

Геоинформационное моделирование микромоделей лесной экосистемы

*М. Р. Вагизов¹**

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

* e-mail: bars-tatarin@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается подход геоинформационного моделирования микромоделей лесных экосистем, в которых основными компонентами моделирования являются недревесные виды растений и элементы опада, состоящие из неживого компонента надпочвенного покрова. Актуальность работы обуславливается современными проблемами визуализации реалистичного и качественного моделирования лесной экосистемы и техническими возможностями реализации цифровых двойников. Рассматривается методика применения ряда программных продуктов для интеграции различных гетерогенных данных в единую геопространственную модель. Описываются сферы применения модели и основные этапы в ее реализации, указывается предлагаемая классификация данного вида моделей. В результате сформулирован и практически предложен оптимальный технологический процесс создания участка лесной подстилки с возможностью дальнейшей работы с ним. Статья является продолжением цикла работ автора, посвященных тематике геоинформационного моделирования лесных экосистем и отдельных типов моделей, составляющих лесные экосистемы.

Ключевые слова: геоинформационное моделирование, лесные экосистемы, компьютерное моделирование, геоинформационные технологии, микромоделей, геопространственные цифровые двойники

Введение

Технологии геоинформационного моделирования позволяют подойти к задаче моделирования лесных территорий разного масштаба и представления. Это могут быть крупные географические единицы, средние по размеру участки, например, на уровне масштаба отдельно рассматриваемого таксационного выдела или двух-трех таксационных выделов. Однако в лесном хозяйстве существует ряд специфических задач, когда требуется отображение, управление и исследование локальных лесных участков. Площадь таких участков может быть ограничена до 50 м, а в некоторых случаях (например, закладка пробных площадей для разных целевых задач) может составлять менее 50 м. Все данные участки содержат следующие компоненты, на основе которых возможно перейти к процессу по-

строения геоинформационной микромоделей территории:

- пространственно-координированную информацию;
- объекты с определенным жизненным циклом;
- состояния моделируемых компонент;
- структуру микрорельефа моделируемого геопространства.

В работе [1] были предложены 3 типа масштабов геоинформационных моделей лесных экосистем, одним из которых являлся масштаб моделирования на уровне микромоделирования геопространства лесной экосистемы. В лесных экосистемах протекают достаточно сложные биогеохимические для переноса в цифровую среду процессы, но при этом особенностью технологий геоинформационного моделирования является возможность последовательного наполнения и фор-

мирования модели. Объектно-ориентированное моделирование построено таким образом, где возможно как создание объекта с его цифровым наполнением, то есть описанием свойств данного объекта, так и наоборот, то есть формирование базы признаков объекта, а затем формирование его цифрового отображения. Актуальность работы состоит в том, что микромодели лесных экосистем способны обеспечить представление информации о составе, структуре и свойствах отдельных компонентов в маленьком масштабе представления, что позволит более детально исследовать различные процессы, протекающие в лесных экосистемах в зависимости от целевого функционала и назначения модели.

Одним из элементов микромоделей лесных экосистем является лесная подстилка. Лесная подстилка состоит из большого количества органических и неорганических элементов; как правило, данный покров является надпочвенным и служит средой обитания для разных представителей микромира, включающих насекомых, мелких млекопитающих, рептилий и других обитателей лесных экосистем. Большинство научных работ, посвященных исследованию лесного покрова [2–4], связаны с анализом и оценкой экологического и антропогенного воздействия на лесные экосистемы, малоизученными остаются вопросы, связанные с моделированием компонентов лесного покрова. В научной литературе редко встречаются работы, связанные с визуализацией такого компонента, как моделирование лесного покрова в виде цифровых геопространственных двойников, для лучшего его понимания и описания различных свойств, в связи с чем актуальность данной работы имеет прикладной аспект исследования. Технологии геоинформационного моделирования позволяют подойти к решению задачи формирования методологического подхода создания геоинформационных микромоделей лесных экосистем.

Цель работы состоит в разработке методики моделирования лесной подстилающей поверхности при помощи современных средств геоинформационного моделирования. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать необходимое программное и аппаратное обеспечение;
- выбрать объект моделирования;
- определить компоненты геоинформационного моделирования;
- сформировать методику геоинформационного моделирования микромодели лесной экосистемы, подстилающей поверхности леса.

Материалы и методы

Построение геоинформационной микромодели лесной экосистемы. В качестве демонстрации визуализации процесса геоинформационного моделирования микромодели определим основные методы и подходы данного процесса, а также инструментальное обеспечение, которое позволит проводить процесс моделирования наиболее точно. Задача процесса моделирования – представление объектов исследования с отображением его характеристик, близких к реальному состоянию. Для достижения поставленной задачи используется комплекс программного и аппаратного обеспечения, в совокупности такое обеспечение можно обозначить как инструментальное, поскольку оно позволяет выполнять определенные процедуры, направленные на создание виртуального двойника окружающей среды, с использованием технологий геоинформационного моделирования и входящих в них компонентов.

В качестве примера объекта моделирования будет выбран участок лесной подстилки в учебно-опытном лесничестве филиала Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С. М. Кирова. Задача моделирования – определение основных компонентов и хода процесса геоинформационного моделирования с использованием выбранных инструментов. На данном участке преобладает сосна обыкновенная, в живом напочвенном покрове преобладают кустарничковые виды и лишайники. Проективное покрытие выбранного для моделирования участка состоит преимущественно из брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) и лишайника – кладонии оленьей (*Cladonia rangiferina*), опад состоит преимущественно из хвои сосны, также на

земле встречается мох; состав брусники и лишайника в 50 % представляет смешанный тип леса, по классификации – сосняк бруснично-лишайниковый.

Классические задачи, для которых применение микромоделей способно обеспечить поддержку в принятии решений, – анализ лесопатологической обстановки, описание состава пробных площадей. В работах авторов [5, 6] отмечены тенденции, указывающие на увеличение за последние годы всплеск энтомовредителей – как результат данного явления, на больших покрытых лесом площадях наблюдается гибель конкретных видов древесных пород. Для формирования небольшой территории моделирования определим основные компоненты, требующие цифровой трансформации в виде геопространственных цифровых двойников.

Микромоделю по количеству моделируемых элементов и сложности реализации возможно классифицировать на определенные категории.

1. Сверхсложная микромодель – количество моделируемых компонентов на моделируемом участке более двухсот, включая отображение процессов, протекающих в лесных экосистемах.

2. Сложная микромодель – количество моделируемых компонентов более 100.

3. Средняя микромодель – количество моделируемых компонентов более 50.

4. Простая микромодель – количество моделируемых компонентов не более 20.

Каждый из моделируемых объектов при переносе характеристик из реальной среды в среду моделирования должен соответствовать признакам геоинформационного моделирования лесных экосистем [7]. Техническая сложность реализации микромоделей заключается в детальной проработке составных компонентов каждого моделируемого объекта, но именно проработка данных компонентов и описание их поведения на определенной жизненной стадии позволит подойти к процессу моделирования киберфизического состояния объектов.

Методика проектирования геоинформационной микромоделю территории начинается с определения участка моделирования – это первый этап проектирования микромоделю лесной экосистемы. От данного выбора будут за-

висеть состав, структура и выбор инструментов разработки. В качестве инструментов разработки трехмерных компонентов моделирования возможно использование специального программного обеспечения (3D Max, Blender). Подготовленные после этого объекты необходимо интегрировать в среду геоинформационного моделирования. В качестве среды геоинформационного моделирования могут выступать геоинформационные системы (ГИС) с возможностью отображения трехмерных данных. Как правило, все современные ГИС обладают возможностями отображения 3D-компонентов или функциями дополнительной установки соответствующих модулей для работы с такими данными. Стоит отметить, что все чаще в практике работ с геопространственными данными возникает необходимость построения трехмерных моделей территорий, что подтверждается обширным количеством научных работ в данном вопросе [8–13].

На основании изложенного можно сделать заключение о том, что существует необходимость объединения двух разделенных процессов: разработки модели и использования модели в единой геоинформационной среде. Процесс разработки трехмерных моделей и процесс построения геоинформационных моделей территорий решается написанием в структуре ГИС модуля по работе с графическими элементами. При разработке такой ГИС исключается необходимость использования стороннего программного обеспечения при задаче каталогов 3D-моделю составных компонентов микромоделю лесных экосистем и любых других.

В реализации модели использовался программный продукт Blender с модулем BenderGIS, надежно зарекомендовавший себя не только как графический редактор, но и как средство разработки научной визуализации [14, 15]. В качестве моделирования был выбран участок со сложным составом живого и неживого компонента моделирования (рис. 1). В качестве инструментального обеспечения использовался стационарный компьютер с дискретной видеокартой на 3 гигабайта NVIDIA GeForce GTX 1060 и четырехъядерный процессор Intel Core i5-11400F с частотой 2,50 GHz и 16 гигабайтами оперативной памяти.



Рис. 1. Компоненты моделирования микромоделей лесной экосистемы (лесной подстилки)

Для реализации поверхности рельефа использовался режим скульптинга, где на основе полученных фотографий и полученных данных поверхности высот формировались деформации микрорельефа согласно линии профиля рельефа. Далее лишняя площадь сформированного поля удалялась. Результатом проделанных действий являлся сформированный квадрат с деформациями геополя к естественному виду. Отдельным этапом размечались отдельные компоненты опада лесной экосистемы (шишки, сброшенная хвоя, сухие листья, мелкие ветки), отдельно формировались структуры покрытий, такие как мхи и лишайники. Затем с помощью функции «Система частиц» в Blender покрытия группой переносились на сформированный участок геополя, тем самым заполняя объектами моделируемое пространство. Процесс происходит до этапа, пока не заполнится полностью моделируемое геополе. Более детальное описание полного процесса геоинформационного моделирования микромоделей лесной экосистемы (часть моделирования – лесная подстилка) состоит из 5 этапов.

Первым этапом является формирование модели рельефа территории; получить точные данные возможно на основе информации,

полученной с лидаров. На сегодняшний день стало возможным оперативное получение данных средствами встроенного лидара в смартфоны [13]. В качестве дополнительных данных структуры микрорельефа территории можно использовать данные поверхности высот в программе Google Earth Pro в функции построения профиля высот по заданной линии (рис. 2).

К интерактивному способу построения микрорельефа территории можно отнести его ручное моделирование методом формирования изменения и деформации геополей. Такой метод обозначают в компьютерной графике как скульптинг (от англ. *Sculpting*). Данный процесс является вторым этапом работ, поскольку модель микрорельефа территории наносится поверх основной части модели рельефа и требует применения дополнительных инструментов в ее разработке.

Третьим этапом методики является формирование компонентов микромоделей территории. На данном этапе в зависимости от состава и структуры исследуемой территории выделяются необходимые виды в проектировании, после чего средствами трехмерного моделирования формируются отдельные 3D-

модели. Основные компоненты для микро-модели лесной экосистемы можно разделить на 4 укрупненные группы: модели верхнего уровня, среднего уровня, низшего уровня, внутренних компонентов. Каждая из пред-

ставленных категорий содержит классификацию проектируемых моделей по типу, формату и ее возможному назначению и использованию в типах геоинформационных моделях лесных экосистем (таблица).

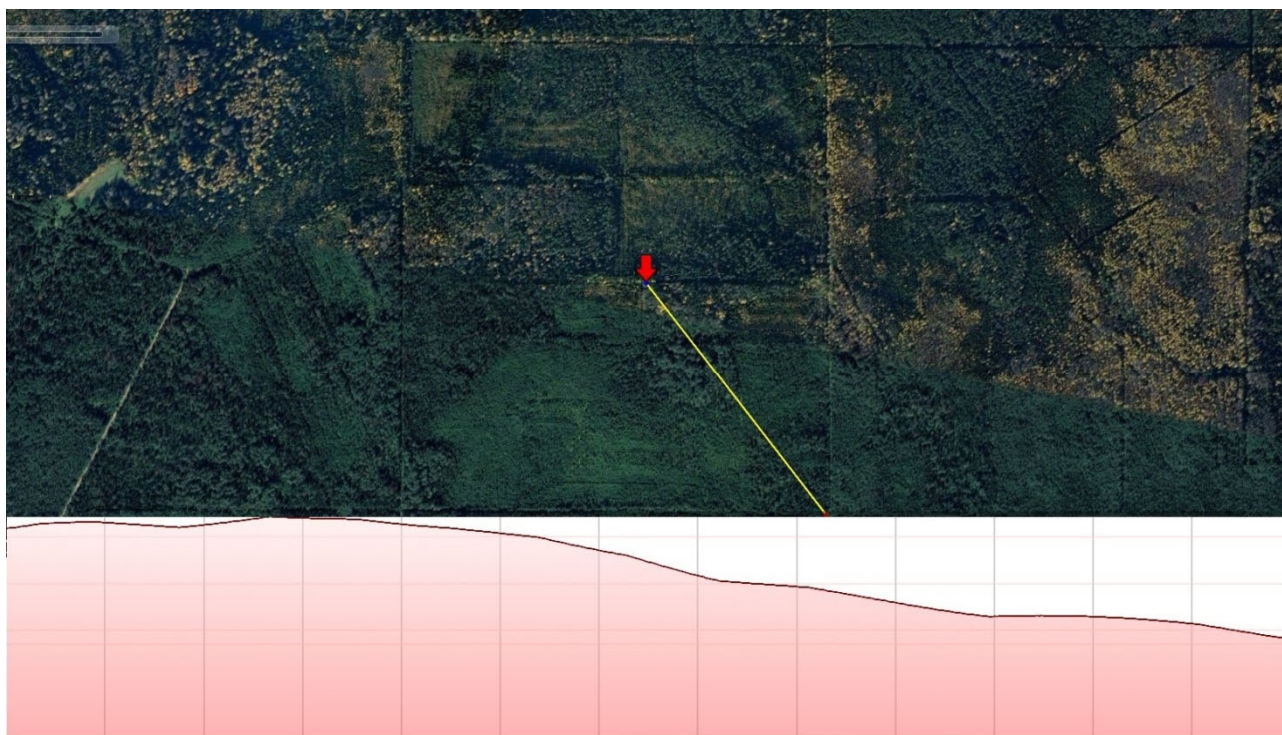


Рис. 2. Модель профиля высот выбранного участка

Сформированные 3D-модели некоторых компонентов представлены на рис. 3.

Стоит выделить 4-й этап геоинформационного моделирования, в котором объекты не просто статично размещаются в моделируемом геопространстве, но одним из важных элементов данного этапа является процесс отладки структурных связей между проектируемыми элементами. Достигается данный этап средствами встроенного языка Blue Script, который является графическим языком программирования, описывающим структуру и семантическую связность между объектами и процессами моделирования. Такой процесс формирования определенных узлов между объектами представлен на рис. 4. Формирование структуры связей необходимо для визуализации процессов, протекающих в лесных экосистемах: роста растений, движения потока различных органических веществ, поглощения органических веществ и других

возможных биогеохимических процессов, которые возможно отобразить средствами геоинформационного моделирования.

Пятым этапом построения модели является процесс интеграции сформированных данных в единой среде: данные структуры рельефа и смоделированных компонентов объединяются, дополнительно поверх сформированного геополя наносятся мельчайшие детали поверхности моделируемой среды микро-модели. К таким мельчайшим деталям могут быть отнесены покрытия лесной подстилки, состоящей из естественного опада – листьев, веток, опавшей хвои (неживой компонент) – и живого компонента, состоящего из мхов и лишайников, травянистой растительности.

После интеграции всех компонентов в режиме полного отображения данных попеременно включались отдельные слои, для определения равномерного состава и расположения между объектами. Смоделированные

компоненты корректировалось вручную в соответствии с полученными фотоснимками на объекте исследования. Итогом интеграции всех составляющих в рамках процесса геоин-

формационного моделирования стала сформированная микромодель участка 196 лесного квартала, учебно-опытного лесничества (рис. 5).

Основные компоненты для микромодели лесной экосистемы

Модели верхнего уровня			
Элемент	Тип модели	Формат модели	Назначение
Лесообразующие породы	Сосна Ель Береза	Группа объектов	Дистанционная модель
Породы 2-го яруса	Черемуха	Группа объектов	Макромодель
Кустарник	Бересклет Бузина	Группа объектов	Макромодель
Модели среднего уровня			
Травянистая растительность	Бересклет Вейник	Объект	Макромодель, Микромодель
Растения-индикаторы	Черника Брусника	Объект, слой	Макромодель, Микромодель
Модели низшего уровня			
Покрытия	Текстуры поверхностей	Слой	Макромодель, Микромодель
Бриофиты	Мхи	Объект	Микромодель
Микобионты	Кладония	Объект	Микромодель
Модели внутренних компонентов			
Структуры тканей	Структуры	Внутренняя модель объекта	Микромодель
Структуры потоков	Сигналы	Модель передачи информации	Микромодель
Модель микроорганизмов	3D-модель	Объект	Микромодель

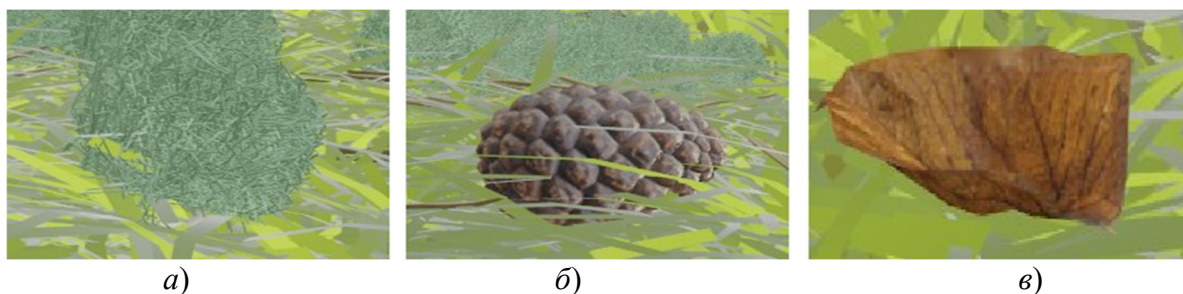


Рис. 3. Примеры сформированных 3D-моделей, компонентов лесной экосистемы:
а) лишайник, кладония; б) шишка сосны; в) лист осины

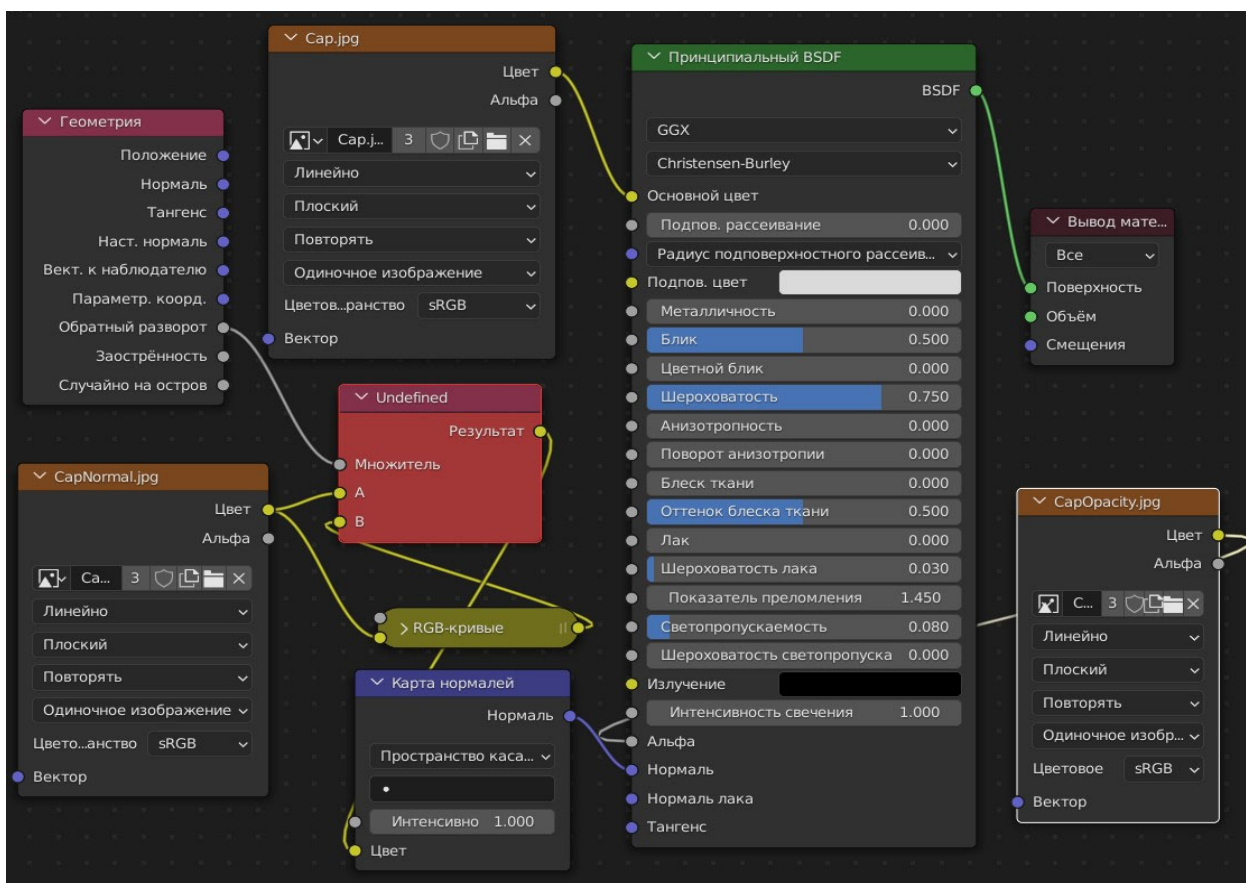


Рис. 4. Формирование связей между моделируемыми компонентами в Blender

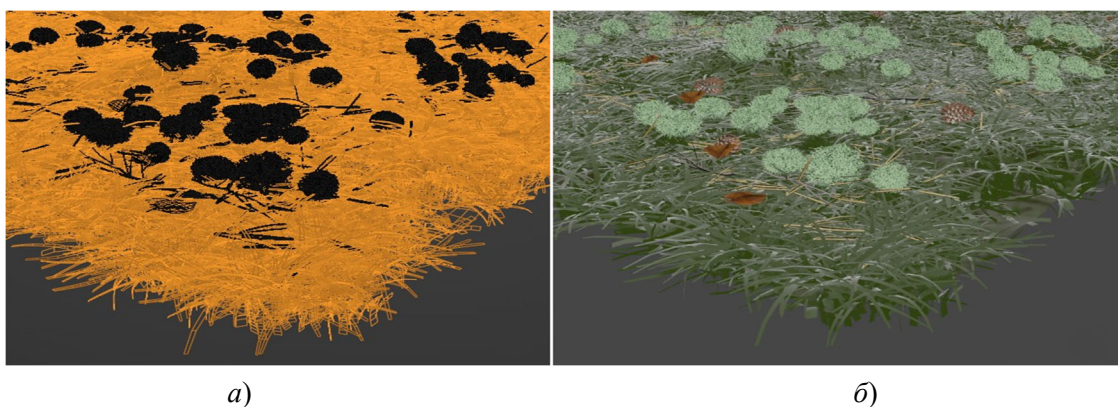


Рис. 5. Часть смоделированной микромоделли:
а) в режиме моделирования; б) в режиме отображения всех слоев данных

Процесс геоинформационного моделирования микромоделей лесной экосистемы представлен на рис. 6.

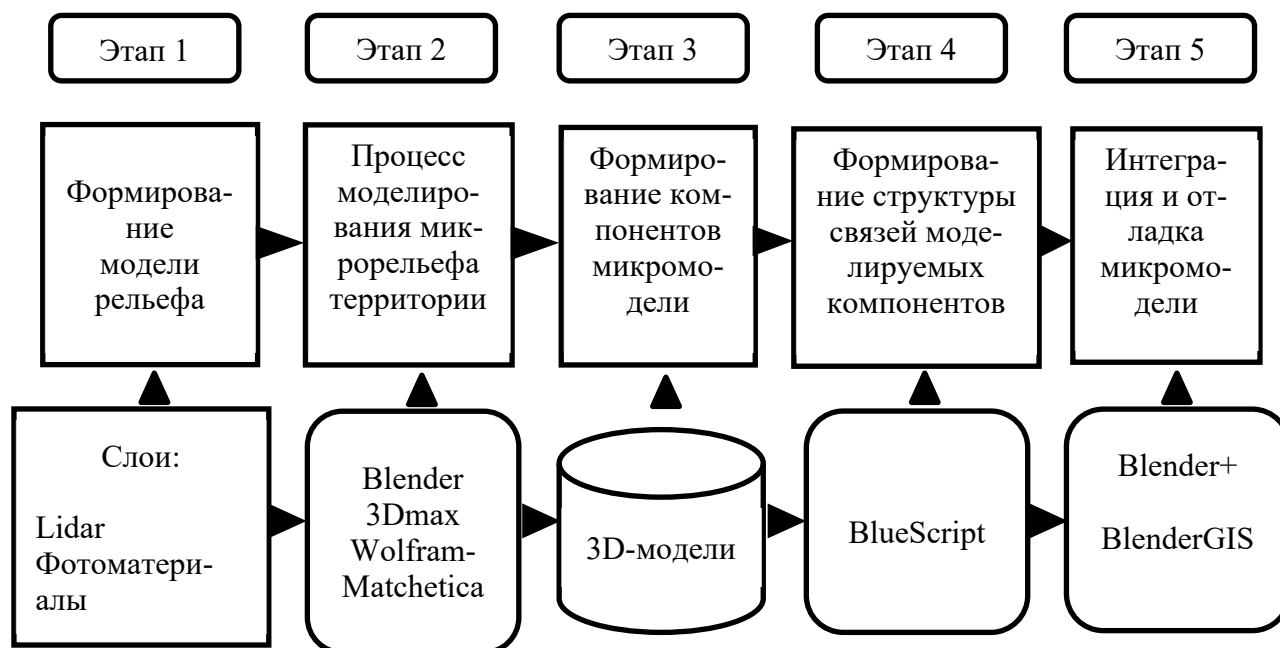


Рис. 6. Процесс построения геоинформационной микромодели лесной экосистемы

В качестве инструментального обеспечения по подготовке и интеграции данных в исследовании применялись различные продукты с возможностью конвертации в приемлемые для ГИС форматы данных.

Результаты и обсуждение

В рамках исследования сформирована поэтапная методика геоинформационного моделирования микромоделей лесной экосистемы и произведено геоинформационное моделирование участка подстилающей поверхности леса в 10 м² в 196-м квартале Лисинского учебно-опытного лесничества, расположенного в Тосненском районе Ленинградской области. Лесная подстилка состоит из большого количества органических остатков, расположенных над поверхностью почвы, что требует их точной идентификации как объектов будущего моделирования, по результатам которого могут быть составлены каталоги цифровых двойников лесной экосистемы для исследования взаимовлияния одних объектов лесных экосистем на другие. Наличие большого количества моделируемых компонент

определяет необходимость качественного аппаратного обеспечения для решения поставленной задачи.

Заключение

В рамках проведенного исследования сформирована геоинформационная микромодель лесной экосистемы, преимущественно состоящая из различных компонентов покрытия ее надпочвенной поверхности. Особенность геоинформационной модели состоит в том, что фактически такая модель может быть дополнена различными недостающими составляющими и расширена как по площади, так и по моделируемому компонентному составу в пределах территории объекта геоинформационного моделирования. На данном этапе развития лесного хозяйства существует необходимость адаптации последних геоинформационных технологий в лесную сферу, что подтверждает апробацию новых информационных технологий в научных работах [16–20].

Следующим этапом в развитии геоинформационного моделирования микромоделей возможно проектирование жизненного цикла

как отдельных составляющих объектов в модели, так и группы объектов всей модели с изменением времени. Сфера применения данной модели разнообразна, возможно использование в качестве демонстрационных обучающих материалов для специалистов лесных, экологических и биологических направлений. Возможно применение в сфере геоботаники, схожим образом могут быть сформиро-

ваны каталоги геоинформационных микромоделей на другие типы леса (осоко-сфагновые, черничные или травяно-таволочные). Потенциал моделей может быть использован при моделировании различных антропогенных и биогенных воздействий на лесные экосистемы и оценки ответных реакций, что может повлиять на принятие решений в ситуационных задачах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вагизов М. Р., Истомина Е. П. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (ч. 2) // Геоинформатика. – 2022. – № 1. – С. 40–46. – DOI 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46.
2. Ибрагим М. Экологическая оценка рекреационной нагрузки на растительный покров экосистем Лесной опытной дачи // Сб. материалов Междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А. Н. Костякова (Москва, 06–08 июня 2022 г.). – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2022. Т. 1. – С. 124–127.
3. Ализаде Э. К., Гулиева Ф. Э. Метод оценки воздействия антропогенного фактора на лесной покров в горных зонах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (137). – С. 84–90.
4. Ализаде Э. К., Гулиева Ф. Э. Новый метод оценки влияния антропогенного фактора на лесной покров в горных районах // International Scientific Journal Life and Ecology. – 2016. – № 1-2(5-6). – С. 92–93.
5. Селиховкин А. В., Нехаева М. Ю., Мельничук И. А. Экономические и социальные последствия инвазий вредителей и патогенов древесных растений в Санкт-Петербурге // Российский журнал биологических инвазий. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 163–171. – DOI 10.35885/1996-1499-16-2-163-171.
6. Селиховкин А. В., Мамаев Н. А., Мартирова М. Б. и др. Новая вспышка массового размножения короеда-типографа *Ips tyrographus* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) в Ленинградской области и ее особенности // Энтомологическое обозрение. – 2022. – Т. 101, № 2. – С. 239–251. – DOI 10.31857/S0367144522020034.
7. Вагизов М. Р. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (ч. 1) // Геоинформатика. – 2021. – № 4. – С. 43–49. – DOI 10.47148/1609-364X-2021-4-43-49.
8. Гайфулина Е. Ф., Решетников А. А., Швыдкой В. С., Дорохов А. Р. Стохастическая инверсия для включения сейсмических данных в трехмерное моделирование // Экспозиция Нефть Газ. – 2022. – № 8 (93). – С. 16–21. – DOI 10.24412/2076-6785-2022-8-16-21.
9. Xu W, Zeng Y., Yin C. 3D City Reconstruction: A Novel Method for Semantic Segmentation and Building Monomer Construction Using Oblique Photography // Appl. Sci. – 2023. – Vol. 13. – P. 8795. – DOI 10.3390/AP13158795.
10. Zhao Y., Zhou L., Chen C., Li X., Du H., Yu J., Lv L., Huang L., Song M. Urban Forest Above-Ground Biomass Estimation Based on UAV 3D Real Scene // Drones. – 2023. – Vol. 7. – P. 455. – DOI 10.3390/DRONES7070455.
11. Cui Z., Zhang H., Liu Y., Zhang J., Yang T., Zuo Y., Lei K. Constructing Coupling Model of Generalized B-Spline Curve and Crown (CMGBCC) to Explore the 3D Modeling of Chinese Fir Polymorphism // Forests. – 2023. – Vol. 14. – P. 1267. – DOI 10.3390/F14061267.
12. Дубровский А. В. Трехмерное моделирование экологического состояния объектов недвижимости в городском пространстве // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам науч.-техн. конф. – 2020. – № 11. – С. 167–170.
13. Terrati Losè L., Spreafico A., Chiabrandò F., Giulio Tonolo F. Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain // Remote Sens. – 2022. – Vol. 14. – P. 4157. – DOI 10.3390/RS14174157.
14. Шишкин В. В., Гераськина С. Т., Шишкина О. Ю. Трехмерное моделирование в среде Blender : учеб. пособие для студ., обучающихся по специальности 230201165 «Информационные системы и технологии». – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 185 с.
15. Флоринский И. В., Филиппов С. В. Трехмерное геоморфометрическое моделирование дна Северного Ледовитого океана: применение пакета Blender // Национальная картографическая конференция – 2018 : Сб. тезисов Всероссийской науч. конф. (Москва, 16–19 октября 2018 г.). – М. : Географический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, 2018. – С. 273–276.

16. Аврунев Е. И., Гатина Н. В., Козина М. В. Разработка принципов для 3d-моделирования линейных сооружений и инженерной инфраструктуры территориального образования // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 107–115. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-107-115.

17. Лебзак Е. В., Янкевич С. С. Разработка методики геоинформационного картографирования лесного хозяйства с применением мобильных технологий // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 86–96. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-86-96.

18. Вагизов М. Р., Заяц А. М. Аппаратно-программная реализация инфраструктуры единого геоинформационного центра лесного хозяйства // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 92–105. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-92-105.

19. Павлов В. С. Сравнение методов создания картографических материалов садов и лесопарков // Цифровые технологии в лесном секторе : сб. материалов III Всероссийской науч.-техн. конф.-вебинара / Под ред. А. А. Добровольского (Санкт-Петербург, 24–25 февраля 2022 г.). – СПб. : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова, 2022. – С. 73–76.

20. Бажунов И. Д., Бойцов А. К. Реализация сверточной нейронной сети в приложении по определению болезней древесных пород и кустарников // Актуальные вопросы лесного хозяйства : сб. материалов VI междунар. молодежной науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2022 г.). – СПб. : Реноме, 2022. – С. 199–203.

Об авторах

Марсель Равильевич Вагизов – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информационных систем и технологий.

Получено 31.07.2023

© М. Р. Вагизов, 2023

Geoinformation modeling of micro-model forest ecosystem

*M. R. Vagizov¹**

¹ St. Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov, St. Petersburg, Russian Federation

* e-mail: bars-tatarin@yandex.ru

Abstract. The article considers the approach of geoinformation modeling of forest ecosystem micro-models, in which the main modeling components are non-tree plant species and fall elements consisting of non-living component. The relevance of the work is determined by modern problems of visualization of realistic and high-quality modeling of the forest ecosystem and the technical feasibility of implementing digital twins. The article discusses the methodology of application of a number of software products for integration of different heterogeneous data into a single model. It describes the scope of application of the model and the main stages in its realization and proposes the classification of this type of models. The article is a continuation of the author's series of works devoted to the geoinformation modeling of forest ecosystems and individual components.

Keywords: geoinformation modeling, forest ecosystems, computer modeling, geoinformation technologies, micromodels, geospatial digital twins

REFERENCES

1. Vagizov, M. R., & Istomin, E. P. (2022). Development of the technology of geoinformation modelling of forest ecosystems (part 2). *Geoinformatika [Geoinformatics]*, 1, 40–46. DOI 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46 [in Russian].

2. Ibrahim, M. (2022). Ecological assessment of the recreational load on the vegetation cover of ecosystems of Lesnaya Experimental Dacha. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 135-letiyu so dnya rozhdeniya A. N. Kostyakova: T. 1 [Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, dedicated to the 135th*

anniversary of the birth of A.N. Kostyakov: Vol. 1] (pp. 124–127). Moscow: K. A. Timiryazev Russian State Agrarian University Publ. [in Russian].

3. Alizadeh, E. K., & Gulieva F. E. (2016). Method for assessing the impact of anthropogenic factor on forest cover in mountainous zones. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altai State Agrarian University]*, 3(137), 84–90 [in Russian].

4. Alizadeh, E. K., & Gulieva, F. E. (2016). A new method for assessing the impact of anthropogenic factor on forest cover in mountainous areas. *International Scientific Journal Life and Ecology*, 1-2(5-6), 92–93 [in Russian].

5. Selikhovkin, A. V., Nehaeva, M. Y., & Melnichuk, I. A. (2023). Economic and social consequences of invasions of pests and pathogens of woody plants in St. Petersburg. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy [Russian Journal of Biological Invasions]*, 16(2), 163–171. DOI 10.35885/1996-1499-16-2-163-171 [in Russian].

6. Selikhovkin, A.V., Mamaev, N. A., Martirova, M. B., & et al. (2022). A new outbreak of mass reproduction of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) in the Leningrad Region and its peculiarities. *Entomologicheskoe obozrenie [Entomological Review]*, 101(2), 239–251. DOI 10.31857/S0367144522020034 [in Russian].

7. Vagizov, M. R. (2021). Development of technology of geoinformation modelling of forest ecosystems (part 1). *Geoinformatika [Geoinformatics]*, 4, 43–49. DOI 10.47148/1609-364X-2021-4-43-49 [in Russian].

8. Gaifulina, E. F., Reshetnikov, A. A., Shvydkoy, V. S., & Dorokhov, A. R. (2022). Stochastic inversion for inclusion of seismic data in three-dimensional modelling. *Ekspozitsiya Neft' Gaz [Exposition Neft' Gaz]*, 8(93), 16–21. DOI 10.24412/2076-6785-2022-8-16-21 [in Russian].

9. Xu, W., Zeng, Y., & Yin, C. (2023). 3D City Reconstruction: A Novel Method for Semantic Segmentation and Building Monomer Construction Using Oblique Photography. *Applied Sciences*, 13, P. 8795. DOI 10.3390/AP13158795.

10. Zhao, Y., Zhou, L., Chen, C., Li, X., Du, H., Yu, J., Lv, L., Huang, L., & Song, M. (2023). Urban Forest Above-Ground Biomass Estimation Based on UAV 3D Real Scene. *Drones*, 7, P. 455. DOI 10.3390/DRONES7070455.

11. Cui, Z., Zhang, H., Liu, Y., Zhang, J., Yang, T., Zuo, Y., & Lei, K. (2023). Constructing Coupling Model of Generalised B-Spline Curve and Crown (CMGBCC) to Explore the 3D Modeling of Chi-nese Fir Polymorphism. *Forests*, 14, P. 1267. DOI 10.3390/F14061267.

12. Dubrovskiy, A. V. (2020). Three-dimensional modelling of the ecological state of real estate objects in urban space. *Prilozhenie k zhurnaluzhvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Supplement to the journal Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 11, 167–170 [in Russian].

13. Teppati Losè, L., Spreafico, A., Chiabrande, F., & Giulio Tonolo, F. (2022). Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain. *Remote Sensing*, 14, P. 4157. DOI 10.3390/RS14174157 [in Russian].

14. Shishkin, V. V., Geraskina, S. T., & Shishkina, O. Y. (2010). *Trekhmernoe modelirovanie v srede Blender [Three-dimensional modelling in Blender]*. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 185 p. [in Russian].

15. Florinsky, I. V., & Filippov, S. V. (2018). Three-dimensional geomorphometric modelling of the Arctic Ocean floor: application of the Blender package. In *Sbornik tezisov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii: Natsional'naya kartograficheskaya konferentsiya – 2018 [Collection of abstracts of the All-Russian Scientific Conference: National Cartographic Conference – 2018]* (pp. 273–276). Moscow: Department of Geography, Lomonosov Moscow State University Publ. [in Russian].

16. Avrunev, E. I., Gatina, N. V., & Kozina, M. V. (2022). Development of principles for 3d-modelling of linear structures and engineering infrastructure of territorial formation. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(1), 107–115. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-107-115 [in Russian].

17. Lebzak, E. V., & Yankelevich S. S. (2022). Development of the methodology of geoinformation mapping of forestry using mobile technologies. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(1), 86-96. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-1-86-96-96 [in Russian].

18. Vagizov, M. R., & Zayats, A. M. (2023). Hardware and software implementation of the infrastructure of the unified geo-information centre of forestry. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 28(1), 92-105. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-92-105 [in Russian].

19. Pavlov, V. S. (2022). Comparison of methods for creating cartographic materials of gardens and forest parks. In *Sbornik materialov III Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-vebinara: Tsifrovyye*

tehnologii v lesnom sektore [Proceedings of the III All-Russian Scientific and Technical Conference-Webinar: Digital Technologies in the Forest Sector] (pp. 73–76). A. A. Dobrovolsky (Ed.). St. Petersburg: St. Petersburg State Forest Engineering University named after S. M. Kirov Publ. [in Russian].

20. Bazhunov, I. D., & Boitsov, A. K. (2022). Implementation of convolutional neural network in the application for determining diseases of tree species and shrubs. In *Sbornik materialov VI mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Aktual'nye voprosy lesnogo khozyaystva [Proceedings of the VI International Youth Scientific and Practical Conference: Actual Issues of Forestry]* (pp. 199–203). St. Petersburg: LLC "Renome" Publ. [in Russian].

Author details

Marsel R. Vagizov – Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies.

Received 31.07.2023

© *M. R. Vagizov*, 2023