

Геоинформатика. 2022. № 2. С. 34–41.
Geoinformatika. 2022;(2):34–41.

Моделирование геообъектов и геопроцессов

Научная статья
 УДК 004.94

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-34-41>

Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 3)

© 2022 г. — Марсель Равильевич Вагизов

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова; Россия, Санкт-Петербург
 bars-tatarin@yandex.ru

Аннотация: В третьей части статьи рассматриваются структурные компоненты подсистем геоинформационного моделирования, указана технологическая карта основных компонентов. Рассматриваются некоторые цели геоинформационного моделирования лесов и технологическое обеспечение процесса геоинформационного моделирования лесных экосистем. Описываются системы: отображения, моделирования и система управления на концептуально-логическом уровне как часть инструментального обеспечения работоспособности геоинформационных моделей. Указываются целевые задачи лесного хозяйства в применении геоинформационных моделей лесных экосистем способных повысить качество управления лесами и обеспечить систему поддержки принятия решений при хозяйственных задачах возникающих в лесном хозяйстве.

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

Для цитирования: Вагизов М.Р. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 3) // Геоинформатика. — 2022. — № 2. — С. 34–41. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-34-41>.

Modeling of geological objects and geoprocesses

Original article

Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 3)

© 2022 — Marsel R. Vagizov

Institute of Forestry and Nature Management, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov;
 St. Petersburg, Russia
 bars-tatarin@yandex.ru

Abstract: In the third part of the article the structural components of forest ecosystems geoinformation modeling subsystems are considered, the technological map of the main components is indicated. Some objectives of forest geoinformation modelling and technological support of the forest ecosystems geoinformation modelling process are considered. The systems: mapping, modelling and management system at conceptual and logical level as a part of the instrumental support of geoinformation models' operability are described. The objectives of forestry in the application of geo-referenced models of forest ecosystems that can improve the quality of forest management and provide a decision support system for economic tasks arising in the forestry sector are indicated.

Key words: *geospatial modelling, geomodelling technologies, geoprocess modelling, geospatial design indices, water indices*

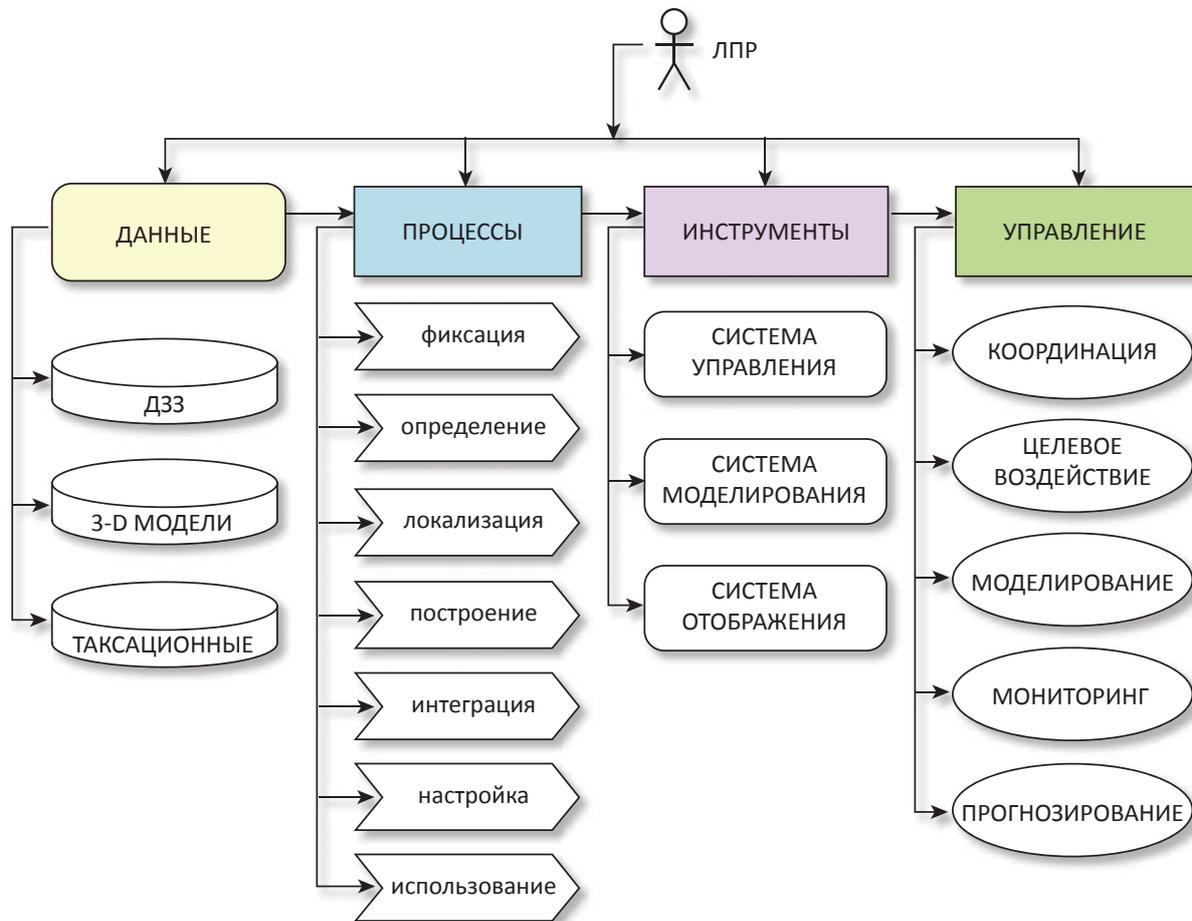
For citation: Vagizov M.R. Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 3). *Geoinformatika*. 2022;(2):34–41. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-2-34-41>. In Russ.

В предыдущих работах автора [2, 5] были обозначены основные компоненты процесса геоинформационного моделирования лесных экосистем. Технология геоинформационного моделирования лесных экосистем представляет собой совокупность методик, технологического и программного обеспечения достижения основной цели — построения полноценной цифровой модели выбранного участка леса, адекватно отражающей естественные процессы жизненного цикла лесной экосистемы.

Геоинформационную модель лесной экосистемы можно считать полноценной, если она удовлетворяет потребностям лица, принимающего решения, и соответствует признакам геоинформационного моделирования.

Определяя в наиболее общем виде цикл взаимосвязанных работ технологии геоинформационного моделирования, важно отметить все элементы, являющиеся составными частями технологии, кото-

Рис. 1. Технологическая карта метода геоинформационного моделирования
 Fig. 1. Technological map of the method of geoinformation modeling



рые можно представить в виде спроектированной технологической карты (рис. 1).

В основе процесса моделирования лежит геоинформационное и технологическое обеспечение. Наиболее полные наборы данных создают базу знаний для их системной интеграции в геоинформационную модель лесной экосистемы на основе участка леса. При этом разделение способа представления модели на три типа обосновано целевым назначением моделей. Метод геоинформационного моделирования можно обозначить как совокупность методик проектирования компонентов в виде отдельных моделей лесной экосистемы, исходя из выбранного уровня представления системы (дистанционная, макро- или микромодель) для лица, принимающего решения. Основные компоненты, обеспечивающие процесс моделирования, — это наборы данных и технологическая карта, позволяющая ориентироваться на поэтапный процесс разработки модели. Геоинформационное управление природно-техническими системами на базе геоинформационных моделей представляет собой особый вид управления, реализующий целенаправленное воздействие на систему с учетом обработки и визуализации пространственно-временных характери-

стик леса для формирования у лица, принимающего решения, наиболее комплексного представления о состоянии исследуемой земли, покрытой лесом. Жизненный цикл древесных растений изучен в достаточной мере для интеграции всех моделируемых процессов в цифровую среду в качестве вспомогательного инструмента управления покрытыми лесом землями [3].

Необходимо отметить, что геоинформационная модель леса — это модель природно-технической системы. В этом случае природно-техническая система, представленная в виде модели, должна обладать такими свойствами и инструментами, при отображении которых у лица, принимающего решения, появляется возможность управления и целевого воздействия на систему. Функционал моделирования позволит обеспечить наглядное представление о характеристиках лесной экосистемы в целях развития лесного хозяйства и повышения эффективности государственной политики в части устойчивого управления лесами.

Технологическое обеспечение процесса геоинформационного моделирования лесных экосистем. В соответствии с целевыми задачами управления

конкретной территории разработчиком модели определяются:

- масштаб и тип модели;
- уровень детализации компонентов;
- задачи отображения элементов лесной экосистемы;
- инструменты для её разработки.

В качестве технологического обеспечения процесса моделирования применяются 3 типа подсистем, состав которых определяется лицом принимающее решение, который проводит настройку геоинформационной модели.

Система управления. В задачи системы управления входит обеспечение взаимосвязанных работ, направленных на анализ сведений о состоянии лесной экосистемы. В основе построения эффективной системы управления на базе анализа информации, поступающей из геоинформационных моделей, лежит принцип определения ключевых задач, на основе которых создается функция, обеспечивающая процесс поддержки принятия решения. Каждый компонент реализуемой функции представляет собой набор опциональных панелей в человеко-машинном интерфейсе системы управления. Реализация такого типа интерфейса, на основе которого возможно и управление, и отображение многомерных геопространственных данных, — это задача развития геоинформационных систем, которые всё

чаще содержат в своей структуре не только стандартизированное отображение данных с их точной позицией, но и отображения предполагаемых изменений на базе сочетания технологий машинного обучения с трёхмерным объектом. Определяя свойства объектов, закладывая в них функции поведения, мы решаем задачу наглядного представления изменения исследуемого объекта с течением времени. При оперировании массивом данных целого участка леса возможно наглядное прогнозирование по интересующему признаку в интересах, лица принимающего решения.

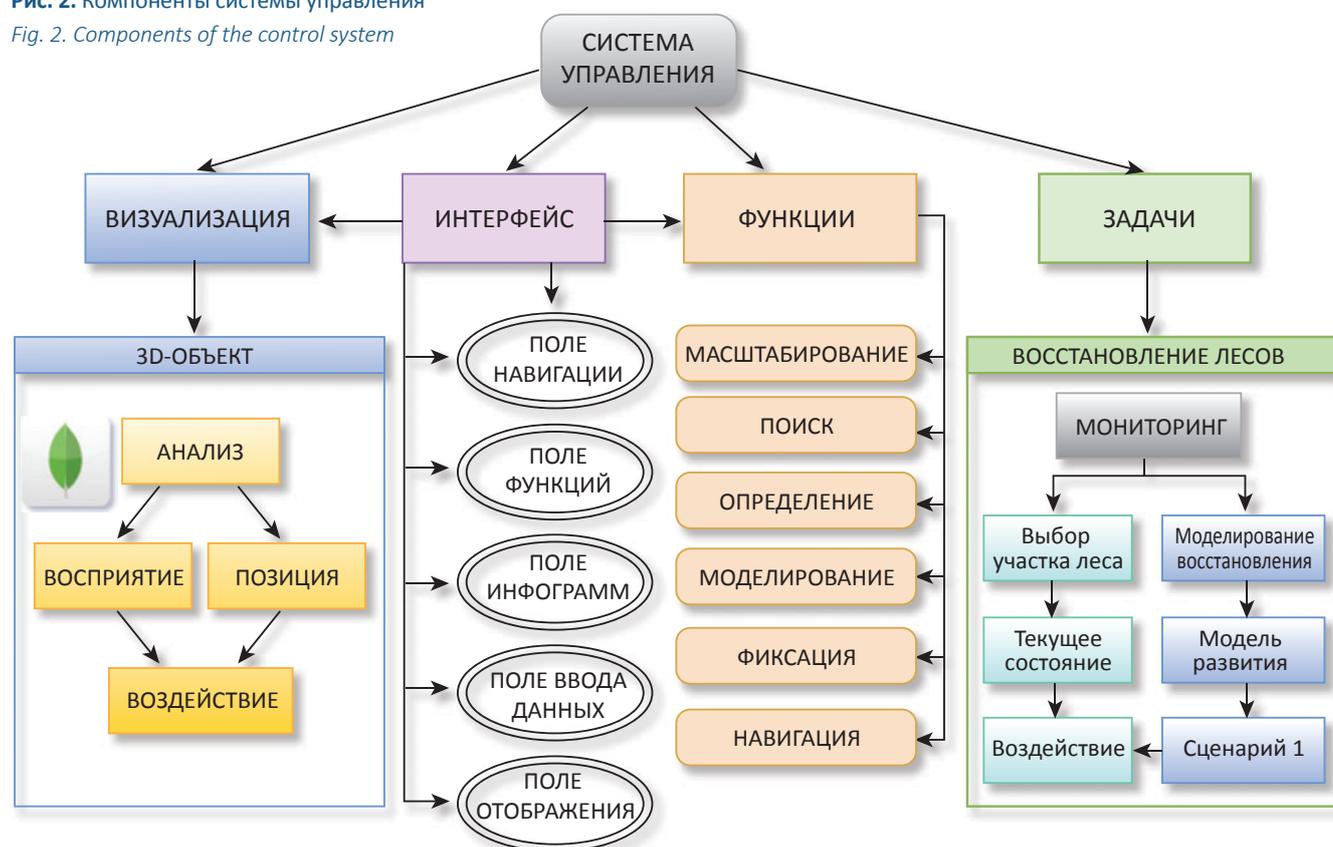
В основе системы управления лежат четыре компонента (рис. 2):

- визуализация данных;
- интерфейс системы управления;
- функции системы управления;
- определение задач системы управления.

Технология визуализации данных, основное назначение которой — это отображение выбранного участка леса с учётом всех имеющихся в системе компонентов. Визуализация такого массива данных в виде 3D-модели требуется, «когда мозгу необходимо преодолеть некий логический барьер и сформировать новое знание, которое не может быть получено даже суперкомпьютером при анализе огромных массивов данных. Благодаря образному мышлению человеческий мозг превосходит современную компьютерную технику» [1].

Рис. 2. Компоненты системы управления

Fig. 2. Components of the control system



менные технологии способностью принимать верное решение, неподдающееся алгоритмизации» [1]. В части управления лесными ресурсами мы можем видеть процесс восстановления леса с учётом указанных факторов той среды, в которой требуется лесовосстановление. Задача восстановления лесных ресурсов после лесопользования прописана в лесоустроительной инструкции, которая обязывает арендаторов лесного фонда следить за динамикой восстановления лесов, однако анализ рубок леса по данным дистанционного зондирования Земли [7, 10] показал что восстановление лесов происходит лишь частично. Большинство исследователей связывает это с большими затратами на проведение лесовосстановительных мероприятий. В таком случае геоинформационные модели лесов вполне способны обеспечить фиксацию, локализацию и экспериментально реконструировать динамику лесовосстановления. Такова задача визуализации в системе управления. Пример участка леса, смоделированного на базе данных дистанционного зондирования Земли, приведён на рис. 3.

На базе предложенного в работе [4] единого геоинформационного центра управления лесами (ЕГИЦ) возможно формирование программного интерфейса, адаптированного под задачи использования и применения геоинформационных моделей лесных экосистем. В части функционала интерфейса основными отличительными особенностями работы с данными должны являться интерактивные поля. Интерактивное поле включает в себя:

- поле функций;
- поле навигации;
- поле инфограмм;
- поле ввода данных;
- поле отображения.

Здесь требуется найти такой способ отображения информации, при котором интерфейс позволит вместить все вышеуказанные поля для работы

Рис. 3. Геоинформационная модель 196 квартала учебно-опытного лесничества

Fig. 3. Geoinformation model of the 196 quarter of the educational and experimental forestry



с моделями. Стоит отметить, что в некоторых случаях функционал работы с интерфейсом ограничен, поскольку основным инструментом визуализации данных является монитор. Для более продуктивного анализа поступающей информации возможно использование VR панорам, требующее отдельного подключения устройства и соответствующего программного обеспечения.

Что касается программных компонентов функций, то в зависимости от конкретного назначения моделей определяется стандартный и специфический набор функций. Стандартный набор включает в себя поиск, навигацию, масштабирование, определение и другие функции, являющиеся базовыми наборами команд. Специфический набор функций может быть разработан индивидуально под конкретную геоинформационную модель. Для мониторинга лесовосстановительных процессов определяется следующий целевой набор функций:

- анализ текущего состояния на базе интеграции данных дистанционного зондирования Земли;
- построение модели роста насаждения с течением времени;
- оценка успешности возобновления лесных культур на основе данных машинного обучения;
- визуализация мест, требующих внесения удобрений или проведения работ по уходу за лесными культурами.

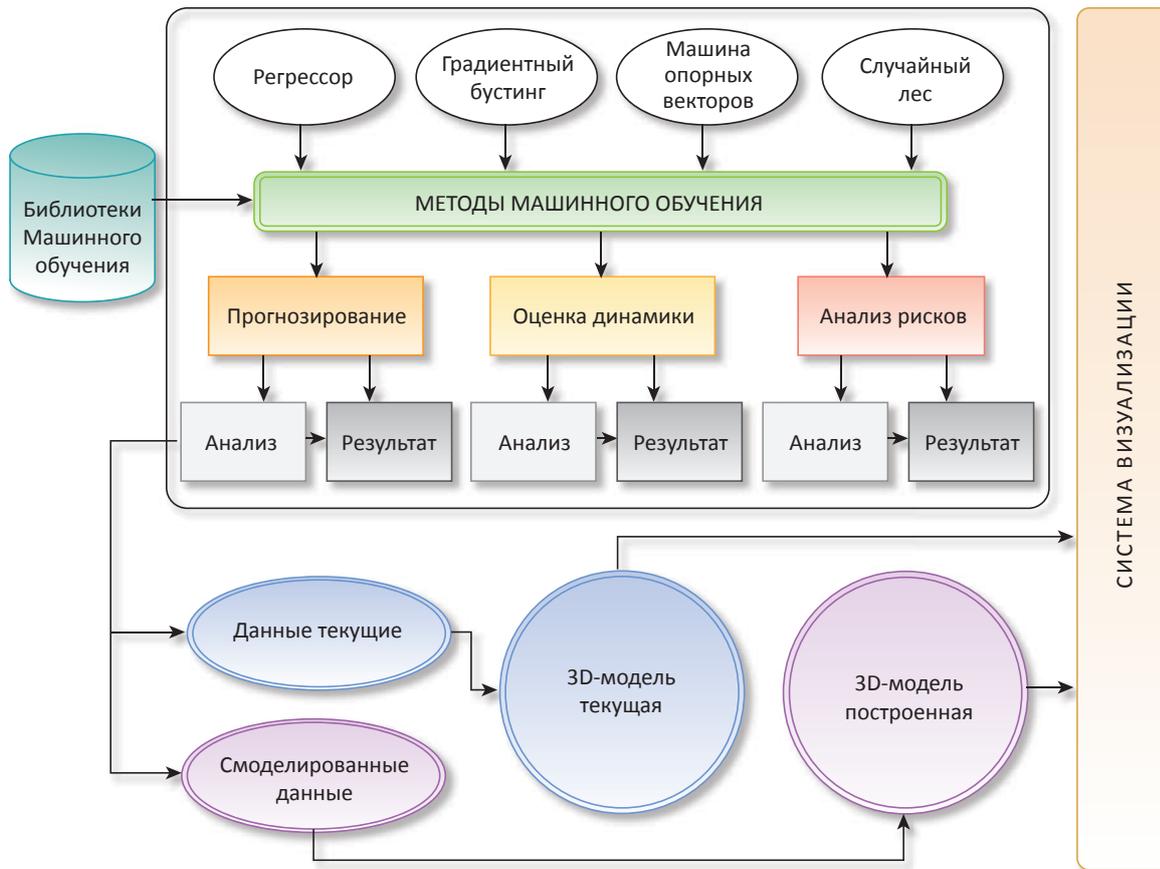
Применительно к другим задачам лесного хозяйства определяется другой набор компонентов.

Система моделирования. В задачи системы моделирования входит процесс построения моделей на базе применения методов обработки поступающей информации. В работе [11] приведены особенности применения машинного обучения к таксационным данным. Одновременное отображение и таксационной, и графической информации вызывает сложности, поскольку структура гетерогенных данных требует логического разделения на легко воспринимаемые человеком формы. Однако возможен такой способ отображения данных о 3D-объекте, при котором при наведении указателя на объект все характеристики выбранного объекта в цифровой среде будут отображаться частично, а при необходимости возможно полное отображение всех данных в расширенном формате. Данные процессы отображения поступающей и моделируемой информации — это задачи развития пользовательских интерфейсов.

Вторым компонентом работы системы моделирования является отображение данных в виде поступающих инфограмм. Так, возможны отображение хода роста насаждений выбранной породы в определенном положении и построение модели планируемого результата на основе таксационных данных, прогнозный анализ по конкретно выбранной породе [12].

Рис. 4. Основные компоненты системы моделирования

Fig. 4. Main components of the modeling system



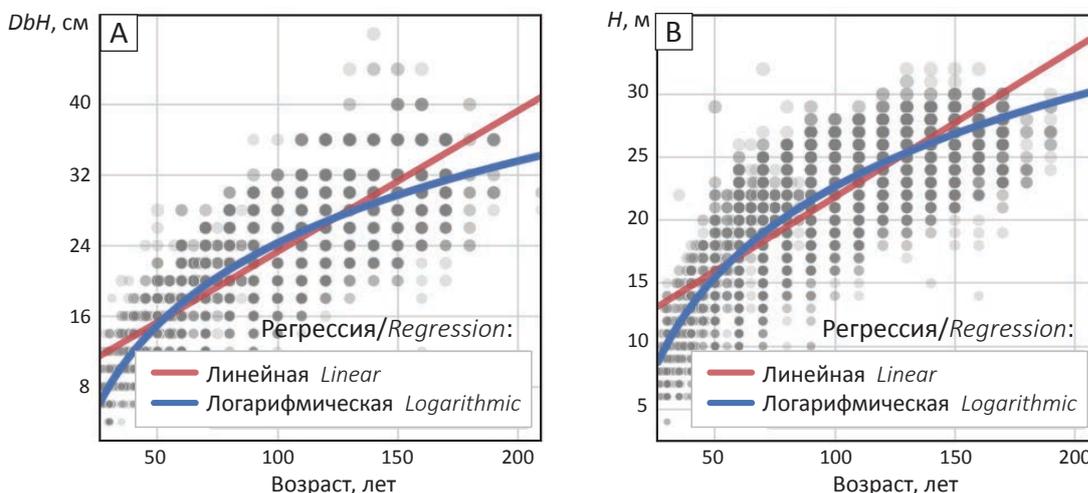
Технологии машинного обучения можно дополнить, интегрируя в состав среды визуализации нейросети: в ручном режиме можно присвоить идентификационный номер (ID) и любые другие показатели (например, таксационные) каждому отдельному дереву как на спутниковом снимке, так и на 3D-модели, поскольку она создается на основе

подложки из спутникового снимка, отражающего реальные географические особенности пространственного размещения лесов. Основные компоненты и связь задач методов машинного обучения показаны на рис. 4.

Для того, чтобы отобразить изменение таксационных характеристик с течением времени, можно

Рис. 5. Графики хода роста еловых насаждений по диаметрам (А) и высотам (В)

Fig. 5. Graphs of the growth of spruce stands by diameters (A) and heights (B)



создать динамическую модель хода роста насаждений с использованием регрессионных моделей. Для этого на основе данных по всему учебно-опытному лесничеству построим несколько моделей на примере ели по высотам и диаметрам (рис. 5).

$$H = 9,636 + 0,1208 \times A$$

$$H = 24,332 \times \log_{10}(A) - 26,13$$

$$D = 6,837 + 0,164 \times A$$

$$D = 31,592 \times \log_{10}(A) - 38,951,$$

где H — высота древостоя, D — диаметр древостоя, A — возраст древостоя.

Выше приведены регрессионные уравнения для прогнозирования высот и диаметров древостоя на основе его возраста. Впоследствии обученные модели прогнозирования высот будут интегрированы в среду отображения геоинформационной модели леса, что позволит одновременно видеть как визуальные изменения леса, так и выведенные инфограммы конкретного выбранного участка леса, что сделает управление лесом избирательным, рациональным и точным. Технологии геоинформационного моделирования лесов позволяют видеть ресурс, которым необходимо управлять. Лицо, принимающее решение, воспринимая поступающую информацию от данных геоинформационных моделей, воспринимает информацию комплексно, что повышает не только качество управления, но и скорость в принятии решений.

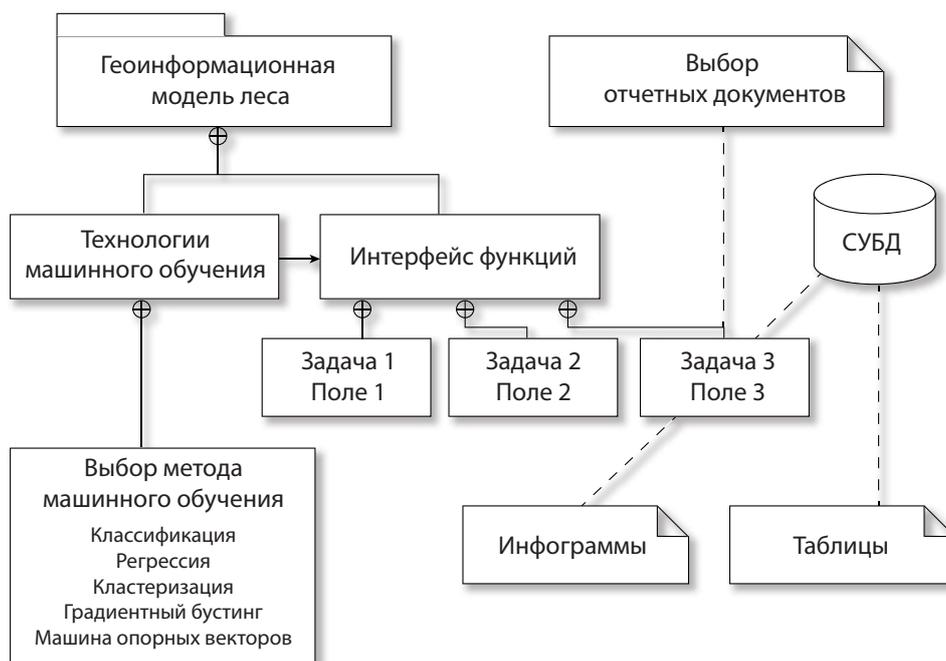
После проведения регрессионного анализа мы получаем кривые хода роста и уравнения, которые описывают эти кривые. Зная актуальный возраст насаждения или отдельных деревьев в данный момент времени и используя регрессионное моделирование,

мы можем спрогнозировать, как будет меняться тот или иной необходимый таксационный показатель с течением времени, что может быть отражено в геоинформационной модели. Такой метод достаточно точно прогнозирует изменение показателя на короткие промежутки времени (10-20 лет). Для более точных прогнозов на долгий срок можно применять самые различные методы машинного обучения, например метод градиентного бустинга [8].

Система отображения. От системы отображения информации зависит формирование компонентов, необходимых для отображения лицу, принимающему решение. В соответствии с назначением модели систему отображения можно настроить под конкретный тип задач. Как правило, в геоинформационных системах за определённый набор действий отвечают специально прописанные макросы (микро команды). В открытой геоинформационной системе Quantum GIS или QGIS сообщество разработчиков внедряет новые модули для решения наиболее распространенных задач, с которыми сталкиваются пользователи. Однако стоит отметить, что требуется определенное время для изучения конкретного модуля и его освоения, анализа сведений о его работоспособности, корректности отображения и совместимости с версиями программ.

Для применения технологий геоинформационного моделирования лесных экосистем можно использовать подход, организованный на базе опыта, полученного от пользователя (User Experience). Такой подход подразумевает, что самый быстрый доступ и самое качественное отображение данных обеспечиваются для наиболее часто используемых и прикладных задач, что значительно экономит время на поиск функций и последующий анализ

Рис. 6. Компоненты системы отображения данных
Fig. 6. Components of the data display system



сведений о системе. В качестве примера основных задач можно построить схему, дающую представление о связи основных элементов в системе отображения данных (рис. 6).

При этом стоит отметить, что в зависимости от задач лесного хозяйства могут быть спроектированы категории или подсистемы программ, в которых интерфейс системы моделирования настраивается, исходя из определенных укрупнённых категорий задач лесного хозяйства.

Комплексование разнородной информации. Основное представление информации в геоинформационных моделях — это трёхмерное отображение данных о лесной экосистеме. Классический способ отображения данных в геоинформационных системах — это слои данных, которые также занимают основное положение в геоинформационных моделях. Дополнительно на слои данных устанавливаются трёхмерные элементы древесной растительности. В качестве экспериментальных моделей древесной растительности в рамках разработки технологии геоинформационного моделирования были созданы основные лесообразующие модели хвойных и лиственных пород Лисинского учебно-опытного лесничества филиала СПбГЛТУ (свид. о рег. базы данных №2022621192) [9], на каждый класс возраста с по I класса по VII класс возраста насаждений.

На основе технологии WebGL возможно качественное отображение геополей, предложенное в работе [6]. Одним из слоёв отображения базовых данных является рельеф местности. Следующим этапом в развитии методов визуализации данных обозначены механизмы интеграции 3D-объектов на геополе, что позволит связать геопространствен-

ную информацию о растительности с морфометрическими данными рельефа местности.

Заключение

В рамках разработки технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем комплексно были решены следующие задачи: сформированы признаки, характеризующие геоинформационные модели лесных экосистем, сформированы три уровня представления лесных экосистем в виде моделей. Описаны основные компоненты систем, являющиеся составной частью предлагаемой технологии и их взаимосвязь с другими компонентами технологии геоинформационного моделирования. В рамках развития лесного хозяйства и принятия закона о цифровой трансформации лесов необходим постепенный переход и внедрение технологий геоинформационного моделирования лесов, которые позволяют обеспечить не только поддержку в системах принятия решений, но и подразумевают повышение следующих компонентов:

- координация проводимых лесохозяйственных работ;
- целевое воздействие на леса в рамках природоохранных мероприятий;
- поддержка и анализ лесовосстановительных процессов;
- мониторинг лесопатологических процессов;
- поддержка процессов лесопользования;
- построение моделей роста и развития древостоев;
- научные исследования.

Список источников

1. Анашкин П.А. Цифровые информационные модели как инструмент исследования геопространства // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27. – № 3. – С. 19–29. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-3-19-29.
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. 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.
4. Вагизов М.Р., Заяц А.М. Концепция инфраструктуры единого геоинформационного центра управления лесным хозяйством (часть 1) // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27. – № 3. – С. 50–61. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-3-50-61.
5. Вагизов М.Р., Истомин Е.П. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 2) // Геоинформатика. – 2022. – № 1. – С. 40–46. – DOI 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46.
6. Васильев Н.П., Вагизов М.Р. WebGL для наглядного представления геополей // Информационные системы и технологии: теория и практика: сб. научн. тр. / отв. ред. М.Р. Вагизов. – Вып. 14 – СПб : СПбГЛТУ, 2022. – С. 72–94.
7. Любимов А.В., Смирнов А.П., Крючков А.Н., Любимова Т.Ю., Саксонов С.В. Оценка лесовозобновления по материалам дистанционных съемок // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 5-3. – С. 468–472.
8. Марцонь А.Д., Строганов В.А. Метод градиентного бустинга над решающими деревьями для оценки стоимости подержанных автомобилей // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий : Материалы круглых столов VI межрегиональной научно-практической конференции (Севастополь, 22–26 сентября 2020 г.) – Севастополь: СевГУ, 2020. – С. 32–34.
9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2022262198 Российская Федерация. Трёхмерные модели хвойных пород деревьев Лисинского учебно-опытного лесничества; заявл. 19.05.2022.; опублик. 25.05.2022. / правообладатель СПбГЛТУ. – 1 с.

10. Старовойтов А.В., Фаттахов А.В., Ячменева Е.А., Хамиев М.М., Кислер Д.А., Косарев В.Е., Нурғалиев Д.К. Оценка объемов вырубки леса с использованием данных дистанционного зондирования земли // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2021. – Т. 163. – № 4. – С. 591–602. DOI 10.26907/2542-064X.2021.4.591-602.
11. Vagizov M., Potapov A., Konzhgoladze K., Stepanov S., Martyn I. Prepare and analyze taxation data using the Python Pandas library // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 867. VI All-Russian Science and Technology Conference “Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education (FR 2021)” (Russia, St. Petersburg, 26–28 May 2021). – 012078. DOI 10.1088/1755-1315/876/1/012078.
12. Vagizov M., Potapov A., Navalikhin S., Bakayeva A., Stepanov S. Application of ensemble machine learning methods for modeling the heights of individual forest elements based on inventory data processing // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 806. II All-Russian scientific-technical conference “Digital Technologies in Forest Sector” (Russia, St. Petersburg, 18–19 March 2021). – 012035. DOI 10.1088/1755-1315/806/1/012035.

References

1. Anashkin P.A. Digital information models as geospatial research tools. Vestnik SSUGT. 2022;27(3):19-29. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-3-19-29.
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. Vagizov M.R., Gavrilyuk A.A. Upravlenie lesnymi zemlyami na osnove geoinformatsionnykh modelei lesnykh ehkositem [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. p. 94-100.
4. Vagizov M.R., Zayats A.M. The infrastructure concept for a single geo-information centre for forest management (part 1). Vestnik SSUGT. 2022;27(3):50-61. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-3-50-61
5. Vagizov M., Istomin E. Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 2). Geoinformatika. 2022;1:40-46. DOI 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46.
6. Vasil'ev N.P., Vagizov M.R. WebGL dlya naglyadnogo predstavleniya geopolei [WebGL for visual representation of geofields]. In: Informatsionnye sistemy i tekhnologii: teoriya i praktika: sb. nauchn. tr. M.R. Vagizov, ed. Iss. 14. St. Petersburg: SPbGLTU; 2022. p. 72-94.
7. Lyubimov A., Smirnov A., Kryuchkov A., Lyubimova T., Saksonov S. Evaluation of the forest regeneration based on remotely sensed data interpretation. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016;18(5-3):468-472.
8. Martson A.D., Stroganov V.A. Acoust. Gradient boosting decision trees algorithm to estimate the price of used cars. In: Advanced national information systems and technologies. Materials of round-table discussions of VI interregional scientific-practical conference (Sevastopol, September 22–26, 2020). Sevastopol: SevGU; 2020. p. 32-34.
9. 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.
10. Starovoytov A.V., Fattakhov A.V., Yachmeneva E.A., Khamiev M.M., Kisler D.A., Kosarev V.E., Nurgaliev D.K. Felling outturn assessment using earth remote sensing data. Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennyye nauki. 2021;163(4):591–602. DOI 10.26907/2542-064X.2021.4.591-602.
11. Vagizov M., Potapov A., Konzhgoladze K., Stepanov S., Martyn I. Prepare and analyze taxation data using the Python Pandas library. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 867. VI All-Russian Science and Technology Conference “Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education (FR 2021)” (Russia, St. Petersburg, 26–28 May 2021). 2021;867:012078. DOI 10.1088/1755-1315/876/1/012078.
12. Vagizov M., Potapov A., Navalikhin S., Bakayeva A., Stepanov S. Application of ensemble machine learning methods for modeling the heights of individual forest elements based on inventory data processing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 806. II All-Russian scientific-technical conference “Digital Technologies in Forest Sector” (Russia, St. Petersburg, 18–19 March 2021). 2021;806:012035. DOI 10.1088/1755-1315/806/1/012035.

Статья поступила в редакцию 14.06.2022, одобрена после рецензирования 16.06.2022, принята к публикации 18.06.2022.
The article was submitted 14.06.2022; approved after reviewing 16.06.2022; accepted for publication 18.06.2022.

Информация об авторе

Вагизов Марсель Равильевич

Кандидат технических наук, доцент
Заведующий кафедрой информационных систем и технологий Института 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

Information about author

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