

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-607115141-14>

ТРАЕКТОРИИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ЗОНАЛЬНЫХ ТИПАХ ЛАНДШАФТОВ ИНДОКИТАЯ

© *Н. Н. АЛЕКСЕЕВА*,¹ *О. А. КЛИМАНОВА*,²
Д. А. ТРЕТЬЯЧЕНКО,³ *А. И. БАНЧЕВА*⁴

МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет, Москва

Е-mail: ¹ nalex01@mail.ru

² oxkl@yandex.ru

³ daria.trt@gmail.com

⁴ ban-sai@mail.ru

Статья посвящена изучению динамики земельного покрова Индокитая за 2001—2012 гг. на основе базы данных MODIS Land Cover. Геопространственные данные земельного покрова, представляющие собой объективно фиксируемые характеристики поверхности суши, широко используются при мелкомасштабном картографировании ландшафтов и экосистем. Индокитай, выбранный для анализа трансформации земельного покрова, в последние десятилетия переживает этап активной трансформации использования земель, связанной с бурным экономическим развитием, существенным приростом населения, переориентацией аграрного сектора на внешние рынки. Процессы изменения земельного покрова изучались в границах зональных типов ландшафтов, спектров высотной поясности и групп интразональных ландшафтов. Установлено, что плотность изменений неравномерна в разных зональных типах ландшафтов; наибольший размах трансформаций характерен для ландшафтов листопадных муссонных лесов, полувечнозеленых лесов (в субэкваториальном поясе), а также речных долин. Основные траектории изменения земельного покрова за 2001—2012 гг.: 1) расширение распахки за счет сокращения лесов, саванн и злаковников; 2) вероятное увеличение площади многолетних насаждений (плантаций каучуконосов и масличной пальмы); 3) деградация лесов и саваннизация; 4) колебания доли земель, на которых практикуется переложное земледелие. Коммерческое производство многолетних товарных культур стало в 2000-е гг. основной причиной обезлесения. Расчистка земель для этих нужд могла оказать большее влияние на лесной покров, чем собственно лесозаготовки. Выявленные особенности изменений земельного покрова на примере Индокитая позволили детализировать характеристики процессов трансформации земельного покрова в сравнении с их глобальной типологией.

Ключевые слова: земельный покров, Индокитай, геопространственные данные, зональные типы ландшафтов, землепользование.

Введение. Развитие методологии ландшафтно-экологического картографирования — одна из важных задач ландшафтоведения. Ландшафтная структура территории выступает в качестве каркаса для изучения пространственных закономерностей в природно-общественных отношениях, при этом операционно-территориальными единицами служат геосистемы разных уровней [6]. В мелкомасштабных исследованиях могут использоваться единицы как регионального (например, макрорегионы) [5], так и типологического районирования [4].

В ландшафтно-экологических исследованиях на глобальном и макрорегиональном уровнях большие возможности открывает использование геоинформационного картографирования. В качестве операционных единиц в международных исследованиях используются ландшафты, экосистемы, экологические районы, агроэкологические зоны и др. Если ландшафты рассматриваются как иерархические единицы определенной размерности (хотя типологические и региональные классификации в российском понимании не используются), то прочие территориальные единицы в основном трактуются как не имеющие конкретной размерности выделы (растры), выделяемые и группируемые по разным признакам в зависимости от задач исследования. В качестве базовых обычно используют не менее четырех слоев геопространственных данных, характеризующих ландшафтообразующие факторы и современное состояние биотических компонентов: биоклиматические области, типы рельефа или высотные уровни на основе цифровых моделей рельефа, литологию поверхностных отложений и земельный покров. Четвертый параметр характеризует состояние как типов естественного растительного покрова, так и антропогенных модификаций, а также земель, не покрытых растительностью (пустоши, ледники и др.), водоемов и водотоков. На основе геоинформационного картографирования выполнены карты экологических систем суши (Global Ecological Land Units) [24], ландшафтов зарубежной Европы (LANMAP) [23], проведена глобальная экологическая классификация мира [19]. На глобальной карте антромов (антропогенных биомов) мира в качестве объектов картографирования выступают типы землепользования, ранжированные по демографической нагрузке [11]. Эти показатели рассматриваются как переменные величины, отражающие «тип» и «интенсивность» антропогенного воздействия на природные системы. Таким образом, во многих мелкомасштабных исследованиях земельный покров выступает как наиболее мобильный и объективно фиксируемый слой, характеризующий «горизонтальную» структуру современных (измененных) ландшафтов.

Геопространственные данные по земельному покрову, полученные на основе обработки космических снимков с различных съемочных аппаратов и систем, дают представление о характере земной поверхности в определенный момент времени [16]. В настоящее время в открытом доступе имеется около десятка баз геоданных земельного покрова для разных временных интервалов, использующих различные классификации, с разрешением от 1 км до 30 м. Возможности и ограничения применения имеющихся баз геопространственных данных за период с 1980 по 2010-е гг. для картографирования и классификации современных ландшафтов в региональных масштабах проанализированы в [1]. Сопряженный анализ данных по динамике земельного покрова, статистических и литературных сведений о структуре использования земель на национальном и региональном уровнях, интенсивности хозяйственных нагрузок, наряду с более детальными исследованиями на ключевых участках, позволяет выявлять основные траектории изменений землепользования [17, 18, 28, 30]. Интерпретация этих данных может стать основой для моделирования развития современных ландшафтов в соответствии с различными трендами землепользования и сценариями климатических изменений [21, 31].

В границах природных зон в глобальном масштабе с использованием данных MODIS выявлены степень и характер трансформации земельного покрова, на этой основе определены ведущие тренды изменения землепользования [7]. Глобальные классификации земельного покрова отличаются высокой сте-

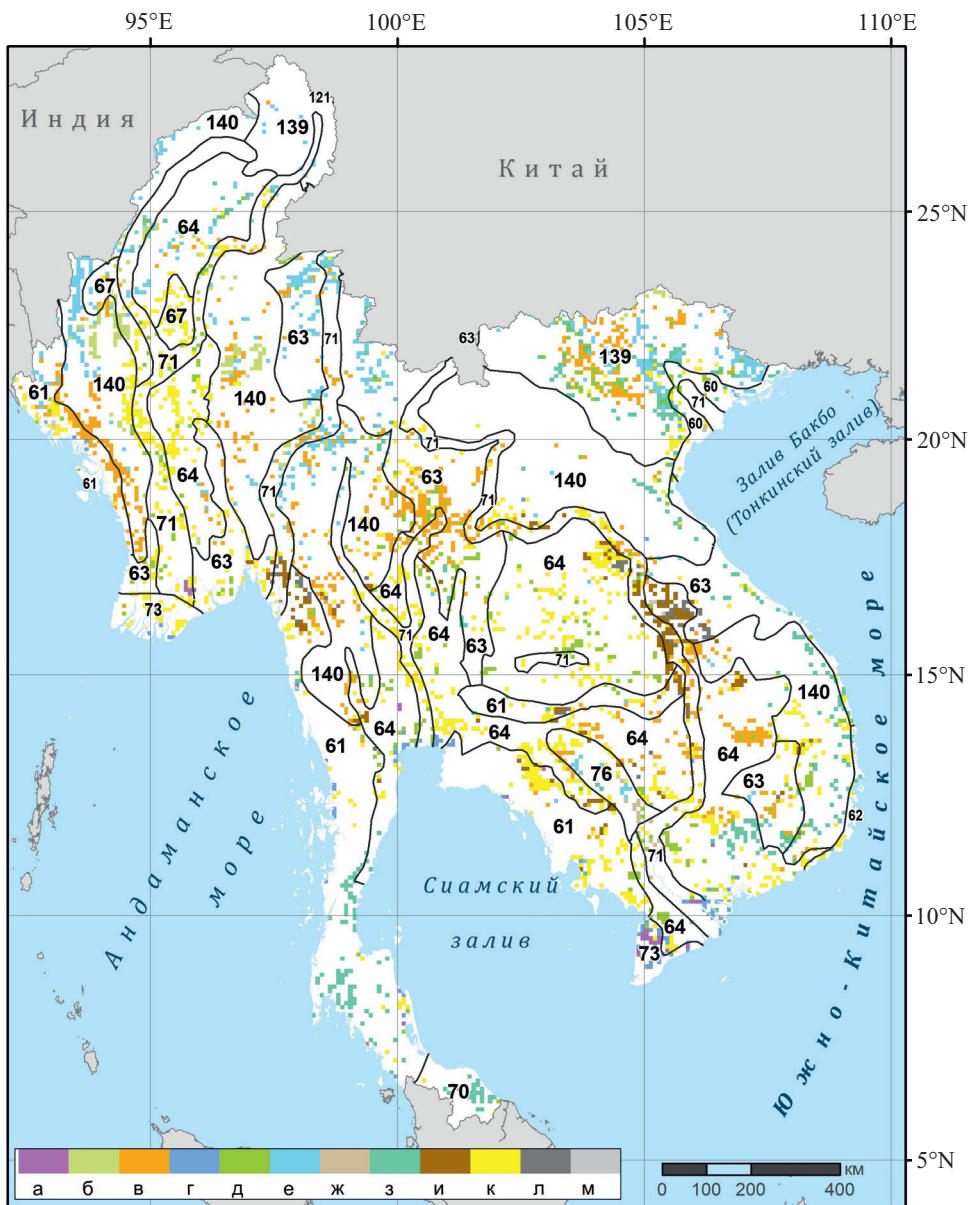
пенью генерализации классов, что предъявляет повышенные требования к интерпретации результатов изменений в зависимости от зональных инвариантов ландшафтов, а также их положения в густо- или малонаселенных регионах. Особый интерес представляет анализ траекторий трансформации ландшафтов в тропических регионах земного шара, характеризующихся высокой интенсивностью трансформации сельского и лесного хозяйства.

Один из таких регионов — п-ов Индокитай (рассматривается без п-ова Малакка) — в последние десятилетия переживает этап активной трансформации использования земель. Она связана с бурным экономическим развитием большинства стран региона (в 2017 г. рост ВВП во Вьетнаме составил 6.8 % в год, в Камбодже — 7 %, в Мьянме — 6.7 %, в Лаосе — 6.8 %, в Таиланде — 3.9 %), существенным приростом населения (суммарно население 5 стран выросло с 212 млн в 2002 г. до 242.8 млн в 2017 г.) [10]. Это повлекло за собой рост обрабатываемых земель, сокращение лесных площадей, экспансию городских поселений. Аграрный сектор все больше ориентируется на внешние рынки, что сопровождается интенсификацией земледелия в сравнении с традиционными экстенсивными (переложными) системами. Увеличиваются площади под товарными монокультурами, особенно под насаждениями гевеи и масличной пальмы, в последние годы — плантации энергетических древесных культур, в том числе из-за роста цен на энергоносители и спроса на биотопливо для экспорта в соседние страны [14]. Все эти процессы проявились и на региональном уровне; они были изучены в горных ландшафтах провинции Нан в центральном Таиланде [3], однако на равнинах изменения земельного покрова не исследовались. Изучение подобных изменений ландшафтов и определило цель данной статьи.

Объект исследования, материалы и методы. Исследование изменений земельного покрова проводилось в границах зональных типов ландшафтов на равнинах, спектров высотной поясности в горах, групп интразональных ландшафтов, которые были рассмотрены согласно карте «Современные ландшафты» электронного Атласа мира «ArcAtlas: Our Earth» [8]. В соответствии с указанной картой на территории Индокитая выделяется 7 зональных типов ландшафтов, относящихся к трем географическим поясам — тропическому, субэкваториальному и экваториальному, а также 2 типа спектров высотной поясности в горах и 3 интразональные группы ландшафтов (речных долин и дельт, мангров, болот). Их нумерация в табл. 1 и ниже по тексту соответствует исходной, используемой на карте «Современные ландшафты» [8].

Для выявления траекторий трансформации землепользования Индокитая использована уже апробированная на глобальном и региональном уровнях методика выделения типов переходов земельного покрова за 2001—2012 гг. [7, 17] на основе геопространственных данных MODIS Land Cover с разрешением $5' \times 5'$ [22]. Они прошли валидацию со статистическими данными и на ключевых участках [12]. Полученная на их основе карта земельного покрова включает 17 классов (от 0 до 16), соответствующих классификации Международной геосферно-биосферной программы [9]. Исходные данные были спроецированы в равновеликую цилиндрическую проекцию. Размер ячейки выходного растра, т. е. минимальный ареал дальнейшего анализа, был определен как 1 км^2 и обусловлен разрешением исходного растра $5' \times 5'$. В качестве среды для анализа использовался ГИС-пакет ArcGIS Desktop for Desktop Spatial Analyst.

Результаты и их обсуждение. Основные результаты исследования: 1) карта ареалов изменений земельного покрова за период 2001—2012 гг. в грани-



Процессы трансформации земельного покрова/землепользования в 2001—2012 гг. в границах природных ландшафтов Индокитая.

а — возобновление мангровых лесов или создание плантаций на месте пашни в приморских районах; б — посадки многолетних насаждений или восстановление лесов; в — деградация лесов и саваннизация; г — заболачивание; д — зарастание обрабатываемых угодий; е — изменение породного состава лесов, возможно расширение многолетних насаждений (плантаций); ж — осушение земель под пашню, лесопосадки или плантации; з — перевод пашни под плантации многолетних культур; и — распашка саванн, снижение доли перелогов и залежей; к — расширение распашки; л — увеличение доли древесной растительности в саваннах; м — формирование злаковников на месте пашни. Цифровыми индексами указаны типы природных ландшафтов: 60 — сезонно- и постоянно-влажные вечнозеленые и полувечнозеленые леса на красно-желтых ферраллитных почвах; 61 — влажные и сезонно-влажные вечнозеленые леса на красно-желтых ферраллитных почвах; 62 — полусухие вечнозеленые леса и кустарники на красных и красно-бурых почвах; 63 — влажные и

цах зональных типов ландшафтов (см. рисунок); 2) статистические данные, характеризующие структуру земельного покрова и характер трансформации зональных типов ландшафтов; 3) классификация процессов трансформации, проведенная на основе сопряженного анализа типов изменений земельного покрова в соответствующих зонально-азональных условиях.

На территории Индокитая представлено 12 классов земельного покрова. По нашим расчетам наиболее распространенные классы — постоянно-влажные широколиственные леса (41 %), мозаика пахотных угодий и природной растительности (25 %), древесные саванны (19 %).

На карте (см. рисунок) цветом выделены ячейки, где, по состоянию на 2012 г. произошли изменения земельного покрова. Плотность изменений неравномерна в разных зональных типах ландшафтов Индокитая. Максимальная концентрация ячеек, где зафиксированы изменения земельного покрова, отмечается в сезонно-влажных муссонных лесах в центральных районах Камбоджи, в долине Тонле-Сап, на равнинах Чао-Прайи в Таиланде, в пределах саванн и редколесий из колючих деревьев и кустарников (сухая зона Мьянмы), в дельтах Иравади и Меконга, в горах центрального Таиланда (провинция Нан), на севере Вьетнама и западе Лаоса. В ряде районов ареалы трансформации имеют дисперсное распространение: это среднегорья на востоке и западе Мьянмы, юге Вьетнама и на перешейке Кра. Есть районы, в которых изменения земельного покрова минимальны или не зафиксированы: это малонаселенные горы северной Мьянмы и северного Лаоса, давно и густо освоенные Теннасеримское побережье и примыкающие к нему низкогорья в Мьянме, низменности на юге Таиланда и юго-западе Камбоджи.

Рассмотрим приуроченность изменений землепользования к ландшафтному рубежу Индокитая.

В тропическом поясе, границы которого в Юго-Восточной Азии весьма условны [2], на равнинах, представленных *сезонно- и постоянно-влажными*

На карте есть еще цифра 121 (на самом верху). В подписи этой цифры нет.

сезонно-влажные полувечнозеленые леса на красно-желтых ферраллитных почвах; 64 — сезонно-влажные и сухие листопадные муссонные леса на красных, красно-коричневых и темноцветных слитых почвах; 67 — опустыненные саванны, редколесья и кустарники на красно-бурых и темноцветных слитых почвах; 70 — влажные вечнозеленые леса с примесью листопадных видов на желто-красных ферраллитных почвах; интразональные ландшафты: 71 — речные долины; 73 — мангры; 76 — заболоченные территории; спектры высотной поясности: 139 — вечнозеленолесной-луговой (парамосный); 140 — листопадно-лесной-луговой.

Land cover / land use transformation processes of Indochina in 2001—2012 within the boundaries of the natural landscapes.

a — the regeneration of mangrove forests or the replacement of arable land by plantations in coastal areas; б — new perennial plantations or reforestation; в — degradation of forests and savanna; г — waterlogging; д — overgrowing of cultivated land; е — change in the species composition of forests, possibly the expansion of perennial plantations; ж — drainage of land for arable land, forest or plantations; з — transfer of arable land for plantations of perennial crops; и — plowing savannas, reducing the share of fallow lands; к — expansion of arable lands; л — woody vegetation regrowth in savannas; м — spread of grasslands on arable lands.

Indices indicate the types of natural landscapes: 60 — seasonally and perennially-wet evergreen and semi-evergreen forests on red and red-yellow ferrallitic soils; 61 — wet and seasonally wet evergreen forests on red-yellow ferrallitic soils; 62 — semi-dry evergreen forests and shrubs on red and red-brown soils; 63 — wet and seasonally moist semi-evergreen forests on red-yellow ferrallitic soils; 64 — seasonally wet and dry deciduous monsoon forests on red, red-brown and dark-colored merged soils; 67 — desert savannas, open forests and bushes on reddish-brown and dark-colored merged soils; 70 — wet evergreen forests with an admixture of deciduous species on yellow-red ferrallitic soils; intrazonal landscapes: 71 — river valleys; 73 — mangroves; 76 — wetlands; altitudinal zonation spectra: 139 — evergreen forests-meadows; 140 — deciduous forests-meadows.

вечнозелеными и полувечнозелеными лесами на красных и красно-желтых ферраллитных почвах (№ 60), произошел прирост площадей, занятых вечнозелеными лесами на 8 % за 2001—2012 гг. Исчезли древесные саванны, сократились земли, занятые классом «мозаика пашен и естественной растительности», в то же время вдвое возросли земли под застройкой (с 0.3 до 0.8 %) за счет расширения агломерации Ханоя.

Более существенные изменения структуры земельного покрова за 2001—2012 гг. произошли в пределах *субэкваториального пояса*. Так, в районах распространения *полусухих вечнозеленых лесов и кустарников на красных и красно-бурых почвах* (№ 62) наибольшие изменения произошли в классе «вечнозеленые широколиственные леса» — их доля **приросла** вдвое, также более чем в два раза увеличились площади пашен; в то же время существенно сократилась доля «мозаики».

На равнинах с *влажными и сезонно-влажными вечнозелеными лесами на красно-желтых ферраллитных почвах* (№ 61) практически не изменилась доля класса «мозаика», немного увеличились площади распашки и древесных саванн. Доля вечнозеленых тропических лесов уменьшилась незначительно.

Практически без изменений осталась доля площади лесов в зональном типе *влажных и сезонно-влажных полувечнозеленых лесов на красно-желтых ферраллитных почвах* (№ 63), несущественно возросли территории, занятые древесными саваннами и пашней при небольшом сокращении категории «мозаика».

Наибольшую площадь в регионе занимают ландшафты *сезонно-влажных и сухих листопадных муссонных лесов на красных, красно-коричневых и темноцветных слитых почвах* (№ 64). Здесь не произошло существенных изменений земельного покрова: доля территорий, занятых классами «пашня» и «мозаика» увеличились примерно на 2 и 1 % соответственно, практически ту же долю сохранил класс «древесные саванны», зато полностью исчезли саванны, занимавшие в 2002 г. свыше 2 % площади зоны. Незначительно сократилась доля вечнозеленых широколиственных лесов.

В пределах зонального типа *опустыненных саванн, редколесий и кустарников на красно-бурых и темноцветных слитых почвах* (№ 67) произошло существенное увеличение доли пашни за счет сокращения практически вдвое площадей экстенсивно используемых земель — древесных саванн, листопадных редколесий и мозаики естественной растительности и сельскохозяйственных земель.

На равнинах с преобладанием *влажных вечнозеленых лесов с примесью листопадных видов на желто-красных ферраллитных почвах (экваториальный пояс)* (№ 70) основные зафиксированные изменения — существенное увеличение площади лесов (примерно на треть) при сокращении доли «мозаики».

Всего на территории Индокитая было зафиксировано 85 типов переходов (из потенциально возможной матрицы $12 \times 12 = 144$), из них 74 типа изменений земельного покрова. Структура земельного покрова в 2012 г. в границах зональных типов ландшафтов и характер его трансформации за 2001—2012 гг. представлены в табл. 1. С учетом проведенного ранее исследования зональных закономерностей трансформации земельного покрова в мире [17], на региональном уровне было принято считать значимыми типы переходов, занимающие 1 % и более от площади природных ландшафтов. По этой причине сумма значений в двух последних строках табл. 1 менее 100 %.

Как видно из табл. 1, наибольшая степень изменений отмечается в двух зональных типах ландшафтов (№ 62, 67). Среди интразональных ландшаф-

Таблица 1

Структура земельного покрова Индокитая в границах зональных типов ландшафтов в 2012 г.

Table 1. Land cover pattern of Indochina within the boundaries of zonal landscape types in 2012

| Зональный тип ландшафта (ЗТЛ) (название см. в тексте) | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 67 | 70 |
|---|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|
| Площадь, км ² | 15318 | 222105 | 3204 | 236664 | 472887 | 23441 | 14373 |
| Доля категорий земельного покрова, %, 2012 г. (в скобках приведены номера категорий в соответствии с классификацией МГБП) | | | | | | | |
| Водные объекты (0) | 4.1 | 3.4 | 21.7 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 3.6 |
| Постоянно-влажные широколиственные леса (2) | 22.1 | 46.2 | 17.0 | 46.8 | 19.5 | 10.9 | 54.2 |
| Листопадные широколиственные леса (4) | — | 0.06 | — | 0.20 | 0.02 | — | — |
| Смешанные леса (5) | — | — | — | 0.03 | 0.2 | 17.5 | — |
| Древесные саванны (8) | — | 8.2 | 1.4 | 26.4 | 17.3 | 15.2 | — |
| Саванны (9) | — | 0.6 | — | — | 0.05 | — | — |
| Злаковники (10) | — | 0.2 | 1.2 | 0.00 | 0.4 | — | — |
| Водно-болотные угодья (11) | 1.4 | 2.3 | — | 0.06 | 0.6 | — | — |
| Пахотные угодья (12) | 56.5 | 3.3 | 27.5 | 4.2 | 14.7 | 23.7 | — |
| Застроенные территории (13) | 0.8 | — | — | 0.2 | 0.2 | — | — |
| Мозаика пашня/естественная растительность (14) | 15.1 | 35.7 | 30.2 | 21.4 | 46.4 | 32.2 | 42.3 |
| Земли, лишенные растительности (16) | — | — | — | 0.03 | — | — | — |
| Итого | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Доля площади ЗТЛ, претерпевшая изменения* по сравнению с 2001 г., % | 17.9 | 12.9 | 33.1 | 13.4 | 12.8 | 35.7 | 15.5 |
| Доля площади ЗТЛ, оставшаяся без изменений, % | 79.0 | 82.1 | 66.3 | 83.1 | 82.2 | 61.4 | 83.2 |

**Что
озна-
чает
звез-
дочка в
таб-
лице?**

тов изменения земельного покрова в наибольшей степени охватили мангровые леса. Известно, что основная причина происходящих изменений площадей мангровых лесов в Юго-Восточной Азии — вырубка для создания акваферм и рисовых полей. Выявлено, что характерны разнонаправленные тренды изменений мангровых экосистем. Если в дельте Иравади преобладает распашка и создание рисовых полей на месте осушенных мангровых зарослей (не случайно темпы обезлесения мангровых зарослей в Мьянме в 4 раза выше среднемировых), то в дельте Меконга во Вьетнаме мангровые леса восстанавливаются. Здесь реализуются многочисленные проекты, в том числе международные, по насаждению пород мангровых деревьев (в основном, *Rhizophora spp.*). Кроме того, некоторые участки мангровых зарослей на полуострове Камау с 2009 г. вошли в состав биосферного заповедника ЮНЕСКО, а также охраняются в рамках Рамсарской конвенции о водно-болотных угодьях [29], что также способствует возобновлению мангров.

В зависимости от характера перехода между категориями все значимые (занимающие более 1 % от площади ОТЕ) типы изменений были объединены

Таблица 2

**Траектории трансформации землепользования Индокитая
и соответствующие им типы изменений земельного покрова**
**Table 2. Trajectories of land use transformation
and the corresponding types of land cover changes in Indochina**

| № | Траектории трансформации | Типы изменений (номера категорий земельного покрова соответственно в 2002 и 2012 гг.) | Площадь, км ² |
|----|---|--|-----------------------------|
| 1 | Расширение распашки | 2_14, 5_14, 8_12, 8_14, 10_12, 14_12 | 90709 |
| 2 | Посадки многолетних насаждений или восстановление лесов | 8_2, 8_4, 8_5, 9_2, 12_2, 14_2 | 72375 |
| 3 | Деградация лесов и саваннизация | 2_8, 5_8 | 67156 |
| 4 | Заращение обрабатываемых угодий | 12_14, 14_8 | 31473 |
| 5 | Перевод пашни под плантации многолетних культур | 12_2, 14_2 | 30767 |
| 6 | Распашка саванн, снижение доли перелогов и залежей | 9_14 | 18357 |
| 7 | Изменение породного состава лесов, в том числе за счет многолетних насаждений (плантаций) | 5_2, 2_5 | 15760 |
| 8 | Заболачивание | 2_11, 12_11, 16_11 | 6035 |
| 9 | Увеличение доли древесной растительности в саваннах | 9_8 | 5003 |
| 10 | Осушение земель под пашню, лесопосадки или плантации | 11_5, 0_5, 0_12 | 1979 |
| 11 | Возобновление мангровых лесов (или создание плантаций) на месте пашни в приморских зонах | 14_11 | 2570 |
| 12 | Формирование злаковников на месте пашни | 14_10 | 1650 |

**Номер
чего?
Этот
стол-
бец не
нужен,
если в
тексте
ссылок
на эти
номера
нет?**

в группы процессов трансформации земельного покрова (табл. 2). Типы изменений в табл. 2 отражают индексы категорий земельного покрова в 2002 г. и 2012 г., расшифровка индексов приведена в табл. 1 (левый столбец).

Таким образом, наиболее характерные для Индокитая траектории трансформаций земельного покрова за 2002—2012 гг.: 1) расширение распашки за счет сокращения лесов, саванн и злаковников; 2) вероятное увеличение площади многолетних насаждений (плантаций каучуконосов и масличной пальмы); 3) деградация лесов и саваннизация; 4) колебания доли земель, на которых практикуется переложное земледелие.

Отдельно имеет смысл остановиться на процессах трансформации земельного покрова, связанных с увеличением доли категории 2 «вечнозеленые широколиственные леса». Мы полагаем, что этот факт отражает процесс расширения многолетних насаждений из разнообразных вечнозеленых древесных пород — гевеи, эвкалипта, масличной пальмы и др. В табл. 2 эти типы трансформации охарактеризованы как: «изменение породного состава лесов, в том числе за счет многолетних насаждений (плантаций)» и «перевод пашни под плантации многолетних культур». Об увеличении доли плантаций коммерческих культур в ряде стран Индокитая свидетельствуют литературные источ-

ники, например [14]. Кроме того, существуют объективные сложности дифференциации плантаций на основе обработки космических снимков, вследствие чего их нередко относят к категории «лес». Так, в 2013 г. специалистами Мэрилендского университета и компании Google в рамках проекта «Глобальные изменения лесов» была опубликована детальная карта (с разрешением 30 м) изменений лесного покрова мира [15]. Развернувшаяся после этой публикации дискуссия в журнале «Science» [26] показала нерешенность этой проблемы, так как древесные породы, как первичных лесов, так и искусственных лесонасаждений и многолетних плантаций обладают сходной отражательной способностью. Это обусловлено высокой сомкнутостью крон и слабой выраженностью рядности насаждений старше 10—15 лет (в большей степени у гевеи, чем у плантаций масличной пальмы). Поэтому на картах земельного покрова, составленных на основе ДДЗ, плантации отображаются как леса, формально соответствуя их признакам. Для повышения достоверности оценки «лесных» категорий земельного покрова требуется верификация полученных данных с помощью снимков более высокого разрешения, использования косвенных признаков (например, наличия дорог для обслуживания плантаций) или проверка классификаций для конкретных пикселей. Вопросы дифференциации лесов и многолетних насаждений (плантаций) важны и с точки зрения оценки их экосистемных функций. Так, в отличие от лесов плантации древесных насаждений не выполняют одну из главных средообразующих функций — поддержание биоразнообразия: оно там даже меньше, чем на пастбищных угодьях или в районах с мозаикой полей и естественной растительности.

Отмеченные изменения земельного покрова отражают продолжающийся в странах Юго-Восточной Азии переход от традиционного экстенсивного к коммерческому сельскому и плантационному хозяйству. Именно коммерческое производство многолетних товарных культур стало в 2010-е гг. основной причиной обезлесения. В последние годы расчистка земель для этих нужд могла оказать большее влияние на лесной покров, чем собственно лесозаготовки, тем более что в Таиланде и Вьетнаме действует запрет на коммерческие рубки. Таким образом, лесное хозяйство в Индокитае не является главной причиной обезлесения, как в ряде других стран Юго-Восточной Азии (например, в Индонезии).

В центральном Таиланде (провинция Нан) основной траекторией изменений землепользования за период с 1995 по 2012 г. стало увеличение доли обрабатываемых площадей, занятых разными типами угодий (перелогами, полями, пастбищами, садами, посадками многолетних культур). Суммарная площадь этих категорий увеличилась с 343 тыс. га в 1995 г. до 518 тыс. га в 2012 г. [3]. Для привлечения инвестиций правительством Таиланда, поощряющим выращивание товарных культур, было принято решение о выращивании гевеи для производства каучука в горных районах (ранее плантации гевеи располагались только на юге страны). Это, с одной стороны, способствовало развитию инфраструктуры и торговли, но, с другой, привело к активному сведению лесов в горах [25]. Несмотря на принятую природоохранную стратегию развития лесных областей Таиланда (горные территории с уклонами более 20 % с 1995 г. были отнесены к охраняемым землям — национальным паркам и национальным лесам), нелегальная распашка земель на склонах является единственным способом выживания аборигенного населения. Опасаясь мер воздействия со стороны власти, крестьяне выращивают на этих землях однолетние культуры с коротким биологическим циклом, особенно кукурузу, приносящую бы-

стрый доход. В результате наибольшая распашка затронула склоны крутизной 7—20°, здесь же отмечались самые высокие темпы развития эрозии почв. Так, доля естественных лесов в горной провинции Нан уменьшилась за последние 20 лет на 49 %, а посевных площадей увеличилась на 51 %. Полученные результаты по провинции Нан в целом подтверждаются онлайн-системой Глобального наблюдения за лесами [24].

Выводы. 1. Наибольшая степень преобразования земельного покрова за 2002—2012 гг. была характерна для ландшафтов опустыненных саванн и редколесий (изменения претерпели 35.7 % территории этого зонального типа ландшафтов), полусухих вечнозеленых лесов и кустарников (33.1 %), прибрежных мангровых лесов (28.6 %) и заболоченных земель (20.5 %). В горах наиболее трансформирован вечнозеленолесной-луговой тип спектра высотной поясности (15 %). В абсолютных величинах наибольший размах трансформаций отмечен в ландшафтах листопадных муссонных лесов (свыше 61.4 тыс. км²), речных долин (31.2 тыс. км²) и полувечнозеленых лесов (в субэкваториальном поясе) (30.8 тыс. км²).

2. Наиболее распространенные траектории изменения земельного покрова — распашка, создание многолетних насаждений, деградация лесов и саваннизация; они проявляются во всех типах равнинных ландшафтов — как зональных, так и интразональных.

3. Выявленные особенности изменений земельного покрова на примере Индокитая позволили детализировать характеристики процессов трансформации в сравнении с их глобальной типологией. Например, такой процесс как «увеличение доли лесной растительности с 30—60 до более 60 % в лесных зонах» в условиях Индокитая, вероятнее всего отражает увеличение площади искусственных насаждений и плантаций. Были выявлены региональные траектории трансформации, не проявившиеся на глобальном уровне, например: заболачивание территории; осушение земель под пашню, лесопосадки или плантации; распашка саванн, снижение доли перелогов и залежей.

4. Полученные результаты в целом отражают качественные и количественные изменения, происходящие в земельном покрове динамично развивающегося региона Азии. В свою очередь, эти изменения сопровождаются сдвигами продукционных характеристик ландшафтов, изменения их экосистемных услуг, в том числе поддержания биоразнообразия и депонирования углерода. Таким образом, анализ трансформации земельного покрова в региональных масштабах создает основу для дальнейших ландшафтно-экологических исследований, включая оценку изменений средообразующих и продукционных функций ландшафтов.

Статья подготовлена в рамках госбюджетной темы «Геоэкологическая оценка и прогноз состояния ландшафтов мира в условиях глобальных изменений».

Список литературы

- [1] Алексеева Н. Н., Климанова О. А. Современные ландшафтно-геоэкологические особенности тропиков и их глобальное значение // Изв. РГО. 2012. Т. 144, вып. 3. С. 9—16.
- [2] Алексеева Н. Н., Климанова О. А., Хазиева Е. С. Глобальные базы данных земельного покрова и перспективы их использования для картографирования современных ландшафтов // Известия РАН. Серия географическая. 2017. № 1. С. 110—123.

- [3] *Войтунг Б., Алексеева Н. Н.* Современное обезлесение горных районов Таиланда на основе изучения динамики землепользования // Вестник МГУ. Серия 5. География. 2015. № 3. С. 86—92.
- [4] Геоэкологическое состояние ландшафтов суши // География, общество, окружающая среда. Т. 2. Функционирование и современное состояние ландшафтов. Ч. 2. М.: Издательский дом «Городец», 2004.
- [5] *Исаченко А. Г.* Ландшафтная структура Земли, расселение, природопользование. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета., 2008. 320 с.
- [6] *Исаченко А. Г.* Методология ландшафтоведения и ландшафтно-географический научный метод // Изв. РГО. 2016. Т. 148, вып. 1. С. 15—30.
- [7] *Климанова О. А., Третьяченко Д. А., Алексеева Н. Н., Аршинова М. А., Колбовский Е. Ю.* Трансформация земельного покрова на глобальном уровне в 2001—2012 гг.: картографирование и анализ изменений // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 5—13.
- [8] ArcAtlas «Our Earth». Электронный атлас «Наша Земля» (На компакт-диске CD-ROM). Redlands: 1996.
- [9] *Channan S., Collins K., Emanuel W. R.* Global mosaics of the standard MODIS land cover type data. Data Set. University of Maryland and the Pacific Northwest National Laboratory, College Park, Maryland, USA. 2014.
- [10] The World Factbook. [сайт]. CIA. URL: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/vm.html> (дата обращения: 20.05.18).
- [11] *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. No. 19. P. 589—606.
- [12] *Friedl M. A., McIver D. K., et al.* Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results // Remote Sensing of Environment. 2002. No. 1—2 (83). P. 287—302.
- [13] **Global Forest Assessment. Rome: FAO, 2015. P. 253.**
- [14] Greater Mekong Subregion. Core environment program [сайт]. URL: <http://www.gms-eoc.org> (дата обращения: 20.10.2017).
- [15] *Hansen M. C., P. V. Potapov R. Moore M. Hancher et al.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013, 342 (15 November). P. 850—853.
- [16] *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. No. 112. P. 2538—2556.
- [17] *Klimanova O., Naumov F., Greenfieldt Yu., Prado R. B., Tretyachenko D.* Recent regional trends of land use and land cover transformations in Brazil // Geography Environment Sustainability. 2017. V. 10, 4. P. 98—116.
- [18] *Levers C., Müller D., Erb K. et al.* Archetypical patterns and trajectories of land systems in Europe // Regional Environmental Change. 2018, March. Vol. 18. № 3. P. 715—732.
- [19] *Metzger M. J., Bru D. J., Care P. D., Gonzalve J., Honrad J. P., Jongma R. H. G., Trabucco A., Zomer R. J. et al.* Environmental stratifications as the basis for national, European and global ecological monitoring // Biodiversity Monitoring. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.009>.
- [20] **Millenium Ecosystems Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 2005. 153 p.**
- [21] Modelling land use change in Cameroon 2000—2030. A Report by the REDD-PAC project. 2010. 12 p.
- [22] MODIS Land Cover [сайт]. URL: <http://glcf.umd.edu/data/lc/> (дата обращения: 20.06.2016).
- [23] *Mucher C. A., Klijn J. A., Wascher D. M., Schamine'e J. H. J.* A new European Landscape Classification (LANMAP): A transparent, flexible and user-oriented methodology to distinguish landscapes // Ecological Indicators. 2010. No. 10. P. 87—103.

**Нет в
тексте.**

**Что
это?
"№."?**

**Нет в
тексте.**

По-ан-
гл.? см.
[10, 14,
22].

Нет в
тексте.

Что
это?

- [24] Sayre R., Dangermond J., Frye C., et al. A New Map of Global Ecological Land Units — An Ecophysiographic Stratification Approach. Washington, DC: Association of American Geographers. 2014. 46 p.
- [25] Thailand. Global Forest Watch [сайт]. URL: (date of access: 20.06.2018).
- [26] Trisurat Y., Alkemade R., Verburg P. H. Projecting Land-Use Change and its Consequences for Biodiversity in Northern Thailand // Environmental Management. 2010. No. 45. P. 626—639.
- [27] Tropek R., Sedláček O., Beck J., Keil P., Musilová Z., Šimová I., Storch D. Comment on «High-resolution global maps of 21st-century forest cover change» // Science. 30 May 2014. Vol. 344, Issue 6187.
- [28] Van Eetvelde V., Antrop M. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium // Landscape and Urban Planning. 2009. No. 91. P. 160—170.
- [29] Van T. T., Wilson N., Tung H. T., Quisthoudt K., Minh V. Q., Tuan L. X., Guebas F. D., Koedam N. Changes in mangrove vegetation area and character in a war and land use change affected region of Vietnam (Mui Ca Mau) over six decades // Acta Oecol. 2015. 63. P. 71—81.
- [30] Zhang J., Pham T., Kalacskač M., Turner S. Using Landsat Thematic Mapper records to map land cover change and the impacts of reforestation programmes in the borderlands of southeast Yunnan, China: 1990—2010 // Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. No. 31. P. 25—36.
- [31] Zomer R. J., Trabucco A., Wang M., et al. Environmental stratification to model climate change impacts on biodiversity and rubber production in Xishuangbanna, Yunnan, China // Biological Conservation. 2014. No. 170. P. 264—273.

Trajectories of land cover transformation in zonal types of landscapes of Indochina

© N. N. Alekseeva,¹ O. A. Klimanova,² D. A. Tretyachenko,³ A. I. Bancheva⁴

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow

E-mail: ¹ nalex01@mail.ru

² oxkl@yandex.ru

³ daria.trt@gmail.com

⁴ ban-sai@mail.ru

The article deals with the study of the land cover change of Indochina based on the MODIS Land Cover database for 2001—2012. Geospatial land cover data, which are objectively recorded land surface characteristics, are widely used for small-scale mapping of landscapes and ecological systems. The case region of Indochina was selected for the analysis of land cover transformation. In recent decades it has been undergoing active transformation of land use, associated with rapid economic development, substantial population growth, and reorientation of the agricultural sector to foreign markets. The processes of land cover change were studied within the boundaries of zonal types of landscapes, altitudinal zonality spectra, and groups of intrazonal landscapes. The density of changes is uneven in different zonal types of landscapes, the greatest range of transformations is characteristic to the deciduous monsoon forests, semi-evergreen forests (in the subequatorial belt), and within river valleys. The main trajectories of land cover change for 2001—2012 are as follows: 1) expansion of arable areas due to the reduction of forests, savannas and grasslands; 2) the likely increase in the area of perennial plantations (mainly rubber trees and oil palm); 3) forest degradation and spread of savannas; 4) fluctuations of land under shifting cultivation. Since the 2000s commercial production of perennial cash crops is the main cause of deforestation in the region. Land clearing for these needs could have a greater impact on forest cover than logging. The revealed features of land cover change for Indochina made it possible to specify the

regional characteristics of the transformation processes as compared to global typology of land cover changes.

Keywords: land cover, Indochina, geospatial data, zonal landscape types, land use.

References

- [1] *Alekseeva N. N., Klimanova O. A.* Sovremennye landshaftno-geoekologicheskie osobennosti tropikov i ix global'noe znachenie // *Izv. RGO.* 2012. T. 144, vyp. 3. S. 9—16.
- [2] *Alekseeva N. N., Klimanova O. A., Xazieva E. S.* Global'nye bazy dannyx zemel'nogo pokrova i perspektivy ix ispol'zovaniya dlya kartografirovaniya sovremennyx landshaftov // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya.* 2017. № 1. S. 110—123.
- [3] *Vojtung B., Alekseeva N. N.* Sovremennoe obezlesenie gornyx rajonov Tailanda na osnove izucheniya dinamiki zemlepol'zovaniya // *Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya.* 2015. № 3. S. 86—92.
- [4] *Geoekologicheskoe sostoyanie landshaftov sushi // Geografiya, obshchestvo, okruzhayushhaya sreda.* T. 2. Funkcionirovanie i sovremennoe sostoyanie landshaftov. Ch. 2. M.: Izdatel'skij dom «Gorodec», 2004.
- [5] *Isachenko A. G.* Landshaftnaya struktura Zemli, rasselenie, prirodopol'zovanie. SPb.: Izd-vo Sankt-Peterburgskogo universiteta., 2008. 320 s.
- [6] *Isachenko A. G.* Metodologiya landshaftovedeniya i landshaftno-geograficheskij nauchnyj metod // *Izv. RGO.* 2016. T. 148, vyp. 1. S. 15—30.
- [7] *Klimanova O. A., Tret'yachenko D. A., Alekseeva N. N., Arshinova M. A., Kolbovskij E. Yu.* Transformaciya zemel'nogo pokrova na global'nom urovne v 2001—2012 gg.: kartografirovanie i analiz izmenenij // *Geografiya i prirodnye resursy.* 2018. № 3. S. 5—13.
- [8] ArcAtlas «Our Earth». Elektronnyj atlas «Nasha Zemlya» (Na kompakt-diske CD-ROM). Redlands: 1996.
- [9] *Channan S., Collins K., Emanuel W. R.* Global mosaics of the standard MODIS land cover type data. Data Set. University of Maryland and the Pacific Northwest National Laboratory, College Park, Maryland, USA. 2014.
- [10] The World Factbook. [sajt]. CIA. URL: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/vm.html> (data obrashheniya: 20.05.18).
- [11] *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. No. 19. P. 589—606.
- [12] *Friedl M. A., McIver D. K., et al.* Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results // *Remote Sensing of Environment.* 2002. No. 1—2 (83). P. 287—302.
- [13] **Global Forest Assessment. Rome: FAO, 2015. R. 253.**
- [14] Greater Mekong Subregion. Core environment program [sajt]. URL: <http://www.gms-eoc.org> (data obrashheniya: 20.10.2017).
- [15] *Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M. et al.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // *Science.* 2013, 342 (15 November). P. 850—853.
- [16] *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. No. 112. P. 2538—2556.
- [17] *Klimanova O., Naumov F., Greenfieldt Yu., Prado R. B., Tret'yachenko D.* Recent regional trends of land use and land cover transformations in Brazil // *Geography Environment Sustainability.* 2017. V. 10, 4. P. 98—116.
- [18] *Levers C., Müller D., Erb K. et al.* Archetypical patterns and trajectories of land systems in Europe // *Regional Environmental Change.* 2018, March. Vol. 18. No. 3. P. 715—732.

- [19] Metzger M. J., Bru D. J., Care P. D., Gonzalve J., Honrad J. P., Jongma R. H. G., Trabucco A., Zomer R. J., et al. Environmental stratifications as the basis for national, European and global ecological monitoring // Biodiversity Monitoring. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.009>.
- [20] Millenium Ecosystems Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 2005. 153 p.
- [21] Modelling land use change in Cameroon 2000—2030. A Report by the REDD-PAC project. 2010. 12 p.
- [22] MODIS Land Cover [сайт]. URL: <http://glcf.umd.edu/data/lc/> (data obrashheniya: 20.06.2016).
- [23] Mucher C. A., Klijn J. A., Wascher D. M., Schamine'e J. H. J. A new European Landscape Classification (LANMAP): A transparent, flexible and user-oriented methodology to distinguish landscapes // Ecological Indicators. 2010. No. 10. P. 87—103.
- [24] Sayre R., Dangermond J., Frye C., et al. A New Map of Global Ecological Land Units — An Ecophysiological Stratification Approach. Washington, DC: Association of American Geographers. 2014. 46 p.
- [25] Thailand. Global Forest Watch [сайт]. URL: (date of access: 20.06.2018)
- [26] Trisurat Y., Alkemade R., Verburg P. H. Projecting Land-Use Change and its Consequences for Biodiversity in Northern Thailand // Environmental Management. 2010. No. 45. P. 626—639.
- [27] Tropek R., Sedláček O., Beck J., Keil P., Musilová Z., Šimová I., Storch D. Comment on «High-resolution global maps of 21st-century forest cover change» // Science. 30 May 2014. Vol. 344, Issue 6187.
- [28] Van Eetvelde V., Antrop M. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium // Landscape and Urban Planning. 2009. No. 91. P. 160—170.
- [29] Van T. T., Wilson N., Tung H. T., Quisthoudt K., Minh V. Q., Tuan L. X., Guebas F. D., Koedam N. Changes in mangrove vegetation area and character in a war and land use change affected region of Vietnam (Mui Ca Mau) over six decades // Acta Oecol. 2015. 63. P. 71—81.
- [30] Zhang J., Pham T., Kalacska M., Turner S. Using Landsat Thematic Mapper records to map land cover change and the impacts of reforestation programmes in the borderlands of southeast Yunnan, China: 1990—2010 // Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. No. 31. P. 25—36.
- [31] Zomer R. J., Trabucco A., Wang M. et al. Environmental stratification to model climate change impacts on biodiversity and rubber production in Xishuangbanna, Yunnan, China // Biological Conservation. 2014. No. 170. P. 264—273.

Поступила в редакцию 18.01.2019 г.

После доработки 27.04.2019 г.

Принята к публикации 08.07.2019 г.