

Геоинформатика. 2022. № 1. С. 40–46.  
*Geoinformatika*. 2022;(1):40–46.

### Моделирование геобъектов и геопроцессов

Научная статья  
 УДК 004.94

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-1-40-46>

## Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 2)

© 2022 г. — Марсель Равильевич Вагизов<sup>1, а)</sup>, Евгений Петрович Истомин<sup>2, б)</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>а)</sup>bars-tatarin@yandex.ru, <sup>б)</sup>biom@bk.ru

**Аннотация:** Во второй части статьи рассматриваются основные типы представления разных геоинформационных моделей лесной экосистемы, возможности использования конкретного типа моделей в зависимости от задач для лица принимающего решение. Рассматриваются некоторые цели геоинформационного моделирования лесов. В данной части статьи описывается как процессы геоинформационного моделирования, так и сформированные три типа представления лесной экосистемы. Описаны основные инструменты процесса геоинформационного моделирования лесных экосистем и возможности применения моделей на разном уровне их представления.

**Ключевые слова:** *геопространственное моделирование, технологии геомоделирования, моделирование геопроцессов, геопространственное проектирование.*

Для цитирования: Вагизов М.Р., Истомин Е.П. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 2) // Геоинформатика. — 2022. — № 1. — С. 40–46. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-1-40-46>.

### Modeling of geological objects and geoprocesses

Original article

## Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 2)

© 2022 — Marsel R. Vagizov<sup>1, а)</sup>, Eugeny P. Istomin<sup>2, б)</sup>

<sup>1</sup>Institute of Forestry and Nature Management, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov Russia;

<sup>2</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

<sup>а)</sup>bars-tatarin@yandex.ru, <sup>б)</sup>biom@bk.ru

**Abstract:** In the second part of the article the basic types of representation of different geoinformation models of forest ecosystem, possibilities of use of concrete type of models depending on tasks for the decision maker are considered. Some goals of forest geoinformation modeling are considered. This part of the article describes both the geographic information modeling process and the three types of forest ecosystem representation formed. The main tools of the process of geoinformation modeling of forest ecosystems are described and the possibilities of applying models at different levels of their representation.

**Key words:** *geospatial modeling, geomodeling technologies, geoprocess modeling, geospatial design.*

For citation: Vagizov M.R., Istomin E.P. Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 2). *Geoinformatika*. 2022;(1):40–46. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-1-40-46>. In Russ.

Геопространственное представление данных лесного фонда является остро необходимым для научно-технического развития лесной отрасли. Представление информации о лесном фонде для специалистов лесного хозяйства для его комплексного восприятия, а также отображения характеристик всего породного состава по выбранному лесничеству или интересующему участку леса позволит повысить качество управления лесными ресурсами, оценить ресурс управления.

В предыдущей работе [2] автором были сформулированы признаки, характеризующие процесс геоинформационного моделирования. Следующая задача — это формирование цикла взаимосвязанных

работ, которые в совокупности будут представлять собой технологию геоинформационного моделирования лесной экосистемы.

Технология геоинформационного моделирования лесной экосистемы состоит из совокупности методик, инструментов геоинформационного обеспечения территорий, набора полученных геоданных, технологического и программного обеспечения, позволяющих проводить процесс моделирования согласно разработанному методу моделирования.

Процесс геоинформационного моделирования лесной экосистемы можно охарактеризовать как процесс создания компьютерной модели леса — определённой географической территории, по-

крытой древесной растительностью, — с целью управления ею для лица, принимающего решения. Технологию геоинформационного моделирования можно будет применять на лесных нарушенных землях. Лесовосстановление на землях лесного фонда сегодня происходит не вполне удовлетворительно [4], поскольку лесовосстановительные работы при должном уходе за лесными культурами являются убыточными. Геоинформационные модели позволяют оценить ресурс и динамику лесовосстановления с помощью цифрового двойника, реализованного как геоинформационная модель леса для лица, принимающего решения.

Определение типов геопространственных данных для процесса моделирования — основополагающие этап любого процесса. От того, какими данными обладает оператор в процессе создания модели, зависит формирование комплексного представления рассматриваемой системы. В качестве геопривязки местности при разработке модели можно качественно использовать два типа данных: это данные дистанционного зондирования Земли и координаты. Координаты позволяют установить точное положение исследуемых объектов в пространстве, а данные дистанционного зондирования позволяют сформировать общие представления о необходимом процессе моделирования.

Процесс геопространственного моделирования лесов можно условно разбить на 5 составляющих:

- процесс моделирования рельефа территории;
- процесс моделирования древесных пород;
- процесс размещения растительности в моделируемой среде;
- процесс моделирования экосистемных компонентов (почвы, климатические факторы, живой напочвенный покров);
- процесс моделирования поведения каждого из компонентов с течением времени.

**Формирование методики создания определенных типов лесов на занимаемой территории**

Инструментальное обеспечение проектирования геоинформационной модели состоит из следующих компонентов:

**Данные.** Для формирования полноценной модели необходимы разнородные данные, позволяющие получить представление об основной структуре, форме, объёме и сложности представления процесса моделирования. Для определения этих параметров лучше всего подходят данные дистанционного зондирования Земли, полученные разными способами.

**Лесотаксационная информация** — информация, полученная при проведении таксации лесов и лесоустроительных работ. Здесь данными могут выступать таксационные материалы, полученные при полевых испытаниях на текущий момент времени,

и материалы ранее проведённой таксации лесов. Именно данные материалы позволят провести интеграцию данных в состав модели, наполнив таким образом не только визуальную составляющую, но и атрибутивную информацию.

**Трёхмерные модели объектов.** 3D модели объектов растительного мира являются наиболее важным объектом для отображения в геоинформационной модели, поскольку данные модели формируют представление о системообразующем элементе — лесе. Можно отметить, что на сегодняшний день существуют разработанные 3D модели древесных объектов, и в целом их использование может сократить время последующего проектирования. Однако, для адаптации моделей под конкретную территорию и для установления характеристик, наиболее приближенных к реальным свойствам, необходима разработка таких 3D моделей, которые содержат в себе свойства, отражающие фактические характеристики дерева на его определённой жизненной стадии. Поскольку они подтверждают соответствие между его модельным представлением и отображением морфометрических свойств. Представим на схеме (рис. 1) связь основных характеристик трёхмерного дерева с проектируемыми морфологическими и текстурными элементами.

**Инструментальное обеспечение проектирования геоинформационной модели.** Основными инструментами проектирования процесса моделирования являются аппаратно-программные компоненты. К аппаратным компонентам следует отнести инструменты, позволяющие получить данные о среде моделирования, и непосредственно компьютер, который является хранилищем проекта моделирования. К программным компонентам стоит отнести ряд программ, позволяющих осуществить весь цикл работ. Стоит отметить, что в перспективе возможна разработка единого геоинформационного центра управления лесным хозяйством (ЕГИЦ), в котором будет сочетаться инструменты для моделирования лесной экосистемы и инструменты анализа и мониторинга лесов на базе разработанных моделей. На данный момент для решения конкретного типа задач возможно последовательное использование специализированного программного обеспечения.

На предварительном этапе подготовки и обработки данных дистанционного зондирования Земли могут использоваться следующие комбинации программных продуктов:

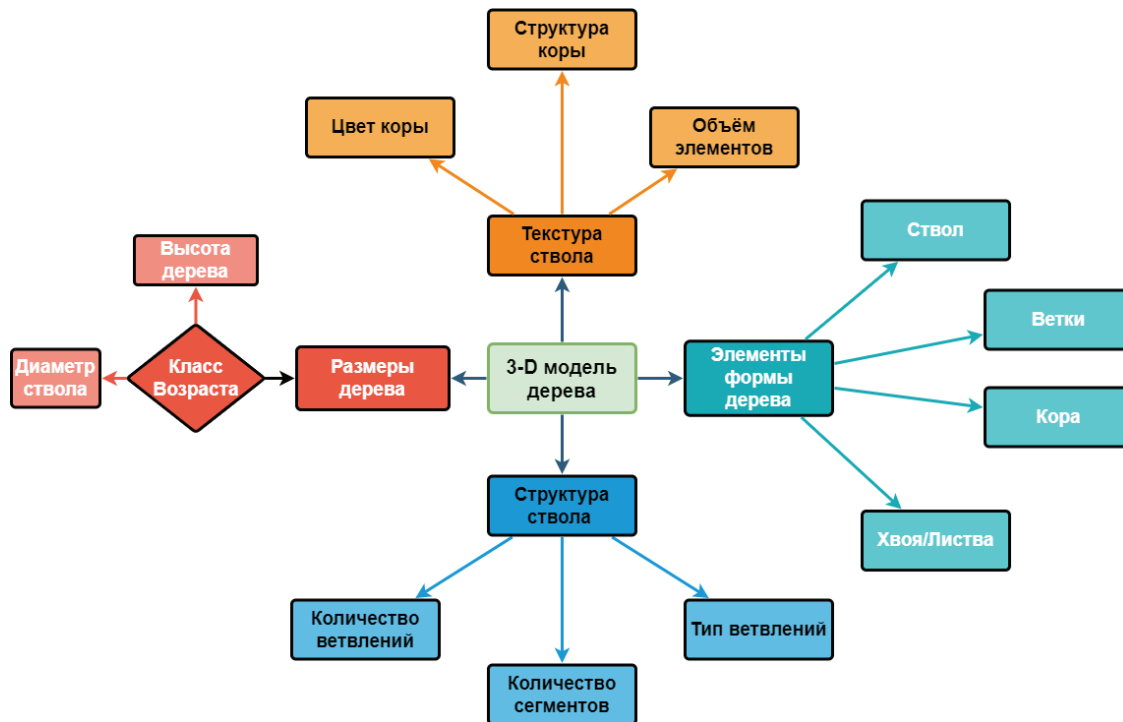
1) Графические редакторы (Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, Corel DRAW, InkScape, Krita).

На этапе моделирования отдельных экосистемных компонентов включая моделирование растительности могут использоваться:

2) Программы для работы с трёхмерной графикой (Blender, Autodesk 3D Max, Cinema 4D Studio).

Рис. 1. Основные элементы при проектировании 3D дерева

Fig. 1. Basic elements when designing a 3D tree



3) Программы для проектирования трёхмерных сцен, основанные на игровых движках (Unity 3D, Unreal Engine 3, Unreal Engine 4 и др.).

На этапе геоинформационного моделирования крупной территории могут использоваться как программные инструменты предыдущего этапа, так и графические движки от игровых производителей. Данные инструменты были протестированы для задачи геоинформационного моделирования лесной экосистемы [1, 3], где зарекомендовали себя как вполне способные обеспечить данный процесс. Их использование может быть целесообразно и потому, что в них содержится обширное количество дизайн-элементов для проработки отдельных сцен как на макро-, так и на микроуровне представления растительного сообщества. Вторая особенность их использования — это упрощённая процедура самого процесса проектирования территории, упрощённый интерфейс, инструменты моделирования физических характеристик пространства.

**Уровни представления геоинформационной модели леса**

Для каждого типа отображения пространственных данных существует необходимый масштаб отображения информации на приемлемом уровне для возможности принятия решений. Масштаб отображения определяется, исходя из целей и задач объекта проектирования. Рассмотрим некоторые цели

геоинформационного моделирования лесной экосистемы:

- 1) Анализ общих сведений о конкретном участке леса.
- 2) Анализ таксационных характеристик леса.
- 3) Моделирование антропогенных факторов.
- 4) Моделирование природных факторов.
- 5) Оценка лесовосстановительной динамики.
- 6) Оценка лесопользования.
- 7) Симуляция научных экспериментов.

**Первый уровень представления модели — дистанционная модель лесной экосистемы.** Данный уровень представления лесной экосистемы описывает общие показатели леса, для него не характерна точная детализация отдельных элементов на уровне каждого дерева, а важно укрупнённое отображение леса с элементами рельефа, общее представление лесной экосистемы на занимаемой территории. Такой уровень представления системы удобен при анализе лесов по ландшафтно-экологическим границам. Данный уровень представления системы удобен для анализа и визуализации масштабных стихийных бедствий, (лесных пожаров) моделирования распространения вредных веществ, пожаров и распространения вспышек энтомовердителей.



Пример отображения лесной экосистемы на первом уровне представления системы в виде дистанционной модели представлен на рис. 2.

На данном уровне представления модели лесной экосистемы отображение лесообразующих пород может быть условным, без проработки морфологических особенностей. Особое значение имеет отображение рельефа и пространственное размещение лесов, их взаимосвязь друг с другом. Дистанционная модель удобна тем, что позволяет изменить угол наклона модели, просматривать экспозицию сцены в разных плоскостях. Это позволяет проводить визуальную оценку не только распределение древесной растительности по занимаемой площади, но и цифровой основы рельефа. В перспективе возможно, попеременное отображение ландшафтов и почвенных слоёв.

**Второй уровень представления модели — макромодель лесной экосистемы.** На данном уровне представления лесной экосистемы, подразумевается большая степень детализации на уровне отдельно взятого участка леса, здесь представление системы носит локальный характер. Возможно отображение однородного по составу насаждения, таксационного выдела, территориально обособленной границы, отдельного элемента леса размером менее одного лесного квартала.

На данном уровне представления лесной экосистемы и проектируемых 3D моделей имеется качественное разделение на основные лесообразующие породы (рис. 3), возможно проектирование второго яруса насаждений, морфологических особенностей

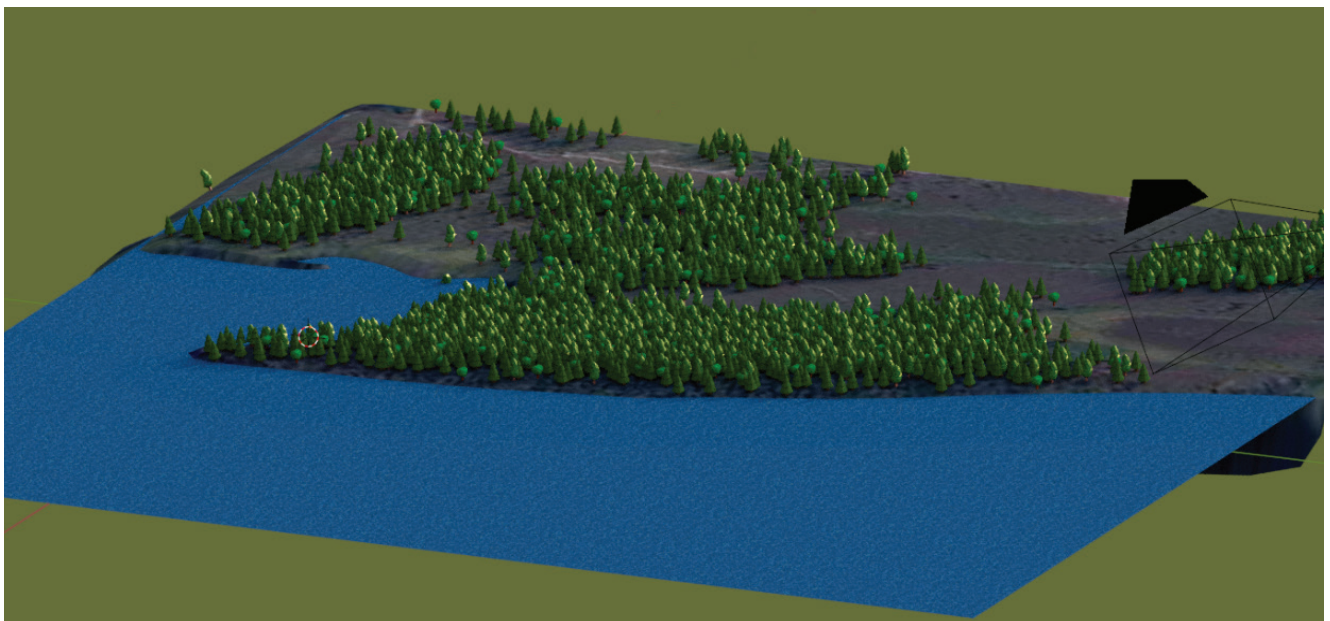
пород деревьев. В зависимости от состава, возраста, структуры и густоты древостоя формируется модель в детальном её представлении.

Данное отображение реализуется в интересах лица, принимающего решение. Такой способ представления лесной экосистемы позволяет сделать более удобным управление лесными ресурсами, анализ лесовосстановительных процессов, выявление и фиксацию произошедших изменений. Визуально возможным становится проектирование будущего леса, что открывает возможности геопрограммирования лесов. В число наиболее распространённых задач, встающих перед лесопользователями, входит нахождение такого способа пользования лесными ресурсами, при котором соблюдается рациональное потребление лесных ресурсов. Геоинформационное моделирование лесной экосистемы на уровне представления макромодели позволяет нам спроектировать лес после его вырубки или после стихийных бедствий. Зная динамику лесовосстановительных процессов, процессы формирования древостоев на разных жизненных стадиях, возможно, моделировать данные события методом интеграции данных в состав модели и прогнозировать развитие лесной экосистемы с течением времени.

**Третий уровень представления модели — микромодель лесной экосистемы.** Это наиболее сложный вариант отображения леса на уровне минимально возможного приближения. Условное представление модели сводится к отображению выбранного участка леса площадью от 10 до 20 метров

Рис. 2. Геоинформационное моделирование лесного квартала в среде Blender

Fig. 2. Geoinformation modeling of a forest quarter in the Blender environment



с возможностью отображения информации по отдельным выбранным категориям лесных тематических данных. Для данного способа представления микромоделей имеет значение научное описание лесной экосистемы во всех её особенностях, включающее следующие характеристики:

- геоботанические характеристики и их моделирование;
- лесопатологические характеристики и моделирование;
- структурные и морфологические особенности отдельных деревьев;
- почвенные характеристики;
- микологические характеристики.

Технология отображения микромоделей участка леса включает не только геопространственное моделирование как основных пород, так и пород второго и третьего яруса насаждений — также необходимо проектирование живого напочвенного покрова и процессов, взаимовлияющих на изменение и сменяемость растительности в зависимости от внешних факторов. Данные модели наиболее удобны для анализа отдельных жизненных процессов растений. Во многих графических редакторах поддерживается возможность просмотра не только внешнего вида объекта, но и его внутренней структуры. Микромоделей лесной экосистемы позволяют:

- отобразить процесс роста отдельного дерева;

- смоделировать питание корневой системы;
- установить причины влияния энтомофагов на определенные породы деревьев;
- отобразить развитие лесопатологических процессов в лесной экосистеме на уровне отдельного дерева.

Потенциал геоинформационного моделирования на уровне представления микромоделей многообразен. Оно позволяет отображать не только объекты, но и информационные потоки в растительном сообществе, включая визуализацию внутренней структуры транспортных потоков веществ в биогеоценозе. Данный уровень представления открывает возможности моделирования физиологических процессов растений, определения повреждений внутри деревьев и визуализации распространения болезней растений с течением времени, а также их фитосанитарного состояния (рис. 4). Для обеспечения процесса моделирования необходимой информацией необходима точная привязка к местности, возможно интегрирование дополнительных данных, данных геостатистики, почвенных характеристик. По мере расширения набора данных такая модель становится наиболее комплексной и ценной. Возможно редактирование каждого из проектируемых факторов — в таком случае каждый из добавляемых слоев становится динамическим.

Динамический слой как составная часть геоинформационного моделирования — это логически

**Рис. 3.** Отображение низкоплотного насаждения в геоинформационной модели с рельефом местности

*Fig. 3. Display of a low-density plantation in a geoinformation model with terrain*

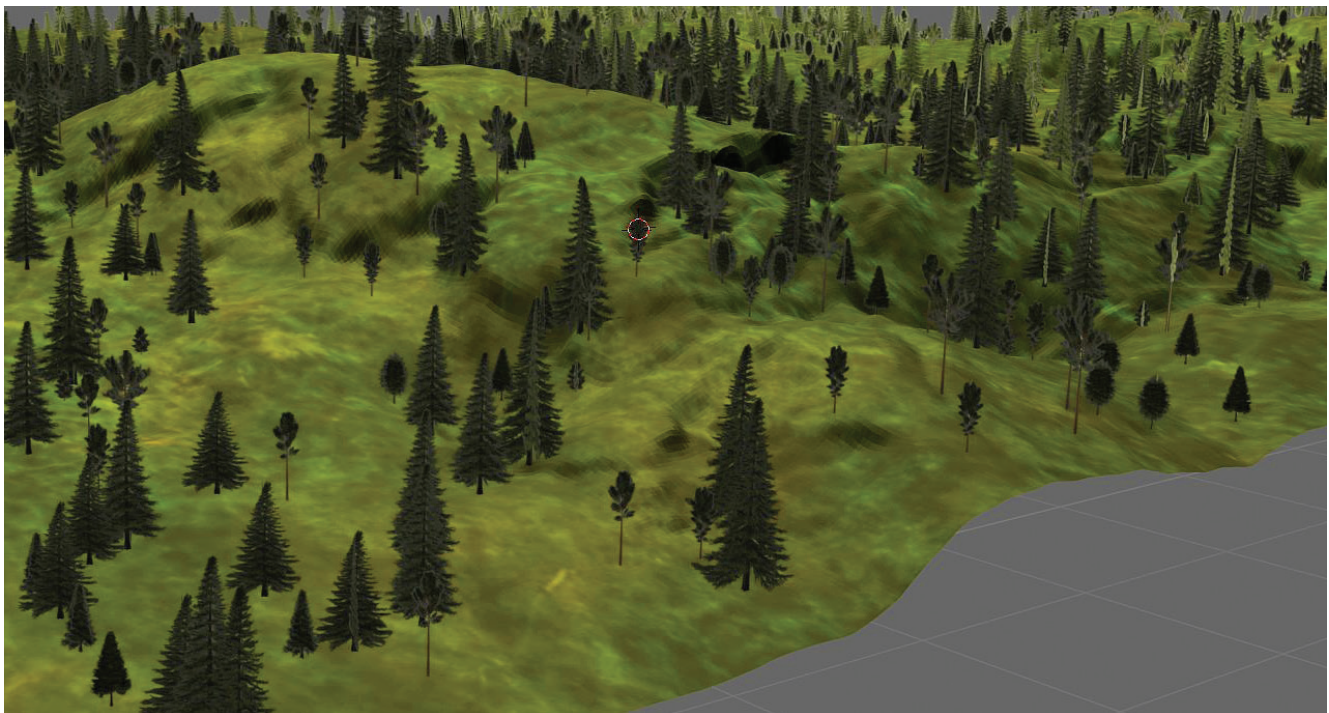
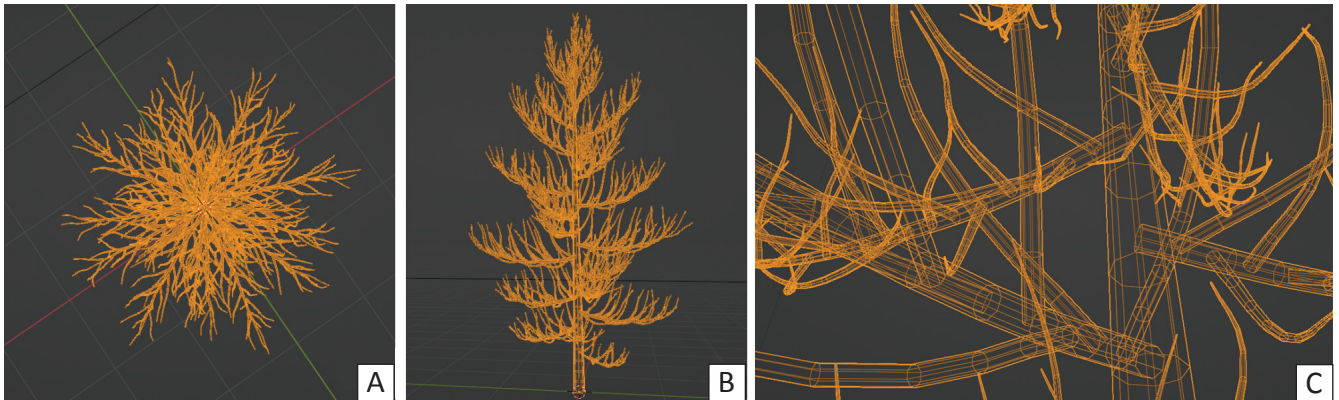




Рис. 4. Трёхмерная модель сосны обыкновенной

Fig. 4. 3D model of Scots pine



A — вид сверху, B — фронтальный вид, C — проекция ствола и ветвей

A — top view, B — frontal view, C — projection of the trunk and branches

отделенный от других массив данных, наложенный поверх слоя в ГИС. Может представлять собой трёхмерный набор данных, в который заложены определенные свойства, характеризующие объект моделирования.

Геоинформационное моделирование лесной экосистемы на уровне микромоделей состоит в описании конкретных свойств и закономерностей с течением времени. Моделирование процессов, происходящих в экосистеме, является наиболее сложным для программной симуляции и визуализации с точки зрения формализации отдельных функций в технических системах, поскольку многие процессы в биологии и лесоведении на сегодняшний день являются малоизученными. Однако процесс описания строится от простого к сложному: сначала формируются базовые слои данных и объекты, затем производится описание, уточнённое моделирование и наполнение атрибутивной информации конкретной выбранной модели, что позволяет обеспе-

чить поддержку принятия решений специалистам разного профиля.

#### Заключение

Технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем — это достаточно новое направление, сочетающее в себе передовые технологии обработки гетерогенных данных, инструменты обработки дистанционного зондирования Земли и инструменты трёхмерного моделирования. С развитием программно-аппаратных средств, становится возможным оперирование всё большими объёмами информации и объектами со сложной структурой. Процесс геоинформационного моделирования включает в себя реализацию нескольких этапов и интеграцию различных типов данных. Процессы комплексирования разнородной информации в технологии геоинформационного моделирования лесной экосистемы будут описаны в заключительной части цикла статей.

#### Список источников

1. Вагизов М.Р. К вопросам применения искусственного интеллекта в лесном хозяйстве // Лесное хозяйство : Материалы докладов 85-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) (Минск, 1–13 февраля 2021 г.). — Минск : БГУ, 2021. — С. 17–19.
2. Вагизов М.Р. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 1) // Геоинформатика. — 2021. — № 4. — С. 43–49. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-4-43-49.
3. Хитрик Л.А., Вагизов М.Р. Разработка методики геоинформационного моделирования лесного квартала // Актуальные вопросы лесного хозяйства: Материалы V международной молодежной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 11–12 ноября 2021 г.) / под ред. В.С. Павлова. — СПб. : СПбГЛТУ, 2021. — С. 191–195.
4. Vagizov M.R., Istomin E.P., Miheev V.L., Potapov A.P., Yagotinceva N.V. Visual digital forest model based on a remote sensing data and forest inventory data // Remote Sensing. — 2021. — Vol. 13. — № 20. — 4092. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13204092>.

### References:

1. Vagizov M.R. K voprosam primeneniya iskusstvennogo intellekta v lesnom hozhajstve [On the use of artificial intelligence in forestry]. In: Lesnoe hozhajstvo: Materialy dokladov 85-j nauchno-tehnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem) (Minsk, 1–13 February 2021). Minsk: BGТУ; 2021. pp. 17–19.
2. Vagizov M.R. Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 1). *Geoinformatika*. 2021;4:43–49. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-4-43-49.
3. Khitrik L.A., Vagizov M.R. Developing a geo-information modelling methodology for a forest quarter. In: Pavlov V.S. (ed.) Aktual'nye voprosy lesnogo hozhajstva: Materialy V mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (St. Petersburg, 11–12 November 2021). St. Petersburg: SPbGLTU; 2021. pp. 191–195.
4. Vagizov M.R., Istomin E.P., Miheev V.L., Potapov A.P., Yagotinceva N.V. Visual digital forest model based on a remote sensing data and forest inventory data. *Remote Sensing*. 2021;13(20):4092. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13204092>.

Статья поступила в редакцию 15.02.2022, одобрена после рецензирования 06.03.2022, принята к публикации 15.03.2022.  
The article was submitted 15.02.2022; approved after reviewing 06.03.2022; accepted for publication 15.03.2022.

### Информация об авторе

#### 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

#### Истомин Евгений Петрович

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой прикладной информатики  
ФГБОУ ВО «Российский государственный  
гидрометеорологический университет»  
192007, Санкт-Петербург, Воронежская улица, д. 79  
e-mail: biom@bk.ru

### Information about author

#### Marsel R. Vagizov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Information Systems  
and Technologies

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

#### Eugeniy P. Istomin

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of Applied Informatics Department of the Russian State  
Hydrometeorological University  
79, Voronezhskaya str., St. Petersburg, 192007, Russia  
e-mail: biom@bk.ru