

## Классификация лесорастительных условий Норильского промышленного района и прилегающих территорий для оценки состояния и динамики растительного покрова

В. А. РЫЖКОВА, И. В. ДАНИЛОВА, М. А. КОРЕЦ

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28  
E-mail: vera@ksc.krasn.ru*

### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена разработке автоматизированного подхода к систематизации лесорастительных условий на основе сопряженного анализа разнородных данных в ГИС как основы для оценки состояния и пространственного моделирования восстановительной динамики лесной растительности. На примере тестовой территории в северной части приенисейской Сибири усовершенствована и апробирована методика автоматизированной классификации и картографирования лесорастительных условий на основе сопряженного анализа цифровой модели рельефа местности (SRTM 90m) и материалов наземных исследований. На основе экспертной классификации разнородных данных в модуле Knowledge Engineer сформированы три слоя карты потенциальных лесорастительных условий разных уровней детализации как основа для автоматизированного картографирования динамики растительного покрова.

**Ключевые слова:** классификация лесорастительных условий, ГИС, цифровая модель рельефа (ЦМР), карты потенциальных лесорастительных условий.

Состояние растительных сообществ, произрастающих в условиях промышленного загрязнения, во многом зависит от природных условий, в которых они формируются и функционируют. Инвентаризация природно-территориальных комплексов и условий местообитаний является важным этапом при решении задач комплексной оценки состояния наземных экосистем. Такой подход обеспечивает возможность охватить исследованиями все их природное разнообразие и экстраполировать на прилегающие территории данные, полученные на ключевых участках.

Формирование комплекса лесорастительных условий во многом определяется климатом и рельефом земной поверхности. Породный и типологический состав лесов является

отражением природных и антропогенных факторов, действующих в различные периоды времени. Для классификации современной растительности и оценки ее состояния необходима систематизация лесорастительных условий, которые в целом определяют состав и структуру растительного покрова. Решение этой задачи наиболее перспективно на основе сопряженного анализа цифровой модели рельефа (ЦМР) и наземных данных с использованием ГИС-технологий.

Обзор международного опыта решения подобных задач сделан И. В. Флоринским [1995]. Показано, что целесообразность использования ЦМР при автоматизированном анализе разнородных данных связана с тем, что установленные топографические величины

определяют ряд процессов, влияющих на развитие ландшафта. Так, высота обуславливает вертикальную зональность почв и растительности, крутизна и экспозиция склонов определяют скорость и направление потоков вещества и влаги, перемещающихся по земной поверхности под действием гравитации, контролируют микроклимат, интенсивность испарения осадков, а следовательно, некоторые свойства почвенного и растительного покровов.

Методы автоматизированного анализа ЦМР и ДДЗ для моделирования пространственной организации лесной растительности в настоящее время активно разрабатываются специалистами Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН [Жиринов и др., 2013; Пузаченко, 2013], Института космических исследований РАН [Уваров, 2010; Барталев и др., 2011], Института географии СО РАН [Коновалова и др., 2005] и другими исследователями.

Следует отметить работы, посвященные задачам автоматизированного выделения и картографирования территориальных единиц расчленения земной поверхности, однородных по ряду показателей различных факторов [Хромых, 2006; Ермаков и др., 2007; Ohmann et al., 2011]. В этих работах используются различные подходы, принципы и методы обработки, анализа и классификации данных. Выделяемые территориальные единицы характеризуются различным тематическим содержанием, размерностью и классификационным рангом. Описаны примеры выделения ландшафтных единиц на основе автоматизированной классификации ЦМР и космических снимков [Пузаченко и др., 2003; Коновалова и др., 2005; Новаковский и др., 2005; Мкртчян, 2006]. На основе детального анализа морфометрических показателей ЦМР [Сысуев, Шарый, 2000] предложен метод выделения потенциальных типов условий местообитания. В ряде зарубежных работ описаны методики классификации местообитаний (*habitat types*) на основе дистанционной информации и дополнительных данных, представлены результаты картографирования местообитаний в разных масштабах с использованием ЦМР и ДДЗ разного пространственного разрешения и временных интервалов

[Bock et al., 2005; Clerici et al., 2012; Higgins et al., 2012].

Однако в указанных работах не разработаны методы автоматизированной систематизации лесорастительных условий как системы сопряженного анализа разнородных данных (климатических, орографических, почвенно-гидрологических) для последующего моделирования лесорастительных условий и динамики растительного покрова.

Цель данной работы – автоматизированная систематизация лесорастительных условий района исследований как основа для классификации и картографирования восстановительной динамики растительного покрова. В задачи исследований входило выделение территориальных единиц потенциальных лесорастительных условий разных уровней детализации на основе сопряженного анализа разнородных данных в ГИС.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район исследований характеризуется определенной спецификой природных условий: он расположен на стыке двух физико-географических стран – Западной и Средней Сибири, что обуславливает формирование здесь большого разнообразия природных комплексов – от заболоченных равнин до горных тундр. Изучаемая территория (рис. 1), в том числе подверженная техногенному воздействию, очень разнообразна по геоморфологическим, геологическим, почвенным, климатическим условиям, а также растительному покрову, представленному тундровыми, лесотундровыми, лесными и болотными типами. Для классификации и понимания места современной растительности в сукцессионном ряду развития и оценки ее состояния необходимо учитывать лесорастительные условия, которые определяют потенциальную возможность формирования определенных типов растительных сообществ. В естественных условиях смена ассоциаций и почвенных разностей определяется в первую очередь степенью дренированности местообитаний, расчлененностью поверхности, крутизной и экспозицией склонов [Лапшина и др., 1971].

Для территории района исследований реализована разработанная ранее [Рыжкова и

др., 2004, 2011; Ryzhkova, Danilova, 2012] и модифицированная применительно к данному объекту методика автоматизированной классификации и формирования карт лесорастительных условий на основе сопряженного анализа цифровой модели рельефа местности и материалов наземных исследований.

Методика включает следующие основные этапы.

1. Анализ исследуемой территории на основе информации, содержащейся в Банке данных ГИС, построение и экологическая интерпретация топографических профилей, разработка предварительной сопряженной классификации растительности и лесорастительных условий.

2. Автоматизированная классификация цифровой модели рельефа местности на основе сопряженного анализа ее морфометрических характеристик. Интерпретация полученных классов на основе тематических карт и материалов наземных исследований с учетом природно-климатических зон и зональной растительности.

3. Разработка экспертной классификации разнородных данных в модуле Knowledge Engineer (ERDAS, 1999) для формирования карт потенциальных лесорастительных условий как основы для картографирования восстановительной динамики лесной растительности.

Теоретической основой для систематизации лесорастительных условий является географо-генетический подход, разработанный Б. П. Колесниковым [1956] для классификации лесов Дальнего Востока и получивший дальнейшее развитие в работах Е. П. Смолоногова с соавт. [1972, 2004], Р. С. Зубаревой с соавт. [1983], Е. М. Фильрозе [1983], Л. П. Попова [1982] и многих других исследователей. Суть его состоит в том, что изначально изучаемая территория дифференцируется на участки, однородные по топографическому положению и сочетанию элементов или форм мезорельефа, и, следовательно, по экологическим режимам, создающим определенный лесорастительный эффект. Все насаждения в пределах такой относительно однородной территории рассматриваются как восстановительно-возрастные стадии характерной для этих условий коренной растительности, и растительные сообщества классифицируются не по изменчивым внешним признакам,

а по сходству условий местопроизрастания [Колесников, 1956].

Принята следующая иерархия единиц лесорастительных условий: геоморфологический комплекс типов лесорастительных условий (ГМК ТЛУ) – участки, однородные по соотношению форм мезорельефа, интервалу высот над ур. м. и степени расчлененности поверхности; группа типов лесорастительных условий (ГТЛУ) – участки на однородных элементах мезорельефа (водоразделы, склоны, поймы рек, депрессии и т. д.), сходные по режимам увлажнения; тип лесорастительных условий (ТЛУ) – участки, сходные по топографическому положению (степени уклона поверхности, экспозиции) и почвенно-гидрологическим условиям.

Для анализа орографического строения территории исследования использовался метод построения топографических профилей на основе растрового слоя абсолютных высот SRTM-3-DEM.

Для детальной оценки орографической структуры территории использованы различные морфометрические показатели рельефа: кроме исходного признака – абсолютной высоты, рассчитывались дополнительные, производные от него признаки, такие как, уклон ( $S$ ), кривизна ( $C$ ), экспозиция ( $A$ ). Для дальнейших расчетов слоя абсолютных высот и дополнительных признаков ЦМР приводились к интервалу значений 0–255 и объединялись в многослойное растровое изображение – ЦМР-композит.

Для автоматизированной классификации ЦМР-композиата (абсолютная высота, уклон и кривизна поверхности) использовался стандартный метод ISODATA [Richards, 1986].

Анализ и идентификация полученных классов выполнялась экспертным путем с использованием ландшафтных и других тематических карт, результатов полевых исследований.

Для формирования карт лесорастительных условий использовался метод экспертной классификации, реализованный в модуле Knowledge Engineer (ERDAS, 1999).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием ЦМР построены обобщенные топографические профили, отражающие геоморфологические особенности тес-

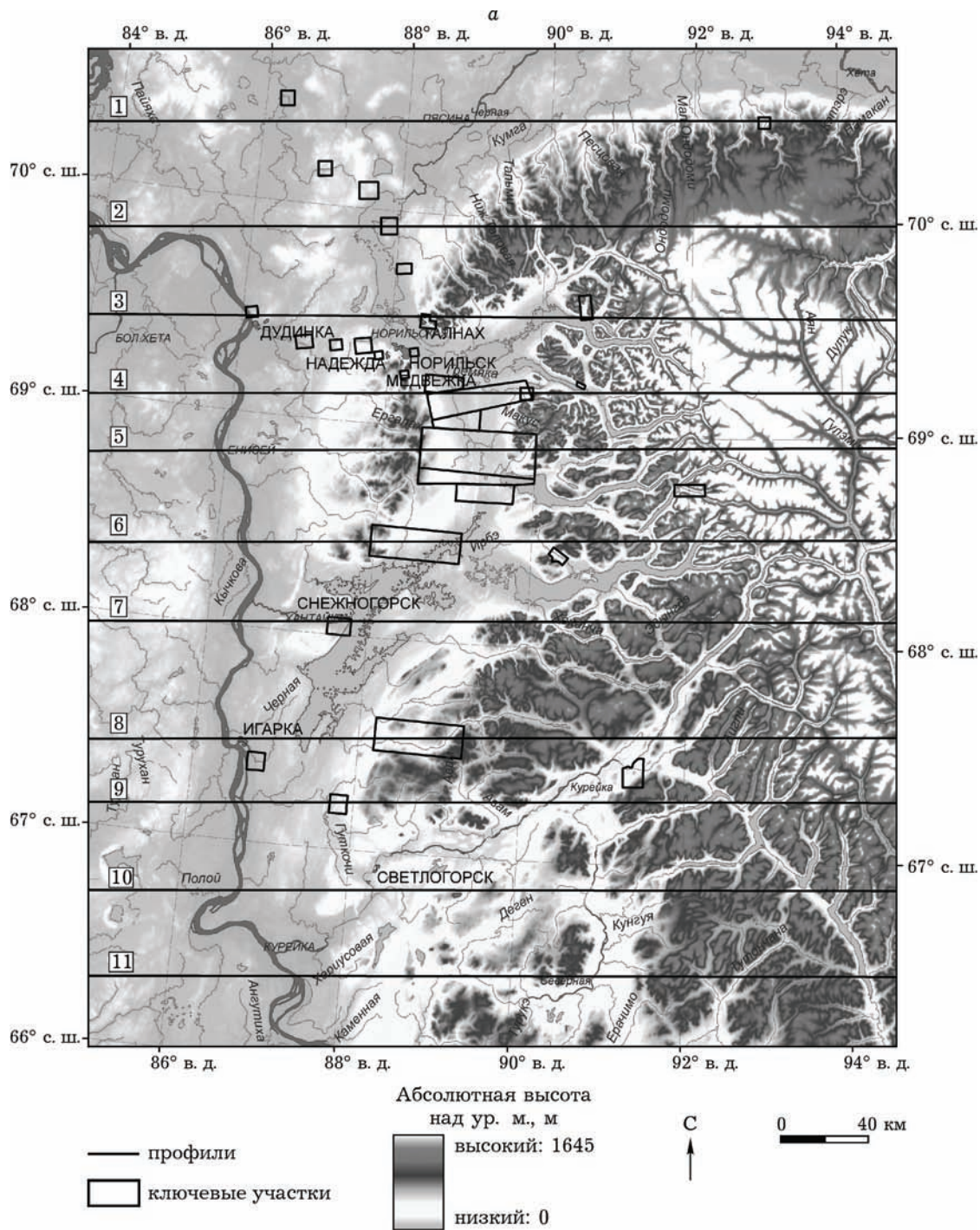
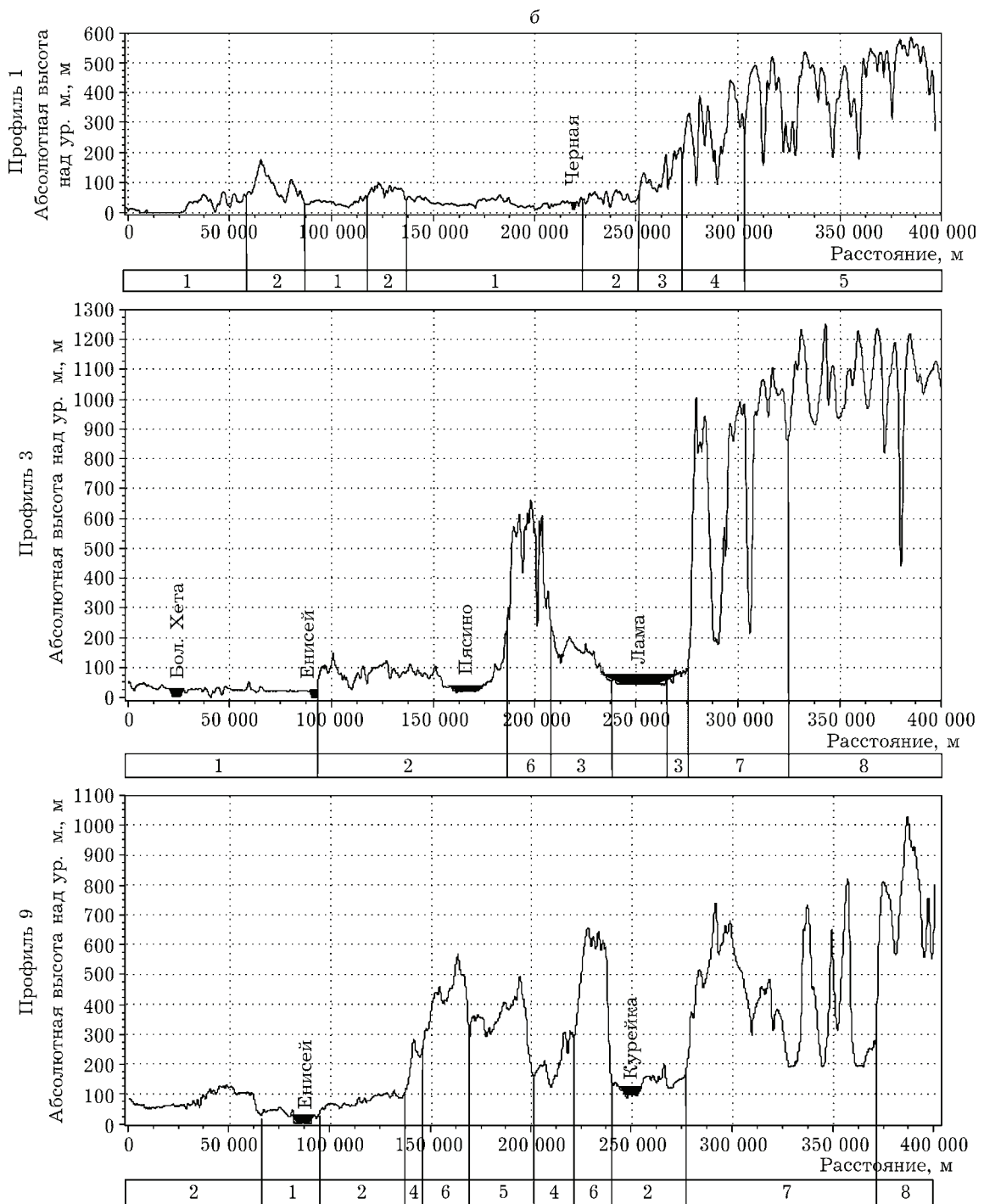


Рис. 1. Схема района исследований и топографические профили, построенные на основе ЦМР: 1–11 – по соотношению форм мезорельефа, интервалам абсолютных высот и степени расчлененности поверх

товой территории (см. рис. 1). На основе информации, содержащейся в БД ГИС (тематических и общегеографических карт, литературных данных, материалов наземных исследований), проведен анализ исследуемой территории, выявлены закономерности распре-

деления растительности по основным элементам рельефа, приуроченность природных комплексов растительных сообществ к определенным интервалам абсолютных высот, формам и элементам мезорельефа. На базе выявленных закономерностей разработана



топографические профили (а); 1–8 – участки топографических профилей, относительно однородности, выделенные как предполагаемые классы для автоматизированной классификации ЦМР (б)

предварительная сопряженная классификация растительности и лесорастительных условий на уровне типов растительности.

На основе топографических профилей и ландшафтных карт [Ландшафтная карта СССР, 1987] проанализировано разнообра-

зие геоморфологических условий и выделены участки, относительно однородные по характеру рельефа (соотношению форм мезорельефа, интервалам абсолютных высот и степени расчлененности поверхности). Определено предварительное количество клас-

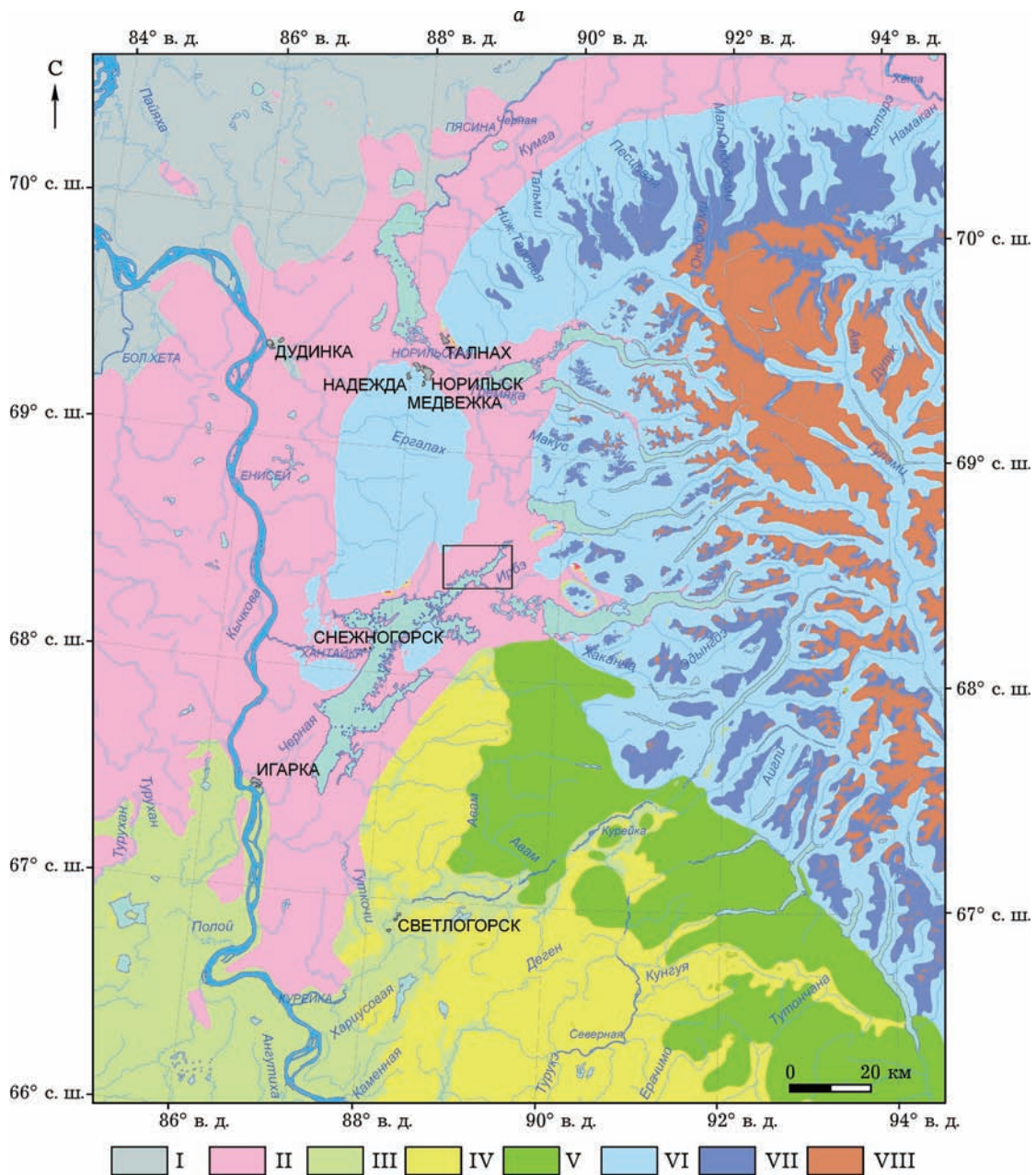


Рис. 2. Слои карты потенциальных лесорастительных условий I–VIII – ГМК ТЛУ (описание см. в тексте),

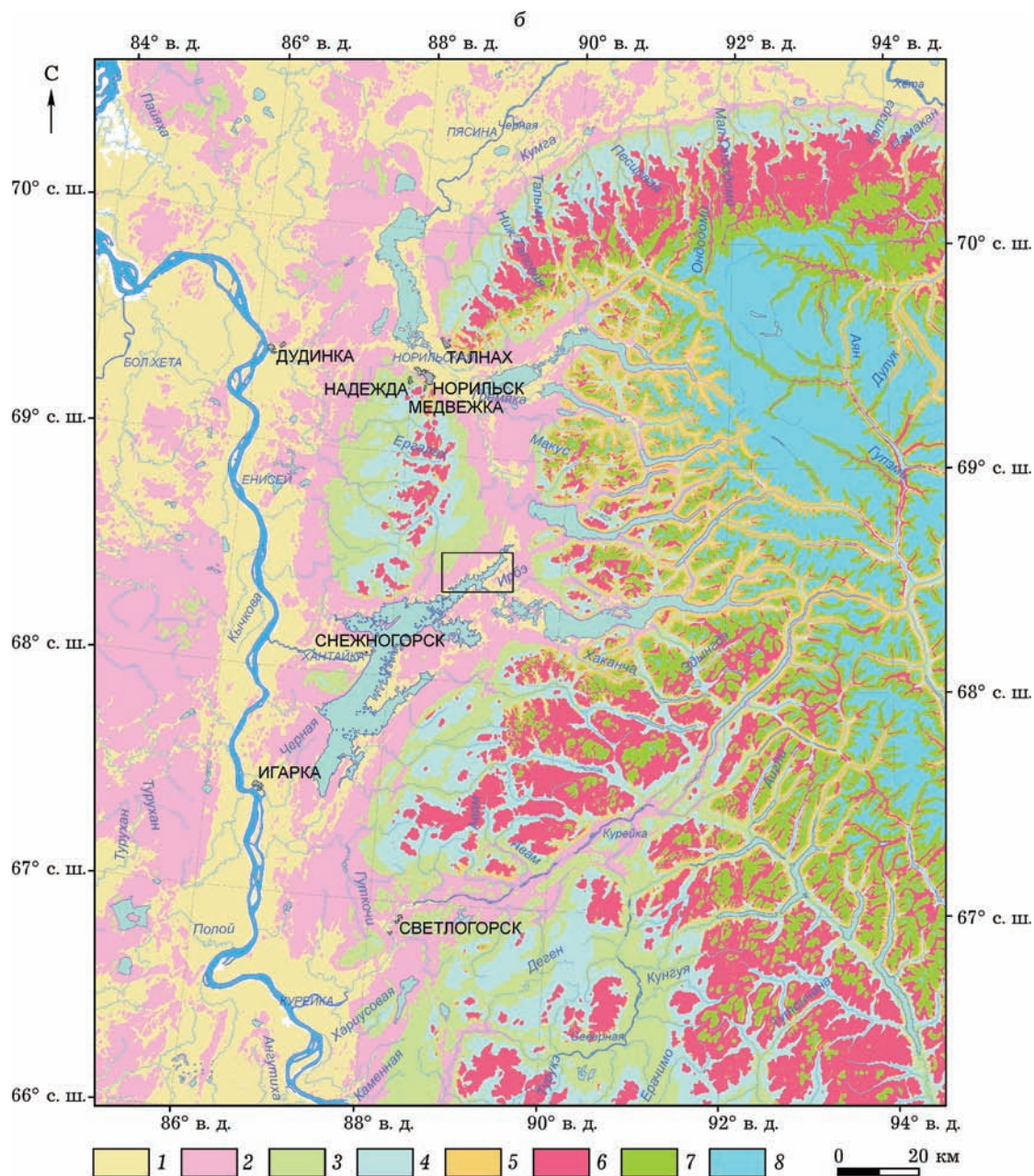
сов (8) для автоматизированной классификации ЦМР.

В результате неуправляемой классификации ЦМР стандартным методом ISODATA выделены классы расчленения земной поверхности по морфометрическим параметрам рельефа (абсолютная высота и уклон поверхности), однородные по топографическому положению и сочетанию элементов мезоре-

льефа и соответствующие определенным сочетаниям видов ландшафтов.

Для учета роли климата в формировании лесорастительных условий использована информация о природно-климатических зонах [Ландшафтная карта СССР, 1987; Атлас..., 1994].

Для автоматизации процесса систематизации лесорастительных условий в модуле



для исследуемой территории. а – уровень ГМК ТЛУ, б – уровень ГТЛУ.  
1–8 – ГТЛУ (параметры классов см. в табл. 1)

Knowledge Engineer/ERDAS Imagine создана экспертная классификация (система правил) разнородных данных с использованием информации о природно-климатических зонах и классах, выделенных по морфометрическим параметрам рельефа.

Система правил представляет собой дерево решений. Правило – это список условных утверждений о значениях переменных,

которые определяют выполнение гипотезы. Гипотезами выступают классы лесорастительных условий разных уровней. Входными переменными дерева решений являются растровые слои, характеризующие пространственное распределение классов расчленения земной поверхности по морфометрическим и климатическим характеристикам (в данном случае – природно-климатические зоны).

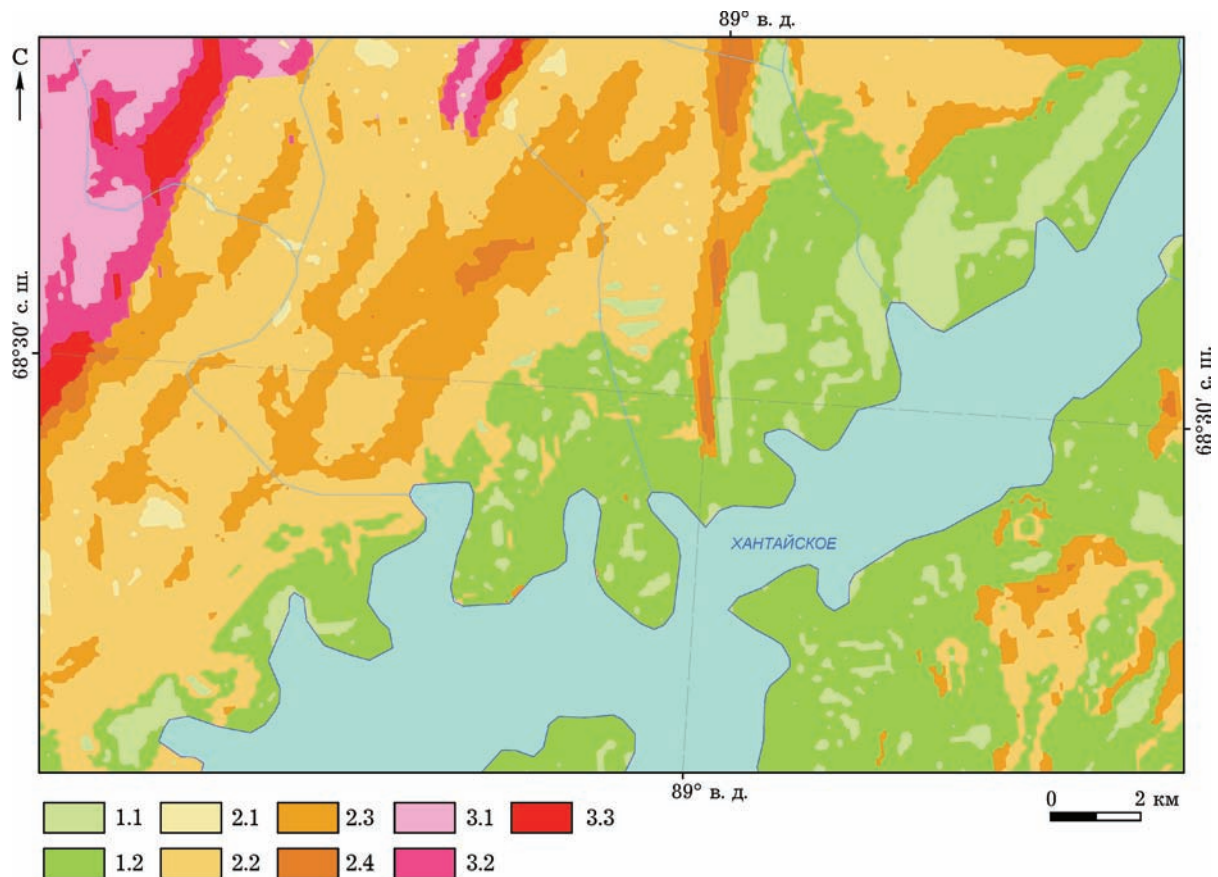


Рис. 3. Фрагмент слоя карты потенциальных лесорастительных условий уровня ТЛУ (описание классов 1.1–1.2, 2.1–2.4 см. табл. 2, классы 3.1–3.3 относятся к ГМК ТЛУ VI)

В результате экспертной классификации выделено восемь классов, однородных по приуроченности к определенной природно-климатической зоне, соотношению классов морфометрии, интервалу абсолютных высот и уклонов поверхности. Эти классы интерпретированы как геоморфологические комплексы типов лесорастительных условий (ГМК). Ниже приводится их краткая характеристика.

I. Тундровые и лесотундровые ледниковые аккумулятивные равнины низкие (абс. выс. 0–58 м) плоские, полого-волнистые, с ложбинами стока, термокарстовыми озерами и котловинами, буграми пучения, по понижениям заболоченные.

II. Лесотундровые ледниковые аккумулятивные и аккумулятивно-денудационные равнины (абс. выс. 59–128 м), волнистые, полого-волнистые и холмистые, с ложбинами стока, буграми пучения, термокарсто-

выми котловинами, по понижениям заболоченные.

III. Тундрово-редколесные озерно-аллювиальные аккумулятивные и аккумулятивно-денудационные равнины (абс. выс. 129–226 м), полого-холмистые, холмистые и холмисто-грядовые, с ложбинами стока, термокарстовыми озерами и котловинами.

IV. Редколесно-таежные равнины и плато низкогорий (абс. выс. 227–335 м), аккумулятивно-денудационные, денудационно-эрозионные. Равнины по понижениям заболоченные, с термокарстовыми формами, плато столово-ступенчатые, холмисто-грядовые, пологоувалистые, сложенные терригенно-карбонатными породами, с интрузиями траппов.

V. Тундрово-редколесные плато низкогорий (абс. выс. 336–458 м), денудационно-эрозионные, столовые и столово-ступенчатые, густо расчлененные, сложенные эффузивно-осадочными породами (лавы).



Т а б л и ц а 1

## Статистические характеристики единиц классификации лесорастительных условий

Класс ГМК ТЛУ	Преобладающие классы ГТЛУ (% представлен- ности в ГМК ТЛУ)	Морфометрические параметры классов						Класс ТЛУ интервалы уклонов
		абсолютная высота, м			уклон поверхности, град.			
		интервал	среднее	STD	интервал	среднее	STD	
I	1 (65)	19–53	36	17	0–1,1	0,5	0,6	0 0–1
	2 (31)	67–117	92	25	0,4–2,2	1,3	0,9	1–2 2–5
II	1 (52)	31–63	47	16	0–0,9	0,4	0,5	0 0–1
	2 (44)	72–118	95	23	0–1,8	0,9	0,9	1–2 2–5
III	1 (47)	27–63	45	18	0–1,1	0,5	0,6	0 0–1
	2 (47)	75–129	102	27	0–2,1	1,0	1,1	1–2 2–5
IV	3 (48)	182–260	221	39	0,1–3,3	1,7	1,6	0–1
	4 (35)	325–437	381	56	0,8–4,8	2,8	2,0	1–3
	6 (15)	494–592	543	49	1,2–5,4	3,3	2,1	3–5 5–8
V	3 (10)	189–269	229	40	0,3–4,7	2,5	2,2	0–1
	4 (22)	337–447	392	55	1,6–6,2	3,9	2,3	1–3
	6 (47)	520–662	591	71	2,0–6,2	4,1	2,1	3–5
	7 (13)	679–803	741	62	3,3–9,1	6,2	2,9	5–8 > 8
VI	3 (10)	172–264	218	46	0,6–6,0	3,3	2,7	0–1
	4 (22)	321–433	377	56	1,6–6,6	4,1	2,5	1–3
	5 (21)	333–667	500	167	10,7–22,7	16,7	6,0	3–5
	6 (47)	501–651	576	75	2,2–7,4	4,8	2,6	5–8
	7 (13)	696–880	788	92	4,9–13,9	9,4	4,5	8–15 > 15
VII	6 (35)	550–704	627	77	1,4–5,6	3,5	2,1	1–3 3–5
	7 (65)	741–893	817	76	2,6–11,2	6,9	4,3	5–8 8–15 > 15
VIII	8 (100)	966–1206	1086	120	2,1–9,1	5,6	3,5	1–3 3–5 5–8 8–15 > 15

## Фрагмент сопряженной классификации лесорастительных условий и растительности ключевого участка в лесотундре

Лесорастительные условия		Преобладающая растительность	
геоморфологический комплекс лесорастительных условий	группы типов лесорастительных условий	Т.ЛУ	коренная производная
II. Лесотундровые равнины (плоские, волнистые, полого-волнистые, холмистые, холмисто-грядовые), ледниковые аккумулятивные и аккумулятивно-денудационные, с ложбинами стока, буграми пучения, термокарстовыми котловинами, по понижениям заболоченные. Почвогрунты легкоуглистые или супесчаные, длительная мерзлота на глубине 0,5–0,6 м	1. Плоская слабодренированная равнина (абс. выс. 31–63 м)	1.1. Плоские и слегка волгнутые заболоченные поверхности (0°)	Лесоболотные комплексы: елово-лиственничные травяно-болотные редколесья в комплексе с мохово-травяными болотами, в поймах с разнотравно-осоково-злаковыми лугами
		1.2. Выровненные и слегка наклонные поверхности (0–1°)	Редкостойные лиственничники с елью и березой, крупнотравно-осоковые, разнотравно-осоковые в сочетании с болотными травяно-ерниково-сфагновыми грядово-мочажинными комплексами
	2. Пологоволнистая с моренными всхолмлениями заболоченная террасированная равнина (абс. выс. 72–118 м)	2.1. Плоские заболоченные поверхности (0°)	Болота травяно-моховые, ерnikово-моховые
		2.2. Слабо расчлененные слегка наклонные поверхности (0–1°)	Буррито-западные лесные комплексы: лиственничники кустарничково-зеленомошные на буграх в комплексе с листовеннично-березовыми травяно-ерnikово-сфагновыми в западинах
		2.3. Пологие склоны и междуречья (1–2°)	Лиственничники с елью кустарничково-зеленомошные, кустарничково-мшистые
	2.4. Склоны и вершины гряд и холмов (2–5°)	Лиственничники с елью кустарничково-разнотравные, зеленомошно-разнотравные, лишайnikово-кустарничково-мшистые	Березовые редколесья хвоцево-осоковые, осоково-мшистые Березовые редколесья крупнотравно-мшистые

VI. Тундрово-редколесные плато низкого- (абс. выс. 459–621 м), денудационно-эрозионные, холмистые, расчлененные, ступенчатые, крутосклонные, с останцовыми возвышенностями и другими структурными формами, сложенные терригенно-карбонатными и эффузивными породами.

VII. Редколесно-тундровые плато (абс. выс. 622–882 м), денудационные, столово-ступенчатые, с узкими водоразделами, с нивально-мерзлотными формами, сложенные эффузивными породами (лавы базальтов).

VIII. Плато столово-ступенчатые (абс. выс. 882–1600 м), денудационные, с широким развитием россыпей и осыпей, с нивально-мерзлотными формами, сложенные эффузивными породами (лавы).

В пределах каждого ГМК проанализированы преобладающие классы морфометрии – однородные по топографическому положению и сочетанию элементов мезорельефа – и интерпретированы как группы типов лесорастительных условий (ГТЛУ). Два слоя карты лесорастительных условий, соответствующие двум иерархическим уровням классификации, представлены на рис. 2.

Дальнейшая детальная классификации связана с выделением участков, однородных по степени уклона поверхности (плоские поверхности (0–1°), слабопогоние (1–3°), пологие (3–5°), средней крутизны (5–8°), крутые (>8°) склоны), характеризующиеся определенными почвенно-гидрологическими режимами и соответствующие типам лесорастительных условий (ТЛУ) (рис. 3). Параметры полученных классов трех уровней классификации представлены в табл. 1.

Таким образом, в результате экспертной классификации в модуле Knowledge Engineer/ERDAS Imagine сформированы три слоя карты потенциальных лесорастительных условий разных уровней детализации (см. рис. 2, 3), которые отражают пространственное распределение участков, сходных по топографическому положению и почвенно-гидрологическим условиям, определяющим особенности растительного покрова данной территории.

Полученная карта потенциальных лесорастительных условий является основой для систематизации разнообразия лесных сообществ

на принципах генетической классификации. Фрагмент сопряженной классификации лесорастительных условий и растительности ключевого участка в лесотундре представлен в табл. 2.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный подход позволяет проводить автоматизированную классификацию лесорастительных условий на основе сопряженного анализа разнородных данных и выделять территориальные единицы потенциальных лесорастительных условий разных уровней (типы, группы типов, геоморфологические комплексы типов лесорастительных условий).

Экспертная классификация, разработанная в модуле Knowledge Engineer/ERDAS Imagine, позволяет формировать карты потенциальных лесорастительных условий исследуемой территории, а также оперативно модифицировать картографические модели в результате обновления исходной информации.

Такие карты фактически являются пространственными моделями, отражающими разнообразие лесорастительных условий исследуемой территории, необходимы для интерпретации результатов дешифрирования дистанционных материалов, уточнения классификации растительного покрова, экстраполяции выявленных закономерностей на прилегающие территории.

Автоматизированная систематизация лесорастительных условий является составной частью разрабатываемой системы сопряженного анализа разнородных данных для пространственного моделирования восстановительной динамики лесной растительности, зонирования территории по степени нарушения растительного покрова, а также решения других тематических задач.

Работа выполнена при поддержке Проекта Министерства образования и науки РФ (14.В25.31.0031).

## ЛИТЕРАТУРА

Атлас Красноярского края и республики Хакасии. Новосибирск: Роскартография, 1994. 84 с.

- Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 4. С. 285–302.
- Ермаков Н. Б., Полякова М. А., Попов Д. Ю., Голомовин В. В. Моделирование пространственной организации растительности горных территорий на основе данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. Спец. выпуск № 2. С. 42–59.
- Жирин В. М., Князева С. В., Эйдлина С. П. Эколого-динамическое изучение лесов на основе космических снимков и цифровой модели рельефа. // Докл. V Всерос. конф. “Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве”. М., 2013. С. 146–149.
- Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П., Фильрозе Е. М. Теоретические основы географо-генетической классификации типов леса и их развитие // Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов. Свердловск, 1983. С. 37–42.
- Колесников Б. П. Кедровые леса Дальнего Востока. М.; Л.: Наука, 1956. 262 с.
- Коновалова Т. И., Бессолицына Е. П., Владимиров И. Н. и др. Ландшафтно-интерпретационное картографирование. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2005. 424 с.
- Ландшафтная карта СССР. Масштаб 1 : 2 500 000 / под ред. И. С. Гудилина. М., 1987.
- Лапшина Е. И., Горбачев В. Н., Храмов А. А. Растительность и почвы Енисейского края (Южной части) // Растительность правобережья Енисея / под ред. А. В. Кумина. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. С. 21–66.
- Мкртчян А. С. Автоматизированное выделение ландшафтных единиц путем классификации рельефа с применением ГИС // Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология. Технология: тр. Междунар. школы-конф. М.: Географический факультет МГУ, 2006. С. 203–208.
- Новаковский Б. А., Красовская Т. М., Тульская Н. И. Использование цифрового моделирования рельефа и дистанционного зондирования для актуализации мелкомасштабных ландшафтных и экологических карт горных районов // Геоинформационные технологии. 2005. № 4.
- Попов Л. В. Южнотаежные леса Средней Сибири. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 1982. 330 с.
- Пузаченко Ю. Г., Хорошев А. В., Алещенко Г. М. Анализ организации ландшафта на основе космического снимка // Исследование Земли из космоса, 2003. № 3. С. 63–71.
- Пузаченко М. Ю. Многомерный анализ растительного покрова юго-запада Тверской области на основе ДДЗ, ЦМР и полевой информации // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: докл. V Всерос. конф. М., 2013. С. 192–197.
- Рыжкова В. А., Корец М. А., Черкашин В. П. Оценка современного состояния, восстановительной динамики и биоразнообразия лесных экосистем на основе ГИС // Сиб. экол. журн. 2004. № 5. С. 715–724.
- Рыжкова В. А., Данилова И. В., Корец М. А., Михайлова И. А. Принципы и методика составления карты растительного покрова юга Приенисейской Сибири на основе ГИС-технологий // Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы: мат-лы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Санкт-Петербург, 20–24 сентября 2011 г. С. 411–415.
- Смолоногов Е. П., Кирсанов В. А., Трусов П. Ф. Классификация лесорастительных условий и типы леса Лозвинского Урала // Труды Ин-та экологии растений и животных. Свердловск, 1972. Вып. 84. С. 78–102.
- Смолоногов Е. П., Алесенков Ю. М., Поздеев Е. Г. Географо-генетический подход к построению лесотипологических классификаций // Лесоведение. 2004. № 5. С. 79–80.
- Сысуев В. В., Шарый П. А. Выделение типов условий местопроизрастания для лесоустройства по участковому методу. // Там же. 2000. № 5. С. 10–19.
- Уваров И. А. Разработка и использование технологий локально-адаптивной классификации данных спутниковых наблюдений для распознавания типов земного покрова: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 24 с.
- Фильрозе Е. М. Схема генетической классификации типов леса Южного Урала. Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов. Свердловск, 1983. С. 53–59.
- Флоринский И. В. Международный опыт использования цифровых моделей рельефа при автоматизированном анализе данных дистанционного зондирования // Геодезия и картография. 1995. № 12. С. 33–38.
- Хромых В. В., Хромых О. В. Опыт автоматизированного морфометрического анализа долинных геосистем Нижнего Притомья на основе цифровой модели рельефа // Вестн. Том. гос. ун-та. Общественный периодический журнал “Науки о Земле”. 2007. № 298. С. 208–211.
- Bock M., Xofisb P., Mitchleyb J., Rossnerc G., Wissenc M. Object-oriented methods for habitat mapping at multiple scales – Case studies from Northern Germany and Wye Downs // J. for Nature Conservation. 2005. Vol. 13. P. 75–89.
- Clerici N., Weissteiner C., Gerard F. Exploring the Use of MODIS NDVI-Based Phenology Indicators for Classifying Forest General Habitat Categories // Remote Sens. 2012. Vol. 4. P. 1781–1803. DOI: 10.3390/rs4061781.
- Higgins M. A., Asner G. P. et al. Use of Landsat and SRTM data to detect broad-scale biodiversity patterns in Northwestern Amazonia // Ibid. P. 2401–2418: doi: 10.3390/ky4082401.
- Ohmann J. L., Gregory M. J., Henderson E. B., Roberts H. M. Mapping gradients of community composition with nearest-neighbour imputation: extending plot

data for landscape analysis // J. of Vegetation Sci. 2011. Vol. 22. P. 660–676.  
Richards J. A., Xiuping J. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Birkhäuser, 2005. 439 p.  
Ryzhkova V., Danilova I. GIS-based classification and mapping of forest site condition and vegetation. BOSQUE 2012. Vol. 33, N 3. P. 293–297 DOI: 10.4067/S0717-92002012000300006.

## **Classification of Forest Growing Conditions in and Around the Norilsk Industrial Region and Assessment of Vegetation State and Dynamics**

V. A. RYZHKOVA, I. V. DANILOVA, M. A. KORETS

*V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS  
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28  
E-mail: vera@ksc.krasn.ru*

The paper discusses the development of an automated classification of forest growth conditions based on the analysis of GIS data in order to assess the current state of forest vegetation and to build spatial models of its regeneration dynamics. An area located in the northern part of Siberia, close to the Yenisei River, was used as the experimental site to test and improve a methodology of automated classification and mapping of forest growing conditions based on a spatial analysis of a digital elevation model (SRTM 90m) and ground data. Using the classification of heterogeneous data done in Knowledge Engineer Module three layers of potential forest growth conditions were formed to serve as a base for automated mapping of vegetation dynamics.

**Key words:** Central Siberia, forest growing conditions classification and mapping, GIS, digital elevation model (DEM).

