

<https://doi.org/10.31631/2073-3046-2026-25-1-12-20>

Инструмент для оценки качества отчетов о результатах агентного моделирования (адаптированная версия протокола ODD)

Н. В. Саперкин*, Ю. Н. Новиков, М. Е. Гарбуз, В. И. Кондрашова, О. В. Ковалишена

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет»
Минздрава России, г. Нижний Новгород

Резюме

Актуальность. Агентный подход к моделированию широко востребован в самых разных областях науки, в т.ч. при изучении закономерностей распространения инфекционных болезней. **Цель.** Разработка русскоязычной адаптированной версии протокола «ODD» для совершенствования качества описания результатов агентного моделирования в эпидемиологических исследованиях. **Материалы и методы.** Использована оригинальная методологическая разработка группы авторов на английском языке «Overview, Design concept, Details», или ODD. При подготовке адаптированной версии протокола ODD были определены основополагающие пользовательские моменты. Согласованность экспертных оценок определяли путем расчет коэффициента каппа согласно методике Флейсса. Статистический анализ проводили в среде R 4.3.2 (RStudio). **Результаты и обсуждение.** Предложена русскоязычная версия ODD, предназначенная для полноценного описания процесса разработки модели и результатов моделирования для использования в медико-биологических исследованиях. В статье особое внимание уделено разделу «Концепции дизайна». Рекомендации, изложенные в нем, позволяют обосновать дизайн модели, сделать ее представление менее произвольным и более научным. В русскоязычной версии ODD содержатся все 11 понятий, касающихся дизайна, с кратким описанием их назначения и контрольным списком вопросов, на которые следует обратить внимание. К элементам дизайна отнесены: базовые принципы, возникновение новых результатов, адаптация, цели, обучение, прогнозирование, восприятие, взаимодействие агентов, стохастичность процессов, наблюдение. Дается характеристика отчета по рекомендациям ODD как в полном, так и сокращенном виде. В последнем случае читателю предлагается ознакомиться с кратким текстовым шаблоном оформления рукописи. **Заключение.** Используя протокол ODD, исследователь сможет полноценно описать агентную модель в целом, а также отразить те ее важные характеристики, которые не всегда легко представить математическими уравнениями и блок-схемами.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, инфекция, математическое моделирование, имитационное моделирование, эпидемиологический надзор, дизайн

Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Саперкин Н. В., Новиков Ю. Н., Гарбуз М. Е. и др. Инструмент для оценки качества отчетов о результатах агентного моделирования (адаптированная версия протокола ODD). Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2026;25(1):12-20. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2026-25-1-12-20>

A Tool for Assessing the Quality of Reports of Agent-based Modeling (Adapted Version of the ODD Protocol)

NV Saperkin**, YuN Novikov, ME Garbuz, VI Kondrashova, OV Kovalishena

Privolzhsky Research Medical University, Russian Federation

Abstract

Relevance. An agent-based approach to modeling is widely in demand across a wide range of scientific fields, including research into patterns of the spread of infectious diseases. **Objective.** To develop a Russian-language adapted version of the ODD protocol to make reporting of results from agent-based modeling more comprehensive and reliable in epidemiological studies. **Materials and Methods.** We used the authors' original methodological guideline in English, «Overview, Design Concept, Details», or ODD. Our adapted version of the ODD protocol was prepared with the identification of critical user points. The consistency of expert assessments was achieved by calculating the kappa coefficient according to the Fleiss method. All statistical analyses were performed in R 4.3.2 (RStudio). **Results and Discussion.** To the best of our knowledge, we have first proposed a Russian-language version of ODD. This guidance has been designed to fully describe the process of model development and substantiate the results for use in biomedical research. The article primarily focuses on the "Design Concepts" section. The recommendations outlined therein help justify the

* Для переписки: Саперкин Николай Валентинович, к.м.н., доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 603074, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Бурнаковская, 53-76. +7 (903) 847-45-89, saperkinnv@mail.ru. ©Саперкин Н. В. и др.

** For correspondence: Saperkin Nikolay V., Cand. Sci. (Med.), associate professor, Privolzhsky Research Medical University, 53-76, Burnakovskaya st., Nizhny Novgorod, 603074, Russia. +7 (903) 847-45-89, saperkinnv@mail.ru. ©Saperkin NV, et al.

construction of a design model and make its presentation less arbitrary and more modern. The Russian version of ODD presents all 11 elements of study design, with a brief description of their purpose and a checklist of topics to consider. The design elements include the following: basic principles, emergence of new results, adaptation, objectives, learning, prediction, sensing, interaction of agents, process stochasticity, and observation. We provide a user with the description of both a full and a summarized versions of a report based on the ODD recommendations. As for the summarized version, a reader will be provided with a short text template for manuscript formatting. **Conclusion.** Using the ODD protocol, researchers will be able to describe the agent-based model in detail as a whole, as well as reflect its essential, most characteristic and most sophisticated characteristics, which are not always easily represented by mathematical equations and flowcharts.

Keywords: computer modeling, infection, mathematical modeling, simulation modeling, epidemiological surveillance, study design
No conflict of interest to declare.

For citation: Saperkin NV, Novikov YuN, Garbuz ME et al. A tool for assessing the quality of reports of agent-based modeling (adapted version of the ODD protocol). *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2026;25(1):12-20 (In Russ.). <https://doi:10.31631/2073-3046-2026-25-1-12-20>

Введение

Математическое моделирование широко используется в системе здравоохранения для содействия принятию управленческих решений, понимания эпидемиологической ситуации, тенденций и динамики передачи возбудителя инфекции, а также нередко для оценки эффективности профилактических и противоэпидемических мероприятий [1–4]. Такой исследовательский подход представляет собой упрощенное отображение сложной системы (эпидемический процесс), формализованное математическими уравнениями. Моделирование расширяет традиционный эпидемиологический анализ, позволяя непосредственно учитывать механистические причинно-следственные процессы, которые часто трудно наблюдать напрямую [5–9].

Воспроизводимость результатов научных исследований, в том числе в биомедицинской сфере, как известно, существенно влияет на доверие к исследованию в целом у различных заинтересованных сторон (ученые, практикующие специалисты, пациенты) [10–12]. С учетом сложившегося вектора развития медицины – принципы доказательности, ориентация на качественную и безопасную медицинскую помощь – качественные исследования важны как никогда. Более того, они играют определяющую роль при внедрении новых подходов в практическое здравоохранение.

Потребителю научно обоснованной информации должны быть доступны методики по оценке методологического качества публикуемых отчетов о результатах научных изысканий [1, 13–16]. Всё это полностью справедливо и для математического моделирования заболеваемости населения, в частности, с помощью агентного подхода.

Применительно к модельным исследованиям арсенал рекомендательных документов и оценочных средств не столь велик, нежели в случае с дизайнами исследований из области клинической эпидемиологии. В частности, известны рекомендации EPIFORGE 2020 г., в которых собраны элементы отчетности при эпидемиологическом прогнозировании и прогностических моделях [17].

Стандарт отчетности под названием «RAT-RS» задумывался как способ более полного документирования разных данных в агентном моделировании [18]. Документ предложен в 2022 г. коллективом авторов из Германии, Великобритании и Норвегии, но на данном этапе не нашел широкого применения. Ввиду методологических особенностей имитационного моделирования крайне остро стоит вопрос использования единообразного стиля для описания агентных моделей, обеспечения полноты описаний моделей, а также предоставления возможности использовать подмодели, описывающие процессы или поведение агентов, повторно уже в новых моделях [19].

Цель исследования – разработка русскоязычной адаптированной версии протокола «ODD» для совершенствования качества описания результатов агентного моделирования в эпидемиологических исследованиях.

Материалы и методы

Объектом исследования послужила методологическая разработка группы авторов – протокола ODD [20]. Название международного протокола англоязычное и расшифровывается как «Overview, Design concept, Details», трактовка терминов приведена ниже. Первая версия методики появилась в 2006 г. и уже претерпела несколько редакций [21]. Каждый из трех ее разделов решает определенную задачу и состоит из нескольких элементов. Задачами обозначенных разделов являются:

- в «Overview» (обзор) – дать общее представление о целях и задачах моделирования; охарактеризовать интересующие исследователя объекты, состояния и масштабы; описать процессы и хронологию событий;
- в «Design concept» (концепции дизайна) – объяснить общие принципы организации исследования (его замыслы, принципы), важные для построения модели. Этот раздел предусматривает 11 элементов и будет рассмотрен подробно в этой публикации.

Original Articles

- в «Details» (детальное описание) – объяснение всех нюансов устройства агентной модели. Этот раздел содержит сведения об инициализации модели, входных данных и дополнительных модулях.

При подготовке адаптированной версии протокола ODD нами были определены основополагающие моменты, важные с точки зрения пользователя этой методики. Они будут представлены в соответствующем разделе этой статьи. Перевод на русский язык осуществляли независимо два автора, с постоянным контролем лингвистических аспектов со стороны профильных специалистов.

Согласованность экспертных оценок определяли путем расчет коэффициента «к» (каппа) согласно методике Флейсса, при нулевой гипотезе H_0 : $\kappa = 0$, то есть консенсус экспертов равносильно случаю [22]. Использовали формулу

$$\kappa = \frac{\bar{P} - \bar{P}_e}{1 - \bar{P}_e},$$

где \bar{P} – процент наблюдаемого согласия, \bar{P}_e – процентное совпадение. По величине коэффициент «к» судили об отношении фактически достигнутого согласия к степени согласия, достижимой сверх случайности. В качестве критического уровня значимости использовали $p \leq 0,05$. Статистический анализ проводили в среде R 4.3.2 (RStudio), применяли функции из пакетов `irr` и `kappaGUI`.

Результаты

Прежде всего, с целью лучшего понимания адаптированной версии протокола «ODD», мы обозначили следующие базовые пользовательские аспекты, а именно:

1. **Назначение этого документа** призвано сделать понимание дизайна агентных моделей и результатов моделирования более простым и доступным при прочтении отчета (статьи в научном журнале). В свою очередь, такой подход должен способствовать воспроизведению модели при решении других задач [23, 24]. В оригинальной англоязычной версии авторы старались избежать чрезмерной «техничности» предложенной методики ODD, допуская, однако, что текст может содержать уравнения и короткие алгоритмы. Важно отметить, что описание модели в формате ODD не привязано к использованному для конкретной модели программному обеспечению.
2. **Исследовательский вопрос, решаемый путем моделирования**, отражает проблему или гипотезу и является неотъемлемой составляющей любой модели. Четкое описание вопроса помогает читателю правильно ориентироваться в агентной модели и разобраться в ее особенностях [25, 26]. Онтология модели включает в себя: объекты (сущности), состояния и масштабы. Подробно эти понятия рассмотрены нами далее.

Объекты – это отдельный объект или действующее лицо, который ведет себя как единое целое (напр., пространственные единицы, агенты или индивиды, коллективы агентов, окружение). Агентные модели обычно имеют несколько видов сущностей и одну или несколько сущностей каждого вида. Для описания состояний каждого вида объектов используют переменные, или «атрибуты». Масштабы модели (пространственные и временные) отражают общий объем пространства и времени, представленных в симуляции, а также разрешение модели, т.е. форму и размер пространственных единиц и длину временных шагов. При прочтении результатов агентного моделирования пользователь должен понимать, что представляют из себя пространственные единицы и временные шаги модели в реальности.

При выполнении перевода и адаптации протокола «ODD» важно было учитывать следующие обстоятельства: методика эта не является инструментом для непосредственной оценки методологического качества и риска систематической ошибки, например, по аналогии с дизайнами исследования из сферы клинической эпидемиологии; применение ODD должно способствовать лучшему пониманию исследуемой проблемы и логики авторов; терминологические особенности оригинальной версии и их эквиваленты в русском языке; относительно большой по объему текст (описание трех разделов, объединяющих суммарно 21 смысловой элемент, наличие отдельного документа с детальными примерами).

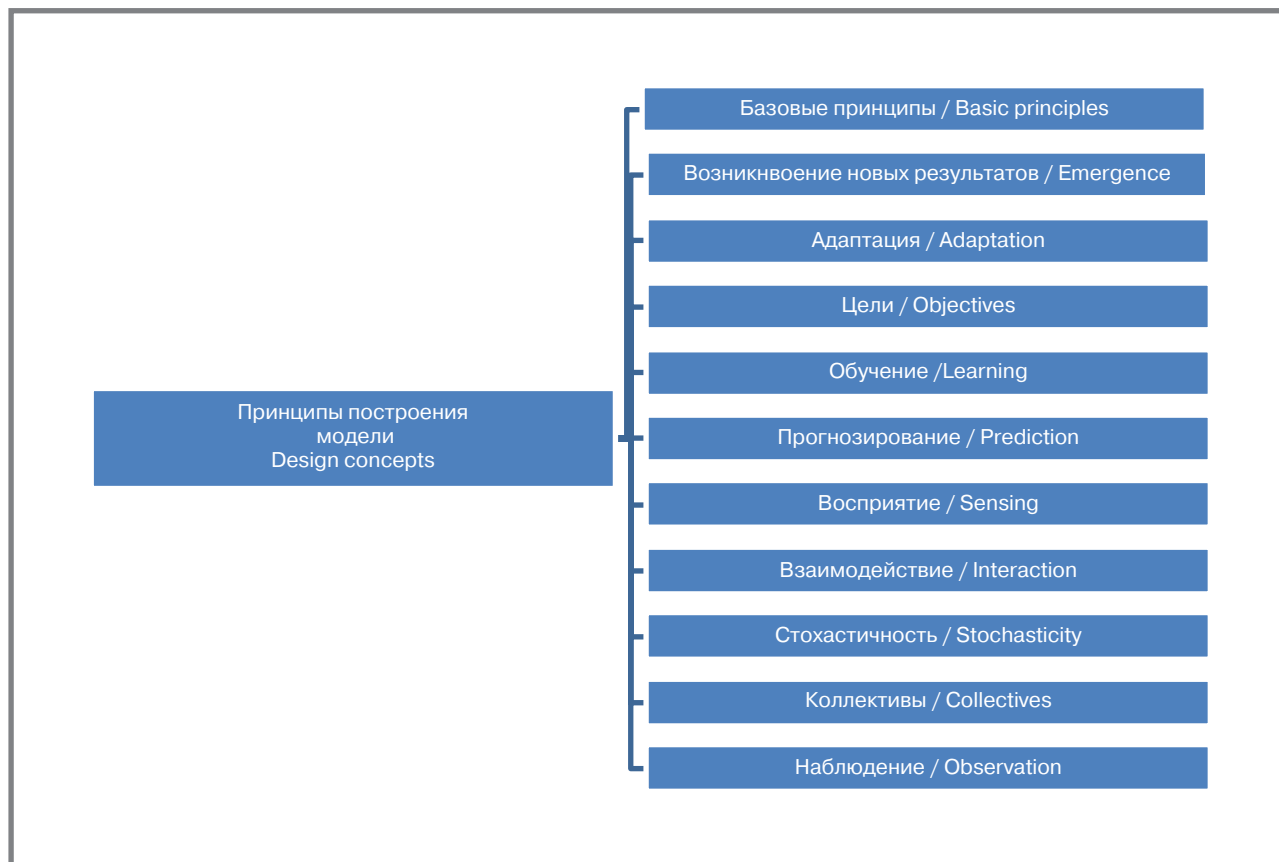
Принципы построения агентной модели, ее дизайн и раскрытие основной идеи содержатся в ODD разделе «Концепция дизайна». Этот раздел необходим для отражения тех важных характеристик агентных моделей, которые плохо описываются традиционными методами такими, как уравнения и блок-схемы. Описание дизайна основано на 11 понятиях, которые представлены на рисунке 1.

Указанные понятия предложены для корректного понимания методологических особенностей построения исследования и демонстрации того, как разработчики подходили к проектированию модели. Перейдем к краткой характеристике упомянутых понятий.

Базовые принципы (Basic principles)

Это понятие соотносит агентную модель с существующим уровнем знаний о моделировании, чтобы поместить модель в более широкий контекст. Такие принципы могут проявляться как на уровне модели (например, отвечает ли модель на вопрос, который уже исследовался с помощью других моделей и методов?), так и на уровне агентов (например, какую теорию поведения агентов использует модель, и источник этой теории). Описание базовых принципов делает модель более научно обоснованной и показывает, что она создана с учетом предыдущих идей, а не была создана без их рассмотрения.

Рисунок 1. Содержание раздела «Концепция дизайна» протокола ODD
 Figure 1. Contents of the Design Concept section of the ODD protocol



Возникновение новых результатов (Emergence)

Этот элемент протокола затрагивает фундаментальную характеристику агентных моделей: «поведение» системы может возникать из «поведения» агентов и их окружения, а не просто быть заданным математическими уравнениями или правилами.

Адаптация (Adaptation)

Этот элемент определяет адаптивное «поведение» агентов: какие решения принимают агенты в ответ на какие стимулы. Все виды «поведения» должны быть описаны отдельно. Описание включает такие компоненты «поведения», как: альтернативы, из которых агенты выбирают; внутренние и внешние переменные, влияющие на решение агента; и моделирование прямого или косвенного стремления к цели. Решение рассматривается как «прямое стремление», если агенты ранжируют альтернативы, используя меру того, насколько хорошо каждая из них соответствует определенной потребности или как «косвенное стремление», при котором агенты просто следуют правилам, воспроизводящим наблюдаемое поведение (например,

«изолировать источник инфекции с вероятностью 50%»), которое неявно приводит к успеху. Многие агентные модели включают только очень простые виды «поведения», которые трудно рассматривать как адаптивные или даже как решения. Однако даже такие простые реакции должны быть описаны как адаптивное «поведение»: агенты решают, оставаться или двигаться, проверяя, находится ли объективный показатель – процент соседей с подтвержденной инфекцией – ниже порогового значения.

Цели (Objectives)

Этот элемент касается описания адаптивного «поведения» агентов при прямом стремлении к цели; здесь необходимо учитывать «показатель (меру) цели». Показатель цели – это мера будущего успеха, зависящая от моделируемого решения. Показатель нужен для оценки альтернатив при принятии решений. Примеры непосредственных целей агента могут быть следующими: достижение цели путем удовлетворения потребностей, путем наиболее оптимальных шагов и пр. Адаптивное поведение агента подразумевает конкретные решения, принимаемые агентом в ответ на конкретные стимулы. Примером из экономики может быть ожидаемое богатство в некоторый момент в будущем; в экологической модели организм может

* Под поведением мы понимаем действия, которые агенты выполняют в моделируемой среде на основе заданных пользователем правил.

Original Articles

использовать вероятность дожития до определенного момента в будущем или ожидаемое количество будущего потомства.

Обучение (Learning)

Этот элемент относится к агентам, которые с течением времени меняют свое адаптивное поведение в результате получаемого опыта. Обучение не связано с зависимостью адаптации от переменных состояния, которые изменяются в динамике; напротив, оно относится к тому, как агенты в результате своего опыта меняют методы принятия решений.

Хотя память может играть важную роль в обучении агентов, не все адаптивные модели, использующие память, также используют и обучение. Лишь немногие агентные модели пока еще включают обучение, несмотря на то, что многие исследования и теории посвящены тому, как обучаются люди, организации и т.д.

Прогнозирование (Prediction)

Прогнозирование служит основой для успешного принятия решений и часто для моделирования адаптации агентов в агентной модели. Некоторые агентные модели используют «явное прогнозирование»: адаптивное «поведение» или обучение агентов основано на оценке своего состояния и состояния окружающей среды в будущем, исход последующих решений. В таких агентных моделях авторы разъясняют, как агенты определяют будущие условия и последствия решений. Важно рассказать, какие внутренние модели будущих условий или последствий решений используют агенты для прогнозирования при принятии решений. Модели без явного прогнозирования часто включают «опосредованное прогнозирование»: скрытые или подразумеваемые предположения о будущих последствиях решений.

Восприятие (Sensing)

Данный элемент относится к информации, которую агенты «знают» и используют в своем «поведении». Описание того, как у агентов может появиться та или иная информация, является ключевой характеристикой агентных моделей. Чаще всего люди моделируют представление, просто предполагая, что агент точно знает значения некоторых переменных (при этом способ получения этих сведений игнорируется разработчиком модели). Но в агентных моделях можно учесть и сам процесс восприятия – как агент собирает информацию о своем окружении, например, на основании восприятия состояния соседнего агента. При описании восприятия указывают, какие переменные каких объектов агентом воспринимаются. Описание должно охватывать то, что агент знает о своем собственном состоянии: важно сказать, какие переменные собственного состояния агент использует в своем «поведении». При необходимости

указывают, от кого еще агенты могли воспринимать информацию (от других агентов, от занято пространственной единицы).

Взаимодействие (Interaction)

Способность представлять взаимодействие агентов как локальное, а не глобальное, является еще одной ключевой характеристикой агентных моделей. Этот элемент помогает описать, какие агенты взаимодействуют друг с другом и как (прямое или опосредованное взаимодействие). Прямое взаимодействие происходит, когда один агент идентифицирует одного или нескольких других в своей непосредственной близости и напрямую влияет на их состояние, например, инфицирование здорового человека при контакте с источником возбудителя инфекции. Опосредованное взаимодействие происходит, когда один агент косвенно влияет на других, производя или потребляя общий ресурс; конкуренция за ресурсы обычно моделируется как опосредованное взаимодействие. Коммуникация путем обмена информацией также выступает в качестве взаимодействия в некоторых агентных моделях.

Стохастичность (Stochasticity)

Данный элемент предназначен для описания стохастических (случайных) процессов в модели. Агенты на начальном этапе не должны быть идентичными, что и достигается путем использования распределения псевдослучайных чисел для установки начального состояния агентов. Еще один вариант использования стохастичности – это моделирование «поведения» агентов таким образом, чтобы агенты использовали различные альтернативы с той же частотой, с какой это наблюдается у реальных индивидов. Например, стохастический процесс в социологической модели для моделирования возраста, в котором люди вступают в брак, сравнивая случайные числа с наблюдаемыми показателями брачности у реальных людей. В этом подходе наблюдаемые показатели брачности влияют на моделируемую популяцию.

Часто причина использования стохастических процессов заключается просто в том, чтобы сделать процесс переменным, не моделируя причины изменчивости; или причина может быть в том, чтобы события или «поведение» модели происходили с заданной частотой.

Коллективы (Collectives)

Коллективы, или группы – это объединения агентов (например, социальные группы), которые влияют на отдельных агентов и сами подвергаются влиянию со стороны. Если сообщество агентов имеет характеристики, отличные от характеристик отдельных агентов, но зависят от входящих в них агентов, и агенты-члены группы подвержены влиянию характеристик сообщества, то сообщество следует здесь описывать как коллектив.

Коллективы моделируют двумя способами. Во-первых, они могут быть представлены полностью как новое свойство агентов, например, группа людей, которые заражаются в результате правил инфицирования, заданных для них. В этом случае коллективы не представлены в модели явно: они не имеют собственных переменных состояния или поведения. Второй (и более распространенный) способ – непосредственное представление коллективов как сущности в модели, и эта сущность имеет переменные состояния и собственное поведение. Социальные, профессиональные и иные группы повышенного риска заражения нередко так и представляют в моделях.

Наблюдение (Observation)

Порядок сбора и анализа информации из агентной модели может сильно повлиять на то, что пользователи понимают под моделью и чего от нее хотят. Этот элемент не предназначен для документирования того, как проводятся симуляционные

эксперименты и анализ модели, а скорее для описания того, как информация получается из модели для использования в таких анализах. Наблюдение важно, потому что агентные модели могут быть сложными и давать разнообразные результаты: невозможно наблюдать и анализировать все, что происходит в такой модели, поэтому мы должны объяснить, какие именно результаты мы наблюдаем. Наблюдение почти всегда включает сводную статистику о состоянии агентов и, возможно, других сущностей, таких как пространственные единицы и коллективы. Выходные данные могут быть простыми (например, средние значения переменных состояния агентов, наблюдаемые раз в симулированную неделю) или сложными (например, частота, с которой моделируемая популяция вымирала в течение 100 симулированных лет, из 1000 прогонов модели).

Темы, которые должны быть отражены, следуя протоколу ODD, в описании модели представлены в виде списка контрольных вопросов:

Базовые принципы
<ul style="list-style-type: none"> • Каковы общие концепции, теории, гипотезы или подходы к моделированию лежат в основе модели как на системном, так и на агентском уровне? • Как учитываются эти базовые принципы: реализованы ли они в подмоделях или на системном уровне? • Использует ли модель новую или существующую теорию для описания поведения агентов? На каких данных литературы основано «поведение» агентов?
Возникновение новых результатов
<ul style="list-style-type: none"> • Какие ключевые результаты моделируются как возникающие из ответных решений и «поведения» агентов? Ожидается, что эти результаты будут меняться сложным образом при изменении определенных характеристик агентов или их окружения. • Что представляют собой агенты и их окружение, которые ведут к появлению результатов? • Что относится к результатам модели, которые моделируются не как вновь возникающие, а как появившиеся вследствие заданных правил модели? • Для заданных правилами результатов необходимо обратить внимание на механизмы или правила модели, которые их задают. • Чем обосновано решение о том, какие именно результаты модели считать новыми?
Адаптация
<ul style="list-style-type: none"> • Какое решение принимается: что именно агенты меняют в себе? • Какие альтернативы выбирают агенты? • Каковы входные данные, определяющие каждое решение: внутренние и внешние переменные, влияющие на него? • Моделируется ли поведение через прямое стремление к цели или через косвенное стремление к цели? • Если используется прямое стремление к цели, то нужно описать, как мера цели используется для выбора альтернативного решения (напр., выбирает ли агент максимально приоритетную альтернативу или же первую, которая соответствует пороговому значению).
Цели
<ul style="list-style-type: none"> • Что представляет собой показатель цели: какую характеристику успешности агента он моделирует? • Как рассчитывается этот показатель? Напр., если это простое уравнение или алгоритм, его можно полностью описать уже здесь.
Обучение
<ul style="list-style-type: none"> • Какое именно адаптивное поведение агентов моделировали с учётом обучения? • Как обучение представлено? его соответствие существующей теории обучения? • Чем обосновано включение (или исключение) обучения в адаптивное поведение?
Прогнозирование
<ul style="list-style-type: none"> • Как модели адаптивного поведения используют либо явное или опосредованное прогнозирование? • Чем обоснован способ представления прогнозирования: предназначена ли модель для отображения того, как агенты на самом деле делают прогнозы? Или прогнозирование моделируется так просто потому, что это приводит к полезному поведению агентов?

Восприятие
<ul style="list-style-type: none"> • Какие переменные состояния, свои собственные и других объектов, агенты воспринимают и используют в своем «поведении»? Точно укажите, что определяет или ограничивает диапазон, в котором агенты могут воспринимать информацию. • Как агенты воспринимают каждую переменную: предполагается ли, что они просто точно знают значение? Или модель представляет механизмы восприятия или неопределенность в воспринимаемых значениях той или иной переменной • Чем обоснованы предположения о восприятии?
Взаимодействие
<ul style="list-style-type: none"> • Какие виды взаимодействия имеются между агентами в модели, в т.ч. прямое или опосредованное? • Каков диапазон (в пространстве, времени, сети и т.д.) взаимодействия агентов, для каждого вида взаимодействия? От чего зависит, какие агенты с кем взаимодействуют? • Чем обоснован использованный способ моделирования взаимодействия?
Стохастичность
<ul style="list-style-type: none"> • Какие процессы моделируются как стохастические с использованием псевдослучайных чисел для определения исхода? • Почему в каждом таком процессе была использована стохастичность?
Коллективы
<ul style="list-style-type: none"> • Что из себя представляет каждый коллектив, представленный в модели? • Моделируются ли коллективы полностью как результат «поведения агентов» или же как явные объекты? • В общих чертах, как коллективы взаимодействуют друг с другом и с агентами, чтобы управлять «поведением» всей системы?
Наблюдение
<ul style="list-style-type: none"> • Каковы ключевые выходные данные модели, используемые для анализа, и каким образом их собирали при проведении моделирования? • Использовались ли техника по типу «виртуального ученого» или другие специальные техники при сравнении результатов модели с эмпирическими наблюдениями?

Для удобства в использовании предложенной русскоязычной версии в формате «ODD» мы предлагаем краткий текстовый шаблон в виде маркированного списка. Опорные выражения, с участвующими целями, выделены жирным шрифтом, на место треугольных скобок и многоточия нужно добавить соответствующий текст из отчета.

- Детализированное описание модели по протоколу «ODD» (Overview, Design concepts, Details) (ссылка на русско- или англоязычную версию) представлено в ... <гиперссылка на соответствующий web-ресурс; затем при желании можно в свободной форме написать короткий абстракт>. Основной идеей, заложенной в нашей модели, является ...
- Целью проведенного моделирования послужило В частности, нас интересовали следующие исследовательские вопросы: Чтобы модель была достаточно реалистичной для своих целей, мы использовали следующие закономерности
- Модель включает в себя такие объекты, как <перечислить объекты>. Они характеризуются следующими переменными состояниями/Переменные состояния, характеризующие эти объекты, перечислены в таблице X: ... Пространственное и временное разрешение: ...
- Наиболее важными процессами модели, которые повторяются на каждом временном шаге, являются....
- Наиболее важными характеристиками дизайна этой модели являются ... <Перечислить наиболее существенные и сложные аспекты построения модели>
- <по желанию: аспекты инициализации и входных данных> Модель инициализирована

с помощью.... Динамика модели определяется входными данными, представляющими собой....

- <при необходимости в этом месте можно описать дополнительные модели > Ключевые процессы в модели: ... <краткое описание, при необходимости уравнения>

При необходимости отчет о разработанной агентной модели и результатах моделирования можно дополнить инфографикой.

Для проведения валидации методики (раздел ODD «Концепция дизайна»), было отобрано 10 оригинальных исследований, каждое из которых подвергалось независимому рассмотрению тремя рецензентами. По большинству элементов уровень согласия колебался от среднего до высокого, при этом в ряде случаев коэффициент каппа достигал 0,85, т.е. уровень являлся приемлемым.

Заключение

Агентное моделирование служит важным инструментом в научных исследованиях. Четкое и понятное представление результатов исследования необходимо для соблюдения логики при подготовке научного отчета о моделировании и корректного понимания читателями замысла авторов. Русскоязычная адаптированная версия протокола ODD может быть особенно полезна для наглядного представления всех важных аспектов агентного моделирования в эпидемиологических исследованиях. Это достигается путем последовательного описания своей работы, основываясь на 11 элементах, которые были признаны важными для разработки дизайна модели.

Литература

1. Акимкин В. Г., Михеева И. В. Концепция цифровой трансформации системы эпидемиологического надзора. *Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы.* 2025. №2. С.16–20.
2. Пушкарёва Т.П. Математическое моделирование как необходимый компонент математической подготовки. *Современные проблемы науки и образования.* 2014. 5. С. 796.
3. Hunter E., Namee B.M., Kelleher J. An open-data-driven agent-based model to simulate infectious disease outbreaks. *PLOS One.* 2018. Vol. 13, N12. P. e0208775.
4. Герасимов А.Н. Модели и статистический анализ в эпидемиологии инфекционных болезней. *ТМЖ.* 2019. №3. С. 80–83.
5. Денисов Н.С., Камenskikh Е.М., Федоров О.С. Тренды популяционных исследований: молекулярная и цифровая эпидемиология (обзор). *СТМ.* 2022. Т.14. №4. С. 60.
6. Кондратьев М.А. Методы прогнозирования и модели распространения заболеваний. *Компьютерные исследования и моделирование.* 2013. Т.5. №5. С. 863–882.
7. Косова А.А., Чалала В.И., Ковтун О.П. Методы моделирования и прогнозирования динамики эпидемического процесса инфекционных болезней. *Уральский медицинский журнал.* 2023. Т.22. №4. С. 102–112.
8. Brauer F. *Mathematical epidemiology: Past, present, and future.* *Infect Dis Model.* 2017. Vol. 2, N2. P. 113–127.
9. Hackl J, Dubernet T. Epidemic spreading in urban areas using agent-based transportation models. *Future Internet.* 2019. V. 11. N4. P. 92.
10. Грязнов С.А., Кузнецов М.И. Факторы, влияющие на воспроизводимость научных исследований // *International Journal of Humanities and Natural Sciences.* 2024. Т.8-1. №95. С. 69–71.
11. Baker M. 1,500 scientists lift the lid on reproducibility // *Nature.* 2016. Т. 533. С. 452–454.
12. Richter S. Systematic heterogenization for better reproducibility in animal experimentation. *Lab Anim.* 2017. Т. 46. С. 343–349.
13. Grant R., Rubin M., Abbas M., et al. Expanding the use of mathematical modeling in healthcare epidemiology and infection prevention and control. *Infection Control & Hospital Epidemiology.* 2024. Т. 45. N8. С. 930–935.
14. Railsback S.F., Grimm V. *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction.* Princeton (NJ): Princeton University Press; 2019.
15. Bennett C., Manuel D.G. Reporting guidelines for modelling studies // *BMC Med Res Methodol.* 2012. Vol. 7, N12. P. 168.
16. Chaturvedi M.B., Denkinger A., Klett-Tammen C., et al. Guidelines on reporting and assessing mathematical models for infectious disease dynamics: A scoping review. *medRxiv.* 2024. doi: <https://doi.org/10.1101/2024.11.27.24318060>.
17. Pollett S., Johansson M.A., Reich N.G., et al. Recommended reporting items for epidemic forecasting and prediction research: The EPIFORGE 2020 guidelines. *PLoS Med.* 2021. Vol. 18, N10:e1003793.
18. Achter S., Borit M., Chattoe-Brown E., Siebers P.-O. RAT-RS: a reporting standard for improving the documentation of data use in agent-based modelling. *International Journal of Social Research Methodology.* 2022. <https://doi.org/10.1080/13645579.2022.2049511>
19. Vincenot C.E. How new concepts become universal scientific approaches: insights from citation network analysis of agent-based complex systems science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.* 2018. Vol. 285, N1874. P. 20172360.
20. Grimm V., Berger U., Vincenot C.E., et al. The ODD protocol for describing agent-based and other simulation models: a second update to improve clarity, replication, and structural realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation.* 2020. Vol. 23(2), P. 7. <https://www.jasss.org/23/2/7.html>
21. Grimm V., Berger U., Bastiansen F., et al. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling.* 2006; 198:115–126.
22. Li M., Gao Q., Yu T. Kappa statistic considerations in evaluating inter-rater reliability between two raters: which, when and context matters. *BMC Cancer.* 2023. Vol. 799. <https://doi.org/10.1186/s12885-023-11325-z>
23. Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., et al. The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data.* 2016. Vol. 3. P. 160018.
24. da Costa G.G., Neves K., Amaral O.B. Estimating the replicability of highly cited clinical research (2004–2018). *PLoS One.* 2024. Vol. 19, N8. P. e0307145.
25. Фатима Г., Альхамди Х.Б., Махди А.А. и др. Вспышки оспы обезьян: комплексный обзор эпидемиологии, клинического ведения и мер общественного здравоохранения. *Инфекция и иммунитет.* 2025. Т. 15, № 2. С. 227–234.
26. Ali M., El Guma F., Qazza A., et al. Stochastic modeling of influenza transmission: Insights into disease dynamics and epidemic management. *Partial Differential Equations in Applied Mathematics.* 2024. Vol. 11. P. 100886.

References

1. Akimkin V.G., Mikheeva I.V. Concept of digital transformation of the epidemiological surveillance system. *Epidemiology and infectious diseases. Current issues.* 2025;2:16–20. (In Russ). doi: [10.18565/epidem.2025.15.2.16-20](https://doi.org/10.18565/epidem.2025.15.2.16-20)
2. Pushkareva T.P. Mathematical modeling as a necessary component of mathematical training. *Modern problems of science and education.* 2014;5:796–798. (In Russ).
3. Hunter E, Namee BM, Kelleher J. An open-data-driven agent-based model to simulate infectious disease outbreaks. *PLOS One.* 2018;13(12):e0208775. doi: [10.1371/journal.pone.0208775](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208775).
4. Gerasimov AN. Models and statistical analysis in the epidemiology of infectious diseases. *TMZh.* 2019;3:80–83. (In Russ).
5. Denisov NS, Kamenskikh EM, Fedorov OS. Trends in population studies: molecular and digital epidemiology (review). *STM.* 2022;14(4):60.
6. Kondratiev MA. Methods of forecasting and models of disease spread. *Computer research and modeling.* 2013;5(5):863–882.
7. Kosova AA, Chalapa VI, Kovtun OP. Methods of modeling and forecasting the dynamics of the epidemic process of infectious diseases. *Ural Medical Journal.* 2023;22(4):102–112.
8. Brauer F. *Mathematical epidemiology: Past, present, and future.* *Infect Dis Model.* 2017;2(2):113–127. doi: [10.1016/j.idm.2017.02.001](https://doi.org/10.1016/j.idm.2017.02.001).
9. Hackl J, Dubernet T. Epidemic spreading in urban areas using agent-based transportation models. *Future Internet.* 2019;11(4):92. doi: [10.3390/fi11040092](https://doi.org/10.3390/fi11040092).
10. Gryaznov SA, Kuznetsov MI. Factors influencing the reproducibility of scientific research. *International Journal of Humanities and Natural Sciences.* 2024;8-1(95):69–71.
11. Baker M. 1,500 scientists lift the lid on reproducibility. *Nature.* 2016;533:452–454. doi: [10.1038/533452a](https://doi.org/10.1038/533452a)
12. Richter S. Systematic heterogenization for better reproducibility in animal experimentation. *Lab Anim.* 2017;46:343–349. doi: [10.1038/labana.1330](https://doi.org/10.1038/labana.1330)
13. Grant R, Rubin M, Abbas M, et al. Expanding the use of mathematical modeling in healthcare epidemiology and infection prevention and control. *Infection Control & Hospital Epidemiology.* 2024;45(8):930–935. doi: [10.1017/ice.2024.97](https://doi.org/10.1017/ice.2024.97)
14. Railsback SF, Grimm V. *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction.* Princeton (NJ): Princeton University Press; 2019.
15. Bennett C, Manuel DG. Reporting guidelines for modelling studies. *BMC Med Res Methodol.* 2012;12:168. doi: [10.1186/1471-2288-12-168](https://doi.org/10.1186/1471-2288-12-168).
16. Chaturvedi MB, Denkinger A, Klett-Tammen C, et al. Guidelines on reporting and assessing mathematical models for infectious disease dynamics: A scoping review. *medRxiv.* 2024. doi: [10.1101/2024.11.27.24318060](https://doi.org/10.1101/2024.11.27.24318060).
17. Pollett S, Johansson MA, Reich NG, et al. Recommended reporting items for epidemic forecasting and prediction research: The EPIFORGE 2020 guidelines. *PLoS Med.* 2021;18(10):e1003793. doi: [10.1371/journal.pmed.1003793](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003793)
18. Achter S, Borit M, Chattoe-Brown E, Siebers P.-O. RAT-RS: a reporting standard for improving the documentation of data use in agent-based modelling. *International Journal of Social Research Methodology.* 2022. doi: [10.1080/13645579.2022.2049511](https://doi.org/10.1080/13645579.2022.2049511)
19. Vincenot C.E. How new concepts become universal scientific approaches: insights from citation network analysis of agent-based complex systems science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.* 2018;285(1874):20172360.
20. Grimm V, Berger U, Vincenot CE, et al. The ODD protocol for describing agent-based and other simulation models: a second update to improve clarity, replication, and structural realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation.* 2020;23(2):7. <https://www.jasss.org/23/2/7.html>
21. Grimm V, Berger U, Bastiansen F, et al. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling.* 2006; 198:115–126. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023)
22. Li M, Gao Q, Yu T. Kappa statistic considerations in evaluating inter-rater reliability between two raters: which, when and context matters. *BMC Cancer.* 2023;23:799. doi: [10.1186/s12885-023-11325-z](https://doi.org/10.1186/s12885-023-11325-z)
23. Wilkinson MD, Dumontier M, Aalbersberg IJ, et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data.* 2016;3:160018. doi: [10.1038/sdata.2016.18](https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18)
24. da Costa GG, Neves K, Amaral OB. Estimating the replicability of highly cited clinical research (2004–2018). *PLoS One.* 2024;19(8):e0307145. doi: [10.1371/journal.pone.0307145](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307145).
25. Fatima G, Alhmadhi HB, Mahdi AA, et al. Monkeypox outbreaks: a comprehensive review of epidemiology, clinical management, and public health measures. *Infection and immunity.* 2025;15(2):227–234. (In Russ)
26. Ali M, El Guma F, Qazza A, et al. Stochastic modeling of influenza transmission: Insights into disease dynamics and epidemic management. *Partial Differential Equations in Applied Mathematics.* 2024;11(100886): doi: [10.1016/j.padiff.2024.100886](https://doi.org/10.1016/j.padiff.2024.100886).

Original Articles

Об авторах

- **Николай Валентинович Саперкин** – доцент, ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава РФ. +7 (930) 847-45-89, saperkinnv@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3629-4712.
- **Юрий Николаевич Новиков** – аспирант, ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава РФ. +7 (960) 191-72-12, novikovyuri05@gmail.com. ORCID: 0009-0004-8695-3749.
- **Максим Евгеньевич Гарбуз** – ординатор, ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава РФ. +7 (904) 904-25-04, maxgarbuz30@gmail.com. ORCID: 0000-0002-0810-829X.
- **Вероника Игоревна Кондрашова** – студент, ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава РФ. +7 (953) 479-27-69, veronika.kondrashova.2003@mail.ru. ORCID: 0009-0009-7227-6915.
- **Ольга Васильевна Ковалишена** – профессор, ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава РФ. +7 (903) 608-39-08, kovalishena@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6152-2943.

Поступила: 11.11.2025. Принята к печати: 28.12.2025.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- **Nikolay V. Saperkin** – Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Primary Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation. +7 (930) 847-45-89, saperkinnv@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3629-4712.
- **Yuri N. Novikov** – Postgraduate Student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Primary Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation. +7 (960) 191-72-12, novikovyuri05@gmail.com. ORCID: 0009-0004-8695-3749.
- **Maxim E. Garbuz** – Resident, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Primary Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation. +7 (904) 904-25-04, maxgarbuz30@gmail.com. ORCID: 0000-0002-0810-829X.
- **Veronika Ig. Kondrashova** – student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Primary Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation. +7 (953) 479-27-69, veronika.kondrashova.2003@mail.ru. ORCID: 0009-0009-7227-6915.
- **Olga V. Kovalishena** – professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Primary Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation. +7 (903) 608-39-08, kovalishena@mail.ru. ORCID: 0000-0001-6152-2943.

Received: 11.11.2025. Accepted: 28.12.2025.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.