

Геоинформатика. 2023. № 2. С. 49–56.  
*Geoinformatika*. 2023;(2):49–56.

Геоэкология

Научная статья  
 УДК 004.94  
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-2-49-56>

## Методика применения программного продукта Wolfram Mathematica для геоинформационного моделирования лесных экосистем

© 2023 г. — М.Р. Вагизов<sup>а)</sup>, К.А. Витлев, А.Г. Соколов, А.И. Попов, В.А. Самсонов, К.А. Макаров

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»; Россия, Санкт-Петербург

<sup>а)</sup>bars-tatarin@yandex.ru

**Аннотация:** Цель работы — разработка методики частичной автоматизации процесса построения геоинформационной модели лесной экосистемы с использованием программного продукта Wolfram Mathematica для анализа лесных массивов с использованием открытых спутниковых снимков. В статье рассмотрены функциональные возможности программного обеспечения Wolfram Mathematica и использование математических расчетных функций при распознавании на снимке деревьев и их видов. Основное внимание в статье отводится процессу поэтапного построения 3D-модели лесного массива. Научная новизна данного исследования заключается в проведении полного технологического цикла работ с помощью одного программного инструмента обработки формируемой геоинформации, с применением специально разработанного функционала и его алгоритмов для анализа и сегментирования спутниковых изображений. В результате исследования была сформирована поэтапная методика и алгоритмы решения поставленной в рамках исследования задачи с возможными вариантами дальнейшего усовершенствования.

**Ключевые слова:** *лес, информационные технологии, искусственный интеллект, алгоритм*

*Для цитирования:* Вагизов М.Р., Витлев К.А., Соколов А.Г., Попов А.И., Самсонов В.А., Макаров К.А. Методика применения программного продукта Wolfram Mathematica для геоинформационного моделирования лесных экосистем // Геоинформатика. — 2023. — № 2. — С. 49–56. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-2-49-56>.

Geoecology

Original article

## Application of Wolfram Mathematica for Geoinformation Modeling of Forest Ecosystems

© 2023 — M.R. Vagizov<sup>a)</sup>, K.A. Vitlev, A.G. Sokolov, A.I. Popov, V.A. Samsonov, K.A. Makarov

St. Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov; St. Petersburg, Russia

<sup>a)</sup>bars-tatarin@yandex.ru

**Abstract:** The aim of the work is to develop a methodology for partial automation of the process of building a geoinformation model of forest ecosystems using Wolfram Mathematica software for the analysis of forests using open satellite images. The article deals with the functionality of the Wolfram Mathematica software and the use of mathematical calculation functions when identifying trees and their species on the image. The main attention in the article is paid to the process of step-by-step construction of a 3D model of the forest area. The scientific novelty of this study lies in the complete technological cycle of work with the use of a single software tool for processing the generated geoinformation, using a specially developed functional and its algorithms for the analysis and segmentation of satellite images. As a result of the study, a step-by-step methodology and algorithms for solving the problem posed in the research with possible options for further improvement were formed.

**Key words:** *forest, information technologies, artificial intelligence, algorithm*

*For citation:* Vagizov M.R., Vitlev K.A., Sokolov A.G., Popov A.I., Samsonov V.A., Makarov K.A. Application of Wolfram Mathematica for Geoinformation Modeling of Forest Ecosystems. *Geoinformatika*. 2023;(2):49–56. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-2-49-56>. In Russ.

## Введение

Лесохозяйственная деятельность является одним из видов экономической деятельности в России. Охрана и защита лесов имеют приоритет в лесном хозяйстве. За последние 30 лет в мире было утрачено порядка 420 млн гектар лесов, что негативно сказывается на лесных экосистемах и биосфере Земли в целом, несмотря на то, что темпы объёмов рубок снижаются, скорость роста насаждений во много раз уступает лесопользованию (рис. 1). Постоянное отслеживание территории определенных лесных участков помогает прогнозировать их изменения в динамике. Длительное наблюдение за большой лесной территорией не рентабельно и физически невозможно в силу определенных особенностей самого лесного сектора. Получение высококачественных фотоматериалов с беспилотных летательных аппаратов так же требует как приобретения необходимого оборудования, так и длительного процесса обучения его использованию. Полученный таким образом массив геопространственных данных требует решения целого цикла взаимосвязанных задач по его дальнейшей обработке. Для контроля состояния определенных участков лесов необходимы их геоинформационные модели, которые позволяют управлять лесными землями наиболее эффективно [1]. Для решения данной проблемы была разработана методика и ряд программных алгоритмов на базе программного обеспечения Wolfram Mathematica, которое позволяет сформировать 3D-модель участка леса на базе открытых дистанционных материалов с web-картографических сервисов [2, с. 200–250, 3, с. 326–343].

## Постановка задачи

В рамках исследования была использована Wolfram Mathematica — проприетарная система

компьютерной алгебры, широко используемая для научных, инженерных, математических расчётов. Она не только оснащена аналитическими возможностями, но и обеспечивает численные расчёты; результаты выводятся как в алфавитно-цифровом виде, так и в форме графиков. Система включает в себя методы, основанные на машинном обучении и искусственном интеллекте [4, с. 107–119]. Методика работы состоит из двух технологических этапов работ, каждый из которых делится на несколько последовательных подэтапов достижения поставленной задачи — построения геоинформационной модели лесной экосистемы.

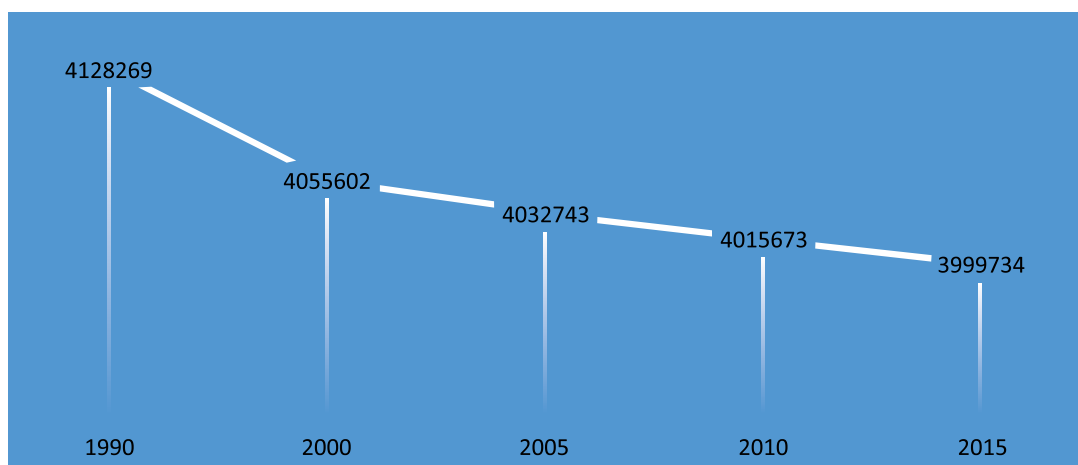
## Первый этап — бинаризация изображения

Первый подэтап — бинаризация изображения. Основная задача данного этапа — разбить снимок со спутника на отдельно расположенные деревья. Для этого мы использовали функцию `mapCreation` (рис. 2), которая производит бинаризацию нашего изображения, т.е. переводит цветное изображение в двухцветное черно-белое (рис. 2В, С). Главная цель бинаризации — сокращение излишней информации, устранение шумов на снимке, что значительно упрощает дальнейшие действия с обработкой изображения и дальнейшее геоинформационное моделирование. Используя функцию «`Manipulate`», мы меняем значение  $i$  — размер цельного компонента (белого пятна). Изменяя его значения, мы удаляем маленькие маски дерева, которые фактически являются «шумом» и представляют насаждения нижних ярусов древостоя.

На втором подэтапе проводится кластеризация деревьев на получившемся бинаризованном изображении, используя функцию «`clusterisingCrowns`», чтобы разбить каждое белое пятно на отдельные изображения деревьев и из-

Рис. 1. Динамика изменения площади лесов в мире, 1990–2015 гг. (тыс. га)

Fig. 1. The dynamics of forest area in the world, 1990–2015 (thousand hectares)



менить их цвет для удобства восприятия (рис. 3В). Данная функция переводит изображение с рисунка 3А в численный массив пикселей, после чего разделяет на непрерывные подмассивы данных, содержащие белый цвет. Получаем карту разноцветных масок, которая используется для дальнейших операций.

Маска — аналог минимальной выпуклой оболочки, которая соответствует силуэту каждого найденного отдельного дерева после кластеризации. По данным масок однозначно определяется то или иное дерево. На рисунке 3А (слева) виден результат. Можно заметить, что некоторые деревья после кластеризации объединились в одно псевдодерево. Это происходит еще на моменте бинаризации; разделить такой массив можно вручную, и на решение поставленной проблемы данный частный случай никак не влияет. Возможное решение — исключение этапа работ связанных с разделением псевдодеревьев. Для этого необходим процесс обучения дефрагментации слипшейся маски с использованием алгоритмов нейросетевого анализа данных.

На третьем подэтапе мы вычисляем центры масок, используя функцию `getCenter`.

Маски разбиваются по трём элементам:

- 1) изображение дерева;
- 2) цвет в RGB;
- 3) расположение центра на карте.

Вычисление центра происходит следующим образом: в рамках одного цвета из изображения строится массив числовых значений (RGB пикселей) второго элемента, который анализируется алгоритмом, производящим поиск следующих позиций: самой верхней и самой нижней по оси  $Y$ , самой левой и самой правой по оси  $X$  (расчет координат берется из левого нижнего угла изображения с координатами  $(0;0)$ ). Далее по формуле определяются координаты центра дерева с координатами  $x$  и  $y$ ,

где координата  $x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ , а координата  $y = \frac{y_1 + y_2}{2}$ .

Результат определения центра крон представлен на рис. 4. Таким образом мы получили точку-фиксатор для будущего размещения трёхмерных моделей лесообразующих пород деревьев.

**Рис. 2.** Этап обработки изображения — Бинаризация изображения

*Fig. 2. Image processing stage — Image binarization*



А — исходный снимок, В — результат бинаризации, С — изменение параметра  $i$ .  
*A — original image, B — binarization result, C — change of  $i$  parameter.*

**Рис. 3.** Кластеризованные деревья

*Fig. 3. Clustered trees*

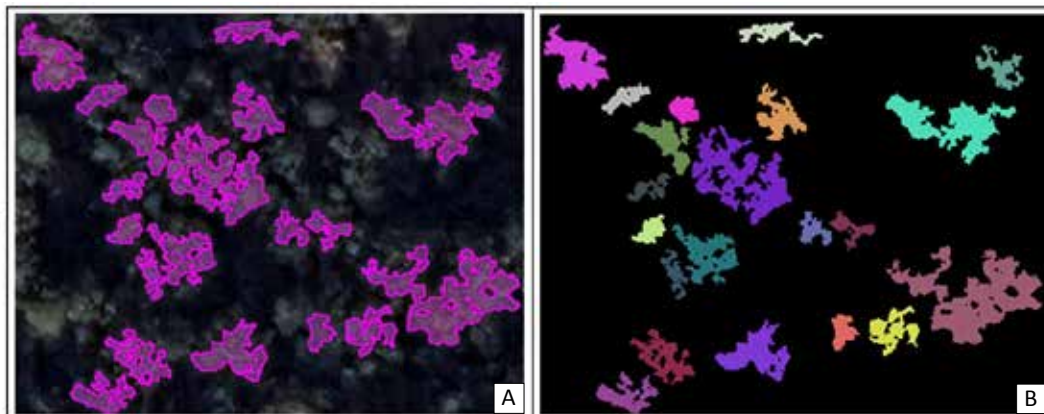


Рис. 4. Кластеризованные деревья

Fig. 4. Clustered trees

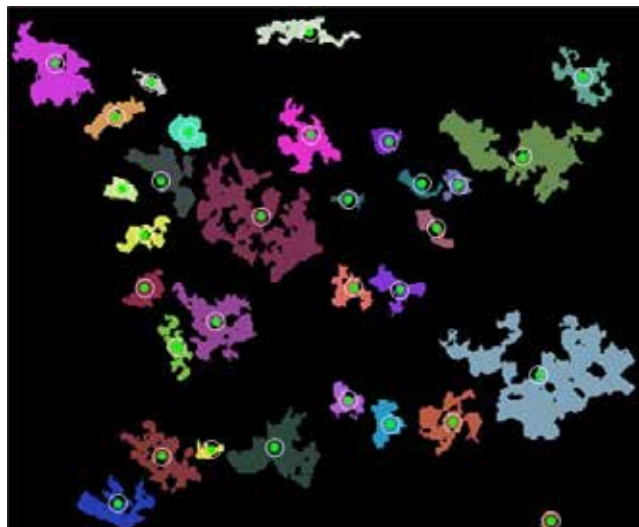


Рис. 5. Кластеризованные деревья

Fig. 5. Clustered trees



### Второй этап моделирования — геопроостранственное проектирование с 3D-моделями

На основе операций, произведённых на первом этапе работ, создаётся геоинформационная 3D-модель участка леса. На обрабатываемом участке карты ставится точка в любой позиции. После этого, выполняются действия по поиску центра кроны среднего расстояния. После получения координат каждого дерева определённого с помощью векторного расстояния, инфимум евклидова расстояния поставленной точки и всех центров определённых крон деревьев, строится 3D-модель дерева в центре моделируемого геопроостранства. Каждое проанализированное дерево входит в список «отработанных» и в дальнейшем не будет влиять на работу алгоритма (рис. 5).

Далее в Wolfram Mathematica загружаются базы готовых трёхмерных моделей елей и сосны обыкновенной [5], подготовленные в ходе предыдущего исследования [6] (рис. 6). Важное примечание, на основе сформированной позиции точки в центре кроны, формируется естественная пространственная позиция дерева, соответствующая расположению в натуре. Это позволит в дальнейшем построить 3D-модели в соответствии с их естественным положением в геопроостранстве. Технологический процесс обработки и анализа изображений состоит в структурированной обработке пикселей при помощи методов компьютерного зрения [7, с. 34-71].

На следующем подэтапе мы создаем карту выбранного лесного квартала моделирования. Нами был определён таксационный выдел в 196 квартале Лисинского учебно-опытного лесничества СПбГЛТУ (рис. 7).

На данном рисунке видно, что изначальный размер модели не соответствует натуральному

масштабу дерева с рис. 7. Поэтому необходимо ввести масштабирующий параметр для нормализации. После нахождения ближайшей к поставленной точке кроны происходит анализ маски на предмет определения масштаба для построения данного дерева. Можно заметить, что маски обладают разной формой и размерами. Необходимо классифицировать маски для определения вида дерева для дальнейшего 3D-моделирования. Для классификации масок можно использовать систему, описанную в документации программы Wolfram [8].

Алгоритм классификации:

- 1) Находятся минимальная и максимальная маски (критерий отбора — длина и ширина оболочки).
- 2) Находится квантиль процента, кратного 25 (процент подбирается эмпирически в зависимости от исходных данных).
- 3) Маски, размерность которых меньше найденного квантиля, соотносим с деревом «ель».
- 4) Рассмотрим оставшиеся маски.

Вычислим соотношение сторон масок:

- i) Если с некоторой погрешностью  $h$  (при  $h \geq 0$ ) соотношения равны, то соотносим данную маску с деревом «сосна».
- ii) Иначе «ель».

3D-модель леса строится из двух моделей деревьев: модель 1 — «сосна», модель 2 — «ель». В зависимости от размера маски и соотношения ее размерности модель масштабируется по осям  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ .

Для этого вводится вспомогательный параметр  $scaddi$ , который является коэффициентом



Рис. 6. Исходные 3D-модели  
Fig. 6. Initial 3D-models

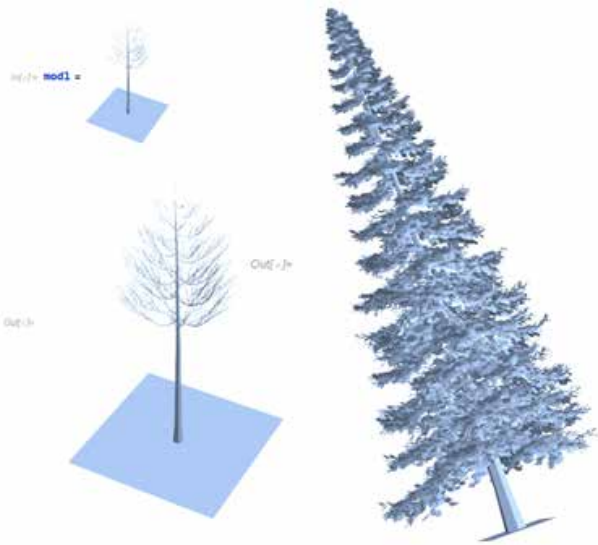
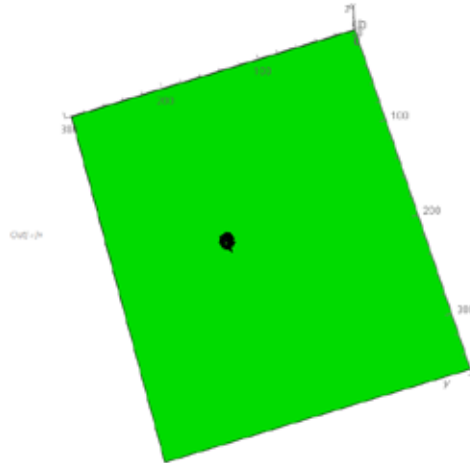


Рис. 7. Участок 3D-моделирования  
Fig. 7. 3D-modeling section

```

In[ ]:= Show[
Graphics3D[Scale[mod1, {10, 10, 15}, {-20, -20, 2/15}]],
Graphics3D[{{Green, Cuboid[{0, 0, -1}, {294, 354, 0}]}]],
Axes -> True,
AxesLabel -> {x, y, z},
AxesOrigin -> {0, 0, 0},
Boxed -> False
]

```



масштабирования и смещения 3D-модели дерева на плоскости, на основе двух параметров (рис. 8):  
 sccadd1 — значение ссс для различных выбранных масок;  
 cts — координаты центра выбранных масок.

В ходе расчетов в диалоговом окне, программы выводятся результаты (рис. 9).  
 5. После получения результатов выводим сформированную геоинформационную модель таксационного выдела (рис. 10).

Рис. 8. Подсчеты масштаба и смещения модели относительно координаты центра дерева  
Fig. 8. Calculations of the scale and displacement of the model in reference to the tree center coordinate

```

In[ ]:= cts1 = {177, 296}
sccadd1 = dims / Reverse[cts1] // N
cts2 = {525, 53} / 2
sccadd2 = dims / Reverse[cts2] // N
cts3 = {445, 169} / 2
sccadd3 = dims / Reverse[cts3] // N
cts4 = {177, 283} / 2
sccadd4 = dims / Reverse[cts4] // N
cts5 = {48, 149}
sccadd5 = dims / Reverse[cts5] // N
dims = {354, 294}
scc = 4

```

Рис. 9. Результат подсчетов  
Fig. 9. Calculation result

```

Out[ ]:= {177, 296}
Out[ ]:= {1.19595, 3.32203}
Out[ ]:= {525, 53} / 2
Out[ ]:= {13.3585, 1.12}
Out[ ]:= {445, 169} / 2
Out[ ]:= {2.09467, 1.32135}
Out[ ]:= {177, 283} / 2
Out[ ]:= {2.50177, 1.66102}
Out[ ]:= {48, 149}
Out[ ]:= {2.37584, 6.125}
Out[ ]:= {354, 294}
Out[ ]:= 4

```

Рис. 10. Сформированная 3D-модель

Fig. 10. . The resulting 3D model



А — вид сверху, В — вид в проекции.

A — top view, B — view in projection.

### Заключение

Сформированная в ходе работы методика может рассматриваться как перспективное направление в развитии геоинформационных технологий. Удобство данной методики построения геоинформационной модели также состоит и том, что для комплексного процесса геоинформационного моделирования используется одна программная среда. С его помощью заинтересованные участники лесохозяйственной деятельности смогут в кратчайшие сроки обрабатывать полученные геопространственные данные земель лесного фонда для их дальнейшего детального анализа и изучения. Данная геоинформационная модель по предложенной классификации моделей лесных экосистем относится к типу макро-моделей. В контексте общего развития автоматизации процессов управле-

ния техническими системами [9] данная методика, может быть автоматизирована средствами специальных алгоритмов машинного обучения и применения искусственных нейронных сетей.

Возможное использование геоинформационных моделей, главным элементом моделирования в которых являются 3D деревья, — построение моделей насаждений для промышленных территорий. Также возможно использование предлагаемых моделей при формировании проектов по рекультивации полигонов, как дополнительная визуальная составляющая [10]. Визуальная составляющая геоинформационной модели с дополненными в будущем таксационными данными лесного участка является наиболее удобной формой представления геоинформации для восприятия лицом, принимающим решение.

### Список источников

1. Вагизов М.Р., Гаврилюк А.А. Управление лесными землями на основе геоинформационных моделей лесных экосистем // Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн. тр. / отв. ред. М.Р. Вагизов. — Вып. 14 — СПб : СПбГЛТУ, 2022. — С. 94–100.
2. Alva J.V. Beginning Mathematica and Wolfram for Data Science. — Berkeley : Apress, 2021. — 416 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-6594-9.
3. Wolfram S. Metamathematics: Foundations & Physicalization. — Champaign : Wolfram Media, 2022. — 456 p.
4. Bernard E. Introduction to Machine Learning. — Champaign : Wolfram Media, 2021. — 424 p.
5. Вагизов М.Р., Шишкин М.М., Истомин Е.П., Новикова М.А., Бойцов А.К. Разработка базы данных трёхмерных моделей лиственных лесообразующих пород Берёзы и Осины для геоинформационной модели лесной экосистемы // Геоинформатика. — 2022. — № 3. — С. 39–46. — DOI: 10.47148/1609-364X-2022-3-39-46.
6. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2022262198 Российская Федерация. Трёхмерные модели хвойных пород деревьев Лисинского учебно-опытного лесничества; заявл. 19.05.2022 ; опубл. 25.05.2022 / М.Р. Вагизов, А.Р. Сулимова; правообладатель СПбГЛТУ. — 1 с.
7. Селянкин В.В., Скороход С.В. Анализ и обработка изображений в задачах компьютерного зрения. — Таганрог : Южный федеральный университет, 2015. — 82 с.

8. *Wolfram Language & System Documentation Center* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://reference.wolfram.com/language> (дата обращения: 10.02.2023 г.).
9. *Горобченко С.Л., Ковалев Д.А.* Развитие АСУ ТП на основе законов развития технических систем // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2022. – № 1. – С. 135–144. DOI: 10.46418/2079-8199\_2022\_1\_21.
10. *Малюхин Д.М., Поздняков В.А., Бакина Л.Г., Нагиев Т.Б., Поздняков А.В., Лоскутов С.И., Пухальский Я.В.* Экспериментальное задержание многолетними травами грунта техногенного из твердых бытовых/коммунальных отходов, используемого при рекультивации полигонов в качестве плодородного грунта // Биосфера. – 2018. – Т. 10. – № 3. – С. 224–232. DOI: 10.24855/biosfera.v10i3.451.

#### References

1. *Vagizov M.R., Gavriyuk A.A.* Upravlenie lesnymi zemlyami na osnove geoinformatsionnykh modelei lesnykh ehkosisistem [Forest land management based on geoinformation models of forest ecosystems]. In: *Informatsionnye sistemy i tekhnologii: teoriya i praktika: sb. nauchn. tr.* M.R. Vagizov, ed. Iss. 14. St. Petersburg: SPBGLTU; 2022. pp. 94–100.
2. *Alva J.V.* Beginning Mathematica and Wolfram for Data Science. Berkeley : Apress; 2021. 416 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-6594-9.
3. *Wolfram S.* Metamathematics: Foundations & Physicalization. Champaign: Wolfram Media; 2022. 456 p.
4. *Bernard E.* Introduction to Machine Learning. Champaign: Wolfram Media; 2021. 424 p.
5. *Vagizov M.R., Shishkin M.M., Istomin E.P., Novikova M.A., Boytsov A.K.* Development of a database of three-dimensional models of deciduous forest species of birch and aspen for a geoinformation model of the forest ecosystem. *Geoinformatika*. 2022;(3):39-46. DOI: 10.47148/1609-364X-2022-3-39-46.
6. *Vagizov M.R., Sulimova A.R.* Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh 2022262198 Rossiiskaya Federatsiya. Trekhmernye modeli khvoynykh porod derev'ev Lisinskogo uchebno-opytного lesnichestva [Database registration certificate 2022262198. Three-dimensional models of coniferous trees of the Lisinsky training and experimental forestry]; date of filing 19.05.2022 ; date of publication 25.05.2022. Rightholder SPBGLTU. 1 p.
7. *Selyankin V.V., Skorokhod S.V.* Analysis and image processing in computer vision. Taganrog: Yuzhnyi federal'nyi universitet; 2015. 82 p.
8. *Wolfram Language & System Documentation Center.* Available at: <https://reference.wolfram.com/language> (accessed 10.02.2023).
9. *Gorobchenko S.L., Kovalev D.A.* Development of automated process control systems based on the laws of development of technical systems. *Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical sciences*. 2022;(1):135–144. DOI: 10.46418/2079-8199\_2022\_1\_21.
10. *Maliukhin D.M., Pozdnyakov V.A., Bakina L.G., Nagiyev T.B., Pozdnyakov A.V., Loskutov S.I., Pukhalskiy Ya.V.* Using perennial grasses in experimental turfing of municipal solid waste-derived artificial soil for landfills reclamation. *Biosfera*. 2018;10(3):224–232. DOI: 10.24855/biosfera.v10i3.451.

Статья поступила в редакцию 16.11.2022, одобрена после рецензирования 20.03.2023, принята к публикации 10.04.2023.  
The article was submitted 16.11.2022; approved after reviewing 20.03.2023; accepted for publication 10.04.2023.

#### Информация об авторах

##### Вагизов Марсель Равильевич

Кандидат технических наук  
Доцент, заведующий кафедрой информационных систем и технологий

Институт леса и природопользования  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»  
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5  
e-mail: bars-tatarin@yandex.ru

##### Витлев Кирилл Александрович

Студент кафедры информационных систем и технологий  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»  
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5  
e-mail: mr.vitlev@mail.ru

##### Соколов Александр Геннадьевич

Студент кафедры информационных систем и технологий  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»  
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5  
e-mail: sasha.sobaca@yandex.ru

#### Information about authors

##### Marsel R. Vagizov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Head of the Department of Information Systems and Technologies of Institute of Forestry and Nature Management  
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov  
5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia  
e-mail: bars-tatarin@yandex.ru

##### Kirill A. Vitlev

Student of the Department of Information Systems and Technologies  
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov  
5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia  
e-mail: mr.vitlev@mail.ru

##### Alexandr G. Sokolov

Student of the Department of Information Systems and Technologies  
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov  
5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia  
e-mail: sasha.sobaca@yandex.ru

**Попов Андрей Ильич**

Студент кафедры информационных систем и технологий  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова»  
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5  
e-mail: ublu.lug@yandex.ru

**Самсонов Вячеслав Антонович**

Студент кафедры информационных систем и технологий  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова»  
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5  
e-mail: samsonov.vsam@gmail.com

**Макаров Кирилл Антонович**

Студент кафедры информационных систем и технологий  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С.М. Кирова»  
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5  
e-mail: makarov0024@gmail.com

**Andrey I. Popov**

Student of the Department of Information Systems  
and Technologies  
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov  
5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia  
e-mail: ublu.lug@yandex.ru

**Vyacheslav A. Samsonov**

Student of the Department of Information Systems  
and Technologies  
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov  
5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia  
e-mail: samsonov.vsam@gmail.com

**Kirill A. Makarov**

Student of the Department of Information Systems  
and Technologies  
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov  
5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia  
e-mail: makarov0024@gmail.com