

Сравнительная характеристика лесных массивов с использованием дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения

Ю.Ф. Рожков^{1,*}, М.Ю. Кондакова²

¹ФГБУ «Государственный природный заповедник «Олекминский», Олекминск, Россия

²ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону, Россия

*olekmazar-nauka@yandex.ru

Аннотация. Для целей мониторинга состояния лесных экосистем наиболее эффективно использование возможностей дистанционных методов. На мультиспектральных космических снимках DigitalGlobe территории государственного природного заповедника «Олекминский» выделены фрагменты площадью 0,819 км² (масштаб 1:3200) с доминированием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* Rupr.). Затем были сохранены полигоны по четырем уровням детализации – 4, 16, 64, 256 с масштабами 1:1600, 1:800, 1:400, 1:200 соответственно. При дешифрировании проводилась неуправляемая классификация фрагмента полигонов методом ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) на 2, 4, 10 классов. По результатам классификации на 2 класса показана взаимосвязь между индексом лесистости и количеством деревьев, отмеченных на полигонах. Были построены кривые распределения значений индекса лесистости для полигонов 4 уровня детализации. Характер кривых близок к нормальному распределению. По результатам классификации на 4 и 10 классов была проведена статобработка с расчетом показателей разности и подобия полигонов – дисперсии генеральной совокупности и теста Фишера (F-тест). Выделены наиболее похожие пары полигонов на разных уровнях детализации. Рассмотрены результаты изменения дисперсии генеральной совокупности и F-теста на разных уровнях детализации.

Ключевые слова: дешифрирование космических снимков, классификация Isodata, индекс лесистости, дисперсия, F-тест.

Введение

Для целей мониторинга состояния лесных экосистем наиболее эффективно использование дистанционных методов. В качестве реперов для оценки сохранности биоразнообразия лесов могут служить такие параметры, как общая лесистость, фрагментация лесного покрова, доля вторичных (мелколиственных) лесов, развитие антропогенной инфраструктуры и доля охраняемых территорий разного подчинения [1, 2]. Дистанционные методы анализа космических снимков используются при определении основных таксационно-дешифровочных показателей [3–8], трехмерном моделировании структуры и динамики таежных ландшафтов [9], почвенно-растительного покрова [10]. Снимки сверхвысокого разрешения позволяют определять такие таксационные характеристики, как сомкнутость крон, класс бонитета [11], высота яруса, средний диаметр и высота древостоя, относительная полнота, запас,

сомкнутость полога, проекции крон [12, 13], проективное покрытие [14]. В качестве инструментов дешифрирования широко распространен кластерный анализ [15–18].

Целью настоящего исследования является сравнение двух лесных массивов с использованием инструментов дешифрирования космических снимков сверхвысокого разрешения.

Материалы и методы

При осуществлении непрерывного мониторинга за состоянием бореальных лесов использовалось дешифрирование RGB-покрытия DigitalGlobe сверхвысокого разрешения (разрешение 0,6 м/пикс.), полученного в общедоступных сервисах GoogleEarth, SasPlanet. Исследования проводились на территории Олекминского заповедника Юго-Западной Якутии. Для сравнения были выбраны два полигона площадью 0,819 км² (масштаб 1:3200) с доминированием лиственницы

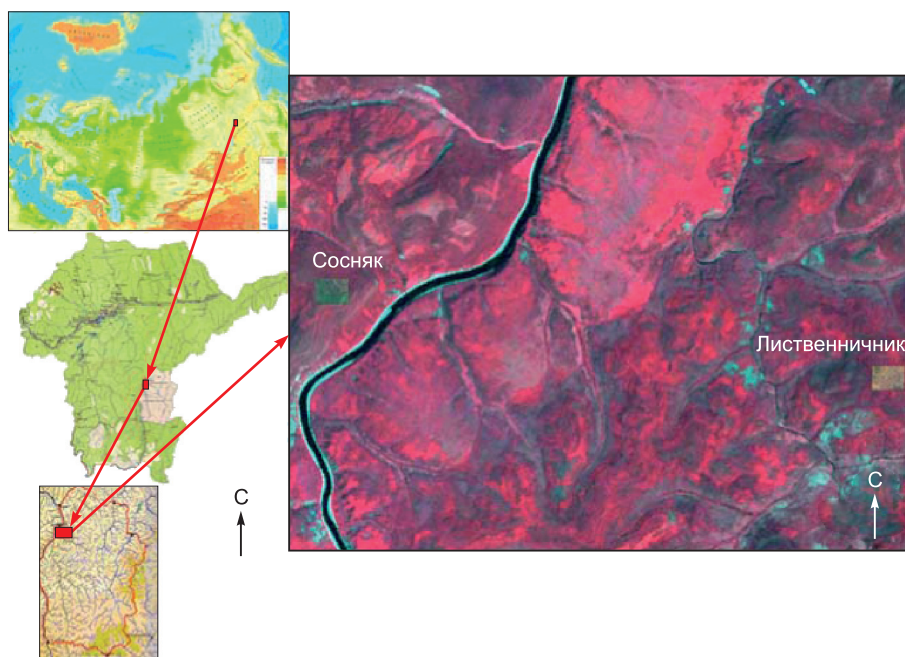


Рис. 1. Район исследования.

Fig. 1. Study area.

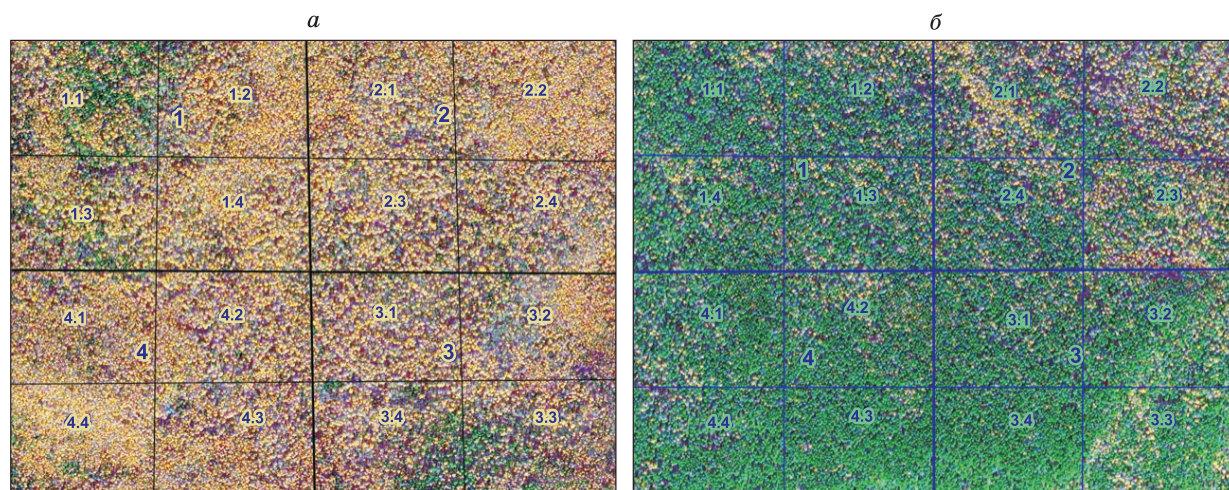


Рис. 2. Разбивка снимка DigitalGlobe масштаба 1:3200 на полигоны (4, 16 полигонов).

а – лесной массив с доминированием лиственницы Гмелина; б – лесной массив с доминированием сосны обыкновенной.

Fig. 2. Breakdown of a DigitalGlobe image at a scale of 1: 3200 into polygons (4, 16 polygons).

а – forest area with dominance of larch Gmelin; б – forest area with dominance of Scots pine.

Гмелина (*Larix gmelinii* Rupr.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (рис. 1). Каждый из выбранных полигонов был разбит на четыре полигона масштаба 1:1600. Далее были получены 16 полигонов с масштабом 1:800. Способ получения полигонов разных масштабов описан ранее [19–21] (рис. 2). На третьем уровне детализации продолжалось разбиение на те-

трады. Получилось 64 полигона масштаба 1:400 (рис. 3). На четвертом уровне детализации получилось 256 полигонов масштаба 1:200 и площадью 3199 м² (прямоугольник размером 45×70 м) (рис. 4). Деление на 8 секторов каждого из полигонов в программе Adobe Photoshop применялось для более точного подсчета деревьев по количеству крон.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

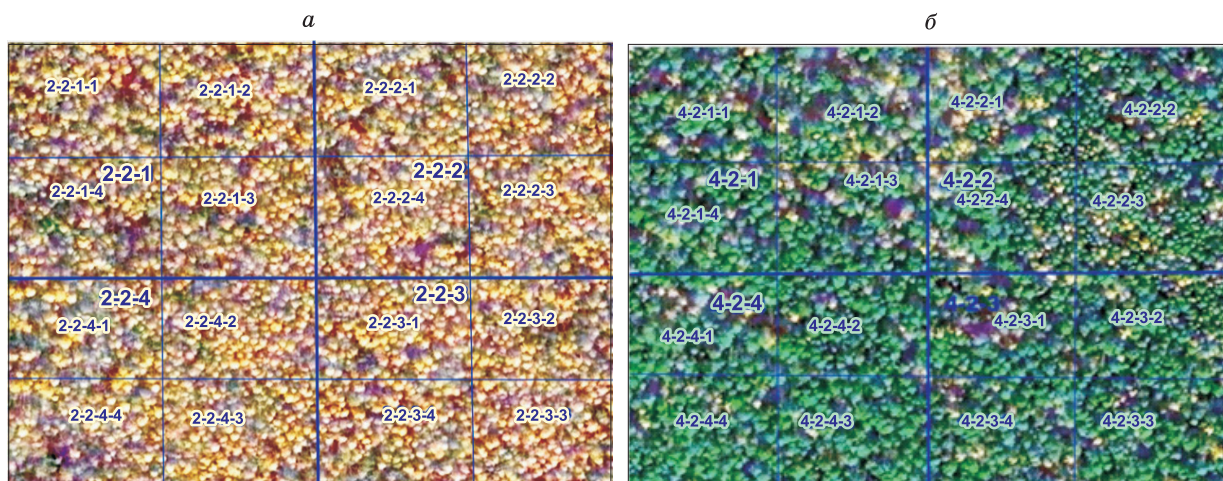


Рис. 3. Разбивка фрагмента снимка (масштаб 1:800) на полигоны (4 и 16 полигонов).
 а – фрагмент 2 = 2 с доминированием лиственницы; б – фрагмент 4 = 2 с доминированием сосны обыкновенной.

Fig. 3. Breakdown of a fragment of the image (scale 1: 800) into polygons (4 and 16 polygons).
 а – fragment 2 = 2 with the dominance of larch; б – fragment 4 = 2 with the dominance of Scots pine.

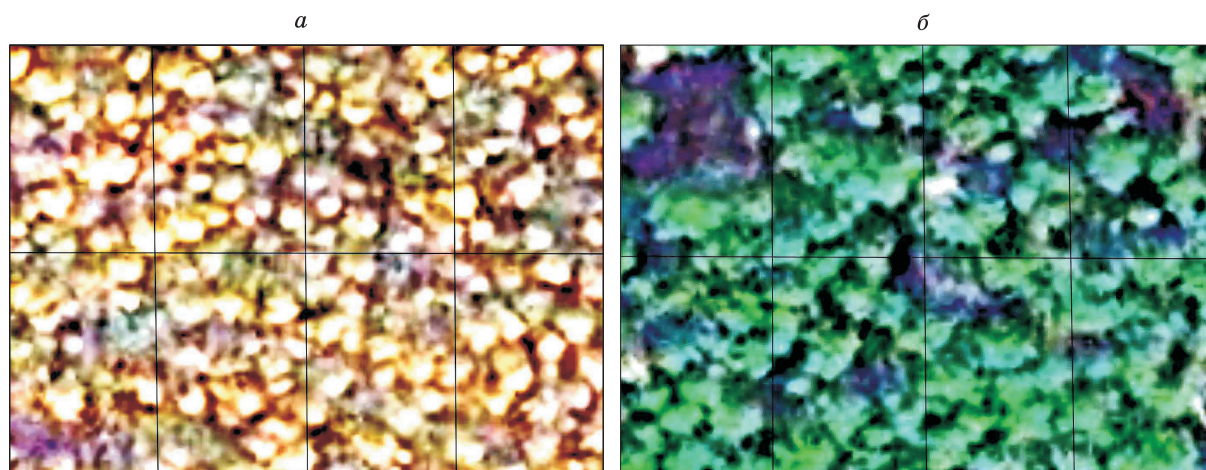


Рис. 4. Полигоны масштаба 1:200 четвертого уровня детализации.
 а – полигон 4 = 4 – 1 – 2 с доминированием лиственницы Гмелина; б – полигон 4 = 4 – 4 – 3 с доминированием сосны обыкновенной

Fig. 4. Polygons of scale 1: 200 of the fourth level of detail.
 а – Polygon 4 = 4 – 1 – 2 with the dominance of larch Gmelin; б – Polygon 4 = 4 – 4 – 3 with the dominance of Scots pine.

При обработке космических снимков использовался пакет программ ENVI-4.0 (для преобразования RGB-покрытия в формат Geotif), ArcView-3.3 с модулями Image Analyst, Spatial Analyst (для дешифрирования полученных снимков). В качестве показателей, с помощью которых осуществлялся мониторинг состояния лесов, были выбраны два инструмента кластерного анализа: классификация ISODATA и тематическая разность пикселей [19, 22]. Была проведена классификация снимков на 2, 4, 10 классов. Классификация на два класса позволяет определить ин-

декс, характеризующий лесистость[2], который определяется как отношение площади, покрытой лесной растительностью, к общей площади: $D = df/S$, где D – лесистость; df – площадь, покрытая лесной растительностью, m^2 ; S – общая площадь территории, m^2 .

Классификация на 4 и 10 классов была использована при статистическом анализе. Проводилось сравнение по дисперсии генеральной совокупности, тесту Фишера на подобие массивов (F-тест). До проведения статистического анализа все результаты расчета классификации были

Таблица 1

**Результаты пересчета результатов классификации снимка DigitalGlobe
на 10 классов для разных масштабов**

Table 1

**Results of recalculation of results of classification of a DigitalGlobe image
into 10 classes for different scales**

Класс	Снимок DigitalGlobe лиственничник					Снимок DigitalGlobe сосняк				
	Масштаб									
	исходный	4	4 = 4	4 = 4 – 1	4 = 1 – 1 – 3	исходный	2	2 = 2	2 = 2 – 1	2 = 2 – 1 – 2
	1:3200	1:1600	1:800	1:400	1:200	1:3200	1:1600	1:800	1:400	1:200
1	20492	16876	30289	15848	24970	10997	12406	11143	12066	14480
2	30221	27097	29776	37941	28702	29663	25744	25807	26785	30904
3	32301	28785	21858	23871	28651	27768	27883	29967	29451	27180
4	26376	24549	31829	30782	21718	26720	21034	22270	21734	28151
5	16921	21570	19656	19770	24776	22522	24616	26356	20070	18513
6	28263	20397	13881	18916	18722	22532	21098	19735	24756	23466
7	19143	21642	14167	16751	20696	20929	29192	25453	28165	24620
8	13695	23717	21670	19551	15930	27551	29661	29790	28636	25530
9	23546	25029	23171	23444	27352	23600	21806	22726	21569	19276
10	10662	11959	15322	14746	10102	9339	8180	8373	8389	9499
Сумма пикселей	221620	221620	221620	221620	221620	221620	221620	221620	221620	221620

пересчитаны и приведены к размерности полигона масштаба 1:200. Результаты классификации на всех четырех уровнях детализации представлены в табл. 1.

Результаты и обсуждение

Особенности распределения полигонов лесного массива по значениям индекса лесистости. Были определены индексы лесистости на всем четырех уровнях детализации по масштабам. Особенности распределения полигонов по значениям индексов представлены в табл. 2.

Индекс лесистости соснового массива в целом равен 0,600. Первая тетрада из полигонов масштаба 1:1600 имеет разброс по значениям индекса лесистости от 0,567 до 0,645, серия из 16 полигонов масштаба 1:800 – от 0,527 до 0,663. Наконец, серия из 64 полигонов масштаба 1:400 имеет разброс индекса лесистости от 0,498 до 0,667, а из 256 полигонов масштаба 1:200 – от 0,471 до 0,740. Индекс лесистости лиственничного массива показывает похожий характер распределения. Исходный полигон имеет индекс лесистости выше среднего – 0,578. Но разброс

Таблица 2

Характеристика полигонов лесных массивов по значениям индекса лесистости

Table 2

Characteristics of forest sites for forestation index values

Масштаб	Площадь полигона, м ²	Лиственничник		Сосняк	
		Диапазон значений	Разброс значений	Диапазон значений	Разброс значений
1:3200	819000	0,578	1 полигон	0,600	1 полигон
1:1600	204750	0,562–0,600	0,038 из 4	0,567–0,645	0,078 из 4
1:800	51188	0,539–0,614	0,075 из 16	0,527–0,663	0,136 из 16
1:400	12797	0,544–0,630	0,086 из 64	0,498–0,667	0,199 из 64
1:200	3199	0,517–0,661	0,143 из 256	0,471–0,740	0,271 из 256

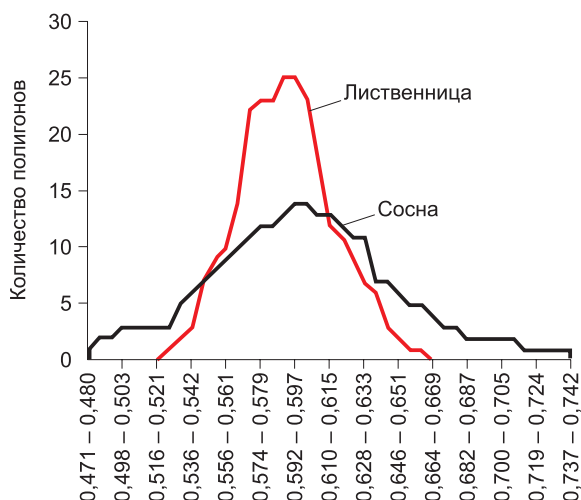


Рис. 5. Распределение полигонов масштаба 1:200 (256 шт.) по значениям индексов лесистости.

Fig. 5. Polygons distribution of scale 1: 200 (256 pcs.) from the values of the forest cover index.

значений на каждом из последующих уровней почти в два раза ниже, чем у полигонов соснового массива: 0,078 и 0,038 для первого уровня, 0,136 и 0,075 для второго, 0,199 и 0,086 для третьего уровня, соответственно.

В целом, при сравнении распределения индекса лесистости по значениям видно (рис. 5), что обе кривые близки к кривым нормального распределения, но кривая для соснового массива положе, что говорит о более равномерном распределении индекса лесистости по всем диапазонам значений.

Связь между индексом лесистости и количеством деревьев, отмеченных на полигоне.

Для установления связи между значениями индекса лесистости и количеством деревьев были выбраны в сосняке и лиственничнике по две тетрады с максимальными и минимальными значениями индекса. Затем подсчитано количество деревьев в каждом из выбранных полигонов по кронам. Результаты сравнения показаны в табл. 3. Как в сосняке, так и в лиственничнике наблюдается прямая положительная связь между индексом лесистости и количеством деревьев. Чем больше значения индекса лесистости, тем больше количество деревьев, подсчитанных в пределах полигона.

Сравнение полигонов лесного массива с помощью статистических методов.

Каждый полигон тетрады с масштабом 1:200, 1:400, 1:800, 1:1600 подвергался обработке с определением дисперсии генеральной совокупности и F-теста на подобие. Ранее [23] определение F-теста массивов данных позволило оценить, насколько похожи исследуемые лесные массивы. Если для однородного лесного массива все значения F-теста выше 0,90, а для некоторых полигонов этот показатель выше 0,99 (полное подобие 1,0), то для неоднородного лесного массива значения F-теста изменяются в широком диапазоне от 0,55 до 0,94. Сравнение по показателю дисперсии при классификации на 10 классов показало пятикратное ее превышение дисперсии полигонов для неоднородных над однородными массивами. В настоящей ра-

Таблица 3

Сравнение полигонов лесных массивов по индексу лесистости и количеству деревьев

Table 3

Comparison of forest polygons by forest cover index and number of trees

Показатель	Лиственничник				Сосняк			
Номер полигона	4 = 4 - 1 - 1	4 = 4 - 1 - 2	4 = 4 - 1 - 3	4 = 4 - 1 - 4	2 = 1 - 2 - 1	2 = 1 - 2 - 2	2 = 1 - 2 - 3	2 = 1 - 2 - 4
Индекс лесистости	0.633	0.589	0.548	0.585	0.708	0.713	0.707	0.701
Количество деревьев	149	146	146	147	96	122	126	112
Номер полигона	4 = 3 - 3 - 1	4 = 3 - 3 - 2	4 = 3 - 3 - 3	4 = 3 - 3 - 4	3 = 4 - 3 - 1	3 = 4 - 3 - 2	3 = 4 - 3 - 3	3 = 4 - 3 - 4
Индекс лесистости	0.533	0.514	0.486	0.471	0.537	0.488	0.481	0.489
Количество деревьев	101	103	104	107	76	71	75	86

Таблица 4

Сравнение полигонов первого уровня детализации по статистическим характеристикам

Table 4

Comparison of polygons of the first level of detail according to statistical characteristics

Номер полигона	Дисперсия		F-тест (подобие)	
	Лиственничник	Сосняк	Лиственничник	Сосняк
1	24622015	32261852	0,769	0,734
2	21414155	26285049	0,430	0,804
3	28163432	29754189	0,912	0,903
4	21790515	31757086	0,471	0,765

Таблица 5

Сравнение тетрад лиственничника с разным уровнем детализации по показателю дисперсии генеральной совокупности (полигоны 1 = 1, 2, 3, 4; 1 = 3 – 1, 2, 3, 4, 1 = 3 – 3 – 1, 2, 3, 4)

Table 5

Comparison of larch tetrads with different levels of detail in terms of the dispersion of the general aggregate (polygons 1 = 1, 2, 3, 4; 1 = 3 – 1, 2, 3, 4; 1 = 3 – 3 – 1, 2, 3, 4)

Детализация 4-го уровня							
С 1 = 3 – 3	Разность дисперсий	С 1 = 3	Разность дисперсий	С 1	Разность дисперсий	С 1:3200 Исходн.	Номер полигона
24397816	–461918	24859733	–1050228	25909961	–2473282	28383243	1 = 3 – 3 – 1
17405720	–461918	17867638	–1050228	18917866	–2473282	21391148	1 = 3 – 3 – 2
19202048	–461918	19663966	–1050228	20714194	–2473282	23187476	1 = 3 – 3 – 3
17056239	–461918	17518157	–1050228	18568385	–2473282	21041667	1 = 3 – 3 – 4
19515456	–461918	19977373	–1050228	21027602	–2473282	23500884	Средн.
Детализация 3–го уровня							
С 1 = 3	Разность дисперсий	С 1	Разность дисперсий	С 1:3200 Исходн.	Номер полигона		
19759423	–1050228	20809651	–2473282	23282933	1 = 3 – 1		
20779152	–1050228	21829380	–2473282	24302662	1 = 3 – 2		
19586360	–1050228	20636588	–2473282	23109870	1 = 3 – 3		
22916424	–1050228	23966652	–2473282	26439934	1 = 3 – 4		
20760340	–1050228	21810568	–2473282	24283850	Средн.		
Детализация 2–го уровня							
С 1	Разность дисперсий	С 1:3200 Исходн.	Номер Полигона				
21483754	–2473282	23957036	1 = 1				
18697430	–2473282	21170712	1 = 2				
21098505	–2473282	23571787	1 = 3				
21347715	–2473282	23820997	1 = 4				
20656851	–2473282	23130133	Средн.				

боте проводилось определение статистических характеристик каждого полигона по уровням детализации.

Полигон масштаба 1:200 последовательно сравнивался с полигонами масштаба 1:400, 1:800, 1:1600 и исходным полигоном масштаба 1:3200.

Сравнение тетрад сосняка с разным уровнем детализации
по показателю дисперсии (полигоны 3 = 1, 2, 3, 4; 3 = 3 – 1, 2, 3, 4, 3 = 3 – 3 – 1, 2, 3, 4)

Table 6

Comparison of pine tetrads with different levels of detail
in terms of dispersion (polygons 3 = 1, 2, 3, 4; 3 = 3 – 1, 2, 3, 4, 3 = 3 – 3 – 1, 2, 3, 4

Детализация 4 –го уровня							
С 3 = 3 – 3	Разность дисперсий	С 3 = 3	Разность дисперсий	С 3	Разность дисперсий	С 1:3200 Исходн.	Номер полигона
39150722	1462806	37687916	478038	37209878	1238208	35971670	3 = 3 – 3 – 1
37398832	1462806	35936026	478037	35457989	1238209	34219780	3 = 3 – 3 – 2
30442550	1462806	28979744	478037	28501707	1238209	27263498	3 = 3 – 3 – 3
27028476	1462806	25565670	478037	25087633	1238209	23849424	3 = 3 – 3 – 4
33505145	1462806	32042339	478037	31564302	1238209	30326093	Средн.
Детализация 3–го уровня							
С 3 = 3		Разность дисперсий	С 3	Разность дисперсий	С 1:3200 Исходн.	Номер полигона	
31138958		478037	30660921	1238217	29422704	3 = 3 – 1	
30199344		478037	29721307	1238208	28483099	3 = 3 – 2	
33411278		478037	32933241	1238208	31695033	3 = 3 – 3	
28834443		478037	28356406	1238209	27118197	3 = 3 – 4	
30896006		478037	30417969	1238211	29179758	Средн.	
Детализация 2–го уровня							
С 3		Разность дисперсий	С 1:3200 Исходн.		Номер полигона		
31918793		1238209	30680584		3 = 1		
30347547		1238209	29109338		3 = 2		
31470435		1238209	30232226		3 = 3		
29443508		1238209	28205299		3 = 4		
30795071		1238209	29556862		Средн.		

На первом уровне детализации (табл. 4) сравнение первой тетрады с исходным полигоном масштаба 1:3200 показало, что по результатам классификации на 10 классов в лиственничнике и сосняке наиболее подобны исходным полигонам полигоны № 3. Для них характерны максимальные значения F-теста (0,912 и 0,903 соответственно). Наименее похожи на исходный полигон в лиственничнике – полигоны 2 и 4, а в сосняке – полигоны 1 и 4 с наименьшими значениями F-теста. По значениям дисперсии генеральной совокупности наибольшая изменчивость результатов классификации характерна для сосняков (дисперсия изменяется от 26285049 до 32261852), тогда как в лиственничниках она изменяется от 21414155 до 28163432.

По показателю дисперсии генеральной совокупности проведено сравнение тетрад разного

уровня детализации. Было показано, что дисперсия тетрады каждого уровня изменяется на постоянную величину при переходе между уровнями детализации (табл. 5, 6). Тетрада, независимо от значений дисперсии каждого из полигонов, при переходе с первого уровня детализации ко второму изменяется на величину –2473282 для полигона 1 лиственничника и на величину 1238209 для полигона 3 сосняка. При переходе со второго к третьему уровню детализации тетрада выступает также как единое целое с постоянной величиной переходного коэффициента, который составляет –1050228 для лиственничника и 478038 для сосняка. Наконец, при переходе между третьим и четвертым уровнем детализации коэффициент перехода также одинаков для всех четырех полигонов тетрады и составляет –461918 для лиственничника и 1462806 для сосняка.

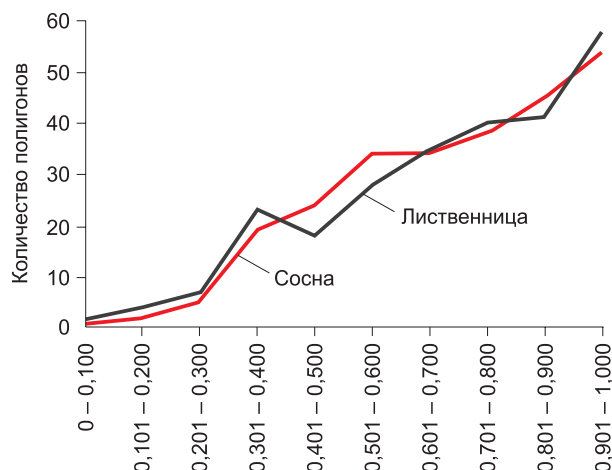


Рис. 6. Сравнение лесных массивов по кривым распределения значений F-теста.

Fig. 6. Compare forest areas of value distribution curves F-test.

Величина переходных коэффициентов при переходе между уровнями детализации не зависит от изменений дисперсии в пределах тетрады, а является разностью между средними значениями дисперсий каждого из уровней детализации.

Возможным объяснением такого изменения дисперсии при переходах между уровнями детализации является фрактальная структура организации как самих растений, так и растительных сообществ [24, 25], основанная на принципе самоподобия.

Сравнение каждого из полигонов четвертого уровня детализации с исходным полигоном по F-тесту показало, что массивы с доминированием сосны и лиственницы имеют похожие кривые распределения полигонов по значениям F-теста (рис. 6). Полигоны, мало подобные исходному полигону масштаба 1:3200 (с диапазоном значений от 0,100 до 0,500), составляют только пятую часть (51 полигон для соснового массива и 55 полигонов для лиственничного). Большая часть полигонов сосредоточена в диапазоне значений F-теста от 0,800 до 0,999, т. е. с высоким уровнем подобия исходному полигону. Для соснового массива это 138 полигонов из 256, для лиственничника – 139 полигонов из 256.

Заключение

В результате использования кластерного анализа в дешифрировании снимков сверхвысокого разрешения DigitalGlobe лесных экосистем Олекминского заповедника была дана сравни-

тельная характеристика двух лесных массивов площадью 0,819 км² с доминированием лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* Rupr.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на четырех уровнях детализации на 4, 16, 64, 256 полигонов. Показано, что кривые распределения полигонов по значениям индексов лесистости близки к кривым нормального распределения, но кривая для массива с сосной более пологая, что говорит о более равномерном распределении индекса лесистости по всем диапазонам значений.

Как в сосняке, так и в лиственничнике наблюдается прямая положительная связь между индексом лесистости и количеством деревьев. Чем больше значения индекса лесистости, тем больше количество деревьев, подсчитанных в пределах полигона.

Каждый полигон тетрады с масштабами 1:200, 1:400, 1:800, 1:1600 подвергся статистической обработке с определением показателей разности и подобия полигонов – дисперсии генеральной совокупности и F-теста на подобие. Определялось, насколько полигоны схожи с исходным полигоном, между собой в тетраде и с полигонами второго, третьего и четвертого уровней детализации. На первом уровне детализации сравнение первой тетрады с исходным полигоном масштаба 1:3200 показало, что по результатам классификации на 10 классов наиболее подобны исходному полигону полигоны № 3 сосняка и лиственничника. Для них характерны максимальные значения F-теста (0,912 и 0,903). Наименее похожи на исходный полигон – полигоны 2, 4 для лиственничника и 1, 4 для сосняка – с наименьшими значениями F-теста.

По показателю дисперсии генеральной совокупности было проведено сравнение тетрад разного уровня детализации. Было показано, что дисперсия тетрады каждого уровня изменяется на постоянную величину при переходе между уровнями детализации независимо от значений дисперсии в пределах тетрады. Величина переходных коэффициентов при переходе между уровнями детализации является разностью между средними значениями дисперсий каждого из уровней.

Сравнение каждого из полигонов четвертого уровня детализации с исходным полигоном по F-тесту показало, что массивы с доминированием сосны и лиственницы имеют похожие кривые

распределения полигонов по значениям F-теста. Большая часть полигонов сосредоточена в диапазоне значений F-теста от 0,800 до 0,999, т. е. с высоким уровнем подобия исходному полигону (для соснового массива это 138 полигонов, для лиственничника – 139 полигонов из 256).

Литература

1. *Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы* / Под ред. А.С. Исаева. М.: Наука, 2008. 453 с.
2. *Исаев А.С., Князева С.В., Пузаченко М.Ю. и др.* Использование спутниковых данных для мониторинга биоразнообразия лесов // Исследование Земли из космоса. 2009. № 2. С. 1–12.
3. *Толкач И.В.* Методы основных таксационно-дешифровочных показателей на цифровых снимках // Труды БГТУ. 2012. № 1. С. 63–65.
4. *Жарко В.О., Барталев С.А., Егоров В.А.* Исследование возможностей оценки запасов древесины в лесах Приморского края по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 1. С. 157–168.
5. *Ховратович Т.С., Барталев С.А., Кашицкий А.В.* Метод детектирования изменений лесов на основе подпиксельной оценки проективного покрытия древесного полога по разновременным спутниковым изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 4. С. 102–110.
6. *Денисова А.Ю., Кавеленова Л.М., Корчиков Е.С. и др.* Пространственная классификация преобладающих древесных пород на территории Самарской области по данным Sentinel-2 и таксации леса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 4. С. 86–101.
7. *Фомин В.В., Залесов С.В., Магасумова А.Г.* Методики оценки густоты подроста и древостоев при зарастании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения // Аграрный вестник Урала. 2015. № 1. С. 125–129.
8. *Данилин И.М., Медведев Е.М., Абе Н.И. и др.* Высокие технологии XXI века для аэрокосмического мониторинга и таксации лесов. Задачи исследований и перспективы использования // Лесная таксация и лесоустройство. 2005. Вып. 1(34). С. 28–30.
9. *Исаев А.С., Суховольский В.Г., Хлеборос Р.Г. и др.* Моделирование лесообразовательного процесса: Феноменологический подход // Лесоведение. 2005. № 1. С. 3–11.
10. *Козодеров В.В., Кондранин Т.В.* Методы оценки состояния почвенно-растительного покрова по данным оптических систем дистанционного аэрокосмического зондирования. М: МФТИ, 2008. 222 с.
11. *Методика* лесного стереоскопического дешифрирования аэро- и космических снимков. СПб.: Леспроект, 2015. 23 с.
12. *Ожич О.С.* Измерительное дешифрирование чистых сосновых древостоев на цифровых аэро- и космических снимках: Автореф. дисс. ... канд. сельскохозяйственных наук. Минск, 2017. 24 с.
13. *Мальшева Н.В.* Дешифрирование древесной растительности на сверхдетальных изображениях [Электронный ресурс]: методическое пособие: учебное электронное издание. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ 2014. 40 с.
14. *Терехин Э.А.* Сезонная динамика проективного покрытия растительности агроэкосистем на основе спектральной спутниковой информации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 4. С. 111–123.
15. *Жирин В.М., Князева С.В., Эйдлина С.П.* Эколого-динамическое исследование лесообразовательного процесса по космическим снимкам // Лесоведение. 2013. № 5. С. 76–85.
16. *Шовенгердт Р.А.* Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
17. *Кочуб Е.В., Топаз А.А.* Анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Ф. Строительство. Прикладные науки. Геодезия. 2012. № 16. С. 132–140.
18. *Шумаков Ф.Т., Толстохатко В.А., Малец А.Ю.* Классификация космических снимков с использованием методов кластерного анализа // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. Вып. 3/4 (51). С. 58–62.
19. *Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю.* Оценка возможности использования показателя симметрии распределения пикселей в мониторинге состояния лесов при дешифрировании космических снимков среднего и высокого разрешения // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2016. Вып. 1(1). С. 98–107. DOI: 10.24189/ncr.2016.008
20. *Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю.* Мониторинг состояния лесов с использованием кластерного анализа при дешифрировании космических снимков среднего и высокого разрешения // Наука и образование. 2016. № 3. С. 95–101.
21. *Рожков Ю.Ф.* Мониторинг состояния лесных экосистем с использованием космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения // Вестник СВФУ. Сер. Науки о Земле. 2019. № 4(16). С. 71–81. DOI:10.25587/SVFU.2020.16.49741
22. *Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю.* Оценка динамики восстановления лесов после пожаров в Олек-

минском заповеднике (Россия) по космическим снимкам Landsat// Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2019. Вып. 4(1). С. 1–10. DOI:10.24189/ncr.2019.014

23. Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю. Оценка структурных характеристик лесных экосистем с использованием дешифрирования космических снимков высокого и сверхвысокого разрешений // Вестник

СВФУ. 2018. № 1 (63). С. 38–51. DOI:10.25587/SVFU.2018.63.10539

24. Мандельброт Б.Б. Фрактальная геометрия природы. М: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.

25. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of trees and other natural phenomena // Lecture Notes in Biomathematics. 1978. Vol. 23. P. 235–249.

Поступила в редакцию 26.03.2020

Принята к публикации 19.05.2020

Об авторах

РОЖКОВ Юрий Филиппович, кандидат химических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУ «Государственный природный заповедник «Олекминский», Россия, 678100, Олекминск, ул. Филатова, 6,
<https://orcid.org/0000-0002-6830-9130>, olekmazap-nauka@yandex.ru;

КОНДАКОВА Мария Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Гидрохимический институт», Россия, 344090, Ростов-на Дону, проспект Стачки, 198,
vesna-dm@mail.ru.

Информация для цитирования

Рожков Ю.Ф., Кондакова М.Ю. Сравнительная характеристика лесных массивов с использованием дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25, № 2. С. 125–136. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-10>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-2-10

Comparative characterization of forests using the interpretation of ultra-high resolution images

Yu.F. Rozhkov^{1,*}, M.Yu. Kondakova²

¹State Nature Reserve «Olekminsky», Olekminsk, Russia

²Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia

*olekmazap-nauka@yandex.ru

Abstract. For the purpose of monitoring the state of forest ecosystems, it is most effective to use the capabilities of remote sensing methods. Fragments of 0.819 km² (scale 1: 3200) with the dominance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Gmelin larch (*Larix gmelinii* Rupr.) were identified on DigitalGlobe multispectral satellite images of the territory of the Olekminsky State Nature Reserve. Then, the polygons were saved at four levels of detail – 4.16.64.256 with scales of 1: 1600, 1: 800, 1: 400, 1: 200. When decoding, an uncontrolled classification of the fragment and polygons was carried out using the ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) method for 2, 4, 10 classes. According to the results of classification into 2 classes, the relationship between the forest cover index and the number of trees marked on the landfills is shown. The distribution curves for forest cover index values were constructed for polygons at level 4 of detail. The nature of the curves is close to the normal distribution. According to the classification results for grades 4 and 10, statistical processing was carried out with the calculation of the indicators of the difference and similarity of the polygons – the dispersion of the general aggregate and the

Fisher test (F-test). The most similar pairs of polygons at different levels of detail are highlighted. The results of changes in the dispersion and the F-test at different levels of detail are considered.

Key words: satellite image interpretation, Isodata classification, forest cover index, dispersion, F-test.

References

1. *Monitoring biologicheskogo raznoobraziya lesov Rossii: metodologiya i metody* / red. A.S. Isaeva. M.: Nauka, 2008. 453 p.
2. *Isaev A.S., Knyazeva S.V., Puzachenko M.Yu. et al. Ispol'zovanie sputnikovykh dannykh dlya monitoringa bioraznoobraziya lesov* // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2009. No. 2. P. 1–12.
3. *Tolkach I.V. Metody osnovnykh taksatsionno-deshifirovochnykh pokazatelei na tsifrovyykh snimkakh* // *Trudy BGTU*. 2012. No. 1. P. 63–65.
4. *Zharko V.O., Bartalev S.A., Egorov V.A. Issledovanie vozmozhnostei otsenki zapasov drevesiny v lesakh Primorskogo kraia po dannym sputnikovoi sistemy Proba-V* // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2018. V. 15, No. 1. P. 157–168.
5. *Khovratovich T. S., Bartalev S.A., Kashnitskii A.V. Metod detektirovaniya izmenenii lesov na osnove podpiksel'noi otsenki proektivnogo pokrytiya drevesnogo pologa po raznovremennym sputnikovym izobrazheniyam* // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019. Vol. 16, No. 4. P. 102–110.
6. *Denisova A.Yu., Kavelenova L.M., Korchikov E.S. et al. Prostranstvennaya klassifikatsiya preobladayushchikh drevesnykh porod na territorii Samarskoi oblasti po dannym Sentinel-2 i taksatsii lesa* // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019. Vol. 16, No. 4. P. 86–101.
7. *Fomin V.V., Zalesov S.V., Magasumova A.G. Metodiki otsenki gustoty podrosta i drevostoev pri zarastanii sel'skokhozyaystvennykh zemel' drevesnoi rastitel'nost'yu s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostranstvennogo razresheniya* // *Agrarnyi vestnik Urala*. 2015. No. 1. P. 125–129.
8. *Danilin I.M., Medvedev E.M., Abe N.I. et al. Vysokie tekhnologii XXI veka dlya aerokosmicheskogo monitoringa i taksatsii lesov. Zadachi issledovaniya i perspektivy ispol'zovaniya* // *Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo*. 2005. Vol. 1(34). P. 28–30.
9. *Isaev A.S., Sukhovolskii V.G., Khleboros R.G. et al. Modelirovaniye lessoobrazovatel'nogo protsessa: Fenomenologicheskii podkhod* // *Lesovedenie*. 2005. No. 1. P. 3–11.
10. *Kozoderov V.V., Kondranin T.V. Metody otsenki sostoyaniya pochvenno-rastitel'nogo pokrova po dannym opticheskikh sistem distantsionnogo aerokosmicheskogo zondirovaniya*. M.: MFTI. 2008. 222 p.
11. *Metodika lesnogo stereoskopicheskogo deshifirovaniya aero- i kosmicheskikh snimkov*. SPb.: Lesproekt. 2015. 23 p.
12. *Ozhich O.S. Izmeritel'noe deshifrirovaniye chistykh osnovnykh drevostoev na tsifrovyykh aero- i kosmicheskikh snimkakh: Avtoref. diss. ... kand. sel'skokhozyaystvennykh nauk*. Minsk, 2017. 24 p.
13. *Malysheva N.V. Deshifrirovaniye drevesnoi rastitel'nosti na sverkhdetal'nykh izobrazheniyakh [Elektronnyi resurs]: metodicheskoe posobie: uchebnoe elektronnoe izdanie*; M.: FGBOU VPO MGUL, 2014. 40 p.
14. *Terekhin E. A. Sezonnaya dinamika proektivnogo pokrytiya rastitel'nosti agroekosistem na osnove spektral'noi sputnikovoi informatsii* // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019. Vol. 16, No. 4. P. 111–123.
15. *Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P. Ekologo-dinamicheskoe issledovanie lesoobrazovatel'nogo protsessa po kosmicheskikh snimkam* // *Lesovedenie*. 2013. No. 5. P. 76–85.
16. *Shovengerdt R.A. Distantsionnoe zondirovaniye. Modeli i metody obrabotki izobrazhenii*. M.: Tekhnosfera, 2010. 560 p.
17. *Kochub E.V., Topaz A.A. Analiz metodov obrabotki materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli* // *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. Geodeziya*. 2012. No. 16. P. 132–140.
18. *Shumakov F.T., Tolstokhat'ko V.A., Malets A.Yu. Klassifikatsiya kosmicheskikh snimkov s ispol'zovaniem metodov klaster'nogo analiza* // *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*. 2011. V. 3/4 (51). P. 58–62.
19. *Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya pokazatelya simmetrii raspredeleniya pikselei v monitoringe sostoyaniya lesov pri deshifirovaniy kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo razresheniya* // *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*. 2016. V. 1(1). P. 98–107. DOI: 10.24189/ncr.2016.008
20. *Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. Monitoring sostoyaniya lesov s ispol'zovaniem klaster'nogo analiza pri deshifirovaniy kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo razresheniya* // *Nauka i obrazovanie*. 2016. No. 3. P.95–101.
21. *Rozhkov Yu.F. Monitoring sostoyaniya lesnykh ekosistem s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo i sverkhvysokogo razresheniya* // *Vestnik SVFU. Ser. Nauki o Zemle*. 2019. No. 4(16). P. 71–81. DOI:10.25587/SVFU.2020.16.49741
22. *Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. Otsenka dinamiki vosstanovleniya lesov posle pozharov v Olekminskom zapovednike (Rossiya) po kosmicheskikh snimkam*

Landsat// Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka. 2019. Vol. 4(1). P. 1–10. DOI:10.24189/ncr.2019.014

23. Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. Otsenka strukturnykh kharakteristik lesnykh ekosistem s ispol'zovaniem deshifirovaniya kosmicheskikh snimkov vysokogo i sverkhvysokogo razresheniya // Vestnik

SVFU. 2018. No. 1 (63). P. 38–51. DOI:10.25587/SVFU.2018.63.10539

24. Mandel'brot B.B. Fraktal'naya geometriya prirody. M.: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2002. 656 p.

25. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of trees and other natural phenomena // Lecture Notes in Biomathematics. 1978. Vol. 23. P. 235–249.

About the authors

ROZHKOV Yuri Filippovich, candidate of chemical sciences, deputy director for scientific research, Olekminsky State Nature Reserve, Russia, 678100, Olekminsk, 6 Filatov str., <https://orcid.org/0000-0002-6830-9130>, olekmazap-nauka@yandex.ru;

KONDAKOVA Maria Yuryevna, candidate of biological sciences, senior researcher, Hydrochemical Institute, Russia, 344090, Rostov-on-Don, 1983 Stachki Ave., vesna-dm@mail.ru.

Citation

Rozhkov Yu.F., Kondakova M.Yu. Comparative characteristics of forests using the interpretation of ultra-high resolution images // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020. Vol. 25, No. 2. P. 125–136. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-10>