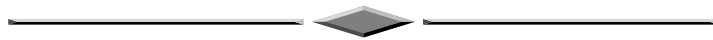


ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ



УДК 630(597)

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-214-228

ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЛЕСНЫХ УГОДИЙ ЗАПОВЕДНИКА ДОНГ НАЙ ВЬЕТНАМА

Василий Федорович Ковязин

Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2, доктор биологических наук, профессор кафедры инженерной геодезии, тел. (911)954-26-89, e-mail: vfkedr@mail.ru

Данг Тхи Лан Ань

Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2, аспирант кафедры инженерной геодезии, тел. (961)807-21-49, e-mail: lananhvfu2@mail.com

Данг Вьет Хунг

Вьетнамский государственный лесохозяйственный университет – Донг Най кампус, 810000, Вьетнам, район Транг Бом, ул. Чан Фу, 54, аспирант кафедры ботаники, тел. (962)708-27-30, e-mail: viethungvfu@gmail.com

Исследование проводилось на лесных угодьях заповедника Донг Най, который является особо охраняемой природной территорией (ООПТ) Вьетнама. Работа направлена на анализ изменений и прогноза состояния покрова лесных угодий в заповеднике. Для этих целей исследованы снимки Landsat-5, Landsat-7 и Landsat-8, полученные в 2003, 2011 и 2019 гг. Для выделения растительного покрова на лесных угодьях использован метод нормализованного индекса растений (NDVI). Выделенные по снимкам угодья классифицированы по категориям методом максимального правдоподобия. Для прогноза состояния выделенных угодий в районе исследований использовалась модель цепей Маркова и клеточных автоматов. Результаты исследования свидетельствуют, что в заповеднике Донг Най происходит трансформация угодий. По нашей оценке, с 2003 по 2019 г. площадь покрытых древесной растительностью угодий увеличилась на 7,0 %. К 2035 г. площадь широколиственных лесов увеличится на 1,6 %, за счет уменьшения площади лугов и кустарников. Динамика увеличения лесных угодий ООПТ объясняется принятыми Правительством Вьетнама мерами по расширению площади лесов.

Ключевые слова: заповедник Донг Най, лесные угодья, растительный покров, космоснимки, цепи Маркова.

Введение

Объект исследования является правопреемником природно-культурного объекта Винь-Кыу Вьетнама. Объект был создан Постановлением Правительства страны 02.12.2003 г. [1]. Позже данный земельный участок объединили с заповедником внутренних водно-болотных

угодий ЧиАн. Объединенный земельный участок получил новый статус «Природно-культурный заповедник Донг Най» [2], на котором проводились наши исследования. Площадь лесных угодий заповедника составляет 68 003,30 га, он расположен между 11°31'00" – 11°06'00" северной широты и 106°54'30" – 107°13'30" восточной долготы (рис. 1).

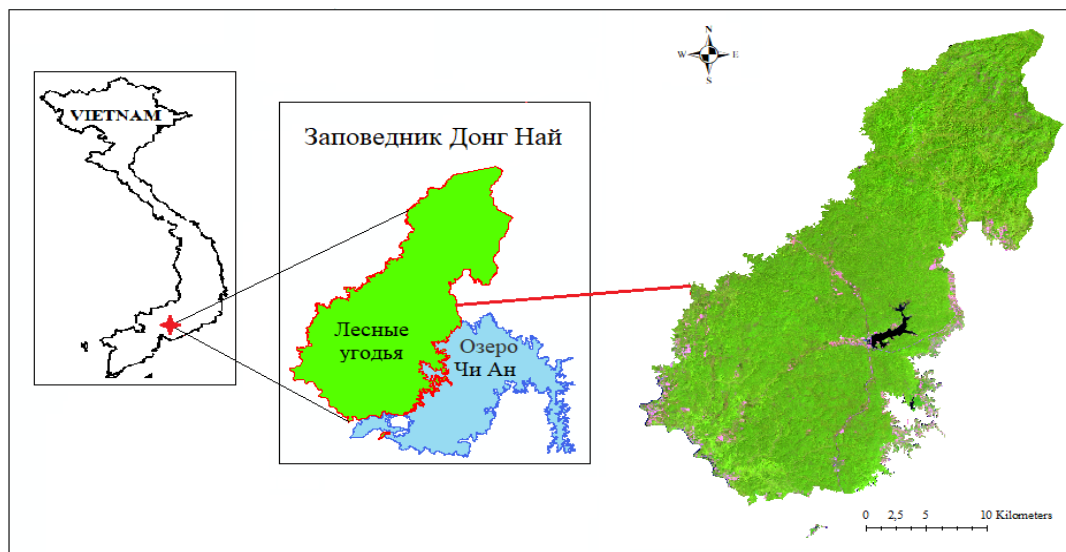


Рис. 1. Схема местонахождения и границы объекта исследований

Объект исследования является природной экосистемой в горах Чыонгшон [3], которая нуждается в срочном восстановлении лесов. Согласно данным Всемирного фонда дикой природы «Глобальные экологические проблемы – 200» [4], лесная экосистема в горах Чыонгшон включена в список регионов мира, нуждающихся в срочном восстановлении лесов после сплошной рубки. По решению международного координационного комитета ЮНЕСКО и программы «Человек и биосфера» от 29.06.2011 г. [2], заповедник Донг Най окружает национальный парк Каттхен, буферные и переходные зоны вокруг него также признаны биосферным заповедником Донг Най. Ранее, во время военных действий США во Вьетнаме, часть территории объекта исследования опрыскивалась токсичными химическими вещества-

ми, что привело к серьезным изменениям в структуре угодий заповедника. В настоящее время осуществляются программы Правительства Вьетнама и международных организаций [5] по преодолению последствий войны и увеличению разнообразия видов растений и животных в заповеднике. Мониторинг состояния земель в заповеднике Донг Най позволит выявить причины изменений в структуре угодий и предложить мероприятия по совершенствованию управления и сохранению одной из самых богатых биоразнообразием экосистем мира.

Материалы и методика

Исходным материалом для исследований являлись космические снимки, краткая характеристика которых приведена в табл. 1 [6].

Таблица 1

Характеристики использованных космоснимков при исследованиях

Название источника	Краткое описание снимков	Дата создания	Источник данных
LE71240522003024EDC00	Landsat-7, среднее спутниковое разрешение 30 м	24.01.2003	Геологическая служба США
LT51240522011038BKT00	Landsat-5, среднее спутниковое разрешение 30 м	07.02.2011	Геологическая служба США
LC81250522019051LGN00	Landsat-8, среднее спутниковое разрешение 30 м	20.02.2019	Геологическая служба США

Все космоснимки получены в сухой сезон 2003, 2011 и 2019 гг. при облачности менее 10 %. Они бесплатно загружены с сайта департамента США.

Методика исследований включала несколько этапов.

Предварительная обработка снимков – это коррекция и улучшение спутниковых изображений. Радиометрическая калибровка данных Landsat-5, Landsat-7 и Landsat-8 выполнялась в программе ArcGis 10.5 [7].

Изменение растительного покрова оценивалось по нормализованному относительному индексу растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Он определялся по интенсивности развития растений [8] и вычислялся по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – коэффициент отражения в ближней инфракрасной зоне;

RED – коэффициент отражения в красной спектральной зоне.

Индекс может принимать значения от –1 до 1. Для растительности характерны положительные значения NDVI, и чем больше ее фитомасса, тем они выше [9]. Классификация растительности проведена в период 2003–2019 гг., при этом район исследований разделен на три категории: низкая плотность растительности ($0 \leq NDVI < 0,2$), средняя плотность растительности ($0,2 \leq NDVI < 0,5$) и высокая плотность растительности ($NDVI \geq 0,5$).

Классификация состояния лесных угодий проводилась методом контролируемого алгоритма максимального правдоподобия (Supervised Maximum likelihood classifier), который предполагает нормальное распределение значений отражения растительности для каждого вида и вычисляет вероятность принадлежности отдельного пикселя к определенному классу растительного покрова на угодьях. Классификация лесных угодий проводилась в программе ENVI 5.3.

Оценка точности классификации проводилась по космоснимкам. Классифицированные изображения сравнивались с другими источниками: снимками Google Earth и картами состояния лесов заповедника Донг Най

2010 и 2015 гг. Сравнение итоговой карты с эталонными значениями осуществлялось путем построения матрицы ошибок. На основе матрицы ошибок устанавливались четыре результата расчета: точность пользователя, точность производителя, общая точность и индекс Каппа.

Точность пользователя – это общее количество правильных пикселей в категории, деленное на их число, которое классифицировалось в этой категории (общее количество строк). Точность производителя – это показатель того, насколько хорошо можно классифицировать определенную область растительности. Индекс Каппа измеряет согласованность между классификацией X и истинным значением Y [10]. Индекс Каппа (Каппа Козна) рассчитывался по формуле (2):

$$Каппа = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}, \quad (2)$$

где P_o – доля случаев, когда измерения совпали; P_e – ожидаемая доля случаев случайного совпадения.

Значение индекса Каппа, равное 1, представляет собой высокую согласованность, а значение 0 – отсутствие результатов классификации со справочными данными.

Для оценки изменений площадей лесных угодий после классификации проведена их инвентаризация за период с 2003 по 2019 г. Для оценки динамики растительности использована программа Arcgis 10.5 [11], а основой явились наши ранее разработанные карты состояния лесных угодий за 16 лет.

Прогноз состояния лесных угодий в заповеднике проводился с использованием модели цепей Маркова и клеточных автоматов. Модель КА-Марков объединяет клеточные автоматы, цепь Маркова – многокритериальные и многоцелевые распределения земли для прогнозирования изменения земной поверхности с течением времени [12]. Модель КА-Марков эффективно сочетает в себе преимущества двух моделей: а) способность моделировать пространственные изменения в сложных системах модели КА; б) долгосрочные прогнозы модели Маркова [13]. В этом исследовании модель КА-Марков ис-

пользуется для двух целей: во-первых, для моделирования состояния лесных угодий в 2019 г. для проверки точности модели КА-Марков, и во-вторых, для прогноза состояния покрова лесных угодий в 2035 г. Процесс прогноза покрова состояния лесных угодий с использованием модели КА-Марков позволил: 1) разработать карты пригодности лесных угодий для каждой категории на основе многочисленных критериев; 2) определить матрицы вероятности перехода состояния лесных угодий; 3) определить базовые карты, количество итераций и фильтров клеточных автоматов.

Многокритериальная оценка – это процесс, в котором несколько слоев объединяются для получения одной выходной карты. Это карта, показывающая пригодность земли для определенной деятельности. Карты пригодности разработаны путем установления правил перехода из одного состояния землепользования в другое. Ограничения являются критериями, которые ограждают расширение категорий угодий. Ограничения выражались в форме булевых карт (Booleanmaps), где для неподходящих областей устанавливалось значение 0, а для подходящих областей – значение 1. Факторы являлись критериями, которые давали степень пригодности лесных угодий для изменения состояния категории. Значения индекса пригодности на картах варьировали от 0 до 255, 0 – неподходящие и 255 – весьма подходящие угодья [14]. Считается, что близость к существующему индексу пригодности является движущей силой превращения землепользования в конкретный класс в будущем [15]. В этом исследовании природные факторы являлись движущей силой, под их действием происходило превращение лесных площадей в водно-болотные угодья или дороги. Также при составлении карт пригодности к использованию каждой категории лесных угодий они принимались во внимание. Веса факторов рассчитывались по методу анализа иерархий (МАИ), разработанному американским математиком Томасом Л. Саати в 1991 г. Метод МАИ является признанным многокритериальным методом, который включен в основанные на ГИС-технологиях процедуры опреде-

ления пригодности угодий [16]. Веса факторов определялись с помощью модуля «WEIGHT» [17]. Карты пригодности определенных категорий лесных угодий обрабатывались в модуле «МСЕ» [18] с учетом ограничений, факторов и весов.

Определение матриц вероятности перехода состояния лесных угодий проводилось с использованием цепи Маркова. Цепь Маркова впервые введена русским ученым А. А. Марковым в 1906 г. Цепь Маркова представляет собой статистический инструмент, который описывает вероятность изменений состояний угодий от одного периода (t) к другому ($t + 1$) путем разработки матрицы вероятности перехода между двумя периодами [19, 20]. В этом исследовании модель цепи Маркова описана как набор состояний лесных угодий в заповеднике: $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$, где 1, 2, 3, 4, 5 – категория лесных угодий (1 – широколиственные леса, 2 – луга и кустарники, 3 – непокрытые растительностью земли, 4 – водно-болотные угодья и 5 – дороги). Состояние лесных угодий в момент времени $t + 1$ рассчитывалось по формуле [21]:

$$S_{t+1} = P \cdot S_t, \quad (3)$$

где S_t, S_{t+1} – состояние лесных угодий в момент времени t и $t + 1$; P – матрица вероятности перехода состояния лесных угодий с элементами, которые являются вероятностями перехода (p_{ij}). Матрица P обладает следующими свойствами:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{51} & \dots & p_{55} \end{bmatrix}$$

$$(0 \leq p_{ij} < 1 \text{ и } \sum_{j=1}^n p_{ij} = 1, (i, j = 1, 2, \dots, 5)). \quad (4)$$

Для моделирования прогноза состояния лесных угодий в заповеднике к 2035 г. по цепи Маркова использовался инструмент «MARKOV», с помощью которого получены матрицы вероятности перехода угодий.

Выбор базовой карты, количества итераций и фильтров клеточных автоматов проводился

с использованием модели клеточных автоматов, предложенных в работе Неймана [22]. Клеточный автомат – дискретная динамическая система, представляющая собой совокупность клеток, одинаково соединенных между собой. Все клетки образуют так называемую решетку клеточного автомата [23]. В этом исследовании клетками являются сетки изображений, размер блока составляет 30×30 м. Модель клеточных автоматов может быть выражена следующим образом [24]:

$$S_{(t,t+1)} = f(S_{(t)}, N), \quad (5)$$

где S – множество ограниченных и дискретных клеточных состояний; N – клеточное поле; t и $t + 1$ – разные времена исследований; f – правило переходов клеточных состояний в локальном пространстве.

Определение базовой карты, количества итераций и фильтров являются неотъемлемой частью действия компонента клеточных автоматов. В качестве базовой выбрана карта состояния лесных угодий 2011 г., количество итераций клеточных автоматов равно 8 для моделирования состояния лесных угодий в 2019 г. Карта состояния лесных угодий 2019 г. выбрана в качестве базовой карты, количество итераций клеточных автоматов равно 16 для прогноза состояния земель в 2035 г. В данном исследовании использован фильтр по умолчанию 5×5 . Итак, моделирование и прогнозирование состояния лесных угодий в заповеднике Донг Най проведено по методу КА-Марков с помощью модуля «CA_MARKOV» в программе IDRISI.

Оценка точности модели прогноза проводилась путем сравнения результатов моделирования с истинными данными по целям исследований: 1 – согласованность по количеству угодий; 2 – согласованность по расположению ячеек в каждой категории угодий, между картами «сравнения» и «эталонной» [25]. Результаты измерения согласия являются статистическими показателями: несогласие из-за количества (Quantity disagreement), несогласие из-за расположения на уровне ячейки сетки (Allocation disagreement), Каппа без всякой информации или общая точность модели

прогноза (Kno) и традиционный индекс Каппа или Каппа Коэна (Kstandard). Когда значения несогласия равны 1, моделирование считается несовершенным, а если оно равно 0, то моделирование считается совершенным. Значения индексов Каппа 0,61–0,80 означают существенные, в то время как 0,81–1,00 означают почти идеальные [26]. Все индексы вычислены с использованием модуля «VALIDATE» в программе IDRISI [15].

Процедура анализа данных ДЗЗ приведена на рис. 2.

Результаты

Индекса NDVI, полученные за 2003, 2011 и 2019 гг., показывают динамику площадей растительного покрова угодий в течение всего периода исследований (рис. 3).

Анализ приведенных на рис. 3 данных свидетельствует, что за последние 16 лет наблюдается тенденция к восстановлению растительности в целом по всему заповеднику, но в то же время некоторые лесные районы, находящиеся вблизи населенных пунктов, подвержены процессу деградации. Эти зоны характеризуются низким значением индекса NDVI, что связано с антропогенным воздействием на эти природные экосистемы. В частности, южная часть заповедника (лесной массив Хиеу Лиём и Ма Да) имеет низкий уровень индекса NDVI.

Этот лесной массив последовательно увеличивает значения этого индекса с 2003 по 2019 г. На всех территории заповедника Донг Най в текущем году зарегистрировано повышение индекса NDVI до 0,82 и отмечено увеличение площади угодий с высокой плотностью растительности. Настоящее комплексное исследование позволило оценить степень распределения растительности по всей площади заповедника. Это первый опыт оценить степень покрытия земельных угодий заказника влажной тропической вечнозеленой широколиственной растительностью. Значительные изменения растительного покрова земельных угодий заповедника Донг Най также отмечены в восточном, западном и южном секторах.

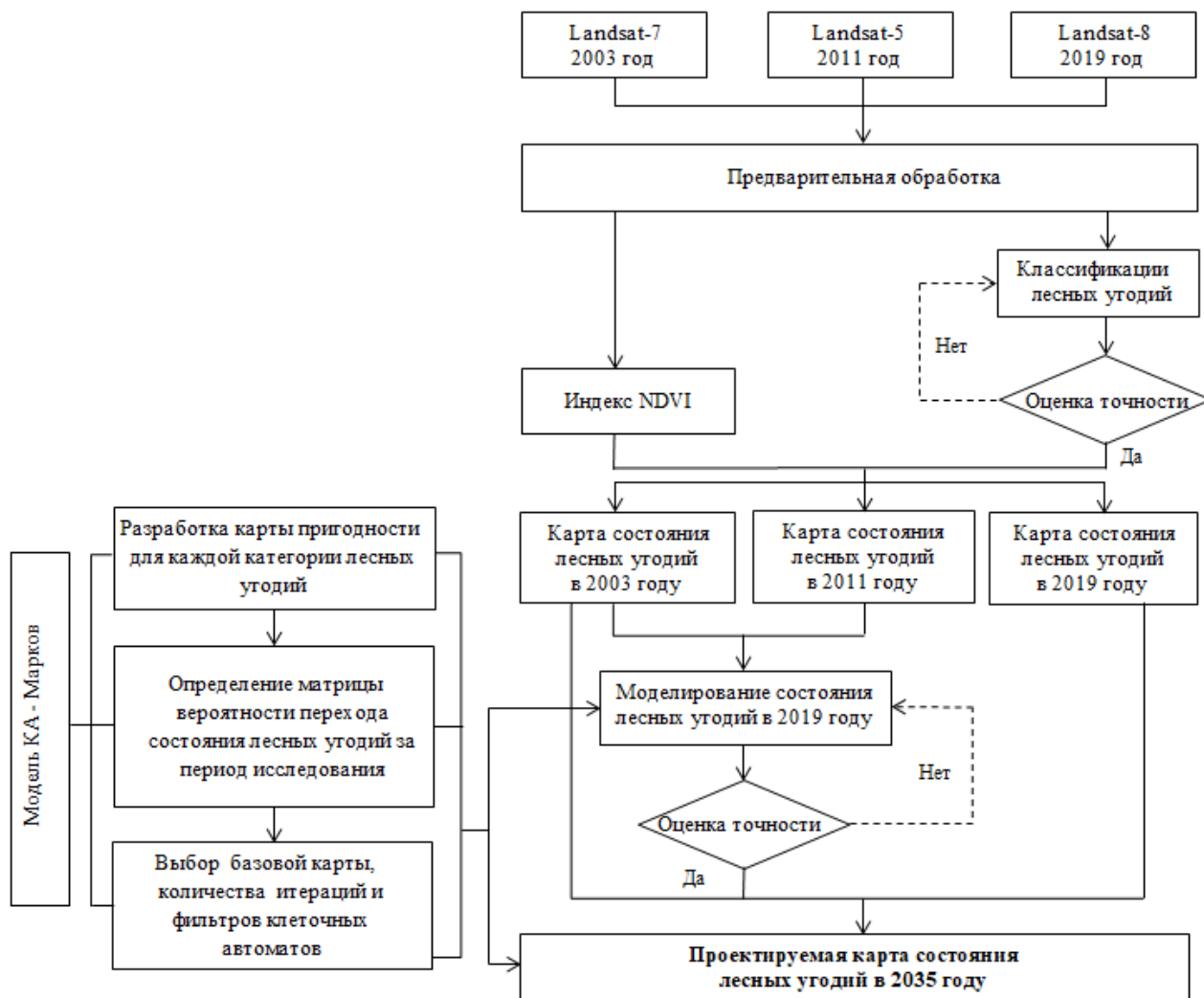


Рис. 2. Блок-схема методики исследований

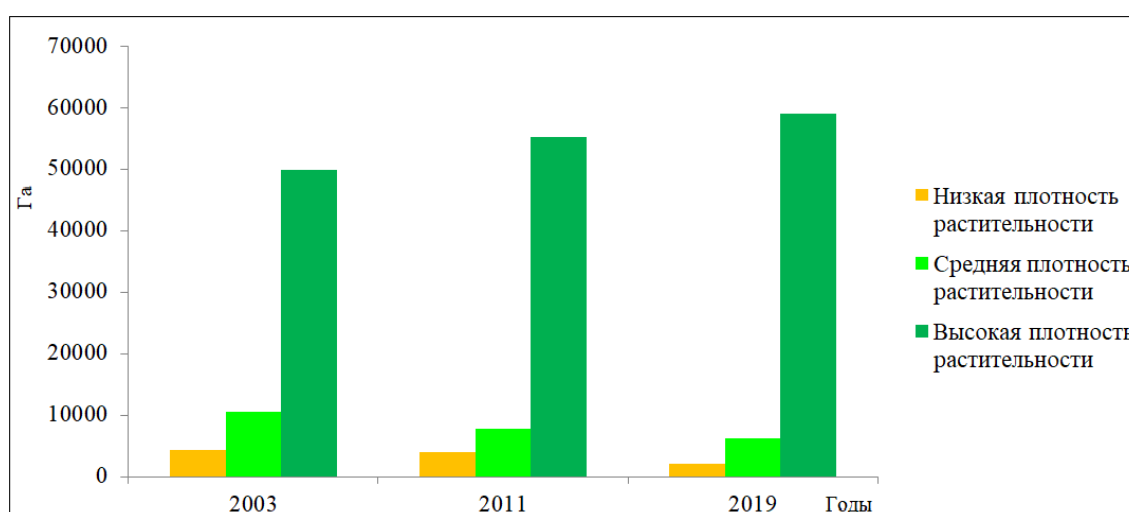


Рис. 3. Динамика площадей лесных угодий по категориям плотности растительности

По результатам классификации космоснимков разработаны карты покрова лесных угодий заповедника Донг Най в 2003, 2011 и 2019 гг. (рис. 4). Оценка точности классификации снимков в период с 2003 по 2019 г. приведена в табл. 2. Из данных табл. 2 видно, что точность пользователя и производителя исследований достаточно высокие. Общая точность карт растительного покрова для 2003, 2011 и 2019 гг. исследований больше 87 %, а индекс

Каппа равен 0,85, что указывает на то, что нами достигнута значительная согласованность между результатами классификации и справочными данными. Таким образом, результаты изначально считались приемлемыми для сравнения после классификации.

Данные инвентаризации растительного покрова угодий по категориям в заповеднике Донг Най в период с 2003 по 2019 г. приведена в табл. 3.

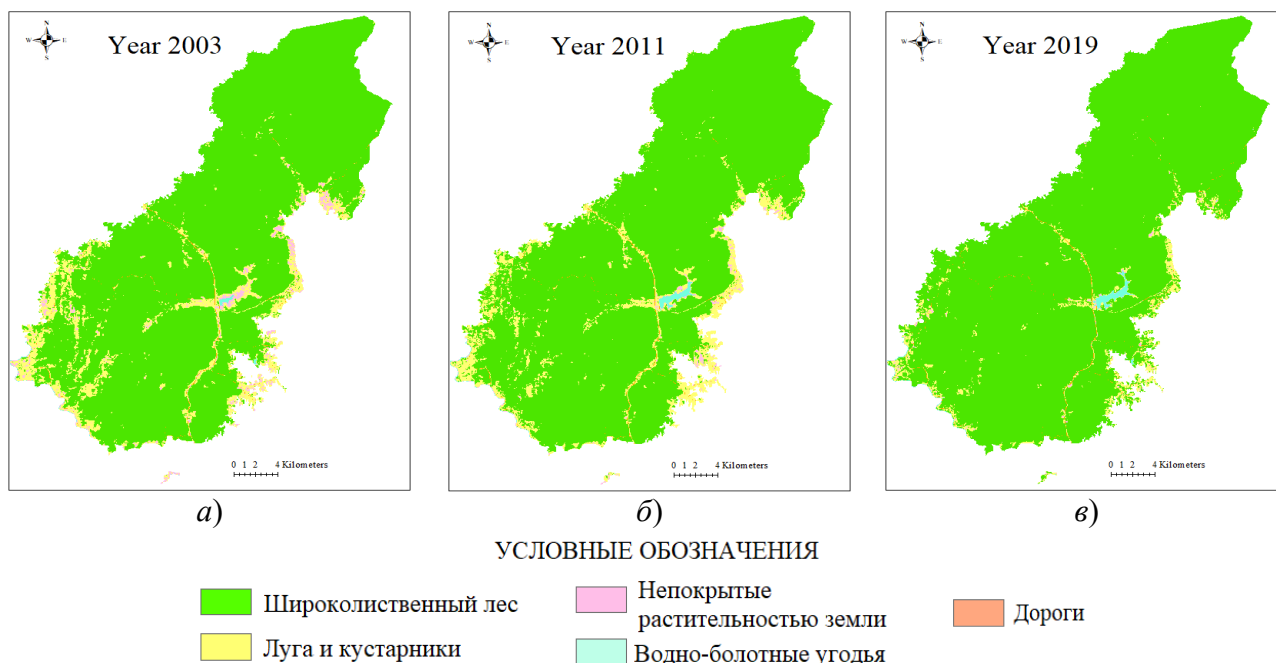


Рис.4. Состояние лесных угодий заповедника Донг Най в разные годы исследований:
а) карта в 2003 г.; б) карта в 2011 г.; в) карта в 2019 г.

Таблица 2

Результаты оценка точности классификации снимков по годам исследований

Категории лесных угодий	Точность по годам исследований, %					
	2003 г.		2011 г.		2019 г.	
	пользова- теля	произво- дителя	пользова- теля	произво- дителя	пользова- теля	произво- дителя
Широколиственный лес	91,8	90,0	95,7	91,8	97,6	96,4
Луга и кустарники	78,9	86,5	81,8	90,0	89,7	92,9
Не покрытые раститель- ностью земли	82,7	81,1	87,0	85,5	93,9	91,8
Водно-болотные угодья	91,8	90,0	93,8	91,8	92,9	94,6
Дороги	94,3	90,9	98,0	96,2	94,1	92,3
Общая точность, %	87,9		91,3		93,7	
Индекс Каппа	0,85		0,89		0,92	

Таблица 3

Динамика площадей лесных угодий по категориям в заповеднике Донг Най

Категории растительного покрова угодий	2003 г.		2011 г.		2019 г.	
	га	%	га	%	га	%
Широколиственные леса	60 601,0	88,7	62 199,3	91,1	63 693,0	93,3
Луга и кустарники	6 708,0	9,8	5 333,6	7,8	3 792,3	5,6
Не покрытые растительностью земли	550,1	0,8	218,0	0,3	185,8	0,3
Водно-болотные угодья	185,9	0,3	294,2	0,4	374,0	0,5
Дороги	258,2	0,4	258,2	0,4	258,2	0,4
Итого	68 303,3	100	68 303,3	100	68 303,3	100

Как видно из табл. 3, доминирующей категорией растительного покрова на лесных угодьях заповедника являются широколиственные леса, доля которых возрастает и составляет соответственно 88,7, 91,1, 93,3 % для 2003, 2011 и 2019 г. С 1997 г. провинция Донг Най явилась первым регионом Вьетнама, усилившим работы по охране, защите и восстановлению естественных лесов. В результате этих действий провинция Донг Най до сих пор имеет наибольшую лесопокрытую площадь на юго-востоке Вьетнама, включая лесные угодья заповедника Донг Най. При формировании заповедника у местных жителей, проживающих в его границах, сохранены сельскохозяйственные угодья для собственных целей. С 2003 г. хозяйства местного населения, живущего и использующего землю заповедника, стали переводить в другие места страны, чтобы использовать земли только для целей заповедника. Кроме того, в заповеднике постоянно ведется посадка саженцев на непокрытых лесной растительностью и сельскохозяйственных землях коммун. В результате таких мер за последние 16 лет лесная экосистема заповедника была восстановлена за счет широколиственных лесов, площадь которых увеличилась на 3 092,0 га (4,5 %). В первоначальный период наблюдений в заповеднике преобладали луга, кустарники и не покрытые растительностью земли. Большая часть этих угодий находится на юге заповедника, почвы которых малопродуктивны, загрязнены химическими веществами и обломками снарядов, которые сбрасывались на вьетнамское население во время военных действий США. В этих условиях может про-

израстать только травянистая растительность и кустарники, корневые системы которых располагаются у поверхности земли, в верхнем слое почвенного горизонта. С целью восстановления лесных экосистем площадь лугов, кустарников и непокрытых растительностью земель соответственно сократилась на 3 792,3 га и 185,8 га. Водно-болотные угодья, включающие озеро Ба Хао и многие небольшие ручьи и реки, впадающие в озеро Чи Ан, равномерно распределены по всей территории заповедника. В заповеднике Донг Най сухой сезон длится почти 6 месяцев, за этот период мелкие реки и ручьи практически пересыхают, поэтому площадь водно-болотных угодий довольно сильно колеблется в течение года. Но в целом, с 2003 по 2019 г. площадь водно-болотных угодий увеличилась на 188,1 га (0,3 %), благодаря мерам, принятым Правительством Вьетнама, по пополнению водохранилища Чи Ан водой. Вырубка лесов для строительства дорог приведет к увеличению количества отдыхающих в лесных угодьях, что станет проблемой сохранения окружающей среды и биоразнообразия в заповеднике Донг Най. Поэтому в последние 16 лет политика Правительства Вьетнама направлена на планирование землепользования, поддерживая лишь состояние дорог путем их текущего ремонта (258,2 га).

Для проверки точности модели КА-Марков и прогноза состояния лесных угодий в 2035 г. нами составлены карты пригодности и матрицы вероятностей переходов. Карты пригодности к использованию каждой категории лесных угодий в заповеднике приведены на рис. 5.

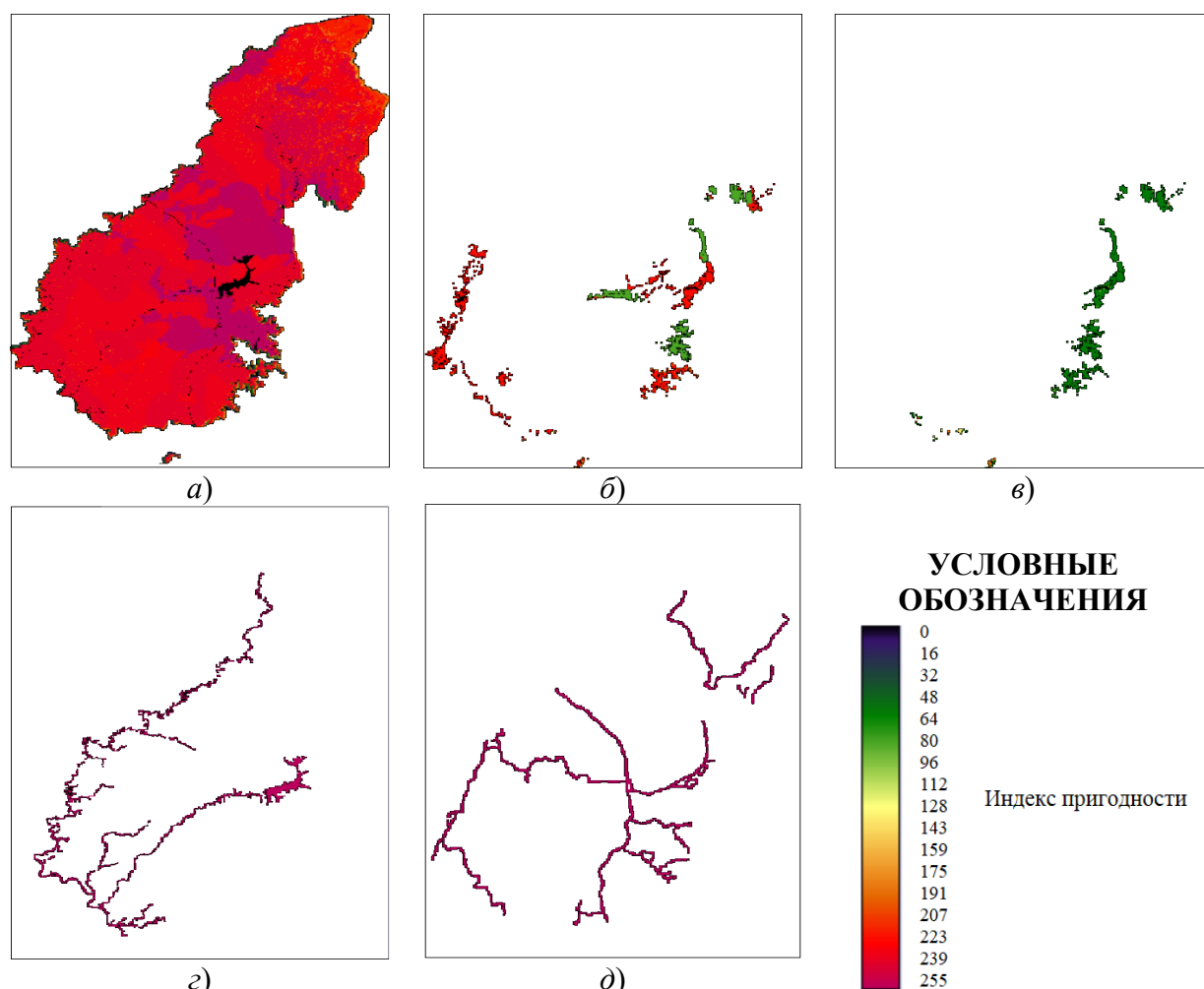


Рис. 5. Карты пригодности к использованию земельных угодий:
 а) широколиственные леса; б) луга и кустарники; в) не покрытые растительностью земли;
 г) водно-болотные угодья; д) дороги

Матрица вероятностей переходов угодий в заповеднике за 2003–2011 гг. приведена в табл. 4, за 2011–2019 гг. – в табл. 5.

Таблица 4

Матрица вероятности перехода угодий за 2003–2011 гг.

Категории земельных угодий		2011 г.				
		1	2	3	4	5
2003 г.	1	0,99	0,01	0,00	0,00	0,00
	2	0,35	0,61	0,02	0,01	0,00
	3	0,14	0,68	0,07	0,12	0,00
	4	0,01	0,21	0,07	0,71	0,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

Таблица 5

Матрица вероятности перехода угодий за 2003–2019 гг.

Категории земельных угодий		2019 г.				
		1	2	3	4	5
2003 г.	1	0,99	0,01	0,00	0,00	0,00
	2	0,51	0,45	0,02	0,02	0,00
	3	0,29	0,52	0,05	0,13	0,00
	4	0,04	0,12	0,07	0,78	0,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

Примечание: 1 – широколиственные леса; 2 – луга и кустарники; 3 – не покрытые растительностью земли; 4 – водно-болотные угодья; 5 – дороги.

Проверка модели прогноза землепользования проводилась путем математического моделирование прошедшего периода исследований [27]. Результаты моделирования со-

стояния лесных угодий заповедника Донг Най в 2019 г. приведены на рис. 6, а оценка точности прогнозной модели представлена в табл. 6.

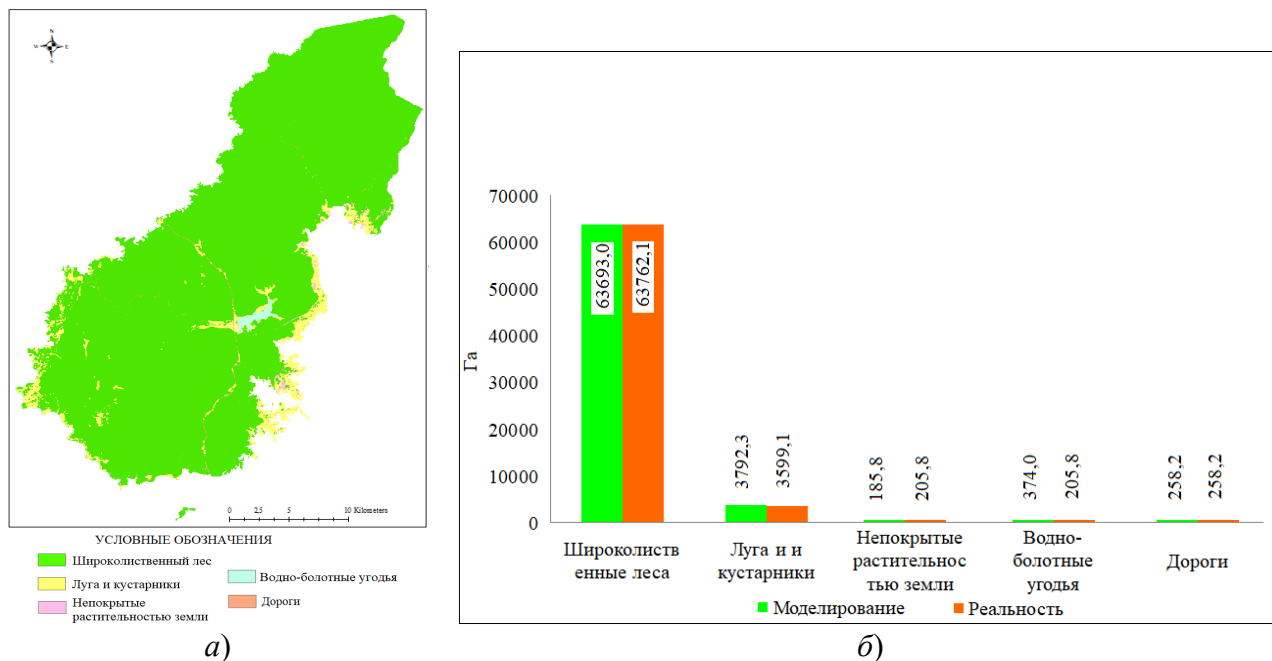


Рис. 6. Результаты моделирования состояния лесных угодий в заповеднике Донг Най в 2019 г.:

а) карта моделирования; б) сравнение данных карт моделирования и реальной по категориям

Таблица 6

Проверка соглашения между картами моделирования и реальной при оценке состояния лесных угодий в заповеднике Донг Най в 2019 г.

Индекс соглашения	Обозначение	Значение
Несогласие из-за количества	Quantity disagreement	0,0085
Несогласие из-за местоположения	Allocation disagreement	0,0202
Общая точность	Kno	0,9656
Индекс Каппа	Kstandard	0,9448

Из данных табл. 6 видно, что значений индексов «несогласие» довольно мало: несогласий по количеству – 0,008 5, а несогласии из-за местоположения – 0,020 2. Значение

индекса общей точности составляет 0,965 6, а индекса Каппа – 0,944 8. Эти индексы показывают хорошее согласие между картой моделирования и реальными данными. Это доказывает, что модель прогноза состояния лесных угодий заповедника достоверна и достигнута значительная точность прогнозирования.

Карты прогноза растительного покрова лесных угодий исследуемого района созданы путем комбинации модели клеточных автоматов и цепей Маркова (рис. 7). Результаты прогноза состояния растительного покрова лесных угодий по категориям в заповеднике Донг Най в 2035 г. приведена в табл. 7.

Тенденция изменения состояния лесных угодий по категориям в заповеднике Донг Най с 2003 по 2035 г. приведена на рис. 8.

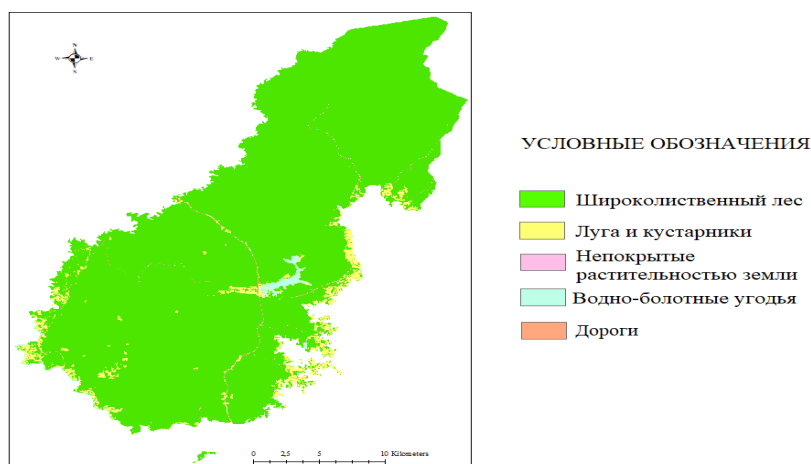


Рис. 7. Карта прогноза состояния лесных угодий по категориям в заповеднике Донг Най к 2035 г.

Таблица 7

Прогноз площадей категорий растительного покрова лесных угодий в заповеднике Донг Най к 2035 г.

Категории покрова лесных угодий	га	%
Широколиственные леса	64 783,7	94,8
Луга и кустарники	2 634,6	3,9
Не покрытые растительностью земли	116,6	0,2
Водно-болотные угодья	510,1	0,7
Дороги	258,2	0,4
Итого	68 303,3	100,0

Результаты прогнозирования показывают, что тенденция увеличения площади лесов за-

поведника продолжается. Площадь широколиственных лесов к 2035 году увеличится на 4 182,7 га (6,1 %), водно-болотных угодий – на 324,2 га (0,5 %). Площади лесных угодий: луга и кустарник, не покрытые растительностью земли уменьшатся на 4 506,90 га (6,6 %). Площади лесных угодий к концу периода прогнозирования составят следующие соотношения: широколиственных лесов достигнут 64 783,7 га (94,8 %), лугов и кустарников – 2 634,6 га (3,9 %), не покрытых растительностью земель – 116,6 га (0,2 %), водно-болотных угодий – 510,1 га (0,7 %), дорог – 258,2 (0,4 %). Полученные при прогнозировании площади лесных угодий свидетельствуют об увеличении в заповеднике Донг Най широколиственных высокополнотных древостоев.

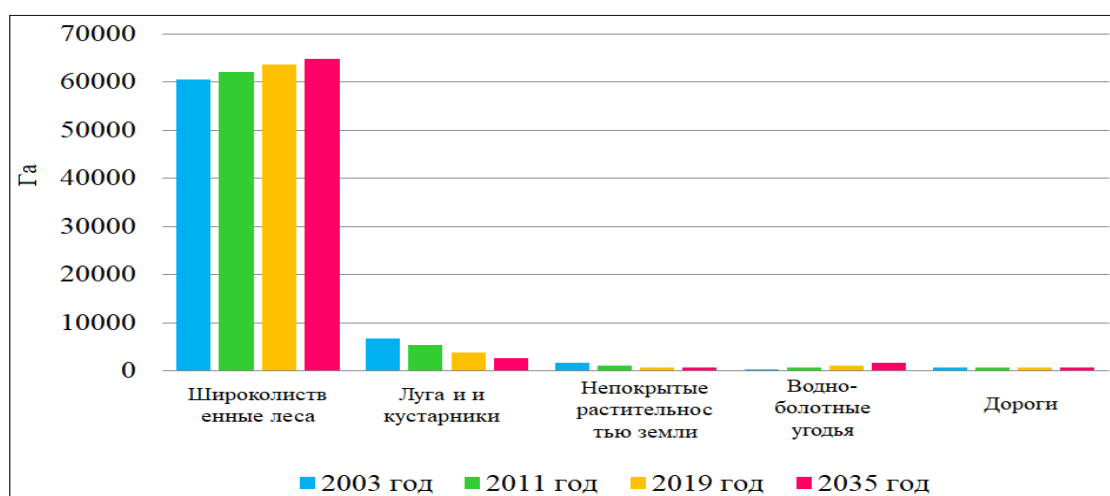


Рис. 8. Динамика площадей категорий растительного покрова лесных угодий в заповеднике Донг Най по категориям в 2003, 2011, 2019 гг. и прогноз к 2035 г.

Заклучение

Многолетние исследования с 2003 по 2019 г. земельных угодий заповедника Донг Най Вьетнама показали, что на них преобладает естественный широколиственный лес, но отмечена тенденция изменения состояния всех других категорий растительности. Динамика площадей широколиственных лесов, лугов и кустарников, не покрытых растительностью земель, водно-болотных угодий и дорог составляет соответственно 4,5, 4,3, 0,5, 0,3 и 0 %. За 16 лет наблюдений площадь широколиственных лесов заповедника увеличилась на 3 092,0 га (4,5 %), водно-болотных угодий – 188,1 га (0,3 %), соответ-

ственно сократились площади других категорий лесных угодий. Согласно прогнозной модели, разработанной нами, если политика Правительства Вьетнама относительно ООПТ в отношении заповедника Донг Най, будет направлена на охрану окружающей среды и совершенствование управления земельными ресурсами, то площади лесных экосистем к 2035 г. будут возрасти. Это будет способствовать сохранению и даже увеличению биоразнообразия лесных экосистем заповедника Донг Най, в частности, и сохранению окружающей среды в юго-восточном регионе Вьетнама, в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нгуен Ван Тхинь. Биоразнообразие и свойства почв биосферного заповедника Донгнай : дис. ... канд. биол. наук. – Ростов-н/Д. : РГУ, 2015. – 170 с.
2. Dang Viet Hung, Potokin A. F. Diversity of plant species composition and forest vegetation cover of Dong Nai Culture and Nature Reserve, Vietnam // *Earth and Environmental Science*. – 2019. – I. 316. – P. 1–9.
3. Hunting and Collecting Practices in the Central Truong Son Landscape / Le Trong Trai, Dang Thang Long, Phan Thanh Ha, Le Ngoc Tuan // *Central Truong Son Initiative Report*. – 2003. – No. 7. – 32 p.
4. Groombridge B., Jenkins M. D. *Global biodiversity: earth's living resources in the 21st century*. – Cambridge, World Conservation Press, 2000. – 254 p.
5. Отчет по земельной статистике за 2013 год в заповеднике Донгнай. – Департамент природных ресурсов и окружающей среды провинции Донгнай, 2013. – 12 с.
6. Хлебникова Е. П., Арбузов С. А. Использование геопространственных данных для решения задач мониторинга особо охраняемых природных территорий // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 96–105.
7. Ковязин В. Ф., Данг Т. Л. А. Мониторинг лесных земель заповедника «Ким Хи» Вьетнама с использованием ГИС-технологий // *Астраханский вестник экологического образования*. – 2019. – № 3. – С. 95–102.
8. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering // *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351, NASA*. – 1974. – Vol. 1 – P. 309–317.
9. Жолобов Д. А., Баев А. В. Уточнение значений нормализованного вегетативного индекса (NDVI) методом наложения транспирационной маски // *Инновации в науке : сб. статей по матер. XLV междунар. науч.-практ. конф.* – Новосибирск : СибАК, 2015. – № 5 (42). – С. 164–185.
10. Congalton R. G., Oderwald R. G., Mead R. A. Assessing landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques // *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*. – 1983. – Vol. 49, No. 12. – P. 1671–1678.
11. Ковязин В. Ф., Нгуен Т. С. Разработка прогнозной модели трансформации земельных угодий Вьетнама // *Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2019. – Т. 330, № 9. – С. 221–229.
12. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model / L. Sang, C. Zhang, J. Yang, D. Zhu, W. Yun // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2011. – Vol. 54. – P. 938–943.
13. Liping C., Yujun S., Saeed S. Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques – A case study of a hilly area, Jiangle, China // *PLOS ONE*. – 2018. – Vol. 13 (7). – P. 1–23.
14. Toward a sustainable city of tomorrow: a hybrid Markov-Cellular Automata modeling for urban landscape evolution in the Hanoi city (Vietnam) during 1990–2030 / T. A. Nguyen, P. M. T. Le, T. M. Pham et. al. // *Environ Dev Sustain* – 2019. – Vol. 21. – P. 429–446.
15. Praveen Subedi, Kabiraj Subedi, Bina Thapa. Application of a Hybrid Cellular Automaton – Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Pre-

diction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida // *Applied Ecology and Environmental Sciences*. – 2013. – Vol. 1(6). – P. 126–132.

16. GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China / J. Zhang, Y. Su, J. Wu, H. Liang // *Comput. Electron. Agric.* – 2015. – Vol. 114. – P. 202–211.

17. Marcel Török–Oance, Dorel Micle. Digital terrain analysis as a tool for the identification of possible areas with rural post – Roman archaeological sites in the S-W Dacia // *Annales d'Universite 'Valahia' Targoviste, Section d'Archeologie et d'Histoire*. – 2010. – Vol. 2. – P. 139–147.

18. Modelling of Land Use Land Cover Change using Earth Observation Datasets of Tons River Basin, Madhya Pradesh, India / Sudhir Kumar Singh, Prosper Basommi Laari, Sk. Mustak, Prashant K. Srivastavad, Szilárd Szabó // *Geocarto International* – 2017. – P. 1–21.

19. Wang S., Zhang Z., Wang X. Land use change and prediction in the Baimahe Basin using GIS and CA-Markov model // *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* – 2014. – 17 p.

20. Ozturk D. Urban Growth Simulation of Atakum (Samsun, Turkey) Using Cellular Automata-Markov Chain and Multi-Layer Perceptron-Markov Chain Models // *Remote Sens.* – 2015. – Vol. 7 (5). – P. 5918–5950.

21. Dynamic simulation of land use change in Jihe watershed based on CA-Markov model / W. Yousheng, Y. Xinxiao, H. Kangning, L. Qingyun, Z. Yousong, S. Siming // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 2011. – Vol. 27 (12). – P. 330–336.

22. Фон Нейман Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. – М.: Мир, 1971. – 326 с.

23. Наумов Л., Шалыто А. Клеточные автоматы. Реализация и эксперименты. – 2003. – 15 с.

24. Hou X. Y., Chang B., Yu. X. F. Land use change in Hexi corridor based on CA-Markov methods // *Transactions of the CSAE*. – 2004. – Vol. 20 (5). – P. 286–291.

25. Pontius R. G. Jr. Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions // *Photogramm Eng Remote Sens.* – 2002. – Vol. 68(10). – P. 1041–1050.

26. Feinstein A. R., Cicchetti D. V. High agreement but low kappa: I. The problems of two paradoxes // *J Clin Epidemiol.* – 1990. – Vol. 43 (6). – P. 543–549.

27. Azizi A., Malakmohamadi B., Jafari H. R. Land use and land cover spatiotemporal dynamic pattern and predicting changes using integrated CA-Markov model // *Global J. Environ. Sci. Manage.* – 2016. – Vol. 2 (3). – P. 223–234.

Получено 22.04.2020

© В. Ф. Ковязин, Данг Тхи Лан Ань, Данг Вьет Хунг, 2020

PREDICTING FOREST LAND COVER CHANGES OF DONG NAI RESERVE, VIETNAM

Vasily F. Kovyazin

Saint-Petersburg Mining University, 2, Vasilyevsky Island, 21 line, St. Petersburg, 199106, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy, phone: (911)954-26-89, e-mail: vfkedr@mail.ru

Dang Thi Lan Anh

Saint-Petersburg Mining University, 2, Vasilyevsky Island, 21 line, St. Petersburg, 199106, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy, phone: (961)807-21-49, e-mail: lananhvf2@mail.com

Dang Viet Hung

Vietnam National University of Forestry – Dong Nai Campus, 54, Tran Phu St., Trang Bom, Dong Nai, 810000, Vietnam, Ph. D. Student, Department of Forest Plant, phone: (962)708-27-30, e-mail: viethungvf@gmail.com

The study was conducted in Dong Nai Reserve, specially protected natural area (SPNA), Vietnam. It aims to analyze and forecast forest land cover in the Reserve. For these purposes were studied satellite images (Landsat 5, Landsat 7 and Landsat 8) taken in 2003, 2011 and 2019. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used to identify vegetation quality. Forest land cover was divided into 5 categories using maximum likelihood classifier algorithm. In order to detect and evaluate forest land cover changes, supervised classification and image differencing method are applied. Then, Cellular Automata and Markov

Chain model was employed for making forecast of forest land cover in this area. The results of the study indicate that forest land cover change is being transformed in Dong Nai Reserve. According to our estimation, from 2003 to 2019, the area covered by woody vegetation increased by 7.0 %. By 2035, the area of broad-leaved forests will increase by 1.6 %, due to a decrease in areas of meadows and shrubs. The dynamics of increasing forest land is explained by the measures taken by the Vietnamese government to expand the area of forests in SPNA.

Key words: Dong Nai nature reserve, forest land, vegetation cover, satellite images, Markov chains.

REFERENCES

1. Nguyen Van Thinh. (2015). Biodiversity and soil properties Dong Naibiosphere reserve. *Candidate's thesis*. Rostov-on-don [in Russian].
2. Dang Viet Hung, & Potokin, A. F. (2019). Diversity of plant species composition and forest vegetation cover of Dong Nai Culture and Nature Reserve, Vietnam. *Earth and Environmental Science*, 316, 1–9.
3. Le Trong Trai, Dang Thang Long, Phan Thanh Ha, & Le Ngoc Tuan. (2003). Hunting and Collecting Practices in the Central Truong Son Landscape. *Central Truong Son Initiative Report*, 7, 32 p.
4. Groombridge, B., & Jenkins, M. D. (2000). *Global biodiversity: earth's living resources in the 21st century*. Cambridge, World Conservation Press, 254 p.
5. *Report on land statistics for 2013 in the Dongnai nature reserve*. (2013). Dong Nai Province Department of Natural Resources and Environment, 12 p.
6. Hlebnikova E. P., & Arbuzov S. A. (2020). Using of geospatial data for solution of tasks of monitoring the specially protected natural territories. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(1), 96–105 [in Russian].
7. Kovyazin, V. F., & Dang, T. L. A. (2019). Monitoring of forest lands of Kim Hy reserve of Vietnam using GIS Technologies. *Astrahanskij vestnik ekologicheskogo obrazovaniya [Astrakhan Bulletin of Environmental Education]*, 3, 95–102 [in Russian].
8. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Greenbelt, NASA SP-351, 1*, 309–317.
9. Zholobov, D. A., & Baev, A. V. (2015). Refining the values of the normalized vegetative index (NDVI) by applying a transpiration mask. In *Sbornik statey XLV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: No. 5 (42). Innovatsii v nauke [Proceedings of XLV International Scientific and Practical Conferences: No. 5 (42). Innovations in Science]* (pp. 164–185). Novosibirsk: SibAK Publ. [in Russian].
10. Congalton, R. G., Oderwald, R. G., & Mead, R. A. (1983). Assessing landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 49(12), 1671–1678.
11. Kovyazin, V. F., & Nguyen, T. X. (2019). Development of a forecast model for the transformation of land in Vietnam. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [News of Tomsk Polytechnic University. Engineering of Georesources]*, 330(9), 221–229 [in Russian].
12. Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 938–943.
13. Liping, C., Yujun, S., & Saeed, S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques – A case study of a hilly area, Jiangle, China. *PLOS ONE*, 13(7), 1–23.
14. Nguyen, T. A., Le, P. M. T., Pham, T. M., & et al. (2019). Toward a sustainable city of tomorrow: a hybrid Markov–Cellular Automata modeling for urban landscape evolution in the Hanoi city (Vietnam) during 1990 – 2030. *Environ Dev Sustain*, 21, 429–446.
15. Praveen Subedi, Kabiraj Subedi, & Bina Thapa (2013). Application of a Hybrid Cellular Automaton – Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1(6), 126–132.
16. Zhang, J., Su, Y., Wu, J., & Liang, H. (2015). GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China. *Comput. Electron. Agric*, 114, 202–211.
17. Marcel Török–Oance, & Dorel Micle. (2010). Digital terrain analysis as a tool for the identification of possible areas with rural post – Roman archaeological sites in the S-W Dacia. *Annales d'U-*

niversite 'Valahia' Targoviste, Section d'Archeologie et d'Histoire, 2, 139–147.

18. Sudhir Kumar Singh, Prosper Basommi Laari, Sk. Mustak, Prashant K. Srivastavad, & Szilárd Szabó. (2017). Modelling of Land Use Land Cover Change using Earth Observation Datasets of Tons River Basin, Madhya Pradesh, India. *Geocarto International*, 1–21.

19. Wang, S., Zhang, Z., & Wang, X. (2014). Land use change and prediction in the Baimahe Basin using GIS and CA-Markov model. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 17 p.

20. Ozturk, D. (2015). Urban Growth Simulation of Atakum (Samsun, Turkey) Using Cellular Automata-Markov Chain and Multi-Layer Perceptron-Markov Chain Models. *Remote Sens.*, 7, 5918–5950.

21. Yousheng, W., Xinxiao, Y., Kangning, H., Qingyun, L., Yousong, Z., & Siming, S. (2011). Dynamic simulation of land use change in Jihe watershed based on CA-Markov model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 27(12), 330–336.

22. J. von Neumann. (1971). *Teoriya samovosproizvodyashchih avtomatov* [Theory of self-

replicating automata]. Moscow: Mir Publ., 326 p. [in Russian].

23. Naumov, L., & Shalyto, A. (2003). *Kletochnye avtomaty. Realizatsiya i eksperimenty* [Cellular automata. Implementation and experiments], 15 p. [in Russian].

24. Hou, X. Y., Chang, B., & Yu, X. F. (2004). Land use change in Hexi corridor based on CA-Markov methods. *Transactions of the CSAE*, 20(5), 286–291.

25. Pontius, R. G. Jr. (2002). Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 68(10), 1041–1050.

26. Feinstein, A. R., & Cicchetti, D. V. (1990). High agreement but low kappa: I. The problems of two paradoxes. *J Clin Epidemiol*, 43(6), 543–549.

27. Azizi, A., Malakmohamadi, B., & Jafari, H. R. (2016). Land use and land cover spatiotemporal dynamic pattern and predicting changes using integrated CA-Markov model. *Global J. Environ. Sci. Manage*, 2(3), 223–234.

Received 22.04.2020

© V. F. Kovyazin, Dang Thi Lan Anh, Dang Viet Hung, 2020