


Обзор


DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/12>

УДК 630.232 : (004.652.4 + 303.722.4)



Справочная информационная система FLR-Library для адаптивного лесовосстановления: кластерный анализ дескрипторов

Татьяна П. Новикова ✉, novikova_tp.vglta@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1279-3960>

Артур И. Новиков, arthur.novikov@vglta.vrn.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1230-0433>

Евгений П. Петрищев, petrishchev.vgltu@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1395-3631>

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

Отсутствие единых терминологических и технологических подходов к процедуре адаптивного лесовосстановления предполагает обоснование принципов создания справочной информационной системы (FLR-Library), учитывающей особенности реализации совместного декомпозированного FLR-алгоритма для сокращения времени его выполнения и рационального прогнозирования будущих проектов восстановления лесных ландшафтов. Собрано и проанализировано более 120 определений для более 30 дескрипторов, таких как «лес», «лесные ландшафты», «адаптивное лесовосстановление», «концепции адаптивного лесовосстановления», «лесовосстановление», «лесоразведение», «древостой», «лесное насаждение», «лесной комплекс», «лесной ландшафт», «тип леса» и других. Найдены как отличительные черты, так и общие моменты в определениях различных стран и авторов одного дескриптора. Технически реализован подход к кластеризации наиболее часто встречающихся дескрипторов: «лес», «лесные ландшафты», «лесовосстановление», «лесоразведение». Для этого по каждому дескриптору на основании модуля иерархической кластеризации определили совмещение кластера перешкалированных расстояний и построили кластерную диаграмму по переменным (критериям эффективности дескрипторов) и наблюдениям (по странам, содержащим источник информации с дескриптором). Общим для всех источников будет то, что адаптивное лесовосстановление подразумевает адаптацию к изменению климата, но далее существует два варианта развития: 1) посадка (посев) пород, устойчивых к изменению климата; 2) завоз и адаптация «южных» пород в северные широты. В будущем на основании анализа дескрипторов и принципа декомпозиции планируется разработать алгоритм функционирования FLR-системы.

Ключевые слова: восстановление лесных ландшафтов, адаптивное лесовосстановление, справочная система, терминология, страны по площади лесов, страны по активному ведению лесного хозяйства, реляционная модель данных.

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00102, <https://rscf.ru/project/23-26-00102/>.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: Новикова, Т. П. Справочная информационная система FLR-Library для адаптивного лесовосстановления: кластерный анализ дескрипторов / Т. П. Новикова, А. И. Новиков, Е. П. Петрищев // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 3 (51). – С. 164–179. – Библиогр.: с. 173–179 (48 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/12>.


Поступила 20.08.2023. Пересмотрена 21.09.2023. Принята 23.09.2023. Опубликована онлайн 30.11.2023.

Review

FLR-Library reference information system for adaptive forest restoration: cluster analysis of descriptors

Tatyana P. Novikova ✉, novikova_tp.vglta@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1279-3960>

Arthur I. Novikov, arthur.novikov@vglta.vrn.ru  <https://orcid.org/0000-0003-1230-0433>

Evgeniy P. Petrishchev, petrishchev.vgltu@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0002-1395-3631>

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

Abstract

The lack of uniform terminological and technological approaches to the procedure of adaptive reforestation suggests the justification of the principles of creating a reference information system (FLR-Library), taking into account the specifics of implementing a joint decomposed FLR algorithm to reduce its execution time and rational forecasting of future forest landscape restoration projects. Collected and analyzed more than 120 definitions for more than 30 descriptors, such as "forest", "forest landscapes", "adaptive reforestation", "concepts of adaptive reforestation", "reforestation", "afforestation", "stand", "forest plantation", "forest complex", "forest landscape", "type of forest" and others. Both distinctive features and common points in the definitions of different countries and authors of the same descriptor are found. Technically, an approach to clustering of the most common descriptors is implemented: "forest", "forest landscapes", "reforestation", "afforestation". To do this, for each descriptor, based on the hierarchical clustering module, the combination of a cluster of recalibrated distances was determined and a cluster diagram was constructed based on «variables» (criteria for the descriptors effectiveness) and «observations» (by countries containing a source of information with a descriptor). Common to all sources will be that adaptive reforestation implies adaptation to climate change, but then there are two options for development: 1) planting (sowing) breeds resistant to climate change; 2) import and adaptation of "southern" breeds to northern latitudes. In the future, based on the analysis of descriptors and the principle of decomposition, it is planned to develop an algorithm for the functioning of the FLR system.

Keywords: *restoration of forest landscapes, adaptive reforestation, reference system, terminology, countries by forest area, countries by active forest management, relational data model.*

Funding: this study has been supported by the grants the Russian Science Foundation, RSF 23-26-00102, <https://rscf.ru/project/23-26-00102/>.

Acknowledgments: the authors thank the reviewers of their contribution to the expert evaluation of the article.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Novikova T. P., Novikov A. I., Petrishchev E. P. (2023). FLR-Library reference information system for adaptive forest restoration: cluster analysis of descriptors. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 3 (51), pp. 164-179 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/12>.

Received 20.08.2023. *Revised* 21.09.2023. *Accepted* 23.09.2023. *Published online* 30.11.2023.

Введение

Разработке справочной информационной системы для адаптивного восстановления лесных ландшафтов (FLR-Library) [1] должно предшество-

вать исследование и понимание терминологии лесного хозяйства в странах, занимающих ведущие места по площади лесов (РФ, США, Иран, Индия и др.) [2], либо активно занимающиеся научными исследованиями в области восстановления лесных

ландшафтов (Швеция, Финляндия, Испания, Сербия, Болгария и др.) [3]. Рассмотрение международной терминологии является важным элементом на этапе анализа предметной области для построения моделей и алгоритмов информационной системы (ИС).

«С биологической точки зрения искусственное лесовосстановление, лесоразведение, содействии естественному лесовозобновлению – это разные процессы, но с технической и математической сторон, если в качестве входных переменных учесть: расположение участка (широту и долготу); высоту над уровнем моря; уклон и т.д. ... , то изменяя переменные в «формуле», описывающей восстановление лесных ландшафтов и, следуя алгоритму лесовосстановления [5,6], можно объединить эти три понятия [4]». Однако для сбора всех входных переменных (параметров, которые лягут в основу модели и алгоритма FLR-системы) необходим анализ таких дескрипторов, как «лес», «лесные ландшафты», «адаптивное лесовосстановление», «концепции адаптивного лесовосстановления», «лесовосстановление», «лесоразведение» и др.

Дескриптор «концепции адаптивного лесовосстановления | восстановления лесных ландшафтов» представляет широкий интерес для интеграции, по мнению Стефани Мансуриан [10], объединившей 35 соавторов из Женевского университета, Лесной службы (USDA) США, международной организации (IUFRO), Техасского университета, Университета Британской Колумбии, Университета Небраски, Киотского университета, Кембриджского университета, университета Рио-де-Жанейро, Краковского сельскохозяйственного университета, Тюненского университета международного лесного хозяйства и лесной экономики, Эдинбургского университета и ученых из других научных организаций, чтобы оценить реализуемые отраслевые подходы для управления проектами по восстановлению лесов.

Лесные ландшафты [11-13] для большинства стран неразрывно связаны с экономической [14-16] (лесохозяйственное, лесозаготовительное и целлюлозно-бумажное производство) и социальной [17-19] (предоставление экосистемных услуг) деятельностью, поэтому потеря 230 млн га лесов за 10 лет

начиная с 2000 года [20] фокусирует ученых в области лесного хозяйства, лесных фермеров и государство для целей ускоренного (адаптивного) лесовосстановления [21-23], учитывающего риски [24-26] деградации [27-29] и трансформации.

Объединению усилий по восстановлению лесных ландшафтов были призваны способствовать глобальные и крупномасштабные программы по лесовосстановлению (например, Боннский вызов [30-32], кампания ООН «Миллиард деревьев» (2006-), «Африканская инициатива по восстановлению – 100 млн га к 2030 году», «Бразильский пакт о восстановлении атлантических лесов – 15 млн га к 2050 году», и другие программы), наибольший объем которых по площади восстанавливаемых лесов приходится на КНР.

Однако восстановление лесных ландшафтов – это несколько больше, чем посадка деревьев [10]. Это целый комплекс технологий лесовосстановления [33-35], требующих взаимодействия идей, подкрепленных знаниями о создании лесов посадкой [36-37] или посевом [38] с учетом современных технологий тестирования семян [39-41], раннем росте [42] лесных насаждений, использовании перспективных технических средств [43-45] и современных технологий [46]. Комплекс, центральным звеном которого необходимо рассматривать информационную систему [47,48], учитывающие указанные выше дескрипторы лесовосстановления.

Исследование определений данных дескрипторов из различных стран позволит учесть имеющийся международный опыт, поставив цель: собрать максимально возможное количество параметров для будущей FLR-системы, проанализировать, как на данные дескрипторы влияет география и политика государств, осуществляющих активную лесохозяйственную деятельность, как изменяется подход к даче определений дескрипторов во времени?

Материалы и методы

Объект исследования

Дескрипторы данных «лес», «лесные ландшафты», «адаптивное лесовосстановление», «концепции адаптивного лесовосстановления», «лесовосстановление», «лесоразведение» и др.

Сбор данных

Поиск проводили путем ввода ключевых слов на различных научных сайтах с открытым доступом, включая Google Scholar, ELibrary, LENS. Для поиска соответствующих публикаций было использовано множество ключевых слов, таких как «лес», «лесные ландшафты», «адаптивное лесовосстановление», «концепции адаптивного лесовосстановления». Также поиск по данным дескрипторам осуществлялся на сайтах международных организаций, таких как FAO, IUFRO. Было уделено внимание также законодательству различных государств, в случае наличия в них определений «лес», «лесные ландшафты», «адаптивное лесовосстановление», «концепции адаптивного лесовосстановления». Было собрано, проанализировано и обработано более 120 определений, и работа в этом направлении продолжается. Набор данных содержит: название дескриптора на русском языке; название дескриптора на английском языке; аббревиатура (при ее наличии); определение на русском языке; определение на английском языке; автор (при наличии); год; страна; источник; интернет ссылка.

Анализ данных

По результатам поиска отобрали наиболее часто встречающиеся дескрипторы: «лес», «лесовосстановление», «лесной ландшафт», «лесоразведение». По каждому из отображенных дескрипторов были установлены бинарные критерии (0 – нет; 1 – есть) эффективности описания дескриптора.

Применяя статистический программный продукт IBM Statistics v25, по каждому дескриптору создавали таблицу данных, в строках которой устанавливали «наблюдение» (источник определения дескриптора и страна), а в столбцах – «переменные» (критерии оценки дескриптора) и один столбец для подписей данных (страны). Для оценки степени сходства и различия каждого отображенного дескриптора, а также визуализации данных выполняли через интерфейс программного продукта команду {Анализ} – {Классификация} – {Иерархическая кластеризация} сначала с кластеризацией «наблюдений», а затем с кластеризацией «переменных», со следующими параметрами: статистики (порядок агрегации, матрица близостей); графи-

ки (дендрограмма, сосульчатая диаграмма); метод (межгрупповой связи, мера бинарная Жаккара).

Результаты и обсуждение

Первое определение леса, которое встретилось во время исследования, датировано 1895 годом в Постановлении правительства Цейлона – лес означает всю землю, находящуюся в распоряжении короны³. Такое определение было обусловлено тем, что Цейлон (сегодня официальное название Демократическая Социалистическая Республика Шри-Ланка) в тот период был британской колонией. Следующее определение леса, данное в Законе о частных лесах Бихара 1947 года также связано с политическими изменениями в Индии, которая до 1947 года также являлась колонией – «означает любую землю, которую правительство штата может путем уведомления объявить лесом для целей настоящего Закона, и считается, что она включает любую землю, которая указана как лес, джунгли...»⁴. Определение леса, как «любая земля под лесами, на которой ни одно лицо не приобрело постоянного, наследственного и передаваемого по наследству права пользования и проживания...»⁵ было дано в 1969 году в королевстве Бутан, и также прослеживается влияние на определение «лес» политического строя и уклада общества.

В 1979 году в основе определения леса в Болгарии⁶, – совокупность деревьев на площади земли, а в Греции⁷, добавляется учет местности и рельефа.

Рассмотрение леса с точки зрения взаимодействия его компонентов было представлено в 1985 г. в Лесной энциклопедии СССР – «один из основных типов растительности, состоящий из со-

³ A revised edition of the ordinances of the Government of Ceylon. Volume II. 1883-1889. Colombo. URL : https://books.google.ru/books?id=E1JHAAAAIAAJ&pg=PA369&lpg=PA369&dq=%22forest+means%22&source=bl&ots=Wyb5K9BgeN&sig=UxCBQwHldjZw00JjFHmGDauElOU&hl=en&ei=1hFXS57SKsSXtqfwvmv9BA&sa=X&oi=book_result&ct=result&redir_esc=y#v=onepage&q=%22forest%20means%22&f=false

⁴ Bihar Private Forest Act 1947. International Environment House, Chemin de Balexert 7, 1219 Geneva, Switzerland.

⁵ Forest regulation / FAO. <https://www.fao.org/3/ad103e/AD103E07.htm>

⁶ Даков, М., Вл. Власев. 1979. Общолесоводство. с. 382. Земиздат, София. https://knizhenpazar.net/sold_products/books/2719582-obshto-lesovodstvo

⁷ Law 998/1979 (FEK A 289). https://www.culture.gov.gr/el/ministry/SitePages/archeol_law.aspx?iID=133

вокупности древесных, кустарниковых, травянистых и др. растений (мхи, лишайники), включающий животных и микроорганизмы, биологически взаимосвязанных в своем развитии и влияющих друг на друга и на внешнюю среду»¹.

В определение леса от 1986 года (КНР) нами впервые встречены четкие числовые значения – «лесные угодья, состоящие из древесных пород, с пологом (или сомкнутостью кроны) более 20%»². Далее в определениях леса в: Лесном кодексе Армении (2005 г.); публикации Lund, H. Gyde (coord.) (США, 2006 г.)³; Законе о лесе Республики Сербска (Босния и Герцеговина, 2008 г.); Лесном кодексе Румынии (2008 г.); Законе о лесе Болгарии (2011 г.); КНР (ФАО, 2011 г., 2016 г.); Концепции управления лесным хозяйством Венгрии (2018 г.); Иране (ФАО, 2020 г.) приводятся различные числовые параметры: высоты деревьев, площади, ширины участка, процента покрытия земли верхушками деревьев, процента полога, процента сомкнутости и т.п. На первый взгляд может показаться, что применение числовых показателей в определении связано с источником (большинство – это государственные законы представленных стран), однако такая тенденция не прослеживается у их соседей, где в законах нет четких числовых параметров отнесения насаждения к лесу, например в публикациях Лесного и биологического центра охраны дикой природы Турции (2020 г.)⁴, Законе о лесе Турции (2023 г.), Фламандском лесном указе (Бельгия, 2023 г.)⁵, законе 43/2003 Испании (2003 г.)⁶, Законе о лесе (Польша, 2001 г.). Также отсутствуют четкие числовые рамки отнесения лесных насаждений к лесу в определениях: Правительства Индии и Министерства статистики и осуществления программ

(2023 г.)⁷, департамента природных ресурсов Висконсина (США, 2020 г.)⁸, Лесном кодексе РФ (2023 г.)⁹. Кластерный анализ представлен на рис. 1.

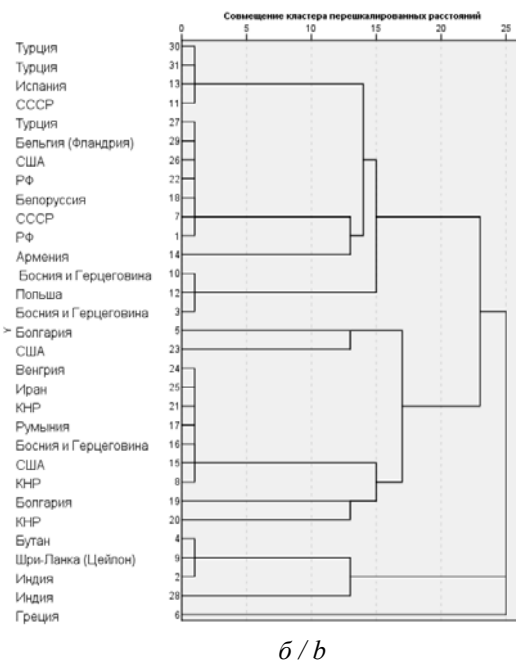
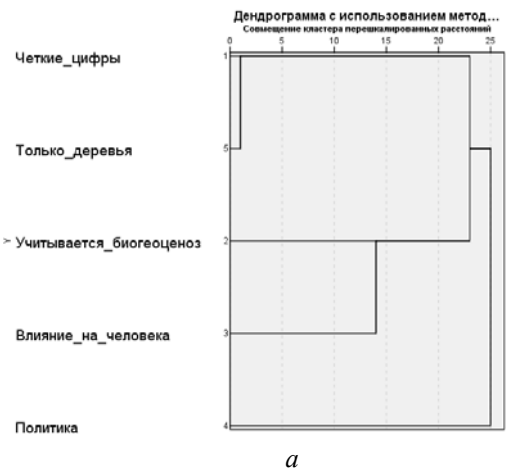


Рисунок 1. Кластерная диаграмма сходства и различия для оценки дескриптора «лес» по критериям (а) и странам (б)

Figure 1. Diagram of similarities and differences for assessing the applicability of «forest» descriptor according to the criteria (a) and country (b)

Источник: собственные результаты авторов

¹ Лесная энциклопедия, т. 1. Советская энциклопедия, Москва, 1985, с. 503.

² <https://www.fao.org/3/ca9980en/ca9980en.pdf>

³ Lund, H. Gyde (coord.) 2006. Definitions of Forest, Deforestation, Afforestation, and Reforestation. Available from the World Wide Web: <http://home.comcast.net/~gyde/DEFpaper.htm>.

⁴ Лесной и биологический центр охраны дикой природы ISBN: 978-605-06990-2-9 Ülgen, H., Zeydanlı, U., Lise, Y. (editörler). 2020. Orman ve Biyolojik Çeşitlilik. Doğa Koruma Merkezi, Ankara, 219 sayfa. <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Yayinlar/Orman%20ve%20Biyolojik%20Çeşitlilik.pdf>

⁵ Flemish Forest Decree. <https://navigator.emis.vito.be/detail?woId=26140&woLang=nl>

⁶ Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-21339>

⁷ Government of India Ministry of Statistics and Programme Implementation. <https://www.mospi.gov.in/45-nine-fold-classification-land-use>

⁸ Wisconsin department of natural resources. Notice of final guidance & certification. FA-20-0001. https://wisconsin.gov/sites/default/files/topic/ForestManagement/24315_AppendixA.pdf

⁹ Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023)

Source: own results

Рассмотрение определения дескриптора лесовосстановление охватило временной промежуток с 1989 г. (Греция) до 2023 г. (США, Испания, Бельгия, Турция). Все определения начинались со слова «восстановление», далее «лесов»¹ (энциклопедический словарь лесного хозяйства, Польша, 1996; технические термины о лесе, Венгрия, 2023; ООН, 2023²) или «деревьев и древесно-кустарниковой растительности» (департамент природных ресурсов Висконсина, США, 2020 г.; Комитет лесного хозяйства Московской области, РФ, 2018 г.³; Фламандский лесной указ, Бельгия, 2023 г. и др.). В некоторых определениях указывается, что исключается естественное возобновление (Греция, 1989 г.⁴), другие источники (Венгрия, 2023 г.⁵; энциклопедический словарь лесного хозяйства, Польша, 1996 г.) наоборот учитывают и естественное возобновление.

На наш взгляд, наиболее оптимальным определением дескриптора «лесовосстановление» является *«процесс и мероприятия, направленные на восстановление лесной растительности с преобладанием древесных лесобразующих пород, осуществляемые в течение определенного периода»* (Комитет лесного хозяйства Московской области, РФ, 2018 г.), данное определение кратко, но емко характеризует процесс лесовосстановления, в отличие, например от «облесение в границах лесов» (Главное управление лесного хозяйства Министерства сельского хозяйства, Турция, 2023 г.⁶).

Кластерный анализ дескриптора «лесовосстановление» по критериям упоминания в определении: только деревьев, деревьев и древесно-кустарниковой растительности, исключение есте-

ственного возобновления, упоминание посадки/посева представлен на рис. 2.

Определения дескриптора «лесной ландшафт» были рассмотрены с 2008 по 2023 годы. К наиболее интересному и сложному для однозначной интерпретации относится определение «это централизованная, четко структурированная система, где обязательно имеется руководящий элювиальный центр и серия подчиненных элементарных геохимических ландшафтов, чьи свойства определяются многими, в том числе и водными связями между ядром и сопряженными компонентами» [7].

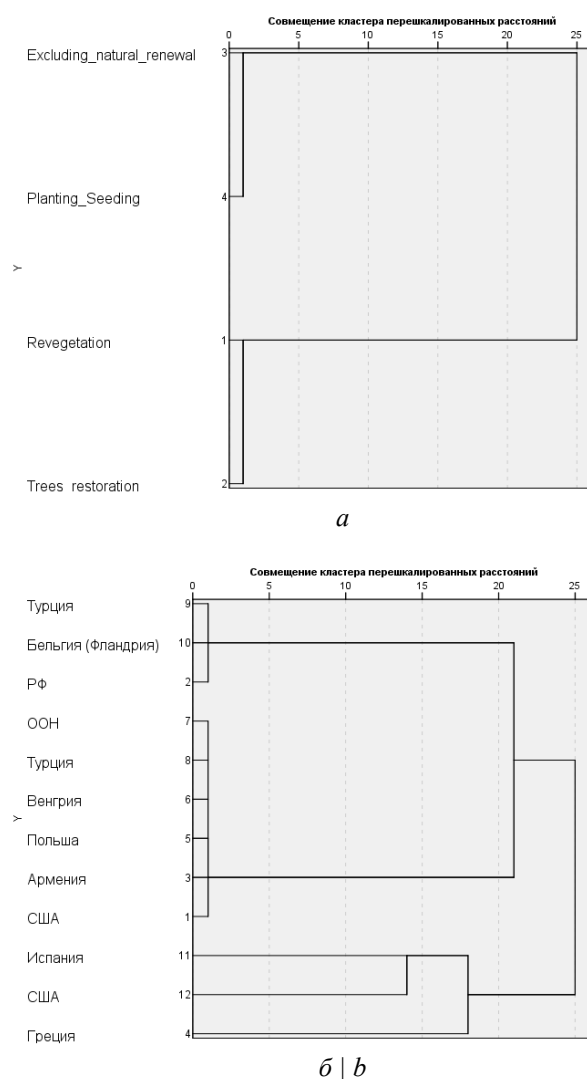


Рисунок 2. Кластерная диаграмма сходства и различия для оценки дескриптора «лесовосстановление» по критериям (а) и странам (б)

Figure 2. Diagram of similarities and differences for assessing the applicability of «reforestation» descriptor according to the criteria (a) and country (b)

¹ Hatzistathis A., Dafis S. 1989. Reforestations-Forest Nurseries, 265 p., Yiahoudi Publishing, Thessaloniki (in Greek).

² The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is the United Nations body for assessing the science related to climate change.

https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=48

³ Комитет лесного хозяйства Московской области, РФ, 2018. <https://klh.mosreg.ru/deyatelnost/vosproizvodstvo-lesov-i-lesorazvedenie/vosproizvodstvo-lesov/06-11-2018-17-51-34-lesovosstanovlenie>

⁴ Hatzistathis A., Dafis S. 1989. Reforestations-Forest Nurseries, 265 p., Yiahoudi Publishing, Thessaloniki (in Greek).

⁵ Технические термины о лесе, Венгрия, 2023. <https://parkerdo.hu/erdogazdalkodas/tudnivalok/erdeszeti-szakkifejezesek/#>

⁶ <https://kutuphane.tarimorman.gov.tr/vufind/Record/19597/Details>

Источник: собственные результаты авторов
Source: own results

Более понятным выступает определение автора М. Петровой, Болгария, 2019 г.: «Сложная природно-территориальная система, объединяющая в себе природные компоненты, с одной стороны, и деятельность человека – с другой» [8], однако данное определение является общим и не характеризует именно лесные ландшафты.

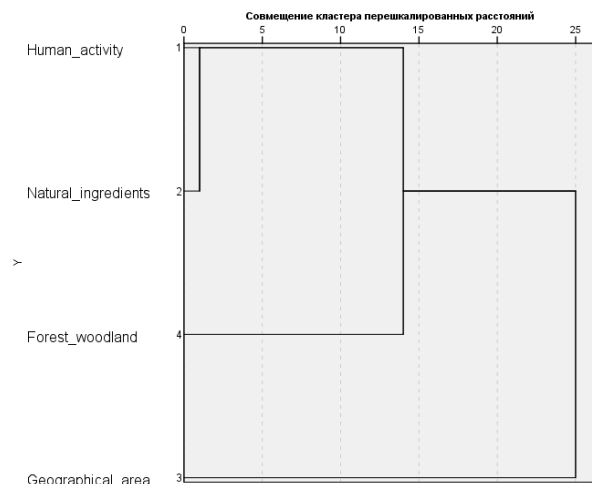
С точки зрения рассмотрения определения лесного ландшафта заслуживает внимания определение Петроса Ганатсаса (2022 г., факультет лесного хозяйства и природной среды университета Аристотеля в Салониках) «набор характерных элементов, характеризующих лесную местность, таких как: растительность, топографический рельеф, вода и элементы присутствия человека»¹. Подобная интерпретация определения дана и Фоминой Н.В. (2020 г., Красноярск, РФ): «взаимосвязанный комплекс различных природных компонентов: материнской породы, рельефа, почвы, растительности и др.»².

Коллектив авторов, занимающихся дистанционным зондированием лесных ландшафтов также дал определение лесного ландшафта, заслуживающее внимания «определяется как непрерывное пространство природных экосистем в районах существующих лесов, без признаков значительной человеческой деятельности и площадью не менее 500 км²»³.

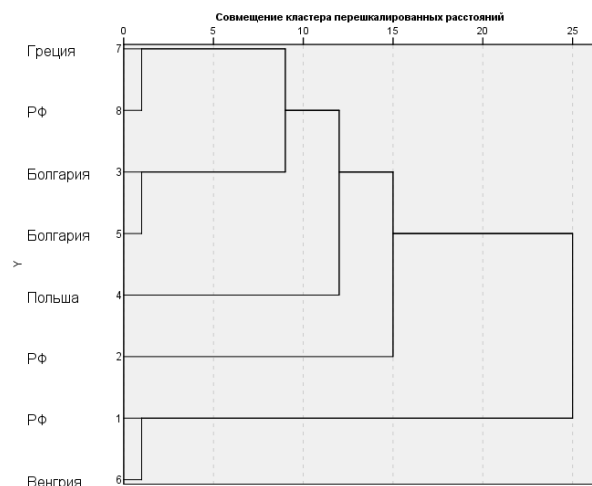
Кластерный анализ дескриптора «лесной ландшафт» по критериям упоминания в определении: деятельности человека, лес/лесной местности, природных компонентов, географического района и рельефа местности представлен на рисунке 3.

Концепция адаптивного лесовосстановления встречается в 2007 году в работе Степен. Е (Поль-

ша)⁴, в которой идет речь о мерах влияния на насаждения, подвергающиеся промышленному загрязнению и другим антропогенным воздействиям. Принятие таких мер направлено на снижение уровня риска лесопроизводства за счет повышения устойчивости лесных насаждений, состав и структура которых аналогичны естественным лесным сообществам, характерным для данных условий обитания. В качестве мер была предложена диверсификации видового состава древостоя.



a



б | б

Рисунок 3. Кластерная диаграмма сходства и различия для оценки дескриптора «лесной ландшафт» по критериям (а) и странам (б)

¹ <https://www.researchgate.net/profile/Petros-Ganatsas/research>

² Основы лесопаркового хозяйства [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Н.В. Фомина; Красноярск. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2020. – 256 с. <http://www.kgau.ru/new/student/43/content/69.pdf>

³ Potapov, P., Yaroshenko, A., Turubanova, S., Dubinin, M., Laestadius, L., Thies, C., ... & Zhuravleva, I. (2008). Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing. *Ecology and Society*, 13(2). https://www.researchgate.net/publication/42763581_Mapping_the_Worlds_Intact_Forest_Landscapes_by_Remote_Sensing

⁴ Stępień E. Wybrane problemy planowania przebudowy lasu. *Sylwan* nr 5: 32–43, 2007. <https://journals.indexpolonia.com/search/article?articleId=89966>

Figure 3. Diagram of similarities and differences for assessing the applicability of «forest landscape» descriptor according to the criteria (a) and country (b)

Источник: собственные результаты авторов
Source: own results

В условиях изменения климата адаптивное лесовосстановление приобрело другой смысл. В работе канадских авторов [9] в 2018 году была описана вспомогательная миграция в качестве адаптивного метода лесовосстановления «посадка видов в новых районах, которые, как ожидается, в будущем будут подходящими с климатической точки зрения. Этот подход известен как вспомогательная миграция и определяется в лесном хозяйстве как «преднамеренное антропогенное перемещение отдельных лиц и популяций».

В 2020 году Northwest Natural Resource Group¹ дало определение адаптивному лесовосстановлению, как «стратегии естественного лесовосстановления с целью адаптации к изменению климата, направленная на снижение уязвимости к потенциальным или ожидаемым воздействиям (рискам и неопределенностям), вызванным изменением климата».

Швейцарский федеральный Институт лесных, снежных и ландшафтных исследований в 2021 году курировал научный проект «Эксперимент по пересадке в масштабах всего ареала с использованием коллективной науки и геномного прогнозирования для оценки местной адаптации лесных деревьев» (координатор Николь Понта), целью которого было выявить основные закономерности и движущие силы адаптации и построить прогностическую модель для выбора оптимальных источников семян для конкретного местоположения.

Фламандский лесной указ (Бельгия) указывает на использование рекомендованных, устойчивых к изменению климата сортов, которые отбираются Научно-исследовательским институтом природы и леса (INBO) и включаются в официальный список рекомендуемых сортов. «Использование рекомендованных сортов не является обязатель-

ным, но является строгим условием для подачи заявки на получение субсидии на облесение».

Общим для всех источников будет то, что адаптивное лесовосстановление подразумевает адаптацию к изменению климата, но далее существует два варианта развития: 1) посадка (посев) пород, устойчивых к изменению климата; 2) завоз и адаптация «южных» пород в северные широты.

Во введении было указано условие объединения трех терминов, одним из которых является лесоразведение. Определения дескриптора «лесоразведение» были рассмотрены с 1996 г. (Польша)² «внедрение леса на нелесные земли, ранее использовавшиеся для сельского хозяйства или временно пустующие» по 2023 г. (Греция)³ «создание лесов путем посадки и/или преднамеренного засева на землях, которые до этого находились в другом землепользовании, что подразумевает изменение землепользования с нелесного на лесное». Дескриптор «лесоразведение» был рассмотрен на основе законов Болгарии, Испании, Венгрии, Армении, Турции, России; во всех определениях однозначно было указано, что лесоразведение проводится на нелесных землях, в 50 % определений фигурировали слова «посадка/посев». Лишь в одном определении присутствовала цель проведения лесоразведения – «создание лесных насаждений на землях, ранее не занятых лесной растительностью, в целях предотвращения водной, ветровой или иной эрозии почв и для других защитных целей, связанных с повышением потенциала территории»⁴ (2022 г., Россия). Также интерес представляет определение лесоразведения, данное Организацией Объединенных Наций – «посадка новых лесов на землях, на которых исторически не было лесов»⁵, 2023 г.

² Энциклопедический словарь лесного хозяйства, лесного хозяйства, охраны окружающей среды, охоты и смежных областей. Коллективная работа под ред. Издательство SGGW. Варшава, 1996. <https://www.encyklopedialesna.pl/hasla/?t2f=Zalesianie&w2f=hasla>

³ Государственный портал Греции. <https://ypen.gov.gr/parivallon/dasi/dasotechnika-erga-anadasoseis-fytoria/>

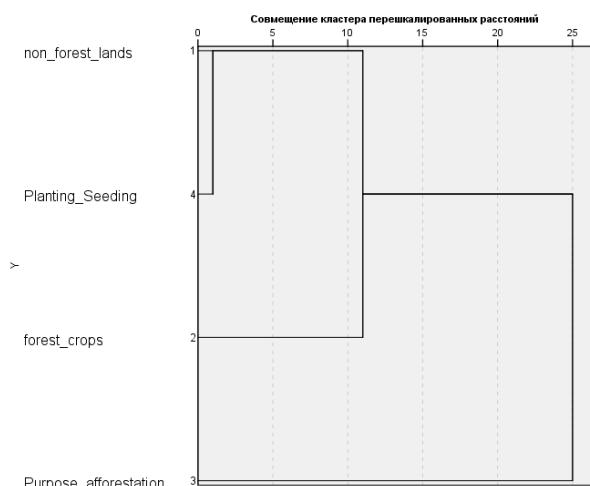
⁴ п. 3.22 ГОСТ 34826-2022 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Линейная часть. Организация и производство строительно-монтажных работ», введенный в действие приказом Росстандарта от 15 февраля 2022 № 68-ст <https://docs.cntd.ru/document/1200183245>

⁵ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is the United Nations body for assessing the science related to climate

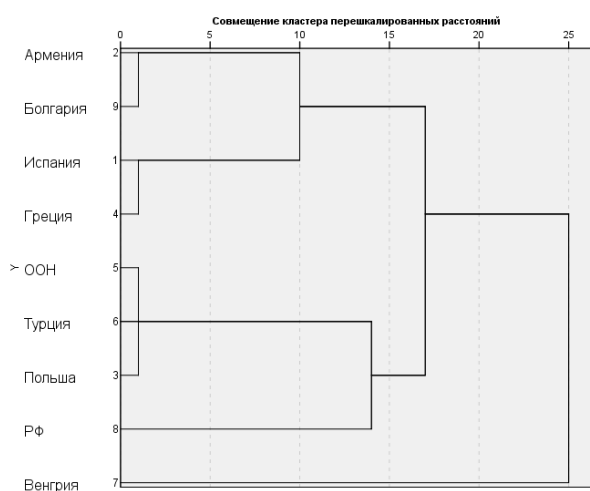
¹ <https://www.nnrg.org/stossel-creek-case-study-adaptive-restoration-for-pacific-northwest-forests/>

Кластерный анализ дескриптора «лесоразведение» по критериям упоминания в определении: нелесные земли, искусственные лесные культуры, цель лесоразведения, посадка/посев представлен на рис. 4.

Набор данных лег в основу реляционной модели базы данных (рис. 5) справочной информационной системы для адаптивного восстановления лесных ландшафтов (FLR-Library).



а



б | б

Рисунок 4. Кластерная диаграмма сходства и различия для оценки дескриптора «лесоразведение» по критериям (а) и странам (б)

Figure 4. Diagram of similarities and differences for assessing the applicability of «afforestation» descriptor according to the criteria (a) and country (b)

Источник: собственные результаты авторов
Source: own results

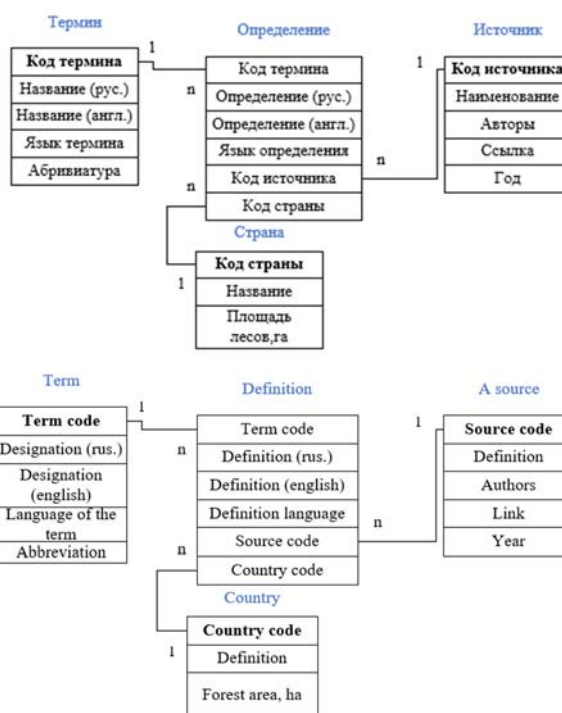


Рисунок 5 – Реляционная модель для базы данных дескрипторов «лес», «лесные ландшафты», «адаптивное лесовосстановление» и др.

Figure 5 – Relational model for the database of descriptors "forest", "forest landscapes", "adaptive reforestation", etc.

Источник: собственные результаты авторов
Source: own results

Набор данных планируется разместить в репозитории Mendeley Data.

Заключение

В результате исследования было собрано и проанализировано более 120 определений для более 30 дескрипторов, таких как «лес», «лесные ландшафты», «адаптивное лесовосстановление», «концепции адаптивного лесовосстановления», «лесовосстановление», «лесоразведение», «древесный лес», «древостой», «лесное насаждение», «лесной комплекс», «лесной ландшафт», «тип леса» и др. Были найдены как отличительные черты, так и общие моменты в определениях различных стран и авторов одного дескриптора, как правило, это было связано с годом формулировки определения; политическим строем и социальным укладом страны; уровнем развития общества и, как следствие, увеличением антропогенного воздействия на лесные ландшафты; уровнем влияния изменением климата на конкретную территорию и др.

Список литературы

1. Новикова, Т. П. Разработка справочной информационной системы для адаптивного восстановления лесных ландшафтов (FLR-library) // НИР: грант № 23-26-00102. Российский научный фонд. 2023. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53916036>
2. Экспресс-анализ семян в лесохозяйственном производстве: теоретические и технологические аспекты / А. И. Новиков, М. В. Драпалюк, С. В. Соколов, Т. П. Новикова. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – 176 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48309574>
3. Novikov, A. I. Non-Destructive Quality Control of Forest Seeds in Globalization: Problems and Prospects of Output Innovative Products / A. I. Novikov, T. P. Novikova // Globalization and its socio-economic consequences : Proceedings, Rajecke Teplice, Slovak Republic, 10–11 октября 2018 года. – Rajecke Teplice, Slovak Republic: University of Zilina, 2018. – P. 1260-1267. <https://www.elibrary.ru/vscqou>.
4. Новикова, Т. П. Оценка качества лесосеменного материала на экспериментальном участке сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при адаптивном восстановлении лесных ландшафтов / Т. П. Новикова // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 1(49). – С. 112-128. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53814693>
5. Новикова, Т. П. Исследование набора технологических операций подготовки семенного материала хвойных пород для лесовосстановления // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 4(44). – С. 150-160. – DOI <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13>.
6. Novikova, T. P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology / T. P. Novikova // Inventions. – 2022. – Vol. 7, No. 1. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions7010001>.
7. Литогенная основа продуктивности Воронежской нагорной дубравы / Г. А. Одроралов, Е. Н. Тихонова, О. В. Трегубов, И. В. Голядкина // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7, № 2(26). – С. 26-34. – DOI 10.12737/article_5967e8e01143e9.03067340. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29825780>
8. Mariya Petrova. Self-restoration of landscapes: theoretical and practical aspects // Journal of the Bulgarian Geographical Society Volume 41 (2019) 18–22. https://geography.bg/images/JBGS/vol41_2019/JBGS_vol41_2019_Petrova_M.pdf?t=1623427631
9. Peterson St-Laurent, G., Hagerman, S. & Kozak, R. What risks matter? Public views about assisted migration and other climate-adaptive reforestation strategies. *Climatic Change* 151, Pp. 573–587, (2018). <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2310-3>. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2310-3>
10. Mansourian, S. Putting the pieces together: Integration for forest landscape restoration implementation / S. Mansourian, J. Parrotta, P. Balaji et al. // *Land Degradation & Development*. – 2020. – Vol. 31. – № 4. – P. 419-429. – DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3448>.
11. Cruz, D.C. da. An overview of forest loss and restoration in the Brazilian Amazon / D.C. da Cruz, J.M.R. Benayas, G.C. Ferreira et al. // *New Forests*. – 2021. – Vol. 52. – № 1. – P. 1-16. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09777-3>.
12. Lombaerde, E. De. Understorey removal effects on tree regeneration in temperate forests: a meta-analysis / E. De Lombaerde, L. Baeten, K. Verheyen et al. // *Journal of Applied Ecology*. – 2020. – P. 1365-2664.13792. – DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13792>.
13. Wilson, S.J. Governing restoration: Strategies, adaptations and innovations for tomorrow's forest landscapes / S.J. Wilson, D. Cagalanan // *World Development Perspectives*. – 2016. – Vol. 4. – P. 11-15. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2016.11.015>.
14. Ager, A.A. Economic Opportunities and Trade-Offs in Collaborative Forest Landscape Restoration / A. A. Ager, K.C. Vogler, M.A. Day, J.D. Bailey // *Ecological Economics*. – 2017. – Vol. 136. – P. 226-239. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.001>.

15. Govindarajulu, D. Rights based approaches to forest landscape restoration; learning from the Indian forest policy experience / D. Govindarajulu, R. Pritchard, A. Chhatre et al. // *Forest Policy and Economics*. – 2023. – Vol. 157. – P. 103073. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103073>.
16. Obiri, B.D. Farmers' perceptions of herbicide usage in forest landscape restoration programs in Ghana / B.D. Obiri, E.A. Obeng, K.A. Oduro et al. // *Scientific African*. – 2021. – Vol. 11. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00672>.
17. Hani, N. Adaptive forest landscape restoration as a contribution to more resilient ecosystems in the Shouf Biosphere Reserve (Lebanon) / N. Hani, P. Regato, R. Colomer et al. // *Plant Sociology*. – 2017. – Vol. 54. – № 1. – P. 111-118. – DOI: <https://doi.org/10.7338/pls2017541S1/14>.
18. Caglayan, İ. A decision making approach for assignment of ecosystem services to forest management units: A case study in northwest Turkey / İ. Caglayan, A. Yeşil, Ö. Kabak, P. Bettinger // *Ecological Indicators*. – 2021. – Vol. 121. – P. 107056. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107056>.
19. Díaz-Yáñez, O. Multi-objective forestry increases the production of ecosystem services / O. Díaz-Yáñez, T. Pukkala, P. Packalen et al. // *Forestry: An International Journal of Forest Research*. – 2020. – Vol. 94. – № 3. – P. 386-394. – DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa041>.
20. Hansen, M.C. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change / M.C. Hansen, P. V. Potapov, R. Moore et al. // *Science*. – 2013. – Vol. 342. – № 6160. – P. 850-853. – DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1244693>. – Mode of access: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1244693>.
21. Dudley, N. A stepwise approach to increasing ecological complexity in forest landscape restoration / N. Dudley, S. Maginnis // *Ecological Restoration*. – 2018. – Vol. 36. – № 3. – P. 174-176. – DOI: <https://doi.org/10.3368/er.36.3.174>.
22. Spathelf, P. Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration / P. Spathelf, J. Stanturf, M. Kleine et al. // *Annals of Forest Science*. – 2018. – Vol. 75. – № 2. – P. 55. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0736-4>.
23. Hani, N. Old abandoned terraces surveying and restoration as a contribution to the adaptive forest landscape restoration in Lebanon / N. Hani, P. Regato, M. Pagliani et al. // *Acta Horticulturae*. – 2021. – Vol. 1324. – № 1324. – P. 219-224. – DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1324.34>.
24. Julia Ihli, H. Risk and time preferences for participating in forest landscape restoration: The case of coffee farmers in Uganda / H. Julia Ihli, B. Chiputwa, E. Winter, A. Gassner // *World Development*. – 2022. – Vol. 150. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105713>.
25. McColl-Gausden, S.C. Future fire regimes increase risks to obligate-seeder forests / S.C. McColl-Gausden, L.T. Bennett, D.A. Ababei et al. // *Diversity and Distributions*. – 2022. – Vol. 28. – № 3. – P. 542-558. – DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.13417>.
26. Stanturf, J.A. Forest landscape restoration: building on the past for future success / J.A. Stanturf // *Restoration Ecology*. – 2021. – Vol. 29. – № 4. – DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13349>.
27. Ghazoul, J. Degradation and Recovery in Changing Forest Landscapes: A Multiscale Conceptual Framework. Vol. 42 / J. Ghazoul, R. Chazdon. – *Ecosystem Management, Department of Environmental Systems Science, ETH Zurich, Zurich, 8092, Switzerland* : Annual Reviews Inc., 2017. – DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060736>.
28. Stanturf, J.A. Landscape degradation and restoration / J.A. Stanturf // *Soils and Landscape Restoration* / J.A. Stanturf ed. – Amsterdam, Netherlands : Elsevier, 2021. – P. 125-159. – DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813193-0.00005-9>.
29. Labelle, E.R. The role of brush mats in mitigating machine-induced soil disturbances: an assessment using absolute and relative soil bulk density and penetration resistance / E.R. Labelle, B.J. Poltorak, D. Jaeger // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2019. – Vol. 49. – № 2. – P. 164-178. – DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0324>.

30. Stanturf, J.A. Implementing forest landscape restoration under the Bonn Challenge: a systematic approach / J.A. Stanturf, M. Kleine, S. Mansourian et al. // *Annals of Forest Science*. – 2019. – Vol. 76. – № 2. – P. 50. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0833-z>.
31. Verdone, M. Time, space, place, and the Bonn Challenge global forest restoration target / M. Verdone, A. Seidl // *Restoration Ecology*. – 2017. – Vol. 25. – № 6. – P. 903-911. – DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.12512>.
32. Stanturf, J.A. Implementing forest landscape restoration under the Bonn Challenge: a systematic approach / J.A. Stanturf, M. Kleine, S. Mansourian et al. // *Annals of Forest Science*. – 2019. – Vol. 76. – № 2. – P. 50. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0833-z>.
33. Novikov, A.I. Production of Complex Knowledgebased Systems: Optimal Distribution of Labor Resources Management in the Globalization Context / A. I. Novikov [et al.] // *Globalization and its socio-economic consequences : Proceedings, Rajecke Teplice, Slovak Republic*. – Rajecke Teplice, Slovak Republic: University of Zilina, 2018. – P. 2275-2281. – URL: <https://www.elibrary.ru/yxkpw>.
34. Патент № 2714705 Российская Федерация, МПК А01G 23/00. Способ восстановления леса : № 2019115418 : заявл. 20.05.2019 : опубл. 19.02.2020 / А. И. Новиков. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/gzdlvj>.
35. Novikova, T. P. Economic evaluation of mathematical methods application in the management systems of electronic component base development for forest machines / T. P. Novikova, A. I. Novikov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 392. – P. 012035. – DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012035>.
36. The effect of seed coat color grading on height of one-year-old container-grown Scots pine seedlings planted on post-fire site / V. Ivetic [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. – Vol. 226. – P. 012043. – DOI 10.1088/1755-1315/226/1/012043.
37. Performance of Scots pine seedlings from seeds graded by colour / V. A. Zelikov [et al.] // *Forests*. – 2019. – Vol. 10, No. 12. – P. 1064. – DOI 10.3390/F10121064.
38. Влияние индивидуальной массы семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) сорта «Негорельская» на 30-дневное прорастание в 40-ячейковых SideSlit-контейнерах / С.В. Ребко [и др.] // *Лесотехнический журнал*. – 2023. – Vol. 13. – № 2 (50). – P. 59-86. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/4>.
39. Detection of Scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: mathematical modeling / M. Tigabu et al. // *Forests*. – 2021. – Vol. 12. – № 2. – P. 240. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f12020240>.
40. Mechanization of coniferous seeds grading in Russia: a selected literature analysis / B.T. Ersson, V.V. Malyshev et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. – Vol. 595. – P. 012060. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012060>.
41. The Effect of Motion Time of a Scots Pine Single Seed on Mobile Optoelectronic Grader Efficiency: A Mathematical Patterning / M.V. Drapalyuk, O.R. Dornyak et al. // *Inventions*. – 2019. – Vol. 4. – № 4. – P. 55. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions4040055>.
42. The Root Collar Diameter Growth Reveals a Strong Relationship with the Height Growth of Juvenile Scots Pine Trees from Seeds Differentiated by Spectrometric Feature / P. Tylek, C.B. Mastrangelo et al. // *Forests*. – 2023. – Vol. 14. – № 6. – P. 1164. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f14061164>.
43. How to Increase the Analog-to-Digital Converter Speed in Optoelectronic Systems of the Seed Quality Rapid Analyzer / S. V. Sokolov, V. V. Kamensky [et al.] // *Inventions*. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI <https://doi.org/10.3390/inventions4040061>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/dkxphx>.
44. How Can the Engineering Parameters of the NIR Grader Affect the Efficiency of Seed Grading? / C.B. Mastrangelo, P. Tylek et al. // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12. – № 12. – P. 2125. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12122125>.

45. Соколов, С. В. Новые оптоэлектронные системы экспресс-анализа семян в лесохозяйственном производстве / С. В. Соколов [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 2(34). – С. 5-13. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1. – <https://www.elibrary.ru/CNXAWZ>.

46. Bernardes, R.C. Deep-Learning Approach for Fusarium Head Blight Detection in Wheat Seeds Using Low-Cost Imaging Technology / R.C. Bernardes, A. De Medeiros, L. da Silva et al. // Agriculture. – 2022. – Vol. 12. – № 11. – P. 1801. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111801.2>. Novikov, A. Detection of Scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: mathematical modeling / A. Novikov, V. Lisitsyn, M. Tigabu et al. // Forests. – 2021. – Vol. 12. – № 2. – P. 240. – DOI: <https://doi.org/10.3390/fl2020240>.

47. Scots pine seedlings growth dynamics data reveals properties for the future proof of seed coat color grading conjecture / V. Ivetić [et al.] // Data. – 2019. – Vol. 4, No. 3. – P. 106. – DOI 10.3390/data4030106. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/PAJOVZ>.

48. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для малого сельскохозяйственного предприятия / Т. В. Новикова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 4. С. 53-58. DOI 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/qdcyju>.

References

1. Novikova, T. P. Development of a reference information system for adaptive restoration of forest landscapes (FOR-library) // NIR: grant No. 23-26-00102. Russian Science Foundation. 2023. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53916036>

2. Express analysis of seeds in forestry production: theoretical and technological aspects / A. I. Novikov, M. V. Drapalyuk, S. V. Sokolov, T. P. Novikova. – Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2022. – 176 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48309574>

3. Novikov, A. I. Non-Destructive Quality Control of Forest Seeds in Globalization: Problems and Prospects of Output Innovative Products / A. I. Novikov, T. P. Novikova // Globalization and its socio-economic consequences : Proceedings, Rajecke Teplice, Slovak Republic, 10–11 октября 2018 года. – Rajecke Teplice, Slovak Republic: University of Zilina, 2018. – P. 1260-1267. <https://www.elibrary.ru/vscqou>.

4. Novikova, T. P. Assessment of the quality of forest seed material on an experimental plot of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) during adaptive restoration of forest landscapes / T. P. Novikova // Forestry Journal. – 2023. – Vol. 13, No. 1(49). – pp. 112-128. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2023.1/8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53814693>

5. Novikova, T. P. Investigation of a set of technological operations for the preparation of seed material of coniferous species for reforestation // Forestry Journal. – 2021. – Vol. 11, No. 4(44). – pp. 150-160. – DOI <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13>

6. Novikova, T. P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology / T. P. Novikova // Inventions. – 2022. – Vol. 7, No. 1. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions7010001>.

7. Lithogenic basis of productivity of the Voronezh upland oak grove / G. A. Odnoralov, E. N. Tikhonova, O. V. Tregubov, I. V. Golyadkina // Forestry Journal. – 2017. – vol. 7, No. 2(26). – pp. 26-34. – DOI 10.12737/article_5967e8e01143e9.03067340. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29825780>

8. Mariya Petrova Self-restoration of landscapes: theoretical and practical aspects // Journal of the Bulgarian Geographical Society Volume 41 (2019) 18–22. https://geography.bg/images/JBGS/vol41_2019/JBGS_vol41_2019_Petrova_M.pdf?t=1623427631

9. Peterson St-Laurent, G., Hagerman, S. & Kozak, R. What risks matter? Public views about assisted migration and other climate-adaptive reforestation strategies. Climatic Change 151, Pp. 573–587, (2018). <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2310-3>. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2310-3>

10. Mansourian, S. Putting the pieces together: Integration for forest landscape restoration implementation / S. Mansourian, J. Parrotta, P. Balaji et al. // Land Degradation & Development. – 2020. – Vol. 31. – № 4. – P. 419-429. – DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3448>.

11. Cruz, D.C. da. An overview of forest loss and restoration in the Brazilian Amazon / D.C. da Cruz, J.M.R. Benayas, G.C. Ferreira et al. // *New Forests*. – 2021. – Vol. 52. – № 1. – P. 1-16. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09777-3>.
12. Lombaerde, E. De. Understorey removal effects on tree regeneration in temperate forests: a meta-analysis / E. De Lombaerde, L. Baeten, K. Verheyen et al. // *Journal of Applied Ecology*. – 2020. – P. 1365-2664.13792. – DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13792>.
13. Wilson, S.J. Governing restoration: Strategies, adaptations and innovations for tomorrow's forest landscapes / S.J. Wilson, D. Cagalanan // *World Development Perspectives*. – 2016. – Vol. 4. – P. 11-15. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2016.11.015>.
14. Ager, A.A. Economic Opportunities and Trade-Offs in Collaborative Forest Landscape Restoration / A.A. Ager, K.C. Vogler, M.A. Day, J.D. Bailey // *Ecological Economics*. – 2017. – Vol. 136. – P. 226-239. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.001>.
15. Govindarajulu, D. Rights based approaches to forest landscape restoration; learning from the Indian forest policy experience / D. Govindarajulu, R. Pritchard, A. Chhatre et al. // *Forest Policy and Economics*. – 2023. – Vol. 157. – P. 103073. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103073>.
16. Obiri, B.D. Farmers' perceptions of herbicide usage in forest landscape restoration programs in Ghana / B.D. Obiri, E.A. Obeng, K.A. Oduro et al. // *Scientific African*. – 2021. – Vol. 11. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00672>.
17. Hani, N. Adaptive forest landscape restoration as a contribution to more resilient ecosystems in the Shouf Biosphere Reserve (Lebanon) / N. Hani, P. Regato, R. Colomer et al. // *Plant Sociology*. – 2017. – Vol. 54. – № 1. – P. 111-118. – DOI: <https://doi.org/10.7338/pls2017541S1/14>.
18. Caglayan, İ. A decision making approach for assignment of ecosystem services to forest management units: A case study in northwest Turkey / İ. Caglayan, A. Yeşil, Ö. Kabak, P. Bettinger // *Ecological Indicators*. – 2021. – Vol. 121. – P. 107056. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107056>.
19. Díaz-Yáñez, O. Multi-objective forestry increases the production of ecosystem services / O. Díaz-Yáñez, T. Pukkala, P. Packalen et al. // *Forestry: An International Journal of Forest Research*. – 2020. – Vol. 94. – № 3. – P. 386-394. – DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa041>.
20. Hansen, M.C. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change / M. C. Hansen, P. V. Potapov, R. Moore et al. // *Science*. – 2013. – Vol. 342. – № 6160. – P. 850-853. – DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1244693>. – Mode of access: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1244693>.
21. Dudley, N. A stepwise approach to increasing ecological complexity in forest landscape restoration / N. Dudley, S. Maginnis // *Ecological Restoration*. – 2018. – Vol. 36. – № 3. – P. 174-176. – DOI: <https://doi.org/10.3368/er.36.3.174>.
22. Spathelf, P. Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration / P. Spathelf, J. Stanturf, M. Kleine et al. // *Annals of Forest Science*. – 2018. – Vol. 75. – № 2. – P. 55. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0736-4>.
23. Hani, N. Old abandoned terraces surveying and restoration as a contribution to the adaptive forest landscape restoration in Lebanon / N. Hani, P. Regato, M. Pagliani et al. // *Acta Horticulturae*. – 2021. – Vol. 1324. – № 1324. – P. 219-224. – DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1324.34>.
24. Julia Ihli, H. Risk and time preferences for participating in forest landscape restoration: The case of coffee farmers in Uganda / H. Julia Ihli, B. Chiputwa, E. Winter, A. Gassner // *World Development*. – 2022. – Vol. 150. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105713>.
25. McColl-Gausden, S.C. Future fire regimes increase risks to obligate-seeder forests / S.C. McColl-Gausden, L.T. Bennett, D.A. Ababei et al. // *Diversity and Distributions*. – 2022. – Vol. 28. – № 3. – P. 542-558. – DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.13417>.
26. Stanturf, J.A. Forest landscape restoration: building on the past for future success / J.A. Stanturf // *Restoration Ecology*. – 2021. – Vol. 29. – № 4. – DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13349>.

27. Ghazoul, J. Degradation and Recovery in Changing Forest Landscapes: A Multiscale Conceptual Framework. Vol. 42 / J. Ghazoul, R. Chazdon. – Ecosystem Management, Department of Environmental Systems Science, ETH Zurich, Zurich, 8092, Switzerland : Annual Reviews Inc., 2017. – DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060736>.
28. Stanturf, J.A. Landscape degradation and restoration / J.A. Stanturf // Soils and Landscape Restoration / J.A. Stanturf ed. . – Amsterdam, Netherlands : Elsevier, 2021. – P. 125-159. – DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813193-0.00005-9>.
29. Labelle, E.R. The role of brush mats in mitigating machine-induced soil disturbances: an assessment using absolute and relative soil bulk density and penetration resistance / E.R. Labelle, B.J. Poltorak, D. Jaeger // Canadian Journal of Forest Research. – 2019. – Vol. 49. – № 2. – P. 164-178. – DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0324>.
30. Stanturf, J.A. Implementing forest landscape restoration under the Bonn Challenge: a systematic approach / J.A. Stanturf, M. Kleine, S. Mansourian et al. // Annals of Forest Science. – 2019. – Vol. 76. – № 2. – P. 50. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0833-z>.
31. Verdone, M. Time, space, place, and the Bonn Challenge global forest restoration target / M. Verdone, A. Seidl // Restoration Ecology. – 2017. – Vol. 25. – № 6. – P. 903-911. – DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.12512>.
32. Stanturf, J.A. Implementing forest landscape restoration under the Bonn Challenge: a systematic approach / J.A. Stanturf, M. Kleine, S. Mansourian et al. // Annals of Forest Science. – 2019. – Vol. 76. – № 2. – P. 50. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0833-z>.
33. Novikov, A.I. Production of Complex Knowledgebased Systems: Optimal Distribution of Labor Resources Management in the Globalization Context / A. I. Novikov [et al.] // Globalization and its socio-economic consequences : Proceedings, Rajecké Teplice, Slovak Republic. – Rajecké Teplice, Slovak Republic: University of Zilina, 2018. – P. 2275-2281. – URL: <https://www.elibrary.ru/yxkpw>.
34. Patent No. 2714705 Russian Federation. Method of forest restoration / A. I. Novikov. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/gzdlvj>.
35. Novikova, T. P. Economic evaluation of mathematical methods application in the management systems of electronic component base development for forest machines / T. P. Novikova, A. I. Novikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 392. – P. 012035. – DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012035>.
36. The effect of seed coat color grading on height of one-year-old container-grown Scots pine seedlings planted on post-fire site / V. Ivetic [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. – Vol. 226. – P. 012043. – DOI [10.1088/1755-1315/226/1/012043](https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012043).
37. Performance of Scots pine seedlings from seeds graded by colour / V. A. Zelikov [et al.] // Forests. – 2019. – Vol. 10, No. 12. – P. 1064. – DOI [10.3390/F10121064](https://doi.org/10.3390/F10121064).
38. The effect of the individual seed mass of Negorelskaya variety Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on 30-day germination in 40-cell sideslit growing containers / S.U. Rabko [et al.] // Forestry Engineering journal. – 2023. – Vol. 13. – № 2 (50). – P. 59-86. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/4>.
39. Detection of Scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: mathematical modeling / M. Tigabu et al. // Forests. – 2021. – Vol. 12. – № 2. – P. 240. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f12020240>.
40. Mechanization of coniferous seeds grading in Russia: a selected literature analysis / B.T. Ersson, V.V. Malyshev et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 595. – P. 012060. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012060>.
41. The Effect of Motion Time of a Scots Pine Single Seed on Mobile Optoelectronic Grader Efficiency: A Mathematical Patterning / M.V. Drapalyuk, O.R. Dornyak et al. // Inventions. – 2019. – Vol. 4. – № 4. – P. 55. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions4040055>.
42. The Root Collar Diameter Growth Reveals a Strong Relationship with the Height Growth of Juvenile Scots Pine Trees from Seeds Differentiated by Spectrometric Feature / P. Tylek, C.B. Mastrangelo et al. // Forests. – 2023. – Vol. 14. – № 6. – P. 1164. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f14061164>.

43. How to Increase the Analog-to-Digital Converter Speed in Optoelectronic Systems of the Seed Quality Rapid Analyzer / S. V. Sokolov, V. V. Kamensky [et al.] // *Inventions*. – 2019. – Vol. 4, No. 4. – P. 61. – DOI <https://doi.org/10.3390/inventions4040061>. Режим доступа: <https://elibrary.ru/dkxphx>.

44. How Can the Engineering Parameters of the NIR Grader Affect the Efficiency of Seed Grading? / C.B. Mastrangelo, P. Tylek et al. // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12. – № 12. – P. 2125. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12122125>.

45. New optoelectronic systems for express analysis of seeds in forestry production / S.V. Sokolov [et al.] // *Forestry Engineering Journal*. – 2019. – Vol. 9, № 2(34). – P. 5-13. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1. – <https://www.elibrary.ru/CNXAWZ>.

46. Bernardes, R.C. Deep-Learning Approach for Fusarium Head Blight Detection in Wheat Seeds Using Low-Cost Imaging Technology / R.C. Bernardes, A. De Medeiros, L. da Silva et al. // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12. – № 11. – P. 1801. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111801.2>. Novikov, A. Detection of Scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: mathematical modeling / A. Novikov, V. Lisitsyn, M. Tigabu et al. // *Forests*. – 2021. – Vol. 12. – № 2. – P. 240. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f12020240>.

47. Scots pine seedlings growth dynamics data reveals properties for the future proof of seed coat color grading conjecture / V. Ivetić [et al.] // *Data*. – 2019. – Vol. 4, No. 3. – P. 106. – DOI 10.3390/data4030106. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/PAJOVZ>.

48. Development of an algorithm and a model of the functioning of an information system for a small agricultural enterprise / T. V. Novikova [et al.] // *Modeling of systems and processes*. – 2020. – Vol. 13, No. 4. pp. 53-58. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-13-4-53-58. – Access mode: <https://www.elibrary.ru/qdcyjuv>.

Сведения об авторах

✉ *Новикова Татьяна Петровна* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий и микроэлектронной инженерии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087; <http://orcid.org/0000-0003-1279-3960>, e-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru.

Новиков Артур Игоревич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры древесиноведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1230-0433>, e-mail: arthur.novikov@vglta.vrn.ru.

Петрищев Евгений Петрович – аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1395-3631>, e-mail: petrishchev.vgltu@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Tatyana P. Novikova* – Cand. Sci. (Technical), Docent, Chair of Computer Technology and Microelectronic Engineering, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh 394087, Russian Federation, 394087, <http://orcid.org/0000-0003-1279-3960>, e-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru.

Arthur I. Novikov – Dr Sci. (Tech.), professor, Chair of Wood Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1230-0433>, e-mail: arthur.novikov@vglta.vrn.ru.

Evgeniy P. Petrishchev – Postgraduate Student (Tech.), Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva, Voronezh 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1395-3631>, e-mail: petrishchev.vgltu@mail.ru.

✉ – Для контактов | Corresponding author