

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

УДК 504.54; 528.94

ГЛОБАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

© 2017 г. Нина Н. Алексеева, Оксана А. Климанова, Елизавета С. Хазиева

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия
e-mail: nalex01@mail.ru, oxkl@yandex.ru, savliz@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.08.2015 г.

Аннотация. Базы данных о земельном покрове, полученные в результате обработки космических снимков с различных съемочных систем, широко используются в мире для картографирования ландшафтов/экосистем в глобальных и региональных масштабах. Для этих целей проанализированы базы данных: университета Мерилэнда (UMD Land Cover Classification) за 1981–1994 гг., DISCover land cover за 1992–1993 гг., Global Land Cover 2000, GlobCover за 2009 г. и MODIS Land Cover за 2001–2012 гг. На основе попиксельного и поклассового анализа классификаций UMD Land Cover Classification и Global Land Cover 2000 сделан вывод о том, что получение достоверных результатов об изменении состояния земельного покрова возможно только для их отдельных категорий. Для картографирования изменений землепользования современных ландшафтов лучше подходят данные MODIS Land Cover за период 2001–2012 гг., которые могут быть скомбинированы с данными AVHRR, доступными на период 1982–2006 гг. Рассмотрены ограничения и возможности применения указанных баз данных, в том числе для создания динамической классификации современных ландшафтов на основе типологии изменений землепользования за период 1980–2010 гг. Показано, что данные о земельном покрове хорошо отражают преобладающие геоэкологические функции геосистем: средорегулирующие (экосистемные), продукционные, производственные и селитебные, которые могут быть положены в основу новой системы классификации современных ландшафтов.

Ключевые слова: земельный покров, современные ландшафты, пространственный анализ, базы данных, классификации, гармонизация легенд, мелкомасштабное картографирование, изменение ландшафтов.

DOI:10.15356/0373-2444-2017-1-110-123

Global Land Cover Data Bases and their Perspectives for Present-Day Landscapes Mapping

Nina N. Alekseeva, Oksana A. Klimanova, Elizaveta S. Khazieva

Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, Russia
e-mail: nalex01@mail.ru, oxkl@yandex.ru, savliz@yandex.ru

Abstract. Land cover databases obtained as a result of processing space images from different imaging systems are used around the world for mapping landscapes/ecosystems at global and regional scales. For these purposes, the following databases are analyzed: the University of Maryland's UMD Land Cover Classification for 1981–1994, DISCover land cover for 1992–1993, Global Land Cover 2000, GlobCover for 2009, and MODIS Land Cover for 2001–2012. On the basis of per pixel and per class analysis of UMD Land Cover Classification and Global Land Cover 2000 it was concluded that to obtain reliable results on the status of the land cover is possible only for certain categories. MODIS Land Cover data for 2001–2012, which may be combined with AVHRR data available for 1982–2006, are better suited for mapping land use changes of contemporary landscapes. The constraints and opportunities for using these databases, including the creation of a dynamic classification of contemporary landscapes on the basis of the typology of land use changes for 1980–2010 are considered. It is shown that the data on land cover reflect the prevailing geoecological functions of geosystems: environment regulatory (ecosystem), productive, industrial and residential, which can be the basis for a new classification system for modern landscapes.

Keywords: land cover, contemporary landscapes, spatial analysis, databases, classifications, harmonization of legends, small-scale mapping, changing landscapes.

Введение. В российской географии в 1990–2000-е годы были разработаны принципы классификации современных ландшафтов мира, которые базируются на степени изменения природных геосистем в ходе хозяйственных воздействий. Для характеристики природной подосновы в этой классификации используется обобщенная схема типологического районирования ландшафтов земного шара [2]. Модификации современных ландшафтов, по сути, отражают динамические ряды развития ландшафтов, а также социально-экономическую (хозяйственную) направленность их трансформации [39].

За два десятилетия, прошедших с момента создания этой классификации (и отражающей ее карты) существенно возросли доступность и качество геопространственных данных, характеризующих поверхность Земли, а также появились ГИС-технологии для обработки больших массивов данных на глобальном уровне. В то же время подходы к мелкомасштабному картографированию наземного ландшафтного покрова, ландшафтов и/или экосистем не изменились пропорционально количественному росту исходных данных. Наибольшие трудности связаны с картографированием таких сложных и гетерогенных систем как современные ландшафты в глобальных, материковых и региональных масштабах, хотя интересный опыт подобных работ на разных уровнях имеется в странах Европейского союза и США [28, 32].

В качестве ключевого тематического слоя для картографирования современных ландшафтов обычно используются геоданные о земельном покрове (*land cover*), полученные в результате обработки космических снимков. В данной статье мы придерживаемся перевода этого англоязычного сочетания именно в такой формулировке, понимая под ним современную мозаику растительного покрова как естественного, так и антропогенного происхождения, в том числе посевы сельскохозяйственных культур, разнообразные типы населенных пунктов и других объектов, земли, не покрытые растительностью (пустоши, ледники и др.), а также водоемы и водотоки.

Сопоставление данных дистанционного зондирования с результатами традиционного ландшафтного картографирования по ряду районов европейской части России показывает, что классификации земельного покрова конца 1990-х годов не учитывали все разнообразие ландшафтов, создаваемое, в частности, геолого-геоморфологическими факторами [1]. Поэтому, на наш взгляд, более обоснованно использование термина “земельный покров”, чем “ландшафтный покров” [6].

В то же время надо отметить, что в научной литературе англоязычное понятие “*land cover*” трактуется и как “современный ландшафт”, “ландшафтный покров”, “растительный покров”, “почвенно-растительный покров”, “типы землепользования” и др.

Данные о земельном покрове широко используются в мировой практике для картографирования ландшафтов/экосистем в глобальных и региональных масштабах. Так, в новой Европейской ландшафтной классификации LANMAP [28] используется 10 генерализованных категорий земельного покрова на основе интеграции данных CORINE, GLC2000 и PELCOM. В 2014 г. опубликована глобальная карта экологических территориальных единиц (*Ecological Land Units*) с разрешением 250 м, разработанная Ассоциацией американских географов, Геологической службой США, ESRI и др. [32]. В ней была использована база данных GlobCover 2009 с 23 категориями земельного покрова, объединенных на итоговой карте в 9 агрегированных группировок. Генерализованные категории земельного покрова, по мнению авторских коллективов, дают вполне адекватное представление о слое “земельный покров”, который наряду с тремя другими атрибутивными слоями (биоклиматические условия, рельеф, поверхностные отложения) используется для комплексной характеристики выделенных в процессе полуавтоматического картографирования геосистем. Однако все категории земельного покрова с точки зрения их классификации “неиерархичные”.

В нашей стране в классификациях современных ландшафтов (СЛ) [5, 39] предусмотрена дифференциация на природные (сохраняющие природный, в том числе зональный, инвариант) и природно-антропогенные ландшафты, которые в свою очередь подразделяются на несколько типов.

Очевидно, что картографирование ландшафтов уходит от качественных, интуитивно-субъективных подходов и методов (таких как “сопряженный анализ факторов ландшафтообразования” в российском понимании) в сторону более формализованных количественных и потому более объективных методов. Современные технологии позволяют путем оверлея различных тематических слоев в ГИС-среде в сочетании с пространственным и статистическим анализом создавать типологию ландшафтных единиц на базе определенного набора цифровых тематических карт.

В свою очередь, ландшафтные карты, составляемые на основе геопространственных данных

и выложенные в открытый доступ, открывают новые возможности для широкого круга пользователей — географов, экологов, специалистов в области ландшафтного планирования и др. Однако появившиеся источники информации и методы не только открывают новые возможности, но и представляют определенные трудности и ограничения для анализа. Последнее отмечается и в иностранных публикациях: по данным Group on Earth Observation [17], начиная с 2005 г., активно обсуждаются возможности применения разновременных данных для определения изменений земельного покрова на глобальном и региональном уровнях.

Цель данной статьи — определить, как имеющиеся в открытом доступе глобальные данные о состоянии земельного покрова могут быть использованы в рамках традиционной отечественной парадигмы мелкомасштабного картографирования современных ландшафтов [3]. Ответ на этот вопрос имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. Так, вывод о возможности корректного сравнения разнородных и разновременных данных позволяет наметить алгоритм анализа изменений землепользования, произошедших на глобальном уровне с начала 1980-х по конец 2010-х годов. Подобная инвентаризация изменений может быть полезна, в частности, для прогноза возможной трансформации ландшафтов при разных сценариях изменения климата и интенсификации антропогенного воздействия. Выявленные же закономерности изменений могут послужить новыми основаниями для классификации современных ландшафтов.

Материалы и методы. В российских классификациях степень изменения современных ландшафтов определяется характером и интенсивностью воздействия деятельности человека (системами природо- и землепользования), индикатором которого может служить характер земельного покрова.

Первоначальная гипотеза исследования строилась на том, что данные о состоянии земельного покрова за три временных периода — начало 1990-х, 2000 и 2010 годов при условии гармонизации легенд исходных источников информации могут быть соотнесены между собой и использованы для выделения ареалов однотипных изменений. В связи с этим при отборе данных было отдано предпочтение тем, которые имеют глобальный охват и позволяют сформировать максимальный по длительности временной ряд, охватывающий период с начала 1980-х по конец 2010-х годов. Также к данным предъявлялось еще два базовых

требования: они должны находиться в открытом доступе и пройти валидацию. Первоначальный анализ источников, содержащих информацию о земельном покрове, показал, что этим требованиям отвечают следующие источники данных: (1) классификация земельного покрова Университета Мерилэнда (UMD Land Cover Classification, она же (2) классификация Глобального Фонда земельного покрова (GLCF)) за 1993 г. [20, 36], (3) Глобальный земельный покров 2000 (Global Land Cover 2000) [10, 18], (4) GlobCover за 2009 г. [19], (5) MODIS Land Cover за 2001–2012 гг. [27], (6) (IGBP-DIS) DISCover Global [13, 25]. Все они были получены путем обработки “сырых” данных дистанционного зондирования с последующим тематическим анализом [21] и прошли валидацию со статистическими данными и данными земельного покрова на ключевых участках [16].

Наиболее ранними по времени получения информации из перечисленных выступают данные UMD Land Cover Classification (получены в результате обработки данных AVHRR за 1981–1994) и DISCover land cover (данные AVHRR за 1992–1993 гг.). Данные UMD Land Cover Classification представляют собой материалы анализа данных NASA/NOAA проекта по созданию глобальной карты ландшафтного покрова. Данные IGBP DISCover были получены с применением необучаемой классификации к разновременным снимкам (максимальное значение NDVI за целый год) со спутника NOAA AVHRR [14].

Для начала 2000-х годов наиболее информативным источником служат данные проекта Глобальный земельный покров 2000 (GLC2000), которые были получены путем анализа и комбинирования различных региональных источников:

- Южная Америка — данные высокого разрешения, рассчитанный нормализованный вегетационный индекс (NDVI);
- Африка — данные SPOT Vegetation, радиолокационные данные и DMPS (The Defense Meteorological Satellite Program), рассчитанные вегетационные индексы [11];
- Северная Евразия — данные SPOT-Vegetation, рассчитанные вегетационные индексы, данные об уровне влагосодержания и длительности залегания снежного покрова [9];
- Азия (Южная, Юго-Восточная, Северо-Восточная, Китай) — данные SPOT-Vegetation, AVHRR, полевые исследования, рассчитанные вегетационные индексы, цифровая модель рельефа Геологической службы США [30];

- Европа — данные CORINE, Landsat TM, Общеввропейской системы мониторинга земельного покрова и землепользования PELCOM (Pan-European Land Use and Land Cover Monitoring), рассчитанный нормализованный вегетационный индекс [37];

- Северная Америка, Гренландия и Исландия — данные SPOT-Vegetation, рассчитанные вегетационные индексы [38];

- Австралия и Новая Зеландия — данные красного, инфракрасного и коротковолнового инфракрасного диапазонов.

Процедура сопоставления и объединения указанных данных с глобальными была выполнена региональными экспертами, что позволило учесть особенности территорий в контексте глобального покрытия. Для гармонизации использовалась единая система классификации земельного покрова (LCCS — Land Cover Classification System), предоставленная ФАО.

Для анализа состояния земельного покрова для конца 2000-х годов были использованы данные GlobCover за 2009 г. и MODIS Land Cover (с 2001 до 2012 г.). Первый из этих источников получен путем обработки данных со спутника ENVISAT, применяемая классификация соответствует мировому стандарту классификации земельного покрова, что позволяет с меньшими погрешностями использовать данный набор в сочетании с другими аналогичными продуктами (например, GLC2000). Данные MODIS Land Cover — результат классификации с обучением с использованием эталонных участков из базы данных дистанционного зондирования высокого разрешения [29]. Для классификации типов земельного покрова был применен алгоритм древовидной структуры в сочетании с техникой повышения точности классификации (boosting) [15].

В настоящее время в рамках анализа точности данных уже выполнен ряд работ [16, 24, 33], в которых использовались различные методы сопоставления разнородных данных о земельном покрове. Большинство существующих методик сводятся к использованию категорий-переходников на основе международной классификации земельного покрова Land Cover Classification System (LCCS) [21, 22, 23, 31] с последующим “попиксельным” анализом разновременных данных [12].

Процедура гармонизации легенд проводилась в два этапа: первый этап включал анализ содержания сходных категорий легенды и выделение идентичных категорий, второй — математический анализ точности совпадения используемых

данных по категориям легенды и попиксельно. Второй этап был необходим, так как даже в случае семантического совпадения категорий легенды в разновременных данных (это, например, относится к категории вечнозеленые широколиственные леса) возможно расхождение в части классификационных признаков, которое исказит конечные результаты. Для сравнения категорий на втором этапе может использоваться объектно-ориентированный подход и анализ по классам [12] или пиксельно-ориентированный подход [21]. В нашем случае для оценки процентного соотношения между классами был проведен пространственный попиксельный анализ, в результате которого была получена матрица соотношений каждого значения пикселя из одного источника с другим.

На основе рассчитанной матрицы был вычислен максимальный процент соотносящихся пикселей у двух переклассифицированных изображений. Следующим оценочным этапом был покласовый анализ генерализованной легенды. Было рассчитано соответствие по классам с использованием следующей формулы [21]:

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{Y_i} \right) \times 100, \quad (1)$$

где n — количество типов; X_i — общая площадь типа i данных GLC; Y_i — общая площадь типа i в данных UMD.

Все указанные расчеты площадей типов земельного покрова проводились с использованием GeoMedia (Intergraph Corp.).

Результаты и их обсуждение. *Гармонизация легенд и содержания глобальных баз данных.* Отобранные для анализа данные с разной степенью детальности отражают состояние земельного покрова. Две наиболее детальные классификации из рассмотренных (Глобальная классификация земельного покрова 2000 и GlobCover, 2009) включают 21 и 18 классов соответственно (табл. 1).

Во всех рассмотренных классификациях отражены пахотные земли; в классификации GlobCover они дополнительно подразделяются на орошаемые и богарные. В 4-х классификациях из 5-ти наряду с этой категорией также выделяются различные варианты мозаик земельного покрова, в том числе и с пахотными землями, что позволяет учесть географическую специфику регионов тропической зоны с полидоминантной системой антропогенных воздействий. Наибольшее разнообразие мозаик (3 класса) представлено в классификации GlobCover. Каждая из классификаций

Таблица 1. Классы земельного покрова в различных глобальных базах данных

UMD Land Cover Classification, 1981—1994	DISCover land cover, 1992—1993	Global Land Cover 2000	GlobCover, 2009 г	MODIS Land Cover, 2001—2012
1. Вечнозеленые хвойные леса	1. Вечнозеленые хвойные леса	1. Вечнозеленые широколиственные леса	1. Орошаемые земли	1. Вечнозеленые хвойные леса
2. Вечнозеленые широколиственные леса	2. Вечнозеленые широколиственные леса	2. Листопадные широколиственные сомкнутые леса	2. Богарные пашни	2. Вечнозеленые широколиственные леса
3. Листопадные хвойные леса	3. Листопадные хвойные леса	3. Листопадные широколиственные разреженные леса	3. Мозаика: пашня (50—70%) / естественная растительность (злаковники, кустарники, леса) (20—50%)	3. Листопадные хвойные леса
4. Листопадные широколиственные леса	4. Листопадные широколиственные леса	4. Хвойные вечнозеленые леса	4. Мозаика: естественная растительность (злаковники, кустарники, леса) (50—70%) / пашня (20—50%)	4. Листопадные широколиственные леса
5. Смешанные леса	5. Смешанные леса	5. Хвойные листопадные леса	5. Сомкнутые и разреженные (>15%) широколиственные вечнозеленые или полулистопадные леса (>5м)	5. Смешанные леса
6. Редколесья	6. Сомкнутые кустарниковые формации	6. Смешанные леса	6. Сомкнутые (>40%) широколиственные листопадные леса (>5м)	6. Сомкнутые кустарниковые формации
7. Древесные саванны	7. Разреженные кустарниковые формации	7. Регулярно затопляемые леса (заболоченные, пойменные)	7. Разреженные широколиственные листопадные леса (>5м)	7. Разреженные кустарниковые формации
8. Сомкнутые кустарниковые формации	8. Древесные саванны	8. Мангровые леса	8. Сомкнутые (>40%) хвойные вечнозеленые леса (>5м)	8. Древесные саванны
9. Разреженные кустарниковые формации	9. Саванны	9. Мозаика древесных и других типов растительности	9. Разреженные (15—40%) хвойные листопадные или вечнозеленые леса (>5м)	9. Саванны
10. Злаковники	10. Злаковники	10. Выгоревшие леса	10. Сомкнутые и разреженные (>15%) смешанные леса (>5м)	10. Злаковники
11. Пахотные угодья	11. Постоянно-переувлажненные территории	11. Кустарниковые вечнозеленые формации	11. Мозаика леса/кустарниковые формации (50—70%) / злаковники (20—50%)	11. Постоянно переувлажненные земли
12. Территории, лишенные растительности	12. Пахотные угодья	12. Кустарниковые листопадные формации	12. Мозаика: злаковники (50—70%)/леса/кустарники (20—50%)	12. Пашни
13. Городские и застроенные земли	13. Городские и застроенные земли	13. Травянистые формации	13. Сомкнутые и разреженные (>15%) кустарниковые (15%) злаковники	13. Городские и застроенные территории
	14. Мозаика пахотных угодья/иная растительность	14. Разреженные травянистые или кустарниковые формации	14. Сильно разреженные (>15%) растительные формации (древесные, кустарниковые, злаковники)	14. Мозаика пашня/природная растительность
	15. Вечные снега и ледники	15. Обрабатываемые земли	15. Сомкнутые (>40%) широколиственные регулярно затопляемые леса (пресные воды)	15. Вечные снега и ледники

Таблица 1 (окончание)

UMD Land Cover Classification, 1981–1994	DISCover land cover, 1992–1993	Global Land Cover 2000	GlobCover, 2009 г	MODIS Land Cover, 2001–2012
	16. Территории, практически лишенные растительности	16. Мозаика обрабатываемые земли/ древесные типы растительности/ другие типы растительности	16. Сомкнутые (>40%) широколиственные листопадные и вечнозеленые регулярно-затапливаемые леса (солёные воды)	16. Территории, практически лишенные растительности
	17. Неклассифицируемые земли	17. Мозаика обрабатываемые земли/кустарниковые или травянистые формации	17. Сомкнутые и разреженные (>15%) растительные формации (злаковники, кустарники, древесная растительность) на регулярно затапливаемых или заболоченных почвах (пресные, солоноватые и солёные воды)	
		18. Территории, лишенные растительности	18. Искусственно созданные поверхности (городские земли >50%)	
		19. Водные поверхности		
		20. Снега и ледники		
		21. Искусственно созданные поверхности		

Примечание: составлено авторами на основе [18, 19, 27, 36].

позволяет достаточно точно картографировать городские и застроенные земли. Детально отражены различные типы лесной растительности: от 5 до 7 классов, разделение ведется по типу лесов (широколиственные, хвойные) и листопадности/вечнозелености. Для разделения саванн, редколесий и кустарников использован критерий – сомкнутость/разреженность, преобладание кустарников или трав.

Важной особенностью глобальных классификаций земельного покрова служит высокая степень генерализации классов, что предъявляет высокие требования к интерпретации результатов изменений в зависимости от зональных инвариантов ландшафтов, а также их положения в густо- или малонаселенных регионах.

Ограничивающим фактором для гармонизации легенды в нашем исследовании служило количество категорий в наименее детальной классификации (в данном случае, в классификации университета Мэриленда (UMD Land Cover) вместе с водными поверхностями их 14). Поэтому в начале работ с использованием переходных кодов в системе LCCS были генерализованы легенда

и данные Global Land Cover 2000. Сопоставление категорий легенд UMD Land Cover Classification и Global Land Cover 2000 при помощи переходных категорий Land Cover Classification System (LCCS) с анализом содержания каждой из категорий свидетельствует о разных возможностях генерализации для отдельных категорий земельного покрова (табл. 2).

Из 10 классов генерализованной легенды три – вечнозеленые хвойные леса, листопадные хвойные леса и травянистые формации – в каждой из двух базовых классификаций соответствуют только одному значению. Категория 2 генерализованной легенды (“вечнозеленые широколиственные леса”) в легенде GLC2000 соответствует типам 1, 7, 8 (вечнозеленые широколиственные леса, регулярно затапливаемые леса и мангровые леса). Аналогичное объединение было проведено в отношении категорий “листопадные широколиственные леса” и “кустарниковые формации”. Наиболее спорными для генерализации стали категории 5 и 8 (смешанные леса/другая древесная растительность и обрабатываемые земли – соответственно). Объективная причина таких

Таблица 2. Классы составленной генерализованной легенды и соответствующие им классы земельного покрова из глобальных баз данных UMD Classification и GLC2000

№	Генерализованная легенда	Тип по классификации земельного покрова (LCCS)	№	Класс UMD Classification	№	Тип GLC2000
1	Вечнозеленые хвойные леса	A12-A3.A20.B2.XX.D2.E1 и A12-3.A10.B2.XX.D2.E1	1	Вечнозеленые хвойные леса	4	Хвойные вечнозеленые леса
2	Вечнозеленые широколиственные леса	A12-A3.A20.B2.XX.D1.E1 и A12-A3.A10.B2.XX.D1.E1 и A24-A3.A20.B2.XX.D1.E1	2	Вечнозеленые широколиственные леса	1 7 8	Вечнозеленые широколиственные леса. Регулярно затапливаемые леса (затопоченные, пойменные) Мангровые леса
3	Листопадные хвойные леса	A12-A3.A20.B2.XX.D2.E2 и A12-3.A10.B2.XX.D2.E2	3	Листопадные хвойные леса	5	Хвойные листопадные леса
4	Листопадные широколиственные леса	A12-A3.A20.B2.XX.D1.E2 и A12-3.A10.B2.XX.D1.E2	4	Листопадные широколиственные леса	2 3	Листопадные широколиственные сомкнутые леса Листопадные широколиственные разреженные леса
5	Смешанные леса/древесная растительность	A12-A3.A20.B2 и A24-A3.A20.B2	5 6 77	Смешанные леса Редколесья Древесные саванны	6 9 10	Мозаика древесных и других типов растительности Смешанные леса Выгоревшие леса
6	Кустарниковые формации	A12-A4.A20.B3	8	Сомкнутые кустарники	12	Кустарниковые вечнозеленые формации
7	Травянистая растительность	A12-A2.A20.B4	9	Разреженные кустарники	11	Кустарниковые листопадные формации
8	Обрабатываемые земли	A11 и A23	10	Злаковники	13	Травянистые формации
9	Городские и застроенные земли	B16 и A12-A1A14, A12-A2A14	11	Пахотные угодья	16	Обрабатываемые земли
10	Земли, лишенные растительности	B27-A2, B27-A3, B28-A2, B28-A3 B16 и A12-A1A14, A12-A2A14	14 12	Городские и застроенные земли Территории, практически лишенные растительности	17 18 22 19	Мозаика: обрабатываемые земли/ древесные типы растительности/ другие типы растительности Мозаика: обрабатываемые земли/кустарники или травы Искусственно созданные поверхности Территории, лишенные растительности
					14 21	Разреженные травянистые или кустарники Снега и ледники

Таблица 3. Соответствие баз данных UMD и GLC2000 по числу пикселей, отнесенным к классам генерализованной легенды

№ класса	Класс генерализованной легенды	Максимальная доля соотносящихся пикселей, %
5	Смешанные леса / другая лесная растительность	37.2
7	Травянистая растительность	42.2
4	Листопадные широколиственные леса	43.8
1	Вечнозеленые хвойные леса	45.3
6	Кустарниковые формации	51.9
8	Обрабатываемые земли	56.4
3	Листопадные хвойные леса	65.9
2	Вечнозеленые широколиственные леса	69.4
10	Земли, лишенные растительности	79.2

сложностей – разный подход к определению понятия “лесная формация” в разных классификациях. Так, в классификации GLC2000 к ним относят ячейки, где до 15% занято древесным покровом высотой 3 м, а в классификации UMD – 60% покрытия ячейки представлено деревьями с такой же высотой.

В результате пространственного попиксельного анализа была получена матрица соотношений значений пикселей изображений классификации земельного покрова университета Мэриленда (UMD) и Глобального земельного покрова 2000, переклассифицированных в соответствии с составленной нами генерализованной легендой. На основе полученной матрицы был рассчитан максимальный процент соотносящихся пикселей по классам (табл. 3).

Наименьший процент совпадения числа пикселей (т.е. попавших в один класс на изображениях земельного покрова разных временных периодов) наблюдается в классе смешанные леса/другая лесная растительность. Как уже указывалось выше, это, по-видимому, связано с тем, что классификационные критерии этого типа разительно отличаются в двух классификациях. Так, использование данных Landsat в рамках разработки карты GLC2000 привело к тому, что к типу смешанные леса/другая лесная растительность были отнесены многие пиксели, которые не обладали очевидной трактовкой [21]. Невысокий процент совпадения также характерен для классов *кустарниковые формации (кустарники)* и *травянистая растительность*, которые непросто отличить от класса *обрабатываемые земли*. Это подтверждает

и сопоставление этих данных со статистикой категорий земельного фонда, например, по Африке [4].

Аналогичные результаты демонстрирует и анализ по классам, проведенный с использованием указанной выше формулы (см. раздел *Материалы и методы*). В данном случае учитывается количество классов и занимаемая ими общая площадь (табл. 4).

Как и в случае с пространственным попиксельным анализом, наименьшее соответствие характерно для типа *смешанные леса/другая лесная растительность*. Типы *травянистая растительность* и *обрабатываемые земли* показывают при таком подходе хорошее соответствие, однако в данном случае не учитывается пространственное распределение (локализация) данных типов.

Таким образом, проведенный пространственный анализ двух рассмотренных классификаций показал, что получение достоверных сведений об изменении земельного покрова возможно только для отдельных категорий земель. К ним относятся, прежде всего, вечнозеленые широколиственные леса, вечнозеленые хвойные леса, листопадные широколиственные и листопадные хвойные леса. Для категории “обрабатываемые земли” сравнение возможно с высокой долей погрешности. Не дает адекватных результатов по этим источникам сравнение классов земельного покрова для лесостепной, степной и саванново-редколесной зон, где большая часть территории занята категориями “кустарниковые формации”, “травянистая растительность” и “смешанные леса/другая древесная растительность”.

Таблица 4. Соответствие баз данных UMD и GLC2000 по классам генерализованной легенды

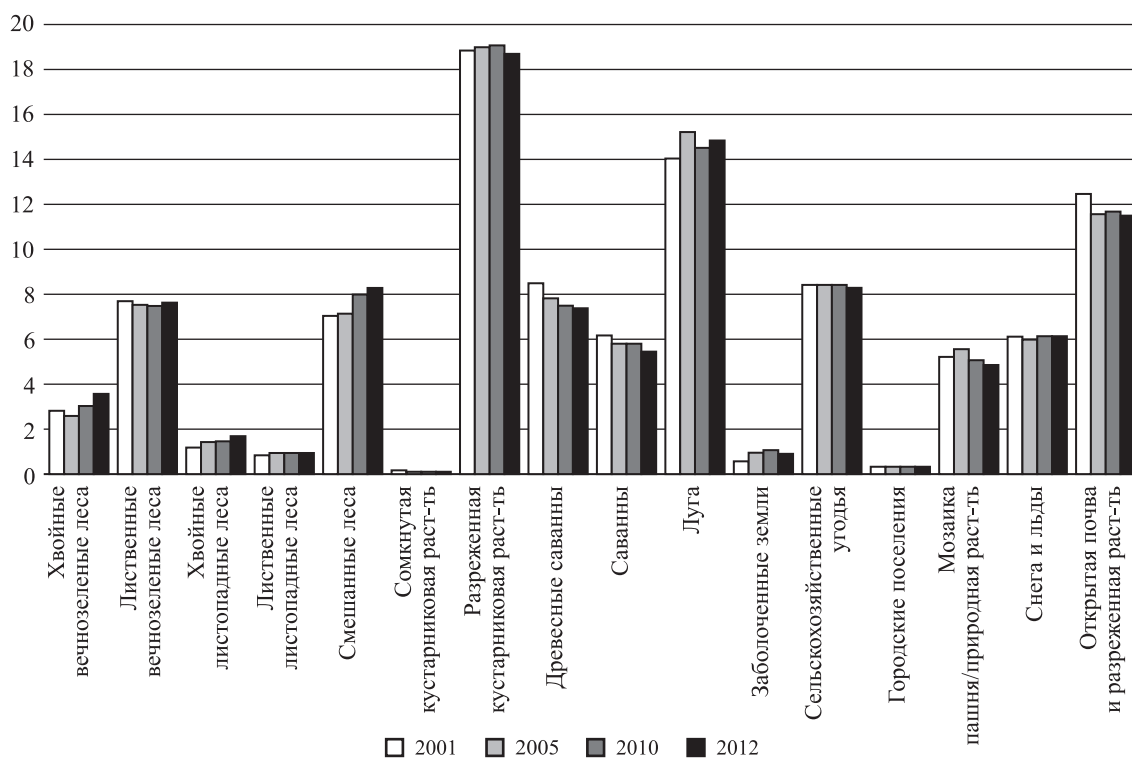
№	Категории генерализованной легенды	Соответствие (%)
5	Смешанные леса/другая лесная растительность	13.80275
10	Земли, лишенные растительности	20.74633
6	Кустарниковые формации	36.06778
9	Городские и застроенные земли	68.35818
3	Листопадные хвойные леса	73.61846
7	Травянистая растительность	77.21328
8	Обрабатываемые земли	82.02163
1	Вечнозеленые хвойные леса	93.42551
2	Вечнозеленые широколиственные леса	98.53853
4	Листопадные широколиственные леса	99.1174

От рассмотренных источников информации выгодно отличаются данные проекта MODIS Land Cover, которые доступны для каждого года за период 2001–2012 гг. Они не нуждаются в использовании переходников по системе классификации земельного покрова, так как изначально основаны на стандартной классификации Международной геосферно-биосферной программы (IGBP), включающей 17 типов (в дополнение к 16 типам, указанным в табл. 1, еще один тип составляют водные поверхности). Исходя из временного диапазона съемки, они могут быть использованы для

определения изменений землепользования за период 2001–2012 гг.

Проведенный попиксельный и покатегорийный анализ данных показал высокую степень их соответствия по всем категориям на срок 2001, 2005, 2010 и 2012 гг. (рисунок).

Проведенный анализ глобальных данных с точки зрения возможностей их применения для картографирования изменений землепользования современных ландшафтов показал ограниченные возможности такого рода исследований. Для

**Рисунок.** Соотношение категорий земельного покрова проекта MODIS Land Cover за 2001, 2005, 2010 и 2012 гг.

однородных источников информации напрямую их можно использовать только на основе данных классификации земельного покрова MODIS Land Cover, которые позволяют корректно сравнивать изменения в границах категорий современных ландшафтов за период 2001–2012 гг. Анализ более длительных по времени изменений может проводиться путем комбинирования с более ранними первичными данными AVHRR, доступными для периода 1982–2006 гг. Подобный подход уже реализован нами, в частности, для лесостепной зоны Европейской равнины [8]. Другим возможным выходом из этой ситуации может быть использование вместо глобальных баз данных для отдельных материков. Они в силу меньшей разнородности генерализуемой информации могут дать более адекватные результаты и послужить основой для динамической классификации современных ландшафтов, где в качестве основного признака будет использован тип изменений земельного покрова.

Классификации современных ландшафтов на основе глобальных баз данных. Возможности использования данных о земельном покрове для классификации современных ландшафтов (СЛ) можно рассматривать с двух позиций: 1) как дифференциацию земельного покрова можно “встроить” в существующие отечественные классификационные схемы; 2) можно ли на основе имеющихся категорий земельного покрова разработать иную классификационную схему СЛ, пригодную для картографирования в ГИС-среде.

1) Очевидно, что рассмотренные в данной статье группировки земельного покрова не дают четкого представления о *степени* трансформации ландшафтов, за исключением категорий “пашни”, “городские и застроенные территории” и “мозаика пашня/природная растительность”. Они характеризуют антропогенно модифицированные ландшафты, хотя разнообразные “мозаики” могут быть характерны и для вторично-производных ландшафтов с относительно слабым или очаговым воздействием, например, в районах подсечно-огневого земледелия.

“Лесные” классы земельного покрова также трудно поддаются встраиванию в существующие типологии СЛ, так как по ДДЗ трудно дифференцировать разные по степени трансформации лесные ландшафты [35]. В категорию “леса...” попадают как первичные (например, хвойные вечнозеленые = таежные леса России и Канады), так и вторично-производные, а также лесохозяйственные и лесоплантационные модификации (например, лесные культуры или плантации масличной пальмы, которые

отражаются на космических изображениях как леса). Для повышения достоверности оценки требуется верификация полученных данных на местности или проверка классификаций для конкретных пикселей. Также высока неопределенность типизации категорий “кустарниковые формации”, “травянистая растительность”, которые могут отражать как природные инварианты степей, пустынь, саванн и пр., так и стадии деградации растительности в ландшафтах в результате пастбищной дигрессии или пожаров, а также культурные пастбища и луга (табл. 5).

Очевидно, что корректное использование данных по земельному покрову для картографирования современных ландшафтов требует обращения к дополнительным источникам информации, в том числе ДДЗ с большим разрешением, подкрепленным полевыми обследованиями, а также статистическими данными. Таким образом, интеграция в существующие классификационные схемы СЛ разнообразных категорий земельного покрова сопряжена с высокой долей неопределенности.

2) Как показывает опыт составления мелко-масштабных ландшафтных карт в Европе и США, с точки зрения операционного удобства и информативности максимальное число группировок индивидуальных типов современных ландшафтов, полученных на основе комбинаций основных тематических слоев, не должно превышать 500 [32]. Поэтому количество используемых категорий земельного покрова, формирующих один из слоев, как правило, сокращается до первого десятка. Среди них в качестве агрегированных атрибутивных категорий в большинстве случаев присутствуют: застроенные территории, пашни, многолетние культуры, пастбища, мозаики сельскохозяйственных земель, леса (иногда с указанием основных лесорастительных типов), кустарники и травянистая растительность, открытые пространства со скудной растительностью или лишенные растительности, переувлажненные земли, водные поверхности.

Основанием для классифицирования современных ландшафтов, выделяемых в том числе на основании указанного довольно узкого набора категорий земельного покрова, вряд ли может служить степень их изменения в результате хозяйственной деятельности (как это видно из табл. 5). Возможным классификационным признаком высокого уровня для них может служить критерий, отражающий преобладающие геоэкологические функции: экосистемные (средорегулирующие), продукционные, производственные /селитебные (табл. 6).

Таблица 5. Соотношение классов баз данных земельного покрова и типов современных ландшафтов

Категории генерализованной легенды UMD и GLC2000	Категории легенды MODIS Land Cover, 2001–2012	Типы современных ландшафтов (1993)
Смешанные леса/другая лесная растительность Листопадные широколиственные леса Вечнозеленые хвойные леса Листопадные хвойные леса Вечнозеленые широколиственные леса	Вечнозеленые хвойные леса Вечнозеленые широколиственные леса Листопадные хвойные леса Листопадные широколиственные леса Смешанные леса	– Условно-коренные лесные – Вторично-производные лесные – Лесохозяйственные модификации – Лесные деградирующие, в т.ч. редколесья – Лесо-плантационные – Садово-плантационные (?)
Травянистая растительность Кустарниковые формации	Сомкнутые кустарниковые формации Разреженные кустарниковые формации Древесные саванны Саванны Злаковники	– Условно-коренные тундровые, степные, лесостепные, саванновые, пустынные – Вторично-производные тундровые, степные, саванновые, пустынные – Пастбищные модификации, улучшенные – Пастбищные модификации, дигрессионные
Обрабатываемые земли	Пашни Мозаика пашня/природная растительность	– Пахотные слабо мелиорируемые – Пахотные мелиорированные – Лесо-пастбищно-пахотные
Земли, лишенные растительности	Городские и застроенные территории	– Городские и индустриальные – Горно-промышленные – Транспортные линейные – Рекреационные (?)
	Вечные снега и ледники	– Условно-коренные
	Территории, практически лишенные растительности	– Условно-коренные – Вторично-производные пустынные
Водные поверхности	Постоянно переувлажненные земли	– Пolderные модификации
	Водные поверхности	– Естественные водоемы и водотоки – Водохозяйственные комплексы

Примечание: составлено авторами.

Первая группа категорий земельного покрова может служить для выделения ландшафтов, которые преимущественно выполняют средообразующие функции и поддерживают биоразнообразие (по классификации экосистемных услуг – регулирующие и поддерживающие) [26]. С ними можно соотнести условно-коренные и вторично-производные ландшафты из классификации 1993 г. По классификации В.А. Николаева (2008) – это условно-коренные, слабоэксплуатируемые и особо охраняемые группы ландшафтов, а также вторичные, длительно-производные (вторичные

лесные, луговые, маквис, саванны и др.). Функционирование таких ландшафтов осуществляется по природным законам, потоки вещества и энергии изменены человеком не существенно, их биомасса и почвы выступают основными резервуарами углерода. Такой подход позволяет выделять и классифицировать ландшафты, выполняющие важные средообразующие функции (например, водообеспечение и сдерживание наводнений, депонирование углерода, регулирование местных климатических условий, сохранение биоразнообразия и др.), механизмы оценки которых пока

Таблица 6. Группировка основных категорий земельного покрова в зависимости от преобладающих геоэкологических функций

Преобладающие геоэкологические функции	Основные категории земельного покрова	Типы современных ландшафтов
1. Экосистемные	<ul style="list-style-type: none"> – Леса – Кустарники и травянистая растительность – Открытые пространства со скудной растительностью или лишенные растительности – Переувлажненные земли – Водные поверхности 	Условно-коренные Вторично-производные
2. Продукционные	<ul style="list-style-type: none"> – Пашни – Многолетние культуры – Пастбища – Мозаики сельскохозяйственных земель – Леса – Переувлажненные земли – Водные поверхности 	Антропогенные модификации ландшафтов
3. Производственные и селитебные	– Застроенные территории	Техногенные ландшафты

Примечание: составлено авторами.

не применяются при разработке стратегий экономической деятельности. Очевидно, что картографирование, классификация и инвентаризация подобных ландшафтов на региональном уровне необходимы для разработки способов интеграции ценности экосистемных услуг и биоразнообразия в экономические отношения [34].

Антропогенно-модифицированные ландшафты, структура и функционирование которых в значительной степени регулируются человеком и которые получают дополнительные энергетические субсидии, в основном, выполняют производственные функции. В них производится разнообразная продукция – сельскохозяйственная, древесная, рыбная и прочие, при этом резко снижено разнообразие видов, развиваются деструктивные процессы, такие ландшафты максимально уязвимы к стихийным бедствиям и изменениям климата. Границы таких ландшафтов подвижны во времени, они определяются, наряду с природными условиями, целым комплексом факторов, имеющих социально-экономическую сущность. В этом смысле, земельный покров хорошо отражает ту реальную ситуацию в картографировании современных ландшафтов, когда возникают новые границы, не всегда совпадающие с рубежами природных геосистем. На примере агроландшафтов это показано О.Н. Трапезниковой [7].

При подобном подходе всего нескольких категорий земельного покрова могут быть соотнесены с более чем одним типом современных ландшафтов: леса (об этом говорилось выше), водные поверхности и переувлажненные земли. Последние, например, соответствуют как условно-коренным ландшафтам заболоченных низменностей Западной Сибири, так и к высоко окультуренным полдерным землям Нидерландов.

Но и в данном случае для создания иерархической классификации с детализацией типов антропогенных модификаций на основе категорий земельного покрова также необходима соответствующая инфраструктура пространственных данных на глобальном уровне и привлечение региональных источников информации.

Закключение. Отечественная школа мелкомасштабного картографирования современных ландшафтов до конца 1990-х годов оставалась уникальной в своем роде, как по территориальному охвату территории, так и комплексности подходов. Однако широкое распространение глобальных баз данных, в том числе и о состоянии земельного покрова, делает необходимым переосмысление ее теоретического и методического багажа, в том числе и с учетом новых источников информации.

Результаты, представленные в данной статье, позволяют наметить два основных пути использования глобальных баз данных земельного покрова для развития мелкомасштабного картографирования. Первый из этих путей касается возможностей создания динамической классификации современных ландшафтов на основе типологии изменений землепользования за период 1980–2010 гг. Так, по изменениям земельного покрова в регионах со сходной природно-климатической обстановкой можно проследить следующие трансформации структуры современных ландшафтов: 1) переход из категории условно-коренных в категорию природно-антропогенных и/или техногенных комплексов; 2) радикальную смену модификации ландшафта, связанную с изменением его функционального назначения (например, переход в категорию пахотных угодий или застроенных земель); 3) интенсификацию использования антропогенно-модифицированных ландшафтов (например, переход от “мозаики” к обрабатываемым землям); 4) восстановление (ренатурализацию) ландшафтов за счет расширения лесов и кустарниковой растительности; 5) стабильное состояние.

Второе, не менее важное, направление состоит в переосмыслении подходов к классификации современных ландшафтов, прежде всего на глобальном уровне, которые диктуются наличными источниками информации. В ходе проведенного исследования выявлено, что данные о земельном покрове имеют ценность не столько для построения классификаций, сколько для выявления экологически значимых трендов, обусловленных флуктуациями землепользования. Важно, что анализ динамики земельного покрова позволяет выявлять движущие силы этих изменений (социально-экономические, политические, научно-технологические и экологические), которые влияют на выполнение ландшафтами разнообразных экологических функций и экосистемных услуг. Они и могут лечь в основу новой классификации.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований 15-05-06186.

Acknowledgements. The study is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 15-05-06186).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Б.А., Калуцкова Н.Н., Миланова Е.В., Солнцев В.Н. Ландшафтный подход к изучению динамики земельного покрова / землепользования //

- Вестник Моск. гос. ун-та. Сер. геогр. 2006. № 5. С. 36–41.
2. Географические пояса и зональные типы ландшафтов мира (карта) / Под ред. Е.Н. Лукашовой. М.: ГУГК, 1988.
3. Геоэкологическое состояние ландшафтов суши // География, общество, окружающая среда. Т. 2. Функционирование и современное состояние ландшафтов. Ч. 2. М.: Изд. дом “Городец”, 2004. С. 299–476.
4. Климанова О.А. Выделение геоэкологических регионов в Африке как составляющая территориального планирования устойчивого развития // Региональная экономика: теория и практика. 2015. № 16. С. 34–45.
5. Николаев В.А., Копыл И.В., Сысеев В.В. Природно-антропогенные ландшафты (сельскохозяйственные и лесохозяйственные). М.: Географический фак-т Моск. гос. ун-та, 2008. 160 с.
6. Пузаченко Ю.Г., Санковский А.Г., Козлов Д.Н., Сиунова Е.В. Соотношение ландшафтообразующих факторов на уровне биосферы // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: Матер. XI Междунар. ландшафтной конф. М.: Географический факультет Моск. гос. ун-та, 2006. С. 71–73.
7. Трапезникова О.Н. Геоэкологическая концепция агроландшафта // Изв. РГО. 2014. Вып. 1. С. 73–85.
8. Хазиева Е.С. ГИС моделирование изменений земельного покрова в лесостепной зоне Русской равнины на основе глобальных баз данных // Геодезия и картография. 2015. № 10. С. 43–50.
9. Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov D.V., and Isaev A.S. A new SPOT4- VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia // International J. of Remote Sensing. 2003. № 9 (24). P. 1977–1982.
10. Bartholomé E. and Belward A.S. GLC2000: A new approach to global land cover mapping from Earth Observation data // International J. of Remote Sensing. 2005. V. 26. P. 1959–1977.
11. Cabral A., de Vasconcelos M.J.P., Pereira J.M.C. Bartholomé É., and Mayaux P. Multitemporal compositing approaches for SPOT-4 VEGETATION data // International J. of Remote Sensing. 2003. V. 24. P. 3343–3350.
12. Gira C., Zhub Z., and Reeda B. A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets // Remote Sensing of Environment. 2005. № 94. P. 123–132.
13. DISCover land cover <http://daac.ornl.gov/> [Electronic Resource]. URL: <http://glcf.umd.edu/data/lc/> (date of access: 20.06.2014).
14. Forest Cover Mapping and monitoring with NOAA-AVHRR and other coarse spatial resolution sensors. Forest Resources Assessment Programme. 2000. Working Paper 29.

15. Freund Y. Boosting a weak learning algorithm by majority // *Information and Computation*. 1995. № 2 (121). P. 256–285.
16. Friedl M.A., McIver D.K., Hodges J.C.F., Zhang X.Y., Muchoney D., Strahler A.H., Woodcock C.E., Gopal S., Schneider A., Cooper A., Baccini A., Gao F., and Schaaf C. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results // *Remote Sensing of Environment*. 2002. № 1–2 (83). P. 287–302.
17. GEOS. The Global Earth Observation System of Systems GEOS10- Year Implementation Plan. 2005 [Electronic Resource]. URL: <http://www.earthobservations.org> (date of access: 20.05.2015).
18. Global Land Cover 2000 [Electronic Resource]. URL: <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php> (date of access: 20.05.2015).
19. GlobCover [Electronic Resource]. URL: http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php (date of access: 20.03.2015).
20. Hansen M.C., Defries R.S., Townshend J.R.G., and Sohlberg R. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach // *International Journal of Remote Sensing*. 2000. № 7 (216). P. 1331–1364.
21. Herold M., Mayaux P., Woodcock C.E., Baccini A., and Schmullius C. Some challenges in global land cover mapping: An assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets // *Remote Sensing of Environment*. 2008. V. 112. P. 2538–2556.
22. Herold M. and Schmullius C. Report on the Harmonization of Global and Regional Land Cover Products. Workshop report at FAO, Rome, Italy, 14–16 July 2004. GOF-C-GOLD report series. V. 20. URL: <http://www.fao.org/gtos/gofc-gold/series.html> (date of access: 20.05.2015).
23. Jansen L.J.M. Thematic harmonisation and analysis of Nordic data sets into Land Cover Classification System LCCS terminology / In: G. Groom (Ed.). *Developments in strategic land-landscape monitoring for the Nordic countries ANP*. Copenhagen: Nordic Council of Ministers. 2004. V. 705. P. 91–118.
24. Latifovic R. and Olthof I. Accuracy assessment using sub-pixel fractional error matrices of global land cover products derived from satellite data // *Remote Sensing of Environment*. 2004. V. 90. P. 153–165.
25. Loveland T.R., Reed B.C., Brown J.F., Ohlen D.O., Zhu Z., Yang L., and Merchant J.W. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data // *International J. of Remote Sensing*. 2000. 216–7. P. 1303–1330.
26. Millenium Ecosystems Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005. 153 p.
27. MODIS Land Cover [Electronic Resource]. URL: <http://glcf.umd.edu/data/lc/> (date of access: 20.06.2015).
28. Mucher C.A., Klijn J.A., Wascher D.M., and Schamine'e J.H.J. A new European Landscape Classification (LAN-MAP): A transparent, flexible and user-oriented methodology to distinguish landscapes // *Ecol. Indicators*. 2010. № 10. P. 87–103.
29. Muchoney D., Strahler A., Hodges J., and LoCastro J. The IGBP DISCover Confidence Sites and the System for Terrestrial Ecosystem Parameterization: Tools for Validating Global Land Cover Data // *Photogrammetric, Engineering and Remote Sensing*. 1999. № 9 (65). P. 1061–1067.
30. Roy P.S. and Joshi P.K. Tropical Forest Cover Assessment using Wide Field Sensor IRS –1C // *NNRMS(B)*. 2000. № 25. P. 22–29.
31. Sato H.P. and Tateishi R. Proposal for global land cover guideline legend based on FAO's LCCS // *Asian Journal of Geoinformatics*. 2002. V. 3. № 2 (3). P. 35–45.
32. Sayre R., Dangermond J., Frye C., Vaughan R., Aniello P., Breyer S., Cribbs D., Hopkins D., Nauman R., Derrenbacher W., Wright D., Brown C., Convis C., Smith J., Benson L., Paco VanSistine D., Warner H., Cress J., Danielson J., Hamann S., Cecere T., Reddy A., Burton D., Grosse A., True D., Metzger M., Hartmann J., Moosdorf N., Dürr H., Paganini M., DeFourny P., Arino O., Maynard S., Anderson M., and Comer P. *A New Map of Global Ecological Land Units – An Ecophysiographic Stratification Approach*. Washington, DC: Association of American Geographers. 2014. 46 p.
33. Smith J.H., Wickham J.D., Stehman S.V., and Yang L. Impacts of patch size and land-cover heterogeneity on thematic image classification accuracy // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2002. V. 68. P. 65–70.
34. TEEB. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature. A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*. 2010. 49 p.
35. Tropek R., Sedláček O., Beck J., Keil P., Musilová Z., Šímová I., and Storch D. Comment on “High-resolution global maps of 21st-century forest cover change” // *Science*. 30 May 2014. V. 344. Issue 6187. 981 p.
36. UMD Land Cover Classification [Electronic Resource]. URL: <http://glcf.umd.edu/data/landcover/> (date of access: 20.04.2015).
37. Vancutsem C., Defourny P., and Bogaert P. Processing methodology for full exploitation of daily VEGETATION data // GLC2000 “first results” workshop. Ispra. 18–22 March 2002.
38. Walker D.A., Gould W.A., Maier H.A., and Raynolds M.K. The Circumpolar Arctic Vegetation Map: AVHRR-derived base maps, environmental controls, and integrated mapping procedures // *International J. of Remote Sensing*. 2002. V. 23. № 21. P. 4551–4570.
39. *World Map of Present-Day Landscapes* / Milanova E.V., Kushlin A.V., Middleton N.J. (Ed.). Moscow: Soyuzkarta Publishers, 1993.