

УДК 630*182.3:528.9

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ТИПОВ ЛЕСА ПО ПРИУРОЧЕННОСТИ К РЕЛЬЕФУ МЕСТНОСТИ

С. К. Фарбер¹, Ш. Максютгов²

¹ Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

² Национальный институт исследований окружающей среды
Япония, 305-8506, Ибараки, Цзуба, Оногава, 16-2

E-mail: sfarber@ksc.krasn.ru, shamil@nies.go.jp.

Поступила в редакцию 03.03.2017 г.

Обсуждаются принципы формирования лесной типологической классификации и перспективные направления развития, позволяющие решать задачи не только инвентаризации и организации лесного хозяйства, но и картографирования типов леса. Анализ проведен посредством интерпретации понятия «природная закономерность», предложенного Д. Л. Армандом (1975). Показано, что если левая часть закономерности будет представлять собой набор показателей лесорастительных условий, то структура лесных типологических построений будет учитывать не только таксационные показатели насаждений, но и их местоположение, происхождение и направление сукцессии. Для относительно сходных климатических условий показатели рельефа местности в основном лимитируют внешнюю среду формирования растительного покрова. Методика картографирования предусматривает учет лесорастительных условий и показателей насаждений типов леса. Апробация проведена на примере тестового Осевого Западносибирского лесорастительного округа, расположенного в горах Южной Сибири. Сопряженность с показателями рельефа выявляется посредством анализа литературных источников и характеристик типов леса, сопровождающих диагностическую таблицу (Смагин и др., 1980). Работа выполнена в среде ГИС с использованием ЦМР SRTM и космических снимков Landsat. Для индексации местоположений приняты входы: абсолютные высоты (градация 100 м), плоские местоположения, уклоны до 20° и более, склоны северной и южной экспозиции. Классификация пикселей космических снимков проведена по методу неконтролируемой классификации отдельно для каждого снимка, высотного пояса и местоположения, что позволяет повысить качество дешифрирования, поскольку типы леса приурочены к формам рельефа. Однако полностью исключить ошибки не удается. Основные причины – неточность данных ЦМР и попадание в один класс спектральной яркости разнородных объектов дешифрирования. Легенда карты включает основные характеристики рельефа, описание типов леса, а также почвенно-грунтовые условия и лесотаксационные показатели.

Ключевые слова: типы леса, лесотаксационные показатели, рельеф местности, картографирование, классификация пикселей космических снимков.

DOI: 10.15372/SJFS20180204

ВВЕДЕНИЕ

При наличии в таксонах лесотипологической классификации естественноисторических закономерностей можно признать, что изучение лесов следует выполнять на типологической основе. Мы не видим в такой постановке вопроса логических противоречий и принимаем первичность идеологии типологии лесов (Фарбер,

Кузьмик, 2013), теоретические и принятые нормативные положения лесоустройства, лесного хозяйства и лесопользования, поэтому должны следовать учению о типах леса, которое в таком контексте принимает основополагающий приоритетный характер.

Постулат Г. Ф. Морозова (1970) о взаимосвязи характеристик насаждения с условиями местопроизрастания можно интерпретировать

как природную закономерность. По мнению Д. Л. Арманда (1975), природная закономерность есть следствие существования некоторого комплекса предварительных условий. Если совместно реализуются условия *A, B, C* и т. д. (левая часть записи закономерности), то возникает ситуация, при которой неизбежно произойдет *M* (правая часть записи закономерности). При лесотипологических построениях условия *A, B, C* и т. д. по смыслу – входы в классификацию, а *M* – типы леса. Обозначения в левой и правой частях записи закономерности могут иметь различную терминологическую нагрузку. Использование тех или иных входов прямо определяет структуру типологической схемы, никак не меняя общего методического плана ее формирования. В этом заключено как различие, так и сходство всех существующих лесных типологий.

Цель настоящей работы – в программной среде ГИС разработать методику картографирования типов леса, логически вытекающую из представления о природной закономерности Д. Л. Арманда (1975).

ТЕРРИТОРИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Однородность лесорастительных условий и сходство форм рельефа содержатся в иерархических таксонах различных видов природного районирования – геоботанического, почвенно-географического, геоморфологического и т. д. Поскольку объектом наших исследований являются лесные сообщества, то и районирование должно быть лесное. При этом территория, в пределах которой будут наблюдаться однотипные направления лесообразовательного процесса, отождествляется с определенным таксоном лесорастительного районирования. Выбор иерархической ступени районирования зависит от заданного уровня генерализации. Картографирование типов леса отвечает низшей ступени лесорастительного районирования, в качестве которой обычно фигурирует лесорастительный округ.

Лесорастительное районирование И. А. Короткова (1994), равно как и список лесорастительных зон и лесных районов, принятый к использованию Приказом МПР России от 28 марта 2007 г. № 68 (2007), не сопровождается подробным описанием типов леса. Значительно более информативно лесорастительное районирование гор Южной Сибири, которое сведено в обобщающую монографию «Типы лесов гор Южной Сибири» (Смагин и др., 1980).

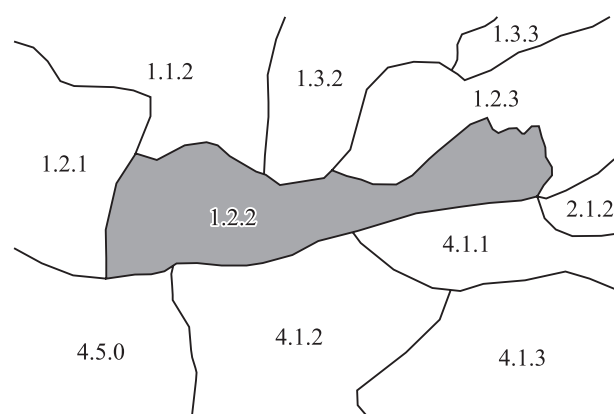


Рис. 1. Осевой Западносибирский лесорастительный округ горно-таежных лесов. Индексация лесорастительных округов соответствует приведенной в работе (Смагин и др., 1980).

Тестовый Осевой Западносибирский округ горно-таежных лесов расположен в горах Южной Сибири (рис. 1). Граница восточной части округа скорректирована (совмещена с р. Енисей). В пределах отрезанной территории лесное разнообразие тяготеет к граничащим с востока смежным лесорастительным округам. Изменение границы продиктовано стремлением повысить лесотипологическую однородность тестового округа.

МЕТОДЫ

Инструментарий ГИС позволяет на основе цифровых моделей рельефа (ЦМР) выполнять пространственный анализ показателей рельефа и по космическим снимкам дешифрировать растительный покров. Пусть в левой части записи закономерности фигурируют показатели рельефа, а в правой – таксационные показатели насаждений. При таком структурном варианте типизации лесов левая запись закономерности представляет собой страты местоположений с однородными лесорастительными условиями, правая – типы леса. При этом насаждения лесотаксационных выделов, относящиеся к одной страте, будут различаться по происхождению, породному составу древостоя и возрасту. Именно такая структура лесных типологических построений учитывает не только статические (на момент времени) характеристики насаждений, но и их географию (таксоны лесорастительного районирования), местоположение, происхождение и динамику. Соответствие одной страте различным сочетаниям в составе древесных пород смыкается с представлением о развитии лесных

экосистем в виде последовательных циклов сукцессии. Каждый следующий цикл может повторять прежний или протекать с включением фазы «смена пород». Реализуется также вариант смены на качественно иной цикл сукцессии. Результаты типизации и совокупность таксационных описаний насаждений далее интерпретируются в рамках лесообразовательного процесса в направлении решения разнообразных научно-производственных задач инвентаризации, лесного хозяйства и лесопользования (Фарбер, 2000).

Для относительно сходных климатических условий показатели рельефа местности лимитируют внешнюю среду формирования растительного покрова. Отсюда следует, что методика картографирования типов леса должна учитывать, с одной стороны, условия произрастания (типизируются посредством обработки ЦМР), с другой – таксационные показатели насаждений. Последовательность выполнения этапов методики:

- определиться с границами территории, в пределах которой рельеф однороден и относительно постоянны климатические показатели (подобрать систему районирования);

- установить основные направления лесных сукцессий;

- выявить сопряженность лесорастительных условий с типами леса (коренными насаждениями);

- провести контурное дешифрирование полигонов, в пределах которых лесорастительные условия однородны (стратифицировать местоположения);

- классифицировать пиксели космических снимков в пределах групп гипсометрических уровней и местоположений;

- разработать легенду карты типов леса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основные направления лесных сукцессий. Классификационная схема сукцессий, которой мы отдаем предпочтение, разработана А. З. Швиденко в ходе выполнения Международного проекта «Лесные ресурсы, проблемы окружающей природной среды и социально-экономического развития Сибири» в 1995–1997 гг. Схема весьма подробна. В ней учтены все важнейшие положения, требуемые для характеристики сукцессий: происхождение, география, последовательность смен экосистем и возрастные изменения (Фарбер, 2000). Осевой Западно-Саянский лесорастительный округ представлен

горно-таежными лесами, подгольцовыми и субальпийскими редколесьями.

Пояс горно-таежных лесов. При ценогенных сукцессиях возрастные смены происходят за счет появления под пологом леса последующих поколений древесных растений. До распада основного полога младшие поколения произрастают как подчиненная часть древостоя. Ценогенные сукцессии в кедровых насаждениях могут включать пихтовую фазу (Судачкова и др., 1967 и др.). Выпадение перестойных деревьев и формирование нового поколения происходят параллельно. Подрост под пологом леса в ходе ценогенных сукцессий образуется непрерывно. Большая его часть засыхает, но самый жизнеспособный, попавший в благоприятные условия и в фазу перестойного материнского древостоя, в итоге образует второй ярус. В кедряках преобладает кедровый подрост с примесью пихты. К последней фазе сукцессии пихта из состава уходит в отпад.

Горимость горных лесов в целом ниже, чем равнинных, но отрицательные последствия выражены сильнее. Даже беглый огонь приводит к изреживанию древостоев. Вероятность образования гари в горах при равной интенсивности горения выше, чем на равнине.

Н. П. Поликарпов (1966), изучая строение и развитие кедровых древостоев в горах Сибири, пришел к выводу, что их основная масса имеет пирогенное происхождение. Восстановление обычно идет через фазу лиственного древостоя. Преобладание кедра в составе послепожарного древостоя наступает к 100–120-летнему возрасту после распада лиственной части полога древостоя.

Ряд послепожарного лесовосстановления выглядит следующим образом: елово-кедрово-пихтовая тайга → кипрейные заросли → кипрейно-вейниковые луга → послепожарные березовые леса → смешанные двухъярусные елово-пихтово-березовые леса → восстановленная елово-кедрово-пихтовая тайга с примесью березы. Более пологие склоны обогащаются зольными элементами и восстанавливаются лесом. Крутые склоны подвержены эрозии, в результате которой смывается почва и обнажается материнская порода. Восстановление лесов в таких местах задерживается на неопределенно долгое время (Зверева, 1971).

Пояс подгольцовых и субальпийских редколесий. Развитие и смена лесов подгольцово-субальпийского пояса определяются дерновым процессом, оторфовыванием и отундрованием

почв. В последние тысячелетия после климатического оптимума с похолоданием и увеличением влажности климата семенное возобновление пихты у верхней границы ее распространения почти прекратилось. В составе древостоя начал преобладать кедр. Процессы дернования, оторфовывания и отундрования почв протекают одновременно, обуславливая подвижное равновесие между субальпийскими и подгольцовыми редколесьями (Власенко, 1990). По данным П. М. Ермоленко, Л. Г. Ермоленко (1981), причинами угнетенного состояния кедра и пихты в подгольцовом поясе являются неблагоприятные температурные условия и короткий вегетационный период.

Сопряженность типов леса с показателями рельефа. Типологическая структура лесов непосредственно привязана к рельефу. Сопряженность выявляется посредством анализа литературных источников и характеристик типов леса, сопровождающих диагностическую таблицу (местонахождение, почва, породный состав, бонитет, полнота, подрост, подлесок, травяно-кустарничковый ярус, напочвенный покров). К сожалению, диагностические таблицы отличаются нечеткостью формулировок местоположений и почвенно-грунтовых условий, что влечет неоднозначность их интерпретации по отношению как к показателям лесорастительных условий, так и к конкретному типу леса (табл. 1).

Контурное дешифрирование. Программные средства ГИС позволяют выделять полигоны, классифицированные по крутизне склонов, экспозиции. Предварительно задавая границы показателей рельефа, можно получить полигоны, относящиеся к группам абсолютных высот, уклонов и экспозиций. Результаты обработки ЦМР – страты местоположений, которые далее отождествляются с типами лесорастительных условий. Минимальная площадь полигона – величина предварительно задаваемая, напрямую зависящая от масштаба картографирования. Для индексации местоположений приняты входы:

- абсолютные высоты (градация 100 м с образованием девяти высотных поясов);
- плоские местоположения с уклонами до 3° (поймы водотоков и водоразделы);
- склоны средней крутизны с уклонами до 20°;
- крутые склоны с уклонами более 20°;
- склоны северной экспозиции до 90° и от 270° до 360°;
- склоны южной экспозиции от 90° до 270°.

В качестве ориентира для градации входов использована производительность древостоев. Переход к каждой следующей страте местоположений соответствует изменению производительности, не превышающей одного класса бонитета.

Таблица 1. Сопряженность типов леса Осеего Западносаянского округа с показателями рельефа (фрагмент)

Абсолютные высоты, м	Плоский, 0°–3°		Склоны			
	Поймы	Водоразделы	северные		южные	
			3.1°–20.0°	≥ 20.1°	3.1°–20.0°	≥ 20.1°
До 900	Е хв.-в.-зм. К(Е, П) хв.-бр.-зм. Л ос.-бр.-зм. К баг.-бр.-зм.	–	К(Е, П) хв.-бр.-зм. К ч. Л ос.-бр.-зм.	К бад. К бад.-ч. К ос.-бр.-мш.	К ч. Л ос.-бр.-зм. К(Е, П) хв.-бр.-зм.	К бад. К бад.-ч. Л ос.-бр.-зм.
901–1000	К(Е, П) хв.-бр.-зм. Л ос.-бр.-зм. К баг.-бр.-зм.	–	К ч. Л ос.-бр.-зм. К бр.-зм. К баг.-бр.-зм. К баг.-сф.	К бад. К бад.-ч. К ос.-бр.-мш. К в.-зм.	К ч. К бр.-зм. Л ос.-бр.-зм.	К бад. К бад.-ч. К(Е, П) в.-зм.
1001–1100	К баг.-сф. К бр.-зм.	К ч.	К ч. К бр.-зм. К баг.-сф. К баг.-бр.-зм.	К бад. К бад.-ч. К ос.-бр.-мш. К в.-зм.	К ч. К бр.-зм. К(Е, П) в.-зм.	К бад. К бад.-ч. К в.-зм. К сп.-в.-зм.
1101–1200	К баг.-сф. К бр.-зм.	К ч.	К ч. К бр.-зм. К баг.-сф. К баг.-бр.-зм.	К бад. К бад.-ч. К зм.кам. К в.-зм.	К ч. К бр.-зм. К(Е, П) в.-зм.	К бад. К бад.-ч. К в.-зм. К сп.-в.-зм.

Примечание. Развернутые названия типов леса даны в диагностической таблице Осеего Западносаянского лесорастительного округа (Смагин и др., 1980).

Индексация местоположений. В качестве индексов высотных поясов, экспозиций уклонов местности использованы порядковые числа. Первому высотному поясу отвечают высоты до 900 м, второму – от 901 до 1000 м и т. д. Девятый пояс занимает высоты более 1601 м. Северные склоны обозначены индексом 1, южные – 2. Уклоны до 3° обозначены индексом 1, до 20° – 2, более 20° – 3. Две градации экспозиции и три градации уклонов образуют шесть типов местоположения (табл. 2).

Поставим впереди индекс высотного пояса, далее следует индекс из табл. 2. Такая форма записи позволяет отразить полный индекс местоположения. Например, выражение 2-12 отвечает абсолютным высотам от 901 до 1000 м, склонам северной экспозиции крутизной от 3° до 20°.

Доступные в интернете ЦМР – это SRTM с размером ячейки в 3 угловые секунды (SRTM3). Тестовый округ расположен в пределах двух трапеций SRTM 54-02 и 55-02. Последовательность обработки ЦМР SRTM:

- растры ЦМР обрезаны по контуру тестового округа и слиты в мозаику (рис. 2);
- получены векторные слои высотных поясов, уклонов и экспозиций;
- количество полигонов уклонов и экспозиций сокращено (принята минимальная площадь полигона 50 га);
- произведено слияние слоев уклонов и экспозиций (инструмент *пересечение*) (рис. 3);
- получены общие полигоны для каждого высотного пояса (рис. 4).

Таблица 2. Индексы местоположения по экспозициям и уклонам

Экспозиция	Уклон		
	1 (до 3°)	2 (от 3° до 20°)	3 (более 20°)
1 – северная	11	12	13
2 – южная	21	22	23

Классификация пикселей космических снимков. Обобщая выводы других авторов, Е. А. Вершовский (2010) констатирует, что использование алгоритмов контролируемой классификации не дает качественного преимущества в сравнении с неконтролируемой. И если нет существенных различий в ошибках результатов, то предпочтение следует отдать более простому методу, т. е. неконтролируемой классификации.

Тестовый округ расположен в пределах снимков Landsat:

LC81420232015175LGN00,
LC81420242015255LGN00,
LC81430232015230LGN00,
LC81440242013247LGN00,
LC81430242015230LGN00.

Композитное изображение создано посредством комбинации каналов 5-4-3 для Landsat 8. Считается, что такое их сочетание обладает наилучшей информативностью для задач дифференциации растительного покрова (Как создать композит..., 2017). Слияние каналов осуществлено по алгоритму ESRI. За счет добавления панхроматического канала съемки простран-

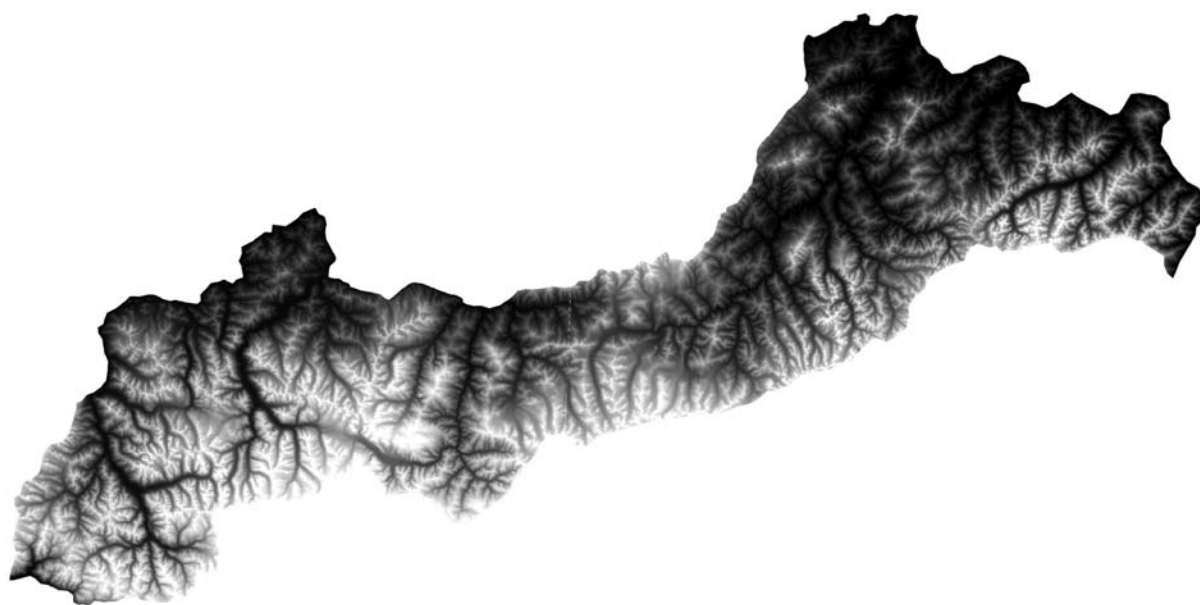


Рис. 2. Мозаика SRTM 54-02 и 55-02, обрезанная по контуру тестового округа.

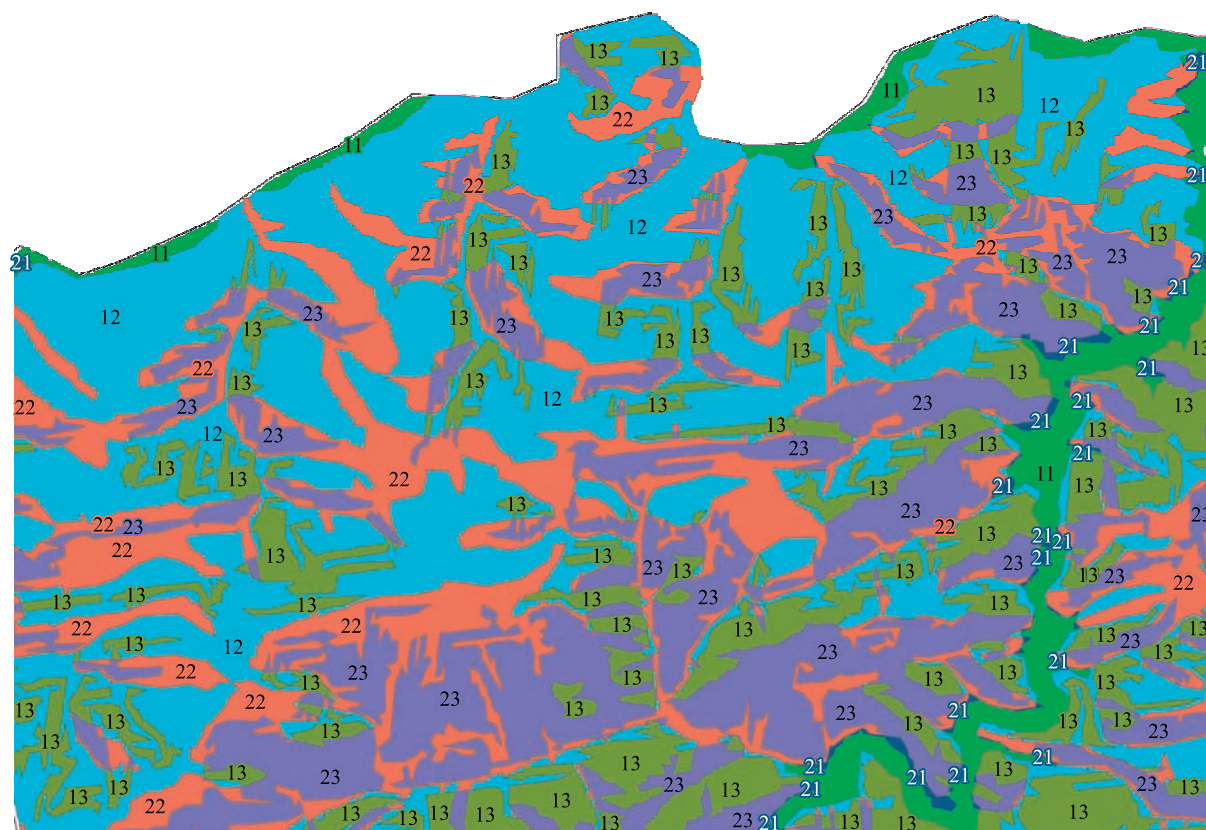


Рис. 3. Результат слияния слоев уклонов и экспозиций и их индексация (фрагмент).

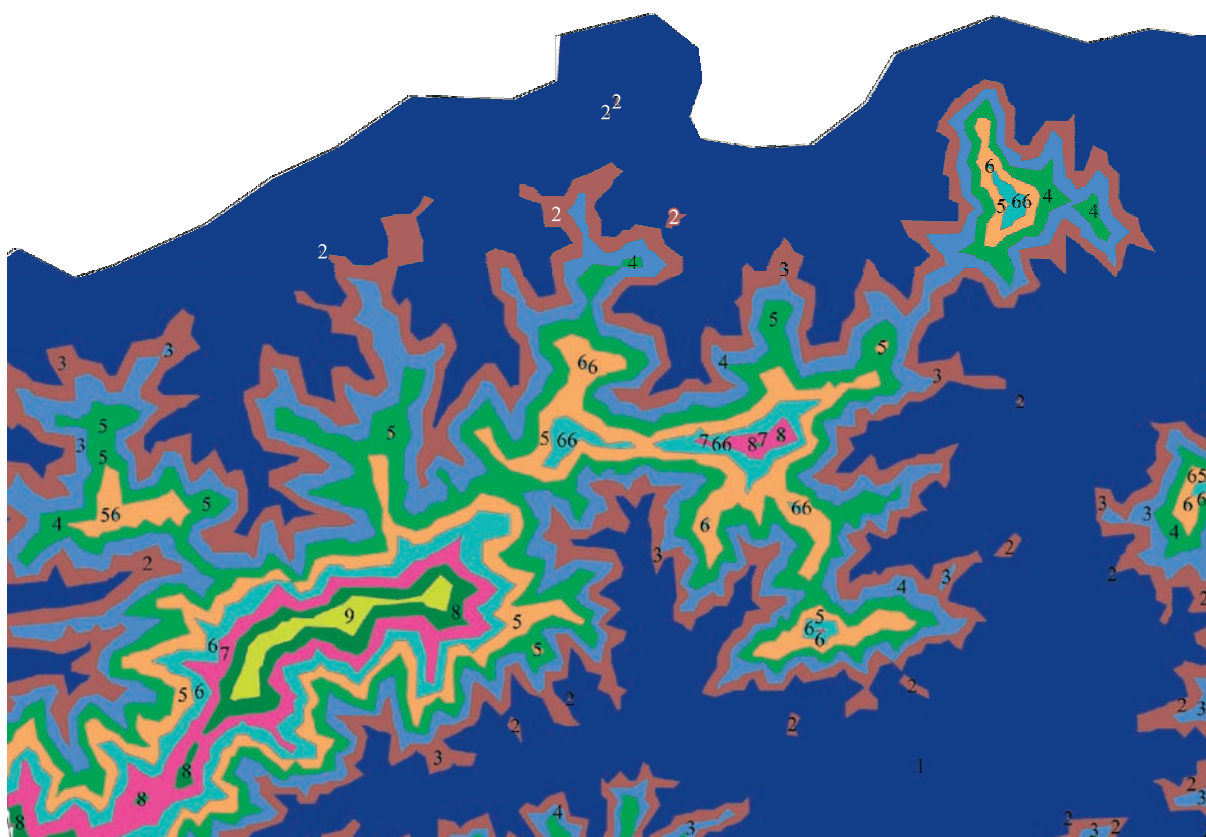


Рис. 4. Полигоны высотных поясов и их индексация (фрагмент).



Рис. 5. Классы пикселей, окрашенные в разные цвета, в местоположении 5-22 на спутниковом снимке Landsat 8 (фрагмент).

ственное разрешение композитного снимка доведено до 15 м.

Последовательность обработки снимков:

- обрезание снимков по контуру тестового округа;
- вырезание из снимков полигонов рек, озер по контурам их векторных слоев (альтернативный вариант – их помещение поверх слоя типов лесов);
- фрагментация высотных поясов на снимках по контурам их векторных слоев;
- вырезание местоположений в каждом высотном поясе;
- классификация пикселей изображения отдельно для каждого снимка, высотного пояса и местоположения;
- конвертация растров классов пикселей в векторные слои отдельно для каждого снимка, высотного пояса и местоположения (рис. 5).

Классификация пикселей снимков в пределах местоположений и использование масок категорий земель, таких как воды, сельскохозяйственное пользование и т. д., позволяет значительно сократить количество грубых ошибок дешифрирования. Однако полностью исключить ошибки не удастся. Основные причины – неточность ЦМР и попадание в один класс спектральной яркости разнородных объектов дешифрирования.

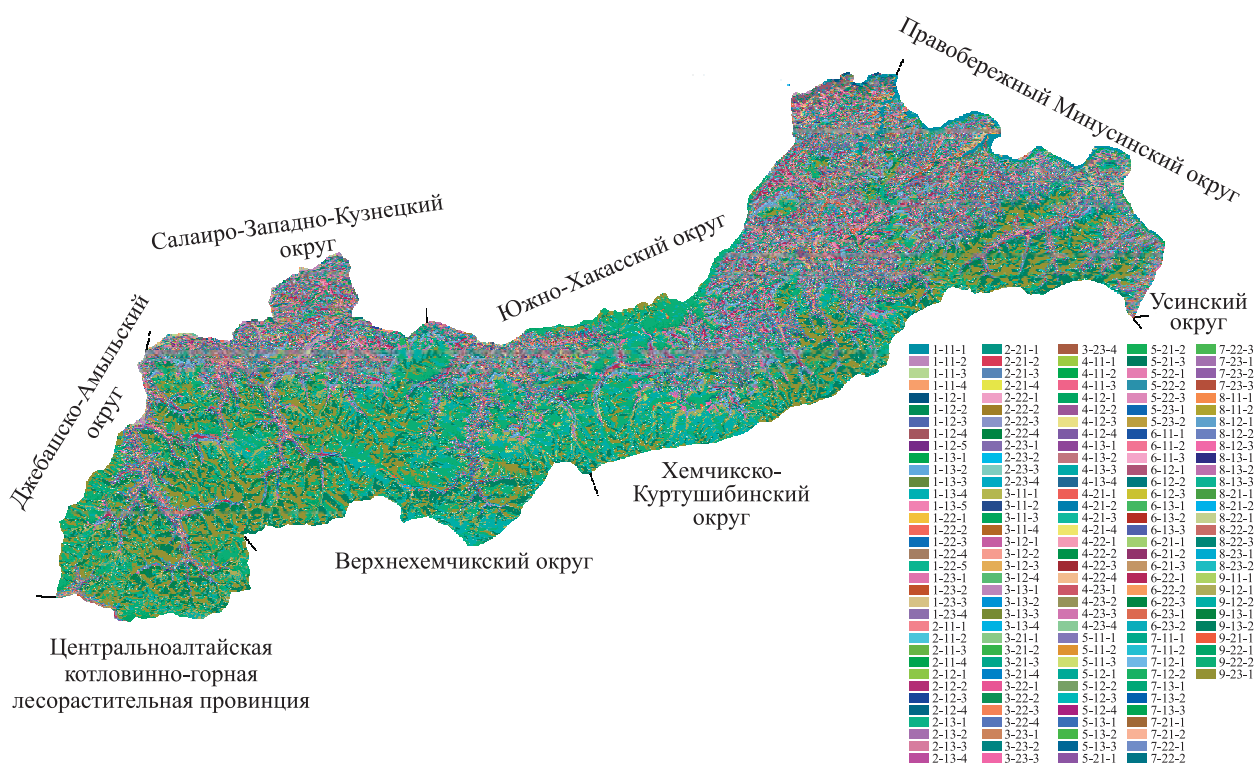


Рис. 6. Карта-схема типов леса Осеево Западносаянского лесорастительного округа.

Легенда карты. Типы леса распределяются по местоположениям. Для описания спелых и перестойных насаждений в основном сохранены таксационные показатели из диагностических таблиц типов леса. Одному местоположению зачастую соответствует несколько типов. Кроме того, для каждого местоположения наблюдается набор состояний растительного покрова от начального до конечного состояния сукцессии.

На снимках Landsat по местоположениям сохраняются характерные гаммы цветов у категорий земель, преобладающих и сопутствующих групп пород деревьев, что позволяет в легенде карты отразить основные фазы сукцессии:

- погибшее насаждение (гарь, вырубка);
- производное лиственное насаждение;
- смешанное лиственно-хвойное или хвойно-лиственное;

– спелые и перестойные насаждения заключительной фазы сукцессии, по возможности с подразделением на группы полноты.

Кустарники, молодняки, а также не покрытые лесом земли (дороги, сенокосы и др.) перемешаны с погибшими насаждениями. Каждый

класс пикселей отождествлялся с набором типов леса (реже – с определенным типом леса). Классы пикселей, отвечающие одному набору типов леса, далее объединялись. Таксационные показатели насаждений взяты из таблицы типов леса (Смагин и др., 1980) или оценены в экспертном порядке.

Таким образом, легенда карты включает характеристику рельефа, описание типов леса, почвенно-грунтовые условия, лесотаксационные показатели, направления лесообразовательного процесса (сукцессии). Показатели легенды имеют индикационные номера, по которым определяется тип леса в пространстве карты (рис. 6, табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постановка задачи картографирования типов леса отличается неопределенностью, которая появляется вследствие двух разнородных групп причин:

- природных (естественноисторических);
- технических (порядок манипуляций с ЦМР и снимками).

Таблица 3. Легенда к карте-схеме типов леса Осевого Западносибирского округа (фрагмент)

Местоположение		Тип леса	Индекс изображения, основные таксационные показатели, встречаемость				
Индекс	Лесорастительные условия		1	2	3	4	5
1–12	800–1000 м. Вогнутые подножия придолинных склонов. Перегнойно-таежная среднесуглинистая оторфованная	Кедровник с елью и пихтой хвощово-бруснично-зеленомошный (К(Е, П)хв.-бр.-зм.)	6К3Е1П; III; 80 %	3К1Е1П5Б; III; 5 %	3К1Е1П5Б; III; 5 %	8Б2К+Е, П; III; 10 %	–
	800–1400 м. Выположенные участки верхних частей склонов. Подзолистая среднесуглинистая щебнистая	Кедровник черничный (К.ч.)	–	10К+Е, П; IV–III; 90 %	6К4Б+Е, П; IV–III; 5 %	8Б2К+Е, П; IV–III; 5 %	Лиственные молодняки, кустарники
	800–900 м. Придолинные нижние и средние части склонов. Торфянисто-перегнойная слабооподзоленная, длительно-сезонно-мерзлотная	Лиственничник с елью осоково-бруснично-зеленомошный (Л.ос.-бр.-зм.)	–	–	I яр.8Л2Е+К; II яр.7Е2Л1К; IV–III; 90 %	5Л1К4Б+Е, П; III; 10 %	

Группа причин природных – это различия понятия тип леса, неоднозначность терминологии и пространственных привязок ареалов распространения. Методика картографирования типов леса, представленная в настоящей работе, базируется на таксонах классификации В. Н. Сукачева (1972). При этом учтены основные фазы сукцессий: не покрытые лесом площади (начальное состояние), спелые и перестойные насаждения коренных пород (конечное состояние) и промежуточные фазы – насаждения лиственных и смешанных хвойно-лиственных пород.

Группа причин технических – это многовариантность возможных направлений обработки исходных данных ЦМР и космических снимков. Так, последовательность манипуляции с данными ЦМР SRTM, реализованная в настоящей работе, – не единственный вариант структуризации рельефа местности. Количество подразделений высот, уклонов и направлений склонов также не находит четких обоснований и основано на субъективном восприятии разработчиков. Это относится и к процедуре классификации снимков. Результаты как контролируемой, так и неконтролируемой классификации должны совпадать. Классам неконтролируемой классификации присваиваются в виде атрибутов индексы соответствующих типов леса; операция простая, приводящая к искомому результату картографирования. Важно, что получаемый результат неизменен. В случае же контролируемой классификации каждое последующее действие может изменять предыдущие результаты картографирования.

Дешифрирование лесных земель методом классификации спектральных яркостей пикселей спутникового снимка сопровождается недопустимыми погрешностями в наименованиях категорий земель, лесных формаций и преобладающих пород древостоя (Фарбер и др., 2016). Поэтому вне зависимости от метода дешифрирования картографирование типов леса без предварительной структуризации территории будет сопровождаться ошибками. Включение же в процесс дешифрирования пространственного анализа ЦМР позволяет повысить качество результатов, при этом классификация пикселей космического снимка должна производиться отдельно для каждого местоположения.

Карта-схема (см. рис. 6) является иллюстрацией пространственного распределения типов леса. Информационное содержание диагности-

ческой таблицы трансформируется в легенду карты. По мере появления новых данных описание типов леса может уточняться. В интерактивном режиме процесса картографирования новые данные могут вноситься в легенду. Точность отображения типов леса на карте соответствует точности составления диагностических таблиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 14-05000-88.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арманд Д. Л. Наука о ландшафте. М.: Мысль, 1975. 288 с.
- Вершовский Е. А. Разработка методов и алгоритмов кластеризации мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Таганрог: Южн. фед. ун-т, 2010. 17 с.
- Власенко В. И. Крупномасштабное картирование растительности Саяно-Шушенского биосферного заповедника // Заповедники СССР – их настоящее и будущее: тез. докл. Всесоюз. конф. Ч. 2. Новгород: Новгородск. гос. пед. ин-т, 1990. С. 26–29.
- Ермоленко П. М., Ермоленко Л. Г. Высотно-поясные особенности роста кедра и пихты в Западном Саяне // Формирование и продуктивность древостоев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. С. 19–53.
- Зверева Г. А. Дигрессивные явления и восстановительные смены в естественной растительности Восточного Саяна и Минусинской котловины // Растительность правобережья Енисея: южная часть Красноярского края (сб. статей) / Отв. ред. А. В. Куминова. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. С. 172–192.
- Как создать композит космоснимков Landsat в ArcGIS. Лаборатория АгроГИС-технологий. Консультации по ГИС. Калуга, 2017.
- Коротков И. А. Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В. А. Алексеева и Р. А. Бердси. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. С. 29–47.
- Морозов Г. Ф. Избранные труды. Т. 1. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 559 с.
- Поликарпов Н. П. Горные кедровые леса Сибири и научные основы лесоводственных мероприятий в них. Красноярск: Красноярск. кн. изд-во, 1966. 34 с.
- Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 28 марта 2007 г. № 68 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации». Зарегистрирован Минюстом России 3 мая 2007 г. Рег. № 9400. М.: Мин-во природн. ресурсов РФ, 2007.
- Смагин В. Н., Ильинская С. А., Назимова Д. И., Новосельцева И. Ф., Черединова Ю. С. Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 336 с.

- Судачкова Н. Е., Расторгуева Е. Я., Коловский Р. А. Физиология подростка кедра. М.: Наука, 1967. 124 с.
- Сукачев В. Н. Избранные труды в трех томах / Под ред. Е. М. Лавренко. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1972. 419 с.
- Фарбер С. К. Формирование древостоев Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 432 с.
- Фарбер С. К., Кузьмик Н. С. Лесная типология: теория и перспективы использования в лесах Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. XXXI. № 1–2. С. 143–149.
- Фарбер С. К., Кузьмик Н. С., Брюханов Н. В. Погрешности дешифрирования лесов Приангарья методом классификации пикселей спутникового снимка // Сиб. лесн. журн. 2016. № 4. С. 56–67.

MAPPING OF FOREST TYPES CONFINED TO THE LAY OF LAND

S. K. Farber¹, Sh. Sh. Maksyutov²

¹ Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

² National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki, 305-8506 Japan

E-mail: sfarber@ksc.krasn.ru, shamil@nies.go.jp

The principles for the formation of forest typological classification and outlines promising areas for development, allowing to solve problems of not only inventory and forest management, but also mapping forest types are discussed in the paper. The analysis is performed by interpreting the concept of «natural regularity» proposed by D. L. Armand (1975). It is shown when the left side of the pattern is a set of indicators of site condition, structure of forest typological constructions will take into account not only the static indicators of the stands, but also their location, the origin and direction of the succession. For relatively similar climatic conditions, the indicators of the lay of land mainly limit the environment of formation of vegetation cover. The method of mapping forest types provides for consideration of site condition and indicators of stands of forest types. Testing is conducted on a test axis West-Sayan forest district, located in the mountains of southern Siberia. Conjugation types of forests, indicators of the topography revealed through the analysis of literary sources and characteristics of forest types accompanying diagnostic table (Smagin et al., 1980). The work is done in a GIS environment using DEM SRTM and Landsat space images. For indexing locations, the inputs are accepted: altitude (gradation 100 m), flat location, slope up to 20° and 20° slopes with northern and southern exposure. Classification of pixels of satellite images is conducted by the method of unsupervised classification separately for each scene, the high-altitude zone and location, which allows increase of the quality of interpretation, because the types of forests are confined to the topography. However completely avoiding mistakes is not possible. The main reasons are an inaccuracy of the DEM and the hit in one class of spectral brightness of different objects of interpretation. The map legend includes characteristics of the terrain, description of the types of forests, including soil and groundwater conditions, and forest inventory parameters.

Keywords: forest types, forest inventory parameters, relief, mapping, classification of pixels of satellite scenes.

How to cite: Farber S. K., Maksyutov Sh. Sh. Mapping of forest types confined to the lay of land // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 2. P. 38–47 (in Russian with English abstract).