

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 528.8

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОГО ПОКРОВА МУРМАНСКОЙ
ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ***

© 2013 г. Т. В. Черненко¹, М. Ю. Пузаченко², Н. Е. Королева³, Е. В. Басова¹

¹Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

117 997 Москва, Профсоюзная ул., 84/32

E-mail: chernenkova50@mail.ru

²Институт географии РАН

119017 Москва, пер. Старомонетный, 29

E-mail: puzak@bk.ru

³Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ)

Кольского научного центра РАН

184209 г. Апатиты, мкр. Академгородок, д.18

E-mail: flora012011@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.01.2013 г.

В работе представлены результаты оценки пространственной дифференциации лесного покрова с использованием количественных методов анализа полевой, дистанционной и картографической информации. Для выявления ценотического разнообразия лесной растительности применены разные подходы классификации: эколого-доминантный, эколого-топологический и динамический. Интерполяция локальных измерений характеристик растительных сообществ и выделенных синтаксономических единиц на верхние масштабные уровни с использованием данных спектральной космической съемки и количественных методов ее обработки позволили сохранить важную информацию о структуре и свойствах растительности. Результатом исследования явились тематические карты отдельных параметров лесного покрова, а также карта растительности центральной части Мурманской области масштаба 1:100 000. Влияние природных и антропогенных факторов среды нашло отражение в сопровождающей карту легенде.

Картографическое моделирование, данные дистанционного зондирования, цифровая модель рельефа, классификация, Мурманская область, бореальные леса, растительный покров.

Современный уровень исследований обуславливает необходимость обработки больших массивов данных, связанных с характеристикой биоразнообразия лесных экосистем. Использование информации дистанционных изображений о структуре и свойствах растительности, в том числе в целях разномасштабного картографирования лесного покрова, все шире используется в отечественной и мировой практике [2, 3, 6, 22, 25, 26]. Современное развитие методов статистического анализа, технических средств измерения и обработки данных позволяют проводить оценку состояния растительного покрова на основе коли-

чественного подхода, что значительно повышает объективность, оперативность и качество анализа.

Изучение локально-региональных особенностей состава и структуры биоценозов сопряжено с получением информации в ходе наземных исследований, преобразованной в дальнейшем в систему верифицирующих характеристик данных дистанционного зондирования (ДДЗ). К настоящему времени в большинстве регионов РФ выполнены значительные объемы ботанических и геоботанических работ, имеющих большую ценность для изучения растительности, но использование их для целей классификации и картографирования затруднено из-за отсутствия первичных данных (геоботанических описаний или сводных таблиц) и географической привязки имеющихся в наличии

* Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН "Живая природа: современное состояние и проблемы развития" и РФФИ (№ 11-04-01093 и 07-04-01743).

описаний. Во многих работах перечислены доминанты и наиболее распространенные виды, однако, как правило, отсутствует информация о составе криптогамного компонента сообществ – а ведь мохообразные и лишайники в большинстве сообществ тундры, лесотундры и северной тайги не только преобладают по числу видов, но и играют существенную биогеоэкологическую роль. Другими факторами, препятствующими обобщению материалов, являются неравномерность заложения пробных площадей и недостаточная репрезентативность описаний по объективным (труднодоступность) и субъективным (тематический интерес исследователей к определенному спектру сообществ) причинам. Мурманская область, к сожалению, в отношении полноты исследований растительности для целей картографирования не является исключением.

Для Мурманской области существуют единицы опубликованных и относительно современных геоботанических карт в крупном масштабе, и они охватывают лишь наиболее освоенные территории в центре области: это карты растительности Лапландского заповедника масштаба 1: 50 000 [4], повреждений растительности в зоне воздействия комбината “Североникель” масштаба 1: 250 000 [7], состояния растительного покрова для водосбора озера Имандра, отражающая различную степень нарушенности лесов в результате техногенного загрязнения [16], растительности масштаба 1: 50 000 участка в северной лесотундровой части области [10]. Некоторое количество картографических материалов хранится в архивах и практически недоступно для анализа.

При постановке исследований ставилась задача выявления закономерностей пространственно-временной динамики лесов на локальном и региональном уровнях на основе детального изучения состава и структуры лесных сообществ. В работе демонстрируется реализация метода сопряженного анализа результатов наземных исследований и материалов спектральной космической съемки на базе статистических методов с целью построения карты растительности территории центральной части Кольского полуострова (бассейн оз. Имандра) масштаба 1:100 000.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследований (67°50' с.ш., 32°35' в.д.) расположен в Мурманской области в центральной части Кольского полуострова и входит в подзону северной тайги западной части атлантико-арктической области умеренного пояса. Район характеризуется сильной расчлененностью рельефа,

разнообразием состава почвообразующих пород, высоким ландшафтным и ценоотическим разнообразием, что в совокупности с интенсивным антропогенным воздействием обусловило большую пестроту и неоднородность актуального растительного покрова. В окрестностях металлургического комбината в г. Мончегорске наблюдается формирование производных сообществ на разных стадиях дигрессионно-демутационных сукцессий.

Теоретической основой работы является эколого-географический подход, учитывающий ландшафтную структуру территории, естественное разнообразие местообитаний лесов и состав лесного покрова. В качестве источников пространственной информации о состоянии характеристик растительности использованы данные полевых геоботанических описаний, мультиспектральные данные дистанционного зондирования, топографические карты масштаба 1: 50 000 и данные лесной таксации на уровне лесничеств. Последовательность основных этапов работы включала:

- 1) сбор данных в ходе наземных исследований с фиксацией географических координат;
- 2) разработка классификации растительных сообществ на основе результатов наземных исследований;
- 3) подготовка ДДЗ и цифровой модели рельефа (ЦМР) и совмещение с точками полевых описаний;
- 4) интерполяция тематических классов растительного покрова и его отдельных характеристик на всю исследуемую территорию методом пошагового дискриминантного анализа;
- 5) векторизация результатов интерполяции классов растительности с удалением единичных объектов и оформление карты.

Полевые геоботанические описания (n=3 61) выполнены в период 2005–2009 гг. по стандартной методике на пробных площадях (20×20 м) с использованием GPS позиционирования. Предварительный выбор положения точек описаний в основных типах природно-территориальных комплексов проведен на основе визуального и количественного (автоматическая классификация) анализа ДДЗ, ЦМР и лесотаксационных данных, предшествующего полевым исследованиям. Оцениваемая площадь модельной территории – около 6700 км² (рис. 1). Особое внимание при наземных исследованиях уделялось антропогенно-модифицированным сообществам в районе горно-металлургического комбината “Североникель”.

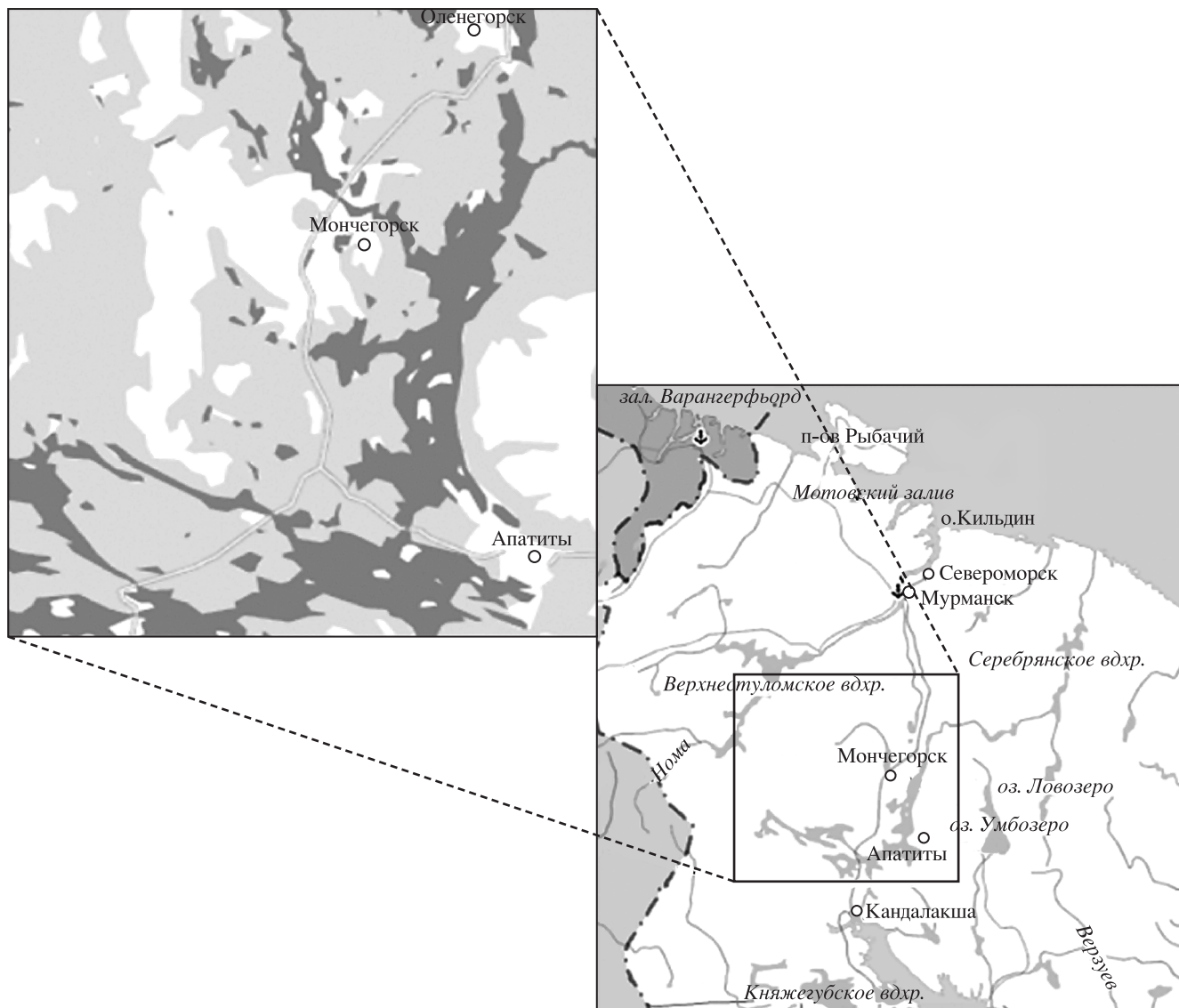


Рис. 1. Район исследования

На основе результатов, полученных в ходе геоботанических описаний, выполнена эколого-фитоценотическая классификация, учитывающая структуру и состав фитоценозов, а также количественные соотношения компонентов сообществ (доминантов, содоминантов, экологических групп видов в составе основных ярусов). Основной классификационной единицей являлась *группа ассоциаций*, объединяющая фитоценозы в сходных условиях местообитаний с определенным набором экобиоморф, включающих общие группы видов коллективных доминантов. Синтаксоны среднего ранга (*классы ассоциаций*) выделялись по доминирующей группе видов эдификаторных синузий верхнего (древесного) и наземного ярусов, имеющих средообразующее значение и сохраняющих доминирующий статус при всех со-

четаниях видов остальных ярусов. Синтаксоны высшего ранга – *формации* – выделяли по доминирующему виду или видам древесных растений, *типы растительности* – по господствующей экобиоморфе. При характеристике организации сообществ выявляли не только доминирующие и диагностические виды, но и полный видовой состав, в том числе мохообразных и лишайников.

Для оценки современного состояния и выделения факторов дифференциации растительного покрова использован подход, интегрирующий наземную и дистанционную информацию. Характеристики биосистем, измеренные при наземных исследованиях, сопоставлялись с мультиспектральной дистанционной информацией и параметрами рельефа (“внешние” переменные).

В основе количественной реализации такого подхода лежит пошаговый дискриминантный анализ [14, 15, 19]. Суть метода заключается в подборе взаимно независимых линейных комбинаций “внешних” переменных (данные дистанционного зондирования и параметры рельефа), в наибольшей степени разделяющих классы (группы, типы, градации) оцениваемых в ходе наземных исследований характеристик биосистем. Наличие статистически значимых взаимосвязей между ними и комбинациями “внешних” переменных (осями дискриминантного анализа) позволяет провести интерполяцию классов исследуемых характеристик для всей модельной территории. Относительное качество дискриминации определяется как доля верно определенных моделью классов от исходно заданных.

В наиболее простом варианте рассматриваются не отдельные характеристики растительного покрова, а их совокупности, обозначаемые через типы растительных сообществ. В этом случае оси дискриминантного анализа задают непрерывное отображение дифференциации территории относительно выделенных типов растительных сообществ через характеристики рельефа и ДДЗ. Связь дискриминантных осей с характеристиками ДДЗ, ЦМР, растительности по полевым описаниям и другим источникам информации позволяет интерпретировать отображаемое ими пространственное варьирование с точки зрения процессов и факторов, определяющих наблюдаемую пространственную дифференциацию. В результате изменение вклада и/или исключения дискриминантных осей дает возможность моделировать пространственную дифференциацию анализируемых типов в зависимости от прогнозируемых изменений соответствующих им процессов и факторов.

Для полного охвата разнообразия наземного покрова территории на основе всей имеющейся пространственной информации дополнительно выделены типы наземного покрова и водных объектов, не представленные в полевых описаниях (например, нивально-гольцовый, карьеры и отвалы, водные объекты с различными градациями мутности воды и др.). Это позволило охарактеризовать пространственное разнообразие растительности и наземного покрова региона большим числом точек (1968).

Для расчета высот и характеристик рельефа по данным топографических карт масштаба 1: 50 000 создан регулярный грид (регулярная матрица) высот или цифровая модель рельефа. Построение ЦМР проведено на основе векторизованных

изогипс и высотных отметок рельефа, а также водоемов с отметками высот урезов воды методом нелинейной интерполяции (программное приложение ErdasImagine). Размер ячейки (пикселя) задан равным 60 м, что соответствует разрешению топокарт, масштабу исследований и соизмерим с размерами пробной площади.

В качестве источника дистанционной информации выбраны данные, полученные со спутников серии Landsat, имеющие большое число спектральных каналов, высокое пространственное разрешение и длительный период съемки. Территория исследований покрывается несколькими сценами съемки, что потребовало составления мозаики снимков. Из базы снимков (описание системы Landsat) были отобраны безоблачные и малооблачные сцены, близкие по дате съемки (дню и месяцу), и составлены мозаики за четыре срока в период с 1984 по 2009 г.: 1) конец мая – начало июня; 2) конец июня – начало июля; 3) середина июля; 4) начало октября. Так как снимки в мозаике имеют разные даты и условия съемки, для получения бесшовных мозаик проведено гистограммное выравнивание яркостей для каждого спектрального канала съемки. Исходное разрешение съемки 28.5–30 м в пикселе в соответствии с масштабом исследования агрегировано до 60 м. Для более полного использования информации спектральных каналов на их основе рассчитаны индексы, представленные разностями, нормализованными разностями и отношениями между каналами, имеющими наряду с каналами съемки физическую интерпретацию.

Совмещение полевых данных с ДДЗ и ЦМР осуществлено в ГИС, где положение полевых точек описаний сопоставлялось с положением ближайших к ним точек многослойного грид характеристик ДДЗ и ЦМР (193 характеристики), представленными в векторном точечном формате. Таким образом, была сформирована обучающая выборка, используемая для определения связей выделенных типов растительных сообществ и свойств местообитаний.

При обработке данных также применяли методы многомерной статистики, реализованные в пакетах прикладных программ STATISTICA, SPSS, Fracdim (параметрический и непараметрический корреляционный, регрессионный, дисперсионный, дискриминантный, кластерный анализы, многомерное шкалирование, анализ временных рядов и др.). Средствами геоинформационного анализа и визуализации результатов являются стандартные программные продукты MapInfo, Erdas Imagine, SAGA и др.

Итогом совместного анализа наземных и дистанционных данных являлось построение общей пространственной (картографической) модели растительного покрова в дискретных категориях разного уровня – типах наземного покрова (типах растительности), формациях для лесной растительности и группах ассоциаций с уточняющими указаниями диагностических (включая доминантные) видов. При разработке структуры легенды учтено распределение сообществ в экологических градиентах среды (эколого-топологический подход) и степень их производности в результате антропогенного воздействия (динамический подход). Построение частных картографических моделей отдельных параметров растительного покрова (видовое разнообразие, обилие разных видов и групп растений, жизненное состояние хвойных видов и т.д.) позволило создать серию тематических карт для исследуемой территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа экосистемного разнообразия и типизации северотаежных лесов и березовых криволесий Мурманской области, а также экологически и географически близких лесов Скандинавских стран в зависимости от прагматических целей были разработаны разные направления классификации.

Наиболее часто при классификации лесов области применялся эколого-доминантный (фитоценотический) подход [1, 9, 12, 13, 17]. Эколого-флористический подход [11, 23, 24] более широко использовался при классификации лесов Северной Европы, в меньшей степени – Мурманской области. Эколого-динамический подход широко применяется в лесоводческой теории и практике в Финляндии [20, 21]. В соответствии с этим подходом в одну и ту же классификационную единицу (тип леса) могут быть объединены разные динамические стадии лесного сообщества при сходстве лесорастительных условий, что выражается в сходстве видового состава напочвенных ярусов. Использование для классификации растительности не только свойств самой растительности (учет доминирующих и диагностических видов), но и характерных для нее особенностей местообитания – это черта тополого-экологического подхода, широко применяемого в скандинавских странах [8]. При выделении топологических единиц использовались также характеристики структуры и видового состава растительных сообществ (как доминирующих, так и специфических видов), а объединение типов в группы происходит на ос-

новании свойств местообитания, как, например, степени увлажнения и богатства почв, с учетом антропогенного воздействия.

Для оценки пространственной вариабельности растительности и лесного покрова, в частности, мы использовали те же принципы, а именно: выделение типов биотопов с учетом структуры, состава растительных сообществ и их положения в ландшафте, с последующим объединением их в группы на основании свойств эдафотопы и характера увлажнения. Были выделены 9 типов наземного покрова, описывающих разнообразие в том числе всех представленных на территории типов растительности (лесов, криволесий, болот, горных тундр). В табл.1 представлена структура легенды на верхнем уровне классификации, включающая основные типы наземного покрова и типы растительности.

Для оценки современного состояния наземного покрова в выделенных дискретных классах построена карта типов растительности для исследуемой территории. Фрагмент карты типов растительности представлен на рис. 2.

Методами дискриминантного анализа выделенные классы получили подтверждение статистически значимой величиной их достоверности. Около 80% пикселей обучающей выборки верно отнесены к типам растительности/наземного покрова и группам формаций для лесов (17 классов). Для каждого исследуемого класса оценено значение занимаемой площади и доля его представленности в пределах исследованной территории. Так, к нивально-гольцовому типу наземного покрова отнесено 1.3% от всей исследуемой территории, к горным тундрам – 15.8%, к березовым криволесьям и болотам – по 4%, к лесным типам наземного покрова – около 60%, из них к сосновым – 26%, еловым – 20% и мелколиственным – 14%, водные объекты занимают около 13.5%.

Более детальный уровень классификации (нижний уровень) учитывал распределение сообществ в экологических градиентах среды (эколого-топологический подход) и степень их производности в результате антропогенного воздействия (динамический подход). Выделенные в результате классификации на основе эколого-доминантного подхода единицы отражены в структуре легенды карты растительности центральной части Мурманской области. В качестве примера приведен фрагмент классификации для класса северотаежных темнохвойных лесов (табл. 2).

Правомерность выделенных синтаксономических единиц растительности была подтверждена содержанием аналогичных единиц при использо-

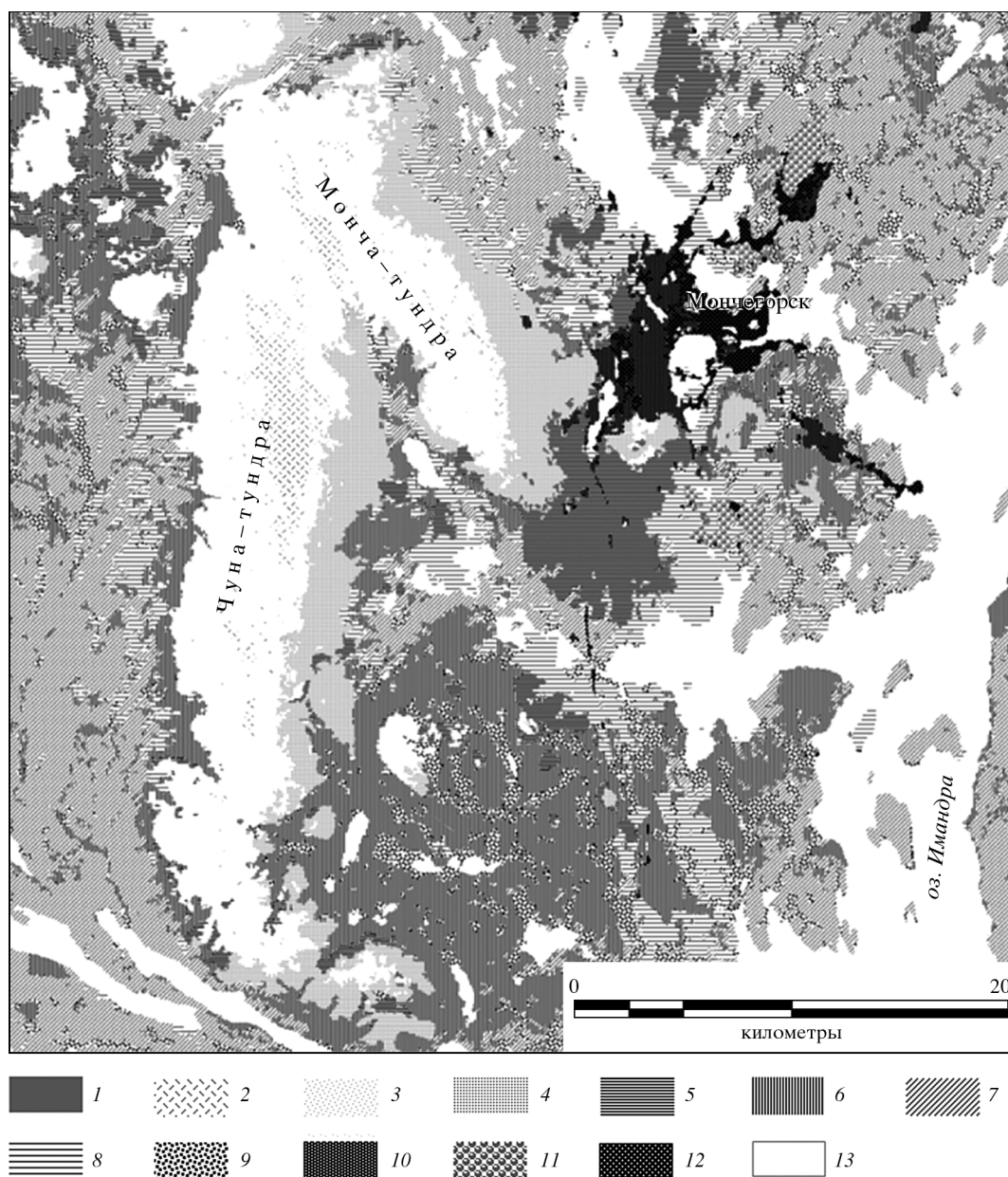


Рис. 2. Фрагмент карты типов растительности окрестностей горно-металлургического комбината “Североникель”: 1 – снежники; 2 – гольцы (выходы коренных пород, россыпи щебнистого, каменистого, крупноглыбистого элювия с фрагментами растительного покрова не более 10%); 3 – разреженная тундровая растительность (менее 30%) пологих склонов, плато, плоских вершин, гребней; 4 – сомкнутая (более 30%) тундровая растительность на вершинах и склонах гор на маломощных автоморфных хорошо и умеренно дренированных почвах; 5 – березовые криволесья (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*); 6 – еловые леса (*Picea obovata*); 7 – сосновые леса (*Pinus sylvestris*); 8 – мелколиственные леса (*Betula pubescens*, *Populus tremula*); 9 – болота и заболоченные леса; 10 – действующие отвалы и карьеры; 11 – луга и сельхозземли; 12 – селитебные земли; 13 – водные объекты

вании эколого-флористической классификации на основе оригинальных [5, 18] и литературных данных. Однако возможности сопоставить дигрессионные типы еловых сообществ, сформировавшиеся в результате техногенных сукцессий, с литературными материалами не было в силу их отсутствия. Методом дискриминантного анализа выделенные классы также получили количе-

ственное подтверждение, при этом для разных типов сообществ относительное качество дискриминантного анализа существенно различалось. Так, часть изначально выделенных тематических классов не нашла достаточно высокого статистического соответствия с ДДЗ и ЦМР, поэтому дискриминантной моделью они были отнесены в разных пропорциях к другим классам. В

Таблица 1. Содержание классов легенды карты растительности центральной части Мурманской области (бассейн оз. Имандра)

Тип наземного покрова	Класс легенды	
I.	Нивально-гольцовый пояс	
	1.	Снежники
	2.	Гольцы (выходы коренных пород, россыпи щебнистого, каменистого, крупноглыбистого элювия с фрагментами растительного покрова не более 10%)
II.	Тундровый пояс	
	3.	Разреженная тундровая растительность (менее 30%) пологих склонов, плато, плоских вершин, гребней
	4.	Сомкнутая (более 30%) тундровая растительность на вершинах и склонах гор на маломощных автоморфных хорошо и умеренно дренированных почвах
	5.	Сообщества из травянистых мезофитов и психрофитов (луговины) в ложбинах и депрессиях в горно-тундровом поясе
III.	Пояс березовых криволесий и редколесий	
	7.	Березовые криволесья (<i>Betula pubescens</i> ssp. <i>czerepanovii</i>) с отдельными елями (<i>Picea obovata</i>) и соснами (<i>Pinus sylvestris</i>)
IV.	Северотаежные темнохвойные леса	
	8.	Еловые леса (<i>Picea obovata</i>) с участием сосны (<i>Pinus sylvestris</i>) и березы (<i>Betula pubescens</i>)
V.	Северотаежные светлохвойные леса	
	9.	Сосновые леса (<i>Pinus sylvestris</i>) с участием березы (<i>Betula pubescens</i>)
VI.	Северотаежные мелколиственные леса	
	10.	Березовые леса (<i>Betula pubescens</i>) с участием ели (<i>Picea obovata</i>) и сосны (<i>Pinus sylvestris</i>)
	11.	Осиновые леса (<i>Populus tremula</i>)
VII.	Болота	
VIII.	Антропогенно-преобразованные территории	
	12.	Действующие отвалы и карьеры
	13.	Луга и сельхозземли
	14.	Селитебные земли
IX.	Водные объекты	

первую очередь это относилось к антропогенным производным типам лесных сообществ и заболоченным лесам. В частности, еловые леса, изначально определенные как кустарничковые (относительное качество дискриминации 9%), в рамках дискриминантной модели в большей степени соответствовали классу кустарничково-корково-лишайниковых (22%) и классу кустарничково-печеночниковых еловых лесов с березой (17%); кустарничково-травяные (*Avenella flexuosa*) еловые леса (14%) соответствовали кустарничково-корково-лишайниковому типу ельников (27%); травяно-сфагновые (22%) – кустарничково-зеленомошному типу ельников (34%). Таким образом,

выделены классы сообществ, имеющие высокую и низкую связь с дистанционной информацией и рельефом. Эти различия связаны с рядом причин объективного и субъективного характера, например, недостаточным числом точек обучающей выборки для идентификации отдельных классов, неполнотой отражения свойств растительного покрова через характеристики ДДЗ и ЦМР, определенной долей условности при типизации растительных сообществ, высокой степенью континуальности растительного покрова, погрешностью совмещения полевых описаний, ДДЗ и ЦМР и др. Общее качество дискриминантного анализа составило 76%.

Таблица 2. Фрагмент легенды карты растительности центральной части Мурманской области для северотаежных темнохвойных лесов

Коренной тип	Производный тип	Название группы ассоциаций
8. Еловые леса (<i>Picea obovata</i>) с участием сосны (<i>Pinus sylvestris</i>) и березы (<i>Betula pubescens</i>)		
<i>Редкостойные еловые леса на маломощных хорошо дренированных почвах</i>		
8.1		Кустарничково (<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Ledum palustre</i>) – зеленомошно (<i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Hylocomium splendens</i>) – лишайниковые (<i>Cetraria islandica</i> , <i>Cladonia</i> spp.) редкостойные еловые леса с березой
	8.1a	Кустарничково-корково-лишайниковые (<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Avenella flexuosa</i> , <i>Trapeliopsis granulosa</i> , <i>Cladonia deformis</i> , <i>Cetraria islandica</i>) редкостойные еловые леса с березой
<i>Еловые леса на сухих хорошо дренированных почвах</i>		
8.2		Кустарничково (<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>V. myrtillus</i> , <i>V. vitis-idaea</i>) – зеленомошные (<i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Hylocomium splendens</i>) леса с участием сосны и березы
8.3		Кустарничковые (<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>V. myrtillus</i> , <i>V. vitis-idaea</i>) травяно (<i>Chamaepericlymenum suecicum</i> , <i>Avenella flexuosa</i>) – зеленомошные (<i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Hylocomium splendens</i>) леса с участием сосны и березы
	8.2a	Кустарничково-корково-лишайниковые (<i>Trapeliopsis granulosa</i> , <i>Cladonia deformis</i>) еловые леса с березой
	8.2б	Кустарничково-печеночниковые (<i>Barbilophozia</i> spp., <i>Lophozia</i> spp., <i>Orthocaulis</i> spp.) еловые леса с березой, местами с фрагментами лишайников (<i>Cetraria islandica</i> , <i>Cladonia</i> spp.)
	8.3a	Кустарничковые (<i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>Vaccinium uliginosum</i> , <i>V. myrtillus</i>) еловые леса с березой
	8.3б	Кустарничково-травяные (<i>Avenella flexuosa</i>) еловые леса с березой
<i>Еловые леса на сырых и свежих хорошо дренированных почвах</i>		
8.4		Высокотравные и разнотравные (<i>Cicerbita alpina</i> , <i>Geranium sylvaticum</i>) еловые леса с березой
8.5		Кустарничково-разнотравные ельники с сосной и березой
	8.5a	Кустарничково-долгомощные ельники с сосной и березой
<i>На сырых и слабо дренированных почвах в заболоченных местообитаниях</i>		
8.6		Кустарничково (<i>Rubus chamaemorus</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>V. uliginosum</i>) – сфагновые (<i>Sphagnum girgensohnii</i>) еловые леса с березой
8.7		Травяно (<i>Carex nigra</i> , <i>C. rostrata</i> , <i>Equisetum palustre</i> , <i>Eriophorum vaginatum</i>) – сфагновые (<i>Sphagnum girgensohnii</i> , <i>Sph. russowii</i> , <i>Sph. angustiphodium</i>) еловые леса

На полученной карте растительности центральной части Мурманской области распределение тематических классов растительности и их содержание достаточно точно соответствуют природному разнообразию региона, обуславливающему закономерности естественной дифференциации наземного покрова исследуемой территории. В частности, хорошо отображаются закономерности дифференциации растительности, связанные с высотной поясностью, водным режимом и перераспределением влаги и т.д. Наряду с природной

в карте нашло отражение влияние антропогенных факторов дифференциации растительного покрова, связанное в первую очередь с деятельностью горнодобывающей и горно-обогачительной промышленности. Анализ полученной карты и физического содержания дискриминантных осей показал, что около 20% исследуемой территории представлено производными сообществами антропогенного происхождения различной степени трансформации. В целом общие представления о региональных особенностях растительного пок-

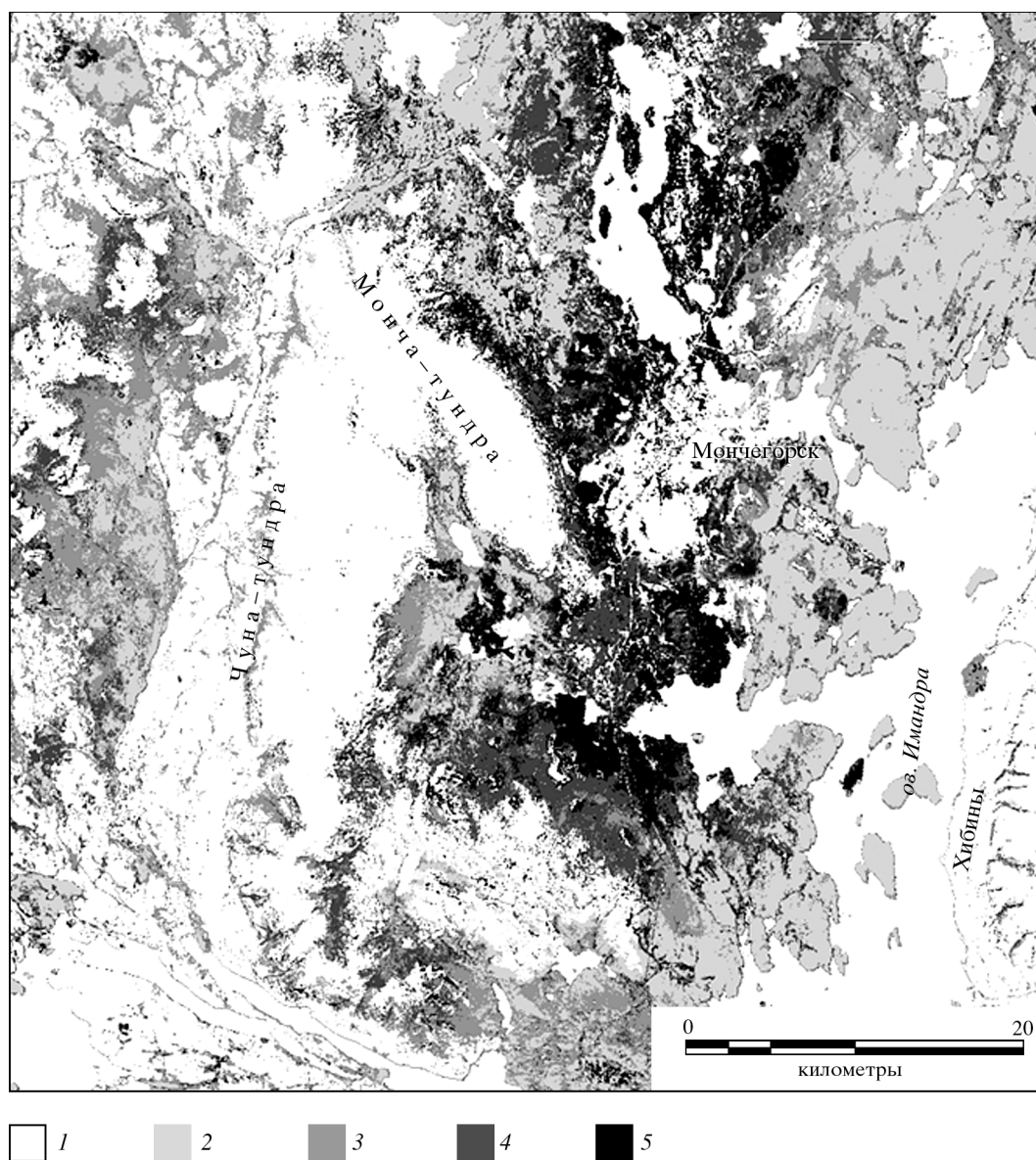


Рис. 3. Фрагмент карты распределения хвойных видов деревьев разного жизненного состояния в окрестностях горно-металлургического комбината "Североникель":

1 – отсутствие древесного яруса; жизненное состояние (в баллах); 2 – 1–2,5; 3 – 2,5–3; 4 – 3,5–4; 5 – 4,5–5

рова и полевая верификация интерполяционной модели исследуемой территории показали высокий уровень соответствия модели и реальности.

Построение частных картографических моделей отдельных характеристик растительного покрова дает представление о распределении важных показателей его состояния (например, видовой разнообразия, обилия отдельных видов растений, жизненного состояния хвойных видов деревьев и т.д.), что позволило создать серию тематических карт для исследуемой территории. В качестве примера на рис. 3 приведен фрагмент карты распределения хвойных видов деревьев

(сосны и ели) с разным жизненным состоянием, оцененным по пятибалльной шкале, в окрестностях комбината "Североникель". Хорошо заметно ухудшение жизненного состояния древостоя в направлении источника загрязнения.

Заключение. Использование современных высокотехнологичных средств анализа и интерпретации данных, математического аппарата и программного обеспечения значительно расширили спектр возможностей при оценке актуального состояния растительного покрова центральной части Мурманской области. Применение ГИС-технологий позволило осуществить интеграцию и

совместный анализ имеющихся данных различного формата и масштаба, характеризующих растительный покров. Совместный количественный анализ свойств растительного покрова и цифровой модели рельефа дал возможность отобразить экологические особенности формирования растительного покрова и оценить типологическое разнообразие лесных сообществ. Полученные знания являются основой для понимания условий и процессов природной и антропогенной трансформации лесного покрова, его пространственной и временной динамики, что важно для моделирования его состояния и обоснования системы мониторинга.

Разработанная карта актуальной растительности исследуемого региона характеризует значительную часть Лапландского заповедника, территории горного массива Хибин, а также антропогенно-трансформированные окрестности комбината "Североникель". Она дает представление о составе и распространении коренных и производных растительных сообществ, а также возможность количественно оценить площадь нарушенной территории и размеры ущерба природной среде. Разработанная классификация растительности и апробация выделенных типологических единиц позволяют использовать полученные результаты для проведения сравнительного анализа экосистемного разнообразия бореальных лесов на региональном уровне в разных природно-климатических регионах и выявления общих закономерностей пространственной структуры восточноевропейских бореальных лесов в целом для создания их общей картографической и факторной моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аврорин Н.А., Качурин М.Х., Коровкин А.А. Материалы по растительности Хибинских гор // Тр. СОПС АН СССР. Сер. Кольск. 1936. Вып. 11. С. 3–95.
2. Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лунян Е.А. Развитие методологии спутникового картографирования лесных экосистем Северной Евразии // Разнообразие и мониторинг лесных экосистем России / Под ред. Исаева А.С. М.: Товарищество науч. изданий КМК, 2012. Кн. 1. С. 261–286.
3. Жирин В.М., Князева С.В., Эйлина С.П. Дистанционное сопровождение лесообразовательного процесса в послерубочных таежных лесах Русской равнины // Лесоведение. 2011. № 6. С. 29–38.
4. Карта растительности Лапландского государственного заповедника. Восточная часть. Масштаб 1: 50 000 / Отв. ред. Нешатаев В.Ю., 2008. 2 л.
5. Королева Н.Е. Основные биотопы северотаежных лесов и березовых криволесий Мурманской области: ландшафтное и ботаническое разнообразие, необходимость охраны // Вестник Моск. гос. техн. ун-та. 2011. Т. 14. № 4. С. 819–832.
6. Кравцова В.И. Особенности дешифрирования северных лесов на космических снимках сверхвысокого разрешения // Лесоведение. 2013. № 1. С. 56–65.
7. Кравцова В.И., Рессле А.И., Тутубалина О.В. Повреждение растительности в зоне воздействия комбината "Североникель" // Экологический атлас Мурманской области. Апатиты: ИППЭС КНЦ РАН, 1999.
8. Кузнецов О.Л. Растительность болот // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды / Под ред. Громцева А.Н., Китаева С.П., Крутова В.И., Линдхольма Т., Яковлева Е.Б. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2003. 262 с.
9. Кучеров И.Б., Головина Е.О., Чепинога В.В., Гимельбрант Д.Е., Максимов А.И., Максимова Т.А. Сосновые леса и редколесья Карельского берега Белого моря (Республика Карелия) // Труды Карельского НЦ РАН. 2009. № 4. С. 30–52.
10. Лошкарева А.Р. Исследование и картографирование современного состояния и динамики северной растительности на примере Кольского полуострова на основе космических снимков // Дис. магистра географических наук: 020400.68. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2012. 54 с.
11. Морозова О.В., Заугольнова Л.Б., Исаева Л.В., Костина В.А. Классификация бореальных лесов севера Европейской России. I. Олиготрофные хвойные леса // Растительность России. 2008. № 13. С. 61–82.
12. Некрасова Т.П. Очерк растительности Лапландского заповедника // Тр. Ленинград. об-ва естествоисп. 1935. Т. 64. Вып. 2. С. 239–272.
13. Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю. Синтаксономическое разнообразие сосновых лесов Лапландского заповедника // Бот. журн. 2002. Т. 87. № 1. С. 99–121.
14. Пузаченко М.Ю. Оценка состояния лесов на основе полевой и дистанционной информации на примере юго-запада Валдайской возвышенности // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления. Матер. Всерос. науч. конф. (с международным участием). Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН. 2009. С. 79–81.
15. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: АCADEMA, 2004. 416 с.

16. Тутубалина О., Шитигина Е. Методика компьютерной классификации по нескольким космическим снимкам // ArcReview. 2004. № 4.
17. Цинзерлинг Ю.Д. География растительного покрова северо-запада Европейской части СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. 378 с.
18. Черненко Т.В., Королева Н.Е., Басова Е.В. Методологические предпосылки создания типологии растительного покрова Мурманской области для последующего картографирования // Изв. Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1 (4). С. 1152–1155.
19. Электронный учебник по статистике. М.: StatSoft, Inc., 2001. <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
20. Cajander A.K. The theory of forest types // Acta Forest. Fennica. 1926. V. 29 (3). S. 1–108.
21. Hämet-Ahti L. Zonation of the mountain birch forests in northernmost Fennoscandia // Ann. Bot. Soc. "Vanamo". 1963. T. 34. № 4. 127 p.
22. McRober R.E. A model-based approach to estimating forest area // Remote Sensing of Environment. 2006. № 103. P. 56–66.
23. Kielland-Lund J. Die Waldgesellschaften SO Norwegens // Phytocoenologia. 1981. V. 9. № 1–2. P. 53–250.
24. Nordhagen R. Versuch einer neuen Einteilung der subalpinen-alpinen Vegetation Norwegens // Bergens Mus. Arb. 1936. 88 S.
25. Puzachenko M.Yu., Puzachenko Yu.G. The multifunctional analysis of vegetation // Man and environment in boreal forest zone: past, present and future. Intern. Conf. Central Forest State Natural Biosphere Reserve, Russia / Eds. Novenko E.Yu., Spasskaya I.I., Olchev A.V. M.: Inst. Geogr. RAS, 2008. P. 83–85.
26. Tomppo E., Olsson H., Ståhl G., Nilsson M., Hagner O., Katila M. Combining national forest inventory field plots and remote sensing data for forest databases // Remote Sensing of Environment. 2008. № 112. P. 1982–1999.

Assessment of the Forest Cover State in Murmansk Region with Ground Surveys and Remote Sensing Data

Chernen'kova T. V., Puzachenko M. Yu., Koroleva N. V., Basova E. V.

The results of the study of the spatial differentiation of forest cover from qualitative methods of analysis of the field, remote sensing and map data. The coenotic diversity of forest vegetation were studied with different classification approaches, as follows: ecological dominant, ecological topological, and dynamical. Interpolation of local measurements of plant associations and syntaxonomic units at the upper scale levels with spectral satellite imagery and quantitative methods of its processing allowed preserving important information on the structure and properties of vegetation. The thematic maps of specific parameters of the forest cover, as well as the vegetation map of Central Murmansk Region at the 1:100000 scale are the main results of the study. The impact of the natural and anthropogenic factors is reflected in the legend to the map.

Cartographic modeling, remote sensing data, digital elevation model, classification, Murmansk region, boreal forest, vegetation cover.

Сдано в набор 14.06.2013 г.	Подписано к печати 03.09.2013 г.	Дата выхода в свет 19 нечетн.	Формат 60 × 88 ^{1/8}
Цифровая печать	Усл.печ.л. 12.0	Усл.кр.-отт. 1.8 тыс.	Уч.-изд.л. 12.0
	Тираж 143 экз.	Зак. 1568	Бум.л. 6.0
			Цена свободная

Учредители: Российская академия наук,
 Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов, Институт лесоведения

Издатель: Российская академия наук. Издательство "Наука". 117997, Москва, Профсоюзная ул., 90
 Оригинал-макет подготовлен АИЦ "Наука" РАН
 Отпечатано в ППП "Типография "Наука", 121099, Москва, Шубинский пер., 6