

УДК 004.94



**С.В. Дианов<sup>1</sup>, Д.С. Дианов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Вологодский государственный университет,

<sup>2</sup>Вологодский научный центр Российской академии наук

### **ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВКАМИ**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 22-28-01940)*

В статье представлены результаты исследований по выбору инструментария, способного обеспечить создание эффективных агент-ориентированных моделей управления лесозаготовками. Определены критерии выбора инструментария. Проведен анализ сред агент-ориентированного моделирования с использованием предложенных критериев.

Агент-ориентированное моделирование, управление лесозаготовками, инструментарий моделирования, критерии выбора инструментария, сервис-ориентированный подход.

Значительные возможности для решения проблемы эффективного использования лесных ресурсов территорий предоставляет инструментарий агент-ориентированного моделирования [1]. Его весомым преимуществом является возможность учитывать динамику изменения характеристик исследуемых сущностей во времени и динамику их пространственного размещения, а также структуру взаимосвязей между исследуемыми сущностями. Имеющие пространственную привязку гетерогенные и адаптивные агенты [2] могут взаимодействовать со своей средой, другими агентами и новыми или существующими институциональными структурами для создания сложных региональных моделей лесопользования, которые развиваются с течением времени.

При реализации модели особое внимание следует уделить выбору инструментария. Среди программных продуктов существует множество готовых решений и специализированных библиотек/фреймворков. В научной литературе встречаются обзоры различных инструментов агент-ориентированного моделирования. Преимущественно такие обзоры проводятся с целью выбора средства для решения конкретной прикладной задачи. Данный факт косвенно подтверждает предположение о том, что невозможно найти наилучший инструмент для решения любой произвольной задачи агент-ориентированного моделирования. В этой ситуации при выборе инструментария важнейшую роль играет принятая концепция моделирования.

В результате проведенного анализа используемых подходов к построению агент-ориентированных моделей выявлено, что их создание осуществляется без использования формализованной методологической основы [3]. Это в значительной степени усложняет интерпретацию и верификацию данных моделей, что

сказывается на восприятии адекватности получаемых результатов. В связи с этим авторами предложена концепция создания агент-ориентированных моделей, основанная на использовании сервис-ориентированного подхода для моделирования инфраструктурной составляющей системы использования лесных ресурсов территории [1]. Она определяет основные правила создания разрабатываемой агент-ориентированной системы управления лесным комплексом: определение целевых показателей и критериев оценки эффективности функционирования системы в условиях существования мобильных элементов; формирование пространственного графа функционирования системы с учетом существующей инфраструктуры, способного отображать мобильность элементов системы; определение состава и параметров объектов системы в соответствии с сервис-ориентированной парадигмой; определение моделей поведения объектов системы с учетом их мобильности и направленности на предоставление/потребление сервисов; распределение объектов системы в узлах пространственного графа; обеспечение возможности манипулирования параметрами и структурой пространственного графа, структурой и параметрами объектов, первичным распределением объектов в узлах пространственного графа; обеспечение возможности интерактивного получения результатов; интегрированность моделей с информационными системами, содержащими информацию о реальных процессах в системе.

Таким образом, критерии выбора среды моделирования для создания агент-ориентированной модели управления лесозаготовками должны соответствовать разработанной концепции проектирования агент-ориентированных моделей: обеспечивать возможность создания пространственной сети, ее интеграции

с геоинформационными системами (ГИС); возможности адаптации к сервис-ориентированному подходу при формировании элементов; формирование поведения агентов в части их мобильности, а также возможность определять пригодность и эффективность использования инструментария для решения задач моделирования эффективного использования лесных ресурсов. Разработанные критерии предполагается апробировать при выборе инструментария для создания агент-ориентированной модели управления лесозаготовками.

Прежде всего, следует обратить внимание на наличие либо отсутствие поддержки работы с ГИС, так как для работы модели необходимы географические данные, наличие функционала, позволяющего работать с картами полезно и с точки зрения обеспечения наглядности работы модели. На экране в таком случае можно отображать перемещение и расположение ключевых агентов и сопутствующую информацию, благодаря чему анализ работы модели упрощается.

В качестве следующего критерия следует выделить наличие и качество готовых библиотек для программирования агентов. В случае отсутствия продуманного и понятного набора готовых функциональных элементов, исследователю приходится самостоятельно заниматься достаточно низкоуровневой разработкой механизмов взаимодействия, перемещения, сериализации/десериализации (и т.д.) агентов. Данная ситуация, в свою очередь, порождает две проблемы: риск появления ошибок в коде, смещение фокуса разработчика с исследовательских задач на задачи написания программы.

Производительность тоже важна – выполнение модели с множеством агентов требует не только повышенного объема памяти, но и приводит к большей загрузке процессора. Производительность достаточно сложно оценить, не прибегая к обширным нагрузочным тестам, тем не менее многие программные продукты изначально нацелены на повышение быстродействия работы модели (например, за счет использования GPU).

Не менее важно учесть, что насколько хорошо сопровождается тот или иной инструментарий, настолько часто и качественно вносятся изменения, исправляющие ошибки программного обеспечения, и улучшается его производительность.

Необходимо учесть и лицензию, по которой происходит распространение того или иного продукта. Свободное программное обеспечение будем считать более предпочтительным в силу отсутствия необходимости внесения платы за использование, возможности вносить в него собственные изменения, а также использовать его в независимости от воли владельца.

И, наконец, значимым ограничением является набор навыков и компетенций исследователя. Те или иные инструменты моделирования могут предоставлять избыточный функционал, при этом сложность освоения возрастает. Соответственно, необходимо подобрать инструмент решения задачи моделирования, содержащий весь необходимый функционал, но требующий наименьшего количества усилий для его освоения.

В таблице приведен ряд наиболее известных и распространенных продуктов, используемых в агент-ориентированном моделировании, а также отражено соответствие выбранным критериям.

В конечном счете любой из рассмотренных выше инструментов способен помочь в решении поставленной задачи моделирования. Тем не менее согласно введенным критериям можно судить об удачности того или иного выбора.

Полному набору критериев соответствуют два продукта: GAMA Platform и Mesa. Рассмотрим каждый из них более подробно.

GAMA Platform изначально предоставляет среду для разработки пространственных агент-ориентированных моделей. Данная среда создана на основе RCP (Rich Client Platform) – фреймворка, являющегося частью Eclipse Platform. Таким образом, пользователь получает набор инструментов с продуманным удобным интерфейсом.

Таблица

**Характеристики сред агент-ориентированного моделирования**

	Flame GPU	GAMA	Repast	FlexSim	Simio	Simul8	Simcad	Simudyne	NetLogo	AnyLogic	Agents.jl	Mesa
Поддержка ГИС	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+
Библиотеки	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Производительность	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Поддержка	+	+	+	+	+	+	+	+	+-	+	+	+
Свободное ПО	+-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+
Соответствие навыкам исследователя	+-	+	+-	+	+	+	+	+	+	++	+-	+

Для описания работы модели в рамках данной среды используется агент-ориентированный язык GAML (GAMA Modeling Language). Написанный на Java, он предназначен для упрощения разработки агент-ориентированных моделей в первую очередь для исследователей, специализирующихся не на информационных технологиях.

В связи с этим в GAML были добавлены высокоуровневые методы для работы с различными видами данных (такими как ГИС): изображения (растровые или векторные), таблицы, трехмерные модели (3ds, obj), реализована возможность подключения к базам данных.

Поддержка Unit-тестов на уровне языка позволяет достаточно легко тестировать работу модели, что очень важно для крупных проектов с большим числом модулей.

GAMA обладает широким функционалом, сопоставимым с объект-ориентированными языками программирования общего назначения. Родство с другими агент-ориентированными языками, такими как NetLogo, дополняется концепциями наследования, типобезопасности и т.д.

Достаточно хорошо проработаны и механизмы визуализации. Поддержка трехмерного отображения дополняется возможностью создания моделей визуализации и последующего разделения представления и симуляции. Результатом этого является возможность создавать несколько представлений для одной модели.

GAMA Platform является расширяемой, и уже существует определенное множество плагинов, добавляющих новые возможности, такие как поддержка нечеткой логики, интеграция с другими платформами (R, Unity, Matlab и т.д.), интеграция с системами контроля версий (git). GAMA разрабатывается и сопровождается несколькими командами под эгидой международного исследовательского подразделения IRD/SU UMMISCO и распространяется по универсальной общедоступной лицензии GNU версии 3.

Mesa представляет из себя фреймворк агент-ориентированного моделирования на языке общего назначения Python. Python является достаточно популярным языком объект-ориентированного программирования, легким в освоении и постоянно развивающимся благодаря обширному сообществу разработчиков. Также преимуществом является распространенность Python в научной среде и наличие множества библиотек, заточенных под вычисления, машинное обучение, построение диаграмм и т.д. Соответственно, исследователю доступны абсолютно любые технологии, совместимые с Python, для построения моделей любой сложности.

Данный фреймворк состоит из множества модулей, которые можно сгруппировать в три категории: моделирование, анализ, визуализация.

Модули моделирования отвечают непосредственно за модели: предоставляют классы агента и модели, позволяют задать последовательность действия агентов, а также задать пространство, в рамках которого они действуют.

Модули анализа предоставляют набор инструментов, позволяющих собирать данные, генерируемые моделью, либо запускать модель с различными наборами входных параметров.

Модули визуализации представляют собой множество классов, с помощью которых можно разрабатывать модель интерактивного представления. Данная модель будет отображаться в браузере при помощи JavaScript, а исполняться на локальном сервере, который также входит в состав фреймворка.

Так как Mesa является лишь фреймворком, то по сравнению с GAMA Platform является более легковесным. Использование Python в качестве основного языка может быть основанием для утверждения о большей гибкости и наличии большего числа готовых библиотек, доступных для интеграции с разрабатываемой моделью.

Тем не менее использование фреймворка требует большего количества технических навыков, что может усложнить процесс построения модели. Помимо того, модуль работы с ГИС является в данном случае внешним по отношению к самому фреймворку.

Mesa разрабатывается группой независимых исследователей и разработчиков и распространяется по лицензии Apache2.

Конечный выбор всегда должен исходить из конкретных потребностей разработки и не должен приводить к трате дополнительных усилий на излишне сложную разработку.

В случае создания разрабатываемой модели принято решение использовать инструментарий GAMA Platform, т.к. будучи более простой в использовании, данная среда предлагает все необходимые инструменты без необходимости предварительной настройки.

## Литература

1. Проблемы агент-ориентированного моделирования формирования эффективной территориальной сети лесных дорог / Гулин К. А., Дианов С. В., Алферьев Д. А., Дианов Д. С. DOI 10.15838/esc.2023.1.85.4 // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 68–84.
2. Zupko, R. ForestSim: Spatially explicit agent-based modeling of non-industrial forest owner policies / Zupko, R., Rouleau, M. // SoftwareX. – № 9. – 2019. – P. 117–125. – URL: <http://doi.org/10.1016/j.softx.2019.01.008> (дата обращения: 30.11.2023). – Text : Electronic.
3. Агент-ориентированное моделирование регионального лесного комплекса / С. В. Дианов, К. А. Гулин, М. Б. Антонов, В. А. Ригин. – Вологда : Вологодский научный центр Российской академии наук, 2021. – 155 с.

*S.V. Dianov<sup>1</sup>, D.S. Dianov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Vologda State University,*

*<sup>2</sup>Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*

**SELECTION OF TOOLKIT FOR CREATION  
OF AN AGENT-BASED TIMBER HARVESTING MANAGEMENT MODEL**

The article presents the results of a research on the selection of tools that can ensure the creation of effective agent-based models of timber harvesting management. The criteria for choosing tools have been determined. The analysis of agent-based modeling environments was carried out using the proposed criteria.

Agent-based modeling, timber harvesting management, modeling tools, tool selection criteria, service-oriented approach.