




ИССЛЕДОВАНИЕ НАБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПОДГОТОВКИ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА ХВОЙНЫХ ПОРОД ДЛЯ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Татьяна П. Новикова¹ ✉, novikova_tp.vglta@mail.ru  0000-0003-1279-3960

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Предварительные исследования показали необходимость разработки комплексного подхода к проблеме лесовосстановления, который бы учитывал современные тенденции в области экофизиологии, технологии и техники лесного хозяйства, а также эффективность технологических процессов. Для реализации такого подхода на первом этапе был разработан алгоритм лесовосстановления, который состоит из 31 укрупненной технологической операции и 268 реализаций алгоритма. Для дальнейшего детального изучения технологических операций и разработки математической модели, направленной на нахождение оптимального набора операций для лесовосстановления, была произведена декомпозиция алгоритма. Было выделено 6 групп, каждую из которых целесообразно рассматривать отдельно. В работе рассмотрен 10-й оператор III группы и V-я группа – разработаны алгоритм подготовки семян и алгоритм сепарирования семян. Построены матрицы реализации алгоритмов – 13×16-мерная матрица подготовки лесных семян и 14×35-мерная матрица сепарации лесных семян, содержащие бинарные значения. Для исследования операторов алгоритмов на схожесть использовали визуализированную матрицу близости, основанную на квадрате Евклидова расстояния и Ward-методе. В результате обработки данных определены операторы алгоритма, достаточно далеко удаленные от центра групп, которые можно не учитывать в дальнейшем при разработке оптимизационной математической модели процесса лесовосстановления.

Ключевые слова: лесовосстановление, производство лесных семян, набор технологических операций, алгоритм, декомпозиция

Благодарности: Автор благодарит рецензентов и редактора за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Новикова Т. П. Исследование набора технологических операций подготовки семенного материала хвойных пород для лесовосстановления / Т. П. Новикова // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 4 (44). – С. 150–160. – Библиогр.: с. 158–160 (19 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13>.

Поступила: 10.11.2021 **Принята к публикации:** 17.12.2021 **Опубликована онлайн:** 30.12.2021

STUDY OF A SET OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS FOR THE PREPARATION OF CONIFEROUS SEED MATERIAL FOR REFORESTATION

Tatyana P. Novikova¹ ✉, novikova_tp.vglta@mail.ru  0000-0003-1279-3960

¹ FSBEI HE Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 394087, 8 Timiryazeva street, Voronezh, Russian Federation

Abstract

Preliminary studies have shown the need to develop an integrated approach to the problem of reforestation, which would take into account current trends in the field of ecophysiology, technology and technology of forestry, as well as the efficiency of technological processes. At the first stage, a reforestation algorithm was developed to implement this approach. The algorithm consists of 31 enlarged technological operations and 268 implementations of the algorithm. The algorithm was decomposed for further detailed study of technological operations and the development of a mathematical model aimed at finding the optimal set of operations for reforestation. Six groups were identified, each of which should be considered separately. The work considers the 10th operator of the III-th and V-th groups. An algorithm for preparing seeds and an algorithm for separating seeds have been developed. The matrices for the implementation of the algorithms were constructed (a 13×16 -dimensional matrix for the preparation of forest seeds and a 14×35 -dimensional matrix for the separation of forest seeds, containing binary values). A visualized proximity matrix based on the squared Euclidean distance and the Ward method was used to study the operators of algorithms for similarity. As a result of data processing, the operators of the algorithm are determined, which are far enough from the center of the groups, which can be ignored in the future when developing an optimization mathematical model of the reforestation process.

Keywords: reforestation, production of forest seeds, set of technological operations, algorithm, decomposition

Acknowledgments: The author thanks the reviewers and editors for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citation: Novikova T.P. (2021) Investigation of a technological operations set for the preparation of coniferous seed material for reforestation. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 11, No. 4 (44), pp. 150-160 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13>.

Received: 10.11.2021 **Revised:** 07.12.2021 **Accepted:** 17.12.2021 **Published online:** 30.12.2021

Введение

Необходимость восстановления лесных ландшафтов в России назрела уже давно. Сейчас начался этап активного государственного участия в процессе лесовосстановления, создания карбоновых площадей, «зеленых столиц» и др. Примерами государственной поддержки служат такие программы, как: 1) Государственная программа «Развитие лесного хозяйства» от 15 апреля 2014 года №318. (в редакции постановления Правительства РФ от 31 марта 2021 г. N 511); 2) пилотный проект Минобрнауки по созданию на территории регионов России карбоновых полигонов (от

февраля 2021); 3) распоряжение Белгородской обл. от 25 января 2010 года N 35-рп (с изменениями на 15 февраля 2021 года) О концепции областного проекта «Зеленая столица» и др. Все это дает толчок для активного лесоразведения и лесовосстановления, в том числе: на труднодоступных площадях и в условиях изменения климата [1]. Пытаясь учесть современные тенденции в лесовосстановлении и комплексно подойти к проблеме [2], был разработан алгоритм (рис. 1).

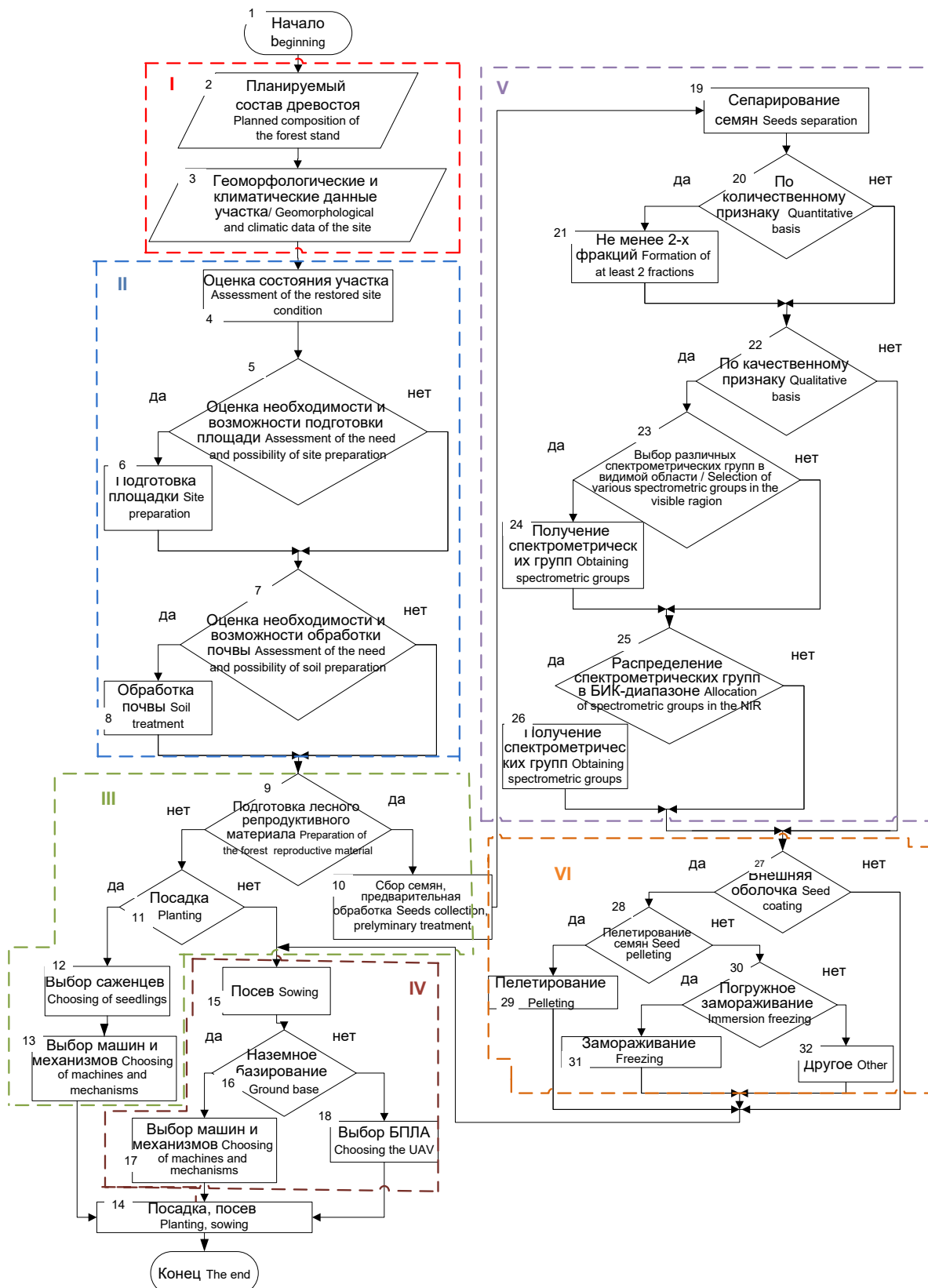


Рисунок 1. Алгоритм, учитывающий современные тенденции при лесовосстановлении

Figure 1. Algorithm that takes into account current trends in reforestation

Источник: собственная разработка автора / Source: author's own development

Алгоритм на рис. 1 структурно состоит из 32 технологических операций, значимых – 31 технологическая операция или 31 блок (оператор) алгоритма (без блока «Beginning»). Практически каждый блок алгоритма можно расписать более подробно в части его практической реализации, технических средств, моделей оборудования, производительности оборудования и другое.

Процесс лесовосстановления содержит набор технологических операций (набор блоков алгоритма). Для разработанного алгоритма существует 268 вариантов решения или 268 различных наборов технологических операций – это число было получено путем полного перебора [3].

Существует дилемма – с одной стороны – необходимо детальное рассмотрение каждой технологической операции с ее декомпозицией, а с другой – необходим комплексный глобальный подход ко всему процессу лесовосстановления с учетом современных тенденций развития технологий и средств, применяемых при лесовосстановлении. Разрешением этой дилеммы, на наш взгляд, может быть декомпозиция алгоритма на 6 укрупненных групп – I, II, III, IV, V, VI (на рис. 1 группы выделены пунктирными линиями различных цветов).

На основе полученных результатов методами Уорда и внутригрупповых связей можно однозначно сказать, что существуют значимые различия между технологическими операциями, обеспечивающими различные этапы лесовосстановления. Так же, данные методы косвенно подтверждают целесообразность декомпозиции разработанного алгоритма на 6 блоков исходя из технологической и технической общности операций.

Данная работа посвящена детальному рассмотрению 10-го оператора III группы (сбор семян, предварительная обработка семян) и V группы (сепарирование семян).

Материалы и методы

Теория алгоритмов использовалась для представления последовательности операционных технологий и оценки возможного набора технологий и технических средств при предварительной обработке семян и сепарировании.

Для исследования степени схожести операторов алгоритма по применимости в наборе операций

реализации алгоритма использовали визуализированную матрицу близости (proximity matrix), основанную на квадрате Евклидова расстояния (Kovács et al., 2020) между операторами при агломерации набора.

Процедуру формирования иерархических групп операторов для ($n > 100$)-количества значений матрицы реализации алгоритмов подготовки и сепарации лесных семян проводили согласно Ward-методу, подробно изложенному в классической работе Joe H. Ward Jr (Ward Jr, 1963). Здесь каждая последующая группа операторов формировалась на основе минимальной дисперсии расстояний – суммы квадратов ошибок (SSE) – между двумя группами по всем переменным (операторам) алгоритмов. Результаты агломерации операторов каждого алгоритма в иерархические группы визуализировали дендрограммой схожести. Базовой платформой для статистической интерпретации результатов исследования служила программа IBM SPSS Statistics, версия 25.

Результаты и обсуждение

В разработанном укрупненном алгоритме (рис. 1) подготовке лесосеменного материала уделено большое внимание, так как исходя из имеющихся входных данных: геоморфологические данные участка; планируемый породный состав; лесовосстановление или лесоразведение; площадь после вырубков, гарей или земли, не входящие в лесной фонд; несущие свойства грунта; количество пней на гектар; максимальный уклон участка; задерненность почвы; климатические характеристики района, можно говорить о различных вариантах лесовосстановления – различных наборах технологических операций. Однако любой набор технологических операций будет включать подготовку и сепарирование лесосеменного материала.

На рис. 2 представлена схема последовательности технологических операций подготовки лесосеменного материала хвойных пород, на которой показаны, как основные операции, так и варианты практической реализации данных технологических операций, направленные на подготовку [4-6], сепарирование [7-9], дражирование [10], капсулирование [15] лесосеменного материала хвойных пород. Набор технологических операций зависит от дальнейшего целевого использования лесосеменного материала [11].

Исходя из алгоритма лесовосстановления (рис. 1) и схемы (рис. 2) были разработаны алгоритм подготовки лесосеменного материала (рис. 3) и алго-

ритм сепарирования лесных семян хвойных пород (рис. 7).

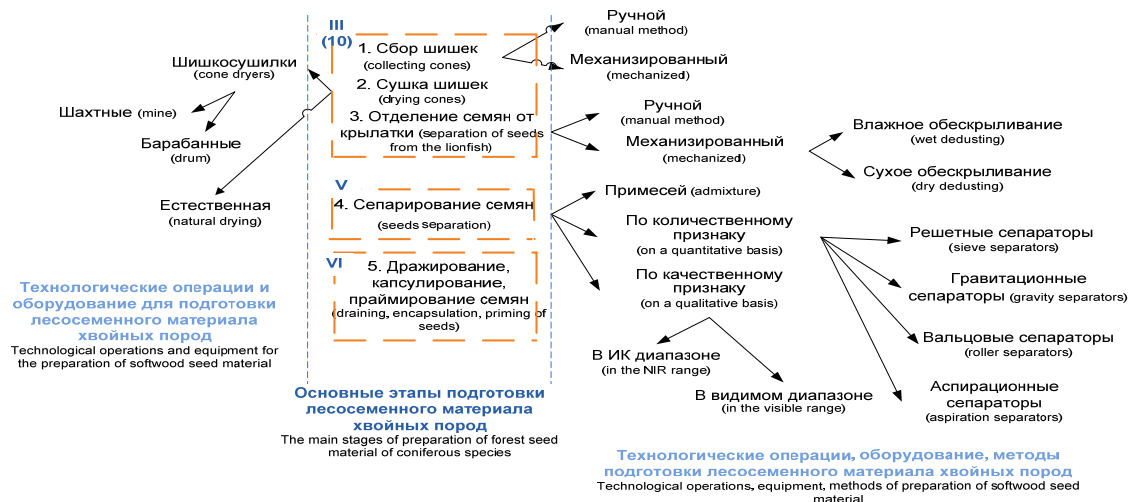


Рисунок 2. Схема последовательности технологических операций подготовки лесосеменного материала хвойных пород

Figure 2. Diagram of the sequence of technological operations for the preparation of softwood seed material

Источник: собственная композиция автора.
Source: author's composition

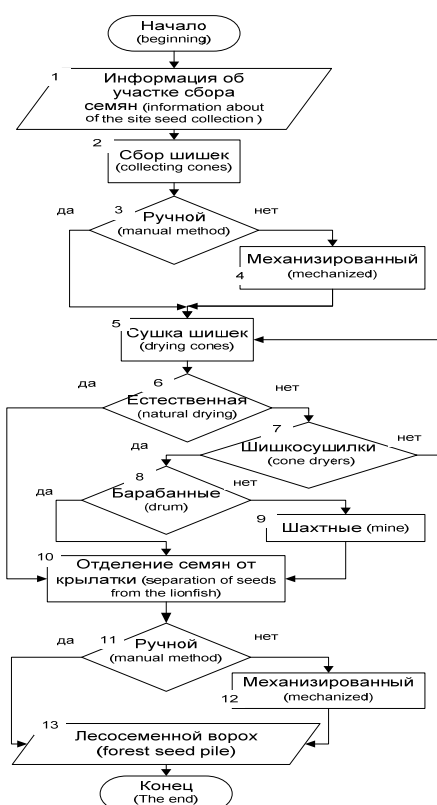


Рисунок 3. Алгоритм подготовки лесосеменного материала хвойных пород

Figure 3. Algorithm of preparation of forest seed material of coniferous species

Источник: собственная разработка автора
Source: author's own development

Алгоритм подготовки лесосеменного материала хвойных пород состоит из 13 операторов (технологических операций). Целью реализации алгоритма является подготовка лесосеменного материала хвойных пород для дальнейшей обработки семян (сепарирование, дрожирование, капсулирование, праймирование и другое), либо высевы семян в контейнеры в питомнике.

Для дальнейшего исследования алгоритма построили матрицу реализации алгоритма – 13×16-мерную матрицу подготовки лесных семян (рис. 4), содержащую бинарные значения. При этом столбцы матрицы соответствовали операторам алгоритма – технологическим операциям, а строки – возможным вариантам реализации алгоритма – наборам технологических операций, осуществляемым в процессе подготовки лесных семян хвойных пород.

Для исследования степени схожести операторов алгоритма по применимости в наборе операций реализации алгоритма использовали визуализированную матрицу близости (рис. 5), основанную на квадрате Евклидова расстояния между операторами при агломерации набора.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	7	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1
9	8	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
10	9	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
11	10	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
12	11	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1
13	12	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
14	13	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
15	14	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	15	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1
17	16	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
18														

Рисунок 4. Часть бинарной матрицы 13×16

Figure 4. Part of a 13×16 binary matrix

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

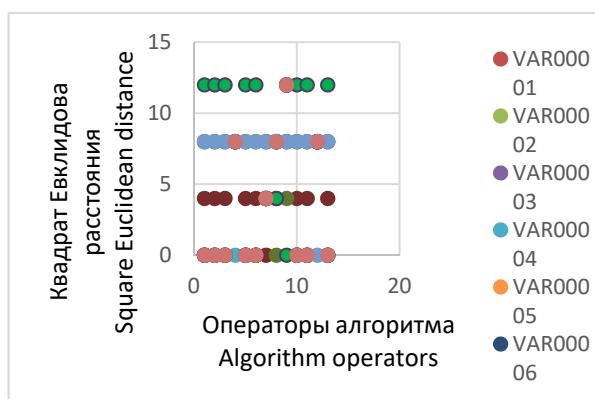


Рисунок 5. Матрица близости операторов алгоритма подготовки лесных семян

Figure 5. Operators proximity matrix of the forest seed preparation algorithm

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Основываясь на результаты матрицы близости операторов алгоритма подготовки лесных семян (рис. 5) определено, что оператор алгоритма – технологическая операция номер 9 (сушка шишек посредством шахтных шишкосушилок), достаточно далеко удалена от центра групп. Можно сделать вывод, что в дальнейшем при разработке оптимизационной математической модели можно не учитывать данную технологическую операцию.

Процедуру формирования иерархических групп операторов для (n>100)-количества значений

матрицы реализации алгоритмов подготовки лесных семян хвойных пород проводили согласно Ward-методу. Каждая последующая группа операторов формировалась на основе минимальной дисперсии расстояний – суммы квадратов ошибок (SSE) – между двумя группами по всем переменным (операторам) алгоритмов. Результаты агломерации операторов алгоритма в иерархические группы визуализированы дендрограммой схожести на рис. 6.

Анализируя дендрограмму на рисунке 6, видим, что наибольшая схожесть наблюдается у группы операторов 1, 2, 3, 5, 6, 10, 13, 11. В алгоритме подготовки лесосеменного материала хвойных пород данный набор технологических операций можно охарактеризовать, как простейший вариант набора операций. Вторая значимо отличающаяся группа состоит из операторов 1, 2, 4, 7, 8, 9. Данный набор операций можно охарактеризовать, как альтернативный.

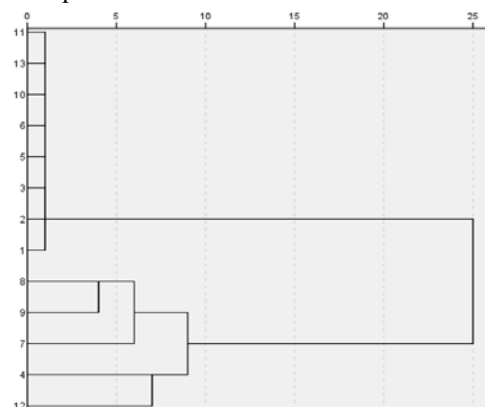


Рисунок 6. Дендрограмма агломерации операторов алгоритма подготовки лесных семян

Figure 6. Dendrogram of agglomeration operators of the forest seed preparation algorithm

Источник: собственные вычисления автора.

Source: own calculations.

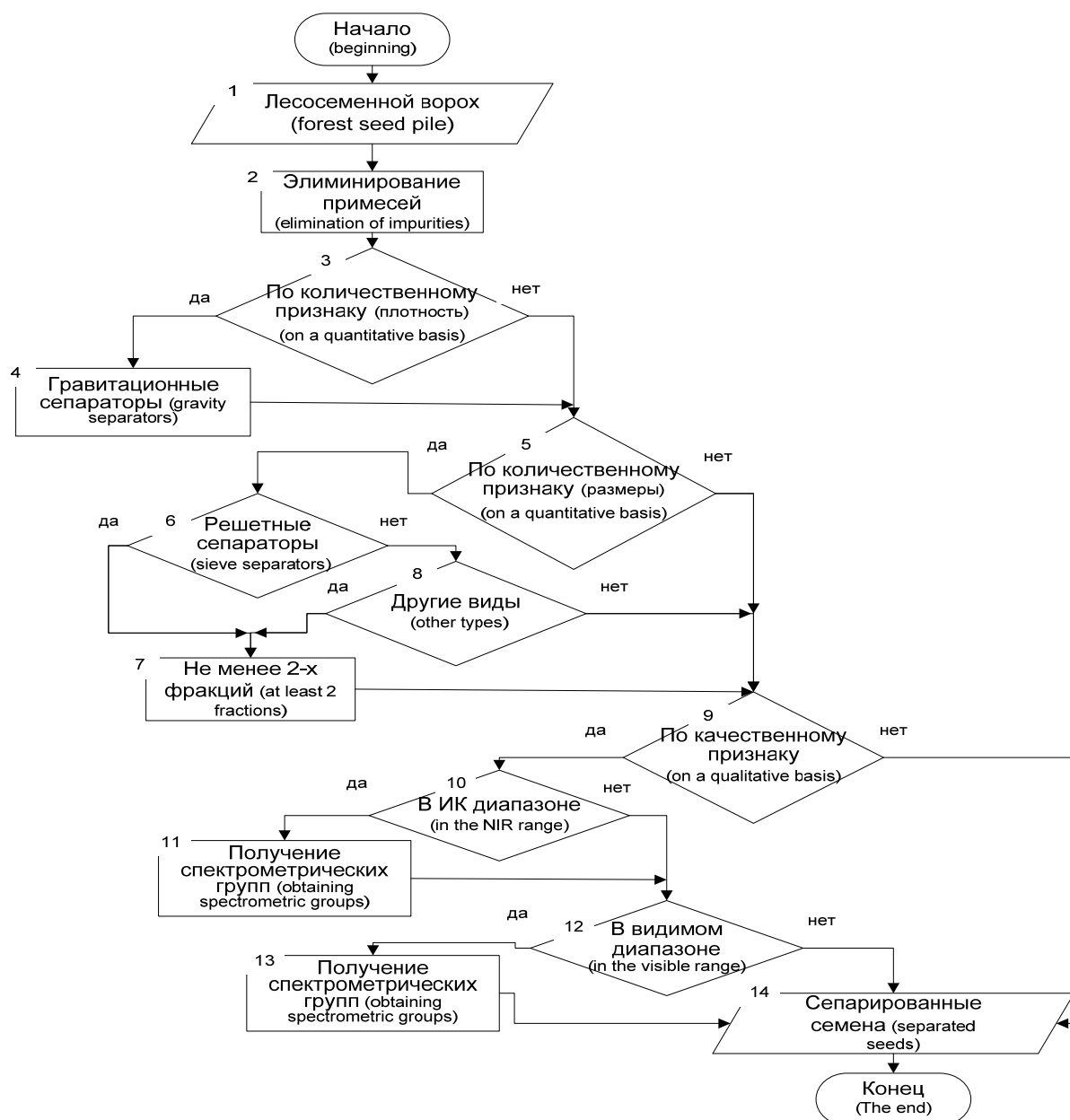


Рисунок 7. Алгоритм сепарирования лесных семян хвойных пород

Figure 7. Algorithm of coniferous forest seeds separation

Источник: собственная разработка автора

Source: author's own development

В основе алгоритма сепарирования лесных семян хвойных пород лежат исследования в области сепарирования по количественным признакам (плотности и геометрии семян) [12-14], по качественным признакам (в ИК-диапазоне и видимом диапазоне) [16-18].

Для исследования алгоритма построили 14×35-мерную матрицу сепарации лесных семян (рис. 8), содержащую бинарные значения. Столбцы матрицы соответствуют операторам алгоритма (технологическим операциям), строки – набор технологических операций.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
3	2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
5	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
7	6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
8	7	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
9	8	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
10	9	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
11	10	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	32	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
34	33	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
35	34	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
36	35	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1

Рисунок 8. Часть бинарной матрицы 14×35

Figure 8. Part of a 14×35 binary matrix

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Бинарная матрица (рис. 8) легла в основу расчета матрицы близости операторов алгоритма сепарации лесных семян (рис. 9).

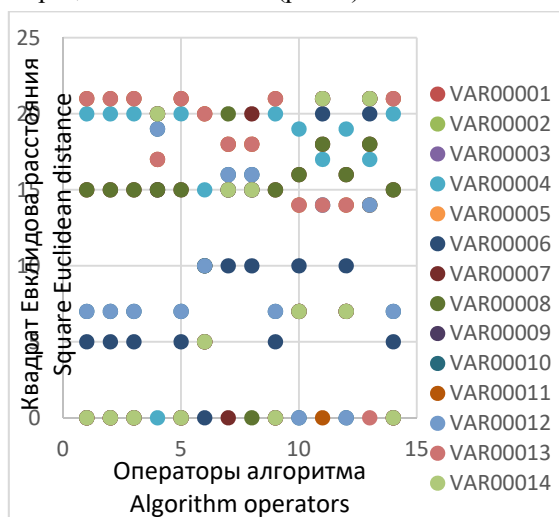


Рисунок 9. Матрица близости операторов алгоритма сепарации лесных семян

Figure 9. Operators proximity matrix of the forest seed separation algorithm

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

Анализ матрицы близости операторов показывает, что нет отдельных операций далеко удаленных от центра групп. Таким образом, в дальнейших исследованиях при разработке оптимизационной математической модели необходимо рассматривать и учитывать все технологические операции представленные на рис.е 7.

Анализируя дендрограмму на рис. 10, видим, что наибольшая схожесть наблюдается между операторами в следующих группах: 1) 1,2,3,5,9,14; 2) 1,4,6,10,11,12,13; 3) 4,7,8,11,13. Опираясь на алгоритм 7, можно утверждать, что первая группа операторов описывает наиболее короткий и простой (с точки зрения технологии и применяемых технических средств) путь реализации алгоритма. Вторая группа – самый длинный и технологически наиболее сложный путь реализации алгоритма. Третья группа показывает необходимость предварительного гравитационного сепарирования перед выделением спектрометрических групп.

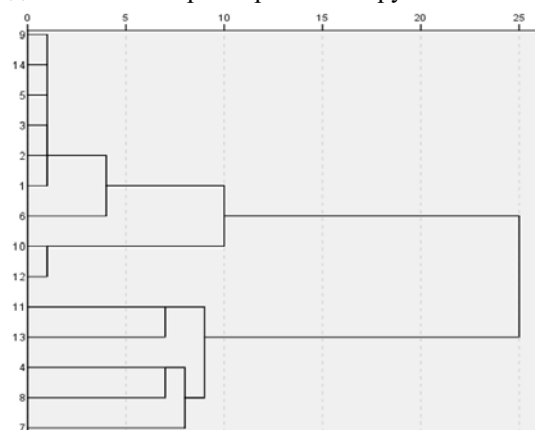


Рисунок 10. Дендрограмма агломерации операторов алгоритма сепарации лесных семян

Figure 10. Dendrogram of agglomeration operators of the forest seed separation algorithm

Источник: собственные вычисления автора

Source: own calculations

На основе полученных результатов методами Уорда и внутригрупповых связей можно однозначно сказать, что существуют значимые различия между наборами технологических операций.

Заключение

Исследования в области комплексного подхода к лесовосстановлению [19] показали необходимость детального изучения отдельных декомпозированных групп операций [3]. В данной работе разработаны алгоритм подготовки семян и алгоритм сепарирования семян, представлены бинарные матрицы, анализ схожести операций проведен Ward-методом.

Список литературы

1. Höhl M., Ahimbisibwe V., Stanturf J. A., Elsasser P., Kleine M., Bolte A. (2020). Forest Landscape Restoration – What Generates Failure and Success? *Forests*, 11(9), 938. <https://doi.org/10.3390/f11090938>.
2. Royer-Tardif S., Bauhus J., Doyon F., Nolet P., Thiffault N., Aubin I. (2021). Revisiting the Functional Zoning Concept under Climate Change to Expand the Portfolio of Adaptation Options. *Forests*, 12(3), 273. <https://doi.org/10.3390/f12030273>.
3. Novikova T.P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology. *Inventions*. 2021. Vol. 6, no. 4. Article 98.
4. Novikov A. I., Sokolov S. V., Drapalyuk M. V., Zelikov V. A., Ivetić V. (2019). Performance of Scots Pine Seedlings from Seeds Graded by Colour. *Forests*, 10(12), 1064. <https://doi.org/10.3390/f10121064>.
5. Kaliniewicz Z., Tylek P. (2019). Aspects of the Process of Sorting European Black Pine Seeds. *Forests*, 10(11), 966. <https://doi.org/10.3390/f10110966>
6. Novikov A. I., Ersson B. T., Malyshev V. V., Petrishchev E. P., Ilunina A. A. Mechanization of coniferous seeds grading in Russia: a selected literature analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 595, 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012060>
7. Novikov, A., Lisitsyn, V., Tigabu, M., Tylek, P., & Chuchupal, S. (2021). Detection of Scots Pine Single Seed in Optoelectronic System of Mobile Grader: Mathematical Modeling. *Forests*, 12(2), 240. <https://doi.org/10.3390/f12020240>.
8. Barboza da Silva C., Oliveira N. M., de Carvalho M. E. A., de Medeiros A. D., de Lima Nogueira M., dos Reis A. R. (2021). Autofluorescence-spectral imaging as an innovative method for rapid, non-destructive and reliable assessing of soybean seed quality. *Scientific Reports*, 11(1), 17834. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97223-5>.
9. Novikov A. I. (2019). Visible wave spectrometric features of Scots pine seeds: the basis for designing a rapid analyzer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 226, 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012064>.
10. Pedrini S., Balestrazzi A., Madsen M. D., Bhalsing K., Hardegree S. P., Dixon K. W., Kildisheva O. A. (2020). Seed enhancement: getting seeds restoration-ready. *Restoration Ecology*, 28(S3), S266–S275. <https://doi.org/10.1111/rec.13184>
11. Пат. 2714705 Российская Федерация, МПК А 01 G 23/00. Способ восстановления леса [Текст] / Новиков А.И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. лесотехн. ун-т. – № 2019115418 ; заявл. 20.05.2019 ; опубл. 19.02.2020, Бюл. № 5.
12. Новиков, А. И. Дисковые сепараторы семян в лесохозяйственном производстве : монография. – Воронеж, 2017. 159 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25020727>.
13. Драпалюк М. В., Новиков А. И. Анализ операционных механизированных технологий сепарации семян при искусственном лесовосстановлении. *Лесотехнический журнал*. 2018. 8(4), 207–220. https://doi.org/10.12737/article_5c1a3237290288.22345283
14. Свиридов Л. Т., Голев А. Д., Князев А. В., Новиков А. И. (2001). Устройство для очистки и калибрования лесных семян хвойных пород: пат. 2170147 Российская Федерация, МПК7 В 07 В 1/16, 1/46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37867773&>
15. Dornyak O., Novikov A. Immersion Freezing of a Scots Pine Single Seed in a Water-Saturated Dispersion Medium: Mathematical Modelling. *Inventions*. 2020. Vol. 5, no. 4. Article 51. doi: 10.3390/inventions5040051.
16. Новиков А. И. Экспресс-анализ лесных семян биофизическими методами: монография. Воронеж, 2018. 128 с.
17. Соколов С. В., Новиков А. И. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве. *Лесотехнический журнал* 2017. Т. 7, № 4. С. 190–205. doi: 10.12737/article_5a3d040dc79c79.94513194.

18. Новиков А. И., Саушкин В. В. Исследование спектрометрических параметров семенной кожуры сосны обыкновенной в ИК-диапазоне. Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, № 3. С. 30–37. doi: 10.12737/article_5b97a164e41782.20107217.

19. Novikova T. P. (2021). How to optimize the operational technologies of contemporary forest landscape restoration: process control algorithm. 2nd International Electronic Conference on Forests – Sustainable Forests: Ecology, Management, Products and Trade, 01–15 September 2021, 8084. <https://doi.org/10.3390/IECF2021-10810>.

References

1. Höhl, M., Ahimbisibwe, V., Stanturf, J. A., Elsasser, P., Kleine, M., & Bolte, A. (2020). Forest Landscape Restoration—What Generates Failure and Success? // *Forests*, 11(9), 938. <https://doi.org/10.3390/f11090938>.

2. Royer-Tardif, S., Bauhus, J., Doyon, F., Nolet, P., Thiffault, N., & Aubin, I. (2021). Revisiting the Functional Zoning Concept under Climate Change to Expand the Portfolio of Adaptation Options // *Forests*, 12(3), 273. <https://doi.org/10.3390/f12030273>.

3. Novikova, T.P. The choice of a set of operations for forest landscape restoration technology [Electronic resource] // *Inventions*. – 2021. – Vol. 6, no. 4. – Article 98.

4. Novikov, A. I., Sokolov, S. V., Drapalyuk, M. V., Zelikov, V. A., & Ivetić, V. (2019). Performance of Scots Pine Seedlings from Seeds Graded by Colour // *Forests*, 10(12), 1064. <https://doi.org/10.3390/f10121064>.

5. Kaliniewicz, Z., & Tylek, P. (2019). Aspects of the Process of Sorting European Black Pine Seeds // *Forests*, 10(11), 966. <https://doi.org/10.3390/f10110966>

6. Novikov, A. I., Ersson, B. T., Malyshev, V. V., Petrishchev, E. P., Ilunina, A. A. Mechanization of coniferous seeds grading in Russia: a selected literature analysis // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. 595, 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/595/1/012060>

7. Novikov, A., Lisitsyn, V., Tigabu, M., Tylek, P., & Chuchupal, S. (2021). Detection of Scots Pine Single Seed in Optoelectronic System of Mobile Grader: Mathematical Modeling // *Forests*, 12(2), 240. <https://doi.org/10.3390/f12020240>

8. Barboza da Silva, C., Oliveira, N. M., de Carvalho, M. E. A., de Medeiros, A. D., de Lima Nogueira, M., & dos Reis, A. R. (2021). Autofluorescence-spectral imaging as an innovative method for rapid, non-destructive and reliable assessing of soybean seed quality // *Scientific Reports*, 11(1), 17834. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97223-5>.

9. Novikov, A. I. (2019). Visible wave spectrometric features of Scots pine seeds: the basis for designing a rapid analyzer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 226, 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012064>.

10. Pedrini, S., Balestrazzi, A., Madsen, M. D., Bhalsing, K., Hardegree, S. P., Dixon, K. W., & Kildisheva, O. A. (2020). Seed enhancement: getting seeds restoration-ready. *Restoration Ecology*, 28(S3), S266–S275. <https://doi.org/10.1111/rec.13184>

11. Pat. 2714705 Rossijskaya Federaciya, MPK A 01 G 23/00. Sposob vosstanovleniya lesa [Forest restoration method] / Novikov A.I. ; zayavitel' i patentoobladatel' Voronezh. gos. lesotexn. un-t. – № 2019115418 ; zayavl. 20.05.2019 ; opubl. 19.02.2020, Byul. № 5 (In Russ.).

12. Novikov, A. I. Diskovye separatory semyan v lesohozyajstvennom proizvodstve [Disc separators of seeds in forestry production] : monografiya = monograph – Voronezh: FGBOU VO VGLTU, 2017. –159 s. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25020727> (In Russ.).

13. Drapalyuk M.V., Novikov A.I. Analiz operacionnyh mekhanizirovannyh tekhnologij separacii semyan pri iskusstvennom lesovosstanovlenii [Analysis of operational mechanized seed separation technologies in artificial reforestation]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2018. Vol. 8, № 4. S. 207–220. doi: 10.12737/article_5c1a3237290288.22345283(In Russ.).

14. Sviridov, L. T., Golev, A. D., Knyazev, A. V., Novikov, A. I. (2001). Ustrojstvo dlya ochistki i kalibrovaniya lesnyh semyan hvojnnyh porod [Device for cleaning and calibration of coniferous forest seeds]: pat. 2170147 Rossijskaya Federaciya, MPK7 V 07 V 1/16, 1/46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37867773> (In Russ.).

15. Dornyak O., Novikov A. Immersion Freezing of a Scots Pine Single Seed in a Water-Saturated Dispersion Medium: Mathematical Modelling // *Inventions*. 2020. Vol. 5, no. 4. Article 51. doi: 10.3390/inventions5040051.

16. Novikov, A. I. Ekspress-analiz lesnyh semyan biofizicheskimi metodami [Express analysis of forest seeds by biophysical methods] monografiya = monograph – Voronezh: FGBOU VO VGLTU, 2018. – 128 s. (In Russ.).

17. Sokolov S. V., Novikov A.I. Tendencii razvitiya operacionnoj tekhnologii arooseva bespilotnymi letatel'nymi apparatami v lesovosstanovitel'nom proizvodstve [Trends in the development of the operational technology of aerial seeding by unmanned aerial vehicles in reforestation production] // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2017. Vol. 7, № 4. S. 190–205. doi: 10.12737/article_5a3d040dc79c79.94513194. (In Russ.).

18. Novikov A. I., Saushkin V.V. Issledovanie spektrometricheskikh parametrov semennoj kozhury sosny obyknovnoy v IK-diapazone [Investigation of spectrometric parameters of the seed peel of scots pine in the NIR range] // *Forestry Engineering Journal*. 2018. Vol. 8, № 3. S. 30–37. doi: 10.12737/article_5b97a164e41782.20107217 (In Russ.).

19. Novikova, T. P. (2021). How to optimize the operational technologies of contemporary forest landscape restoration: process control algorithm // 2nd International Electronic Conference on Forests—Sustainable Forests: Ecology, Management, Products and Trade, 01–15 September 2021, 8084. <https://doi.org/10.3390/IECF2021-10810>

Сведения об авторе

✉ *Новикова Татьяна Петровна* – канд. техн. 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, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1279-3960>, e-mail: novikova_tp.vglta@mail.ru

Information about the author

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

✉ – Для контактов/Corresponding author