

Научная статья

DOI: 10.15593/2224-9354/2022.4.16

УДК 332.146.2:502.131.1–047.37



Т.В. Алферова

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ОСНОВА ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Рассмотрены подходы к изучению вопросов устойчивого развития региона на основе моделирования. Приведена классификация моделей, используемых для исследования устойчивого развития. Для классификации моделей использовался вид языка, на котором они формулируются. Данный подход позволил разделить модели на содержательные и формальные.

Рассмотрены истоки формального моделирования, дан обзор современных исследований в этой области. Подчеркнуто, что экономико-математические модели используются для количественной оценки и обоснования решений в области устойчивого развития, а содержательные – для перевода качественных суждений в наблюдаемые, более структурированные и формализованные категории.

Рассмотрены содержательные модели, описывающие устойчивое развитие с разных точек зрения. Раскрыта их суть, дано описание с использованием метафор, рассмотрены ограничения для их применения. Затронуты вопросы синергических эффектов в моделировании.

Основу статьи составляют научные публикации, связанные с моделями устойчивого развития. При этом сами модели, их суть, логические рассуждения, генерация и проверка гипотез, описание их применения содержатся в исходных публикациях по соответствующему исследованию. Здесь внимание сосредоточено на подходе, объединяющем вышеизложенное. В результате чего представлена схема методической взаимосвязи подходов к исследованию устойчивого развития на основе сочетания разных видов моделирования. Новизну исследования составляет визуализация методической взаимосвязи подходов к исследованию устойчивого развития с использованием разных моделей.

В качестве основного вывода подчеркивается, что качество и обоснованность принятия решений в области устойчивого развития зависят от сочетания содержательного и формального моделирования. Это делает процесс исследования более точным, однако требует специальной подготовки и инструментария.

Ключевые слова: устойчивое развитие, регион, формальные модели, содержательные модели.

Введение. В последние годы интерес к проблемам устойчивого развития со стороны ученых, политиков и лиц, принимающих решения, значительно возрос. Об этом свидетельствует количество статей, рассматривающих новые подходы, дополнения, уточнения по вопросам теории, методологии, измерения и многих других аспектов устойчивого развития. В своих трудах исследователи и аналитики стараются представить устойчивое развитие в виде моделей, отображающих эту чрезвычайно сложную концепцию. В результате появляются все новые модели описания и измерения устойчивого развития. Каждая из них имеет свое назначение, свои сильные и слабые стороны, анализ и систематизация которых приобретает особую актуальность. Целью исследования является рассмотрение подходов к изучению вопросов устойчивого развития ре-

© Алферова Т.В., 2022

Алферова Татьяна Викторовна – канд. экон. наук, доцент кафедры менеджмента ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», e-mail: talferova68@mail.ru.

гиона на основе моделирования. Новизна исследования заключается в визуализации методической взаимосвязи подходов к исследованию устойчивого развития с использованием разных видов моделирования.

Любую модель можно рассматривать как образец для сравнения или как уменьшенный фрагмент реальности, и тот и другой вариант значим для исследователя. Рассмотрение объекта через призму моделирования позволяет уточнить формулировки, отсечь лишнее или напротив выявить недостающие элементы, неочевидные связи и др. Сравнение же фактических параметров с моделируемыми и есть объективное основание для принятия взвешенных управленческих решений.

Методология исследования. Опираясь на типологию, рассмотренную Ю.М. Плотинским, в основе которой лежит вид языка, на котором модели сформулированы, можно разделить их на содержательные (описанные на естественном языке) и формальные (воплощенные посредством формальных языков программирования или математических теорий) [1]. С точки зрения методологии обе группы моделей исключительно важны, по мнению Ю.М. Плотинского, «если в естественно-научной среде моделирование часто считают только математическим, то в гуманитарной сфере чаще используются содержательные модели» [1, с. 89]. С прикладной точки зрения, формальное моделирование нередко используют для уточнения результатов содержательного моделирования.

Под формализацией М.П. Власов и П.Д. Шимко понимают «описание теорий, осмысленных предложений и т.п. формальными средствами, прежде всего символами математики и математической логики» [2, с. 77]. Авторы определяют экономико-математическую модель как «математическое описание экономического процесса или объекта, осуществленное в целях их исследования или управления ими: математическая запись решаемой экономической задачи» [2, с. 75].

К истокам применения формального моделирования для целей устойчивого развития, а именно для изучения взаимосвязи общества и природной среды, относят модель глобального развития под названием «Мир-1», разработанную по инициативе Римского клуба Дж. Форрестером в 1970 г. [3]. В 1971 г. общественности была представлена ее доработанная версия «Мир-2», наиболее известная как модель мировой динамики, так как в ее основе лежит принцип системной динамики – изучение сложных систем с нелинейными обратными связями пяти переменных, отражающих, на взгляд Форрестера, наиболее существенные мировые процессы: быстрый рост населения; промышленный рост, вызванный индустриализацией; рост отходов производства; нехватку продовольствия и нехватку ресурсов. Отсюда основные переменные или системные уровни: 1) численность населения Земли; 2) капиталовложения (основные фонды, характеризующие уровень развития экономики, преобразующей природные ресурсы); 3) количество невозобновимых ресурсов; 4) загрязнение окружающей среды (отходы жизнедеятельности человека, не перерабатываемые природой) и доля

фондов в сельском хозяйстве (в производстве продовольствия) [4]. Предполагалось, что переменные влияют друг на друга под влиянием естественных процессов без учета влияния технологических, политических и прочих факторов [5]. Поочередное изменение параметров модели несколько меняло глубину и сроки спада, но не меняло принципиальную картину кризиса и прогноза его неминуемого наступления.

К достоинствам модели относят ее простоту, ясность, способность выявить общие свойства исследуемых процессов. Среди недостатков отмечают сложность идентификации, непроверяемый характер некоторых зависимостей, неучет многих важных факторов, влияющих на результат и др. Впоследствии на основе этой модели Д. Медоузом была построена более подробная модель «Мир-3», результаты которой были опубликованы в книге «Пределы роста» (1972 г.). Модель содержала большее число переменных, чем у ее предшественника за счет их дезагрегации и некоторых других усложнений. Как и у Форрестера, был сделан прогноз, согласно которому через 75 лет сырьевые ресурсы планеты окажутся исчерпанными, а нехватка продовольствия и загрязнения окружающей среды станут катастрофическими [6].

Усложнение модели привело к затруднению ее идентификации, так как количество параметров выросло почти в три раза. Несмотря на это интерес к данным моделям не снижается, поскольку помимо их целевого назначения – привлечения внимания мировой общественности и научного сообщества к глобальным проблемам, они стали началом целого направления, получившего название глобального моделирования. Наиболее впечатляющей из них по силе воздействия на общественное сознание считается моделирование «ядерной зимы», представленное коллективом академика Н.Н. Моисеева [7].

Модификациями моделей занимались В.М. Матросов, В.К. Левашов, В.К. Коптюг [5], В.А. Егоров, В.Б. Митрофанов [8, 9], В.А. Геловани [9, 10], и др. Ряд авторов, в свою очередь, посвятили свои труды анализу результатов исследований этих авторов, в частности С.А. Махов [7], Г.Б. Ефимов, М.В. Ефимова [11] и др. Несмотря на то, что модели были созданы для анализа глобальных проблем, применяют их и на региональном уровне, например, динамическая модель межрегионального социально-экономического развития России, предложенная А.В. Масленниковой [12], являет собой результат модификации модели мировой динамики Дж. Форрестера, полученной группой под руководством академика В.М. Матросова. Методика применения математической модели оптимального управления в исследовании вопросов устойчивого развития экономического региона выполнена Н.Н. Даниловым, Л.П. Иноземцевой, Е.С. Черновой [13] на основе модели «Мир-3» и т.д.

За полвека и математическое, и компьютерное моделирование получило значительное развитие и стало действенным инструментом для измерения различных аспектов устойчивого развития на глобальном (К.В. Григорьева [14], С.Н. Бобы-

лев, О.Е. Медведева [15] и др.), региональном (Е.С. Чернова [16], В.И. Гурман [17], И.Р. Либенсон, Д.М. Скитневский [18], А.В. Масленникова [12] и др.), отраслевым (Д.С. Хазова [18], Т.Л. Самков [3], О.В. Гонова [20] и др.) и локальном уровнях (А.В. Сидорин [21], М.А. Халиков [22], Е.И. Копачева [23] и др.).

Экономико-математические модели служат методологической базой для количественной оценки и обоснования решений в области экономической политики и развития. К достоинствам математического моделирования относят возможность измерения количественных зависимостей между основными характеристиками экономических процессов и выявления намечающихся тенденций негативного и позитивного плана [2]. Помимо этого, моделирование позволяет прогнозировать развитие ситуации, нивелируя риски и угрозы. Вместе с тем отмечается субъективность при выборе критериев моделирования, поскольку при решении задач моделирования этот выбор чаще всего обусловлен точкой зрения исследователя, совокупностью его предпочтений и т.д. Зачастую качество модели зависит от качества исходной информации, качества применяемого инструментария для ее обработки, подготовленности исследователя и т.п.

Содержательные модели являются не менее востребованными, чем формальные, так как представляют собой «весьма эффективное средство решения сложных, обычно недостаточно четко формализуемых проблем, в том числе в экономике» [2]. При этом объектом моделирования могут выступать как реальные объекты, процессы, явления, так и подходы, идеи, точки зрения. В таблице дан обзор моделей, объясняющих суть устойчивого развития, встречающихся в современной научной литературе.

Не менее важным считаем способность содержательных моделей отражать взаимосвязи: прямые обратные, рекурсивные, циклические и синергические. Например, в работе М. Pedercinia с соавторами [27] представлена модель выявления синергических эффектов. Поскольку страны стремятся к устойчивому развитию во многих секторах (здравоохранение, сельское хозяйство, инфраструктура и т.д.), отраслевые программы взаимодействуют, создавая синергический эффект, который изменяет их эффективность. Выявление такой синергии способствует гармонизации национальной политики и обеспечивает важный рычаг для достижения ЦУР. Международным институтом устойчивого развития также представлен подробный обзор моделей, используемых при разработке проектов для достижения ЦУР, в котором подчеркивается важность учета взаимного влияния различных аспектов устойчивого развития.

Методические подходы к оценке эффекта синергии наиболее проработаны для локального уровня, поскольку имеют более понятные механизмы и четкие рамки. Применимы они и на уровне регионов (М.А. Шаталов [28], В.В. Побирченко [29], М.М. Шевырев [30], Т.Д. Омаров, Н.В. Моргунова, Д.А. Синявский [31], А.И. Ярембаш, Н.В. Кохан [32] и др.). Также данный подход может иметь более широкое использование в исследованиях для целей устойчивого развития регионов.

Модели устойчивого развития*

Название модели	Суть модели	Ограничения
Модель «Трёх столпов / ванючих кругов», «Перекрывающихся кругов» [24, 25]	Устойчивое развитие достигается, когда все три столпа или круга (экономический, экологический, социальный) работают в унисон. С этой точки зрения, основная задача устойчивого развития заключается в получении одновременных сбалансированных результатов для экономики, общества и окружающей среды	Столпы являются независимыми конструкциями и поэтому достижение равновесия их интересов по отношению к одной опоре бывает затруднительно. Кроме того, модель не учитывает аспект времени. Говоря об устойчивом развитии, в большинстве случаев приоритет отдается либо окружающей среде, либо экономике. Для устранения данного недостатка необходима интеграция экономических, социальных и экологических факторов в поисках взаимодополняемости
«Призма устойчивого развития» или «Четырёх столпов» [24, 25]	Модель включает четыре аспекта: 1) экономический аспект (искусственный капитал); 2) экологический аспект (природный капитал); 3) социальный аспект (человеческий капитал); 4) институциональный аспект (социальный капитал). Здесь внимание должно быть сконцентрировано на взаимодействии между данными четырьмя измерениями	Призматическая модель подвергается той же критике, что и модель трёх столпов, т.е. предполагается, что составляющие ее компоненты/параметры независимы и что в модель не встроено временное измерение, что является важным. Кроме того, отмечается, что экономическое измерение, как правило, включает в себя активы, исходящие из всех четырех измерений, что вносит путаницу в описание и анализ
«Яйцо устойчивости» или «Яйцо благополучия» [24, 25]	Отражает отношения между людьми и экосистемой как один круг внутри другого, как желток яйца. Это означает, что люди находятся внутри экосистемы и, в конце концов, один аспект полностью зависит от другого. Социально-экономическое развитие может происходить только в том случае, если окружающая среда предлагает необходимые ресурсы: сырье, места для новых производственных площадок и рабочих мест, конституциональные качества (рекреация, здоровье и т.д.). Гипотеза: устойчивое развитие = благополучие человека + благополучие экосистемы	Экосистема рассматривается как система, подчиненная другим измерениям: социальному, экономическому и институциональному. Последние могут процветать только в том случае, если они приспособляются к пределам несущей способности окружающей среды. При этом гипотеза подражает, что окружающая среда не является системной высшего порядка, поскольку она допускает, что устойчивое развитие достигается, если благосостояние человека повышается больше, чем падает благосостояние экосистемы. Таким образом, уравнение не показывает, что благополучие человека зависит от благополучия экосистемы
Модель «Концентрических кругов» [24, 25]	Похожа на модель «Яйца благополучия», за исключением того, что включает несколько уровней подсистем: самый большой круг – это природная среда, заключающая в себе подсистему человеческого общества, которая, в свою очередь, заключает в себе подсистему экономики	Модели концентрических кругов, как и модель «Яйцо благополучия» обращается к проблемам взаимозависимости между подсистемами, но ни одна из моделей не решает проблему временного измерения

Продолжение таблицы

Название модели	Суть модели	Ограничения
Модель «Табурет на трех ножках» [24, 25]	<p>Представляет окружающую среду, экономику и общество тремя отдельными ножками стула. Если одна ножка короче или длиннее, чем другие, табурет будет неустойчивым (но, возможно, все еще пригоден для использования, по крайней мере, какое-то время). Если отсутствует какая-либо ножка, то табуретка просто не пригодна к использованию. Если все три ножки имеют одинаковую длину (экологические, экономические и социальные аспекты имеют одинаковое значение), в результате получится хорошо сбалансированный табурет, который будет служить своей цели бесконечно долго</p>	<p>По сути, модель основана на треугольнике сил в равновесии. Для достижения экологической устойчивости необходимо изменить как общество, так и экономику. Однако не может быть стабильного треугольника, в котором мы пытаемся поддерживать все три системы в их существующем состоянии. Парадокс модели заключается в том, что необходимо найти способы «сдерживания потребления при одновременном расширении возможностей потребления»</p>
Модель «Амеба» [24, 25]	<p>Используется для визуальной оценки состояния системы относительно оптимального состояния. Модель имеет круговой рисунок с различными индикаторами, расположенными снаружи. Линии расходятся от центра к индикаторам на континууме от неустойчивых (в центре) до устойчивых (вне круга). Круг указывает на оптимальные условия. Этот тип модели позволяет одновременно оценивать различные показатели и сравнивать компоненты системы</p>	<p>Модель амебы нельзя назвать моделью, описывающей суть устойчивого развития. Это техника для ускорения инновационного процесса и обучения, позволяющая повысить эффективность достижения устойчивого развития</p>
Пирамида Д. Аткиссона [24, 25]	<p>Представляет собой план достижения устойчивого развития и включает пять уровней:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Показатели (индикаторы) – Измерение тенденций. 2. Системы – Установление связей. 3. Инновации – Идеи, меняющие мир к лучшему. 4. Стратегии: от идеи к реальности. 5. Соглашения: от обсуждения к реальному миру. <p>Структура пирамиды направляет процесс достижения устойчивого развития от создания прочной основы понимания, поиска и сбора соответствующей информации и идей, а затем концентрации и сужения до того, что важно, эффективно, выполнимо и с чем все могут согласиться</p>	<p>Пирамида Д. Аткиссона, как и модель амебы, не описывает суть устойчивого развития. Она помогает и ускоряет процессы анализа, мозгового штурма и согласования плана действий по устойчивому развитию</p>

Окончание таблицы

Название модели	Суть модели	Ограничения
Модель «Воронка» [26]	<p>Метафорически иллюстрирует как человеческая цивилизация все глубже и глубже погружающаяся в воронку систематического снижения потенциала экологических и социальных систем поддержки удовлетворения потребностей человека в сочетании с ростом населения. Уменьшающийся потенциал представлен уменьшающимся поперечным сечением воронки. Наклонная стенка воронки иллюстрирует систематический характер проблем. Иными словами, уменьшение потенциала является неизбежным результатом существующей структуры и режима функционирования общества, нарушающих основные принципы устойчивости. Когда неустойчивые базовые принципы существования общества разрешены, воронка превращается в цилиндр, что подразумевает устойчивость. Затем, в более долгосрочной перспективе, этот потенциал может быть снова увеличен за счет восстановительных действий, обеспечивающих более высокое благосостояние и степень свободы в устойчивом будущем, что иллюстрируется увеличением поперечного сечения воронки вправо</p>	<p>Рассматривает устойчивое развитие только с точки зрения устойчивости, за счет поэтапного снижения негативного воздействия на экологические и социальные системы за счет использования инновационных возможностей, включая новые бизнес модели, исследование новых рынков, снижения рисков и эксплуатационных расходов</p>

*Составлено автором.

Результаты исследования. Приведенный обзор подходов к исследованию вопросов устойчивого развития наглядно демонстрирует, что вопрос моделирования чрезвычайно актуален. Интерес к нему объясняется еще и современными процессами, происходящими в обществе: скоростью и глубиной изменений, стремительным развитием технологий, в том числе цифровых, применением новых методов обработки больших баз данных и пр. Все это приводит к значительному усложнению социальной реальности, изучение которой требует сложных комплексных инструментов. На рисунке представлена схема методической взаимосвязи подходов к исследованию устойчивого развития на основе сочетания разных видов моделирования.

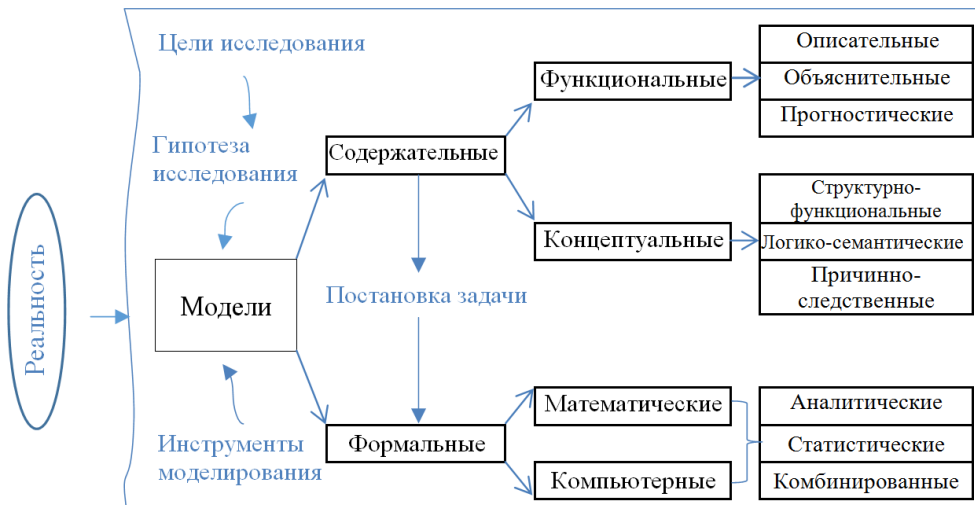


Рис. Схема методической взаимосвязи подходов к исследованию устойчивого развития на основе моделирования (составлено автором)

Решение любой исследовательской или практической задачи опирается на объективные условия. От качества анализа и оценки этих условий зависит качество решения, однако сколь совершенным ни был бы инструментальный анализ, окружающий мир всегда сложнее любых представлений о нем. Кроме того, для целей конкретного исследования или принятия конкретного решения нужны не все без исключения элементы реальности, а лишь конкретные аспекты, находящиеся во взаимосвязи с объектом исследования. Исходя из этого формируется гипотеза исследования и дается описание объекта, основанное на принципе аналогии, что позволяет изучать свойства объекта при определенных условиях. В конечном итоге содержательной моделью можно назвать представление об окружающем мире, оформленное в виде описания, концепта или прогноза, при этом качественная содержательная модель должна описывать только существенные свойства объекта, которые аналогичны реальности и при этом важны для исследования. Также необходимо учитывать проблему субъективности, так как представление исследова-

теля о проблеме формируется под влиянием собственного накопленного опыта, точки зрения, интуиции, стереотипов и т.д. Так или иначе, содержательное моделирование имеет исключительную важность для решения слабоструктурированных, неформализованных проблем устойчивого развития, которые невозможно решить, не опираясь на качественные суждения.

Завершающим этапом содержательного моделирования и одновременно начальным этапом формального моделирования является постановка задачи для исследования модели и проведения экспериментов. От этого зависит выбор инструментария (вид модели, методы поиска и обработки информации, программные продукты и пр.). И, наконец, заключительным этапом является разработка возможных альтернатив, проектов решений и выбор окончательного варианта решения.

Выводы. В современном сложном, быстро меняющемся мире необходимо быстро принимать решения, стараясь при этом избегать или минимизировать ошибки. Для решения данной проблемы предлагается множество инструментов, требующих от субъекта принятия решений специальных знаний и опыта. Среди них моделирование, которое помимо оценки уже сложившейся ситуации способно прогнозировать будущее состояние объекта изучения, давать системное представление о взаимном влиянии факторов, выявлять закономерности, которые не удалось обнаружить другими методами, и получать новую информацию о поведении анализируемых объектов для принятия взвешенных управленческих решений. Методическая взаимосвязь моделей, применяющихся для исследования проблем устойчивого развития, была отражена в авторской логико-семантической модели.

Список литературы

1. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов. – М.: Логос, 2001. – 296 с.
2. Власов М.П., Шимко П.Д. Моделирование экономических процессов. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 409 с.
3. Самков Т.Л. Моделирование устойчивого развития системы отраслей и регионов // Вестник СибГУТИ. – 2015. – № 4 (47). – С. 47–54.
4. Forrester J.W. World Dynamics. – Cambridge, Mass: Wright-Allen Press. Inc., 1971. – 144 p.
5. Новая парадигма развития России в XXI веке. Комплексные исследования проблемы устойчивого развития: идеи и результаты / под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. – М.: Академия; Иркутск: Облформпечать, 2000. – 459 с.
6. Митякова О.И. Проблемы устойчивого развития экономики России на основе инновационных преобразований: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.01, 08.00.05. – Нижний Новгород, 2009. – 50 с.

7. Махов С.А. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера. – Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science, 2005. – URL: https://www.keldysh.ru/papers/2005/prep06/prep2005_06.html (дата обращения: 20.04.2022).

8. Математические модели глобального развития / В.А. Егоров, Ю.Н. Каллистов, В.Б. Митрофанов, А.А. Пионтковский. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 192 с.

9. Решение одной задачи управления для глобальной динамической модели Форрестера / В.А. Геловани, В.А. Егоров, В.Б. Митрофанов, А.А. Пионтковский. – Препринт ИПМ АН СССР, 1974. – № 56. – С. 536–539. – URL: <http://www.mathnet.ru/links/444d8b7a7649c0db826af1916651344f/dan38807.pdf> (дата обращения: 06.05.2022).

10. Геловани В.А., Бритков В.Б., Дубовский С.В. СССР и Россия в глобальной системе (1985–2030): Результаты глобального моделирования. – М.: Либроком, 2009. – 320 с.

11. Ефимов Г.Б., Ефимова М.В. Первые модели глобального развития в ИПМ АН СССР. – URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/2014-mods-49-53.pdf> (дата обращения: 20.05.2022).

12. Масленникова А.С. Экономико-математические методы и модели определения потенциала региональных социально-экономических систем для перехода к стратегии устойчивого развития: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13. – Ростов н/Д, 2008. – 27 с.

13. Данилов Н.Н., Иноземцева Л.П., Чернова Е.С. Методика применения математической модели оптимального управления в исследовании вопросов устойчивого развития экономического региона // Региональная экономика: теория и практика. – 2014. – № 45 (372). – С. 17–28.

14. Григорьева К.В. Компьютерное моделирование устойчивого социально-экономического развития России, Казахстана и Японии // Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление. – 2015. – Т. 11, № 1 (26). – С. 55–65.

15. Экономическая оценка биоразнообразия / под ред. С.Н. Бобылева, А.А. Тишкова; Центр подготовки и реализации проектов тех. содействия. – М., 1999. – 112 с.

16. Чернова Е.С. Построение эконометрической модели устойчивого развития региона (на примере Кемеровской области) // Региональная экономика: теория и практика. – 2012. – № 21 (252). – С. 60–64.

17. Гурман В.И., Либенсон И.Р., Скитневский Д.М. Моделирование устойчивого развития региона и инвестиционных стратегий // Сибирский торгово-экономический журнал. – 2013. – № 1 (17). – С. 10–16.

18. Хазова Д.С. Математическое моделирование устойчивого развития туризма: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13. – М., 2015. – 25 с.

19. Самков Т.Л. Моделирование устойчивого развития системы отраслей и регионов // Вестник СибГУТИ. – 2015. – № 4 (47). – С. 47–54.

20. Гонова О.В. Методы и модели диагностики устойчивого развития регионального агропродовольственного комплекса: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.13. – Иваново, 2011. – 35 с.

21. Сидорин А.В. Математическая модель устойчивого развития предприятия // Интернет-журнал «Науковедение». – 2012. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-ustoychivogo-razvitiya-predpriyatiya> (дата обращения: 20.05.2022).

22. Халиков М.А. Экономико-математическое моделирование устойчивого развития предприятий машиностроения в условиях рыночной экономики: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.13. – М., 2004. – 43 с.

23. Копачева Е.И. Экономико-математическое моделирование и прогнозирование финансовой устойчивости туристских предприятий // Науковий вісник: Фінанси, банки, інвестиції. – 2014 – № 2. – С. 126–131. – URL: <http://fbi.cfuv.ru/wp-content/uploads/2017/09/021kopacheva.pdf> (дата обращения: 20.05.2022).

24. Thakshila Ruvini Herath H.M., Prabodha Subhashini Rathnayake R.M. A Critical Approach towards Sustainable Development Models – A Review // International Journal of Agriculture Innovations and Research. – 2019. – Vol. 7, № 4. – P. 446–454.

25. Hamedani A.Z. Methodology and Statistical Analysis of Sustainable Transportation Criteria for Certification Systems (Doctoral dissertation). – Universitätsbibliothek Wuppertal, 2014. – URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:468-20141007-112314-8> (дата обращения: 20.04.2022).

26. Broman G.I., Robèrt K.-H. A Framework for Strategic Sustainable Development // Journal of Cleaner Production. – 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.10.121

27. Harvesting synergy from sustainable development goal interactions / M. Pedercinia, S. Arquitta, D. Collstea, H. Herrera // PNAS. – 2020. – Vol. 117, № 22. DOI: 10.1073/pnas.1817276116

28. Шаталов М.А. Исследование синергетических эффектов кластеризации в экономике регионов // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2017. – № 6 (67). – С. 119–129.

29. Побирченко В.В. Факторы устойчивого социально-экономического развития региона, синергия взаимодействия // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2017. – № 4–3. – С. 123–126.

30. Шевырев М.М. К методологии определения синергетического эффекта инновационных региональных кластеров // Экономика и управление. – 2010. – № 3 (53). – С. 36–40.

31. Омаров Т.Д., Моргунова Н.В., Синявский Д.А. Подходы к оценке синергетического эффекта федеральных и региональных целевых программ

(на примере Владимирской области) // Экономические науки. – 2013. – № 6 (103). – С. 11–16.

32. Ярембаш А.И., Кохан Н.В. Эффект синергии в программах регионального социально-экономического развития // Механизмы управления экономическими, экологическими и социальными процессами в условиях инновационного развития: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Алчевск: Изд-во Донбас. гос. техн. ун-та, 2018. – С. 310–318.

References

1. Plotinskii Iu.M. Modeli sotsial'nykh protsessov [Models of social processes]. Moscow, Logos, 2001, 296 p.

2. Vlasov M.P., Shimko P.D. Modelirovanie ekonomicheskikh protsessov [Modeling of economic processes]. Rostov on Don, Feniks, 2005, 409 p.

3. Samkov T.L. Modelirovanie ustoichivogo razvitiia sistemy otraslei i regionov [Sustainable development modeling of industry systems and regions]. *SibSUTIS*, 2015, no. 4 (47), pp. 47–54.

4. Forrester J.W. World dynamics. Cambridge, Mass, Wright-Allen Press. Inc. 1971, 144 p.

5. Novaia paradigma razvitiia Rossii v XXI veke. Kompleksnye issledovaniia problemy ustoichivogo razvitiia: idei i rezul'taty [A new paradigm of Russia's development in the 21st century. Comprehensive studies of the problem of sustainable development: Ideas and results]. Eds. V.A. Koptiuga, V.M. Matrosov, V.K. Levashov. Moscow, Akademiia, Irkutsk, Oblinformpechat', 2000, 459 p.

6. Mitiakova O.I. Problemy ustoichivogo razvitiia ekonomiki Rossii na osnove innovatsionnykh preobrazovaniy [Sustainable development problems in the Russian economy based on innovative transformations]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Nizhny Novgorod, 2009, 50 p.

7. Makhov S.A. Matematicheskoe modelirovanie mirovoi dinamiki i ustoichivogo razvitiia na primere modeli Forrestera [Mathematical simulation of world dynamics and sustainable development by the example of Forrester's model]. Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science, 2005, available at: https://www.keldysh.ru/papers/2005/rep06/rep2005_06.html (accessed 20.04.2022).

8. Egorov V.A., Kallistov Iu.N., Mitrofanov V.B., Piontkovskii A.A. Matematicheskie modeli global'nogo razvitiia [Mathematical models of global development]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1980, 192 p.

9. Gelovani V.A., Egorov V.A., Mitrofanov V.B., Piontkovskii A.A. Reshenie odnoi zadachi upravleniia dlia global'noi dinamicheskoi modeli Forrestera [Solution of one control problem for the global dynamic Forrester model]. Preprint IPM AS USSR, 1974, no. 56, pp. 536–539, available at: <http://www.mathnet.ru/links/444d8b7a7649c0db826af1916651344f/dan38807.pdf> (accessed 06.05.2022).

10. Gelovani V.A., Britkov V.B., Dubovskii S.V. SSSR i Rossiia v global'noi sisteme (1985–2030): Rezul'taty global'nogo modelirovaniia [USSR and Russia in the global system (1985–2030): Results of the global modeling]. Moscow, Librokom, 2009, 320 p.

11. Efimov G.B., Efimova M.V. Pervye modeli global'nogo razvitiia v IPM AN SSSR [The first global development models at the Institute of Applied Mathematics of the USSR Academy of Sciences]. Available at: <http://simulation.su/uploads/files/default/2014-mods-49-53.pdf> (accessed 20.05.2022).

12. Maslennikova A.S. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli opredeleniia potentsiala regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem dlia perekhoda k strategii ustoichivogo razvitiia [Economic-mathematical methods and models for determining regional socio-economic systems potential to transit to a sustainable development strategy]. Abstract of Ph.D. thesis. Rostov on Don, 2008, 27 p.

13. Danilov N.N., Inozemtseva L.P., Chernova E.S. Metodika primeneniia matematicheskoi modeli optimal'nogo upravleniia v issledovanii voprosov ustoichivogo razvitiia ekonomicheskogo regiona [Technique of mathematical model application for optimal management when studying the sustainable development issues of economic region]. *Regional'naia ekonomika: teoriia i praktika*, 2014, no. 45 (372), pp. 17–28.

14. Grigor'eva K.V. Komp'yuternoe modelirovanie ustoichivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia Rossii, Kazakhstana i Iaponii [Computer modeling of sustainable socio-economic development for Russia, Kazakhstan and Japan]. *Ustoichivoe innovatsionnoe razvitie: proektirovanie i upravlenie*, 2015, vol. 11, no. 1 (26), pp. 55–65.

15. Ekonomicheskaiia otsenka bioraznoobraziia [Economic valuation of biodiversity]. Eds. S.N. Bobylev, A.A. Tishkov. Moscow, Center for the preparation and implementation of technical assistance projects, 1999, 112 p.

16. Chernova E.S. Postroenie ekonometricheskoi modeli ustoichivogo razvitiia regiona (na primere Kemerovskoi oblasti) [Building an econometric model for the sustainable development of the region (on the example of the Kemerovo region)]. *Regional'naia ekonomika: teoriia i praktika*, 2012, no. 21 (252), pp. 60–64.

17. Gurman V.I., Libenson I.R., Skitnevskii D.M. Modelirovanie ustoichivogo razvitiia regiona i investitsionnykh strategii [Modeling the region's sustainable development and investment strategies]. *Sibirskii torgovo-ekonomicheskii zhurnal*, 2013, no. 1 (17), pp. 10–16.

18. Khazova D.S. Matematicheskoe modelirovanie ustoichivogo razvitiia turizma [Mathematical modeling of sustainable development of tourism]. Abstract of Ph.D. thesis. Moscow, 2015, 25 p.

19. Samkov T.L. Modelirovanie ustoichivogo razvitiia sistemy otraslei i regionov [Sustainable development modeling of industry systems and regions]. *SibSUTIS*, 2015, no. 4 (47), pp. 47–54.

20. Gonova O.V. Metody i modeli diagnostiki ustoichivogo razvitiia regional'nogo agroproduktov'stvennogo kompleksa [Methods and models for diagnosing the sustainable development of the regional agro-food complex]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Ivanovo, 2011, 35 p.

21. Sidorin A.V. Matematicheskaia model' ustoichivogo razvitiia predpriiatiia [Mathematical model of sustainable development of company's]. *Naukovedenie*, 2012, no. 3, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-ustoychivogo-razvitiya-predpriyatiya> (accessed 20.05.2022).

22. Khalikov M.A. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie ustoichivogo razvitiia predpriatii mashinostroeniia v usloviakh rynochnoi ekonomiki [Economic and mathematical modeling of sustainable development at the engineering enterprises in a market economy]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Moscow, 2004, 43 p.

23. Kopacheva E.I. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie i prognozirovanie finansovoi ustoichivosti turistskikh predpriatii [Economic-mathematical modeling and forecasting of the financial stability of tourism enterprises]. *Naukovii visnik: Finansi, banki, investitsii*, 2014, no. 2, pp. 126–131, available at: <http://fbi.cfuv.ru/wp-content/uploads/2017/09/021kopacheva.pdf> (accessed 20.05.2022).

24. Thakshila Ruvini Herath H.M., Prabodha Subhashini Rathnayake R.M. A critical approach towards sustainable development models – A review. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 446–454.

25. Hamedani A.Z. Methodology and statistical analysis of sustainable transportation criteria for certification systems. Doctor's degree dissertation. Universitätsbibliothek Wuppertal, 2014, available at: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:468-20141007-112314-8> (accessed 20.04.2022).

26. Broman G.I., Robèrt K.-H. A Framework for strategic sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 2015, DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.10.121.

27. Pedercinia M., Arquitta S., Collstea D., Herrena H. Harvesting synergy from sustainable development goal interactions. *PNAS*, 2020, vol. 117, no. 22, DOI: 10.1073/pnas.1817276116.

28. Shatalov M.A. Issledovanie sinergeticheskikh effektov klasterizatsii v ekonomike regionov [The study of synergistic effects of clustering in the economy of regions]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperatsii, ekonomiki i prava*, 2017, no. 6 (67), pp. 119–129.

29. Pobirchenko V.V. Faktory ustoichivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia regiona, sinergiiia vzaimodeistviia [Factors of sustainable socio-economic development in the region, synergy of interaction]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2017, no. 4–3, pp. 123–126.

30. Shevyrev M.M. K metodologii opredeleniia sinergeticheskogo effekta innovatsionnykh regional'nykh klasterov [On the method of innovation regional clusters' synergy effect identification]. *Ekonomika i upravlenie*, 2010, no. 3 (53), pp. 36–40.

31. Omarov T.D., Morgunova N.V., Siniavskii D.A. Podkhody k otsenke sinergeticheskogo effekta federal'nykh i regional'nykh tselevykh programm (na primere Vladimirskoi oblasti) [Approaches to assessing the synergistic effect of federal and regional targeted programs (on the example of the Vladimir region)]. *Ekonomicheskie nauki*, 2013, no. 6 (103), pp. 11–16.

32. Iarembash A.I., Kokhan N.V. Effekt sinergii v programmakh regional'nogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia [Synergy effect in the programs of regional socio-economic development]. *Mekhanizmy upravleniia ekonomicheskimi, ekologicheskimi i sotsial'nymi protsessami v usloviakh innovatsionnogo razvitiia*. Proc. of 4th Int. Acad. Conf. Alchevsk, Donbas State Technical University, 2018, pp. 310–318.

Оригинальность 78 %

Получено 29.05.2022

Принято 16.06.2022

Опубликовано 01.12.2022

T.V. Alferova

MODELING AS A BASIS FOR THE STUDY OF REGION'S SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The article considers approaches to studying the issues of sustainable development of the region on the basis of modeling. It provides a classification of models used to study sustainable development. To classify models, we used the type of language in which they are formulated. This approach allowed us to divide the models into substantive and formal ones.

The origins of formal modeling are considered, and an overview of modern research in this area is given. It is emphasized that economic and mathematical models are used to quantify and justify decisions in the field of sustainable development, while substantive ones are used to translate qualitative judgments into observable, more structured and formalized categories.

Substantive models describing sustainable development from different points of view are considered. Their essence is revealed, a description using metaphors is given, limitations for their application are considered. The issues of synergistic effects in modeling are touched upon.

In preparing this article, we reviewed previous publications related to sustainable development models. At the same time, the models themselves, their essence, logical reasoning, generation and testing of hypotheses, and a description of their application are contained in the original publications on the relevant study. Here, attention is focused on the approach combining the above. As a result, a scheme of methodological interrelation of approaches to the study of sustainable development based on a combination of different types of modeling is presented. The novelty of the study is the visualization of the methodological relationship of approaches to the study of sustainable development using different models.

As the main conclusion, it is emphasized that the quality and validity of decision-making in the field of sustainable development depends on a combination of substantive and formal modeling. This makes the research process more accurate, but requires special training and tools.

Keywords: *sustainable development, region, formal models, substantive models.*

Tatiana V. Alferova – Cand. Sc. (Economics), Associate Professor, Department of Management, Perm State University, e-mail: talferova68@mail.ru.

Received 29.05.2022

Accepted 16.06.2022

Published 01.12.2022

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Вклад автора 100 %.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Алферова, Т.В. Моделирование как основа исследования устойчивого развития региона / Т.В. Алферова // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – 2022. – № 4. – С. 220–235.

Please cite this article in English as:

Alferova T.V. Modeling as a basis for the study of region's sustainable development. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*, 2022, no. 4, pp. 220-235 (*In Russ*).