 -	0.48 -	0.48 -	0.51 -	0.51 -	0.50 -
пикселей	0.54=	0.53=	0.53=	0.54=	0.51=	0.51=	0.49=	0.49=	0.49=
	-0.08	-0.07	-0.07	-0.06	-0.03	-0.03	0.02	0.02	0.01

**Table 2**. Distribution pixel symmetry in the classification of forest disturbance

каждой половины классов. И проводится сравнение результатов суммирования. При этом делается расчет разности между суммами пикселей верхней и нижней половин (в абсолютном выражении) или расчет разности между долями верхней и нижней половин в общем результате классификации (чтобы сравнить фрагменты, отличающиеся по площади). (Рожков, Кондакова, 2014).

Кроме того, для проведения анализа симметрии распределения пикселей при изменении площади и сезонных изменений использовались серии фрагментов космических снимков с разной площадью. Сохранялись фрагменты по размеру экрана дисплея с разным масштабом – 1:15, 1:16, 1:17, 1:18, 1:20. Каждый шаг по увеличению на единицу масштаба соответствовал увеличению площади территории, представленной на экране на 2025 пикселей или на 1.82 км<sup>2</sup> (рис. 1). Ниже представлены результаты использования показателя симметрии распределения пикселей в разных направлениях мониторинга состояния лесов.

### Результаты и обсуждение

## 1. Оценка нарушенности лесных экосистем по показателю симметрии распределения пикселей.

После пожара симметрия распределения пикселей по классам нарушается в сторону преобладания пикселей с большой оптической плотностью (большей долей послепожарных пустошей и редколесий). Поэтому, в нижней половине классов отмечено большее количество пикселей. Тогда как ненарушенные экосистемы характеризуются равенством или превышением суммы пикселей верхней половины над суммой пикселей нижней половины результатов классификации (табл. 1).

По мере зарастания послепожарных пустошей картина распределения пикселей по классам выравнивается, и сумма пикселей в верхней и нижней половинах классов становится одинаковой или отмечается преобладание суммы пикселей в верхней половине над нижней (табл. 2).

# 2. Оценка изменений показателя симметрии распределения пикселей с увеличением площадей фрагментов космического снимка.

Для оценки изменений показателя симметрии распределения пикселей с увеличением площадей анализируемых фрагментов были сохранены серии фрагментов космического снимка с возрастающим масштабом – 1:15, 1:16, 1:17, 1:18, 1:20 (рис. 1). После проведения классификации каждого фрагмента и определения показателя симметрии распределения пикселей были получены кривые роста площадей с малыми значениями оптической плотности (верхняя половина результатов классификации) и участков с пикселями с большими значениями оптической плотности (с большой долей открытых пространств) –нижняя половина результатов классификации (рис. 2).

В случае фрагментов с доминированием лиственничных лесов (А) углы наклона кривых одинаковые (кривые практически параллельны). Это говорит о том, что соотношение лесов и участков с большой долей открытых пространств меняется равномерно с ростом анализируемых площадей. В случае фрагментов с доминированием сосны сибирской (В) характер кривых говорит о том, что при увеличении площадей фрагментов количество покрытых лесом территорий (верхняя половина результатов классификации) увеличивается больше, чем территорий с большой долей открытых пространств (нижняя половина результатов классификации). Кривая, характеризующая покрытые лесом территории более крутая, чем кривая, характеризующая территории с большой долей открытых пространств.

В случае фрагментов с нарушенными после пожаров лесами, при увеличении площадей фрагментов сохраняется преобладание территорий с открытыми пространствами над территориями, покрытыми лесом. Причем, кривая, характеризующая площади пустошей и редколесий более крутая, чем кривая, характеризующая площади, покрытые лесом.

Расчет зависимости показателя симметрии распределения пикселей от увеличения площади фрагментов представлен в табл. 3.

**3.** Оценка сезонных изменений показателя симметрии распределения пикселей.

При оценке сезонных изменений показателя симметрии распределения пикселей были использованы серии фрагментов мультиспектральных космических снимков, сделанных летом (июль, август) и осенью (сентябрь, октябрь). Построены кривые сезонного изменения площадей покрытых лесом территорий (верхняя половина результатов классификации) и участков, с большой долей открытых пространств (нижняя половина результатов классификации) (рис. 3).

Анализ кривых сезонных изменений показателя симметрии распределения пикселей, показал, что кривые изменения покрытых лесом тер-



**Рис. 1.** Изменение масштабов на снимке в диапазоне от 1:15 до 1:20.

**Fig. 1.** Change the scales on the image in the range of 1:15 to 1:20.

риторий (верхняя половина результатов классификации) резко отличаются от кривых изменения площадей, занятых пикселями с большой долей



**Рис. 2**. Кривые зависимости показателя симметрии распределения пикселей от увеличения площадей фрагментов. А – фрагменты лесов с доминированием лиственницы; В – фрагменты лесов с доминированием сосны сибирской; С – фрагменты нарушенных лесов после пожара.

**Fig. 2.** The curves of the asymmetry of distribution of pixels by increasing the area of fragments. A – fragments of forests with the dominance of larch; B – fragments of forests with the dominance of Siberian pine; C – fragments disturbed forests after a fire.

Таблица 3. Зависимость показателя симметрии распределения пикселей от увеличения площади фрагмента в абсолютном выражении (пиксели) и в виде отношения

Показатель	Масштаб	К-наклон				
симметрии распределения пикселей / размер	1:15, 12870	1:16, 14508	1:17, 16368	1:18, 18480	1:20, 22865	линии линейн. регрессии
Фрагмент	2166	2192	2423	2822	3153	
с доминир. лиственницы	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.11
Фрагмент с	2099	2637	3898	4863	6455	
доминир. сосны сибирской	0.16	0.18	0.24	0.26	0.29	0.45
Фрагмент с	-1591	-1678	-2342	-3711	-3829	
нарушенным лесом	-0.12	-0.14	-0.16	-0.17	-0.18	-0.26

**Table 3**. The dependence of the asymmetry of the distribution of pixels by increasing the area of the fragment (in absolute terms (pixels) in the form of a ratio

открытых пространств (нижняя половина результатов классификации) как в случае фрагментов с доминированием лиственницы, так и фрагментов с доминированием сосны сибирской.

Для кривых изменения площадей, покрытых лесом, отмечено некоторое уменьшение количества пикселей с июля по октябрь. Причем, в большей мере это характерно для фрагментов с доминированием лиственницы (А), чем для фрагментов с доминированием сосны сибирской (С). Зато резкое отличие характера кривых изменения площадей выявлено для пикселей с высокой оптической плотностью (нижняя половина результатов классификации). В осенние месяцы (сентябрь, октябрь) происходит резкое увеличение площадей, занятых открытыми пространствами. Причем, эта разница более характерна для фрагментов с доминированием лиственницы (В). Это связано с тем, что в сентябре, октябре происходит листопад и хвоепад и увеличиваются доля открытых пространств. В табл. 4 представлены расчеты сезонной зависимости показателя симметрии распределения пикселей для фрагментов масштаба 1:18 площадью 18480 пикселей или 16.63 км<sup>2</sup>.

4. Долговременный мониторинг состояния лесов с использованием показателя симметрии распределения пикселей (на примере процесса восстановления после пожара).

С помощью показателя симметрии распределения пикселей успешно осуществляется долговременный мониторинг процесса восстановления лесов после пожара. Нами была выбрана гарь 1985 г., занимающая территорию 522 км<sup>2</sup> (рис. 4)

Были использованы летние снимки, сделанные с интервалом в несколько лет. Также проводилась классификация методом ISODATA фрагментов, содержащих площади, нарушенные лесным пожаром с последующим разделением результатов классификации на две половины. Нижняя половина характеризует процесс уменьшения количества послепожарных пустошей и редколесий (уменьшения количества пикселей с большой оптической плотностью отраженного света), верхняя половина характеризует процесс восстановления лесов (увеличения количества пикселей с малой оптической плотностью). Причем, оба процесса дополняют друг друга. Насколько увеличилась площадь лесов на гари, настолько уменьшилась площадь послепожарных пустошей. Поэтому и показатель называется симметрией распределения пикселей. На рис. 5 приведены результаты оценки процесса восстановления лесов на месте пожара 1985 г. с помощью показателя симметрии распределения пикселей. Нами была проведена классификация фрагментов космических снимков на 2, 4, 6, 8, 10, 16 классов. Характер кривой восстановления от пожаров не зависит от количества классов.

Скорость восстановления лесов на месте фрагмента гари 1985 г. площадью 6.98 км<sup>2</sup> составила 1.06 км<sup>2</sup> за 10 лет (за период с 2001 по 2011 гг.) или 0.106 км<sup>2</sup> в год.

Процесс восстановления после пожара идет на разных участках гари с разной интенсивностью. И зависит от доли послепожарных пустошей (чем больше доля послепожарных пустошей, тем больше масштабы нарушений после пожаров).

Нами был рассчитан показатель симметрии распределения пикселей для трех одинаковых фрагментов гари 1985 г., но с разной долей послепожарных пустошей (37%, 50%, 65%). Симметрия распределения пикселей (разность между пикселями с низкой оптической плотностью и



**Рис. 3**. Сезонные изменения показателя симметрии распределения пикселей. А, В – фрагменты с доминированием лиственницы; С, D – фрагменты с доминированием сосны сибирской.

**Fig. 3.** Seasonal variation of the asymmetry of the distribution of pixels. A, B – fragments dominated by larch; C, D – fragments dominated by Siberian pine.

Таблица 4. Оценка сезонной зависимости показателя симметрии распределения пикселей

Table 4. Evaluation of the seasonal dependence of the asymmetry of the distribution of pix	xels
--	------

Фрагмент снимка/ месяц		ИЮЛЬ	август	сентябрь	октябрь
Фрагмент с доминированием лиственницы	∑ пикс. верхн. половины	11925	10105	9773	9396
	∑ пикс. нижн. половины	8055	7283	10207	10584
	-	3870	2822	-434	-1588
	Показатель симметрии распределения пикселей	0.21	0.15	-0.02	-0.09
Фрагмент с доминированием сосны сибирской	∑ пикс. верхн. половины	12035	10088	9719	10469
	∑ пикс. нижн. половины	6445	5625	8261	7711
	Показатель симметрии	5590	4463	1458	2758
	распределения пикселей	0.35	0.24	0.08	0.13



**Рис. 4**. Границы пожара 1985 г. с послепожарными пустошами. Площадь пожара – 522 км<sup>2</sup> (красный цвет), площадь послепожарных пустошей (зеленый цвет) – 225 км<sup>2</sup> (43%), малонарушенные территории (желтый цвет) – 57%.

**Fig. 4.** The boundaries of a fire in 1985 with the wastelands postfire. Area of a fire  $-522 \text{ km}^2$  (red), 225 km<sup>2</sup> – the post-fire wastelands Square (Green) (43%), undisturbed areas (yellow) – 57%.

высокой оптической плотностью) приводится в абсолютных величинах (разность между результатами классификации на два класса в пикселях), так как сравниваемые фрагменты равны по площади. В результате расчета симметрии распределения пикселей показано, что чем более нарушен участок леса (больше доля послепожарных пустошей), тем более интенсивно идет процесс восстановления лесов от пожара (рис. 6).

#### Выводы

1. Показана возможность использования показателя симметрии распределения пикселей при оценке нарушенности лесов от пожаров. После пожара симметрия распределения пикселей по классам нарушается в сторону преобладания пикселей с большой оптической плотностью (большей долей открытых пространств, послепожарных пустошей). Поэтому, в нижней половине классов отмечено большее количество пикселей. Тогда как ненарушенные экосистемы характеризуются равенством или превышением суммы пикселей верхней половины над суммой пикселей нижней половины результатов классификации. По мере зарастания послепожарных пустошей картина распределения пикселей по классам выравнивается, и сумма пикселей в верхней и нижней половинах классов становится одинаковой или отмечается преобладание суммы пикселей в верхней половине над нижней.

2. При оценке изменений показателя симметрии распределения пикселей с изменением площадей покрытых лесом территорий показано, что в случае лиственничных лесов соотношение между древостоем и участками с большой долей открытых пространств меняется равномерно с ростом анализируемых площадей. В случае фрагментов с доминированием сосны сибирской показано, что при увеличении площадей фрагментов количество покрытых лесом территорий (верхняя половина результатов классификации) увеличивается больше, чем территорий с большой долей открытых пространств (нижняя половина результатов классификации). Кривая, характеризующая покрытые лесом территории более крутая, чем кривая, характеризующая территории с большой долей открытых пространств. В случае фрагментов с нарушенными после по-



Рис. 5. Оценка процесса восстановления лесов после пожара с помощью показателя симметрии распределения пикселей.

Fig. 5. Evaluation of forest restoration after the fire by the index of symmetry distribution of pixels.

жаров лесами, при увеличении площадей фрагментов сохраняется преобладание территорий с открытыми пространствами над территориями, покрытыми лесом. Причем, кривая, характеризующая площади пустошей и редколесий более крутая, чем кривая, характеризующая площади, покрытые лесом.

3. При оценке сезонных изменений состояния лесов с помощью показателя симметрии распределения пикселей проведено сравнение участков с доминированием лиственницы с участками с доминированием сосны сибирской. Показано, что для участков с доминированием лиственницы в осенние месяцы (сентябрь, октябрь) происходит резкое уменьшение показателя симметрии распределения пикселей за счет увеличения доли пикселей с высокой оптической плотностью. Это связано с процессами хвоепада и листопада и соответственно с увеличением доли открытых пространств и увеличением оптической плотности отраженного света. В то время, как для участков с доминированием сосны сибирской эти сезонные изменения слабо выражены.

4. Показана перспективность использования показателя симметрии распределения пикселей в долговременном мониторинге состояния лесов. На примере процесса восстановления лесов от пожара была рассчитана скорость зарастания гари 1985 г. на участке площадью 6.98 км<sup>2</sup>, которая составила 1.06 км<sup>2</sup> за 10 лет (за период с 2001 по 2011 гг.) или 0.106 км<sup>2</sup> в год.

Также показано, что процесс восстановления после пожара идет на разных участках гари с разной интенсивностью. Чем более нарушен участок леса (больше доля послепожарных пустошей), тем более интенсивно идет процесс восстановления лесов от пожара.



Рис. 6. Оценка процесса восстановления лесов после пожара с помощью показателя симметрии распределения пикселей для фрагментов гари с разной долей послепожарных пустошей.

**Fig. 6.** Assessment of forest recovery process after the fire with the help of the indicator for the symmetry of the distribution of pixels of burning fragments with varying degrees of post-fire wasteland.

#### Литература

Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю. Оценка нарушенности лесных экосистем после пожаров с использованием дешифрирования космических снимков // Фундаментальные исследования. 2014. № 9 (9). С. 2018–2022.

ArcView Image Analisis. Руководство пользователя. М.: Дата+, 1998. 270 с.

Escuin S., Navarro R., Fernandez P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from Landsat TM/ETM images // Journal of Remote Sensing . 2008.  $N^{\circ}$  29. P. 1053–1073.

Hall R.J., Skakun R.S., Arsenault E.J, Case B.S. Modelling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: application to mapping of aboveground biomass and stand volume // Forest ecology and management. 2006. No 225. P. 378–390.

Hudak A.T., Morgan P., Bobbitt M.J., Smith M.S., Lewis S.A., Lentile L.B., Robichand P.R., Clark J.T., McKinley R.A. Relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects// Journal of Fire ecology. 2007. № 3. P. 64–90.

Jadunandan Dash, Curran P.J. MTCI: The MERIS Terrestrial chlorophyll index // ENVISAT Symposium Proceedings. Austria, Salzzburg: 2004.

Krankina O.N., Harmon M.E., Cohen W.B., Oetter D.R., Duane M.V. Carbon stores, thinks, and sources in forests of northwestern Russia can we reconcile forest inventories with remote sensing results? // Climate change. 2004. № 67. P. 257– 272.

### References

ArcView Image Analysis. Guidelines for the user. 1998. Moscow: Data+. 270 p. [In Russian].

Escuin S. [et al.]. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from Landsat TM/ETM images. *Journal of Remote Sensing* 29: 1053–1073.

Hall R.J. [et al.]. 2006. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: application to mapping of aboveground biomass and stand volume. *Forest ecology and management* 225: 378–390.

Hudak A.T. [et al.]. 2007. Relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects. *Journal of Fire ecology* 3: 64–90.

Jadunandan Dash, Curran P.J. 2004. MTCI: The MERIS Terrestrial chlorophyll index. *ENVISAT Symposium Proceedings*. Austria, Salzzburg.

Krankina O.N. [et al.]. 2004. Carbon stores, thinks, and sources in forests of northwestern Russia can we reconcile forest inventories with remote sensing results? *Climate change* 67: 257–272.

Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. 2014. Assessment of forest ecosystems violations after forest fires using interpretation of space images. *Fundamental research* 9 (9): 2018–2022 [In Russian].

# ESTIMATES OF CHANGES OF STRUCTURAL PARAMETERS OF FOREST ECOSYSTEMS IN DECODING HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES

## Yu. F. Rozhkov<sup>1</sup>, M. Yu. Kondakova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Nature Reserve "Olekminskiy" e-mail: r1953@rambler.ru <sup>2</sup>Hydrochemical Institute e-mail: vesna-dm@mail.ru

Aim of this study was to assess the possibility of using of the parameter of symmetry of pixel distribution in the forest condition monitoring. Multispectral satellite imagery and their fragments of high and medium resolution (Landsat TM/ETM+, Aster, Spot, IRS), which have been made in 1995–2011, were processed in two stages. At the first stage, uncontrolled classification has been carried out using the method ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technigue). At the second stage, parameter of symmetry of pixel distribution was calculated. The results of classification were divided into two halves. Classes with lower optical density of the reflected light were concentrated in the upper half while classes with higher optical density of the reflected light were concentrated in the bottom half.

The prospects for using the parameter symmetry of pixel distribution aim to assess the degree of forest disturbance after the fire impact was demonstrated. Disturbed forest areas a have larger sum of pixels in the bottom half of the classification results compared with the upper half. In contrast, undisturbed forest areas have a larger or equal sum of pixels in the upper half of the classification results compared with the bottom half.

The prospects for using the parameter symmetry of pixel distribution in monitoring of seasonal changes of forest status were demonstrated. Comparison of two forest fragments with dominance of larch and Siberian pine showed that during the autumn months (September, October) after needle fall and leaf fall, there is a sharp decrease of the parameter "symmetry of pixel distribution" within the fragment with dominance of larch due to the increase of the proportion of pixels with high optical density. Seasonal changes in the parameter of symmetry of pixels distribution in the long-term monitoring of forest ecosystems status ( for example of the forest restoration process after fire impact). The rate of forest recovery was determined within the burned fragment with an area of 6.98 km<sup>2</sup>.

Key words: classification ISODATA, interpretation of satellite images, the symmetry of pixel distribution.