

Экономика природопользования

УДК 630:330.4

ББК 65.341+65.050.03

© Гулин К.А., Дианов С.В., Антонов М.Б.

АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ¹



ГУЛИН КОНСТАНТИН АНАТОЛЬЕВИЧ

Вологодский научный центр Российской академии наук
Россия, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а
E-mail: gjil@vscc.ac.ru



ДИАНОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Вологодский государственный университет
Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15
E-mail: dianov.sv@mail.ru



АНТОНОВ МИХАИЛ БОРИСОВИЧ

ООО «ЛанЭкс»
Россия, 160012, г. Вологда, Советский пр., 62–12
E-mail: info@lanex.pro

Лесной комплекс Российской Федерации занимает важное место в экономике страны. Леса России – один из ценнейших возобновляемых природных ресурсов. Они составляют более четверти мировых запасов древесной биомассы и выполняют значительные средообразующие и средозащитные функции. Имеющиеся запасы лесных ресурсов Российской Федерации позволяют обеспечить не только текущие и перспективные внутренние потребности страны в древесине и продуктах ее переработки, но и значительно расширить экспорт лесных товаров. Но в то же время длительная экстенсивная эксплуатация лесов, направленная на изъятие запасов хвойной древесины, проводимая без должного внимания к проблеме смены хвойных лесных пород на мягколиственные, привела к тому, что за последние девяносто лет доля лесов, покрытых хвойными насаждениями, снизилась с 90 до 50 процентов. Решение сы-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 17-06-00514 А).

рьево́й пробле́мы тре́бует значительного увеличения внимания к вопросам лесовосстановления. С учетом того что реальный результат всех мероприятий по лесовосстановлению, выражающийся как в количественном, так и в качественном составе лесного покрова, может быть достигнут лишь по прошествии нескольких десятков лет, комплексное решение поставленной задачи представляется весьма затруднительным без создания научно обоснованной системы поддержки принятия решений, для реализации которой предполагается использовать системы агент-ориентированных моделей. В статье дается описание общих принципов построения агент-ориентированных моделей, включая описание алгоритма выбора модели поведения агентом. Разработаны контекстная диаграмма и общая функциональная схема модели лесовосстановления. Выделены основные агенты, действующие в модели, приводятся их основные характеристики, включая цели, мотивы и сценарии поведения, взаимодействие агентов друг с другом и внешней средой. В ходе дальнейшего развития модели предполагается детализация и конкретизация характеристик агентов, условий выбора того или иного сценария, оценка взаимного влияния данного выбора как на внешнюю среду, так и на изменение характеристик самого агента.

Агент-ориентированное моделирование, лесной комплекс, лесовосстановление, системы поддержки принятия решения.

Лесной комплекс Российской Федерации занимает важное место в экономике страны. Леса России – один из ценнейших возобновляемых природных ресурсов. Они составляют более четверти мировых запасов древесной биомассы и выполняют значительные средообразующие и средозащитные функции.

Общий запас древесины в Российской Федерации составляет 82,1 млрд куб. м. На долю ценных пород приходится 77% от общего запаса. Расчетная лесосека составляет 635 млн куб. м., а годичный прирост древесины в лесах России – 994 млн куб. м².

Имеющиеся запасы лесных ресурсов Российской Федерации позволяют обеспечить не только текущие и перспективные внутренние потребности страны в древесине и продуктах ее переработки, но и значительно расширить экспорт лесных товаров. В 45 субъектах Российской Федерации производство лесобумажной продукции составляет от 10 до 50 процентов от общих объемов промышленной продукции этих регионов.

Одним из таких субъектов Российской Федерации, для которого региональный лесной комплекс имеет большое значение для социально-экономического положения, является

Вологодская область, и выбор ее в качестве объекта исследования далеко не случаен. Область занимает одно из ведущих мест среди субъектов России по наличию лесосырьевых ресурсов, ее социально-экономическое развитие неразрывно связано с расширением и рациональным использованием лесов.

Так, среди регионов России область занимает 2-е место по производству деловой древесины, 2-е место по производству древесностружечных плит, 3-е место по производству клееной фанеры, 4-е место по выпуску пиломатериалов³.

Общая площадь лесов области составляет 11 657,5 тыс. га, в том числе земли лесного фонда – 11 473,4 тыс. га. Общий запас лесных насаждений на землях лесного фонда Вологодской области, по данным государственного лесного реестра, на 1 января 2017 года составляет 1614,93 млн м³, в том числе хвойных – 817,03 млн м³ (50,6%). На долю еловых древостоев приходится 26,6%, сосновых – 23,9%, березовых – 36,6%, осиновых – 11,3%, прочих пород – 1,6%. Общий запас древесины в спелых и перестойных лесах составляет 1074,6 млн м³.

С учетом удобного географического расположения Вологодской области, наличия

² Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года: утверждена Приказом Минпромторга России и Минсельхоза России от 31 октября 2008 г. № 248/482.

³ Государственная программа «Развитие лесного комплекса Вологодской области на 2014–2020 годы»: утверждена постановлением Правительства области от 28 октября 2013 года № 1110.

необходимых мощностей по заготовке и переработке древесины и производству основных видов лесопродукции, обеспеченности трудовыми ресурсами наличие достаточных запасов лесных ресурсов позволяет рассчитывать на высокие темпы развития лесной отрасли в регионе. В то же время нельзя не отметить и целый ряд системных проблем⁴, среди которых можно выделить следующие:

- сырьевая проблема (смена лесных пород – хвойных на мягколиственные);
- незаконные рубки леса;
- недостаточная развитость лесной инфраструктуры;
- отсутствие достоверной информации о наличии лесных ресурсов;
- проблема создания эффективной системы пожарной безопасности;
- проблема кадрового обеспечения лесного хозяйства.

При этом если большинство из вышеуказанных проблем при грамотном подходе возможно решить в относительно краткие сроки, то вопрос смены лесных пород требует особого подхода. Само возникновение сырьевой проблемы стало возможно благодаря длительной экстенсивной эксплуатации лесов, направленной на изъятие запасов хвойной древесины, без должного внимания к проблеме лесовосстановления. Вследствие чего произошло увеличение доли лиственных насаждений, ухудшение санитарного и лесопатологического состояния лесов. Так, по данным учета лесного фонда 1927 года, мягколиственными насаждениями было занято около 10% покрытой лесом площади. К настоящему времени этот показатель почти достиг пятидесятипроцентной отметки. Очевидно, что для решения этой проблемы необходимо значительное увеличение внимания к вопросам лесовосстановления. Причем такая ситуация характерна не только для Вологодской области. Так, в Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2020 года неудовлетворительное качество лесовосстановления признается

⁴ Стратегия развития лесного кластера Вологодской области на период до 2020 года: одобрена Постановлением Правительства области от 19 мая 2014 года № 406.

одним из основных факторов, обусловивших появление системных проблем в развитии лесного хозяйства.

Теоретическим проблемам использования и воспроизводства лесных ресурсов посвящено достаточно большое количество научных разработок. Само понятие «эффективное воспроизводство лесных ресурсов» трактуется различными исследователями по-разному. По мнению Н.А. Моисеева [9], это комплекс мер, направленный на динамическое сбалансирование растущих потребностей в долгосрочной перспективе с помощью заблаговременно проводимого комплекса мероприятий. П.В. Васильев [3] считал, что «главным условием и признаком расширенного воспроизводства лесов является непрерывное из года в год достижение увеличения эффективного и потенциального запаса качественной древесины на используемых площадях». Н.И. Кожухов [6] считает, что расширенное воспроизводство лесных ресурсов представляет собой процесс непрерывного повышения производительной способности биоценозов. Несмотря на консолидированное мнение о необходимости эффективного лесовосстановления, на сегодняшний день нет единого подхода к выбору способа проведения лесовосстановительных мероприятий. В качестве основного признается путь естественного восстановления при максимально возможном использовании естественной восстановительной способности лесов и увеличении объемов мероприятий по содействию естественному возобновлению. В то же время все более остро встает вопрос о необходимости перехода к интенсивной модели ведения лесного хозяйства [1]. При этом на практике при выборе способа и методов лесовосстановления необходимо руководствоваться Лесным кодексом РФ.

На сегодняшний день мероприятия по лесовосстановлению осуществляются в соответствии с Правилами лесовосстановления, утвержденными приказом Минприроды России от 29.06.2016 № 375, с целью обеспечения восстановления вырубленных, погибших, поврежденных лесов, сохранения биологического разнообразия и полезных функций лесов.

Организация и проведение работ по лесовосстановлению на лесных участках, предоставленных в аренду для заготовки древесины, обеспечивается арендаторами этих лесных участков, на всех остальных участках – органами государственной власти и органами местного самоуправления в соответствии с Лесным кодексом РФ.

Лесовосстановительные мероприятия осуществляются в соответствии с проектом лесовосстановления, содержащим детальные характеристики лесного участка, выявленные в ходе его обследования, на основании которых выбирается непосредственно естественный, искусственный или комбинированный способ лесовосстановления.

Естественное лесовосстановление

В целях содействия естественному лесовосстановлению вследствие природных процессов, планируемому в таежной зоне, осуществляются следующие мероприятия:

- сохранение подроста главных лесных древесных пород, способного образовывать в данных природно-климатических условиях новые лесные насаждения;
- сохранение жизнеспособного укоренившегося подроста и молодняка главных лесных древесных пород при проведении рубок лесных насаждений;
- уход за подростом главных лесных древесных пород на площадях, не занятых лесными насаждениями;
- минерализация поверхности почвы на местах планируемых рубок спелых и перестойных насаждений и на вырубках;
- оставление семенных деревьев, куртин и групп;
- огораживание площадей;
- подавление корнеотпрысковой способности деревьев (инъекции арборицидов или окольцовывание).

Меры по сохранению подроста лесных насаждений ценных лесных древесных пород осуществляются одновременно с проведением рубок лесных насаждений. Рубка в таких случаях проводится преимущественно в зимнее время по снежному покрову с примене-

нием технологий, позволяющих обеспечить сохранение от уничтожения и повреждения подроста и молодняка ценных лесных древесных пород. Сохранению подлежит жизнеспособный подрост и молодняк главных лесных древесных пород в соответствующих им природно-климатических условиях. Пораженный вредными организмами, слаборазвитый и поврежденный при рубке леса подрост должен быть срублен.

В случае опасности повреждения и уничтожения всходов и подроста древесных растений дикими или домашними животными проводятся мероприятия по огораживанию площадей.

На площадях, имеющих источники семян главных лесных древесных пород лесных насаждений, может проводиться минерализация почвы.

Учет результатов мер содействия естественному лесовосстановлению проводится не ранее чем через два года после проведения работ.

Искусственное лесовосстановление

Искусственное лесовосстановление проводится в случае, если невозможно обеспечить естественное лесовосстановление или нецелесообразно комбинированное лесовосстановление хозяйственно ценными лесными древесными породами, а также на лесных участках, на которых погибли лесные культуры.

Лесные культуры могут создаваться из лесных растений одной главной лесной древесной породы, которая выбирается из местных лесных древесных пород, отвечает целям лесовосстановления и соответствует природно-климатическим условиям лесного участка (чистые культуры), или из лесных растений нескольких главных и сопутствующих лесных древесных и кустарниковых пород (смешанные культуры), при выборе которых учитывается их влияние на главную лесную древесную породу.

Основным методом создания лесных культур является посадка, которая осуществляется различными видами посадочного материала. Для искусственного и комбини-

рованного лесовосстановления используется посадочный материал, который должен соответствовать определенным критериям и требованиям.

Комбинированное лесовосстановление

Комбинированное лесовосстановление осуществляется путем посадки и посева на лесных участках, на которых не обеспечивается естественное лесовосстановление лесных насаждений главными лесными древесными породами.

При комбинированном лесовосстановлении первоначальная густота посадки (посева) главной лесной древесной породы на единице площади устанавливается в зависимости от количества имеющегося жизнеспособного подроста и молодняка главной лесной древесной породы.

Кроме непосредственных работ по лесовосстановлению, к мероприятиям по воспроизводству лесов относится и уход за лесами – рубки при уходе за лесом без ликвидной древесины (рубки осветления и прочистки), выполнение которых обеспечивает арендатор лесных участков в соответствии с проектом освоения лесов.

Ключевая особенность всех проводимых мероприятий по лесовосстановлению – достижение реального результата от их проведения, выражающегося как в количественном, так и качественном составе лесного покрова, лишь по прошествии нескольких десятков лет. С учетом этого одним из перспективных сфер научных изысканий в данном направлении может быть разработка, апробация и применение имитационных моделей процессов использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, лесопереработки и лесопользования.

Очевидно, что комплекс мероприятий по лесовосстановлению, как и лесная отрасль в целом, представляет собой сложную систему, насчитывающую большое количество различных взаимодействующих субъектов. Традиционно для моделирования отдельных элементов лесного комплекса использовались ставшие уже классическими методы

аналитического моделирования. Но вследствие большой сложности реальной системы взаимоотношения в лесном хозяйстве применение этих методов сталкивается с рядом проблем, основной из которых является необходимость поиска «золотой середины» между упрощением и сложностью системы, что как правило носит ярко выраженный субъективный характер, во многом зависит от квалификации и интуиции исследователя. Кроме того, при моделировании сложных систем с применением аналитического и имитационного методов достаточно сложным оказывается вопрос внесения даже незначительных изменений в структуру модели. В связи с этим для решения задач моделирования сложных систем возникла парадигма агент-ориентированного моделирования, использующая интеллектуальных агентов как высокоуровневую абстракцию для формализации и структурирования предметной области и как мощное программное средство для разработки и реализации сложных моделей.

Отличительной особенностью агент-ориентированного моделирования является использование в качестве основных элементов агентов, имеющих индивидуальное поведение. Агенты характеризуются такими свойствами, как активность, инициативность, способность обучаться, общаться, интеллект и т. д. При этом каждый из агентов обладает не только заданным набором личностных характеристик, но и целевой функцией, на основе чего имитируются реакции на изменения внешней среды и поведение других агентов.

В настоящее время, несмотря на относительную «молодость» метода агент-ориентированного моделирования, спектр исследований по его применению в различных отраслях лесного хозяйства достаточно широк. В основном это касается зарубежных исследований. Так, большое количество материалов посвящено различным аспектам моделирования рынков лесоматериалов. Klaus G. Troitzsch [26] делает попытку применить опыт агент-ориентированных моделей рынка городского жилья в Бразилии и немецкого фармацевтического рынка для построе-

ния модели рынка древесины в Швейцарии. Ernst Gebetsroither, Alexander Kaufmann, Ute Gigler, Andreas Resetarits [18] представляют комплексную агент-ориентированную модель процессов самоорганизации при адаптивном управлении лесами. Вызывает определенный интерес предлагаемая в работах F. Kostadinova [21; 22] и др. модель рынка древесины Швейцарии, построенная на базе АОМ.

Для большинства рассматриваемых моделей характерной особенностью является выделение в качестве основных агентов тех или иных объединений людей: частные домохозяйства, муниципалитеты, коммерческие организации и т. п. Так в работах Stefan Holm [20] и др., Jessica E. Leahy [23] и др., Diana D. Valeriano [27] и др. лес рассматривается как один из ресурсов с достаточно простым, не требующим сложного моделирования алгоритмом развития.

Достаточно большое число исследований по применению агент-ориентированных моделей в лесной отрасли уделяется проблематике борьбы с лесными пожарами [19; 24; 25].

В России направление агент-ориентированного моделирования в последние годы находит все большее распространение. Появляются наработки российских ученых в применении АОМ применительно к сложным социальным системам, муниципальному, региональному и государственному управлению и т. д. Это, в частности, исследования таких авторов, как В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Е.Д. Сушко [7; 8], В.И. Суслов [14], М.Р. Фаттахов [15] и др. С другой стороны, количество АОМ в лесной сфере носит единичный характер.

В работах П.Т. Воронкова [4; 5] и др. поднимаются общие вопросы применения имитационного моделирования в лесном хозяйстве. А в качестве наиболее комплексного, системного исследования можно отметить работу Ю.Ш. Блама [2] «Агентно-ориентированный подход к реализации модели лесного комплекса региона», в которой, по сути, делается попытка построения укрупненной архитектуры агент-ориентированной модели регионального лесного комплекса.

Как и в зарубежных работах, большое количество исследований посвящено возмож-

ности применения математического моделирования для борьбы с лесными пожарами. Здесь можно отметить работы Д.О. Морозова, А.А. Дектерева и др. [10; 11], Г.В. Соколовой [13], А.Н. Раздайводина и Д.Ю. Ромашкина [12], С.В. Ярового [16; 17].

Несмотря на различные взгляды и подходы к использованию агент-ориентированных моделей в лесном хозяйстве, использование различных подсистем лесного комплекса в качестве объекта моделирования, все исследователи отмечают тот факт, что использование агент-ориентированного подхода в моделировании лесных процессов позволяет решать вопросы сложности и масштабируемости модели, а возможности построения многоуровневых и вложенных агентов, индивидуальность поведения агентов как нельзя лучше подходят для моделирования таких сложных систем.

Как отмечалось выше, при построении модели процессов лесовосстановления придется рассматривать множество взаимосвязанных систем, различных по своей природе. Здесь, прежде всего, необходимо учитывать общие характерные особенности лесного хозяйства:

- 1) тесное переплетение процессов труда и биологических процессов роста и развития древесных пород, формирующих леса;
- 2) подверженность лесов антропогенным и природным воздействиям;
- 3) сезонность;
- 4) зависимость от комплекса местных условий, влияющих на географию леса и на системы лесохозяйственных мероприятий.

В общем виде под решением задач лесовосстановления стоит понимать целенаправленное воздействие органов управления лесным комплексом на всех участников процессов лесовосстановления, обеспечивающего достижение стратегических целей повышения эффективности использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов при гарантированном сохранении ресурсно-экологического потенциала и глобальных функций леса. Контекстная диаграмма модели лесовосстановления представлена на *рис. 1*.

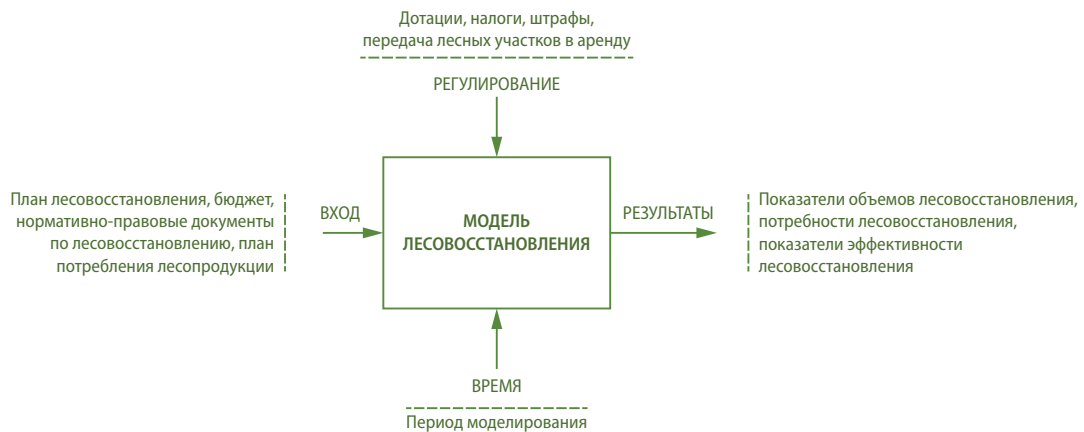


Рис. 1. Контекстная диаграмма модели лесовосстановления

Источник: составлено авторами.

Модель предназначена для регионально-го органа исполнительной государственной власти, в компетенцию которого входит решение вопросов по управлению региональным лесным комплексом. На его уровне задается период моделирования, определяются состав и значения регулирующих воздействий. Объектом моделирования являются процессы, связанные с лесовосстановлением. Основная цель модели – поиск оптимальных управленческих решений по реализации лесовосстановительных работ.

В соответствии с правилами лесовосстановления при разработке соответствующей модели целесообразно выделить четыре класса агентов: Арендаторы, Государственное ведомство, Лесхозы, Питомники. В ходе своей деятельности агенты взаимодействуют с друг другом и с окружающей средой, изменяя ее и в свою очередь меняя свои характеристики. Общая функциональная схема модели лесовосстановления представлена на рис. 2.

Как уже упоминалось выше, каждому агенту присущи некие общие свойства, характерные для данного класса агентов, а также уникальные характеристики, делающие его отличным от других. Ему соответствует своя модель поведения, в которой определены цели функционирования, убеждения, мотивы и сценарии поведения. Ниже представлены основные, базовые характеристики агентов, определенных авторами в модели лесовосстановления.

Агент Арендатор

Арендатор – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, заключивший договор аренды лесного участка для заготовки древесины.

В рамках предлагаемой модели Арендатор выполняет одну функцию – производство лесовосстановительных работ в соответствии с существующими требованиями, для выполнения которой он взаимодействует с Государственным ведомством при разработке проекта освоения лесов, при контроле и сдаче лесовосстановительных работ; с Лесхозом при заказе лесовосстановительных работ; с Питомником при приобретении посевного материала. При этом Лесхоз и Питомник могут быть подразделениями Арендатора.

Характеристика агента Арендатор приведена в табл. 1.

На выбор того или иного сценария поведения агентами модели влияют их убеждения, которые являются производными показателями от собственных характеристик агентов, а также от свойств и характеристик взаимосвязанных с ними агентов и свойств внешней по отношению к модели среды. Убеждения формируются индивидуально для каждого агента при реализации модели конкретной системы.

Общий алгоритм принятия решения на примере агента Арендатор представлен на рис. 3.

Результатом выполнения сценария на каждом этапе (шаге) моделирования явля-

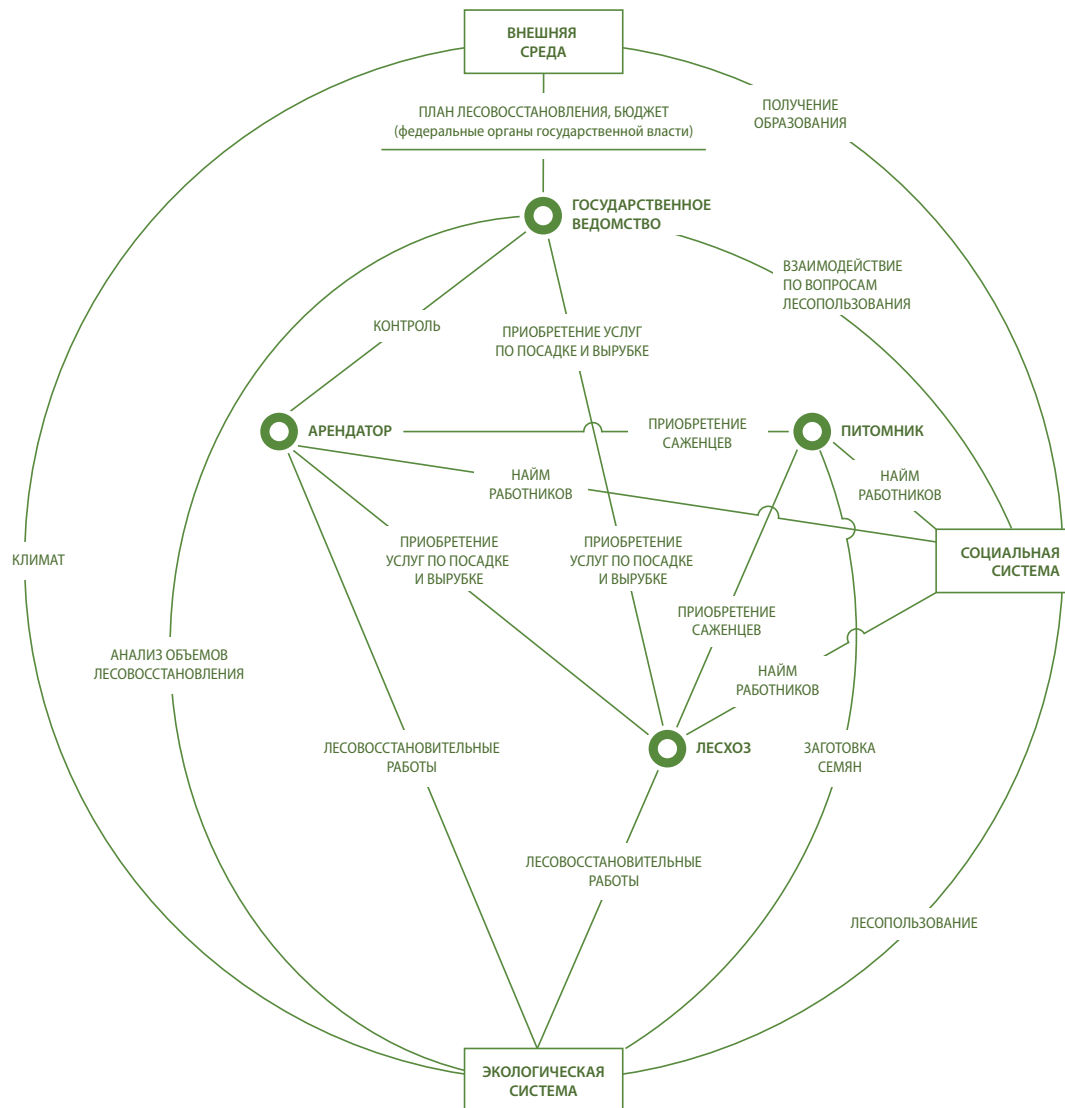


Рис. 2. Общая функциональная схема модели лесовосстановления

Источник: составлено авторами.

ется как изменение значений характеристик экологической системы, так и изменение характеристик самого агента.

Агент Государственное ведомство

Под Государственным ведомством в модели понимается орган исполнительной власти субъекта РФ или орган местного самоуправления, уполномоченный в области лесных отношений. Агент Государственное ведомство выполняет две условные группы функций:

1. В рамках выделенных субвенций из федерального бюджета осуществляет проведение работ по лесовосстановлению на участках, не переданных в аренду для заготовки древесины. При этом производится отбор

лесных участков, требующих лесовосстановления, в объеме, соответствующем выделяемым субвенциям, и осуществляется взаимодействие с агентами Лесхоз по проведению ими непосредственных работ по лесовосстановлению. Определение объема и состава работ по лесовосстановлению производится в соответствии с существующими правилами.

2. Выполнение функций по контролю за проведением Арендатором лесовосстановительных работ на участках, переданных в аренду для заготовки древесины, на всех этапах – от государственной экспертизы проекта освоения лесов до приемки работ.

В связи с тем функции агента Государственное ведомство связаны с проведением

Таблица 1. Характеристика агента Арендатор

Характеристики	<ul style="list-style-type: none"> – общая характеристика арендатора включает такие параметры, как регионы регистрации и фактического месторасположения основного производства; основное направление деятельности и его связь с заготовкой древесины; – общие экономические показатели основной деятельности за предыдущий период (в разрезе по годам): прибыльность или убыточность, объем выручки, основные средства, долгосрочные инвестиции и т. п.; – общее количество лесных участков, предоставленных в аренду для заготовки древесины, с детализацией по каждому лесному участку таких параметров, как местоположение участка (область – лесничество – участковое лесничество – лесотаксационный квартал – лесотаксационный выдел), дата заключения договора аренды и срок его действия, общий планируемый объем заготовки древесины на весь период договора аренды и в разрезе по годам; – наличие необходимой инфраструктуры для проведения работ по лесовосстановлению (в рамках предлагаемой модели наличие зависимых агентов Лесхоз и Питомник); – обеспеченность квалифицированными кадрами для планирования и контроля проводимых работ по лесовосстановлению; – репутация (в рамках предлагаемой модели репутация агента рассматривается для каждой его связи с другими агентами и внешней средой). С точки зрения взаимоотношений арендатора с органами государственной власти в рамках контроля лесовосстановления учитывается положительный или отрицательный опыт, полученный по результатам проводимых работ по лесовосстановлению за прошедший период, наличие замечаний и оперативность их устранения. С точки зрения взаимоотношений арендатора и органов государственной власти, являющихся элементами внешней среды в рамках данной модели (например, налоговые органы), учитывается общая история арендатора по уплате налогов, пени, штрафов и т. п. С точки зрения взаимоотношений арендатора с лесхозом или питомником учитывается история их взаимоотношений: своевременность и качество оказываемых услуг и их оплаты; – уровень коррумпированности (склонность решать вопросы выполнения взятых обязательств, в рамках модели – работ по лесовосстановлению, с использованием различных видов подкупа чиновников контролирующих органов)
Цели	<ul style="list-style-type: none"> – выполнение требуемых работ по лесовосстановлению с минимальными издержками; – получение потенциальной прибыли в долгосрочной перспективе за счет улучшения качества лесов на арендуемом лесном участке
Мотивы	<ul style="list-style-type: none"> – максимизация краткосрочной прибыли; – уменьшение рисков, связанных со штрафными санкциями; – поддержка репутации (добровольная лесная сертификация); – получение преимущества при продлении аренды лесных участков на последующие периоды; – расчет на долгосрочную прибыль
Сценарии	<ul style="list-style-type: none"> – отказ от выполнения лесовосстановительных работ (вырубка леса с отказом от дальнейших обязательств, например, через банкротство фирмы); – полное или частичное выполнение работ по лесовосстановлению «на бумаге» (коррупционные связи); – выполнение минимально требуемого объема работ по лесовосстановлению; – проведение работ по расширенному воспроизводству лесов (интенсивное лесопользование)
Источник: составлено авторами.	



Рис. 3. Алгоритм выбора сценария поведения агентом Арендатор

Источник: составлено авторами.

ем организационных мероприятий по вопросам лесовосстановления, в его модели поведения учитываются характеристики, так или иначе связанные с кадровым обеспечением (табл. 2).

Агент Лесхоз

В рамках предлагаемой модели под Лесхозом понимается предприятие, основной функцией которого является выполнение работ по лесовосстановлению. В качестве лесхоза может выступать как отдельное юридическое лицо, так и подразделение Арендатора. Лесхоз взаимодействует с Государственным ведомством при выполнении лесовосстановительных работ на лесных участках, требующих лесовосстановления и не переданных в аренду для заготовки древесины, с Арендатором – при выполнении работ по лесовосстановлению на арендованных участках, с Питомником – при покупке саженцев и семенного материала, при этом Питомник может быть подразделением Лесхоза.

Если Лесхоз является подразделением Арендатора, то Арендатор в этом случае может играть как роль единственного заказчика, при которой Лесхоз проводит лесовосстановление только на его участках, так и роль приоритетного заказчика, при которой Лесхоз предлагает работы по лесовосстановле-

нию другим Арендаторам и Государственному ведомству.

Характеристика агента Лесхоз приведена в табл. 3.

Агент Питомник

В рамках предлагаемой модели под Питомником понимается предприятие, основной функцией которого является выполнение работ по подготовке семенного материала и выращиванию саженцев для лесовосстановительных работ. В качестве Питомника может выступать как отдельное юридическое лицо, так и подразделение Арендатора или Лесхоза. Питомник взаимодействует с Лесхозом при поставке (продаже) семян и саженцев.

Если Питомник является подразделением Арендатора или Лесхоза, то его связи с другими Арендаторами и Лесхозами могут быть ограничены (работа с единственным заказчиком).

Характеристика агента Питомник приведена в табл. 4.

В ходе дальнейшего развития модели предполагаются детализация и конкретизация характеристик агентов, условий выбора того или иного сценария, оценка взаимного влияния данного выбора как на внешнюю среду, так и на изменение характеристик самого агента.

Таблица 2. Характеристика агента Государственное ведомство

Характеристики	<ul style="list-style-type: none"> – обеспеченность квалифицированными кадрами для планирования и контроля работ по лесовосстановлению (интегральный показатель, характеризующий как укомплектованность персоналом, так и его квалификацию, а также соответствие штатной численности объемам проводимых работ); – уровень коррумпированности (склонность извлечения личной выгоды при осуществлении функций контроля за действиями Арендаторов и Лесхозов)
Цели	<ul style="list-style-type: none"> – организация выполнения требуемых объемов лесовосстановления; – повышение качества восстанавливаемых лесов в долгосрочной перспективе
Мотивы	<ul style="list-style-type: none"> – минимизация собственных усилий (интегральный показатель, характеризующий склонность сотрудников качественно выполнять свою работу); – улучшение собственного материального положения (интегральный показатель, характеризующий уровень удовлетворенности сотрудников размером заработной платы); – карьерный рост, продвижение по службе (интегральный показатель, характеризующий заинтересованность сотрудников в карьерном росте); – улучшение (сохранение) имиджа (репутации)
Сценарии	<ul style="list-style-type: none"> – приемка выполнения работ по лесовосстановлению; – подбор участков для лесовосстановления; – анализ объемов лесовосстановления; – приобретение услуг по посадке; – приобретение услуг по вырубке
Источник: составлено авторами.	

Таблица 3. Характеристика агента Лесхоз

Характеристики	<ul style="list-style-type: none"> – общая характеристика Лесхоза включает такие параметры, как регионы регистрации и фактического месторасположения основных производственных мощностей, принадлежность Арендатору и тип взаимосвязи с ним; – общие экономические показатели основной деятельности за предыдущий период (в разрезе по годам): прибыльность или убыточность, объем выручки, основные средства, долгосрочные инвестиции и т. п.; – производственные мощности для проведения работ по лесовосстановлению (обеспеченность специализированной техникой, наличие собственного Питомника); – себестоимость выполняемых работ; – обеспеченность квалифицированными кадрами для планирования и контроля проводимых работ по лесовосстановлению; – репутация (по аналогии с описанием для агента Арендатор, репутация рассматривается для каждой связи с другими агентами); – уровень коррумпированности
Цели	<ul style="list-style-type: none"> – получение прибыли от основной деятельности, снижение издержек производства; – увеличение объемов производства, расширение географии проводимых работ
Мотивы	<ul style="list-style-type: none"> – максимизация краткосрочной прибыли; – поддержка репутации; – расчет на долгосрочную прибыль
Сценарии	<ul style="list-style-type: none"> – полное или частичное выполнение работ по лесовосстановлению «на бумаге» (коррупционные связи); – выполнение минимально требуемого объема работ по лесовосстановлению; – проведение работ по расширенному воспроизводству лесов с применением и внедрением новых технологий и техники, расширение производственных мощностей
Источник: составлено авторами.	

Таблица 4. Характеристика агента Питомник

Характеристики	<ul style="list-style-type: none"> – общая характеристика Питомника включает такие параметры, как регионы регистрации и фактического месторасположения основных производственных мощностей, принадлежность Арендатору или Лесхозу и тип взаимосвязи с ними; – общие экономические показатели от основной деятельности за предыдущий период (в разрезе по годам): прибыльность или убыточность, объем выручки, основные средства, долгосрочные инвестиции и т. п.; – производственные мощности по заготовке семян, выращиванию саженцев, используемые технологии; – себестоимость посадочного материала; – обеспеченность квалифицированными кадрами для проведения работ по подготовке посадочного материала; – репутация (по аналогии с описанием для агента Арендатор, репутация рассматривается для каждой связи с другими агентами); – уровень коррумпированности
Цели	<ul style="list-style-type: none"> – получение прибыли основной деятельности, снижение издержек производства; – увеличение объемов производства, расширение географии поставки.
Мотивы	<ul style="list-style-type: none"> – максимизация краткосрочной прибыли; – поддержка репутации; – расчет на долгосрочную прибыль
Сценарии	<ul style="list-style-type: none"> – поставка посадочного материала низкого качества, не соответствующего требованиям к посадочному материалу для проведения лесовосстановления, с подтверждением качества «на бумаге» (коррупционные связи); – поставка посадочного материала, в необходимой степени соответствующего предъявляемым требованиям; – отбор и выращивание посадочного материала с повышенными качествами, внедрение и использование передовых технологий выращивания саженцев и т. п.
Источник: составлено авторами.	

Внешняя среда в рамках рассматриваемой модели не имеет строгой структуры. Ее элементы (экосистема, климат, социальная система, свод нормативных документов и правил, экономические параметры) вводятся с целью генерации параметров внешних воздействий на поведение моделируемых агентов. Применительно к разрабатываемой модели нас не интересует вопрос су-

ществования взаимосвязей между компонентами внешней системы. Сами элементы внешней системы могут быть совершенно разными по своей природе. В архитектуре модели они должны иметь собственный набор свойств и моделей поведения. Элементы внешней среды обеспечивают принципы открытости системы в разрабатываемой модели.

Так, на первом этапе можно рассматривать климатические изменения как некоторое случайное распределение отклонений погодных условий от среднего значения, которые, безусловно, оказывают влияние на результаты лесовосстановительных работ в краткосрочной перспективе, но это практически не скажется на результатах роста лесных насаждений в перспективе 50–80 лет. В то же время в модель климата возможно внесение сценария глобальных изменений (например, потепление, увеличение осадков и т. п.), что может в значительной степени сказаться на модели развития экосистемы и, соответственно, на конечных результатах моделирования.

Основной целью работы, результаты которой представлены в данной статье, являлось подтверждение возможности адекватной интерпретации разработанных авторами архитектуры агент-ориентированной системы регионального лесного комплекса и моделей поведения агентов применительно к системе

лесовосстановления, а также ее актуальности. Построение полноценной действующей модели на данном этапе не рассматривалось, это относится к последующим задачам.

Для подтверждения практической значимости представленной модели предполагается дальнейшая ее детализация и доработка с целью получения результатов моделирования, использование которых может оказать поддержку при принятии решений по следующим проблемам:

- оптимизация алгоритма выбора участков для проведения лесовосстановительных работ с учетом различных критериев, в том числе повышения перспективной стоимости лесных участков, увеличения объемов участков, на которых проведены лесовосстановительные работы, и т. п.;

- выбор того или иного способа лесовосстановления как в плане полного изменения методики выбора способа лесовосстановления, так и с точки зрения выбора состава посевных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабич, Н. А. Актуальные проблемы лесовосстановления на европейском севере России в рамках перехода в интенсивной модели ведения лесного хозяйства [Текст] / Н. А. Бабич, С. А. Корчагов, О. А. Кошюшатов, Н. Н. Стребков, И. Н. Лупанова // Лесной журнал. – 2013. – № 2.
2. Блам, Ю. Ш. Агентно-ориентированный подход к реализации модели лесного комплекса региона [Текст] / Ю. Ш. Блам // Вестник КузГТУ. – 2014. – № 4. – С. 176–180.
3. Васильев, П. В. Экономика использования и воспроизводства лесных ресурсов [Текст] / П. В. Васильев. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1963. – 484 с.
4. Воронков, П. Т. Имитационное моделирование в анализе использования лесов [Текст] / П. Т. Воронков, В. В. Дегтерев, А. С. Шальнев // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2013. Материалы III Международной научно-практической конференции, 22–24 мая 2013 г., Санкт-Петербург, ФБУ «СПбНИИЛХ». Ч. 1. – СПб. : СПбНИИЛХ, 2013. – С. 132.
5. Воронков, П. Т. Применение методов имитационного моделирования динамики качественных показателей древостоя [Текст] / П. Т. Воронков, В. В. Дегтерев // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2016. Тезисы докладов V Международной научно-практической конференции, 31 мая – 2 июня 2016 г., Санкт-Петербург, ФБУ «СПбНИИЛХ». – СПб. : СПбНИИЛХ, 2016. – С. 45.
6. Кожухов, Н. И. Экономические методы управления расширенным производством лесных ресурсов [Текст] / Н. И. Кожухов // Автореф. дисс. ... д-ра экон. наук : 08.00.05. – 1982. – 42 с.
7. Макаров, В. Л. Компьютерное моделирование взаимодействия между муниципалитетами, регионами, органами государственного управления [Текст] / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко // Проблемы управления. – 2013. – № 6. – С. 31–40.
8. Макаров, В. Л. Новый инструментарий в общественных науках – агент-ориентированные модели: общее описание и конкретные примеры [Текст] / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин. // Экономика и управление. – 2009. – № 12 (50). – С. 13–25.
9. Моисеев, Н. А. Оптимизация воспроизводства лесных ресурсов [Текст] / Н. А. Моисеев, В. В. Комков. – М. : Лесн. пром-сть, 1987. – 246 с.

10. Морозов, Д. О. К вопросу о математическом моделировании катастрофических лесных пожаров [Текст] / Д. О. Морозов, А. А. Дектерев, Е. И. Пономарев // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2013. Материалы III Международной научно-практической конференции, 22–24 мая 2013 г., Санкт-Петербург, ФБУ «СПбНИИЛХ». Ч. 2. – СПб. : СПбНИИЛХ, 2013. – С. 115.
11. Морозов, Д. О. Численное моделирование распространения фронта низового пожара [Текст] / Д. О. Морозов, А. А. Дектерев, К. В. Милин // Инновации и технологии в лесном хозяйстве – 2014. Тезисы докладов IV Международной научно-практической конференции, 27–28 мая 2014 г., Санкт-Петербург, ФБУ «СПбНИИЛХ». – СПб. : СПбНИИЛХ, 2014. – С. 84.
12. Раздайводин, А. Н. Комплексная оценка опасности лесных пожаров в зонах радиоактивного загрязнения лесов [Текст] / А. Н. Раздайводин, Д. Ю. Ромашкин // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – СПб., 2011. – Вып. 1 (24). – Ч. 1. – С. 239.
13. Соколова, Г. В. Прогнозная оценка вероятности развития лесных пожаров до крупномасштабных в районах Северо-Восточной Азии [Текст] / Г. В. Соколова // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – СПб., 2011. – Вып. 1 (24). – Ч. 1. – С. 234.
14. Суслов, В. И. Опыт агент-ориентированного моделирования пространственных процессов в большой экономике [Текст] / В. И. Суслов, Д. А. Доможиров, В. С. Костин, Л. В. Мельникова, Н. М. Ибрагимов, А. А. Цыплаков // Регион: экономика и социология. – 2014. – № 4. – С. 32–54.
15. Фаттахов, М. Р. Агент-ориентированная модель социально-экономического развития Москвы [Текст] / М. Р. Фаттахов // Экономика и математические методы. – 2013. – № 2. – С. 30–42.
16. Яровой, С. В. Агентный подход при моделировании лесопожарных ситуаций [Текст] / С. В. Яровой // Программные продукты и системы. – 2016. – Т. 29. – № 3. – С. 101–108.
17. Яровой, С. В. Применение агентного подхода для моделирования процессов распространения и локализации природных пожаров [Текст] / С. В. Яровой, Г. А. Дорер // Хвойные бореальной зоны. – 2016. – Т. 37. – № 5–6. – С. 237–240.
18. Gebetstroiter E., Kaufmann A., Gigler U., Resetarits A. Agent-based modelling of self-organization processes to support adaptive forest management. *Contributions to Economics*, 2006, part 4, pp. 153–172. Available at: http://dx.doi.org/10.1007/3-7908-1721-X_8
19. Guangjun Zh., Yaodong L. *Agent-based modeling and simulation for open complex systems*. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5456783>
20. Holm S., Lemm R., Thees O., Hilty L.M. *Enhancing Agent-Based Models with Discrete Choice Experiments*. Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/19/3/3.html>
21. Kostadinov F., Steubing B. *An agent-based model of an energy wood market in a Swiss region*. Available at: http://www.issw.ch/fe/waldressourcen/produktionssysteme/publikationen/ESSA2011_FabianKostadinov_v2.pdf
22. Kostadinov F., Holm S., Steubing B., Thees O., Lemm R. *Simulation of a Swiss wood fuel and roundwood market: An explorative study in agent-based modeling*. Available at: http://www.wsl.ch/fe/waldressourcen/produktionssysteme/publikationen/Kostadinov_et_al_Simulation_of_a_Swiss_wood_fuel_and_roundwood_market_An_explorative_study_in_agent-based_modeling.pdf
23. Leahy J.E., Gorczyca Reeves E., Bell K.P., Straub C.L., Wilson J.S. *Agent-Based Modeling of Harvest Decisions by Small Scale Forest Landowners in Maine, USA*. Available at: <https://www.hindawi.com/journals/ijfr/2013/563068>
24. Niazi Muaz A.K., Siddique Q., Hussain A., Kolberg M. *Verification and Validation of an Agent-Based Forest Fire Simulation Model*. Available at: <https://www.stir.ac.uk/research/hub/publication/723>
25. Spies T.A. [et al]. *Using an agent-based model to examine forest management outcomes in a fire-prone landscape in Oregon, USA*. Available at: <https://www.ecologyandsociety.org/.../ES-2016-8841.pdf>
26. Troitzsch K. Agentenbasierte Modellierung von Märkten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (SZF)*, 2012, vol. 163/10, pp. 408–416. Available at: <http://szf-jfs.org/doi/pdf/10.3188/szf.2012.0408>
27. Valeriano D.D., Buurman M., Valeriano D.M., Amaral S. *Agent-Based Model to simulate Araucaria angustifolia Forest Dynamics as a tool for Forest Management*. Available at: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wcama/2014/002.pdf>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гулин Константин Анатольевич – доктор экономических наук, доцент, заместитель директора, заведующий отделом проблем научно-технологического развития и экономики знаний. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Россия, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а. E-mail: gil@vssc.ac.ru. Тел.: +7(8172) 59-78-22.

Дианов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии». Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет». Россия, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15. E-mail: dianov.sv@mail.ru. Тел.: +7(911) 538-87-00.

Антонов Михаил Борисович – директор. ООО «ЛанЭкс». Россия, 160012, г. Вологда, Советский пр., 62–12. E-mail: info@lanex.pro. Тел.: +7(964) 665-96-26.

Gulin K.A., Dianov S.V., Antonov M.B.

AN AGENT-BASED APPROACH TO IMPLEMENTING THE MODEL OF FOREST RESTORATION

The timber complex of the Russian Federation occupies an important place in the country's economy. Russian forests are one of the most valuable renewable natural resources. They constitute more than a quarter of world reserves of wood biomass and perform significant environmental and protective functions. The existing forest resources in Russian both provide current and future domestic demand for timber and processed products, and significantly expand exports of forest products. But at the same time long-term extensive forest exploitation aimed at withdrawal of stocks of softwood carried out without due attention to the issue of the replacement of coniferous species with soft-wooded broadleaved species, has led to the fact that over the past ninety years, the share of coniferous forests decreased from 90 to 50 %. The solution to the commodity issue requires increased attention to the issues of forest restoration. Given the fact that the real result of all activities on forest restoration expressed both in quantitative and qualitative composition of the forest cover, can be achieved only after several decades, a comprehensive solution to the problem seems difficult to achieve without creating a scientifically proven system of decision-making support which is expected to be implemented with the use of a system of agent-based models. The article describes general principles of agent-based models, including the description of the algorithm of agent's choice of behavior pattern. We developed a context diagram and a general functional scheme of a forest restoration model. We identify the main agents acting in the model; describe their main characteristics, including their goals, motives and behavior scenarios, the interaction of agents with each other and the external environment. Further model development implies detailed elaboration and specification of agents' characteristics, conditions of scenario choice, assessment of mutual influence of this choice on the environment and agents' characteristics.

Agent-based modeling, timber complex, forest restoration, decision-making support system.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gulin Konstantin Anatol'evich – Doctor of Economics, Associate Professor, Deputy Director for Science, Head of the Department of Scientific and Technological Development and Knowledge Economics. Federal State Budgetary Institution of Science “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”. 56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation. E-mail: gil@vscc.ac.ru. Phone: +7(8172) 59-78-22.

Dianov Sergei Vladimirovich – Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Information Systems and Technology. Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Vologda State University”. 15, Lenin Street, Vologda, 160000, Russian Federation. E-mail: dianov.sv@mail.ru. Phone: +7(911) 538-87-00.

Antonov Mikhail Borisovich – Director, OOO LanEks. 62-12, Sovetsky Avenue, Vologda, 160012, Russian Federation; e-mail: info@lanex.pro. Phone: +7(964) 665-96-26.