

Научная статья

УДК 630\*182

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-1-134-146

## Алгоритм лесообразовательного процесса в ельниках с учетом лесохозяйственных мероприятий

**Н.Н. Теринов**<sup>1</sup>✉, *д-р с.-х. наук, вед. науч. сотр.*; ResearcherID: [N-2884-2019](https://orcid.org/0000-0001-5936-208X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5936-208X>

**В.В. Побединский**<sup>2,3</sup>, *д-р техн. наук, проф.*; ResearcherID: [G-3245-2018](https://orcid.org/0000-0001-6318-3447),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>

**Э.Ф. Герц**<sup>2</sup>, *д-р техн. наук, доц.*; ResearcherID: [O-6331-2018](https://orcid.org/0000-0003-0434-7282),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-7282>

**А.В. Мехренцев**<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*; ResearcherID: [AAE-5378-2020](https://orcid.org/0000-0002-2186-0152),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

**А.Ф. Уразова**<sup>2</sup>, *канд. с.-х. наук, доц.*; ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

**Ю.В. Ефимов**<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*; ResearcherID: [AIA-0678-2022](https://orcid.org/0000-0002-6672-2431),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6672-2431>

<sup>1</sup>Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, д. 202а, г. Екатеринбург, Россия, 620144; [n\\_n\\_terinov@mail.ru](mailto:n_n_terinov@mail.ru)✉

<sup>2</sup>Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 626100; [pobedinskyvv@mail.ru](mailto:pobedinskyvv@mail.ru), [gerz.e@mail.ru](mailto:gerz.e@mail.ru), [mehrentsev@yandex.ru](mailto:mehrentsev@yandex.ru), [urazovaaf@m.usfeu.ru](mailto:urazovaaf@m.usfeu.ru), [efimovyuv@m.usfeu.ru](mailto:efimovyuv@m.usfeu.ru)

<sup>3</sup>Уральский государственный аграрный университет, ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Россия, 626100; [pobedinskyvv@mail.ru](mailto:pobedinskyvv@mail.ru)

Поступила в редакцию 26.11.24 / Одобрена после рецензирования 11.02.25 / Принята к печати 14.02.25

**Аннотация.** Исследование вносит вклад в решение проблемы неконтролируемого увеличения площадей производных лиственных насаждений на месте коренных хвойных лесов. Цель – разработать способ создания алгоритма лесообразовательного процесса, включающего систему мероприятий и позволяющего существенно снизить вероятность замены коренных темнохвойных лесов на производные лиственные насаждения. На основании собственных научных изысканий, обобщения опыта других ученых-лесоведов предложена функциональная модель лесообразовательного процесса в темнохвойных лесах. Она представлена в виде графической матричной структурной блок-схемы, построена на принципах, изложенных в работах Б.А. Ивашевича, развитых Б.П. Колесниковым и их последователями, и рассматривает возобновление коренных (условно-коренных) лесов через восстановительно-возрастные смены. Модель предусматривает 2 объективных и наиболее перспективных направления формирования темнохвойных насаждений: без смены хвойных пород на лиственные и через смену 1 поколения лиственных пород. Это матрица, в ячейки которой помещены таксационные характеристики древостоя. При совпадении фактической характеристики таксационного выдела с записанной в матрице открывается текущее состояние насаждения и варианты развития лесного участка на перспективу. Направление лесообразования в сторону формирования темнохвойных насаждений осуществляется за счет рубок ухода и трансформации. Последние представляют собой комплекс мер по целенаправленному уходу за молодыми поколениями хвойных пород, осуществляемых до

© Теринов Н.Н., Побединский В.В., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Уразова А.Ф., Ефимов Ю.В., 2026

Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

возраста рубки спелых березняков и осинников. В результате значительно снижается вероятность повторного заселения площадей мягколиственными породами и формирования вторично-производного мягколиственного насаждения. Современные информационные технологии позволяют на основе функциональной модели создать цифровой продукт в виде имитационной модели лесообразовательного процесса темнохвойных насаждений. Ее совмещение с существующими программами по учету лесного фонда и практическое применение сделают возможным отслеживание, прогнозирование и направление лесообразовательного процесса в сторону формирования темнохвойных лесов за счет эффективного управления лесохозяйственным производством.

**Ключевые слова:** смена пород, формирование коренных темнохвойных лесов, ельник, моделирование лесообразовательного процесса, рубки ухода, рубки трансформации

**Благодарности:** Исследование выполнено в рамках темы Министерства науки и высшего образования РФ FUWW-2023-0010 (№ 225013105657-5).

**Для цитирования:** Теринов Н.Н., Побединский В.В., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Уразова А.Ф., Ефимов Ю.В. Алгоритм лесообразовательного процесса в ельниках с учетом лесохозяйственных мероприятий // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 1. С. 134–146.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-1-134-146>

Original article

## The Algorithm of the Forest Formation Process in Spruce Forests, Taking into Account Forestry Measures

*Nikolay N. Terinov*<sup>1</sup>✉, *Doctor of Agriculture, Leading Research Scientist;*

ResearcherID: [N-2884-2019](https://orcid.org/0000-0001-5936-208X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5936-208X>

*Vladimir V. Pobedinsky*<sup>2,3</sup>, *Doctor of Engineering, Prof.;*

ResearcherID: [G-3245-2018](https://orcid.org/0000-0001-6318-3447), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>

*Eduard F. Gerts*<sup>2</sup>, *Doctor of Engineering, Assoc. Prof.;* ResearcherID: [O-6331-2018](https://orcid.org/0000-0003-0434-7282),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-7282>

*Andrey V. Mekhrentsev*<sup>2</sup>, *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;*

ResearcherID: [AAE-5378-2020](https://orcid.org/0000-0002-2186-0152), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2186-0152>

*Alina F. Urazova*<sup>2</sup>, *Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;*

ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

*Yuri V. Efimov*<sup>2</sup>, *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;*

ResearcherID: [AIA-0678-2022](https://orcid.org/0000-0002-6672-2431), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6672-2431>

<sup>1</sup>Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. 8 Marta, 202a, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; [n\\_n\\_terinov@mail.ru](mailto:n_n_terinov@mail.ru)✉

<sup>2</sup>Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 626100, Russian Federation; [pobedinskyvv@mail.ru](mailto:pobedinskyvv@mail.ru), [gerz.e@mail.ru](mailto:gerz.e@mail.ru), [mehrentsev@yandex.ru](mailto:mehrentsev@yandex.ru), [urazovaaf@m.usfeu.ru](mailto:urazovaaf@m.usfeu.ru), [efimovyuv@m.usfeu.ru](mailto:efimovyuv@m.usfeu.ru)

<sup>3</sup>Ural State Agrarian University, ul. Karla Libknekhta, 42, Yekaterinburg, 626100, Russian Federation; [pobedinskyvv@mail.ru](mailto:pobedinskyvv@mail.ru)

Received on November 26, 2024 / Approved after reviewing on February 11, 2025 / Accepted on February 14, 2025

**Abstract.** The study contributes to solving the problem of an uncontrolled increase in the area of derivative deciduous stands in place of indigenous coniferous forests. The aim has been to develop a method for creating an algorithm for the forest formation process, including

a system of measures and allowing for a significant reduction in the likelihood of replacing indigenous dark coniferous forests with derivative deciduous stands. Based on our own scientific research and generalization of the experience of other forest scientists, a functional model of the forest formation process in dark coniferous forests has been proposed. It is presented in the form of a graphical matrix structural block diagram, based on the principles set out in the works by B.A. Ivashkevich, developed by B.P. Kolesnikov and their followers, and considers the renewal of indigenous (conditionally indigenous) forests through restoration-age shifts. The model provides 2 objective and most promising directions for the formation of dark coniferous stands: without changing coniferous species to deciduous ones and through the change of 1 generation of deciduous species. This is a matrix in whose cells the inventory characteristics of the forest stand are placed. If the actual characteristics of the inventory area coincide with those recorded in the matrix, the current state of the stand and options for the future development of the forest area are revealed. The direction of forest formation towards the formation of dark coniferous stands is achieved through thinnings and transformation fellings. The latter are a set of measures for the targeted care of young generations of coniferous species, which are carried out up to the age of felling mature birch and aspen forests. As a result, the likelihood of repopulation of areas with soft-wooded broad-leaved species and the formation of derivative soft-wooded broad-leaved stands is significantly reduced. Modern information technologies make it possible to create a digital product based on a functional model in the form of a simulation model of the forest formation process of dark coniferous stands. Its compatibility with existing forest inventory programs and practical application will allow for monitoring, forecasting, and directing forest formation processes towards the development of dark coniferous forests, effectively managing forestry production.

**Keywords:** species change, formation of indigenous dark coniferous forests, spruce forest, modeling of the forest formation process, thinnings, transformation fellings

**Acknowledgements:** The research was carried out within the framework of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation topic FUWW-2023-0010 (no. 225013105657-5).

**For citation:** Terinov N.N., Pobedinsky V.V., Gerts E.F., Mekhrentsev A.V., Urazova A.F., Efimov Yu.V. The Algorithm of the Forest Formation Process in Spruce Forests, Taking into Account Forestry Measures. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 1, pp. 134–146. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-1-134-146>

### *Введение*

Одним из эффективных методов изучения динамических систем является имитационное моделирование с применением современных компьютерных технологий. Природные объекты (биоресурсы) в этом отношении специфичны и рассматриваются как биологическая система и как объект хозяйственной деятельности. Лесные экосистемы входят в число таких объектов, относятся к категории динамических, непрерывно развивающихся. Знание закономерностей их роста помогает вовремя реагировать на происходящие и ожидаемые процессы в лесных экосистемах, реализовывать поставленные цели лесопользования. В результате обеспечивается сохранность и устойчивость среды обитания. Современная система управления лесами, построенная на нормативных документах, согласованиях, субъективных оценках, затрудняет объективное и оперативное реагирование на ситуацию в режиме реального времени. Вместе с тем современные компьютерные технологии позволяют хранить и накапливать информацию об объекте, контролировать, сопровождать и прогнозировать

процесс лесообразования, принимать управленческие решения с их своевременной реализацией. Широкое распространение при инвентаризации лесного фонда и планировании мероприятий в нем получили методы, основанные на ГИС-технологиях. Следующим логическим шагом в направлении развития цифровых технологий в лесном хозяйстве является создание имитационной модели лесообразовательного процесса, раскрывающей объективные направления развития лесных экосистем.

Описание процессов в лесных насаждениях, их связь с климатом и другими внешними факторами на уровне схем, регрессионных и математических моделей в отечественной и зарубежной научной литературе представлены широко [1–3, 12, 13, 19–23]. Современными средствами отслеживаются этапы последовательной смены растительных сообществ (сукцессий) на определенном участке земной поверхности, которые завершаются образованием устойчивых (климаксовых) насаждений [6, 9]. Однако на лесообразование помимо внешней среды, внутренних взаимодействий между растительными сообществами и отдельными видами древесных пород влияют антропогенные факторы, связанные с хозяйственной деятельностью. Сегодняшний облик лесов во многом определяется этими факторами [4, 24, 25]. В результате функционирование лесных экосистем становится все более сложным и многовекторным. Например, производные леса могут не восстанавливаться коренной породой, а заменяться такими же производными насаждениями другого порядка с более низкой демутационной способностью. Для исключения или существенного снижения вероятности такого развития событий в модель процесса лесообразования необходимо ввести внешний фактор – антропогенный. На практике это означает своевременное принятие управленческих решений и обязательное выполнение хозяйственных мероприятий.

Цель – разработать способ создания алгоритма лесообразовательного процесса, включающего систему мероприятий и позволяющего существенно снизить вероятность замены коренных темнохвойных лесов на производные лиственные насаждения.

#### *Объекты и методы исследования*

Перед созданием имитационной модели лесообразовательного процесса необходимо решить ряд принципиальных вопросов. Так как каждая лесная формация (сосновая, березовая, еловая и т. д.) имеет особенности, необходимо выбрать объект исследования. В нашем случае это еловые и производные от них мягколиственные насаждения. Созданию алгоритма лесообразовательного процесса должна предшествовать разработка алгоритма другого порядка в виде структурной блок-схемы в графическом изображении.

Проблема, на решение которой направлено исследование, следует из неудовлетворительного соотношения площадей хвойных и лиственных лесов с перспективой сохранения этой негативной тенденции: доля производных лиственных насаждений увеличивается [5, 11]. Таким образом, следует предложить систему хозяйства, которая позволит стабилизировать этот процесс, а в перспективе – поддерживать определенное соотношение хвойных и лиственных пород в лесах, исходя из их экологического значения, лесорастительных условий и перспектив развития конкретной территории.

Основой для создания алгоритма лесообразовательного процесса послужила теория, построенная на принципах, изложенных в работах Б.А. Ивашкевича, развитых Б.П. Колесниковым и их последователями. Она базируется на возрождении коренных (условно-коренных) лесов через восстановительно-возрастные смены, т. е. через производные насаждения. Такой подход с учетом региональных особенностей часто называют географо-генетическим. Результаты этой работы реализовались в практическом руководстве «Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области» [10] и «Рекомендациях по ведению лесного хозяйства на зонально-типологической основе в лесах Свердловской области» [8]. Схематично процесс восстановления коренных (условно-коренных) насаждений представлен на рис. 1.

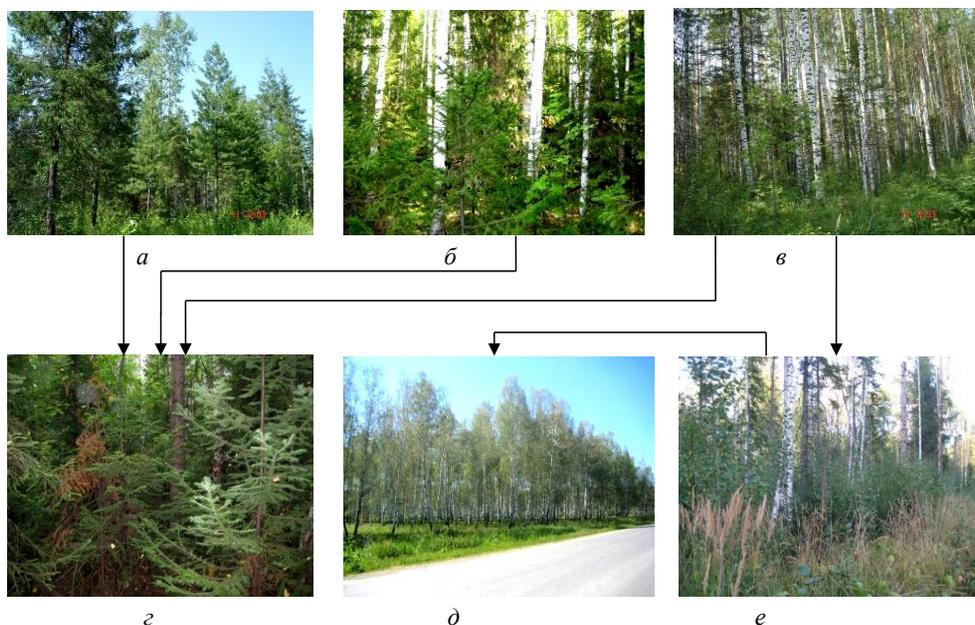


Рис. 1. Лесообразовательный процесс: *a*, *б* – первично-производные насаждения, сформировавшиеся по коротко-производному типу без смены пород из хвойного подроста предварительной генерации и со сменой лиственных пород на хвойные в течение жизни 1 поколения темнохвойных пород соответственно; *в* – вторично-производное насаждение, сформировавшееся по длительно-производному типу со сменой лиственных пород на хвойные в течение жизни 2 поколений темнохвойных пород; *z* – хвойное условно-коренное насаждение; *д* – устойчиво-производное насаждение; *e* – производное насаждение, сформировавшееся по длительно-производному типу со сменой лиственных пород на хвойные в течение жизни нескольких (более 2) поколений темнохвойных пород

Fig. 1. Forest formation process: *a*, *б* – primary derivative stands formed according to the short-derivative type without changing the species from the coniferous undergrowth of the preliminary generation and with the change of deciduous species to coniferous during the life of the 1st generation of dark coniferous species, respectively; *в* – secondary derivative stand formed according to a long-term derivative type with the change of deciduous species to coniferous ones during the life of 2 generations of dark coniferous species; *z* – coniferous conditionally indigenous stand; *д* – stable derivative stand; *e* – derivative stand formed according to a long-term derivative type with the change of deciduous species to coniferous ones during the life of several (more than 2) generations of dark coniferous species

В соответствии с целью исследования (рис. 1, *z*) перспективными являются направления лесообразования по коротко-производному типу через формирование первично-производных насаждений (рис. 1, *a* и *б*). При другом

длительно-производном типе лесообразования (рис. 1, *в* и *е*) возобновление хвойного леса растянуто во времени и вероятность осуществления этого процесса меньше. При неоднократном формировании на одном участке производных лиственных насаждений, например в результате рубок, пожаров, ветровалов, восстановление коренных хвойных лесов возможно только искусственным методом (рис. 1, *д*).

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Алгоритм лесообразовательного процесса в ельниках планируется создать на основе функциональной модели для этой формации, представленной в виде структурной блок-схемы. Ее вариант без детализировки изображен на рис. 2, распространяется на еловые и производные от них мягколиственные насаждения I–III классов бонитета, приуроченные к дренированным почвам. Это брусничниковая, ягодниковая, разнотравная, липняковая и травяно-зеленомошная (при определенных ограничениях) группы типов леса. На схеме для каждого состояния насаждения (обозначено прямоугольником) с экологических и лесоводственных позиций обосновано назначение лесохозяйственных мероприятий (овал) в рамках 2 основных направлений формирования темнохвойных насаждений: без смены хвойных пород на лиственные и через смену I поколения мягколиственных пород. Первая цифра в схеме обозначает направление лесообразования: 1 – без смены пород; 2 – через первично-производное мягколиственное насаждение. Вторая цифра отражает класс возраста хвойных (первое направление) и лиственных (второе направление) древостоев соответственно. Второе направление сопровождается системой рубок трансформации (на схеме обозначена темным тоном), которая, в соответствии с принципами существующей системы рубок ухода, предназначена для восстановления коренных ельников с высокой вероятностью и за более короткие сроки [15, 16]. Пунктирной линией показано нежелательное направление лесообразовательного процесса.

Каждая прямоугольная ячейка является платформой или матрицей, где записаны таксационные характеристики. При совпадении фактической характеристики таксационного выдела с записанной в матрице можно получить представление о направлении лесообразовательного процесса и перспективах развития насаждения. Последствия выполнения или невыполнения мероприятий проявятся при следующем туре инвентаризации лесного фонда (т. е. через 10 лет), когда все лесные участки займут позиции в соответствии с их текущими таксационными характеристиками. Например, позиция х.1.1 – это древостой с составом 4 ед. хвойных пород и 6 ед. лиственных. Такой состав формируется после рубок с сохранением подроста предварительной генерации или при некачественном уходе за лесными культурами. При условии оставления такого состава во 2-м классе возраста (позиция х.1.2) возраст хвойных деревьев будет находиться в пределах 25–40 лет. С целью увеличения в составе древостоя доли хвойных пород проводится рубка переформирования. В процессе развития насаждения велика вероятность повышения количества хвойных деревьев до 5 ед. и более без внешнего вмешательства [7, 14]. В этом случае в зависимости от возраста темнохвойных деревьев переходим к позициям 1.2 и 1.3 без проведения рубки переформирования (позиции 1.2.1 и 1.3.1).

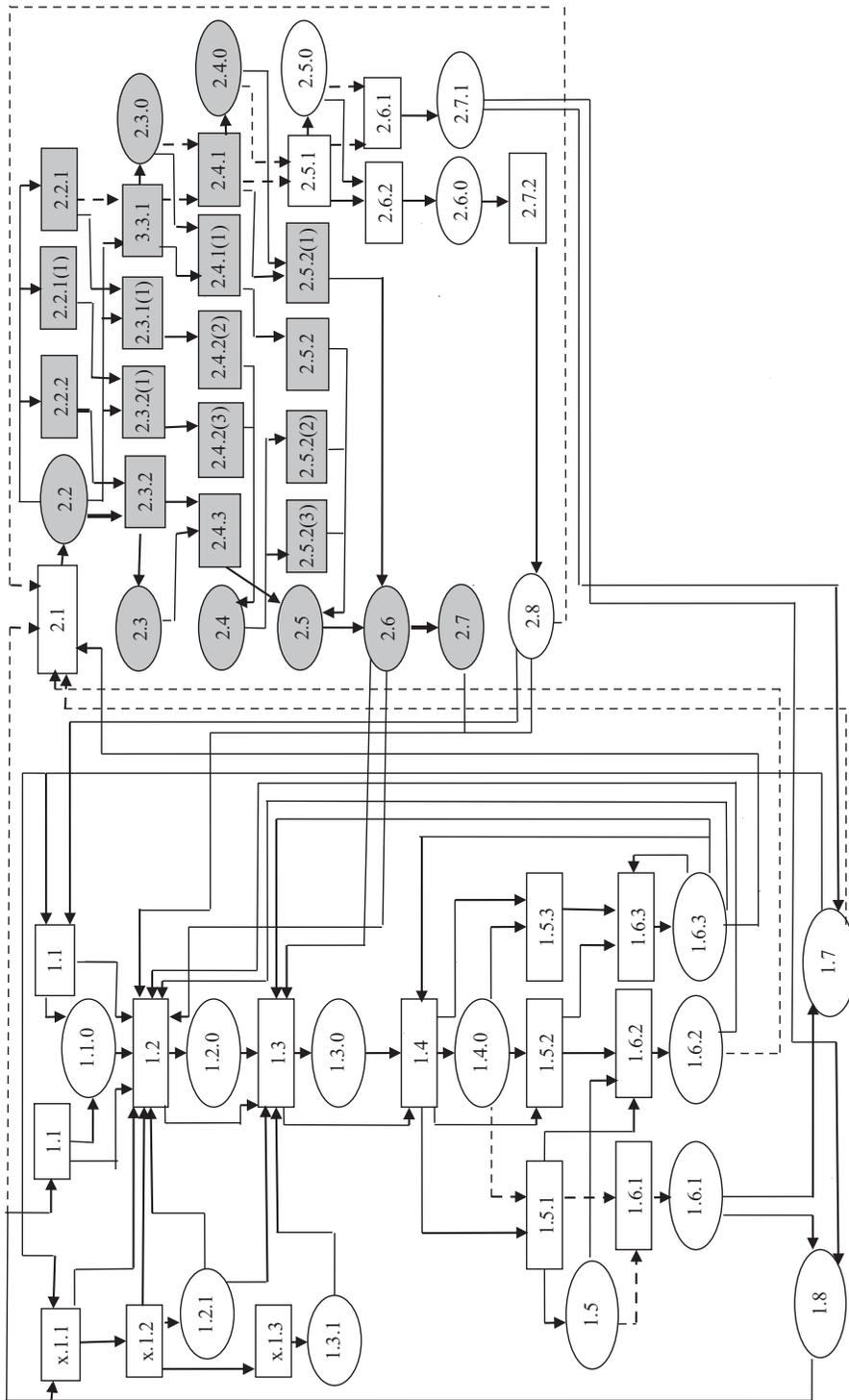


Рис. 2. Схема лесообразования в темных хвойных лесах

Fig. 2. Forest formation pattern in dark coniferous forests

В 3-м классе возраста при сохранении доминирования лиственных пород не стоит откладывать рубку переформирования, т. к. к этому времени у ели и пихты в возрасте 40–60 лет наблюдается максимальный текущий прирост [18]. Более подробно все позиции в схеме, сопровождающие лесообразовательный процесс хозяйственные мероприятия с их обоснованием описаны в диссертации [17].

Как было отмечено, лесообразование по коротко-производному типу и доминирование в перспективе темнохвойных пород после прохода насаждением стадии первично-производного мягколиственного насаждения совершается благодаря системе рубок трансформации (рис. 2, блок 2, тонированная часть). Такая система представляет собой 1 рубку или цикл выборочных рубок с повторением через 8–10 лет до возраста спелости мягколиственных древостоев.

Количество рубок зависит от появления подроста ели, пихты и кедра под пологом лиственных пород. При этом возраст подроста должен находиться в интервале от 15 до 30 лет. Например, единственная рубка трансформации проводится, когда темнохвойный подрост заселяется под пологом 30–35-летних деревьев верхнего лиственного яруса – позиция 2.4.1(1). При возрасте подроста около 15 лет возраст лиственных деревьев будет составлять 45–50 лет (позиция 2.5.2). В цикле рубок трансформации последняя рубка выполняется в 2 приема способом, как правило, 2-приемной равномерно-постепенной или чересполосной постепенной рубки. В 1-м случае за 1-й прием (позиция 2.5) из 1-го яруса вырубается преимущественно хвойные деревья (если они есть в составе древостоя) и наиболее развитые единичные экземпляры березы и осины. Полнота верхнего яруса древостоя снижается до 0,4–0,5 (рис. 3). Этот метод отбора деревьев в рубку существенно улучшает условия для роста темнохвойных деревьев нижнего яруса, уменьшает появление поросли мягколиственных пород и вероятность ветровала. На рис. 4 изображено средневозрастное темнохвойное насаждение, сформировавшееся через 7 лет после второго (заключительного) приема чересполосной постепенной рубки (позиция 2.6).



Рис. 3. Состояние насаждения через 8 лет после 1-й рубки трансформации

Fig. 3. The state of the stand 8 years after the first transformation felling



Рис. 4. Состояние насаждения после чересполосной постепенной рубки

Fig. 4. The state of the stand after gradual alternate strip felling

На рис. 5 представлена схема, по которой можно сравнить период формирования темнохвойных насаждений разными методами. В сопоставлении с действующей схемой рубки трансформации сокращают продолжи-

тельность формирования темнохвойного насаждения минимум на 10–15 лет и с высокой долей вероятности исключают повторное образование древостоя с преобладанием мягколиственных пород (вторично-производное насаждение).

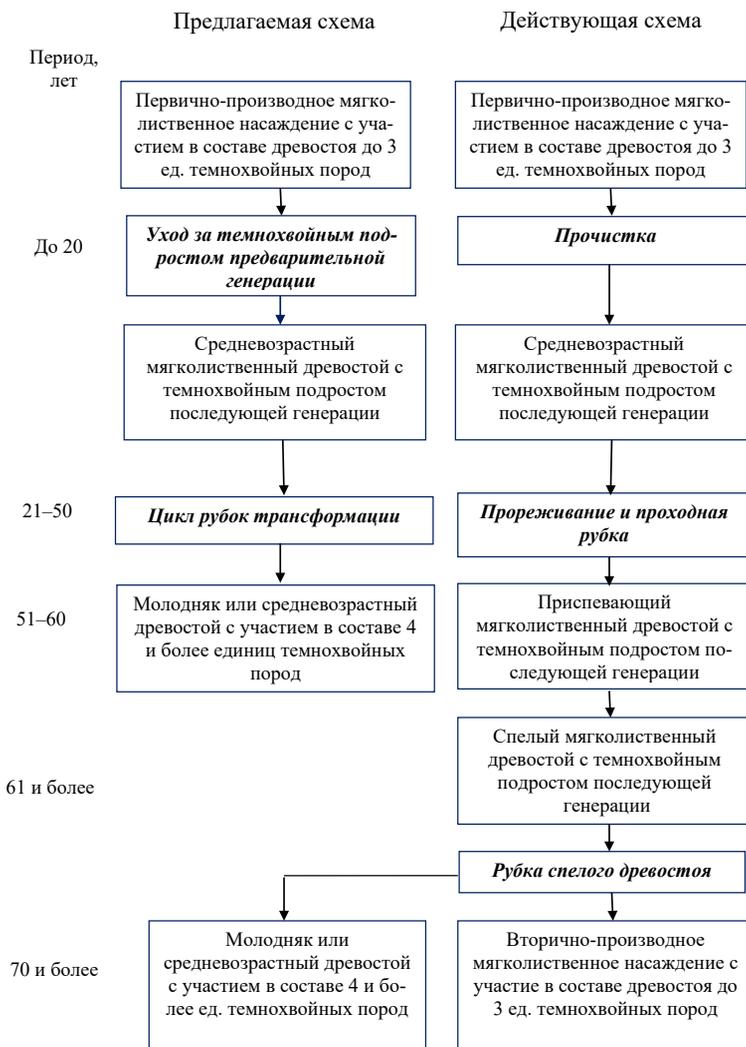


Рис. 5. Схема формирования темнохвойных насаждений рубками трансформации и рубками ухода (действующая)

Fig. 5. The scheme for the formation of dark coniferous stands by transformation fellings and thinnings (current)

При включении антропогенного фактора алгоритм модели лесообразовательного процесса приобретает сложную, нелинейную, вероятностную структуру. С учетом этого при его создании и адекватном отражении необходимы современные методы имитационного моделирования. По нашему мнению, наиболее перспективной средой программирования является Matlab. Этот ресурс обладает широким спектром возможностей. Кроме того, в Matlab интегрирована программа Excel, которая используется при оформлении материалов лесоустройства. Данный ресурс может быть использован при группировке и формировании баз данных, сделать их удобными для дальнейшей

работы. Совместимость такого рода в перспективе позволит создать удобный интерфейс для пользователя и предпосылки для включения программы, имитирующей лесообразовательный процесс, в комплекс с другими программами по планированию и осуществлению хозяйственной деятельности лесных предприятий.

### Заключение

Предложен способ создания алгоритма лесообразовательного процесса для автоматизированной системы, позволяющей отслеживать, сопровождать и корректировать направление лесообразовательного процесса для решения совокупности задач, связанных с возобновлением и формированием темнохвойных коренных древостоев через последовательность восстановительно-возрастных смен. Способ основан на географо-генетическом подходе, изложенном в работах Б.А. Ивашкевича и Б.П. Колесникова. В качестве промежуточного этапа для разработки алгоритма создана функциональная модель лесообразовательного процесса, представляющая собой графическую матричную структурную блок-схему. В ней предусмотрено 2 наиболее перспективных направления формирования темнохвойных насаждений: без смены темнохвойных пород и через доминирование 1 поколения мягколиственных пород, т. е. через формирование первично-производного мягколиственного насаждения. Неотъемлемой частью модели являются лесохозяйственные мероприятия, которые направляют процесс лесообразования в сторону формирования темнохвойных лесов. На основании алгоритма предполагается создание имитационной модели ведения лесного хозяйства в темнохвойных лесах, которая позволит эффективно осуществлять управление лесохозяйственным производством. На 1-м этапе восстановления насаждения это позволит предотвратить увеличения площадей производных мягколиственных насаждений, а в дальнейшем – поддерживать определенное соотношение хвойных и лиственных лесов исходя из их экологического значения, лесорастительных условий и перспектив развития конкретной территории. Создание цифрового продукта такого рода приобретает еще больший научный и практический интерес в связи с тем, что названные подходы и цифровые технологии в практике лесохозяйственного производства не применяются.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Атрощенко О.А.* Модели прогноза роста древостоев // Тр. БГТУ. 2013. № 1. С. 3–5.  
Atroshchenko O.A. Tree Growth Forecasting Models. *Trudy BGTU = Proceedings of the Belarusian State Technological University*, 2013, no. 1, pp. 3–5. (In Russ.).
2. *Березовская Ф.С., Карев Г.П.* Моделирование динамики древостоев // Сиб. лесн. журн. 2015. № 3. С. 7–19.  
Berezovskaya F.S., Karev G.P. Modeling of Forest Dynamics. *Sibirskij lesnoj zhurnal = Siberian Journal of Forest Science*, 2015, no. 3, pp. 7–19. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.15372/SJFS20150302>
3. *Грaбарник П.Я., Чертов О.Г., Чумаченко С.И., Шанин В.Н., Ханина Л.Г., Бобровский М.В., Быховец С.С., Фролов П.В.* Интеграция имитационных моделей для комплексной оценки экосистемных услуг лесов: методические подходы // Математическая биология и биоинформатика. 2019. Т. 14, № 2. С. 488–499.

Grabarnik P.Ya., Chertov O.G., Chumachenko S.I., Shanin V.N., Khanina L.G., Bobrovskiy M.V., Bykhovets S.S., Frolov P.V. The Integration of Simulation Models for Complex Evaluation of Different Forest Ecosystem Services: Methodological Approaches. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika* = Mathematical Biology and Bioinformatics, 2019, vol. 14, no. 2, pp. 488–499. (In Russ.). <https://doi.org/10.17537/2019.14.488>

4. Дружинин Ф.Н. К вопросу о смене пород // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Петрозаводск, 2009. С. 57–60.

Druzhinin F.N. On the Issue of Changing Species. *Forest Resources of the Taiga Zone of Russia: Problems of Forest Management and Reforestation: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation*. Petrozavodsk, 2009, pp. 57–60. (In Russ.).

5. Ильинцев А.С., Шамонтьев И.Г., Третьяков С.В. Современная динамика лесопользования в бореальных лесах России (на примере Архангельской области) // Лесотехн. журн. 2021. Т. 11, № 3(43). С. 45–62.

Ilyintsev A.S., Shamontev I.G., Tretyakov S.V. Modern Dynamics of Forest Use in the Boreal Forests of Russia (for Example of the Arkhangelsk Region). *Lesotekhnicheskij zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2021, vol. 11, no. 3(43), pp. 45–62. (In Russ.). <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/4>

6. Исаев А.С., Суховольский В.Г., Хлебопрос Р.Г., Бузыкин А.И., Овчинникова Т.М. Моделирование лесообразовательного процесса: феноменологический подход // Лесоведение. 2005. № 1. С. 3–11.

Isaev A.S., Suhovol'sky V.G., Khlebopros R.G., Buzykin A.I., Ovchinnikova T.M. Modeling of Forest-Forming Process: Phenomenological Approach. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2005, no. 1, pp. 3–11. (In Russ.).

7. Исаева Р.П. Особенности формирования молодняков на сплошных концентрированных вырубках в темнохвойных лесах // Леса Урала и хозяйство в них. 1975. Вып. 8. С. 59–69.

Isaeva R.P. Peculiarities of the Formation of Young Stands in Clear-Cut Concentrated Areas in Dark Coniferous Forests. *Lesa Urala i khozyajstvo v nikh*, 1975, iss. 8, pp. 59–69. (In Russ.).

8. Исаева Р.П. Рекомендации по ведению лесного хозяйства на зонально – типологической основе в лесах Свердловской области. М.: ВНИИЛМ, 1984. 56 с.

Isaeva R.P. *Recommendations for Forest Management on a Zonal-Typological Basis in the Forests of the Sverdlovsk Region*. Moscow, All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry Publ., 1984. 56 p. (In Russ.).

9. Киселева В.В., Коротков С.А., Skorodumov П.В. Тенденции смены породного состава в лесах Лосиноного Острова // Лесн. вестн. / Forestry bulletin. 2016. Т. 20, № 5. С. 65–77.

Kiseleva V.V., Korotkov S.A., Skorodumov P.V. Trends in Species Composition Changes in the Forests of Losinyi Ostrov. *Lesnoy vestnik* = Forestry bulletin, 2016, vol. 20, no. 5, pp. 65–77. (In Russ.).

10. Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 176 с.

Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P. *Forest Growth Conditions and Forest Types of the Sverdlovsk Region*. Sverdlovsk, Ural Scientific Centre of the USSR Academy of Sciences Publ., 1973. 176 p. (In Russ.).

11. Кузнецова Н.Ф., Сауткина М.Ю. Состояние лесов и динамика их породного состава в Центральном федеральном округе // Лесхоз. информ. 2019. № 2. С. 25–45.

Kuznetsova N.F., Sautkina M.Yu. Forest State and Dynamics of their Species Composition in the Central Federal District. *Lesokhozyajstvennaya informatsiya* = Forestry Information, 2019, no. 2, pp. 25–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.2.03>

12. Малышев В.В., Мурзинов Ю.В. Моделирование динамики роста насаждений в процессе ухода за лесом // Лесотехн. журн. 2012. № 2. С. 60–65.

Malyshev V.V., Murzinov Yu.V. Modeling the Dynamics of Plant Growth during Forest Management. *Lesotekhnicheskij zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2012, no. 2, pp. 60–65. (In Russ.).

13. Михайлов А.В., Шанин В.Н., Безрукова М.Г. Компонентный подход к построению моделей лесных экосистем // Лесоведение. 2010. № 2. С. 69–76.

Mikhailov A.V., Shanin V.N., Bezrukova M.G. A Component Approach to Development of Forest Ecosystem Models. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2010, no. 2, pp. 69–76. (In Russ.).

14. Синельщиков Р.Г. Развитие лесов, формирующихся на еловых вырубках Среднего Урала // Лесн. хоз-во. 1966. № 4. С. 24–27.

Sinelshchikov R.G. Development of Forests Formed in Spruce Clearings of the Middle Urals. *Lesnoe khozyajstvo*, 1966, no. 4, pp. 24–27. (In Russ.).

15. Теринов Н.Н. Метод формирования темнохвойных лесов // Тр. С.-Петербур. науч.-исследоват. ин-та лесн. хоз-ва. 2013. № 1. С. 64–71.

Terinov N.N. The Method of Formation of Dark-Coniferous Forest Stands. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo institute lesnogo khozyajstva* = Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute, 2013, no. 1, pp. 64–71. (In Russ.).

16. Патент 2007414 РФ, МПК<sup>31</sup> С2. Способ трансформации производных мягколиственных насаждений в темнохвойные: № 2012123574: заявл. 06.06. 2012; опубл. 10.07.2014 / Н.Н. Теринов.

Terinov N.N. *A Method for Transforming Derivative Soft-Leaved Forests into Dark Coniferous Ones*. Patent RF, no. RU 2007414 C2, 2014. (In Russ.).

17. Теринов Н.Н. Концепция трансформации производных мягколиственных насаждений в темнохвойные с целью повышения продуктивности лесов Урала: дис. ... д-ра с.-х. наук. Уфа, 2015. 320 с.

Terinov N.N. *The Concept of Transforming Derivative Soft-Leaved Plantations into Dark-Coniferous Ones in Order to Increase the Productivity of Forests in the Urals*: Doc. Agric Sci. Diss. Ufa, 2015. 320 p. (In Russ.).

18. Теринов Н.Н., Терехов Г.Г., Толкач О.В. Возраст деревьев нижнего яруса для формирования темнохвойных лесов после рубки // Изв. С.-Петербур. лесотехн. акад. 2024. Вып. 247. С. 173–187.

Terinov N.N., Terekhov G.G., Tolkach O.V. The Age of the Lower Store Trees for the Formation of Dark Coniferous Forests after Cutting. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 247, pp. 173–187. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.247.173-187>

19. Anderson-Teixeira K.J., Miller A.D., Mohan J.E., Hudiburg T.W., Duval B.D., DeLucia E.H. Altered Dynamics of Forest Recovery under a Changing Climate. *Global Change Biology*, 2013, vol. 19, iss. 7, pp. 2001–2021. <https://doi.org/10.1111/gcb.12194>

20. McDowell N.G., Allen C.D., Anderson-Teixeira K., Aukema B.H., Bond-Lamberty B., Chini L., Clark J.S., Dietze M., Grossiord C., Hanbury-Brown A., Hurtt G.C., Jackson R.B., Johnson D.J., Kueppers L., Lichstein J.W., Ogle K., Poulter B., Pugh T.A.M., Seidl R., Turner M.G., Uriarte M., Walker A.P., Xu C. Pervasive Shifts in Forest Dynamics in a Changing World. *Science*, 2020, vol. 368, no. 6494, art. no. eaaz9463.

<https://doi.org/10.1126/science.aaz9463>

21. Pretzsch H., Forrester D.I., Rötzer T. Representation of Species Mixing in Forest Growth Models. A Review and Perspective. *Ecological Modelling*, 2015, vol. 313, pp. 276–292. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.06.044>

22. Seidl R., Fernandes P.M., Fonseca T.F., Gillet F., Jönsson A.M., Merganicová K., Netherer S., Arpacı A., Bontemps J.-D., Bugmann H., González-Olabarria J.R., Lasch P., Meredieu C., Moreira F., Schelhaas M.-J., Mohren F. Modelling Natural Disturbances in Forest Ecosystems: a Review. *Ecological Modelling*, 2011, vol. 222, iss. 4, pp. 903–924.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.09.040>

23. Shvidenko A., Shechepashchenko D.G., Nilsson S., Bouloui Y. System of Models of Growth and Dynamics of Productivity of Russian Forests (Yield Tables). *Forest Management*, 2003, no. 6, pp. 34–38.

24. Tonteri T., Salemaa M., Rautio P., Hallikainen V., Korpela L., Merilä P. Forest Management Regulates Temporal Change in the Cover of Boreal Plant Species. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 381, pp. 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.015>

25. Xu H., Li Y., Liu S., Zang R., He F., Spence J.R. Partial Recovery of a Tropical Rain Forest a Half-Century after Clear-Cut and Selective Logging. *Journal of Applied Ecology*, 2015, vol. 52, no. 4, pp. 1044–1052. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12448>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest