

**О.А. КЛИМАНОВА, Д.А. ТРЕТЬЯЧЕНКО, Н.Н. АЛЕКСЕЕВА,
М.А. АРШИНОВА, Е.Ю. КОЛБОВСКИЙ**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, Россия,
oxkl@yandex.ru, daria.trt@gmail.com, nalex01@mail.ru, amari_geo@mail.ru, kolbowsky@mail.ru

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ГЛОБАЛЬНОМ УРОВНЕ В 2001–2012 ГГ.: КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ

Представлены результаты инвентаризации и анализа трансформации земельного покрова мира за 2001–2012 гг. Выявлено 246 типов переходов между категориями земельного покрова по классификации Международной геосферно-биосферной программы, в том числе 229 типов изменений со сменой категории земельного покрова. Плотность изменений выше всего в зонах тайги и степей Евразии и Северной Америки, саванн и редколесий Африки и Южной Америки, арктоундр Северной Америки и Евразии. В природных зонах со сложной структурой земельного покрова (зоны редколесий, кустарников и саванн тропического пояса и жестколистных летнесухих редколесий и кустарников субтропического пояса) выявлено максимальное количество типов переходов (по 17) и типов изменений (10 и 8 соответственно). Рассчитан вклад отдельных процессов в структуру изменений земельного покрова в границах природных зон, выделены наиболее существенные направления трансформации земельного покрова для каждой природной зоны. Полученные результаты позволяют оценить степень и характер трансформации земельного покрова в границах природных зон и выявить на этой основе ведущие тренды землепользования, которые способны значительно повлиять на структуру и динамику современных ландшафтов суши Земли.

Ключевые слова: природная зона, геопространственные данные, тип перехода, тип изменений, процессы трансформации.

**O.A. KLIMANOVA, D.A. TRETYACHENKO, N.N. ALEKSEEVA,
M.A. ARSHINOVA, E.YU. KOLBOVSKII**

Lomonosov Moscow State University,
119991, Moscow, Leninskie gory, 1, Russia,
oxkl@yandex.ru, daria.trt@gmail.com, nalex01@mail.ru, amari_geo@mail.ru, kolbowsky@mail.ru

LAND COVER TRANSFORMATION AT A GLOBAL LEVEL DURING 2001–2012: MAPPING AND ANALYSIS OF CHANGES

Presented are the results from taking an inventory and analyzing the land cover transformation during 2001–2012. The study revealed 246 types of transitions between land cover classes according to the International Geosphere-Biosphere Programme, including 229 types of changes with a change of land cover classes. The density of changes is highest in the taiga and steppe zones of Eurasia and North America, savannas and woodlands of Africa and South America, the Arctic tundras of North America and Eurasia. It was found that the natural zones with a complex structure of land cover (open woodlands, shrublands and savannas of the tropical belt and hard-leaved summer-dry open woodland and shrubs of the subtropical belt) have the largest number of transition types (17) and types of changes (10 and 8, respectively). The contribution from the particular transformation processes to the structure of land cover changes within the natural zones was calculated to show the principal land cover trajectories for each natural zone. The findings provide a means of assessing the degree and nature of land cover transformation within the natural zones and identifying, on this basis, the leading land use trends which would have a considerable influence on the structure and dynamics of present-day land surface landscapes across the globe.

Keywords: global land cover, natural zone, geospatial data, type of transition, type of changes, transformation processes.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В ходе отечественных мелкомасштабных ландшафтных исследований накоплен уникальный опыт картографирования и анализа процессов трансформации ландшафтов под воздействием антропогенных факторов на глобальном уровне. В 1990-е гг. были разработаны принципы классификации и картографирования современных ландшафтов мира, которые базируются на степени изменения природных геосистем в процессе хозяйственных воздействий [1]. Контурная часть карты современных ландшафтов в значительной степени опиралась на данные карты «Земельные угодья мира», составленной в м-бе 1:15 000 000 [2]. На ней детально отражена география главных видов земельных угодий — пашен, пастбищ, многолетних насаждений, лесов, а также их сочетаний, которые были дифференцированы в соответствии с поясно-зональной структурой суши Земли.

С 2000 г. в мировой практике научных исследований все большее значение приобретает использование геопространственных баз данных земельного покрова (land cover) для картографирования характера землепользования в конкретный период времени [3, 4]. Они содержат информацию о пространственном размещении типов растительности естественного и антропогенного происхождения, застроенных территорий, земель, не покрытых растительностью (пустошей, ледников и др.), водоемов, водотоков и переувлажненных земель [5]. Значительно менее разработана методология использования разновременных глобальных данных для анализа текущих изменений окружающей среды, поскольку такого рода исследования сталкиваются с объективными методическими сложностями [6, 7].

Во-первых, интерпретация материалов о земельном покрове, полученных при дешифрировании данных дистанционного зондирования, поставляемых разными сенсорами, привела к различному номинированию сходных категорий земельного покрова [8]. Это затрудняет прямое сопоставление разновременных карт и требует предварительной гармонизации легенд [9]. Во-вторых, по-разному трактуется и содержание одних и тех же категорий. Так, категория «злаковники» (grassland), фигурирующая в большинстве легенд карт земельного покрова глобального масштаба [10–12], может подразумевать и малонарушенные травянистые формации растительности, и стадию залежной сукцессии в лесной зоне, и периодически затопливаемые злаковники в тропической зоне. Аналогично обстоит дело и с категорией «открытые кустарниковые формации» (open shrubland), которая встречается одновременно в зонах лесотундр, лесостепей, саванн и редколесий, а также может представлять собой посадки низкорослых деревьев на лесных плантациях. Очевидно, что неопределенность исходных трактовок и различия в классификаторах (каковыми, по сути, являются легенды карт) существенно осложняют интерпретацию процессов трансформации земельного покрова [13].

Один из путей преодоления этих затруднений — использование независимых операционно-территориальных единиц (ОТЕ), относительно которых проводятся анализ, оценка и картографирование изменений. В качестве таких ОТЕ могут выступать природные комплексы (природные регионы, ландшафты), государства, их отдельные части, а также территориальные единицы смешанного (природно-антропогенного) генезиса. Для континентальной части США, например, последовательности смен категорий земельного покрова с 1850 по 2000 г. были рассчитаны для каждого из 84 экорегионов [14].

На глобальном уровне для анализа трансформации земельного покрова целесообразно использовать контуры поясно-зональной структуры земного шара, представляющие собой единицы независимой природной матрицы географической оболочки [15]. Применение их в качестве ОТЕ позволяет получить географически привязанные данные о трансформации земельного покрова, которые, в свою очередь, расширяют наши представления о динамике современных ландшафтов конкретных поясов и зон. В связи с вышеизложенным цель исследования — инвентаризация процессов трансформации земельного покрова мира за 2001–2012 гг. на основе общедоступных геопространственных данных для выявления основных направлений изменений в границах единиц поясно-зональной дифференциации земного шара.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве источника информации о состоянии земельного покрова за 2001–2012 гг. использовались открытые данные Global Land Cover Facility [16], полученные на базе съемки MODIS с разрешением 5' × 5'. Они выбраны в качестве наиболее адекватного источника на основании сравнения серии разновременных данных земельного покрова глобального уровня [5]. Легенда к карте земельного покрова включает 17 классов (от 0 до 16), соответствующих классификации Международной геосферно-биосферной программы (МГБП) [17]. Каждая категория имеет четкие классификационные критерии (высота древесного и кустарникового ярусов, сомкнутость древостоя и т. п.) (табл. 1).

Классы земельного покрова/землепользования, принятые в Международной геосферно-биосферной программе (IGBP), по [17]

Класс		Описание
Номер	Наименование	
1	Вечнозеленые хвойные леса	Сомкнутость древостоя >60 %, высота деревьев >2 м
2	Вечнозеленые широколиственные леса	Сомкнутость древостоя >60 %, высота деревьев >2 м
3	Листопадные хвойные леса	Сомкнутость древостоя >60 %, высота деревьев >2 м. Для деревьев характерно сезонное опадание хвои
4	Листопадные широколиственные леса	Сомкнутость древостоя >60 %, высота >2 м. Для деревьев характерно сезонное опадание листьев
5	Смешанные леса	Сомкнутость древостоя >60 %, высота деревьев >2 м. Состоят из древесных сообществ предыдущих четырех типов, ни один из которых не занимает более 60 % площади ареала
6	Сомкнутые кустарниковые формации	Сомкнутость кустарникового яруса >60 %, высота отдельных деревьев <2 м. Кустарники могут быть как листопадными, так и вечнозелеными
7	Разреженные кустарниковые формации	Сомкнутость кустарникового яруса от 10 до 60 %, высота отдельных деревьев <2 м. Кустарники могут быть как листопадными, так и вечнозелеными
8	Древесные саванны	Сомкнутость древесного покрова 30–60 %, высота деревьев >2 м на фоне преобладания травянистой и низкорослой растительности
9	Саванны	Сомкнутость древесного покрова 10–30 %, высота деревьев >2 м на фоне преобладания травянистой и низкорослой растительности
10	Злаковники	Травянистые типы растительного покрова с деревьями и кустарниками, занимающими <10 % площади
11	Постоянно переувлажненные угодья	Сочетание территорий, покрытых водой и травянистой или древесной растительностью. Растительность может произрастать как в соленой, так и в солоноватой и пресной воде
12	Пахотные угодья	Обрабатываемые угодья с возделыванием культур по переложной и паровой системам (возможно получение одного или нескольких урожаев). Многолетние древесные культуры попадают в категории соответствующих лесных или кустарниковых типов земельного покрова/землепользования
13	Городские земли	Территории, занятые постройками или другими искусственными сооружениями
14	Мозаика пашен и природной растительности	Сочетание пашен, лесов, кустарников и злаковников, где ни одна из категорий не занимает >60 % площади ареала
15	Вечные снега и ледники	Территории, в течение всего года покрытые снегом и льдом
16	Территории, лишенные растительности	Территории с незадернованными почвами, незакрепленными песками, выходами скальных пород или снегами, которые ни в один из сезонов года не покрываются растительностью более чем на 10 % их площади
0	Водные объекты	Океаны, моря, реки, водохранилища и озера (пресные и соленые)

Границы природных зон, в которых проводился анализ трансформации земельного покрова, взяты из электронного атласа мира ArcAtlas: Our Earth [18]. Наряду с ними на исходной карте имеются границы географических поясов, зональных типов ландшафтов на равнинах и высотных спектров ландшафтов в горах, а также интразональных ландшафтов (речных долин, дельт, мангров, солончаков, ледников и заболоченных территорий). Согласно объяснительной записке к карте, ареалы природных зон характеризуются единством гидротермических, почвенно-географических, геоботанических особенностей, что делает их наиболее подходящей ОТЕ для проведения пространственно-временного анализа земельного покрова. В отличие от категорий земельного покрова, природные зоны имеют в качестве атрибута принадлежность к географическому поясу. Всего на карте выделено 26 природных зон, относящихся к семи географическим поясам. Исходные данные указанной базы были спроецированы в равновеликую цилиндрическую проекцию. Размер ячейки выходного раstra, т. е. минимальный ареал дальнейшего анализа, составляет 1 км² и обусловлен разрешением исходного раstra 5' × 5'.

В качестве среды для анализа использован ГИС-пакет ArcGIS Desktop for Desktop Spatial Analyst и инструменты:

– «Комбинировать» (Combine) для анализа растровых данных Land Cover Change и выявления типов и ареалов изменений, произошедших в земельном покрове с 2001 по 2012 г.;

– «Таблица площадей» (Tabulate Table) для совместного анализа растровых и векторных данных и подсчета площадей переходов земельного покрова с 2001 по 2012 г. и их типов в пределах природных зон.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основными результатами проведенного исследования стали: 1) карта ареалов изменений земельного покрова за 2001–2012 гг. в границах природных зон; 2) статистические данные, характеризующие типы переходов между различными категориями земельного покрова (в целом и по природным зонам); 3) классификация процессов трансформации, проведенная на основе сопряженного анализа типов переходов земельного покрова и поясно-зональных условий; 4) диаграммы, отражающие вклад каждого из процессов трансформации в структуру изменений земельного покрова в границах природной зоны.

Для анализа полученных результатов введем следующие понятия:

– тип перехода — сочетание двух любых цифровых индексов в соответствии с классификацией МГБП (см. табл. 1), где первая цифра соответствует типу земельного покрова в 2001 г., а вторая — в 2012 г. (например, 1_1 — вечнозеленые хвойные леса–вечнозеленые хвойные леса; 12_5 — пашни–смешанные леса);

– тип изменений — сочетание двух разных цифровых индексов (выше 12_5), свидетельствующих о трансформации категорий земельного покрова.

На карте (рис. 1) цветом показаны типы земельного покрова/землепользования по состоянию на 2012 г., границы природных зон изображены черной сплошной линией, цифровые индексы соответствуют зонам; области высотной поясности обозначены штриховкой. Ячейки, где произошли изменения земельного покрова, показаны красным цветом.

Степень плотности изменений земельного покрова неравномерна в разных природных зонах/географических поясах и на разных материках. Максимальное скопление ячеек красного цвета отмечается в зонах тайги (см. рис. 1, № 5) и степей (№ 9) Евразии и Северной Америки, в зонах саванн и редколесий (№ 25) Африки и Южной Америки, в зонах арктической тундры (№ 2) Северной Америки и Евразии. В других природных зонах ареалы трансформации имеют дисперсное распространение и существенно меньше по площади. Всего в результате инвентаризации зафиксировано 246 типов переходов из потенциально возможных 289 (матрица 17×17), из них 229 — это типы изменений, отражающие смену категории земельного покрова.

Для дальнейшей классификации типов изменений с целью выявления процессов трансформации потребовалась их генерализация. Первоначально использовались два критерия — площадь ареала и логическая корректность перехода. Последовательная выбраковка ареалов с площадью менее 100, 200, 400, 1000 км² не дала желаемого результата. Кроме того, более 60 % ареалов площадью менее 100 и 200 км² соответствовали маловероятным переходам (вечнозеленые леса–вечные снега, злаковники–вода и т. п.). Исходя из подобного эмпирического анализа и целей исследования, в данной работе значимыми для анализа считаются типы переходов, занимающие 1 % и более от площади природной зоны (табл. 2).

На долю таких типов переходов в разных зонах приходится от 84,3 (смешанные леса и редколесья субтропического пояса) до 98,4 % (полупустыни тропического пояса) площади зоны (см. табл. 2, колонка 3). Этот показатель у пустынных и редколесных зон выше, чем у лесных, что косвенно свидетельствует о большей фрагментированности их земельного покрова под действием природных и антропогенных факторов. Еще одна закономерность: в зонах с более сложной структурой земельного покрова выше число типов переходов и типов изменений (см. табл. 2, колонки 7 и 8). Максимальной численностью типов переходов характеризуются зоны редколесий, кустарников и саванн тропического пояса и жестколистных летнесухих редколесий и кустарников субтропического пояса — по 17, при этом для них велико и число типов изменений (10 и 8 соответственно). Столь же значительно разнообразие изменений земельного покрова в зоне тайги умеренного пояса (см. рис. 1, № 5).

На основании количественных данных о смене категорий земельного покрова за 2001–2012 гг. (см. табл. 2, колонка 4) все природные зоны могут быть разделены на три группы, в которых изменения земельного покрова затронули: 1) менее 10 % площади зоны — 6 зон; 2) от 10 до 20 % — 11 зон; 3) более 20 % — 9 зон. Среди относительно стабильных (первая группа) есть как огромные (например, тропические пустыни), так и сравнительно небольшие по площади зоны (степи прохладных плоскогорий). Корреляция между площадью природной зоны и степенью изменений внутри нее отсутствует. Выявлена более существенная связь между климатическими условиями конкретной зоны и степенью трансформации земельного покрова. Третья группа зон (с наибольшей долей изменений) включает

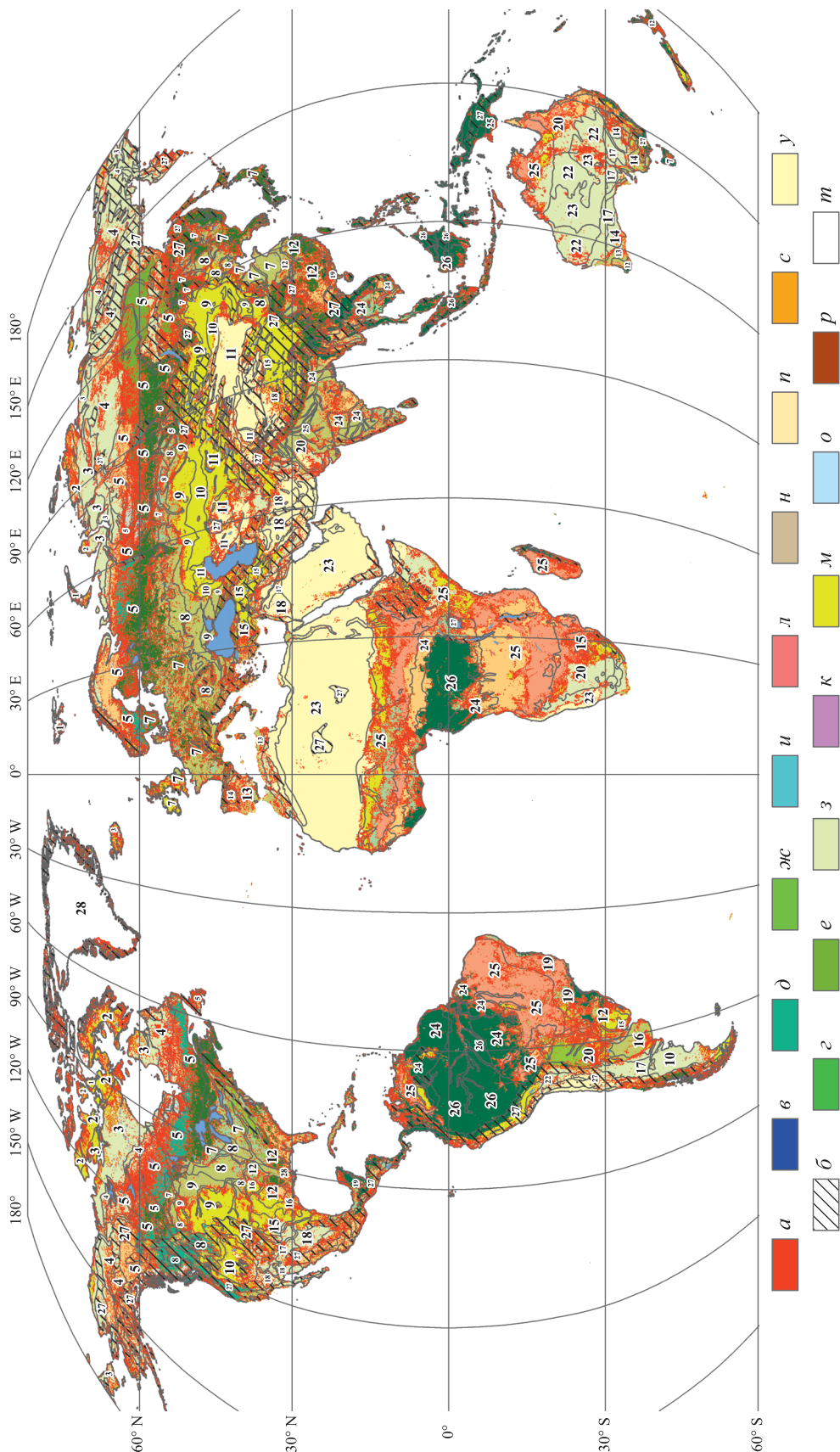


Рис. 1. Ареалы изменений земельного покрова/землепользования с 2001 по 2012 г.

Природные зоны: 1–26 — см. табл. 2. 27 — области высотной поясности. 28 — интразональные ландшафты. а — ареалы изменений с 2001 по 2012 г.; б — ареалы высотной поясности. Тип земельного покрова/землепользования: в — вода, г — вечнозеленые хвойные леса, д — вечнозеленые широколиственные леса, е — опадающие хвойные леса, ж — листопадные широколиственные леса, з — смешанные леса, и — сомкнутые кустарниковые формации, к — разреженные кустарниковые формации, л — древесные саванны, м — саванны, н — злаковники, о — постоянно переувлажненные земли, п — пашни, р — городские и застроенные территории, с — мозаика пашня/природная растительность, т — снега, у — территории, практически лишенные растительности.

Изменение земельного покрова в границах природных зон за 2001–2012 гг.

Номер	Природная зона	Площадь зоны, тыс. км ²	Значимые (>1 %) переходы, % от площади зоны			Значимые типы переходов	
			всего	без смены категории	со сменой категории	всего	в том числе типы изменений
1	Полярные пустыни (Аркт. и Ант.)	283,5	98,28	81,4	16,88	8	5
2	Арктотундры (Аркт. и Ант.)	1354,6	96,55	75,78	20,77	8	4
3	Тундры (СП)	2875,1	96,31	88,87	7,44	5	2
4	Лесотундры (СП)	3435,7	94,96	81,98	12,98	11	6
5	Тайга (У)	9681,4	88,24	69,82	16,52	16	9
6	Редколесья и кустарники (У)	41,6	96,73	84,26	12,47	7	4
7	Смешанные и широколиственные леса (У)	6790,5	90,88	80,43	10,45	10	3
8	Лесостепи (У)	2933,5	94,44	87,06	7,39	8	3
9	Степи (У)	3597,6	93,72	86,52	9,84	4	2
10	Полупустыни (У)	2624,2	96,54	90,64	5,9	8	4
11	Пустыни (У)	2489,7	94,28	89,47	4,81	4	2
12	Смешанные леса и редколесья (СТ)	4062,6	84,35	76,43	6,57	12	9
13	Жестколистные летнесухие леса, редколесья и кустарники (СТ)	1569,2	88,37	75,07	13,3	17	8
14	Полупустыни (СТ)	2515,8	96,25	91,84	4,41	7	4
15	Пустыни (СТ)	2741,5	96,15	86,62	9,52	8	4
16	Редколесья и кустарники (СТ)	930,1	91,7	79,78	11,92	11	4
17	Степи (СТ)	1582,8	89,16	75,52	13,63	13	5
18	Прерии (СТ)	834	91,59	79,02	12,57	8	3
19	Пустыни (Т)	13168,9	97,33	96,18	1,15	3	1
20	Полупустыни (Т)	2002,8	98,45	92,81	5,64	5	3
21	Степи прохладных плоскогорий (Т)	121,7	97,94	94,52	3,42	5	2
22	Редколесья, кустарники и саванны (Т)	3810,3	88,36	72,83	15,53	17	10
23	Вечнозеленые и полувечнозеленые леса (Т)	1909,4	90,18	75,84	14,34	14	7
24	Постоянно и переменно влажные вечнозеленые, полувечнозеленые и листопадные леса (СЭ)	8256,6	89,36	82,02	7,34	10	5
25	Саванны и редколесья (СЭ)	15948,4	88,78	80,52	8,27	14	6
26	Вечнозеленые леса (Э)	7408,7	94,50	90,97	3,53	5	2
	Интразональные ландшафты	8979,3	—	—	—	—	—

Примечание. Географические пояса: Аркт. и Ант. — арктический и антарктический, СП — субполярный, У — умеренный, СТ — субтропический, Т — тропический, СЭ — субэкваториальный, Э — экваториальный. Прочерк — нет данных.

пять зон субтропического пояса (не вошли пустыни и полупустыни), две лесные и редколесные зоны тропического пояса, по одной зоне умеренного (тайга) и полярного (арктотундра) поясов.

В зависимости от поясно-зональных условий и характера перехода между категориями все значимые (более 1 % от площади зоны) типы изменений объединены в 13 групп процессов трансформации земельного покрова (табл. 3). Характеристика процессов соответствует содержанию легенды карты земельного покрова [17] и в значительной степени отражает трансформацию растительности, расширение пашни и изменения в снежном покрове. Отмеченные процессы можно разделить на три группы: уникальные — значимые только для одной-двух природных зон; широко распространенные — значимые для 11–13 зон и отмеченные в пределах хотя бы двух зон каждого географического пояса; специализированные — значимые для 6–9 зон.

К первой группе относятся процессы сокращения проективного покрытия растительности в зонах, переходных к пустыням (см. табл. 3, № 12), и изменение породного состава лесов (№ 7). Первый наблюдается в зоне пустынь субтропического пояса, второй — в зоне тайги. Такие процессы, как увеличение площадей, занятых вечными снегами, и расширение площади деятельного слоя в полярных поясах, отмечены только в пределах зон полярных пустынь и арктотундр. К этой же группе относятся и процессы саваннизации, происходящие в зонах вечнозеленых и полувечнозеленых лесов тропического и субэкваториального поясов.

Процессы трансформации и соответствующие им типы изменений

Номер	Процесс	Типы изменений
1	Увеличение площадей, занятых вечными снегами	16_15, 0_15, 10_15
2	Увеличение площадей деятельного слоя в полярных зонах	15_10
3	Увеличение доли древесной растительности (с 10–30 до 30–60 %) в зонах всех типов	9_8, 7_8, 7_9, 10_9
4	Снижение доли кустарниковых формаций (с 10–60 до <10 %) в нелесных зонах	7_10, 14_10
5	Заращение земель, лишенных растительности (в зонах всех типов)	16_10, 16_7
6	Закустаривание	8_7, 9_7, 10_7
7	Изменение породного состава лесов	1_5, 5_1
8	Увеличение доли лесной растительности с 30–60 до >60 % в лесных зонах	8_1, 8_3, 8_5, 9_1, 8_2, 8_4, 14_2
9	Деградация древесной растительности с увеличением доли открытых пространств в нелесных зонах	8_10, 9_10, 2_9, 2_14, 8_9, 8_14, 9_14
10	Распашка	10_12, 7_12, 10_14, 14_12
11	Заращение регулярно обрабатываемых угодий (в отдельных случаях возможна смена возделываемых культур)	12_5, 12_10, 12_14, 12_7, 12_8
12	Сокращение проективного покрытия растительности в зонах, переходных к пустыням (опустынивание)	7_16
13	Саваннизация	14_8, 14_9

Примечание. Нумерация категорий земельного покрова в типах изменений соответствует номерам категорий земельного покрова/землепользования в табл. 1.

Наиболее распространены типы переходов, отражающие трансформацию кустарниковых сообществ, земель, лишенных растительности, и регулярно обрабатываемых угодий (см. табл. 3, № 4–6, 11). Снижение доли кустарниковых формаций (№ 4) и закустаривание (№ 6) в пределах ряда зон происходят как параллельно (в тундрах, редколесьях и кустарниках умеренного пояса, степях прохладных плоскогорий), так и по отдельности. Например, снижение доли кустарниковых формаций (№ 4) значимо в зоне степей, а закустаривание (№ 6) — в зонах полупустынь тропического пояса, редколесий и кустарников субтропического пояса.

Вклад рассмотренных процессов в структуру трансформации земельного покрова каждой из природных зон представлен на рис. 2. Диаграмма иллюстрирует наиболее существенные траектории трансформации за 2001–2012 гг.

В пустынных зонах умеренного и тропического поясов наиболее выражены процессы зарастания земель, лишенных растительности, причем в умеренном поясе их доля от площади зоны существенно выше (4,81 %) по сравнению с тропическим (1,15 %). Полупустынные зоны умеренного и тропического поясов демонстрируют сходный спектр процессов — зарастание земель, лишенных растительности, и закустаривание, однако в полупустынях умеренного пояса эти процессы сопровождаются также снижением доли кустарниковых формаций и зарастанием обрабатываемых угодий (возможно, ранее орошаемых). Для полупустынь субтропического пояса типичен противоположный тренд — сокращение проективного покрытия растительности, т. е. фактически активизация процессов опустынивания. В лесостепных и степных зонах динамика характеризуется увеличением распашки, но наряду с этим фиксируются и ареалы, где обрабатываемые земли забрасываются. В лесах экваториальной зоны отмечается как увеличение доли лесной растительности, так и ее деградация. В таежной зоне и зоне смешанных и широколиственных лесов структура изменений определяется увеличением доли лесной растительности и зарастанием ранее обрабатываемых угодий.

На основании полученных результатов можно выявить ведущие тренды землепользования за 2001–2012 гг., проявляющиеся в глобальном масштабе и способные повлиять на структуру и динамику современных ландшафтов. В отличие от большинства аналогичных исследований [19–21], выявленные нами типы переходов и изменений охватывают весь спектр категорий земельного покрова и процессов трансформации и дают представление об основных траекториях развития не только антропогенно обусловленных, но и природных категорий земельного покрова. Использование достаточно короткого (10 лет) интервала для анализа изменений дополняет уже выполненный анализ глобальных процессов антропогенной трансформации экосистем за 1700–2000 гг. [21].

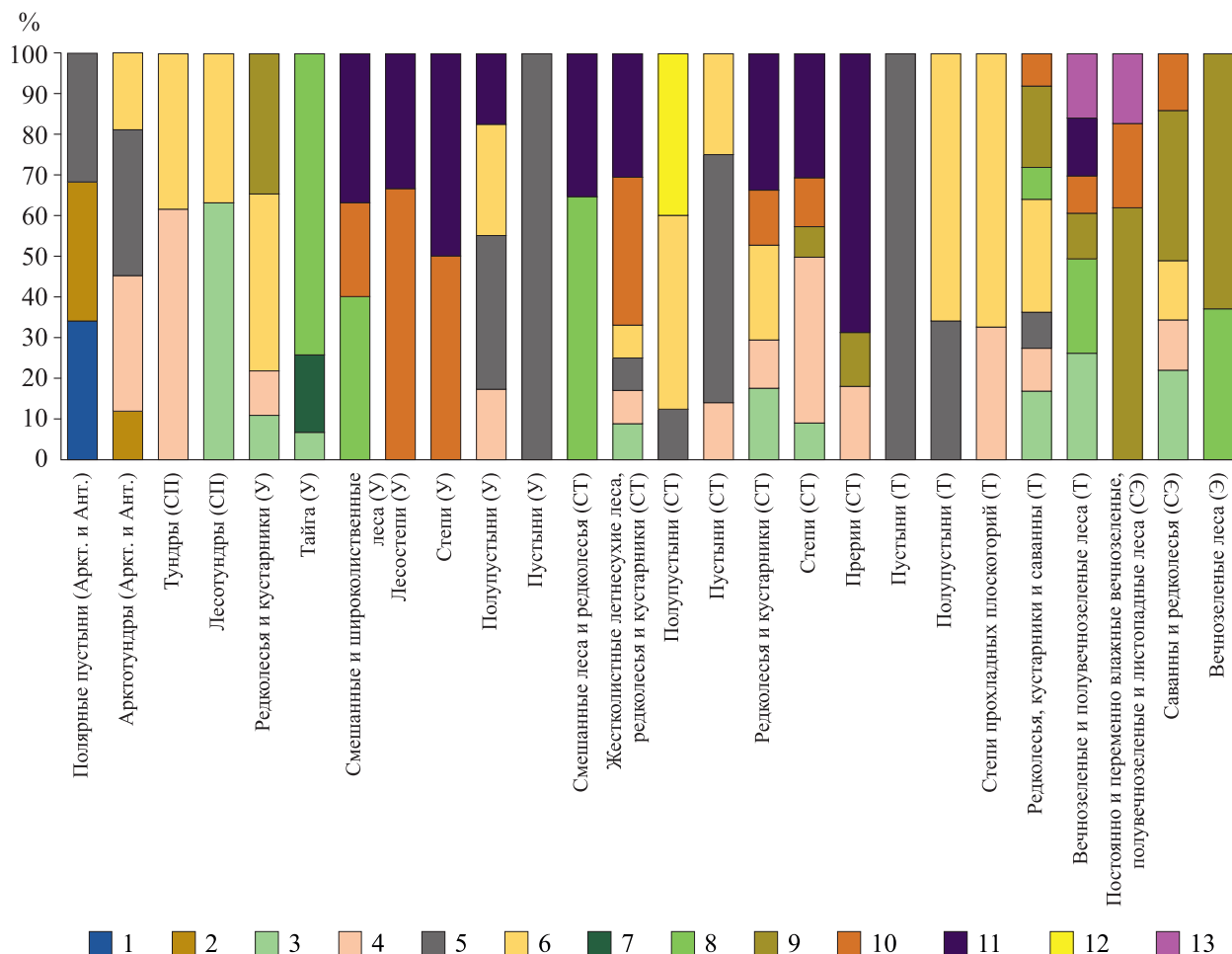


Рис. 2. Вклад процессов трансформации в структуру изменений в границах природных зон.

1–13 — см. табл. 3. 100 % — общая площадь значимых типов изменений в пределах зоны.

Часть выявленных кратковременных процессов динамики ландшафтов (например, в пределах таежной и лесотундровой зон) ожидаема, при этом неоднозначность этих трендов может определяться разнонаправленностью действия природных процессов и последствий антропогенного воздействия. Интерпретация других переходов требует специального восстановления всей цепочки причинно-следственных связей. Есть и определенные ограничения, накладываемые самой методикой использования геопространственных данных для анализа состояния окружающей среды [22].

Интеграция полученных типов трансформации земельного покрова в существующие классификации ландшафтных единиц не только характеризует ОТЕ с точки зрения современного использования земель и характера растительности, что отчасти уже решено в [23], но и дает ретроспективный анализ их развития за последние 10–15 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная инвентаризация произошедших изменений земельного покрова нуждается в дальнейшем углубленном анализе с привлечением других материалов. Необходима верификация полученных данных на ключевых участках, обеспеченных статистической информацией о землепользовании и литературными данными. Следует также выявить факторы, детерминирующие наблюдаемые изменения земельного покрова, в том числе климатические и антропогенные (демографические и социально-экономические).

Выбранные ОТЕ исследования, представленные как векторные слои ГИС, изначально получены путем ручной оцифровки рисованных контуров. Использование их в качестве матрицы ОТЕ могло обусловить некоторые неточности в оценке динамики земельного покрова в зональных границах. Следовательно, одним из направлений совершенствования предложенного подхода должна стать раз-

работка полуавтоматизированного (с участием эксперта) метода моделирования природно-зональной структуры на глобальном уровне.

Выявленные типы изменений можно рассматривать в качестве трендов глобальных процессов, которые в обозримом будущем (10–15 лет) могут значительно изменить состояние биосферы. Представляется также логичным моделирование влияния тех или иных природных (флуктуации климата) или социальных (населенность, плотность дорожной сети, экологический след и т. д.) факторов на выраженность, направленность и степень обратимости трендов трансформации земельного покрова.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (15–05–06186) в рамках государственного задания кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Milanova E. V., Kushlin A. V., Middleton N. J.** World Map of Present-Day Landscapes. — М.: Soyuzkarta, 1993. — 4 sheets.
2. **Земельные** угодья мира: Карта для вузов. М-6 1:15 000 000 / Ред. Л. Ф. Январева. — М.: Картография, 1986. — 6 л.
3. **Bartholomé E., Belward A. S.** GLC2000: A new approach to global land cover mapping from Earth Observation data // International Journ. of Remote Sensing. — 2005. — Vol. 26. — P. 1959–1977.
4. **Millenium Ecosystems Assessment.** Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. — Washington: Island Press, 2005. — 153 p.
5. **Алексеева Н. Н., Климанова О. А., Хазиева Е. С.** Глобальные базы данных земельного покрова и перспективы их использования для картографирования современных ландшафтов // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2017. — № 1. — С. 126–139.
6. **Herold M., Mayaux P., Woodcock C. E., Baccini A., 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. — Vol. 112. — P. 2538–2556.
7. **Jansen L. J. M.** Thematic harmonisation and analysis of Nordic data sets into Land Cover Classification System LCCS terminology // Developments in strategic landscape monitoring for the Nordic countries ANP. — Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2004. — Vol. 705. — P. 91–118.
8. **Herold M., Latham J. S., Di Gregorio A., Schmullius C. C.** Evolving standards on land cover characterization // Journ. of Land Use Science [Электронный ресурс]. — http://www.fao.org/gtos/doc/ECVs/T09/ECV-T9-landcover-ref17-Herold_a.pdf (дата обращения 11.02.2017).
9. **Chandra G., Zhiliang Z., Bradley R.** A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets // Remote Sensing of Environment. — 2005. — N 94. — P. 123–132.
10. **DISCover** land cover [Электронный ресурс]. — <http://glcf.umd.edu/data/lc/> (дата обращения 11.02.2017).
11. **Global Land Cover 2000** [Электронный ресурс]. — <http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php> (дата обращения 11.02.2017).
12. **GlobCover** [Электронный ресурс]. — http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php (дата обращения 11.02.2017).
13. **Boori M. S., Voženilek V.** Remote Sensing and Land Use/Land Cover Trajectories // Geophys. & Remote Sens. — 2014. — Vol. 3, Issue 3 [Электронный ресурс]. — <https://www.omicsonline.org/open-access/remote-sensing-and-land-useland-cover-trajectories-2169-0049.1000123.pdf> (дата обращения 10.02.2017).
14. **Kumar S., Merwade V., Suresh P., Rao C., Pijanowski B.C.** Characterizing Long-Term Land Use/Cover Change in the United States from 1850 to 2000 Using a Nonlinear Bi-analytical Model. // Ambio. — 2013. — Vol. 42, N 3. — P. 285–297.
15. **Географические** пояса и зональные типы ландшафтов: Карта. М-6 1:15 000 000. — М.: ГУГК, 1988. — 6 л.
16. **MODIS Land Cover** [Электронный ресурс]. — <http://glcf.umd.edu/data/lc/> (дата обращения 11.02.2017).
17. **Channan S., Collins K., Emanuel W. R.** Global Mosaics of the Standard MODIS Land Cover Type Data [Электронный ресурс]. — <http://glcf.umd.edu/data/lc/> (дата обращения 11.02.2017).
18. **ArcAtlas «Our Earth».** — Redlans, 1996 [Электронный ресурс]. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
19. **Briassoulis H.** Analysis of land use change: theoretical and modelling approaches // The Web Book of Regional Science [Электронный ресурс]. — <http://www.rri.wvu.edu/webbook/briassoulis/contents.htm> (дата обращения 11.02.2017).
20. **Mücher C. A.** Geo-Spatial Modeling and Monitoring of European Landscapes and Habitats Using Remote Sensing and Field Surveys. — Wageningen: Wageningen University, 2009. — 278 p.
21. **Ellis E. C., Goldewijk K. K., Siebert S., Lightman D., Ramankutty N.** Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000 // Global Ecology and Biogeography. — 2010. — N 19. — P. 589–606.
22. **Schmit C., Rounsevell M. D. A., La Jeunesse I.** The limitations of spatial land use data in environmental analysis // Environmental Science and Policy. — 2006. — Vol. 9, N 2. — P. 174–188.
23. **A New Map** of Global Ecological Land Units. An Ecophysiological Stratification Approach / Ed. R. Sayre. — Washington: Association of American Geographers, 2014. — 46 p.

Поступила в редакцию 3 марта 2017 г.