

УДК 004.94

## ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ РЕГИОНАЛЬНОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Медведев А.В.

*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Кемеровский институт (филиал),  
Кемерово, e-mail: alexm\_62@mail.ru*

В статье описана концепция создания цифрового социально-экономического двойника территории для поддержки принятия решений в сфере регионального социально-экономического развития. Введено понятие цифрового социально-экономического двойника территории, описаны особенности, отличающие его от понятий цифрового двойника и цифровой модели территории. Обоснована необходимость взаимодействия информационных баз данных показателей территории с комплексом методологического, аналитического и информационно-технологического инструментария, с одной стороны, выявляющего экономический и социальный потенциалы развития территории и оценивающего эффективность мероприятий по устранению различных рисков развития территории, а с другой стороны, обеспечивающего результативную и оперативную обработку циркулирующей в территориальной системе социально-экономической информации. Отмечена необходимость комбинирования имитационных и оптимизационных моделей и методов территориального социально-экономического анализа. Перечислены некоторые классы задач в сфере регионального социально-экономического развития, которые могут решаться с использованием социально-экономических цифровых двойников территорий. Приведена краткая систематизация подходов к разработке и наполнению информационных баз данных показателей, характеризующих территорию как социально-экономический объект, а также описаны требования к использованию цифрового двойника территории и некоторые организационные инструменты поддержки принятия решений при управлении социально-экономической территорией путем использования ее цифрового двойника.

**Ключевые слова:** цифровой двойник территории, стратегия регионального социально-экономического развития, планирование и прогнозирование территориального развития, комплексный инструментальный социально-экономического анализа территорий

## DIGITAL TWINS OF TERRITORIES TO SUPPORT DECISION-MAKING IN THE FIELD OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT

Medvedev A.V.

*Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Kemerovo Institute (branch), Kemerovo,  
e-mail: alexm\_62@mail.ru*

The article describes the concept of creating a digital socio-economic twin of the territory to support decision-making in the field of regional socio-economic development. The concept of a socio-economic digital twin of the territory is introduced, the features that distinguish it from the concepts of a digital double and a digital model of a territory are described. The necessity of the interaction of information databases of territory indicators with a complex of methodological, analytical and information technology tools, which, on the one hand, reveals the economic and social potentials of the development of the territory and evaluates the effectiveness of measures to eliminate various risks of the development of the territory, and, on the other hand, ensures effective and efficient processing of socio-economic information which circulates in the territorial system. The necessity of combining simulation and optimization models and methods of territorial socio-economic analysis is noted. Some classes of problems in the field of regional socio-economic development are listed that can be solved using the socio-economic digital twins of territories. A brief systematization of approaches to the development and filling of information databases of indicators characterizing the territory as a socio-economic object is given, as well as the requirements for the use of a digital twin of the territory and some organizational tools for decision support in managing the socio-economic territory by using its digital twin are described.

**Keywords:** digital twin of territories, strategy of regional socio-economic development, planning and forecasting of territorial development, comprehensive tools for socio-economic analysis of territories

Интенсивное развитие цифровых информационных технологий в настоящее время делает актуальным и вполне реализуемым решение ряда сложных задач поддержки принятия управленческих решений в сфере социально-экономического развития регионов. Регион, как совокупность территорий, является сложной системой с циркулирующими в нем материальными, финансовыми, информационными потоками, характеризующимися своими географическими, экономическими, социальными, ландшафтными, транспортными и прочими характеристиками и показателями, сбор, хранение и обработка информации о которых представляет собой сложную задачу системного анализа.

Основной целью статьи является обоснование гипотезы о возможности создания и использования социально-экономического цифрового двойника территории (СЭЦДТ) как комплекса информационно-

Основной целью статьи является обоснование гипотезы о возможности создания и использования социально-экономического цифрового двойника территории (СЭЦДТ) как комплекса информационно-

технологических, аналитических и организационных инструментов автоматизированного накопления, хранения, обработки информации о территориях для поддержки принятия управленческих решений в сфере регионального социально-экономического развития и рассмотрение некоторых подходов к решению данной задачи.

#### Материалы и методы исследования

Под цифровым двойником (ЦД) понимается специфическая модель реального физического объекта, группы изделий или процесса, относительно которых осуществляется сбор, обработка и повторное использование цифровой информации. Согласно такому пониманию цифрового двойника, ЦДТ можно рассматривать как совокупность процессов мониторинга, анализа состояния, прогнозирования и планирования развития территории с целью поддержки решений по управлению этой территорией. Цифровой двойник должен обладать «...предсказательным потенциалом, в отличие от множества датчиков, которые лишь помогают сформировать «память» об уже случившихся событиях и не позволяют осуществлять те или иные прогнозы сложных явлений и ситуаций» [1]. Одной из основных целей создания ЦД является возможность проведения экспериментов над оригиналом, ориентированных на принятие решений по достижению определенных целей (критериев) существования оригинала, например оптимальной структуры, оптимальных пропорций развития, сохранения целостности, эффективности, «здоровья организма» и т.п. Очевидно, что анализ территорий с помощью цифровых двойников должен включать самую разнообразную информацию: базы данных и карты ландшафтов, водных бассейнов, транспортных путей, видов земель и почв, кадастровые карты и прочую информацию, полномасштабная системная и результативная обработка и анализ которой в настоящее время вряд ли возможны как по причине отсутствия соответствующей концепции, так и по причине имеющихся ограничений на вычислительные мощности и объемы хранимой информации о территории. В этой связи в данной работе акцентируется рассмотрение частного случая ЦДТ, содержащего только социально-экономическую информацию о территории – базы данных и карты административного деления, транспортной инфраструктуры, социальные, экономические и экологические характеристики, объекты производственных, финансовых, туристических и других территориальных кластеров. Назовем ука-

занный частный случай ЦДТ социально-экономическим ЦДТ или СЭЦДТ. Следует отметить, что приведенная выше концепция СЭЦДТ отсутствует, например, в достаточно общем определении ЦД из работы [1]. Описанное понятие СЭЦДТ будет принципиально отличаться от понятия «цифровая модель территории» (исследование которой может ограничиться, например, своим теоретическим анализом или оценкой свойств ее информационной базы) не только использованием уже разработанного комплекса методологических, аналитических и информационно-технологических инструментов поддержки принятия решений в сфере управления территорией, но и, прежде всего, принципиальной ориентацией на решение еще не сформулированных, перспективных, потенциально возможных в будущем задач наполнения информационной базы, анализа территориальных социально-экономических процессов, в том числе позволяющих «дополнять», «достраивать», «формировать» социально-экономическую реальность территории.

Социально-экономическая территория характеризуется многочисленными показателями ее функционирования. Это могут быть экономические показатели (инвестиционные, производственные, финансовые), показатели транспортной инфраструктуры, структуры земель и другие. С социальной точки зрения территории характеризуются, например, показателями демографии (численность, плотность населения и др.), развитости социальной инфраструктуры (количество организаций здравоохранения, образования, культуры и др.), социальной защищенности (в частности, в правовой, экологической сферах и пр.). Очевидно, имеют место и смешанные (социально-экономические, эколого-экономические) показатели, например показатели экологического состояния территорий, связанные одновременно как с уровнем развития и структурой производства, так и с количеством мероприятий, общественных организаций экологической направленности на ней. Другими примерами таких показателей являются показатели уровня безработицы, уровня заработной платы, как сложные зависимости численности населения и развитости производства товаров и/или услуг на территории, показатели научно-технического развития, как сложные зависимости научной и образовательной инфраструктуры территории и ее, к примеру, эколого-экономического состояния.

Из вышесказанного следует, что предполагаемый функционал СЭЦДТ невозможно реализовать без наличия информационных

баз данных о социально-экономических характеристиках территории и информационно-технологического инструментария сбора, хранения и обработки соответствующих массивов информации. В этой связи выделяется несколько обобщенных подходов к решению данного вопроса.

Первый подход основан на концепции агент-ориентированных моделей. При таком подходе территория может рассматриваться, например, как система управленческих, производственных, социальных, финансовых, коммерческих агентов, функционирующих на территории в соответствии с заранее сформулированными правилами поведения и целевыми установками агентов в системе. Сильной стороной данного подхода является возможность изучать сложную систему, задавая указанные правила поведения агентов в территориальном разрезе и выявляя глобальные законы функционирования региона как результат взаимодействия агентов. Указанный подход широко проработан ведущими учеными нашей страны (например, [2]) и предлагается в качестве основного инструмента оценки управленческих решений в системе распределенных ситуационных центров. Вместе с тем в настоящее время существует проблема наличия открытых источников и стандартов представления достаточной для использования СЭЦДТ информации о функционировании перечисленных экономических агентов.

Ко второму подходу интегрирующего типа, который может быть положен в основу разработки информационной базы СЭЦДТ, относится подход, позволяющий ориентироваться на сбор и обработку законодательно определенных статистических данных о территории, закрепленных некоторыми государственными стандартами, например, в разрезе специально выделенных направлений экономической деятельности [3]. В данном случае территория характеризуется крупными направлениями экономической и социальной деятельности, структурируемыми в самых разнообразных разрезах ее информационного описания – управленческом, инвестиционном, производственном, финансовом, социальном, имущественном и других. Сильной стороной данного подхода является факт, что в открытом доступе уже существуют социально-экономическая информация и стандарты ее представления (например, сайт Федеральной службы государственной статистики [4]), что значительно облегчает задачу формирования необходимых для построения и использования СЭЦДТ информационных баз данных относительной полноты и репрезентативности.

Еще одним интегральным подходом, который мог бы лежать в основе построения информационной базы СЭЦДТ, является подход, ориентированный на использование статистической базы экономики территории в отраслевом разрезе. Однако аналитический инструментарий обработки больших объемов информации (например, теоретические и практические разработки В.В. Леонтьева по межотраслевому балансу экономики) апробирован для достаточно крупных территорий (страна, регион мира) и, по-видимому, малоприменим для использования на уровне менее крупных территорий, например, субъектов федерации или составляющих их муниципальных образований.

Очевидно, что наличие информационных баз данных для мониторинга состояния и развития территории является необходимым, но недостаточным условием применения СЭЦДТ для управления территорией, которое подразумевает разработку и совершенствование основанного на использовании информационных баз данных методологического, аналитического и информационно-технологического инструментария (методик, моделей, алгоритмов, пакетов прикладных программ, систем поддержки принятия решений), направленного как на выявление экономического и социального потенциала территории, так и на оценку эффективности мероприятий по устранению социально-экономических, эколого-экономических и других рисков развития территории, в том числе в геовизуальном формате.

Для управления (мониторинга, анализа состояния, развития и т.п.) такой сложной системой, как регион, необходимо использовать методы математического моделирования, а также сбора, хранения и обработки циркулирующей в моделях информации средствами автоматизированных информационных систем (АИС). Указанные АИС должны ориентироваться на решение задач различного типа – от создания информационных баз данных, документооборота, учета, планирования и прогнозирования до задач оптимального управления, искусственного интеллекта и прочих, модельной, аналитической и информационно-технологической основой решения которых может стать ЦДТ.

Аналитический инструментарий СЭЦДТ представляет собой совокупность математических моделей различного типа и соответствующих им алгоритмов анализа, которые условно можно разбить на две категории – имитационные и оптимизационные. Под имитационными моделями

в широком смысле понимается использование для описания функционирования социально-экономической системы алгебраических, дифференциальных, разностных соотношений, а также их систем, описывающих либо состояние оригинала, либо траекторию движения (деградации или развития), либо ограничения функционирования, налагаемые внешними или внутренними факторами. При этом, в отличие от оптимизационных моделей, имитационные не предполагают, вообще говоря, решения задач оптимизации (максимизации и/или минимизации) одного или нескольких критериев качества функционирования территории, в частности критериев ее экономических агентов/подсистем. В случае использования имитационных моделей существуют эффективные численные методы решения задач, содержащих соотношения связи многих переменных, в том числе имеющих нелинейный вид. Большинство задач автоматизированной обработки социально-экономической информации в этом случае могут быть, с достаточной для практики точностью, описаны в виде линейных дифференциальных уравнений первого порядка, численное решение которых в общем случае не представляет проблем даже при очень большой размерности искомого векторных переменных. Чего нельзя сказать в случае использования оптимизационных моделей, анализ которых связан с решением качественно другого класса задач оптимального управления. Решение реальных задач управления территориями с использованием оптимизационных моделей ограничено размерностью векторов искомого переменных, часто на пределе возможностей их численного анализа, особенно при использовании динамических и тем более нелинейных моделей.

Одной из ключевых задач, решаемых при управлении территориями и требующих применения оптимизационных методов, является задача оценки социально-экономической привлекательности территории, определяющей ее социально-экономическое «здоровье». Социально-экономическая привлекательность территории может трактоваться как комбинация выраженных в стоимостном измерении экономического потенциала территории и осуществляемых затрат на устранение социально-экономических рисков (выражаемых, например, в затратах на мероприятия, ориентированные на защиту интересов населения территории в направлениях образования, здравоохранения, экологии, юстиции и пр.) [5]. Для решения задачи выявления социально-экономической привлекательности территории

необходимо наличие автоматизированного аналитического инструментария двух типов: 1) выявляющего на основе оптимизационного подхода экономический потенциал (максимум возможностей, добавленной стоимости и пр.) территории; 2) осуществляющего мониторинг и оценку эффективности мероприятий по устранению рисков развития территорий, в том числе в геовизуальном формате.

Информационно-технологический инструментарий, разрабатываемый для использования СЭЦДТ, должен быть сориентирован на решение различных по масштабу управленческих задач – от управления исходным оригиналом (территорией) в целом до управления его подсистемами. Не претендуя на полноту списка, отметим некоторые классы задач, решаемых в современных публикациях и практике управления территориями.

1. Задачи оценки инвестиционного потенциала территории, ориентированные на выявление добавленной к инвестициям оценочной стоимости оригинала в форме суммы приносимой прибыли и оценки имущественного комплекса, требующие использования оптимизационных моделей и методов решения.

2. Задачи оценки инвестиционных рисков территории, ориентированные на мониторинг и анализ информации по количеству мероприятий по защите инвестиционных вложений на территории. Такие задачи требуют разработки алгоритмов и методов анализа влияния выбранных совокупностей мероприятий по защите инвестиций, уровня инвестиционных затрат, построения инвестиционных карт, а также формирования больших массивов (баз) данных об инвестиционных рисках.

3. Задачи оценки инвестиционной привлекательности территории, постановка которых может быть сведена к различным комбинациям решения первых двух типов задач.

4. Задачи оценки уровня безопасности территорий [6] по различным социально-экономическим направлениям (видам, кластерам) – экономическому, экологическому, продовольственному, социальному, правовому и др., являющиеся важным классом задач управления территориями, которые также могут успешно решаться по технологии задач, описанных в пункте 2.

5. Задачи планирования и прогнозирования развития социально-экономических систем, оценки их конкурентоспособности [7–10], требующие использования, как правило, сформированной информационной базы о состоянии и развитии террито-

рий в разрезе направлений их экономической деятельности или отраслевом разрезе, моделей, методов и алгоритмов их анализа, а также построения соответствующих карт.

6. Задачи оценки уровня и качества пространственного взаимодействия территорий региона, например, на основе индексов Морана [11].

7. Задачи оптимального распределения ресурсов в выбранных территориальных кластерах, отраслях, направлениях экономической деятельности, как задачи вспомогательного характера для указанных выше классов задач.

8. Транспортные задачи, как частные задачи размещения и оптимизации производства или логистики продаж продукции.

Очевидно, для решения задач управления территорией-оригиналом, путем использования СЭЦДТ, необходимо иметь статистическую базу социально-экономических показателей во временной динамике, что накладывает высокие требования на объемы информационных хранилищ, методы извлечения и анализа такой информации, включая решения задач корректного устранения «информационных дыр», заключающихся в отсутствии статистических данных о территории за некоторые периоды наблюдения.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Ранее было отмечено, что оптимизационные задачи класса извлечения знаний (knowledge discovery), к которым можно отнести задачи, перечисленные выше в пунктах 1, 3, 5, 7, 8, имеют ограничения на их реальную размерность и скорость автоматизированного анализа. В работе [12], в частности, представлены линейные многошаговые оптимизационные модели регионального экономического развития, а также алгоритмы их преобразования в одношаговые задачи линейного программирования, сохраняющие основные агрегированные свойства исходных моделей (по крайней мере, с точки зрения классов задач, сформулированных здесь в пунктах 1, 3, 5), которые допускают применение эффективных численных методов для их оперативного анализа инструментами СЭЦДТ.

Описанная выше совокупность условий создания и использования СЭЦДТ может быть названа принципом информационной и инструментальной сбалансированности. При этом изложенная краткая концепция СЭЦДТ требует наличия и сбалансированных методов взаимодействия информационной базы данных территории с методологическим, аналитическим и ин-

формационно-технологическим инструментарием ее социально-экономического анализа как при планировании и прогнозировании, так и при оперативном анализе их состояния и развития территории. Кроме того, указанные методы должны обеспечивать результативную и в достаточной мере оперативную обработку циркулирующей в территориальной системе социально-экономической информации и соответствовать атрибутам удобного человеко-машинного интерфейса.

Взаимодействие различных инструментальных составляющих СЭЦДТ реализуется, например, в форме специальных экспертных центров (помещений) [13], имеющих аппаратное и программное обеспечение поддержки принятия решений по управлению территорией путем «проектирования» сценариев ее развития. Одним из организационных механизмов оперативного использования ЦДТ могут являться существующие ситуационные комнаты [14] или ситуационные центры [15] социально-экономического анализа, представляющие собой комплексы, содержащие соответствующие специализированные помещения, аппаратное и программное обеспечение, команду аналитиков и операторов, ориентированные на сбор, аналитическую обработку и поддержку принятия решений по управлению территориями, в том числе с использованием их цифровых двойников. В Кемеровском институте (филиале) РЭУ им. Г.В. Плеханова функционирует ситуационный центр регионального социально-экономического развития, в котором разработаны автоматизированные средства оценки экономической эффективности инвестиционно-производственных проектов предприятий, проектов развития территорий, ориентированные, в рамках принципа информационной и инструментальной сбалансированности, на их оперативный кратко-, средне- и долгосрочный анализ. Кроме того, в центре разработаны удобные для пользователя инструменты геовизуального анализа территорий, включая автоматизированные средства геовизуализации объектов и построения карт социально-экономических показателей по сложным поисковым запросам. Разработанные инструменты позволяют применять СЭЦДТ при проведении социально-экономических экспериментов для оценивания состояния, динамики развития, а также других характеристик территории, на базе которых осуществляется принятие обоснованных управленческих решений по планированию и прогнозированию регионального социально-экономического развития.

### Выводы

Таким образом, в настоящее время имеются основания утверждать наличие методологического, информационно-технологического, аналитического, организационного инструментария поддержки принятия решений по управлению региональным социально-экономическим развитием. Указанный инструментарий обеспечивает функционал такого понятия, как социально-экономический цифровой двойник территории. При этом его аналитическая и информационно-технологическая составляющие должны соответствовать принципу информационной и инструментальной сбалансированности, а аппаратные и программные средства – обеспечивать эффективную поддержку принятия индивидуальных и коллективных экспертных решений, с учетом как имеющихся, так и перспективных задач управления территориями региона. В этом случае СЭЦДТ может реализовать свою экономическую функцию замены реального прототипа цифровым двойником без рисков нарушения функционирования прототипа и значительной экономией затрат на организацию социально-экономических экспериментов, превращаясь в реальный инструмент управления региональным социально-экономическим развитием.

### Список литературы

1. Государство как платформа: люди и технологии. Доклад РАНХиГС на X Гайдаровском форуме. [Электронный ресурс]. URL: <https://technet-nti.ru/news/6852> (дата обращения: 20.05.2020).
2. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Инструменты оценки управленческих решений в системе распределенных ситуационных центров // Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Уфа, 24–25 мая 2018). Уфа: Институт социально-экономических исследований УФИЦ РАН, 2018. С. 50–58.
3. Общероссийский классификатор направлений экономической деятельности. [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/185134> (дата обращения: 20.05.2020).
4. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).
5. Медведев А.В. Математическая модель оценки инвестиционной привлекательности региона // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8–2. С. 357–361.
6. Тырсин А.Н., Никулина Н.Л., Печеркина М.С. Оптимизационное моделирование как инструмент управления экономической безопасностью региона // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2018. № 4. С. 99–107.
7. Зандер Е.В., Инюхина Е.В., Старцева Ю.И. Исследование конкурентоспособности социально-экономических систем (на примере Сибирского федерального округа) // Региональная экономика: теория и практика. 2009. № 10. С. 6–17.
8. Суспицын С.А. Методы и модели координации долгосрочных решений в системе «национальная экономика – регионы». Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2017. 296 с.
9. Хасаев Г.Р., Цыбапов В.А. Технология прогнозирования регионального развития: опыт разработки и использования // Проблемы прогнозирования. 2002. № 3. С. 65–84.
10. Гурман В.И., Матвеев Г.А., Трушкова Е.А. Социально-эколого-экономическая модель региона в параллельных вычислениях // Управление большими системами: сборник трудов. 2011. № 32. С. 109–130.
11. Павлов Ю.В., Королева Е.Н. Пространственные взаимодействия: оценка на основе глобального и локального индексов Морана // Пространственная экономика. 2014. № 3. С. 95–110.
12. Медведев А.В. Применение z-преобразования к исследованию многокритериальных линейных моделей регионального экономического развития. Красноярск: Изд-во СибГАУ имени академика М.Ф. Решетнева, 2008. 228 с.
13. Райков А.Н. Ситуационная комната для поддержки корпоративных решений // Открытые системы. 1999. № 7–8. С. 56–66.
14. Маслов В.Ю., Тарасова О.В., Бульонков М.А. Ситуационная комната как элемент организации экспертного сообщества: задачи планирования и прогнозирования / Под ред. Г.А. Унтуры. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2018. 260 с.
15. Медведев А.В. Ситуационные центры социально-экономического развития как инструмент оперативного анализа и поддержки принятия управленческих решений // Социогуманитарный вестник. 2018. № 1 (18). С. 93–98.