

УДК 911.52

Е. И. КУЗЬМЕНКО, А. А. ФРОЛОВ, А. В. СИЛАЕВ

Институт географии СО РАН, г. Иркутск

КАРТИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС

Представлены результаты изучения пространственно-временной организации таежных геосистем северо-запада Западной Сибири (Кондо-Сосьвинского Приобья). Использована методика двухрядной классификации геосистем и системно-иерархического представления природной среды таежной территории как сложной многоуровневой структуры, созданная в Институте географии СО РАН. Разработана методика геоинформационного картографирования лесных геосистем с использованием программного обеспечения GIS Multispec и Quantum GIS для отражения динамических ландшафтных классификаций таежных территорий от топологического до регионального уровня с целью составления оперативных ландшафтных и лесных карт. Синтез классических методов структурно-динамического ландшафтоведения в учении о геосистемах и классификации геосистем с использованием современных ГИС-технологий, включающих многоуровневое автоматизированное дешифрирование космических снимков на основе Landsat 5 и Landsat 7, позволил составить электронную ландшафтную карту Кондо-Сосьвинского Приобья, учитывающую пространственно-временную дифференциацию лесных регионов. Автоматизированная обработка космических снимков дает возможность не только определить ландшафтную структуру геосистем, но и рассчитать площади различных классов фаций, антропогенно-нарушенных территорий (вырубок, гарей), соотношение лесных и заболоченных ландшафтов, а также вычислить площади натежного увлажнения в пойменных комплексах, которые существенно меняются в течение весенне-летнего периода. Оперативные ландшафтные карты позволяют контролировать изменения природной среды, интенсивность антропогенных воздействий на определенные типы лесных и болотных ландшафтов, планировать пределы допустимых нагрузок и структуру природоохранных мероприятий, особенно на территории с высокой техногенной нагрузкой нефтегазового комплекса, каким является Кондо-Сосьвинское Приобье, а также решать другие задачи оптимального природопользования.

Ключевые слова: геосистемы, структурно-динамическое ландшафтоведение, антропогенное воздействие, автоматизированное дешифрирование и классификация космических снимков, геоинформационное картографирование.

We present results from studying the spatiotemporal organization of taiga geosystems in the northwestern part of Western Siberia (Konda-Sos'va Ob' region). The study used the technique of double-ranked classification of geosystems and a system-hierarchical representation of the natural environment on the taiga territory as a complex multilevel structure, which was conceived and worked up by the Institute of Geography SB RAS. We have developed the technique for geoinformation mapping of forest geosystems through the use of the GIS Multispec and Quantum GIS software tools for representation of dynamical landscape classifications of taiga territories ranging from a topological to a regional level in order to compile real-time landscape and forest maps. By synthesizing conventional methods of structural-dynamical landscape science in the theory of geosystems, and a classification of geosystems based on using state-of-the-art GIS technologies including multilevel automated interpretations of Landsat 5 and Landsat 7 images, it was possible to compile the electronic landscape map for the Konda-Sos'va Ob' region with consideration for the spatiotemporal differentiation of the forest regions. An automated processing of space-acquired images made it possible not only to determine the landscape structure of geosystems but also to calculate the areas occupied by different classes of facies, anthropogenically disturbed territories (felled areas and burns), the relationship of forested and waterlogged landscapes as well as overflow humidification in floodplain complexes which are changing dramatically over the spring-summer period. Real-time landscape maps provide means of monitoring changes in natural environment and the intensity of anthropogenic impacts on particular types of forest and bog landscapes, planning the limits of allowable loads and the structure of environmental measures, especially on a territory with a high technogenic load from the oil and gas production complex, such as the Konda-Sos'va Ob' region, as well as dealing with other tasks of achieving optimal nature management.

Keywords: geosystems, structural-dynamical landscape study, anthropogenic impact, automated interpretation and classification of space-acquired images, geoinformation mapping.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Таежные территории Западной Сибири подвергаются высокой антропогенной нагрузке в результате деятельности нефтегазового комплекса. Важно сохранить природоохранные функции территории путем выделения защитных участков лесных ландшафтов, которые составляют основу экологического каркаса, и установления в них щадящего режима природопользования.

В практике рационального природопользования также важна оценка ресурсной составляющей лесов — породного состава, площадей, продуктивности. В промышленном использовании лесов часто приходится опираться на необновленные данные о состоянии лесного фонда, что обусловлено сокращением объемов лесоинвентаризационных работ.

Изучение пространственно-временной организации геосистем дает представление о типологической структуре, динамике ландшафтных фаций и типов леса, а также о региональных изменениях таежных ландшафтов Западной Сибири, что позволяет создать основу для природоохранного и ресурсного районирования территории.

Главная задача исследования связана с разработкой методик для составления динамических ландшафтных классификаций таежных территорий на топологическом уровне, когда ландшафтная фация эквивалентна типу леса в генетической классификации [1], с региональным обобщением фаций в геом, а также с использованием геомной классификации при составлении ландшафтных и лесных карт для решения задач оптимального природопользования. С этой целью применяется методика системно-иерархического представления природной среды таежной территории как сложной многоуровневой структуры, разработанная в Институте географии им. В. Б. Сочавы СО РАН [2–6].

Другая важная задача — синтез классических методов классификации, а также подходов учения о геосистемах и современных ГИС-технологий при ландшафтном картографировании.

В рамках учения о геосистемах [2] геом характеризуется как обобщение классов фаций, которые определяются по признакам топологического порядка, а группы и подгруппы геомов выделяются в соответствии с общегеографическими связями регионального порядка. При обобщении в геом принимаются во внимание структурные особенности классов фаций — мезоформы рельефа, климатический режим как модификация климата подзоны, характерные особенности почвенно-растительного компонента.

Классификационные единицы геомного уровня использовались В. С. Михеевым, В. А. Ряшиным и др. [5] при составлении ландшафтной карты юга Восточной Сибири. С. В. Солодянкина и А. К. Черкашин [7] применяли анализ геомной структуры территории при моделировании геосистемных функций накопления углеродного запаса горно-таежными лесами Прибайкалья. Идея использования геом в качестве низовой единицы природного районирования высказана В. С. Михеевым [3]. Эта идея была реализована при проведении лесорастительного районирования приенисейской части Западной Сибири [1, 8]. В качестве низовой единицы природного районирования взят геом, объединяющий группы и классы фаций.

Однако опыт составления карт на основе методики геомного обобщения с использованием автоматизированных подходов дешифрирования космических снимков незначителен.

ГИС-технологии чаще применяются при составлении карт лесной растительности. В отечественном картографировании преобладает лесотипологический подход преимущественно на топологическом уровне и в основном для тестовых площадей [9, 10].

Зарубежный опыт (Мэрилендский университет, США) связан с созданием карты «Global Forest Change 2000–2013» [11], характеризующей изменения растительного покрова в XXI в. Оперативные карты лесных регионов планеты, составленные на основе снимков Landsat, позволяют определить убыль лесных площадей за счет вырубок, гарей, вымокания и т. д. и прибыль за счет облесения вырубок, гарей и других нарушенных площадей в течение определенного интервала времени. Однако структурная дифференциация лесных регионов по типам леса, формаций или классификационным единицам ландшафтного картографирования не проводилась, учитывались только лесные и нелесные площади. Следовательно, статистическое изучение динамики лесного фонда не дает ответа на вопрос, каких лесов (например, сосновых или еловых) стало больше или меньше на картографируемой территории. С этой точки зрения особенно актуальна оценка ландшафтной и лесотипологической пространственно-временной организации лесных территорий на основе классификаций структурно-динамического ландшафтоведения.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования — территория средней и северной тайги северо-запада Западной Сибири в пределах Кондо-Сосьвинского Приобья (Ханты-Мансийский автономный округ — Югра).

При картографировании растительности и ландшафтов Сибири все большее значение приобретает использование данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий. Авторами создана электрон-

ная растровая карта бореальной тайги северо-запада Западной Сибири в среднетаежной подзоне по регионам Тюменской области (лист трапеции Р-41–Р-42). Для этой цели использовались космические снимки Landsat 5 TM и Landsat 7 ETM, полученные с сайта USGS (<http://glovis.usgs.gov>). В процессе обработки снимка преследовалась цель отразить иерархическое соподчинение классификационных категорий: выделялись ареалы, соответствующие группам и классам фаций с учетом их динамических изменений, затем ареалы объединялись в соответствии с геомами. В завершение оценивалась антропогенная нагрузка на лесные ландшафты. Для этого применялось программное обеспечение Multispec и Quantum GIS (Qgis), которое расширяет возможности автоматизированного дешифрирования космических снимков и составления электронных карт [12, 13].

Актуально создание как электронных растровых карт, так и классифицированных изображений космических снимков крупного и среднего масштаба, их сопоставление с натурными полигонами-трансектами и ключевыми участками, отражающими пространственно-временную организацию и динамику ландшафтных фаций. При этом разрабатываются легенды, способствующие уточнению и актуализации традиционных ландшафтных и лесных карт, а также ускоряющие оперативную трансформацию растровых карт в векторные. Это необходимо в связи с тем, что под воздействием антропогенных нарушений в структуре природных комплексов за короткий период происходят значительные изменения, затрудняющие планирование оптимального природопользования.

Для выявления ландшафтной структуры лесного покрова в процессе обработки снимков была составлена электронная растровая карта Кондо-Сосьвинского Приобья. При обработке снимков Landsat применялось автоматизированное дешифрирование в GIS Multispec, которое включало геометрические и яркостные преобразования — кластеризацию и классификацию изображений, а также использовалась сцена Landsat 5 164-017 и проводилось совмещение RGB по различным комбинациям спектральных каналов. За основу был взят вариант коротковолнового инфракрасного синтеза (SWIR или GeoCover), который имеет каналы с наибольшей дисперсией и является оптимальным для дальнейшей обработки снимков.

Классификация материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представляет собой процесс сортировки пикселей в конечное число индивидуальных классов-ареалов на снимке, который основывается на их значениях. Ряд авторов считает результирующее изображение тематической картой [14, 15].

Для предварительной обработки снимков нами использован способ кластеризации ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique — итеративный самоорганизующийся способ анализа данных), который является параметрическим, так как значения яркости группируются вокруг среднего значения яркости кластера. Основной параметр, задаваемый перед вычислениями, — число кластеров и их размер [12]. Однако при обработке снимков таким образом не всегда известно число классификационных ландшафтных категорий, соответствующих числу кластеров анализируемого снимка, поэтому данный способ подходит для районов с хорошо изученной ландшафтной структурой.

Дальнейшая обработка цифрового снимка проводилась методом спектрально-пространственной классификации с помощью алгоритма ECHO (Extraction and Classification of Homogeneous Objects — распознавание и классификация однородных объектов) и заключалась в группировке пикселей с использованием обучающих выборок (supervised classification). Методика основана на использовании яркостных признаков ландшафтных фаций, полученных путем сопоставления выделенных на снимке ареалов, принадлежность которых к определенной ландшафтной единице на местности известна, что обеспечивает эффективную многомерную классификацию снимка. Этот способ не только комбинирует методы линейного дискриминантного анализа Фишера и максимального правдоподобия, но и учитывает пространственную однородность растровых классов, что очень важно при создании карт с большим количеством групп и классов ландшафтных фаций, повторяющихся в картографируемом пространстве.

Для оценки результатов компьютерной кластеризации, классификации и разработки легенды карты выбраны ключевые участки на территории Кондо-Сосьвинского Приобья. С целью взятия обучающих выборок и оценки результатов классификации использовались следующие данные: ландшафтная и лесотаксационная характеристика полигонов-трансектов Тугрского и Няганьского стационаров; ландшафтная карта урочищ окрестностей Тугрского стационара [16]; данные по ключевым участкам в районе пос. Березово; карта растительности Западно-Сибирской равнины [17]; планы лесонасаждений; лесные карты; полевые и фондовые материалы таксации Няганьского, Советского, Самзасского, Березовского лесхозов.

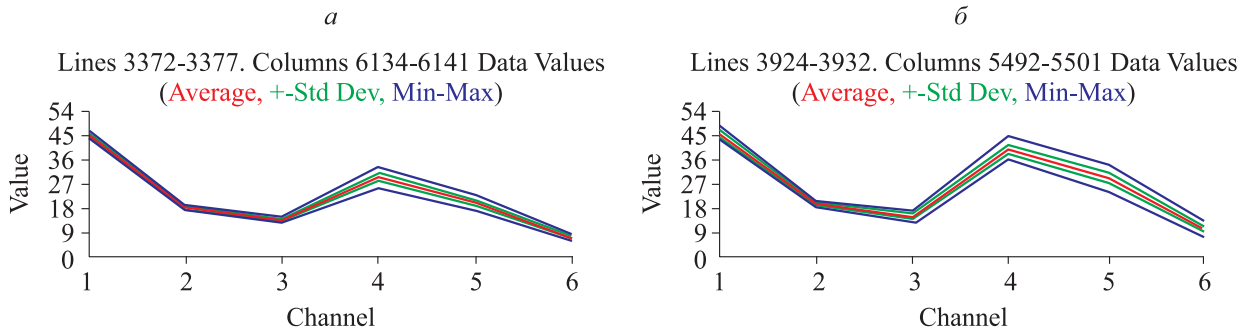


Рис. 1. Характеристики спектральной отражательной способности темнохвойного кедрово-елового леса (а) и соснового с темнохвоем зеленомошного леса (б) по изображениям Landsat.

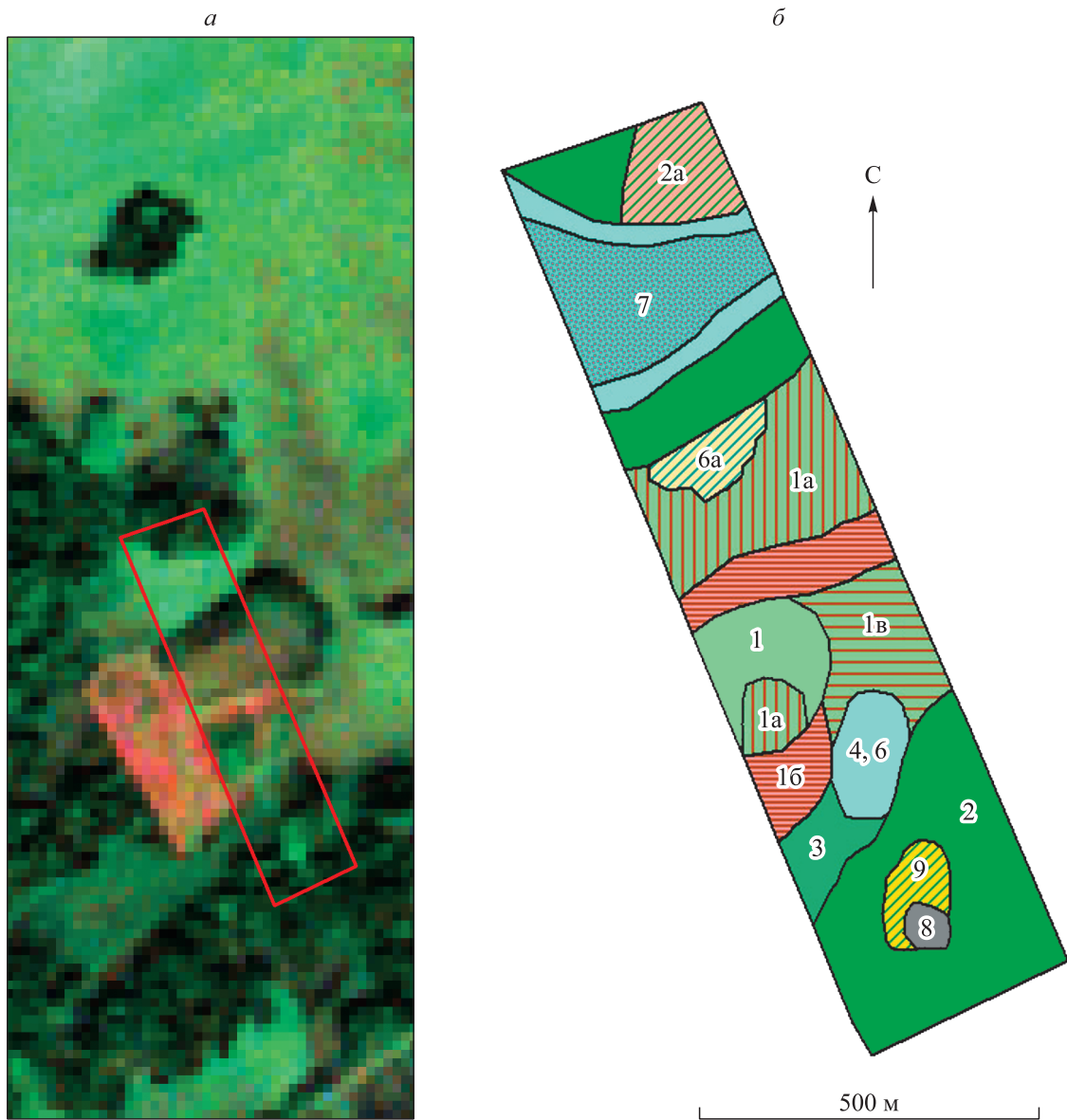


Рис. 2. Сопоставление контуров снимка Landsat (а) с выделами ландшафтных фаций (б) на Тургском полигоне-трансекте (см. легенду).

При классификации групп ландшафтных фаций по снимку рассчитывались статистические параметры обучающих выборок, сопоставленных с участками ландшафтных полигонов. Определение спектральных признаков ареалов (классов растра) осуществлялось путем задания в них прямоугольных тем, фиксирующих координаты площади, и автоматического считывания яркостных характеристик пикселей в рамках заданного прямоугольника. Один из таких ареалов снимка, например, соответствует выделу ландшафтной фации кедрово-елового мелкотравно-зеленомошного леса, отраженному на профиле. В результате формирования обучающей выборки в программе Multispec отображаются таблица и графики всех яркостных значений в зонах для каждого пикселя с указанием номера класса-ареала снимка и названия фации или ее группы, соответствующей этому ареалу (классу растра) на местности (рис. 1).

Ниже приведен пример сопоставления классов-ареалов изображения SWIR (каналы 7.4.2) снимка Landsat 5, сцена 164–17 (съемка 2009 г.) (рис. 2, а), с ареалами ландшафтных фаций полигона Тугрского стационара (см. рис. 2, б), отражающего гидроморфный темнохвойно-таежно-болотный ряд растительности.

Легенда к картосхеме «Ландшафтные фации Тугрского полигона-трансекта»

1. Плакорная кедрово-пихтово-еловая травяно-зеленомошная фация (генетический тип леса или его группы) на перегнойной элювиально-глеевой потечно-гумусовой тяжелосуглинистой почве.
 - 1а. Зарастающая гарь на местоположении плакорной кедрово-пихтово-еловой травяно-зеленомошной фации на перегнойной элювиально-глеевой потечно-гумусовой тяжелосуглинистой почве.
 - 1б. Свежая гарь на местоположении плакорной кедрово-пихтово-еловой травяно-зеленомошной фации на перегнойной элювиально-глеевой потечно-гумусовой тяжелосуглинистой почве.
 - 1в. Плакорная березово-пихтово-кедрово-еловая травяно-зеленомошная фация на перегнойной элювиально-глеевой потечно-гумусовой тяжелосуглинистой почве.
2. Плакорная кедрово-еловая мелкотравно-зеленомошная фация на перегнойной элювиально-глеевой поверхностно-ожелезненной среднесуглинистой почве.
 - 2а. Плакорная березово-кедрово-еловая мелкотравно-зеленомошная фация на перегнойной элювиально-глеевой поверхностно-ожелезненной среднесуглинистой почве.
3. Подсклоновая елово-кедровая бруснично-зеленомошная фация на перегнойной собственно элювиально-глеевой среднесуглинистой почве.
- 4, 6. Приболотная ложбин и внутриболотных повышений елово-кедровая кустарничково- и травяно-моховая фация на перегнойно-глеевой почве; ложбинная и краевых зон рямов кедрово-сосновая кустарничково-травяно-сфагновая фация на болотной торфяно-глеевой тяжелосуглинистой почве и маломощном торфянике.
 - 6а. Гарь на местоположении ложбинной и краевых зон рямов кедрово-сосновой кустарничково-травяно-сфагновой фации на болотной торфяно-глеевой тяжелосуглинистой почве с маломощным торфяником.
7. Болотная сосновая (рямовая) кустарничково-травяно-сфагновая на болотной торфяно-глеевой тяжелосуглинистой почве на мощном торфянике.
8. Территория метеоплощадки.
9. Вырубка, прилегающая к территории метеоплощадки, на местоположении плакорной кедрово-еловой мелкотравно-зеленомошной фации на перегнойной элювиально-глеевой поверхностно-ожелезненной среднесуглинистой почве.

Данные обучающей выборки использовались для автоматизированной обработки снимка Landsat с помощью программного пакета ENO и опции Training и Output results to text window (рис. 3).

Соединение одиночных космоснимков (Landsat 5 TM) осуществлялось в программе Quantum GIS (QGIS). Функция объединения позволила пространственно привязать три необходимые сцены к одному файлу, что дало возможность в дальнейшем проводить различные аналитические операции для всей территории исследования одновременно [13]. В результате сопоставления синтезированного изображения снимков с различными картами, профилями, фоновыми и полевыми материалами получена легенда к карте таежной территории Кондо-Сосьвинского Приобья (рис. 4), отраженной на трех снимках (сцены Landsat 5: 164–17, 165–16, 165–15).

Для уточнения ландшафтной структуры территории со схемой классификации снимка совмещались векторные слои (рельефа, гидросети и др.) и электронная топооснова, подготовленная Роскартографией (СК–42).

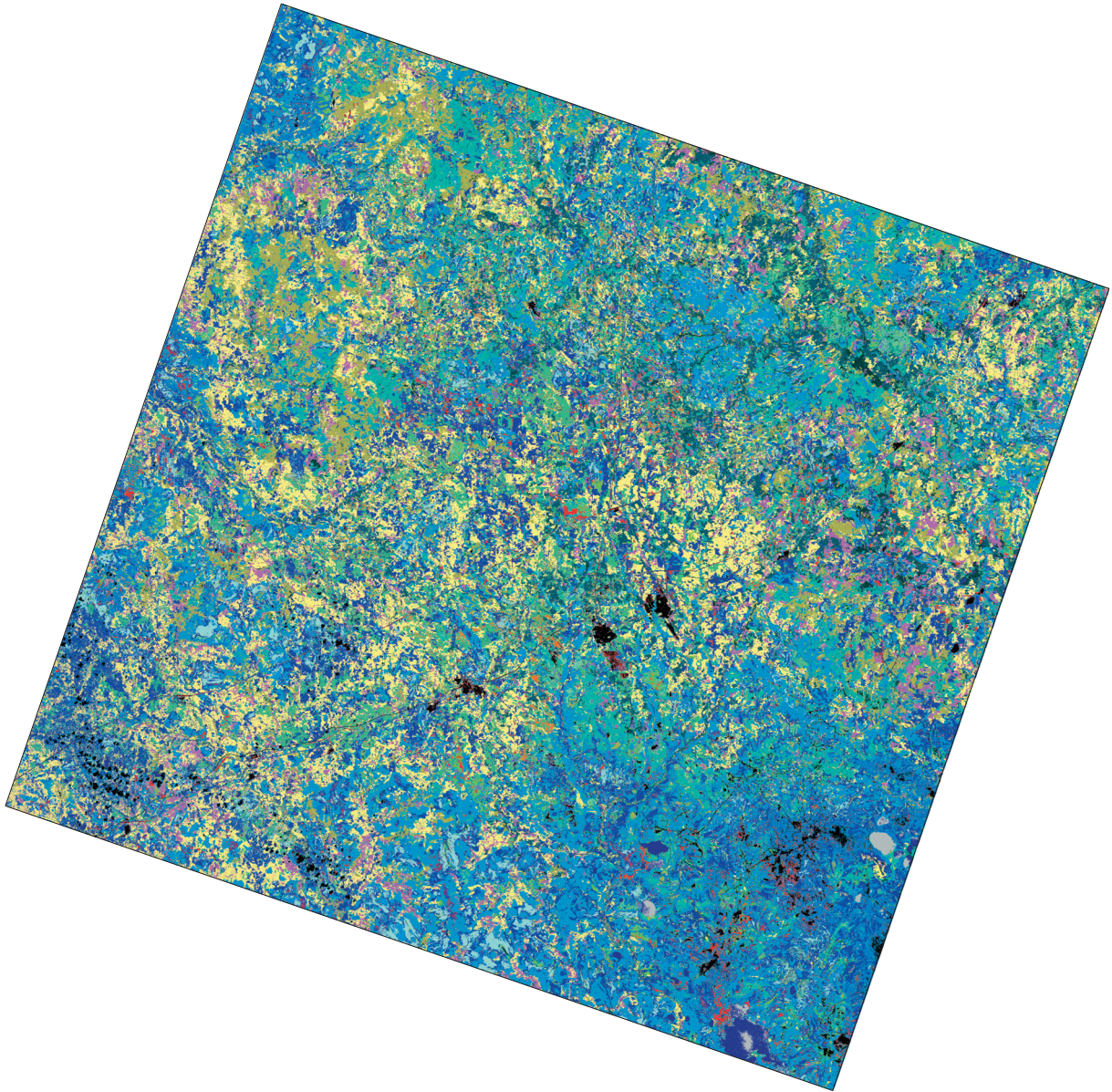


Рис. 3. Классифицированное растровое изображение снимка Landsat по группам и классам ландшафтных фаций Кондо-Сосьвинского Приобья, полученное с использованием обучающей выборки и алгоритма ЕСНО в GIS Multispec (сцена Landsat 5 164–17).

При наличии сквозной ландшафтной классификации, в которой учтена покомпонентная структура ландшафтных фаций, разработанной на часть экспериментального региона, возможно картографирование другой его части относительно аналогичной территории снизу — от групп и классов ландшафтных фаций до геомов [18]. Именно такой подход — снизу — использовался авторами при составлении легенды и карты (см. рис. 4).

В процессе обработки одного снимка выделялись группы и классы ландшафтных фаций, объединяющиеся по сходству растительных ярусов, условий местоположения (форма рельефа, экспозиция склона) и с учетом преобладающего природного процесса, например по характеру увлажнения (дренированные, слабодренированные, болотные и т. д.). Ареалы этих классификационных единиц соответствовали изображению ареала Class на космоснимке в программе Multispec с определенной яркостной характеристикой.

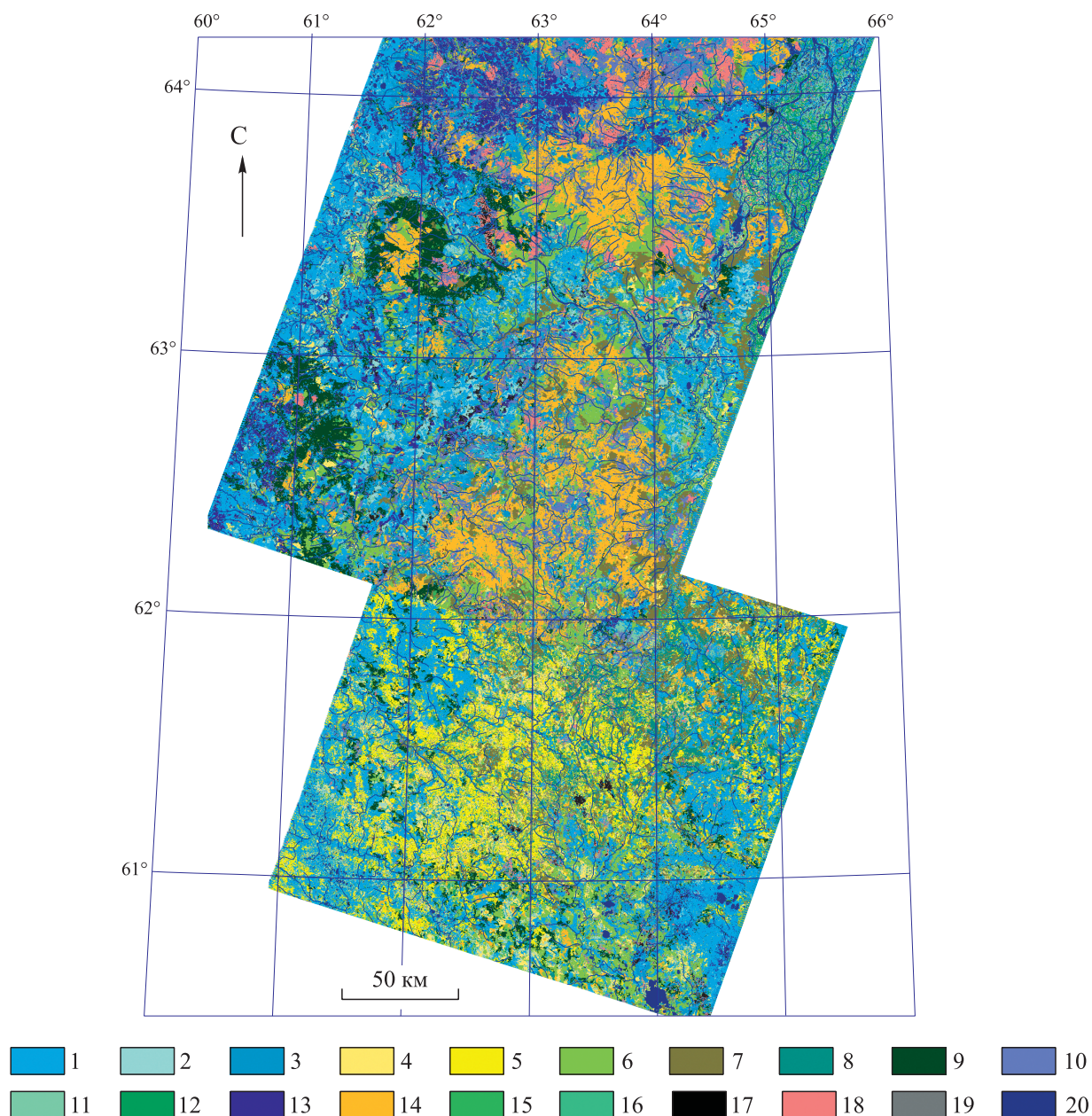


Рис. 4. Ландшафтная растровая карта геомов Кондо-Сосьвинского Приобья (м-б 1:2 500 000).

1–20 — см. легенду.

Легенда

к ландшафтной растровой карте геомов Кондо-Сосьвинского Приобья м-ба 1:2 500 000

АРКТО-БОРЕАЛЬНЫЙ СЕВЕРОАЗИАТСКИЙ ТИП ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

БОРЕАЛЬНЫЙ ОЛИГОТРОФНО-БОЛОТНЫЙ ПОКРОВНО-ВОДРАЗДЕЛЬНЫЙ КЛАСС ГЕОМОВ

Автоморфные междурусские Обь-Иртышские лесоболотные группы геомов

Выпуклые олиготрофные болота автономного развития (подгруппы геомов)

Обь-Иртышские олиготрофные болотные геомов

Водораздельные олиготрофных болот оптимального развития

1. Водораздельные олиготрофные (осоково-сфагновые), грядово-мочажинные и озерково-грядово-мочажинные болота.

2. Евтрофные, мезотрофно-евтрофные, евтрофно-мезотрофные (шейхцериевые, осоковые) болота.
3. Сосновые кустарничково-сфагновые рьямы плакорных междуречий и водораздельных понижений.

УРАЛО-СИБИРСКИЙ ТЕМНОХВОЙНОТАЕЖНЫЙ ПРЕДГОРНО-РАВНИННЫЙ КЛАСС ГЕОМОВ
Зауральские разной фитоценотической структуры террасированных равнин группы геомов
Среднетаежные темнохвойные фиксированных водоразделов подгруппы геомов
Зауральские светлохвойнотаежные геомы

Боровые литоморфных песчаных террасированных равнин

4. Молодые и средневозрастные светлохвойные леса, восстанавливающиеся на местоположениях водораздельно-склоновых сосновых лишайниковых и кустарничково-лишайниковых среднетаежных лесов.
5. Сосновые лишайниковые, багульниково-брусничные и кустарничково-лишайниковые зеленомошно-лишайниковые водораздельно-склоновые среднетаежные боровые леса.
Среднетаежные темнохвойные слабодренированных водоразделов
6. Елово-березовые, кедрово-елово-березовые травяно-зеленомошные леса, восстанавливающиеся на местоположениях нарушенных еловых и кедровых среднетаежных лесов (1-я стадия восстановления).
7. Темнохвойно-сосновые кустарничково-зеленомошные, бруснично-зеленомошные среднетаежные водораздельно-склоновые леса.
8. Березово-еловые, березово-кедрово-еловые травяно-зеленомошные леса плакоров, восстанавливающиеся на местоположениях среднетаежных ельников и кедровников.
9. Кедрово-еловые, елово-кедровые и мелкотравно-, бруснично-зеленомошные среднетаежные леса плакоров и склонов.
Среднетаежные лесоболотные олиготрофного режима
10. Елово-, сосново-кедровые, кедрово-еловые, березово-сосново-кедровые долгомошно-сфагновые и кустарничково-зеленомошно-сфагновые редколесья приболотных и придолинных местоположений (гидроморфная западносибирская тайга).

СОБСТВЕННО ФЛЮВИАЛЬНЫЙ ОБЬ-ИРТЫШСКИЙ КЛАСС ГЕОМОВ
Долинные лугово-кустарничково-лесоболотные группы геомов

Долинные лугово-кустарничково-лесоболотные сферы натечного увлажнения (подгруппы геомов)
Обь-Иртышские долинные геомы
Поймы и припойменные террасы Оби и Иртыша (луговые, лесные, болотные)

11. Низинные осоковые пойменные луга.
12. Вейниково-канареечниковые и осоково-вейниково-канареечниковые пойменные луга.

АРКТО-БОРЕАЛЬНЫЙ ТУНДРОВЫЙ РЕДКОЛЕСНО-БОЛОТНЫЙ КЛАСС ГЕОМОВ
Субарктические мерзлотные плоскобугристые редколесно-болотные группы геомов
Флювиально-болотно-мерзлотные подгруппы геомов

Казымские редколесно-болотные геомы

Водораздельные плоскобугристые болота автоморфного развития (криогидроморфные)

13. Плоскобугристые болота водоразделов в сочетании с олиготрофными, грядово-мочажинными болотами и сосновыми рьямами, переходные к северотаежной подзоне и северотаежные.

СЕВЕРОАЗИАТСКИЙ МЕРЗЛОТНЫЙ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ КЛАСС ГЕОМОВ
Светлохвойные гидrolитоморфные равнинные (зандровые и аллювиальные) группы геомов
Северотаежные светлохвойные песчаных равнин подгруппы геомов

Казымские светлохвойные северотаежные геомы

Светлохвойные с кедром зеленомошно-лишайниковые северотаежные и переходные в северотаежные возвышенных и увалистых приречных равнин

14. Сосновые с лиственницей, лиственнично-сосновые, сосново-лиственничные лишайниково-зеленомошные, зеленомошно-лишайниковые леса дренированных водоразделов, переходные к северотаежным и северотаежные.
15. Молодые и средневозрастные сосновые с лиственницей, кедром, березой, лиственнично-сосновые лишайниково-зеленомошные, зеленомошно-лишайниковые леса дренированных водоразделов.
16. Смешанные березовые, сосново-березовые, березово-сосновые, сосново-березовые с примесью темнохвойных травяно-зеленомошные водораздельно-склоновые леса, преимущественно устойчиво-производные.
НЕГЕОМНЫЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ
17. Населенные пункты, железные, шоссейные, грунтовые лесовозные дороги, промплощадки, установки буровых.
18. Гари, вырубки, редины, луговые прогалины, аллювиальные и илистые отложения в поймах рек.
19. Необлесившиеся олуговельные старые вырубки и гари на местоположениях сосновых боровых лесов.
20. Реки, озера, протоки сорового типа.

При переходе к региональному обобщению в пределах территории Кондо-Сосьвинского Приобья группы и классы фаций объединялись в геомы по морфоструктурным элементам мезорельефа с учетом его высотных ярусов, характеристик растительности, а также макрорегиональных ландшафтно-географических закономерностей (подзональных, провинциальных). При обработке трех соединенных снимков выделено 42 вида ареалов, соответствующих классам фаций. Однотипные ареалы сгруппированы в 16 геомов подборкой цветовой гаммы (см. рис. 4). Ареалы этих классификационных единиц соответствовали изображению ареала Field на космоснимке в программе Multispec. Особенностью картографирования территории исследования на геомном уровне является дифференциация схожих сосновых лесов: лиственнично-сосновых зеленомошно-лишайниковых северотаежных и переходных в северотаежные леса возвышенных, увалистых равнин и сосновых кустарничково-лишайниковых среднетаежных лесов песчаных террасированных равнин и низких плакорных водоразделов. В качестве топологического начала для дальнейшего регионального обобщения они выделены как Казымские светлохвойные северотаежные и Зауральские светлохвойные среднетаежные геомы.

Использование методики автоматизированной классификации с обучающей выборкой позволило устранить ошибки, возникающие при визуальном дешифрировании космоснимков, и детализировать группы и классы ландшафтных фаций. Так, было исключено смешение открытых евтрофно-мезотрофных травяно-моховых болот с олуговелыми старыми необлесившимися вырубками.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Автоматизированная обработка космических снимков позволяет определить ландшафтную структуру на фаціальном уровне, осуществить синтез фаций в классы и геомы на более высоком иерархическом уровне и рассчитать площади различных типов фаций, антропогенно-нарушенных территорий (вырубок, гарей), соотношение лесных и заболоченных ландшафтов, а также вычислить площади натежного увлажнения в пойменных комплексах, которые существенно меняются в течение весенне-летнего периода. Использование данных методов дает возможность осуществлять мониторинг изменений антропогенной нагрузки на геосистемы, связанной преимущественно с трансформацией их растительного компонента.

На территории Кондо-Сосьвинского Приобья наибольшую площадь (32,89 %) занимают реки, озера, соровые озера и протоки, причем в зависимости от периода весенне-летнего сезона и изменения площадей натежного увлажнения этот показатель может существенно варьировать. На долю олиготрофных грядово-мочажинных, озерково-грядово-мочажинных болот и сосновых кустарничково-сфагновых ярмов приходится 15,86 % территории, доля открытых мезоевтрофных и евтрофных низинных болот здесь значительно меньше по сравнению с южнотаежной подзоной — 2,07 %.

Среди лесных классов фаций преобладают сосновые кустарничково-, зеленомошно- и бруснично-лишайниковые леса дренированных возвышенных водоразделов, а также склоновые темнохвойно-сосновые кустарничково-зеленомошные леса (12,05 % территории); на различные типы смешанных березовых, сосново-березовых, березовых с темнохвоем лесов приходится 10,71 %. Доля восстанавливающихся молодых и средневозрастных лесов составляет 1,7 %, а недифференцированных по возрастной структуре вырубок и гарей преимущественно на местоположениях сосновых лесов — 4,89 %. Доля переходных к северотаежным лесам лиственнично-сосновых и сосново-лиственничных лесов здесь невелика — 0,32 %.

Темнохвойные кедрово-еловые, елово-кедровые, елово-кедровые с сосной и лиственницей мелко- и бруснично-зеленомошные леса занимают 6,29 % площади и распространены преимущественно по плоским суглинистым водоразделам среди олиготрофных, грядово-мочажинных и озерково-грядово-мочажинных болот. Примерно 2,1 % этих лесов находится на этапе восстановления через темнохвойно-березовые стадии, преимущественно после пожаров.

Широко распространены приболотные и приречные комплексы березово-темнохвойных, елово-кедровых, сосново-кедровых, кедрово-еловых долгомошно-сфагновых, кустарничково-багульниково-моховых полузаболоченных лесов и редколесий (5,39 %).

Если в средней тайге на водоразделе рек Конды и Малой Сосьвы преобладают вырубки (2,24 % от всей площади), то в северной (Березовский район) значительные площади заняты горевшими лесами (2,65 %). Довольно высок показатель использования лесной и заболоченной территории под техногенные объекты (промплощадки, установки буровых, амбары), населенные пункты и дороги — 0,84 %.

Анализ площадных соотношений показывает, что наибольшая степень антропогенной нарушенности характерна для сосновых кустарничково-, зеленомошно- и бруснично-лишайниковых лесов дренированных возвышенных водоразделов и водораздельно-склоновых темнохвойно-сосновых кустарничково-зеленомошных лесов. Помимо 12,05 % коренных сосновых лесов, 4,89 % находятся в стадии восстановления после различных антропогенных воздействий. На части вырубок сосновых кустарничково-лишайниковых лесов их восстановление не происходит. В 1965–1970 гг. сформировались олуговелые редины, чему способствовало нарушение технологии отъема древесины с использованием сплошных концентрированных вырубок на больших площадях без оставления достаточного количества семенных куртин. В таких условиях происходило быстрое зарастание гарей вейником, осочкой, кипреем, малиной и формирование дернового горизонта, препятствующего прорастанию семян сосны, хотя такой процесс более выражен в южнотаежных лесорастительных областях.

Заключительный этап классификации — оценка достоверности ее результатов. При использовании некоторых программных пакетов для классов 2–3 можно добиться достоверности в 90–95 %. Удовлетворительными считаются результаты, если правильно определено 75–80 % объектов [19–21].

Для электронной карты Кондо-Сосьвинского Приобья (см. рис. 4) проведена оценка достоверности результатов. В программе Multispec при обработке файла проекта с комплексом обучающих выборок создавался файл вероятности результатов в табличной форме с использованием опции Create Probability Results File [20]. Анализ результатов показал, что по всем снимкам с высокой достоверностью (95–98,5 %) классифицируются населенные пункты, вырубки, гари, водные поверхности озер и проток, различные болотные комплексы, темнохвойные леса. С хорошей достоверностью (85–95 %) классифицируются практически все выделенные классы-ареалы, соответствующие типам лесных ландшафтных фаций. Особенно высокая степень определенности характерна для классов темнохвойных и сосновых лесов (90–98 %). Общая достоверность по всем классам также достаточно хорошая — 88,3 %.

ВЫВОДЫ

1. Ландшафтная карта Кондо-Сосьвинского Приобья в растровом формате позволяет отразить пространственно-временную организацию геосистем этой территории как на топологическом (типологическая структура групп, классов ландшафтных фаций, их пространственно-временные модификации), так и на региональном уровне (геомы).

2. Оперативные растровые ландшафтные карты позволяют контролировать изменения природной среды, интенсивность антропогенных воздействий на определенные типы лесных и болотных ландшафтов, планировать пределы допустимых нагрузок и структуру природоохранных мероприятий, особенно на территории интенсивного хозяйственного освоения с высокой техногенной нагрузкой нефтегазового комплекса, каким является Кондо-Сосьвинское Приобье.

3. Анализ площадных соотношений показывает, что наибольшая степень антропогенной нарушенности в этом регионе характерна для сосновых боровых лесов возвышенных водоразделов и водораздельно-склоновых темнохвойно-сосновых лесов. Почти половина этих лесов находится в стадии восстановления после различных антропогенных воздействий. На части площадей крупных вырубок сосновых боровых лесов их восстановление не происходит и формируются олуговелые редины.

4. Автоматизированная обработка космических снимков позволяет определить и рассчитать площади различных типов фаций, вырубок, гарей, соотношение лесных и заболоченных ландшафтов, а также площади натечного увлажнения в пойменных комплексах, которые существенно меняются в течение весенне-летнего периода.

5. Использование подхода автоматизированной классификации с обучающей выборкой способствует устранению неточностей, возникающих при визуальном дешифрировании космоснимков, и детализации групп и классов ландшафтных фаций по обучающим выборкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьменко Е. И., Смолоногов Е. П. Лесные экосистемы средней и южной тайги Западно-Сибирской равнины (структура и пространственно-временная динамика). — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. — 218 с.
2. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 319 с.

3. **Михеев В. С.** Проблемы обеспечения географического прогноза // *Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири*. — Новосибирск: Наука, 1987. — С. 158–184.
4. **Kuzmenko E. I.** Ecologo-geographic lower zoning of boreal forest territories // *Advances in environmental research*. — New York: Nova, 2014. — Vol. 36. — P. 169–177.
5. **Михеев В. С., Ряшин В. А., Богоявленская Н. Г., Ветрова С. Д., Дмитриенко Л. С., Житлухина Т. И., Космакова О. П., Кротова В. М., Смирнова Д. А.** Ландшафты юга Восточной Сибири. Карта м-ба 1:1 500 000. — М.: ГУГК, 1977. — 4 л.
6. **Фролов А. А.** Геоинформационное картографирование изменчивости ландшафтов (на примере Южного Прибайкалья) // *География и природ. ресурсы*. — 2015. — № 1. — С. 156–166.
7. **Солодянкина С. В., Черкашин А. К.** Геоинформационный анализ и моделирование геосистемных функций накопления углеродного запаса горно-таежными лесами Прибайкалья в изменяющейся природной среде // *Вестн. Новосиб. ун-та. Сер. Информ. технологии*. — 2011. — Т. 9, № 1. — С. 44–55.
8. **Кузьменко Е. И.** Картографирование лесных экосистем // *Ландшафтно-интерпретационное картографирование*. — Новосибирск: Наука, 2005. — С. 238–243.
9. **Данилова И. В.** Методика составления карт лесных территорий на основе данных космической съемки (на примере Красноярского края) // *География и природ. ресурсы*. — 2007. — № 4. — С. 140–145.
10. **Хамедов В. А., Копылов В. Н., Полищук Ю. М., Сугаипова А. Н., Шимов С. В.** Создание карты лесов Ханты-Мансийского округа на основе космических снимков среднего разрешения // *Материалы VI Всерос. открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, 10–14 нояб. 2008 г.)*. — М.: Изд-во Ин-та космических исследований РАН, 2008. — С. 138–142.
11. **Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S. V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J. R. G.** High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // *Science*. — 2013. — N 342. — P. 850–853.
12. **Landgrebe D., Biehl L.** An Introduction and Reference for MultiSpec. Version 9.2011. — West Lafayette: Purdue University, 2011. — 189 p.
13. **Quantum GIS.** Версия 1.7.0. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. — <http://www.qgis.org/en/documentation/manuals.html> (дата обращения 05.12.2014).
14. **Чандра А. М., Гош С. К.** Дистанционное зондирование и географические информационные системы. — М.: Техносфера, 2008. — 312 с.
15. **Книжников Ю. Ф.** Аэрокосмические методы географических исследований. — М.: Изд. центр «Академия», 2011. — 416 с.
16. **Природные режимы средней тайги Западной Сибири** / Ред. В. С. Михеев. — Новосибирск: Наука, 1977. — 301 с.
17. **Растительность Западно-Сибирской равнины.** Карта м-ба 1:1 500 000 / Под ред. И. С. Ильиной. — М.: ГУГК, 1976. — 4 л.
18. **Кузьменко Е. И., Михеев В. С.** Эколого-географические и картографические основы комплексного изучения лесов Сибири. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 205 с.
19. **Лабутина И. А., Балдина Е. А.** Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. — М.: Изд-во Фонда дикой природы России, 2011. — 88 с.
20. **Тутубалина О. В.** Компьютерный практикум по курсу «Космические методы исследования почв»: Учеб. пособие. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. — 112 с.
21. **Интернет-семинары** по программе MultiSpec / Сост. Ю. Ф. Книжникова, О. В. Тутубалина, Е. Р. Чалова, Е. А. Балдина [Электронный ресурс]. — <http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/cont.htm> (дата обращения 05.12.2014).

Поступила в редакцию 8 апреля 2015 г.