Оценка точности и сопоставимости тематических карт лесного покрова разного пространственного разрешения на примере Среднего Поволжья

Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова

*Поволжский государственный технологический университет
Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов
Йошкар-Ола, 424000, Россия
E-mail: kurbanovea@volgatech.net*

На примере лесного покрова Среднего Поволжья приведена методика оценки точности классификации и сопоставимости тематических карт, полученных по разновременным спутниковым снимкам среднего и высокого пространственных разрешений. Для валидации полученных тематических карт Landsat для 2001 и 2014 гг. были использованы наборы независимых данных полевых исследований, лесоустроительных планов насаждений, а также существующие карты глобального и регионального уровня наземного покрова. Для оценки сопоставимости карт разного пространственного разрешения в среде ArcMap был разработан специальный программный модуль Comparer_CSFM&RS_1.0, позволяющий сравнивать их с помощью алгоритмов «плавающего окна» и «чистых пикселей». На тематических картах максимально различается класс «деревья», точность пользователя (UA) которого достигает 91,9% при обычном алгоритме «плавающего окна» и 98,9% для алгоритма «чистых пикселей». Наибольшее расхождение в площади наземного покрова сравниваемых карт MODIS и Landsat приходится на класс «кустарник». Результаты исследования показывают, что комбинирование спутниковых снимков MODIS и Landsat может быть успешно использовано для картирования лесного покрова и мониторинга его динамики на региональном уровне.

Ключевые слова: дистанционное зондирование земли, Landsat, классификация изображений, лесные насаждения, оценка точности классификации, Среднее Поволжье

*Одобрена к печати: 21.12.2015
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-36-48*

Введение

Вопросы приведения к единообразию и автоматизации дешифрирования лесного покрова России на основе данных дистанционного зондирования приобретают все большее значение в связи с ростом числа используемых для этого российских и зарубежных спутников. Наличие большого количества существующих карт растительного покрова разного пространственного разрешения требует разработки алгоритмов оценки их сопоставимости и точности, что может способствовать повышению эффективности лесоустроительных работ.

В течение последних трех десятилетий произошло существенное увеличение числа космических спутников и программных средств, обеспечивающих уникальную информацию и методы для работы с тематической информацией о состоянии земного покрова (Савин и др., 2011; Барталев, Лупян, 2013; Воробьев и др., 2015). Снимки Landsat позволили повысить точность мониторинга за многочисленными процессами на Земле. Эти снимки широко используются для оценки и мониторинга изменений в атмосфере, поверхности океанов, полярных территорий, сельскохозяйственных земель, городских территорий, пустынь и горных массивов. Изображения, полученные с помощью системы спутников Landsat, также широко востребованы научными коллективами, занимающимися тематическим картографированием и мониторингом растительного покрова (Терехин, 2012; Курбанов и др., 2014).

Большое количество работ со спутниковыми изображениями Landsat посвящено оценке возможности определения таксационных показателей (возраста, сомкнутости полога,

высоты деревьев) по спектральным характеристикам. Американские ученые проанализировали взаимосвязь между значениями спектральной яркости каналов Landsat ETM+ и таксационными показателями коммерческих посадок сосны ладанной (*Pinus taeda L.*) в восточной части штата Техас (Sivanpillai et al., 2006). Для исследования лесов сосны скрученной в Британской Колумбии Канады также были использованы данные Landsat ETM+ (Wulder et al., 2004), которые позволили построить модель прогноза возраста насаждений со стандартной ошибкой 2,39 лет и коэффициентом детерминации 0,68. Создание модели непрерывных переменных (continuous variable model) является одним из подходов, основанных на эмпирической модели непрерывной оценки показателей древостоя (Cohen et al., 2003).

Карта нарушений (вырубки, пожары) между 1990–2000 гг. для наземных экосистем Северной Америки (США и Канада) была разработана с использованием программы LEDAPS (Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System) и архива спутниковых снимков Landsat (Masek et al., 2008). Результаты исследования свидетельствуют о том, что индекс нарушения, рассчитанный на основе динамики изменений на снимках после преобразования Tasseled Cap («Колпачок с кисточкой»), ежегодно составляет 2–3% для территории США и Канады.

Среди других разработок по картографированию растительного покрова Северной Евразии следует отметить карту земной поверхности SPOT-VEGETATION (Bartalev et al., 2003). Картографирование предгорной и горной частей бассейна реки Кожим (Приполярный Урал) и Югорского полуострова проведено на основе анализа контуров доминирующих классов растительного покрова по спутниковым снимкам Landsat, Aster и Spot (Елсаков и др., 2009; Елсаков, Кулюгина, 2014). При картографировании растительного покрова прогнозные модели изменений землепользования в значительной степени зависят от выбора пространственного масштаба (Potapov et al., 2008; Sohl et al., 2010). В большинстве случаев в таких работах основным методическим решением является приближение (сопряжение) переменных экосистемы с уровня полевых исследований до уровня ландшафта или региона (Phillips, Beer, 2008; Курбанов и др., 2013).

Несмотря на большое количество публикаций по тематическому картографированию на глобальном уровне, региональные оценки лесного покрова в России остаются недостаточно проработанными при решении проблем мониторинга и валидации создаваемых карт при совмещении данных среднего и высокого разрешения.

Цель работы – разработать методику оценки точности классификации и сопоставимости тематических карт растительного покрова по разновременным спутниковым снимкам среднего и высокого пространственного разрешения.

Объекты и методика исследований

Апробация методики была проведена на территории Среднего Поволжья, в которую вошли республики Марий Эл, Чувашия, Татарстан, Кировская и Нижегородская об-

ласти (рис. 1). Тестовые участки для валидации тематического картографирования подбирались с таким расчетом, чтобы охватить все классы возраста леса и типов условий местопроизрастания. Они были заложены на территории Республики Марий Эл в лесхозах: Пригородном, Параньгинском, Килемарском, Звениговском и Юрьинском. Кроме того, тестовые участки были исследованы на территории Чувашской Республики в Канашском, Пригородном и Чебоксарском лесничествах

Рис. 1. Территория исследований

Экспериментальный материал по теме исследований был собран в течение семи лет (2008–2014 гг.). Подбор тестовых участков для оценки точности создаваемых тематических карт лесного покрова по спутниковым снимкам проводился посредством анализа и уточнения лесоустроительных материалов: изучались таксационные описания и планы лесных насаждений и материалы спутниковой съемки высокого разрешения (ALOS, Rapid Eye, Канопус-В, Ресурс-П). В работе были использованы две мультиспектральные сцены спутника Landsat-7 ETM+ 2001 г. и Landsat-8 2014 г., прошедшие радиометрическую и геометрическую обработку уровня 1G, с пространственным разрешением 30 м в проекции UTM (zone 42N, WGS84). Снимки территории исследований прошли атмосферную коррекцию в программном пакете ENVI-5.3 с использованием модуля FLAASH.

Для обработки снимков был выбран алгоритм «атмосферная коррекция с постоянными атмосферными условиями» с частичным устранением эффекта теней.

Деревья	T
Кустарник	S
Трава	H
Вода	W
Не покрытые растительностью земли	B

Для выявления трех главных показателей (brightness – яркость, greenness – зеленость, wetness – влажность), способствующих дешифрированию растительных объектов местности на космических снимках и разделимости страт на тематической карте, в пакете ENVI-5.3 использован алгоритм Tasseled Cap («Колпачок с кисточкой») (Курбанов и др., 2011). Для исключения эффекта смешивания тематических классов наземного покрова при проведении неуправляемой классификации из полученного изображения в графическом редакторе ENVI-5.3, применяя искусственно созданную векторную маску (Воробьев и др., 2014), удаляли площади населенных пунктов (города, поселки и т.п.) и площади лесных гарей 2010 г. В работе использовалась единая шкала на 5 классов наземного покрова.

Оценка точности осуществлена с использованием 860 тестовых участков в модуле утилиты «Accuracy assessment» (Оценка точности) программного пакета ENVI-5.3. В качестве тестовых участков использовались наборы пикселей (полигоны) с основными классами легенды, определенных по материалам лесоустройства Министерства лесного хозяйства Марий Эл и данных полевых исследований Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ПГТУ. Процедура оценки состоит из наложения всех полигональных тестовых слоев на классифицированное изображение. В результате была получена «матрица неточностей» (Confusion matrix), включающая основные показатели (статистики) при оценке точности тематических карт: общая точность классификации, коэффициент Каппа, а также коэффициенты «точность производителя» (producer's accuracy, PA) и «точность пользователя» (user's accuracy, UA), ошибка допущения (commission error, CE) и ошибка пропуска (omission error, OE).

В работе также проведен сравнительный анализ вновь созданной тематической карты по снимку Landsat 2001 г. и фрагмента глобальной карты наземного покрова международного проекта Global Land Cover (GLC, 2000), созданной на основе снимков MODIS с грубым разрешением 500 м. Сравнение и оценка точности соответствия карты Landsat 2014 г. были также проведены с фрагментом глобальной карты наземного покрова, созданной по проекту Европейского космического агентства (GlobCover, 2009). Кроме того, была выполнена оценка сопоставимости карт Landsat 2001 и 2014 с картой NELC 2005 г., также созданной на основе спутникового снимка MODIS (Nelda, 2009) (рис. 2).

Рис. 2. Карта Landsat 2001 на глобальной карте NELC_2005

Для автоматизации работ по валидации тематических карт был разработан программный модуль *Comparer_CSFM@RS_1.0* (Губаев и др., 2015) с алгоритмом «плавающего окна». Этот модуль позволяет проводить сравнение двух тематических карт наземного покрова разного масштаба (пространственного разрешения). Работа предложенного алгоритма основана на сопоставлении атрибутивных данных исследуемых тематических карт (рис. 3).

Алгоритм «плавающее окно» позволяет разбить карту грубого разрешения на блоки пикселей, размер которых (3×3, 5×5, 10×10, 20×20 и т.д.) задается пользователем. Размер окна зависит от пространственного разрешения сравниваемых карт. Для GLC 2000 было использовано окно 3×3 пикселей, для NELC 2005 – 5×5 пикселей. При этом каждый такой блок информации анализируется программой *Comparer_CSFM@RS_1.0* индивидуально, а полученные данные формируются в матрицу неточностей.

Рис. 3. Фрагмент тематической карты Landsat на блоке карты MODIS: а) 9 пикселей MODIS с присвоенными классами наземного покрова до проведения пространственной трансформации; б) совпавшие классы наземного покрова; в) пиксели MODIS после пространственной трансформации; г) один пиксель MODIS с совмещенными пикселями Landsat

К «чистым» пикселям карт грубого разрешения относятся те пиксели, которые содержат по крайней мере 80% площади от одного из классов наземного покрова сравниваемой карты. По результатам анализа каждого пикселя карты грубого и среднего (высокого) разрешения проверяется процент совпадения классов. Если данный процент больше 80, то результаты анализа данного пикселя карты вносятся в матрицу неточностей.

Результаты исследований

Сравнение тематических карт позволило выявить соответствие или расхождение по площади пяти классов наземного покрова. Сопоставление карт Landsat 2001 и GLC-2000

в программном модуле Comparer_CSFM@RS_1.0 по методу плавающего окна показало общую точность выше 0,8, а статистика Каппа 0,67 свидетельствует о значительной степени согласованности изучаемых данных (табл. 1). Высокая степень соответствия наблюдается для классов «деревья», «трава» и «вода». Ошибка допуска 15,9% была минимальна для класса «вода», а ошибка пропуска 7,9% – для класса «деревья».

Таблица 1. Матрица неточностей 5-ти доминирующих классов наземного покрова карт Landsat 2001 и GLC-2000, полученная методом плавающего окна в программе Comparer_CSFM@RS_1.0

		Landsat 2001 г.								
		<i>T</i>	<i>S</i>	<i>H</i>	<i>B</i>	<i>W</i>	<i>Несов- павшие пиксели</i>	<i>Итого</i>	<i>UA%</i>	<i>CE%</i>
Глобальная карта GLC-2000 г.	T	16015644					3578866	19594510	81,7	18,3
	S		85490				310709	396199	21,6	78,4
	H			12389904			2662956	15052860	82,3	17,7
	B				120926		62429	183355	66,0	34,0
	W					965815	183141	1148956	84,1	15,9
Несовпав- шие пиксели		1376217	1486093	2182135	1196048	557608				
Итого		17391861	1571583	14572039	1316974	1523423				
РА%		92,1	5,4	85,0	9,2	63,4				
ОЕ%		7,9	94,6	15,0	90,8	36,6				
Сумма по диагонали		29577779								
Общая точность, Р		0,81								
Коэффи- циент Каппа, К		0,67								

Анализ сравнения по методу чистых пикселей в программе Comparer_CSFM@RS_10. показывает более высокую точность сопоставляемых карт, чем при плавающем окне. Например, для класса «деревья» точность производителя достигает 98,8%, а точность пользователя 99,3%. Хуже всего в процессе сравнения проявляется класс «кустарник», который полностью теряется при сравнении чистых пикселей на картах Landsat 2001 и GLC-2000 (табл. 2).

Более высокие результаты оценки точности классификации показывает сравнение полученной тематической карты территории исследования Landsat 2014 для пяти классов наземного покрова и карты GLC 2009 года. Максимально различается класс «деревья», точность пользователя (UA) которого достигает 91,9% при обычном алгоритме плавающего окна и 98,9% для чистых пикселей. Коэффициенты Каппа также в обоих случаях демонстрируют высокую значимость (0,71 и 0,96).

Тематический класс «кустарник», как и в случае с глобальными картами GLC 2000 и NELC 2005, был недооценен в процессе сравнения карт GLC2009 и Landsat 2014 методом

плавающего окна в программе Comparer_CSFM@RS_1.0. Точность пользователя для этого класса составила 62%, а точность производителя достигает 43,7%. На недооценку класса «кустарник» при изучении глобальных карт на территорию Российской Федерации также указывают исследователи из Орегонского государственного университета (Pflugmacher et al., 2011).

Таблица 2. Матрица неточностей 5-ти доминирующих классов наземного покрова карт Landsat 2001 и GLC-2000, полученная методом чистых пикселей в программе Comparer_CSFM@RS_1.0

		Landsat 2001 г.								
		T	S	H	B	W	Несов- пающие пиксели	Итого	UA%	CE%
Глобальная карта GLC-2000 г.	T	11867679	0	72863	590	5258	78711	11946390	99,3	0,7
	S	22161	0	66183	0	283	88627	88627	0,0	100,0
	H	112467	0	5077242	354	1883	114704	5191946	97,8	2,2
	B	4153	0	8260	59642	657	13070	72712	82,0	18,0
	W	10622	0	2110	99	704263	12831	717094	98,2	1,8
Несовпав- шие пиксели		149403	0	149416	1043	8081				
Итого		12017082	0	5226658	60685	712344				
РА%		98,8	-	97,1	98,3	98,9				
ОЕ%		1,2	-	2,9	1,7	1,1				
Сумма по диагонали		17708826								
Общая точность, P		0,98								
Коэффици- ент Каппа, K		0,96								

Таким образом, наибольшее расхождение в площади классов сравниваемых карт приходится на класс «кустарник», который на снимках Landsat в разные годы достигает 4,3–7,5 %, в то время как на глобальных картах его значение колеблется от 0,6% (в 2005) до 5,3% (в 2009 г.) (рис. 3, табл. 3). По всей видимости, такое расхождение обусловлено особенностью используемых легенд и методик классификации. В нашем случае к кустарнику были также отнесены зарастающие кустарниково-древесной растительностью земли запаса и перераспределения (бывшие сельскохозяйственные угодья), что и могло привести к такой картине распределения площадей исследуемых классов. В 2000-е гг. зарастание таких земель имело массовый характер на территории Республики Марий Эл, Кировской и Нижегородской областей, что было отмечено в наших предыдущих исследованиях на эту тему (Курбанов и др., 2010).

По классу «лес» наши данные по площади наиболее близки к данным тематической карты GLC 2009 (рис. 3). Возможно, что на глобальных картах кустарники частично были распределены в классы «Лес» и «Трава», что также могло привести к разнице проведенной оценки. Кроме того, стоит отметить более высокие значения класса «не покрытые

растительностью земли» (В) на снимках Landsat 2001 и 2014 (табл. 3), что является результатом более точной классификации по разработанной методике.

Таблица 3. Соотношение площадей 5 классов наземного покрова на различных тематических картах спутниковых снимков

Классы	Площадь, %				
	Landsat 2001	Landsat 2014	GLC 2000	NELC 2005	GLC 2009
T	47,8%	45,1%	53,9%	52,3%	41,5%
S	4,3%	7,5%	1,1%	0,6%	5,3%
H	40,1%	39,7%	41,4%	43,8%	49,4%
B	3,6%	4,2%	0,5%	0,3%	0,6%
W	4,2%	3,5%	3,2%	3,0%	3,3%
Итого	100%	100%	100%	100%	100%

Рис. 4. Распределение площадей 5 классов доминирующего наземного покрова на тематических картах Landsat и глобальных картах MODIS

Выводы

При сравнении глобальных карт GLC 2001, NELC 2005 и GLC 2009 с данными тематических карт Landsat 2001 и 2014 методом плавающего окна в программе Comparer_CSFM@RS_1.0 была отмечена недооценка класса «кустарник». Точность пользователя для этого класса составила 62%, а точность производителя – 43,7%. По всем остальным

тематическим классам наблюдается относительное совпадение изучаемых страт наземного покрова.

В целом за период 2001–2014 гг. по 5-ти основным классам наземного покрова тематических карт Landsat наблюдается снижение площади класса «лес» на 2,7%, увеличение класса «кустарниково-древесной растительности» и класса «не покрытого растительностью» – на 0,6%.

При сравнении тематических карт Landsat с данными глобальных карт 5-ти классов наземного покрова был применен метод «чистых пикселей», который позволил повысить точность оценки классификации снимков. Например, при сравнении тематических карт Landsat 2001 и GLC-2000 таким способом для класса «деревья», точность производителя достигает 98,8%, а точность пользователя – 99,3%.

Разработанная методика пошаговой классификации и алгоритм оценки точности тематических карт разного пространственного разрешения позволяют предложить принципиально новый подход к проведению работ по стратификации лесного покрова на спутниковых снимках среднего и высокого пространственного разрешения в соответствии с современными требованиями по Государственной инвентаризации лесов Российской Федерации.

Работа выполнена по проекту № 2394 «Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем» в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации 2014–2016 гг.

Литература

1. Барталев С.А., Луян Е.А. Исследования ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. № 1. С. 197–214.
2. Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевицкова Ю.А., Демишева Е.Н. Дистанционный мониторинг городских лесов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 1(25). С. 5–21.
3. Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Лежнин С.А., Полевицкова Ю.А., Демишева Е.Н. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. № 4 (11). С. 217–229.
4. Губаев А.В., Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Лежнин С.А., Полевицкова Ю.А. Модуль Compare_CSFMSRS_1.0, созданный с помощью программного пакета ArcGIS 10 для сравнения растровых тематических карт, полученных по спутниковым снимкам: Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2015615586. 21.05.2015.
5. Елсаков В.В., Кулюгина Е.Е. Растительный покров Югорского полуострова в условиях климатических изменений последних десятилетий // Исследование земли из космоса. 2014. № 3. С. 65–77.
6. Елсаков В.В., Марущак О., Щанов В.М. Картирование растительного покрова бассейна р. Кожим (Приполярный Урал) с использованием материалов дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т.2. С. 360–364.
7. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Незамаев С.А., Александрова Т.А. Оценка за-растания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 2(9). С. 14–20.
8. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевицкова Ю.А., Демишева Е.Н. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1(21). С. 18–32.
9. Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Незамаев С.А., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевицкова Ю.А. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3. С. 72–82.
10. Курбанов Э.А., Нуреева Т.В., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Мифтахов Т.Ф., Незамаев С.А., Полевицкова Ю.А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновле-

- ния и лесовосстановления в Марийском Заволжье // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 17–24.
11. Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Медведева М.А., Плотников Д.Е. Спутниковый мониторинг воздействия засухи на растительность (на примере засухи 2010 года в России) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. № 1. С. 150–162.
 12. Терехин, Э.А. Анализ каналов спутниковых данных Landsat TM для оценки характеристик лесных насаждений лесостепной провинции среднерусской возвышенности // Исследование Земли из космоса. 2012. № 2. 53–62.
 13. Bartalev S.A., Belward S., Ershov D., Isaev A.S. New SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia // International Journal of Remote Sensing. 2003. Vol. 24. P. 1977–1982.
 14. Global Land Cover Products / Электронный ресурс. 2000. – URL: <http://acpobservatory.jrc.ec.europa.eu/content/global-land-cover-glc-2000-jrc> (5.10.2015)
 15. GlobCover / Электронный ресурс. 2009. – URL: <http://www.edenextdata.com/?q=content/esa-globcover-version-23-2009-300m-resolution-land-cover-map-0> (05.10.2015)
 16. Cohen W.B., Maersperger T.K., Gower S.T., Turner D.P. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data // Remote Sensing of Environment. 2003. No. 84. P. 561–571.
 17. Masek J.G., Huang C., Wolfe R., Cohen W., Hall F., Kutler J., Nelson P. North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record // Remote Sensing of Environment. 2008. No. 112. P. 2914–2926.
 18. NELDA (Northern Eurasia Land Dynamics Analyses) / Электронный ресурс. 2009. – URL: <http://www.fsl.orst.edu/nelda> (05.10.2015)
 19. Pflugmacher D., Krankina O.N., Cohen W.B., Friedl M.A., Sulla-Menashe D., Kennedy R.E., Nelson P., Loboda T.V., Kuemmerle T., Dyukarev E., Elsakov V., Kharuk V.I. Comparison and assessment of coarse resolution land cover maps for Northern Eurasia // Remote Sensing of Environment. 2011. No. 115. P. 3539–3553.
 20. Phillips R.L., Beeri O. Scaling-up knowledge of growing-season net ecosystem exchange for long-term assessment of North Dakota grasslands under the Conservation Reserve Program // Global Change Biology. 2008. No. 14. P. 1008–1017.
 21. Potapov P., Hansen M.C., Stehman S.V., Loveland T.R., Pittman K. Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss // Remote Sensing of Environment. 2008. No. 112(9). P. 3708–3719.
 22. Sivanpillai R., Charles T.S., Srinivasan R., Messina M.G., Wu X.B. Estimation of managed loblolly pine stand age and density with Landsat ETM+ data // Forest Ecology and Management. 2006. No. 223. P. 247–254.
 23. Sohl T.L., Thomas R.L., Benjamin M.S., Kristi L.S., Barnes C.A. Addressing foundational elements of regional land-use change forecasting // Landscape Ecology. 2010. No. 25. P. 233–247.
 24. Wulder M.A., Skakun S., Kurz W.A., White J.C. Estimating time since forest harvest using segmented Landsat ETM+ imagery // Remote Sensing of Environment. 2004. No. 93. P. 179–187.

Assessment of accuracy and comparability of forest cover thematic maps of different spatial resolution by example of Middle Povolzhje

E.A. Kurbanov, O.N. Vorobiev, A.V. Gubayev, S.A. Lezhnin, Yu.A. Polevshikova

*Volga State University of Technology, Center of Sustainable Forest Management and Remote Sensing, Yoshkar-Ola 424000, Russia
E-mail: kurbanovea@volgatech.net*

The paper discusses a method for estimating classification accuracy and comparability of thematic maps derived from satellite images time series of high and middle spatial resolution by the example of forest cover in the Middle Povolzhje region. For validation of obtained thematic Landsat maps for 2001 and 2014, ground truth and field data, forest inventory maps, as well as existing global and regional maps of land cover were used. To estimate comparability of maps of different spatial resolutions, a special module Comparer_CSFMR&S 1.0 was developed in ArcMap, allowing comparison by “floating window” or “pure pixels” algorithms. “Trees” class of the thematic maps showed maximum differentiation with 91.9% users accuracy for “floating window” and 98.9% for “pure pixels”. The maximum difference in the area of estimated land cover on the maps of MODIS and Landsat has the “Shrub” class. The research results indicate that combining MODIS and Landsat satellite images can be successfully used in mapping forest cover and monitoring its dynamics on a regional level.

Keywords: remote sensing, Landsat, image classification, forest stands, classification accuracy assessment, Middle Povolzhje

*Accepted: 21.12.2015
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-36-48*

References

1. Bartalev S.A., Lupyan E.A., Issledovaniya IKI RAN po razvitiyu metodov sputnikovogo monitoringa rastitel'nogo pokrova (R&D on methods for satellite monitoring of vegetation by the Russian Academy of Sciences' Space Research Institute), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 1, pp. 197–214.
2. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., Demisheva E.N., Distantsionnyi monitoring gorodskikh lesov (Remote sensing monitoring of urban forests), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2015, No. 1(25), pp. 5–21.
3. Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., Demisheva E.N., Metodika vyyavleniya stepeni povrezhdeniya drevostoev posle pozharov 2010 goda v Srednem Povolzh'e (The method of identifying the measure of severity of disturbed forest stands after wild fires of 2010 in Middle Povolzhje), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, No. 4, Vol. 11, pp. 217–229.
4. Gubaev A.V., Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., *Modul' Comparer CSFM&RS 1.0, sozdanniy s pomoshch'yu programmnoy paketa ArcGIS 10 dlya sravneniya rastrovnykh tematicheskikh kart, poluchennykh po sputnikovym snimkam* (Module Comparer CSFM&RS 1.0 produced in ArcGIS for comparison of raster thematic maps obtained by satellite images), Patent RF No. 2015615586, 21.05.2015.
5. Elsakov V.V., Kulyugina E.E., Rastitel'nyi pokrov Yugorskogo poluostrova v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii poslednikh desyatiletii (Vegetation cover of Yugorskiy peninsula in the climatic change of latest decades), *Issledovanie zemli iz kosmosa*, 2014, No. 3, pp. 65–77.
6. Elsakov V.V., Marushchak O., Shchanov V.M., Kartirovanie rastitel'nogo pokrova basseina r. Kozhim (Pripolyarniy Ural) s ispol'zovaniem materialov distantsionnogo zondirovaniya (Mapping of Kozim river basin (Subpolar Ural) on basis of remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Vol. 2, pp. 360–364.
7. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Nezamaev S.A., Aleksandrova T.A., Otsenka zarastaniya zemel' zapasa Respubliki Marii El lesnoi rastitel'nost'yu po sputnikovym snimkam (Estimation of reforestation on abandoned agricultural lands in Republic Mari El by satellite images), *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2010, No. 2, Vol. 9, pp. 14–20.
8. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., Demisheva E.N., Chetyre desyatiletia issledovaniy lesov po snimkam Landsat (Four decades of forest research with the use of Landsat images), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2014, No. 1, Vol. 21, pp. 18–32.
9. Kurbanov E.A., Vorob'ev O.N., Nezamaev S.A., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., Tematicheskoe kartirovanie i stratifikatsiya lesov Mariiskogo Zavolzh'ya po sputnikovym snimkam Landsat (Thematic mapping and stratification of forests in Middle Zavolzhje by Landsat satellite images), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2013, No. 3, pp. 72–82.
10. Kurbanov E.A., Nureeva T.V., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Miftakhov T.F., Nezamaev S.A., Polevshchikova Yu.A. Distantsionnyi monitoring dinamiki narushenii lesnogo pokrova, lesovozobnovleniya i lesovosstanovleniya v Mariiskom Zavolzh'e (Remote monitoring of disturbances in forest cover, reforestation and afforestation of Mari Zavolzhje), *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2011, No. 3, pp. 17–24.
11. Savin I.Yu., Bartalev S.A., Lupyan E.A., Tolpin V.A., Medvedeva M.A., Plotnikov D.E. Sputnikovyi monitoring vozdeystviya zasukhi na rastitel'nost' (na primere zasukhi 2010 goda v Rossii) (Satellite monitoring of draught impact on the vegetation (on the example of draught 2010 in Russia)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, No. 1, pp. 150–162.
12. Terekhin, E.A., Analiz kanalov sputnikovyykh dannykh Landsat TM dlya otsenki kharakteristik lesnykh nasazhdenii lesostepnoi provintsii srednerusskoi vozvysheynosti (Analyses of Landsat TM satellite data bands for the estimation of forest stand characteristics of forest-steppe province in Middle Russian upland), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2012, No. 2, pp. 53–62.
13. Bartalev S.A., Belward S., Ershov D., Isaev A.S., New SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia, *International Journal of Remote Sensing*, 2003, Vol. 24, pp. 1977–1982.
14. Global Land Cover Products. 2000, available at: <http://acpobservatory.jrc.ec.europa.eu/content/global-land-cover-glc-2000-jrc>.
15. GlobCover. 2009, available at: <http://www.edenextdata.com/?q=content/esa-globcover-version-23-2009-300m-resolution-land-cover-map-0> (05.10.2015).
16. Cohen W.B., Maersperger T.K., Gower S.T., Turner D.P., An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data, *Remote Sensing of Environment*, 2003, No. 84, pp. 561–571.
17. Masek J.G., Huang C., Wolfe R., Cohen W., Hall F., Kutler J., Nelson P., North American forest disturbance mapped from a decadal Landsat record, *Remote Sensing of Environment*, 2008, No. 112, pp. 2914–2926.
18. NELDA (Northern Eurasia Land Dynamics Analyses). 2009, available at: <http://www.fsl.orst.edu/nelda> (05.10.2015).
19. Pflugmacher D., Krankina O.N., Cohen W.B., Friedl M.A., Sulla-Menashe D., Kennedy R.E., Nelson P., Loboda T.V., Kuemmerle T., Dyukarev E., Elsakov V., Kharuk V.I., Comparison and assessment of coarse resolution land cover maps for Northern Eurasia, *Remote Sensing of Environment*, 2011, No. 115, pp. 3539–3553.
20. Phillips R.L., Beerli O., Scaling-up knowledge of growing-season net ecosystem exchange for long-term assessment of North Dakota grasslands under the Conservation Reserve Program, *Global Change Biology*, 2008, No. 14, pp. 1008–1017.

21. Potapov P., Hansen M.C., Stehman S.V., Loveland T.R., Pittman K., Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss, *Remote Sensing of Environment*, 2008, No. 112, Vol. 9, pp. 3708–3719.
22. Sivanpillai R., Charles T.S., Srinivasan R., Messina M.G., Wu X.B., Estimation of managed loblolly pine stand age and density with Landsat ETM+ data, *Forest Ecology and Management*, 2006, No. 223, pp. 247–254.
23. Sohl T.L., Thomas R.L., Benjamin M.S., Kristi L.S., Barnes C.A., Addressing foundational elements of regional land-use change forecasting, *Landscape ecology*, 2010, No. 25, pp. 233–247.
24. Wulder M.A., Skakun S., Kurz W.A., White J.C., Estimating time since forest harvest using segmented Landsat ETM+ imagery, *Remote Sensing of Environment*, 2004, No. 93, pp. 179–187.