

Геоинформатика. 2021. № 4. С. 43–49.  
*Geoinformatika*. 2021;(4):43–49.

### Моделирование геообъектов и геопроцессов

Научная статья

УДК 004.94

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-43-49>

## Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 1)

© 2021 г. — Марсель Равильевич Вагизов

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

**Аннотация.** В статье рассматривается методическое обеспечение процесса геоинформационного моделирования лесной экосистемы. Описаны задачи геоинформационного моделирования. Предлагается принцип построения конкретной геоинформационной системы, исходя из территории объекта исследования. Рассматриваются ложности процессов моделирования лесной экосистемы и возможные пути решения. Автором сформированы основные и базовые признаки геоинформационного моделирования лесов на базе компьютерного моделирования с учетом необходимости наполнения моделей атрибутивной информации.

**Ключевые слова:** *геоинформационные системы, лесное хозяйство, геопространственное моделирование*

*Для цитирования:* Вагизов М.Р. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 1) // Геоинформатика. — 2021. — № 4. — С. 43–49. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-43-49>.

### Modeling of geological objects and geoprocesses

Original article

## Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 1)

© 2021 — Marsel R. Vagizov

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

**Abstract.** The article discusses the methodological support for the process of geoinformation modelling of the forest ecosystem. The tasks of geoinformation modelling are described. The principle of construction of a specific geoinformation system based on the territory of the object under study is proposed. Faults of forest ecosystem modelling processes are considered as well as possible solutions. The author has formed basic attributes of geoinformation modelling of forests on the basis of computer modelling taking into account the necessity of filling the models with attributive information.

**Key words:** *geographic information systems, forestry, geospatial modeling*

*For citation:* Vagizov M.R. Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 1). *Geoinformatika*. 2021;(4):43-49. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-43-49>. In Russ.

### Введение

Для технологического развития любой из отраслей народного хозяйства необходим поиск путей применения современных геоинформационных технологий. Особенность развития пространственных методов анализа информации состоит в том, что они оперируют объектами в пространстве и времени, обладающими определенным жизненным циклом. В частности, все объекты растительного мира подчинены закономерностям, установление которых позволяет эффективно ими управлять. Изучение свойств древесных растений, процессов их роста, пространственного расположения, поиск оптимальных мест посадки требуют наглядного отображения текущего состояния природной среды, в которой они произрастают. Однако сегодня лесоводы-практики отмечают отсутствие научных полигонов, на которых было бы разрешено использование специализированных приемов и проведе-

ние экспериментов для наглядной демонстрации отдельных научных практик. Часть научных исследований сконцентрирована на анализе естественных типов леса. Решением сложившейся ситуации является разработка специальной технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем. По своему логическому содержанию геоинформационная модель лесной экосистемы близка к цифровому симулятору. Однако большое количество разнообразных объектов, входящих в среду моделирования, большие площади и параметризация входящих компонентов на текущий момент не позволяет определить геоинформационную модель как цифровой симулятор, поскольку в цифровых симуляторах реализованы сценарные события на базе прописанных сценариев среды моделирования.

В рамках методического обеспечения реализации технологии геоинформационного моделиро-

вания лесной экосистемы необходимо решить следующие задачи:

1. Формирование базовой концепции и определений, создающих методологическое обеспечение и систему поддержки принятий решений при моделировании систем.
2. Формирование признаков, характеризующих моделирование лесных экосистем.
3. Формирование методики создания определенных типов лесов.
4. Формирование динамических объектов, входящих в лесную экосистему.
5. Формирование модели лесного участка, включающей максимально уточненные сведения и обладающей предметно-истинными свойствами.
6. Формирование методологии верификации модели для обеспечения ее адекватности и корректного применения.

**Базовая концепция основных образующих элементов геоинформационной модели лесной экосистемы**

Для представления геоинформационной модели лесов необходим инструмент отображения геоданных. В качестве такового, как правило, выступают геоинформационные системы. Информация в них представлена в виде цифровых карт. Особенность применения геоинформационных систем для визуализации лесных тематических данных состоит в том, что все пространственно-временные данные импортируются в состав ГИС. Стандартный подход к обработке пространственной информации заключается в применении конкретного типа системы для создания конкретной модели территории. В нашем исследовании предлагается обратный

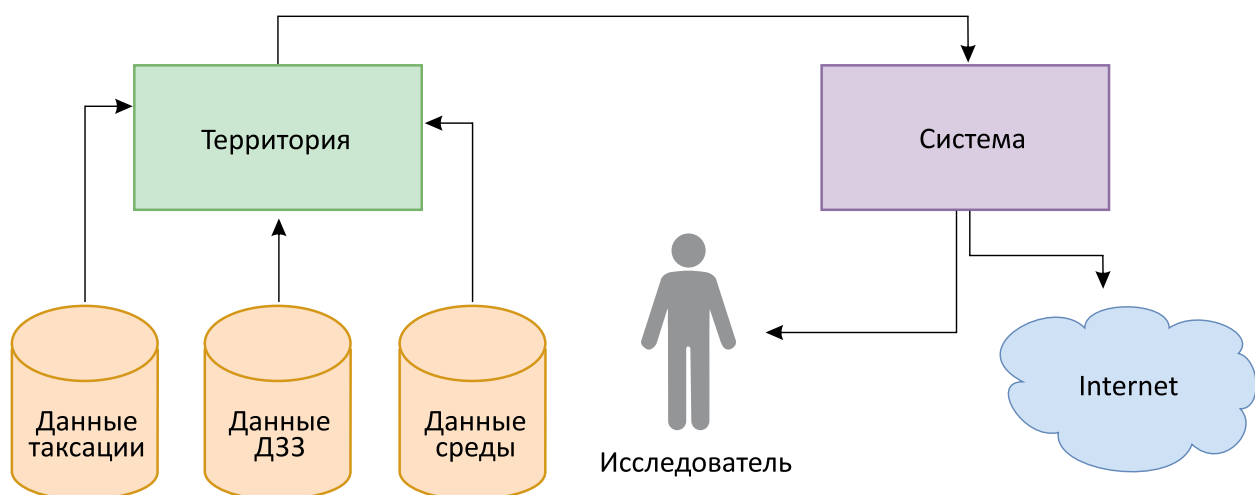
подход к решению данной задачи: создание конкретной модели территории как составной части системы [7]. Удобство такого подхода заключается в том, что основные функции системы зависят от самой территории, её масштаба, сложности входящих компонентов, особенностей целевого применения.

Основные образующие элементы, выделенные в составе модели, следует разделить на две крупные категории. Во-первых, это статичные объекты: они не изменяются с течением времени или процесс их изменения занимает длительное время. К таким объектам можно отнести особенности рельефа, отдельные техногенные изобретения, являющиеся неотъемлемой частью ландшафта и частью проектируемой модели системы. Во-вторых, это объекты лесной экосистемы, жизненный цикл которых меняется с течением времени. К основным необходимым компонентам геоинформационной модели лесной экосистемы отнесем:

1. Модели лесообразующих пород деревьев на разных стадиях их развития. Для реализации данного компонента необходимы полноценные модели пород древесных растений. Под полноценной моделью в нашем исследовании понимается такая модель конкретного вида, которая обладает несколькими его предметно-истинными свойствами. Для того, чтобы модель дерева отображала его реальные свойства, необходимо наполнить свойства модели атрибутивной информацией, такой, как высота, диаметр ствола, форма кроны, возраст или класс возраста. Можно использовать разделение древостоя по классам возраста, каждый из которых характеризуется отдельной моделью дерева. Использование классов возраста позволяет экономить ресурсы при построении большой по площади мо-

Рис. 1. Взаимосвязь и положение компонентов «территория-система»

Fig. 1. Interrelation and positions of the "territory-system" components



дели. В качестве характеристик пород деревьев, связанных с их трехмерной моделью, удобно использовать натурные таксационные данные, характерные для региона, где расположен объект проектирования. Интеграция и отображение данного типа информации хорошо известны и применяются в современных геоинформационных системах только при отображении в составе карты.

2. Модели пород, входящие в полог леса и образующие второй и третий ярус насаждений. Библиотеки таких объектов должны содержать в себе данные большого числа видов. Однако в зависимости от назначения модели необходимо оценить целесообразность отображения данного типа данных в составе модели.

3. Моделирование живого напочвенного покрова. Отражение живого напочвенного покрова может являться индикатором произрастания определенных видов пород деревьев на данной площади. Также, согласно В.Н. Сукачёву, тип лесорастительных условий характеризует тип леса. Стоит отметить, что моделирование данной категории может представлять собой сочетание двух компонентов: слоя отражающего микрорельефа территории объекта моделирования и непосредственно самих растений-индикаторов. Данный компонент может быть реализован в виде текстуры и множества копий растения-индикатора живого напочвенного покрова.

Комплексирование разнородной геопространственной информации для её отображения в любой геоинформационной среде позволит анализировать процессы, связанные с геопространственным

размещением растительности, взаимовлиянием и пространственным отношением различных объектов, входящих в лесную экосистему, — как флоры, так и лесной фауны.

В число основных сложностей геоинформационного моделирования входят:

- технология визуализации большого количества динамических объектов;
- качественное отображение большой по площади модели (к примеру территория некоторых участков лесничеств может превышать 50 000 гектар);
- дороговизна аппаратного обеспечения, необходимого для установки и отображения модели.

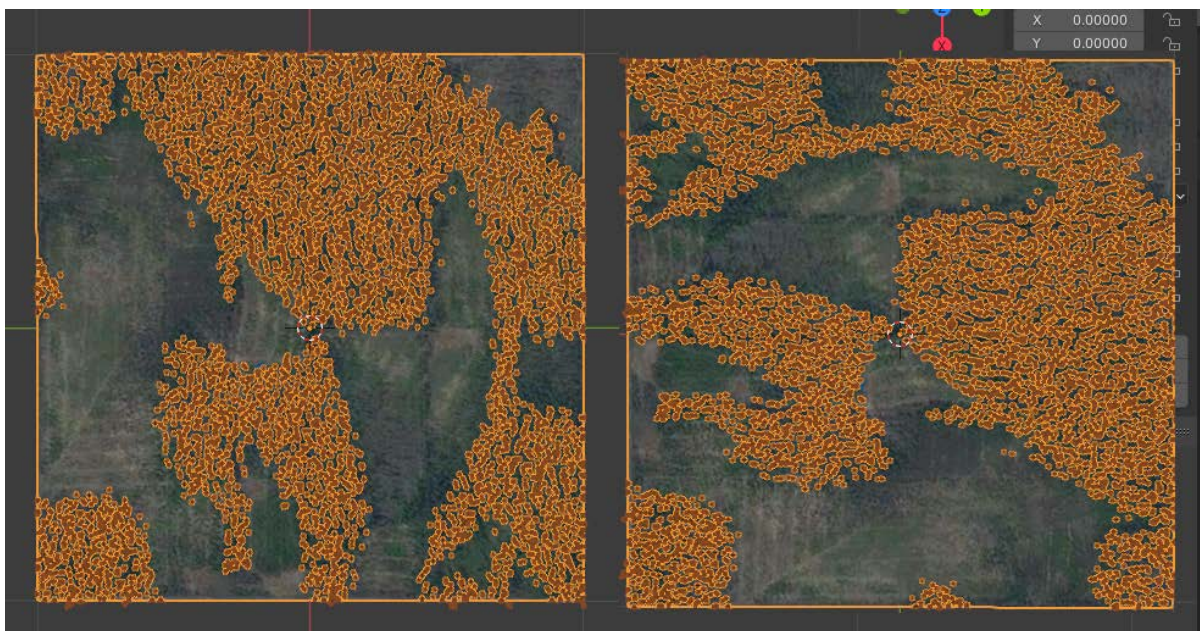
Проблему отображения большого массива данных можно решить следующими способами:

1) Отображение данных по запросу. В случае необходимости отображения конкретного лесного квартала по запросу остальные кварталы остаются неактивными и объекты, входящие в состав модели, не подгружаются в буфер программы отображения (рис. 2). Минусом такого способа отображения является сложность отображения лесного массива по природным или ландшафтно-географическим границам, поскольку они не совпадают с административно-территориальными единицами проведенного лесоустройства.

2) Технология централизованного терминального доступа к модели посредством web-ориентированного программного приложения. При таком способе отображения все данные хранятся в мощном вычислительном центре. Доступ к кон-

Рис. 2. Отображение квартала модели по запросу

Fig. 2. Display of the model quarter on request



кретной модели территории производится через браузер пользователя.

3) Прогрессивными технологиями на сегодняшний день являются квантовые вычисления. Особенность квантовых компьютеров заключается в возможности обработки сверхбольших объемов информации. При этом не имеет значения, в каком исполняемом виде она представлена: базы данных, ключи шифрования, графические объекты, геопространственная информация. Мощность квантовых вычислений настолько высока, что отображение пространственных данных, даже такое многомерное и сложное для описания и формализации основных компонентов лесной экосистемы, не представляет для квантового компьютера сложную вычислительную программно-техническую задачу. Данное примечание требуется, поскольку нет необходимости разрабатывать алгоритмы оптимизации структуры графических объектов при их отображении, что позволяет экономить ресурсы производительности и вычислительной мощности исполнителей визуализации данных моделирования.

**Формирование признаков, характеризующих геоинформационное моделирование лесных экосистем**

Технологические возможности современных аппаратных средств позволяют использовать колоссальные вычислительные ресурсы в медиаинду-

стрии, где имитируются целые физические среды с работой алгоритмизированных физических законов, подвижными динамическими объектами и определённой механикой системы [6]. Для развития лесного хозяйства, особенно в период серьезных климатических изменений на Земле [1, 9], в условиях ведения во многих странах истощительного лесного хозяйства [8, 2], разработка точных цифровых моделей леса не просто позволяет применять их для рационального лесопользования. Разработка таких моделей остро необходима для наглядной демонстрации и получения новых знаний, выявления негативных факторов, оказывающих влияние на леса. Однако отсутствие четко сформированной и структурированной формализации лесной экосистемы в её цифровом представлении не позволяет произвести имитированные эксперименты, поскольку для верификации таких экспериментов не сформированы:

- понятия;
- определения;
- методы;
- модели;
- способы применения.

Также отсутствует методология создания отдельных геоинформационных моделей лесных экосистем в разных отраслях лесной науки.

Для развития технологий создания цифровых моделей леса необходимо сформировать базовые

**Табл. 1.** Признаки геоинформационной модели лесной экосистемы

*Tab.1. Signs of the geoinformation model of the forest ecosystem*

Название признака	Атрибут признака	Критерий или показатель
Признак пространственного соответствия	шкала соответствия	метры
Признак качества данных	условные единицы	от 0,5 до 0,9, где 0,9 — наиболее точный показатель
Признак точности моделей	шкала соответствия	соответствует/ не соответствует
Признак системной связности	наличие онтологической карты	граф, блок-схема
Признак функциональной дополненности	количество отдельных элементов	количество элементов

формализованные признаки, которыми должны характеризоваться эти модели (табл. 1).

1. *Признак пространственного соответствия* характеризует уровень точного соответствия трёхмерных объектов с привязкой к данным дистанционного зондирования Земли. При проектировании модели необходимо учитывать точное позиционирование дерева для полного соответствия проектируемых моделей пространственному размещению лесов.

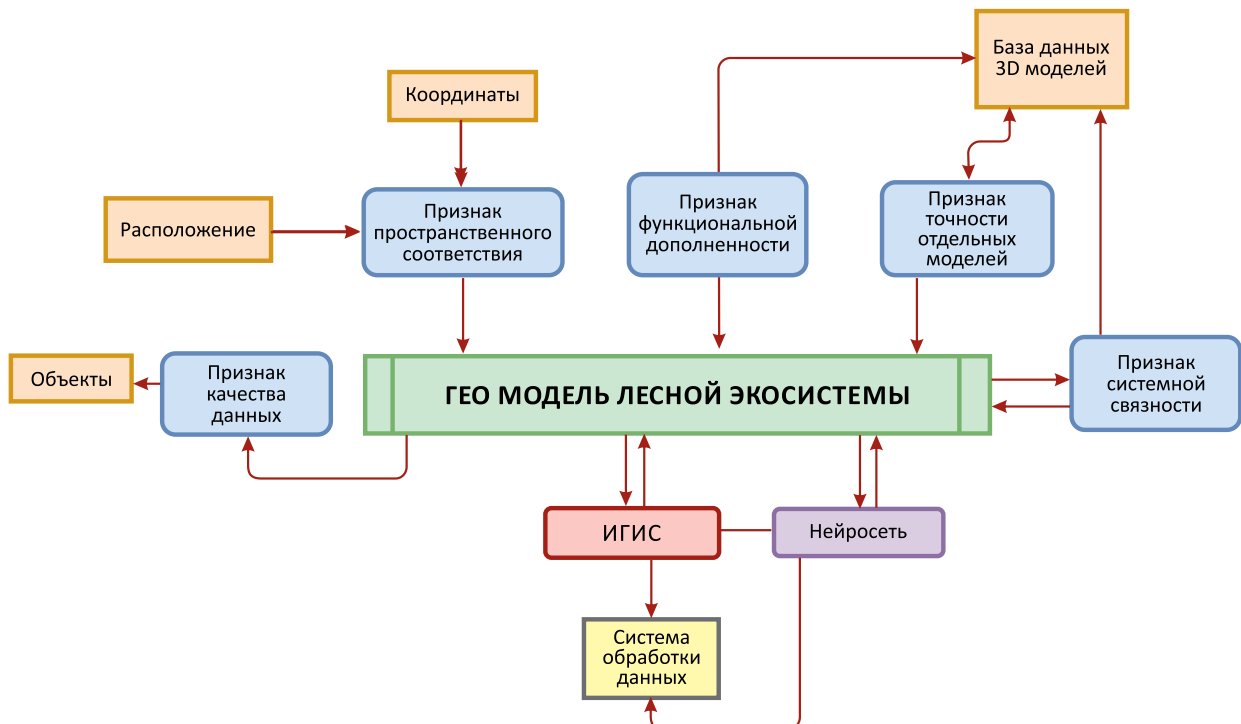
2. *Признак качества данных.* Данные, на базе которых будет строиться модель леса (дистанционные материалы, таксационные данные, полевые данные или данные, полученные с датчиков), должны обладать качественными характеристиками, отражающими релевантность состояния объекта исследования. К таким признакам можно отнести высокое пространственное разрешение снимков, сбор информации с помощью высокоточных приборов. В предыдущем проведенном нами исследовании [10] предлагается коэффициент точности в соответствии с детализацией представленных материалов. Чем точнее материалы, тем выше коэффициент точности. Пороговый показатель 0,9 соответствует наиболее точному показателю для материалов дистанционного зондирования Земли чрезвычайно высокого пространственного разрешения (до  $0,1 \div 0,5$  м). Аналогично могут задавать-

ся весовые коэффициенты, отражающие точность других показателей, импортируемых в модель.

3. *Признак точности отдельных моделей.* При формировании трехмерных объектов растительности задача отображения таких объектов должна быть сведена к максимизации реалистичности, учитывая масштаб цифровой модели и специфику её назначения. Из модели должны быть исключены объекты, поведение которых противоречит естественному жизненному циклу проектируемой лесной экосистемы. Исключением должно являться намеренное ускорение жизненного цикла в рамках проведения задуманного эксперимента. Модель лесной экосистемы считается точной, если она полноценно отражает свойства леса и наполнена атрибутивной информацией входящих в нее системных компонентов. Точность модели лесной экосистемы может определяться с помощью специальных экспертных программ (кейс-тестировщиков) или экспертной оценки специалистами. Итогом оценки является заключение о соответствии или несоответствии моделей.

4. *Признак системной связности.* Все данные в цифровой модели леса должны быть логически связаны между собой на программном и структурном уровне. Системная интеграция разнородных данных позволит в процессе реализации модели исследовать изменения в моделируемой среде, а также визуально оценить параметры изменений.

Рис. 3. Связь признаков соответствия  
Fig. 3. Correlation of conformity attributes



Признак характеризуется положением в пространстве карты отдельных объектов и их онтологическим размещением. Так, например, отношение объектов «кора — дерево» имеет близкое пространственное расположение отдельных характеристик, а отношение объектов «форма кроны — тип леса» логически далекое. Признак системной связности может быть описан посредством графов или проектирования отдельных бизнес-процессов. Необходимость описания признака системной связности в модели характеризуется возможностью редактирования и постоянного дополнения компонентов, входящих в лесную экосистему. Понимание данного признака визуально устанавливаются ассоциативные компоненты, входящие в эмпирический набор формализованной базы знаний.

**5. Признак функциональной дополненности.** Функциональная особенность геоинформационной модели леса состоит в необходимости и возможности расширения и добавления разнородных данных. Большой объём данных леса, интегрированных в цифровую модель, повышает не только ценность такой модели, но и такое важное свойство системы, как ее комплексность. Чем больше объектов входит в геоинформационную модель, наполненную атрибутивными свойствами, тем шире возможности её применения.

Итогом формализации рассматриваемых характеристик является обобщение основных компонентов в виде структурно-логической схемы (рис. 3). На схеме, помимо признаков, дополнительно представлены такие компоненты, как интеллектуальная геоинформационная система (ИГИС), основные компоненты которой представлены в научной работе [4]. Нейросеть является отдельным компонентом, поскольку её реализация нейросети — это особая задача, требующая разработки полноценной архитектуры и технологии обработки пространственных данных. В научной работе [3]

представлены основные компоненты для обеспечения работоспособности нейросети.

Формирование геоинформационных моделей систем также имеет прикладной аспект применения в отрасли. Особенность геоинформационного моделирования заключается в разработке комплексной технологии, которая позволит моделировать не только леса в текущем их состоянии, но и строить прогностические модели лесов, рост и характеристики которых можно предсказать. Точная визуализация таких моделей позволит увидеть конечный результат, что открывает новые возможности и направление по проектированию лесных экосистем в цифровой среде. Особенно актуальным данное направление, может являться в ситуации с нарушенными землями, проведенными вырубками и в условиях изменения климата на Земле [5].

### Заключение

Составной частью процесса геоинформационного моделирования является описание классов, входящих в среду моделирования. Для детального описания и минимизации значительной неопределенности в поведении геопространственных объектов управления, входящих в состав лесной экосистемы, используется три типа моделей: модели лесообразующих пород деревьев, модели пород деревьев, образующих второй и третий ярус насаждений, и модели живого напочвенного покрова. Однако разработка отдельных трёхмерных объектов ещё не позволяет создать полноценную геоинформационную модель. Для её представления необходимо описание признаков отдельных элементов, являющихся предметно-истинными заложенными свойствами, которые отражают реальное поведение объекта в природе, морфологические особенности пород и таксационные характеристики древостоя. В работе также представлены выделенные признаки геоинформационной модели, необходимые для разработки в будущем полноценной геоинформационной модели лесной экосистемы.

### Список источников

1. Александрова В.В., Лыкова Е.В. Климатические изменения и лесные пожары // Заметки ученого. — 2020. — № 12. — С. 22–28.
2. Башегуров К.А., Залесов С.В., Мельникова К.В., Морозов А.Е., Оплетев А.С. Древесная растительность на вырубках в Западно-Сибирском северо-таёжном равнинном лесном районе // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 6 (108). — Ч. 3. — С. 63–67. DOI: 10.23670/IRJ.2021.108.6.070.
3. Вагизов М.Р., Истомин Е.П., Колбина О.Н., Кочнов А.С., Михеев В.Л., Яготинцева Н.В. Механизм обучения нейронной сети для прогноза метеорологической обстановки при использовании ГИС // Геоинформатика. — 2021. — № 1. — С. 22–29.
4. Вагизов М.Р., Истомин Е.П., Колбина О.Н., Яготинцева Н.В., Морщихина А.Е., Конжголадзе К.В. Разработка интеллектуальной геоинформационной системы для отрасли лесного хозяйства // Геоинформатика. — 2021. — № 3. — С. 4–13. DOI 10.47148/1609-364X-2021-3-4-13.
5. Истомин Е.П., Новиков В.В., Соколов А.Г. Концептуальная модель геоинформационного управления природно-техническими системами и территориями // Петербургский экономический журнал. — 2019. — № 2. — С. 55–63.
6. Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. — СПб. : Издательство СПбГПУ, 2004. — 240 с.

7. Конжголадзе К.В., Вагизов М.Р. Модель локальной геоинформационной системы для особо охраняемых природных территорий // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве : Материалы IV международной научно-практической конференции молодых ученых (Санкт-Петербург, 11–12 ноября 2020 года). – СПб. : Издательство «СИНЭЛ», 2020. – С. 129–133.
8. Котельников Б.В., Коновалов Г.Г., Сапухин А.А., Песоцкий А.В. К вопросу о понятии незаконной вырубке и повреждении деревьев и кустарников // Судебная экспертиза: российский и международный опыт : Материалы V Международной научно-практической конференции (Волгоград, 21–22 мая 2020 г.). – Вып. 5. – Волгоград : ВА МВД России, 2020. – С. 174–179.
9. Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Рудых Н.И. Климатические изменения термических условий в тихоокеанской субарктике в условиях современного глобального потепления // Морской гидрофизический журнал. – 2021. – Т. 37. – № 2 (218). – С. 162–178. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-2-162-178.
10. Vagisov 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. – No. 20. – 4092. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13204092>.

## References

1. Aleksandrova V.V., Lykova E.V. Climate change and forest fires. *Zametki uchenogo*. 2020;12:22–28.
2. Bashegurov K.A., Zalesov S.V., Melnikova K.V., Morozov A.E., Opletaev A.S. Woody vegetation on fellings in the West Siberian north-taiga lowland forest region. *International Research Journal*. 2021;108(3):63–67. DOI: 10.23670/IRJ.2021.108.6.070.
3. Vagisov M.R., Istomin E.P., Kolbina O.N., Kochnev A.S., Mikheev V.L., Yagotintseva N.V. Mechanism of neural network training for forecasting the meteorological situation when using GIS. *Geoinformatika*. 2021;1:22–29.
4. Vagisov M.R., Istomin E.P., Kolbina O.N., Yagotinceva N.V., Morshchihina A.E., Konzhgoladze K.V. Development of a smart geoinformation system module for forest taxing data processing. *Geoinformatika*. 2021;3:4–13. DOI 10.47148/1609-364X-2021-3-4-13.
5. Istomin E.P., Novikov V.V., Sokolov A.G. The conceptual model of geoinformation management of natural-technical systems and territories. *Saint-Petersburg Economic Journal*. 2019;2:55–63.
6. Kolesov Yu.B. Ob"ektno-orientirovannoe modelirovanie slozhnykh dinamicheskikh sistem [Object-oriented modelling of complex dynamic systems]. St. Petersburg: Izdatel'stvo SPBGPU; 2004. 240 p.
7. Konzhgoladze K.V., Vagisov M.R. Model of local geoinformation system for specially protected natural areas. In: The actual issues in forestry: Materials of the 6<sup>th</sup> conference of young scientists (St. Petersburg, 11–12 November 2020). St. Petersburg: Izdatel'stvo SINEHL; 2020. pp. 129–133.
8. Kotelnikov B.V., Kononov G.G., Sapukhin A.A., Pesotskii A.V. K voprosu o ponyatii nezakonnoi vyrubki i povrezhdenii derev'ev i kustarnikov [On the concept of illegal felling and damaging of trees and shrubs]. In: Sudebnaya ehkspertiza: rossiiskii i mezhdunarodnyi opyt: Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Volgograd, 21–22 May 2020). – Iss. 5. – Volgograd: VA MVD Rossii; 2020. pp. 174–179.
9. Rostov I.D., Dmitrieva E.V., Rudykh N.I. Climatic changes of thermal conditions in the pacific subarctic at the modern stage of global warming. *Physical Oceanography*. 2021;28(2):149–164. DOI: 10.22449/1573-160X-2021-2-149-164.
10. Vagisov 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 02.11.2021, одобрена после рецензирования 03.12.2021, принята к публикации 20.12.2021.  
The article was submitted 02.11.2021; approved after reviewing 03.12.2021; accepted for publication 20.12.2021.

## 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. Vagisov

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