

УДК 528.94

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ПРИЭЛЬБРУСЬЕ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

© 2016 Ю.М. Саблирова, Р.Х. Пшегусов, М.З. Моллаева, Е.М. Хакунова

Институт экологии горных территории им. А.К. Темботова РАН, г. Нальчик

Статья поступила в редакцию 22.01.2016

Важнейшей задачей современности является устойчивое управление лесами, обеспечивающее устойчивого лесопользования, органам лесного хозяйства нужна достоверная оперативная информация о состоянии лесных экосистем. Изучение пространственно-временной организации лесного покрова невозможно без использования современных картографических материалов. Создавать тематические карты возможно с использованием дистанционной информации. Для составления картографической модели в работе применялись три набора данных: многоканальные сканерные снимки со спутника Landsat (пространственное разрешение 28,5 м), данные радарной топографической съемки (SRTM), материалы полевых исследований, которые впоследствии формировали обучающую выборку. В работе проведен пошаговый дискриминантный анализ дистанционной информации и собственных данных полевых исследований. Общее качество дискриминации типов леса территории Национального парка «Приэльбрусье» составляет 94%. При проведении многомерного анализа в работе использованы 44 внешние переменные, при этом выявлено, что ведущими, в наибольшей степени различающимися типами леса, являются характеристики рельефа (высота над уровнем моря, форма поверхности), содержание влаги в растительности и почвах, общая яркость, подстилающие горные породы. По результатам многомерного анализа построена модель распространения сосновых типов леса, на основе которой в пакете MapInfo Professional 10.5 была составлена цифровая карта лесов Центрального Кавказа (в пределах НП «Приэльбрусье»). На карте отображены 13 типов сосновых лесов исследуемого района. Для территории НП «Приэльбрусье» характерны в большей степени следующие группы типов леса: сосняки травянистые (40,73 км²), сосняки зеленомошные (32,36 км²), сосняки березовые (31,58 км²), сосняки каменистые (31,55 км²). Меньше всего представлены сосняки кустарниковые, которые занимают площадь, равную 9,91 км². В последующем при получении новых сведений по результатам экспедиционных выездов о лесных экосистемах НП «Приэльбрусье» возможно уточнение и дополнение построенной цифровой карты. *Ключевые слова:* Центральный Кавказ, спутниковые изображения, многомерный анализ, лесные экосистемы, картографирование.

ВВЕДЕНИЕ

Для рационального ведения лесного хозяйства необходима объективная информация о состоянии лесных экосистем, их типологическом разнообразии - важнейшей природной характеристике лесных насаждений. Развитие многоканальной космической съемки создают новые возможности для исследования связей структуры биогеоценозов с условиями среды. Изучение пространственно-временной организации лесного покрова невоз-

можно без использования современных картографических материалов. Создавать тематические карты возможно с использованием спутниковых изображений Landsat и данных радарной топографической съемки (SRTM).

Ранее Ф.А. Темботовой с соавторами в работе [1] была построена картографическая модель лесных экосистем Баксанского ущелья (Центральный Кавказ). Однако при этом использовалась классификация лесов по П.Д. Ярошенко [2]. В настоящей работе при выделении типов леса использован методический подход В.Н. Сукачева [3, 4] как наиболее удобный и часто используемый при ведении лесного хозяйства. Также сформированная ранее база данных была дополнена новыми сведениями о лесах района исследования по результатам полевых исследований в 2013-2015 гг. на территории Национального парка «Приэльбрусье».

Целью настоящей работы являлось составление цифровой карты сосновых лесов, выделенных на основе методического подхода В.Н. Сукачева в условиях горного рельефа Центрального Кавказа (в пределах НП «Приэльбрусье») с использованием дистанционной информации.

Саблирова Юлия Мухамедовна, кандидат технических наук, и.о. старшего научного сотрудника лаборатории по мониторингу лесных экосистем.

E-mail: sablirova@mail.ru

Пшегусов Рустам Хаталиевич, кандидат биологических наук, и.о. заведующего лабораторией по мониторингу лесных экосистем. E-mail: p_rustem@inbox.ru

Моллаева Малика Зулкарнеевна, и.о. младшего научного сотрудника лаборатории по мониторингу лесных экосистем. E-mail: monika.011@yandex.ru

Хакунова Елена Мухадиновна, инженер-исследователь лаборатории почвенно-экологических исследований. E-mail: elena_khakunova@mail.ru

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются сосновые леса территории Национального парка «Приэльбрусье» в пределах эльбрусского лесничества, распространенные на высотах 1500–3000 м над уровнем моря.

Район исследования относится к эльбрусскому варианту поясности северного макросклона Центрального Кавказа, согласно типизации А.К. Темботова [5]. Климат умеренно континентальный, сухой. Климатические особенности обусловлены горным рельефом и большими перепадами высот. В связи с этим на данной территории произрастают сосновые и березовые ценозы в виде разрозненных участков леса. По данным метеостанции Терскол (собственные данные ИЭГТ РАН) среднегодовая температура воздуха равна 2,8 °С, средняя температура самого холодного месяца – января – -6,3 °С, средняя температура самого теплого месяца – августа составляет 12,8 °С. Распределение осадков неравномерное. Наименьшее количество выпадает в долине р. Баксан – 800 мм. С поднятием в горы количество осадков увеличивается и достигает 1100 мм.

На лесных участках исследуемого района проводились геоботанические описания и определялись таксационные характеристики древостоев по соответствующим методикам [3]. В исследуемых лесных ценозах были отобраны пробы почвы. Образцы для анализа почвы отбирались с верхнего слоя. Отбор и подготовка почвы для лабораторных исследований производились в соответствии с общепринятыми в почвоведении методами. При изучении химических свойств почв определялись: содержание органического вещества по методу Тюрина в модификации Никитина, рН солевой вытяжки потенциометрическим методом, потери массы при прокаливании [6]. Определение величины потери массы при прокаливании обусловлено тем, что в горных почвах процесс гумификации не завершен и измеренные значения процентного содержания гумуса не корректны. При прокаливании почвы при температуре 900 °С вся полуразложившаяся органика сжигается и остается только минеральная часть почвы.

Для составления картографической модели использованы три набора данных:

1. Многоканальные сканерные снимки со спутника Landsat;
2. Данные радарной топографической съемки;
3. Материалы полевых исследований, которые впоследствии формируют обучающую выборку.

Единая база данных, сформированная на основе вышеперечисленных блоков позволяет решать множество экологических задач, в том числе зависимость распространения различных типов леса от условий среды. Весь массив данных

анализируется посредством дискриминантного анализа в пакете Statistica 10.

В качестве дистанционной информации авторами были использованы мультиспектральный снимок спутниковой системы Landsat, датированный 31 июля 2007 г. с пространственным разрешением 28,5 (съемочные каналы – 1-5, 7; температурный канал – 6) и данные радарной топографической съемки. Свойства среды определялись через спектральные индексы, характеризующие состояние конкретных свойств земной поверхности через соотношения величин отраженной солнечной радиации в разных спектральных каналах съемки. Применялись индексы, характеризующие затраты энергии на фотосинтез, биомассу и биологическую продуктивность (NDVI, TVI, RVI, gNDVI, DVI, содержание влаги в растительности (LMI, NDWI) и другие [7, 8].

С использованием SRTM-файла определены морфометрические характеристики рельефа: высота, наклон (градиент) и форма поверхности (средняя кривизна и лапласиан. Использование в анализе характеристик рельефа обусловлено тем, что рельеф, перераспределяя влагу и солнечную радиацию, является важнейшим фактором определяющим пространственное распространение лесной растительности.

Пошаговый дискриминантный анализ полевых данных, морфометрических характеристик рельефа, спектральных индексов проводили в программе Statistica 10. Картографическая модель типов леса исследуемой территории строилась с использованием пакета MapInfo Professional 10.5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На исследуемой территории по результатам собственных полевых исследований выделено 17 типов леса, из них 13 типов сосновых лесов, формирующих обучающую выборку.

Результаты классификации типов леса на основе пошагового дискриминантного анализа представлены в виде классификационной матрицы (табл. 1). Общее качество дискриминации типов леса территории НП «Приэльбрусье» составляет 94%. При этом 12 типов леса распознаются в 100% случаев. Хуже всего распознаются сосняки березовые мертвопокровные, которые на 50% дискриминируются как сосняки березовые разнотравные.

Оценка статистической достоверности дискриминантных осей показала наличие трех осей с уровнем достоверности менее 0,05, что свидетельствует об их значимости при разделении типов леса (табл. 2).

При проведении многомерного анализа в работе использованы 44 внешние переменные, при этом выявлено, что ведущими в наибольшей степени различающие типы леса являются харак-

Таблица 1. Классификационная матрица

№	Тип леса	% распознавания точек
1	Осинник разнотравный	100,0000
2	Сосняк зеленомошный	83,3333
3	Березняк с ивой разнотравный	100,0000
4	Сосняк разнотравный	92,8571
5	Сосняк мертвопокровный	90,0000
6	Сосняк вейниковый	100,0000
7	Березняк мертвопокровный	100,0000
8	Сосняк березовый малиниково-вейниковый	100,0000
9	Березняк разнотравный	83,3333
10	Сосняк каменистый	100,0000
11	Сосняк черничный	100,0000
12	Сосняк редкопокровный	100,0000
13	Сосняк брусничный	100,0000
14	Сосняк родоретовый	100,0000
15	Сосняк березовый разнотравный	100,0000
16	Сосняк можжевельно-барбарисовый	100,0000
17	Сосняк березовый мертвопокровный	50,0000
Всего		94,0476

Таблица 2. Статистическая достоверность дискриминантного анализа

Оси дискриминантного анализа	Eigenvalue	Canonical - R	Wilk's - Lambda	Chi-Sqr.	df	p-level
0	10,02518	0,953571	0,000001	794,0612	608,0000	0,000000
1	4,53671	0,905200	0,000007	660,8511	555,0000	0,001286
2	4,14710	0,897617	0,000037	565,8683	504,0000	0,029046
3	3,27573	0,875284	0,000192	474,9353	455,0000	0,250327
4	2,75153	0,856413	0,000821	394,2964	408,0000	0,677885
5	2,03305	0,818718	0,003082	320,9162	363,0000	0,945387
6	1,49084	0,773647	0,009347	259,3352	320,0000	0,994490
7	0,99155	0,705605	0,023282	208,6847	279,0000	0,999407
8	0,92339	0,692881	0,046367	170,4500	240,0000	0,999780
9	0,74003	0,652148	0,089181	134,1481	203,0000	0,999945
10	0,53966	0,592037	0,155178	103,4065	168,0000	0,999977
11	0,49448	0,575215	0,238922	79,4547	135,0000	0,999962
12	0,40656	0,537629	0,357065	57,1559	104,0000	0,999947
13	0,31064	0,486842	0,502233	38,2224	75,0000	0,999871
14	0,24975	0,447032	0,658248	23,2086	48,0000	0,999047
15	0,21559	0,421137	0,822643	10,8354	23,0000	0,984805
16	0,00000	0,000504	1,000000	0,0000	0,0000	3,000E+30

теристики рельефа (высота над ур. м., форма поверхности), содержание влаги в растительности и почвах, общая яркость, подстилающие горные породы.

Проведенный мультирегрессионный анализ между обучающей выборкой и полученными дискриминантными осями, выявил 6 статистически значимых для анализа осей (табл. 3). Значение коэффициента детерминации R^2 соответствует 63% ($R^2 > 30\%$), что свидетельствует о том, что типы леса распознаются на высоком уровне [9].

Таким образом, в результате совместного анализа обучающей выборки и дистанционной информации получена модель пространственного распределения различных лесных биогеоценозов для территории НП «Приэльбрусье». Описания характеристик типов леса авторами данной статьи приведены в ранее опубликованной работе [10]. На исследуемой территории выделены 5 групп типов леса: сосняки зеленомошные, сосняки травянистые, сосняки каменистые, сосняки березовые, сосняки кустарниковые. Характеристики

Таблица 3. Мультирегрессионная модель обучающей выборки от дискриминантных осей
 $R = 0,79630433$ $R^2 = 0,63410059$ Adjusted $R^2 = 0,53985378$ $F(17,66) = 6,7281$ $p < 0,00000$ Std.
 Error of estimate: 3,1646

Оси дискриминантного анализа	Eigenvalue	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(66)	p-level
Intercept			8,08333	0,345285	23,41059	0,000000
CSCR_1	-0,003801	0,074458	-0,00594	0,116436	-0,05104	0,959445
CSCR_2	-0,556188	0,074458	-1,22735	0,164306	-7,46986	0,000000
CSCR_3	-0,070638	0,074458	-0,16167	0,170412	-0,94870	0,346232
CSCR_4	0,257748	0,074458	0,64724	0,186972	3,46168	0,000946
CSCR_5	0,143621	0,074458	0,38502	0,199607	1,92890	0,058046
CSCR_6	0,303904	0,074458	0,90608	0,221994	4,08157	0,000123
CSCR_7	0,022387	0,074458	0,07365	0,244967	0,30067	0,764611
CSCR_8	0,229697	0,074458	0,84515	0,273959	3,08494	0,002973
CSCR_9	0,044442	0,074458	0,16639	0,278771	0,59688	0,552628
CSCR_10	-0,206141	0,074458	-0,81144	0,293091	-2,76857	0,007301
CSCR_11	-0,155494	0,074458	-0,65069	0,311579	-2,08836	0,040627
CSCR_12	0,039082	0,074458	0,16600	0,316253	0,52489	0,601420
CSCR_13	0,057109	0,074458	0,25003	0,325988	0,76700	0,445819
CSCR_14	-0,020602	0,074458	-0,09344	0,337706	-0,27669	0,782881
CSCR_15	0,114790	0,074458	0,53317	0,345835	1,54168	0,127932
CSCR_16	0,005765	0,074458	0,02715	0,350660	0,07742	0,938522
CSCR_17	-0,000000	0,074458	-0,00000	0,386616	-0,00000	1,000000

лесорастительных условий района исследования дополнены данными по значениям процентного содержания гумуса, кислотности в верхнем слое почв в изученных лесных экосистемах. Почвенный покров изученной территории представлен горными серыми лесными, горными лесо-луговыми почвами.

Группа сосняков зеленомошных, представленная сосняком зеленомошным, сосняком родоретовым, сосняком черничным, сосняком брусничным, занимает площадь равную 32,36 км². Предпочитает преимущественно увлажненные участки. Содержание гумуса в почвах высокое и варьирует в пределах 8,77-16,04 %, кислотность изменяется от 4,65 до 4,87, потери при прокаливании составляют – 13,65-26,83%.

Группа сосняков травянистых, представленная сосняком мертвopoкpoвным, сосняком разнотравным, сосняком редкoпoкpoвным, сосняком вейниковым, занимает площадь равную 40,73 км². Предпочитает преимущественно увлажненные участки. Содержание гумуса в почвах варьирует в пределах 9,60-22,93%, почвы слабокислые pH изменяется от 4,66 до 5,14, потери при прокаливании составляют – 18,04-43,85%.

Группа сосняков березовых, представленная сосняком березовым мертвopoкpoвным, сосняком березовым разнотравным, сосняком березовым малиниевым-вейниковым, занимает площадь равную 31,58 км². Содержание гумуса варьирует в

пределах 10,84-14,34%, кислотность почвы изменяется от 4,91 до 5,03, потери при прокаливании составляют – 19,21-26,31%,

Группа сосняков кустарниковых, представленная сосняком барбарисово-можжевельным, занимает площадь равную 9,91 км². Содержание гумуса варьирует в пределах 6,86-13,80%, кислотность почвы изменяется от 4,89 до 5,35, потери при прокаливании составляют - 11,72-28,02%.

Группа сосняков каменистых, представленная сосняком каменистым занимает площадь равную 31,55 км².

В пакете MapInfo Professional была составлена цифровая карта лесов Центрального Кавказа (в пределах НП «Приэльбрусье»). На карте отображены 13 типов сосновых лесов исследуемого района (рисунок).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования установлено, что использование пошагового дискриминантного анализа дистанционной информации (спутниковые изображения серии Landsat, данные радарной топографической съемки) и собственных данных полевых исследований (обучающая выборка) позволяет построить модель пространственного распределения типов сосновых лесов в условиях горного рельефа НП «Приэльбрусье» (Центральный Кавказ).

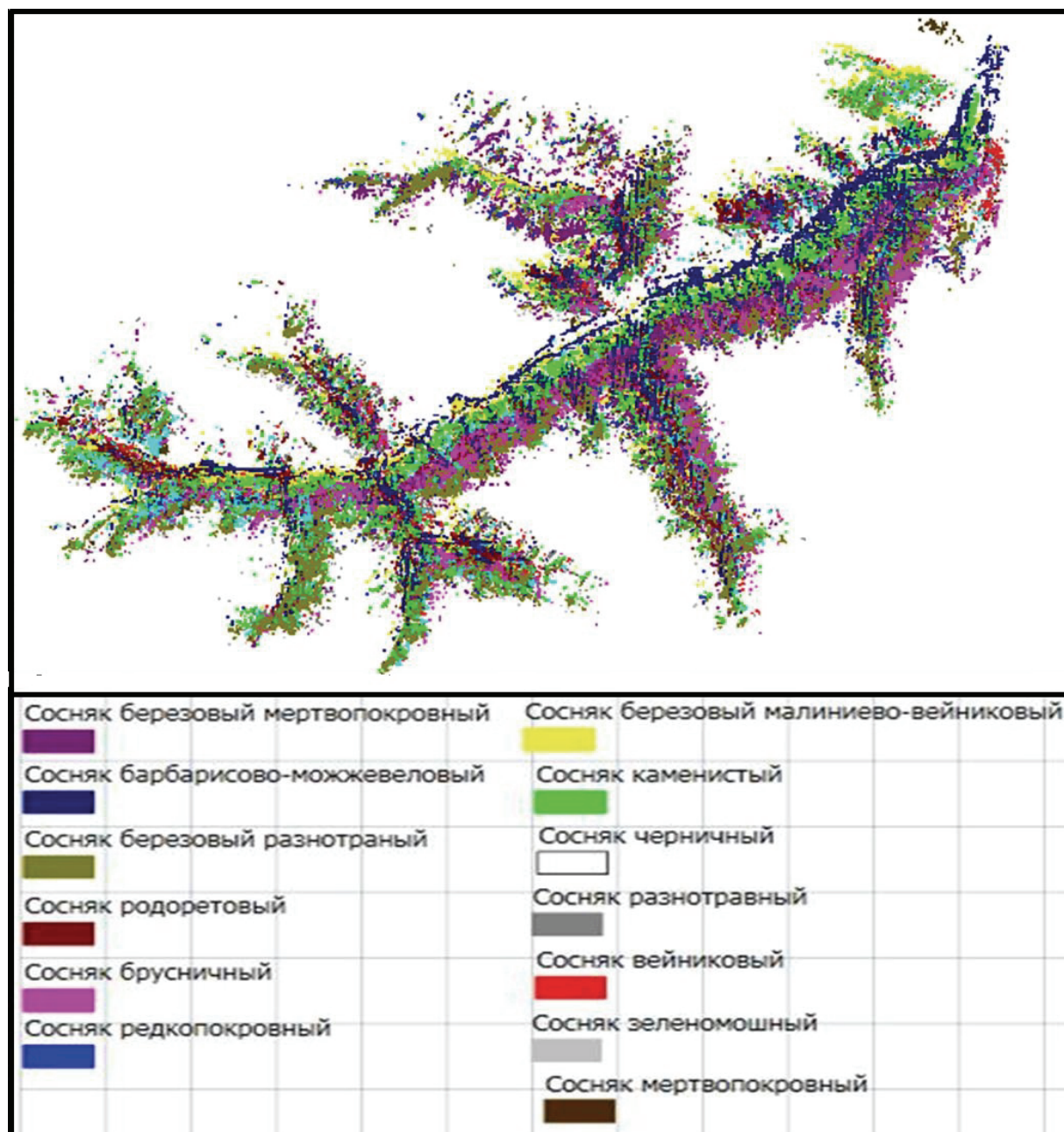


Рис. Типы сосновых лесов Национального парка «Приэльбрусье»

В пакете MapInfo 10.5 построена предварительная цифровая карта сосновых лесов Баксанского ущелья, на которой отображены 13 типов леса. Для района исследования характерны в большей степени следующие группы типов леса: сосняки зеленомошные (32,36 км²), сосняки травянистые (40,73 км²), сосняки березовые (31,58 км²), сосняки каменистые (31,55 км²). Меньше всего представлены сосняки кустарниковые, которые занимают площадь, равную 9,91 км². В последующем при получении новых сведений по результатам экспедиционных выездов о лесных экосистемах Национального парка возможно уточнение и дополнение построенной цифровой карты.

Полученные материалы позволяют оценить типологическое разнообразие лесов, оценить

структуру лесного покрова района исследования и могут служить научной основой при ведении лесного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Темботова Ф.А., Пшегусов Р.Х., Тлупова Ю.М. Леса северного макросклона Центрального Кавказа (эльбрусский и терский варианты поясности) // Разнообразие и динамика лесных экосистем России / Под ред. А.С. Исаева. Т.1. М.: КМК. 2012. С. 227 – 251
2. Ярошенко П.Д. Основы учения о растительном покрове. М.: Изд-во географической литературы. 1953. 350 с.
3. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: 1961. 144 с.
4. Сукачев В.Н. Избранные труды. Том 1. Основы лесной

- типологии и биогеоценологии. Л: Наука, 1972. 418 с.
5. Соколов В.Е., Темботов А.К. Позвоночные Кавказа. Млекопитающие. Насекомоядные. М: Наука. 1989. 548 с.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та. 2003. 204 с.
7. Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения. География и мониторинг биоразнообразия // Сер. уч. пособий «Сохранение биоразнообразия». М: НУМЦ. 2002. С. 143 – 302.
8. Сандлерский Р.Б. Оценка потенциальной биологической продуктивности южно-таежных ландшафтов по данным дистанционного зондирования // Труды Международной школы-конференции «Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология. Технология» М.: Географический факультет МГУ, 2006. С. 217 – 221.
9. Пузаченко М.Ю. Мультифункциональный ландшафтный анализ юго-запада валдайской возвышенности: дис. ... канд. геогр. наук. 2009. 190 с.
10. Типологическое разнообразие, состояние и распространение сосновых лесов Баксанского ущелья (Центральный Кавказ) / Ю.М. Саблирова, Р.Х. Пшегусов, Ф.А. Темботова, А.З. Ахоматов // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т.17. №4 (2). С. 432 – 438.

MAPPING OF PINE FORESTS IN THE NATIONAL PARK “PRIELBRUSYE” BASED ON REMOTE SENSING DATA

© 2016 Yu. M. Sablirova, R.Kh. Pshegusov, M.Z. Mollaeva, E.M. Khakunova

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories RAS, Nalchik

At present the most important task is sustainable forest management providing multipurpose inexhaustible forest exploitation, conservation, protection and reforestation. Forestry authorities require current and accurate information on the state of forest ecosystems for sustainable forest management. The study of spatiotemporal forest pattern is impossible without up-to-date cartographic materials. Map-making is feasible using remote information. To form a cartographic model three data sets are applied: Landsat multi-channel scanner photos (at a resolution of 28,5m), radar topographic survey data (SRTM), and field research materials which constitute subsequently a learning sample. The incremental discriminant analysis between remote information and own field research data was made. 44 external variables were used for multidimensional analysis, herewith, it is revealed that the key and most distinguishing forest type variables are relief characteristics (altitude above sea level, landform), moisture content in vegetation and soils, general luminance and mountain bedrock. Multidimensional analysis resulted in forming the pattern of pine forest distribution due to which the digital forest map of the Central Caucasus (within the national park “Prielbrusye”) in MapInfo Professional 10.5 batch was modelled. 13 pine forest types of the studied area were mapped. The following groups of forest types are most characteristic for the national park “Prielbrusye”: grass pine forests (40,73 km²), moss pine forests (32,36 km²), birch pine forests (31,58 km²), stony pine forests (31,55 km²). Shrub pine forests are least represented occupying 9,91 km². Henceforth, it is possible to specify and complement the modelled digital map when obtaining new data on the forest ecosystems of the national park “Prielbrusye” by means of field research results.

Keywords: Central Caucasus, satellite images, multidimensional analysis, forest ecosystems, mapping.

Yulia Sablirova, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow of Laboratory of Monitoring of Forests Ecosystems. E-mail: sablirova@mail.ru

Rustam Pshegusov, Candidate of Biological Sciences Head of Laboratory of Monitoring of Forests Ecosystem. E-mail: p_rustem@inbox.ru

Malika Mollaeva, Associate Research Fellow at the Laboratory of Monitoring of Forests Ecosystem. E-mail: monika.011@yandex.ru

Elena Khakunova, Resercher-Engineer at the Laboratory of Soil and Ecological Researches. E-mail: elena_khakunova@mail.ru